첨단도시개발사업 제 3 차년도 중간보고서

R&D / 05건설핵심D07

Construction & Transportation R&D Report

# 건설폐기물 재활용 기술 개발

2008. 9. 28.


주관연구기관 / 대 한 주 택 공 사
협동연구기관 / 한국건설기술연구원
(주) 지 피 코 리 아
중 앙 대 학 교
한 밭 대 학 교
충 남 대 학 교
(주) 거 산 기 계
대 한 주 택 공 사
(주) 대동종합건설
공 주 대 학 교
(주) L C M
위탁연구기관 / (주) 인 트 켐
경 북 대 학 교



국 토 해 양 부
한국건설교통기술평가원

# 제 출 문

토해양부장관(한국건설교통기술평가원장) 귀하

보고서를 "건설폐기물 재활용 기술 개발"의 중간보고서로 제출합니다.

2008. 9. 28.

주관연구기관 : 대한주택공사

사 장 최 재 덕

협동연구기관 : 한국건설기술연구원

원 장 정 낙 형

협동연구기관 : 한밭대학교 산학협력단

단 장 구 본 급

| | | | |
|---|---|---|---|
| ■ 총 괄 연 구 책 임 자 | / 선임연구위원 | 이 도 헌 | 연구계획 및 총괄관리 |
| ■ 주관연구기관 참여연구원 | | | |
| 대한주택공사 | / 수석연구원 | 전 명 훈 | 3세부 연구총괄 |
| | / 연 구 위 원 | 김 효 진 | 연구계획 및 관리 |
| | / 수석연구원 | 배 기 선 | 연구계획 및 관리 |
| | / 책임연구원 | 박 성 식 | 연구계획 및 관리 |
| | / 수석연구원 | 이 범 식 | 장비개발 시험시공 |
| | / 수석연구원 | 손 정 락 | 분별해체 공정수립 |
| | / 수석연구원 | 박 용 부 | 지반해석 |
| | / 선임연구원 | 정 종 석 | 연구기획 및 관리 |
| | / 차 장 | 조 휘 철 | 연구수행 |
| | / 차 장 | 김 철 호 | 연구수행 |
| | / 과 장 | 박 성 룡 | 연구수행 |
| | / 책임연구원 | 김 준 석 | 연구행정 및 세부관리 |
| | / 연 구 원 | 강 기 웅 | 연구관리 및 결과정리 |
| | / 연 구 원 | 이 정 구 | 자료수집 및 분석 |
| | / 연 구 원 | 안 양 진 | 자료수집 및 분석 |
| | / 연 구 원 | 유 승 완 | 실험 및 분석 |
| | / 연 구 원 | 장 서 연 | 연구행정 |
| | / 연 구 원 | 이 재 성 | 자료수집 및 분석 |
| | / 연 구 원 | 성 혜 원 | 연구행정 |
| ■ 협동연구기관 참여연구원 | | | |
| 한국건설기술연구원 | / 책임연구원 | 이 세 현 | 1세부 연구총괄 |
| | / 연 구 위 원 | 김 긍 환 | 순환골재콘크리트기준 설정 및 분석 |
| | / 책임연구원 | 유 영 찬 | 순환골재콘크리트기준 설정 및 분석 |
| | / 선임연구원 | 이 문 환 | 건설잔토 및 폐유리 처리기술 개발 |
| | / 선임연구원 | 송 태 협 | 건설잔토 및 폐유리 처리기술 개발 |
| | / 연 구 원 | 심 종 우 | 건설잔토 및 폐유리 처리기술 개발 |
| | / 연 구 원 | 최 기 선 | 순환골재콘크리트 실험 |
| | / 연 구 원 | 김 두 호 | 건설잔토 및 폐유리 관련 자료조사 |
| | / 연 구 원 | 윤 상 혁 | 건설잔토 처리기술 개발 및 실험 |
| | / 연구보조원 | 진 보 경 | 건설잔토 실험Data정리 |
| | / 연구보조원 | 전 찬 수 | 건설잔토실험 |
| (주)지피코리아 | / 수석연구원 | 천 기 화 | 연구계획 및 총괄관리 |
| | / 선임연구원 | 윤 상 원 | 업무분석 |
| | / 연 구 원 | 강 동 철 | 업무분석 |
| | / 연 구 원 | 이 효 진 | 업무분석 |
| | / 연 구 원 | 이 종 호 | 프로그램 코딩 |
| | / 연 구 원 | 황 진 희 | 업무설계 |
| | / 연 구 원 | 권 성 희 | 업무설계 |
| 중앙대학교 | / 수석연구원 | 조 윤 호 | 연구계획 및 총괄관리 |
| | / 수석연구원 | 임 남 웅 | 연구계획 및 관리 |
| | / 선임연구원 | 김 인 태 | 공용성 평가 |
| | / 연 구 원 | 이 인 호 | 포장 관련 자료 수집 |
| | / 연 구 원 | 김 득 수 | 도로포장 재료의 경제성 분석 |
| | / 연 구 원 | 박 민 영 | 도로포장기술 실험 |
| | / 연구보조원 | 한 상 준 | 도로포장기술 실험 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | / 연구보조원 | 이 은 섭 | 도로포장기술 실험 |
| | / 연구보조원 | 임 근 환 | 도로포장기술 실험 |
| 한밭대학교 | / 수석연구원 | 송 하 영 | 2세부 연구총괄 |
| | / 수석연구원 | 이 상 수 | 연구전반기획 및 총괄 |
| | / 연 구 원 | 이 건 모 | 세부연구수행 |
| | / 연 구 원 | 김 재 환 | 세부연구수행 |
| | / 연구보조원 | 임 현 웅 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 이 종 석 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 김 주 상 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 노 형 남 | 연구진행보조 |
| 충남대학교 | / 수석연구원 | 김 규 용 | 연구기획 및 총괄 |
| | / 수석연구원 | 김 무 한 | 연구기획 및 총괄 |
| | / 연 구 원 | 조 봉 석 | 세부연구수행 |
| | / 연 구 원 | 나 철 성 | 세부연구수행 |
| | / 연 구 원 | 김 영 덕 | 세부연구수행 |
| | / 연구보조원 | 김 영 선 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 이 의 배 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 남 정 수 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 최 형 길 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 김 영 봉 | 연구진행보조 |
| | / 연구보조원 | 이 태 규 | 연구진행보조 |
| (주)거산기계 | / 연구소장 | 배 효 동 | 연구계획 및 연구총괄 |
| | / 연구위원 | 곽 광 훈 | 장치설계 및 기술자료 |
| | / 책임연구원 | 배 영 재 | 장치설계 |
| | / 책임연구원 | 오 창 욱 | 기술정보 |
| | / 연 구 원 | 정 유 철 | 장치설계 및 시뮬레이션 |
| | / 연 구 원 | 정 임 식 | 시스템 제작 및 성능평가 |
| | / 연 구 원 | 신 정 식 | 시스템 제작 및 성능평가 |
| | / 연 구 원 | 정 일 섭 | 성능평가 |
| (주)대동종합건설 | / 부 회 장 | 곽 규 환 | 연구총괄 |
| | / 연구소장 | 김 순 호 | 연구기획 및 시스템 설계 |
| | / 이 사 | 최 석 림 | 공사담당 |
| | / 이 사 | 이 양 원 | 공사관리 |
| | / 선임연구원 | 성 진 경 | 소재개발 |
| | / 선임연구원 | 최 재 영 | 소재개발 |
| | / 연 구 원 | 이 상 진 | 소재개발 |
| | / 연 구 원 | 하 재 성 | 유해성 평가 |
| | / 연 구 원 | 강 창 수 | 시험분석 |
| | / 연 구 원 | 김 재 준 | 시험분석 |
| 공주대학교 | / 부 교 수 | 김 진 만 | 연구기획 및 총괄 |
| | / 조 교 수 | 김 길 희 | 세부연구 기획 |
| | / 위촉연구원 | 곽 은 구 | 세부연구추진 |
| | / 연 구 원 | 강 철 | 세부연구추진 |
| | / 연구원보조 | 김 하 석 | 세부연구추진 |
| | / 연구원보조 | 최 덕 진 | 연구진행보조 |
| | / 연구원보조 | 이 대 근 | 연구진행보조 |
| | / 연구원보조 | 한 상 일 | 연구진행보조 |
| (주)엘씨엠 | / 수석연구원 | 정 희 병 | 연구총괄 |
| | / 선임연구원 | 조 문 식 | 연구계획 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| | / 선임연구원 | 오 세 출 | 연구계획 및 분석 |
| | / 연 구 원 | 김 세 환 | 실험 및 조사 |
| ■ 위탁연구기관 참여연구원 | | | |
| (주)인트켐 | / 수석연구원 | 박 동 철 | 폐유리 연구관리 |
| | / 선임연구원 | 양 완 희 | 폐유리 처리기술 검토 |
| | / 연 구 원 | 최 해 영 | 처리기술 검토 및 실험 |
| | / 연 구 원 | 이 영 화 | 처리기술 검토 및 실험 |
| | / 연 구 원 | 민 태 수 | 처리기술 검토 및 실험 |
| 경북대학교 | / 부 교 수 | 홍 원 화 | 연구 총괄 |
| | / 연 구 원 | 손 병 훈 | 원단위 조사 |
| | / 연 구 원 | 신 용 철 | 원단위 조사 |
| | / 연 구 원 | 정 응 혁 | 원단위 조사 |
| | / 연 구 원 | 김 강 민 | 원단위 조사 |

# 요 약 문

## Ⅰ. 제 목

**○ 총괄연구과제 : 건설폐기물 재활용 기술개발**

**○ 협동연구과제**

**① 제 1 세부과제 : 건설폐기물 재활용 기반구축기술 개발**

◦ 제 1 협동연구 : 순환골재 콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토 및 폐유리를 재활용한 건자재 개발 및 적용기술 개발

◦ 제 2 협동연구 : 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술 개발

◦ 제 3 협동연구 : 순환골재를 사용한 도로기층용 아스팔트 콘크리트 포장의 재료 및 시공기술 개발

◦ 제 1 위탁연구 : 건설폐유리를 재활용한 유리타일 및 유리블럭 개발

**② 제 2 세부과제 : 건설폐기물 재활용 생산시스템 개발**

◦ 제 4 협동연구 : TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산시스템 개발

◦ 제 5 협동연구 : 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론방식의 순환모래 이물질 제거장치 개발

◦ 제 6 협동연구 : 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발

**③ 제 3 세부과제 : 건설폐기물 재활용 제품개발 연구**

◦ 제 7 협동연구 : 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발

◦ 제 8 협동연구 : 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발

◦ 제 9 협동연구 : 폐기물 재활용률 제고를 위한 해체현장 합리화 및 폐폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조, 시공 기술 개발

◦ 제 10 협동연구 : 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용기술 개발

◦ 제 2 위탁연구 : 건설폐기물의 원단위 기준 개발

# Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

## 1. 연구개발의 목적

본 연구는, 지금까지 국토해양부, 환경부 등 정부부처에서 각종 국책사업의 발주를 통하여 다양한 건설폐기물의 재활용기술들을 개발해 왔음에도 불구하고 국가적인 차원에서 전체적인 재활용률의 향상이 부진하다는데 착안하였음.

특히, 이러한 부진의 원인이 건설폐기물의 발생, 처리 및 재활용 단계까지의 체계적이고 종합적인 기술개발이 미흡하였다는 현실분석에 근거하였음.

따라서 건설폐기물의 재활용 단계별로 명확한 프로세스로 구분하고, 각 단계별로 필요한 요소기술들을 개발하는 것을 목표로 설정하였음.

이러한 목표달성을 위한 연구개발 목적은 개발기술의 개별 또는 복합적인 종합성과 검증을 통한 실용화를 통하여 건설폐기물의 실질 재활용률을 약 80%까지 증진시키기 위한 실용기술 개발로 설정하였음.

즉, "재활용의 계획, 발생 및 처리, 재활용 단계별 실용적 요소 및 복합기술개발을 통하여 실행 가능한 재활용기반을 구축하여 건설폐기물의 실질 재활용률 향상을 유도하고, 궁극적으로 국가자원의 절약 및 관련 산업의 활성화를 유도"하고자 하는 것임.

이러한 총괄 목표달성을 위한 세부적인 기술개발 비전 및 이를 통한 국가산업에의 기여방안을 요약하면 다음과 같음.

① 적극적인 자원의 재활용을 통한 국내 생산자원 및 수입자원을 대체함으로서 국내 사용자원의 약 40%를 대체

② 개발된 각종 생산 장치, 설비 및 정보화 시스템의 활용 및 활성화를 통하여 장치산업 및 재생자재 생산업 등 관련 산업의 활성화에 기여

③ 매립되는 건설폐기물의 감소를 통해 폐기물 매립장의 잔여용량 확보, 폐기물 처리시설의 부하경감, 그리고 현장재활용의 활성화 등을 통한 현장주변의 이산화탄소 배출 억제 등 국가 환경개선에 기여

## 2. 연구개발의 필요성

### 가. 기술적 측면

○ 건설공사에 투입된 자재들은 일정시간이 경과한 후에는 해체되어 폐기물의 형태로 배출됨. 이들 배출잔재들은 특정자재를 제외하고는 대부분 무해하며, 건설자재로서 재활용이 충분히 가능한 것들임. 이런 의미에서 건설폐기물의 대부분은 '폐기물'이 아닌 재활용이 가능한 '부산물'이며, 이들 건설부산물은 그 발생량이 생활폐기물이나 산업폐기물보다도 압도적으로 많다는 것이 문제임. 따라서 그 재활용 유무는 국가 환경문제와 결부된 중요한 사안임.

○ 통계자료를 참고할 때 1996년 약 1,030만 톤이던 건설폐기물은 2006년에는 약 6,170만 톤이 발생하여 기준시점 대비 6배 이상, 연평균 17.6%의 증가율을 보이고 있음. 건설폐기물 문제는 이러한 발생량의 증가율뿐만 아니라 전체폐기물 대비 발생비율이 1996년에 16.3%에서 2006년에는 53.0%까지 급증하였다는데 있음. 즉, 사업장이나 생활폐기물의 발생량이 같은 기간에 비슷하거나 다소 감소한데 비하여 건설폐기물은 지속적으로 증가하였고, 향후 수십 년간에 걸쳐 증가가 예상된다는 것임

○ 건설폐기물의 통계상 재활용률은 83% 이상으로 상당히 높게 나타나고 있음. 그러나 이는 중간처리장으로 반출되어 처리된 양을 재활용으로 인정한 수치일 뿐이며, 생산된 재생골재가 실제로 현장에 투입되어 사용된 실질 재활용률로는 볼 수 없음. 즉, 실질 재활용률은 약 10% 정도로 추정되고 있지만, 재생처리 이후의 통계적인 추정이 불가능하여 실질 재활용률의 집계가 어려운 것이 현실임. 이것은 현실적인 재활용정책을 구현할 수 없는 것이 가장 중요하고도 어려운 현안문제라고 할 수 있음.

### 나. 경제·산업적 측면

#### (1) 자원흐름 분석에 의한 건설폐기물의 발생량 예측 측면

○ 건설폐기물은 그 발생량이 다른 폐기물보다 압도적으로 많으며, 이것을 재이용이나 재활용하지 않는다면 수십 년 내에 한국의 국토는 건설폐기물로 뒤덮일

수도 있음. 이러한 예측은 각종 통계자료를 통해서 예측할 수 있으며, 이를 방지하기 위한 국가적인 차원에서의 기술개발이 필요함.

**(2) 우리나라의 건설폐기물 발생특성 측면**

○ 우리나라 건설폐기물의 발생량의 변화에 관련된 통계적인 수치를 참고할 때 전제 폐기물 발생량의 급격한 증가는 국가 경제 및 산업적인 측면에서 시급히 해결해야 할 큰 국가적 과제라 할 수 있음. 따라서 경제 산업적인 측면에서 건설폐기물의 재활용률 향상을 통한 건설폐기물의 저감기술 개발은 국가의 전체 폐기물을 감소시킨다는 측면에서 중요한 문제라고 할 수 있음.

**(3) 건설폐기물의 향후 동향 예측 측면**

○ 이러한 건설폐기물의 문제가 산업폐기물과 크게 다른 점은 이제 그 발생 초기 단계에 있다는 것임. 따라서 건설폐기물의 재이용 및 재활용에 대비하지 않는다면 그로인한 악영향은 더욱 심각하게 대규모로 진행될 것이라는 점에서 현시점에서 국가적인 기술개발이 절실하게 필요하다고 할 수 있음.

**(4) 미래 자연환경 보전 및 경제적인 측면**

○ 우리나라도 경제 산업의 고도화와 각종 개발에 따른 환경규제 강화, 천연자원의 고갈에 따른 대체자원의 개발 요구가 급증하고 있음. 이러한 측면에서 골재자원의 안정적인 공급과 천연자원의 보전을 위한 대체재로서 순환골재의 활용이 큰 관심을 모으고 있으며, 그에 따른 기술개발이 필요한 시점에 있음.

**따라서 상기와 같은 기술적, 경제·산업적 측면의 필요성을 참고로 할때, 건설폐기물의 재활용기술 개발은 현 시점에서 반드시 필요하며, 여타 건설공사 관련 기술개발의 수요 및 비중에 버금가는 중요한 문제라고 사료됨.**

# Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

본 연구는 건설폐기물의 발생단계부터 재생제품의 생산 및 재활용 단계까지 각 단계별 재활용 기술개발을 통하여 건설폐기물의 실질 재활용률 80% 달성"이라는 국가적 목표를 달성하기 위한 것임. 이러한 연구의 최종목표와 이를 실현하기 위한 3대 연구개발목표는 다음과 같음.

## 1. 연구개발 최종목표

건설폐기물의 발생 및 처리 전 과정에서의 재활용률 80%를 달성하기 위한 실용적 재활용 기술개발

## 2. 연구개발 3대 목표

- ○ 재활용 계획 및 설계단계에서의 재활용 기반구축 기술 개발
- ○ 발생 및 처리단계에서의 선별 및 재생자재의 생산기술 개발
- ○ 재생자재 활용단계에서의 재생제품 생산 및 활용기술 개발

이와 같은 연구의 최종목표의 실현이 가능하도록 3차년도 연구는 각 요소기술을 개발하는 단계로 설정하였음. 이와 같이 설정된 연구개발 내용은 다음과 같음.

## 3. 3차년도 연구개발 내용

① 건설폐기물 재활용계획/설계기술의 모의적용 및 시범사업 계획수립

- ○ 연구개발 기술의 시범사업 적용을 위한 계획 수립
- ○ 현장재활용 시뮬레이션 알고리즘 개발 및 해체공사 시 건설폐기물 실제 발생 원단위 산정(1)
- ○ 주거용 건물 및 산업시설물 분별해체시험적용 및 공사요령 최종(안) 제시
- ○ 천연굵은골재와 순환 잔골재 콘크리트의 특성변화가 구조부재의 역학적 성능에 미치는 영향 규명
- ○ 표준 정보처리 시스템 활용을 위한 운영방안 구축

○ 순환골재를 이용한 아스팔트 기층의 현장 시험시공 및 초기 공용성, 적용성, 생산성 분석

② 건설폐기물 처리과정의 이물질분리 선별장치 및 고품질 순환 모래 생산 장치 시제품 제작

○ 고품질 순환모래 생산시스템의 총괄 공정시스템 구성 및 성능향상 기술개발
○ 상용화용 샌드플럭스 장치의 설계/제작과 시작품 샌드플럭스 장치의 품질 검증
○ 토분 이물질 제거장치의 시제품 성능 보완 및 시스템 완성

③ 재활용 제품 생산기술 및 적용공법 개발과 현장 시험시공 계획 수립

○ 건설오니 재활용 시스템 기술평가 및 현장적용시험
○ 콘크리트 미세립분을 이용한 미장용 모르터 및 경량 콘크리트 제품 제조 기술 개발
○ 폐폴리올레핀계 재활용 자재의 현장 시험적용을 통한 시공법 확립과 양산화 기술 확립
○ 폐목재를 활용한 목질계 보드 생산기술 확보 및 실용화 기술 개발
○ 오염 건설잔토 정화시스템의 현장 적용성 및 건설잔토의 용도별 적용성 평가
○ 건설 폐유리를 활용한 폐유리 타일 물리적 성능 보완 및 폐유리 블록 제조 기술 개발

# Ⅳ. 연구개발결과

## ▣ 건설폐기물 재활용 기반구축 기술 개발

### 1. 천연굵은골재와 순환 잔골재 콘크리트의 특성변화가 구조부재의 역학적 성능에 미치는 영향 규명

- ○ 천연굵은골재와 순환잔골재 콘크리트의 성능변화 매커니즘 분석
- ○ 천연굵은골재와 순환잔골재 콘크리트를 사용한 구조부재의 역학적 특성분석을 위한 구조성능실험 (21~27MPa)
- ○ 순환골재 콘크리트 부재의 장기/내구성 규명
- ○ 일반 콘크리트와 순환골재 콘크리트의 거동 분석
- ○ 구조기준 보완사항 정리

### 2. 표준 정보처리 시스템 활용을 위한 운영방안 구축

- ○ 건설폐기물 관련업체 표준정보처리시스템 운영
- ○ RFID와 PDA를 이용한 전자인계 연동프로그램 운영
- ○ 순환골재 품질인증 제품 사후관리 시스템 운영
- ○ 유사업무 시스템과 연계시스템 구축 및 실현

### 3. 순환골재를 이용한 아스팔트 기층의 현장 시험시공 및 초기 공용성, 적용성, 생산성 분석

- ○ 순환골재 적용을 위한 고점도 아스팔트 선정 기준 수립
- ○ 순환골재의 아스팔트 기층용 적용을 위한 골재물성 평가 및 환경적 용출 특성 분석
- ○ 순환골재를 적용한 기층용 아스팔트 혼합물 배합설계
- ○ 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조성능 및 공용성 평가
- ○ 현장 시험 시공 및 초기 공용성 평가
- ○ 천연골재와 순환골재, 재생골재의 경제성 평가

### 4. 건설폐기물의 현장재활용 계획기법 및 원단위 기준개발연구

- ○ 건설폐기물 재활용 연구개발 기술의 시범사업 적용을 위한 계획 수립
- ○ 현장재활용 시뮬레이션 알고리즘 개발 및 이산화탄소 배출량 분석
- ○ 건설폐기물의 종류별 원단위 지표개발

## ▣ 건설폐기물 재활용을 위한 선별 및 생산시스템 개발

### 1. 고품질 순환모래 생산시스템의 총괄 공정시스템 구성 및 성능향상 기술 개발

- ○ 입도개선을 위한 전처리 장치 및 공정개선
- ○ 입형개선 및 분리효율 향상을 위한 건식비중분리장치 및 공정 개선과 고품질 순환모래의 품질평가
- ○ 미분말의 효율적 집진을 위한 집진장치 및 공정 개선

### 2. 상용화용 샌드플럭스 장치의 설계/제작과 시작품 샌드플럭스 장치의 품질 검증

- ○ 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계(150Ton/hr)
- ○ 시작품 샌드플럭스 장치의 운전조건 및 생산기술 확립
- ○ 시작품 샌드플럭스 장치에서 생산된 순환모래의 품질 검증

### 3. 토분 이물질 제거장치의 시제품 성능 보완 및 시스템 완성

- ○ 토분 이물질 제거장치의 1차 시제품 성능 보완
- ○ 시제품에서 생산된 토분의 활용용도 연구
- ○ 성능 보완된 2차 시제품의 제작 및 성능 평가

### 4. 주거용건물 및 산업시설물 분별해체시험적용 및 공사요령 최종(안) 제시

- ○ 건설폐기물 관련법률 개정내용 분석
- ○ 건설폐기물 재활용정책의 현황 분석
- ○ 주거용건물 분별해체공사요령(안) 제시
- ○ 건설폐기물 관련법률·지침 개정내용 중 분별해체관련 사항 분석
- ○ 건설폐기물 재활용정책의 현황분석
- ○ 산업시설물 분별해체공사요령(안) 작성, 제시
- ○ 건폐법 령 제9조 단서조항 개정(안) 제안
- ○ 주거용 건물 및 산업시설물 분별해체 시험시공 및 결과 분석

## ▣ 건설폐기물을 이용한 재활용 제품 및 적용기술 개발

### 1. 건설오니 재활용 시스템 기술평가 및 현장적용시험

- ○ 활용기술의 이론적 정립
- ○ 재활용 기술 경제성 평가
- ○ 오니 및 대상토의 특성 정립과 고화재 배합설계 개발
- ○ 시범사업 추진 준비

### 2. 콘크리트 미세립분을 이용한 미장용 모르터 및 경량 콘크리트 제품 제조 기술 개발

- ○ 콘크리트 세립분을 이용한 미장용 모르터의 제조기술 개발
- ○ 미장용 모르터 및 수열합성 제품 생산용 pilot plant 시스템 설계
- ○ 기존 plant를 이용한 시험 생산
- ○ 콘크리트 미립분을 이용한 경량블록 및 정수용 필터의 제조 기술 및 적용기술 개발

**3. 폐폴리올레핀계 재활용 자재의 현장 시험적용을 통한 시공법 확립과 양산화 기술 확립**

- ㅇ 양산화 기술 개발
- ㅇ 시공기술 및 공법 개발
- ㅇ 인조잔디 하부 완충배수층으로 시험 적용
- ㅇ 현장시험 및 적용성 분석

**4. 폐목재를 활용한 목질계 보드 생산기술 개발 및 실용화 기술 개발**

- ㅇ 요구성능별 특성 평가
- ㅇ 목질계보드의 시제품 제작
- ㅇ 시공방법 및 디테일 도면 작성

**5. 오염 건설잔토 정화시스템의 현장적용성 및 건설잔토의 용도별 적용성 평가**

- ㅇ 유류오염 건설잔토 정화처리 시스템 개선 및 현장적용성 평가
- ㅇ 정화된 건설잔토의 관로공사용 골재 등 용도별 적용성 평가 및 분석

**6. 건설 폐유리를 활용한 폐유리 타일 물리적 성능 보완 및 폐유리 블록 제조 기술 개발**

- ㅇ 폐유리 타일의 물리적 성능 보완
- ㅇ 폐유리 블록의 최적 조성/제조 조건 도출 및 물리적 성능 확보
- ㅇ 폐유리 타일 및 블록의 경제성 평가

# Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

## 1. 건설폐기물 재활용 기반구축 기술 개발

□ 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 분야

- ○ 콘크리트 강도별 재료역학적 특성 및 콘크리트 부재의 역학적 성능을 분석하기 위한 종합적인 구조성능 실험을 통하여 순환골재 콘크리트의 구조기준을 제·개정하기 위한 기반기술을 구축함으로써 천연골재의 일부를 순환 굵은골재로 대체 가능
- ○ 레미콘 배합에 의해 생산된 순환골재 콘크리트를 이용하여 실물규모의 구조실험을 통하여 기존의 순환골재의 품질기준을 검증함으로써 순환골재 콘크리트의 실물 구조물에 대한 적용성에 부분적으로 존재했던 품질 변동에 대한 선입관을 해소할 수 있는 기술자료로 활용됨으로써 순환골재의 재활용 촉진에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단됨
- ○ 천연 및 순환골재를 사용한 구조부재에서 부분적으로 관측되는 성능저하 현상을 적절히 고려할 수 있는 제반 구조설계기준이 각 설계항목별로 제·개정될 예정이며, 본 구조기준은 순환골재를 사용한 콘크리트 부재의 설계 및 시공에 즉각적으로 활용될 수 있을 것으로 판단됨
- ○ 본 연구의 당해 기술개발을 통해 순환골재에 대한 구체적인 수요가 창출되며, 실물규모의 실험결과로부터 순환골재를 사용한 콘크리트에 대한 정량적인 품질평가가 가능하게 되어 순환골재 콘크리트의 활용 확대를 통한 건설폐기물 처리업계의 경제성 확보가 가능함
- ○ 또한, 저렴한 순환골재 및 순환골재 콘크리트의 활용을 통한 국내 건설산업 경쟁력 제고에 기여하고, 건설폐기물 처리 등 환경산업분야의 경쟁력 제고와 기술보급에 기여할 수 있을 것임

□ 건설잔토 재활용 기술 분야

- ○ 오염건설잔토의 전반적인 품질 및 기술수준 파악을 통한 향후 기술개발 및 정책추진 자료 확보
- ○ 오염건설잔토의 활용 및 건자재 제조지침 작성을 통한 환경과 건설의 복합적인 발전에 기여
- ○ 오염건설잔토의 효율적인 재활용을 통해 매립지 부족 및 새로운 골재원으로서 활용을 통한 천연자원의 부족현상 해소에 기여
- ○ 관로공사용 골재로서 활용 가능
- ○ 건설폐기물중간처리 업체로 반입되는 유류오염 건설잔토 중 유류오염도에 따른 용도별 적용가능성에 대한 판단, 효율적인 처리, 활용 가능
- ○ 건설현장 조건에 따른 규정 자료 제시

□ 폐유리 재활용 기술 분야

- ○ 건설 폐유리를 활용한 유리타일 및 블록을 개발하는 기술로 건설 폐유리를 활용한 제품 제조 기술을 관련 업체에 기술 이전하는 것이 가능하며, 이에 따라 폐기물로 처리되는 건설 폐유리의 재활용율을 높일 수 있을 것으로 판단.
- ○ 건설 폐유리의 분쇄, 선별 등의 처리 기술과 세라믹 타일 및 블록의 성형, 소성, 가공 등의 제조 기술의 향상 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단

□ 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술 분야

- ○ 실시간 정보처리 인프라를 구축해 각각의 독립된 건설폐기물 관련 업체의 획기적인 정보화 능력의 향상으로 관련업체의 자발적인 운용이 가능한 시스템으로 활용
- ○ 자원의 재생에 관련된 업무처리와 동시에 각각의 독립된 건설폐기물 관련업체의 획기적인 정보화 능력의 향상
- ○ 자체차량계량시스템을 구축함으로써 건설폐기물 취급의 투명성 확보는 물론 건설폐기물 관련 산업 이외의 모든 건설 분야의 운송부분, 더 나아가서는 모든 화물을 적재한 모든 차량에 적용할 수 있을 것으로 기대

○ 구축된 인프라를 통해 정량적인 시스템을 구축하고, 각 파생된 시스템 운영방안이나 보안, 데이터 백업을 고려한 안정적인 시스템을 연계하고, 건설폐기물 관련업체들과의 업무적 연계를 통해 통합된 시스템을 구축함으로써 기존의 업무적 비효율성 향상

□ 순환골재를 사용한 도로 기층용 아스팔트 콘크리트 포장의 재료 기술 분야

○ 순환골재의 건설 자재 활용에 따른 친환경적인 도로 건설 기술 확보
폐콘크리트량이 증가하고 있는 상황에서 순환골재를 도로의 기층에 활용하고 현장 적용에 따른 공용성을 평가하여 안전하고 합리적이며 친환경적인 자원 재활용을 유도

○ 골재난의 해소 및 골재 비용의 절감으로 인한 산업 활성화
순환골재의 도로 적용이 가능해질 경우 최근 지속되고 있는 골재 난 해소에 기여, 또한 순환골재의 사용이 활성화될 경우 막대한 골재 비용이 절감될 것으로 기대

○ 건설 폐기물 매립지의 수명연장
건설폐기물을 재활용함으로써 폐기물의 반입량을 줄인다면 매립지의 사용연한을 연장

## 2. 건설폐기물 재활용을 위한 선별 및 생산시스템 개발

□ 고품질 순환모래 건식 생산시스템 개발 분야

○ 막대한 양의 폐기콘크리트 덩어리를 콘크리트용 잔골재로 재활용함으로서 건설폐기물에 의한 환경오염을 저감할 수 있으며, 특히 고품질 순환모래를 구조체 콘크리트용 잔골재로 적극 활용함으로써 건설산업용 모래 수급 불균형 문제를 해결 가능

○ 본 연구를 통해 개발될 고품질 순환모래의 건식생산방식은 가열마쇄·수처리 등 기존 순환골재 생산방식에 비해 생산성, 경제성이 우수할 뿐만 아니라, 세척수 및 슬러지 등을 발생하지 않고 2차 제품으로의 활용이 용이한 건조상태의 미분말이 배출되므로 순환모래 생산에 따른 추가적인 환경오염을 방지할 수 있음

○ 본 순환모래 생산시스템을 부순모래 및 하천모래 생산시의 미분말 분리공정 등 기타 골재생산 분야로의 확대 적용이 가능하며, 건조상태로 분리된 미분말은 보수재료 등 다양한 2차 제품에 활용이 가능할 것으로 사료됨

□ 순환모래 이물질 제거장치 개발 분야

○ 막대한 양의 폐기콘크리트 덩어리에 포함된 최대한의 이물질 분리·선별을 통하여 고부가가치 콘크리트용 잔골재로 재활용함으로서 건설폐기물에 의한 환경오염을 저감할 수 있으며, 특히 고품질 순환모래를 구조체 콘크리트용 잔골재로 적극 활용함으로써 건설산업용 모래 수급 불균형 문제를 해결할 수 있을 것으로 사료됨

○ 본 연구를 통해 개발된 이물질 분리·선별 장치를 통해 중간처리업체에서 선별하고 있는 기존의 이물질 분리·선별 방식인 수력, 풍력, 자력 등의 공정상의 간소화가 이루어짐으로써 경제성 확보 및 환경문제의 개선이 가능함
또한, 건설폐기물 중간처리업체에서는 유가 및 인건비 상승과 매립비용의 과다로 심각한 경영위기에 처해 있는 상황이며, 매립되던 건설폐기물을 순환모래로 재활용하여 판매하게 된다면 판매 이익의 증대 및 매립비용의 절감을 꾀할 수 있어 경영상 유리한 환경을 맞을 수 있을 것으로 사료됨

○ 건설폐기물을 순환모래로 재활용하면서 이물질을 정확히 분리하게 된다면 건설폐기물 파쇄업체의 깨끗한 작업현장 확보가 가능하며, 이물질이 제거된 건설폐기물이 매립지로 반입되어 매립된다면 환경보호 효과가 클 것으로 사료됨

□ 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발 분야

○ 현장적용 계획

- 국내 350여개에 이르는 건설폐기물 재활용업체에 설비를 보급하여 양질의 토분을 생산하게 함으로써 현재 단순 매립되고 있는 폐 토분의 건설현장에서의 재활용 유도

○ 실용화·제품화 계획

- 고품질 토분의 생산
- 샌드 플랜트의 원재료로 활용

- 되 메우기 공사용으로 사용
- 뒷 채움용 및 성토용 토분으로의 사용
- 도로보조기층용 잔골재 대용

○ 새로운 산업분야 창출 등으로 예상되는 활용분야 및 활용방안
- 건식기술이 전무한 유사분야(토량개선, 광산지역 오염토 처리, 쓰레기 매립장 등)로의 적용
- 화학 관련 플랜트(사료 및 시료 등) 및 비중 차를 활용 할 수 있는 유사 플랜트로의 적용

○ 산업기술에 미치는 파급효과
- 개발기술에 의해 개발되는 건설폐기물 분류장치를 통과시켜 얻어지는 양질의 토분을 활용하여 건설폐기물 재활용 비율 증대
- 순환골재 용도별 품질기준을 검토함으로 재생 토분의 용도에 관한 GUIDE LINE 제시

## 3. 건설폐기물을 이용한 재활용제품 및 적용기술 개발

□ 건설오니를 재활용한 고화재 적용기술 분야

○ 노후한 건설구조물의 해체 및 각종 건설폐기물 등에 발생되는 막대한 량의 건설 오니 및 오염토 등을 현장에서 재활용하여 성토재, 복토재 등의 유효자원으로 활용

○ 각족 토목공사 및 순환골재 생산과정에서 부산물로 발생되는 오니 등의 처리방안을 제시하여 환경오염 발생원을 근원적인 차단

○ 건설공정의 토양개량 및 오염토를 개선할 수 있는 소재로서 재사용 및 재활용이 가능한 고화재 및 오염토양 개량 시공공법을 개발하여 자원재활용으로 원재료비 및 시공공사비의 절감과 친환경적 건축공사를 시행

□ 폐콘크리트의 미세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용 기술개발 분야

○ 활용 방안

- 친환경적인 이미지 확보
- 폐콘크리트 부산물의 재활용을 통한 생산성 향상 가능
- 세계적인 기술력 개발로 인한 기업 이윤 추구 가능

○ 활용 분야

- 건설폐기물 처리 업체(순환골재 생산업체)
- 콘크리트 제품 제조회사로의 원료 공급(모르타르, 경량블록 제조업체)

○ 타 사업에 미치는 효과

- 폐기 처분하던 부산물들에 대한 연구 촉진
- 폐기 처분에 의한 처리 비용 감소 및 부산물의 자원화
- 폐기 및 매립되는 자원에 대한 경각심 고취, 재활용 필요성 제기

□ 분별해체, 현장재활용, 폐폴리올레핀폼 등의 활용 분야

○ 본 연구에서 도출한 연구결과들은 택지개발지구, 주거환경개선 및 재개발 지구 등 대규모 건설사업장에서 발생하는 건설폐기물의 현장재활용 여부를 판단 및 현장재활용 적용 고려 시 기초 자료로 활용

○ 건설폐기물의 현장재활용을 촉진

○ 관련 산업의 발전전망 예측 및 육성방안 수립을 위한 정책 자료로 활용

○ 배수 시트 및 완충재로 활용

○ 각종 구조물의 방수 보호층 등으로 활용

□ 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용기술 분야

○ 목질계보드의 대량생산

- 다양한 건자재로 활용이 기대 되며 특히 아파트 옹벽마감재 및 지붕단열재 등 새로운 분야에도 활용 가능성 있음

○ 목질계보드의 시공의 신공법 개발

- 타 건자재와 연계하여(단열재와 결합) 새로운 신자재 개발의 가능성 기대

# SUMMARY

## I. Subject

**○ General research subject : Development of technology for construction waste recycling**

**○ Collaboration research subjects**

**① Detailed subjects part 1 : Development of technology needed in building up the foundation for recycling of construction waste**

- ○ 1st collaboration study : Setting up of standards for recycled aggregate concrete and technology development of construction material using residual soil of construction and waste glass and development of the product.
- ○ 2nd collaboration study : Development of application technology needed for establishment of data process system for construction waste related companies
- ○ 3rd collaboration study : Development of material and construction technology of the base layer of asphalt concrete pavement using recycled aggregate
- ○ 1st consignment study : Development of glass tile and glass block using construction waste glass

**② Detailed subjects part 2 : Development of construction waste recycling product manufacturing system**

- ○ 4th collaboration study : Development of dry mode manufacturing system of high quality recycled sand using TS type selective separation and settling chamber
- ○ 5th collaboration study : Development of foreign substance removal equipment of cyclone type for recycled sand using differences of specific gravity and buoyancy
- ○ 6th collaboration study : Development of equipment to remove foreign substance contained in soil during the process of producing recycled aggregate

**③ Detailed subjects part 3 : Research and development of construction waste recycling products**

- ○ 7th collaboration study : Development of soil hardening material using recycled construction sludge and its application technology
- ○ 8th collaboration study : Development of construction material using small particles and fine fractions of waste concrete and its application technology

- ㅇ 9th collaboration study : Rationalization of dismantling site for enhancement of waste recycling rate and development of manufacturing and construction technology of building material using waste polyolefin
- ㅇ 10th collaboration study : Development of ligneous board using recycled construction waste wood and its application technology
- ㅇ 2nd consignment study : Development of basic units for construction waste

# II. Objective of the Research and Development

## 1. Objective of the Research and Development

This research and development were initiated with an idea that the enhancement of overall national recycling rate was inactive although recycling technology for various construction wastes have been developed up to now through placing orders of diverse national projects of government departments such as Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs and Ministry of Environment.

Especially, it was based on the realistic analysis that the reason for such inactivity was because of insufficient systematic and comprehensive development of technology covering from occurrence of construction waste to disposal and recycling stage. Accordingly, classification of processes by recycling stages of construction waste and development of elemental technology needed for each stage were set up as the targets of this study.

In order to achieve such targets, the objective of this research and development is set up as development of practical technology to increase practical recycling rate of construction waste up to about 80 % through development of practical application by way of proving each or combined general achievement of development technology.

That is to say, it is to induce enhancement of recycling rate of construction waste by establishing foundation for recycling which can be practiced through development of recycling plan, occurrence and disposal, practical elements by recycling stage and compound technology. Eventually, it is to encourage economy of national resources and revitalization of related industries.

The detailed vision for technology development and plan for contribution to national industry through the same in order to achieve such general targets are summarized as follows:

① Replacement of domestically consumed resources up to 40 % by replacing domestically produced and imported resources through active recycling of resources.

② Contribution to revitalization of related industries such as process industry and recycled material manufacturing industry through utilization and revitalization of various production equipment, facilities and information system developed.

③ Contribution to improvement of national environment such as obtainment of residual capacity of landfill for waste through reduction in the quantity of waste to be filled, reduction of load for waste disposal facilities and suppression of $CO_2$ discharge around the landfill through revitalization of recycling of landfill sites.

## 2. Necessity of the Research and Development

□ Technical side

○ The materials used for construction work are dismantled after certain period of time and discharged in the form of waste. Most of such discharged materials are of no harm except some special materials and can be satisfactorily recycled as construction material. In this sense, most of construction waste is not 'waste' but 'byproduct' which can be recycled and the problem is that the amount of these construction byproducts is overwhelmingly bigger than those of life waste or industrial waste. Accordingly, the status of recycling of such byproducts is an important matter connected to the national environment issue.

○ According to statistics, the total amount of construction waste which was about 1,020 tons in 1996 was increased to 6,170 tons, 6 times of 1996, in 2006 showing 17.6 % annual increase. The seriousness of construction waste problem is not only in such increase of the total amount but also in the fact that the proportion of construction waste in the total waste generation which was 16.3 % in 1996 was abruptly increased to 53 % in 2006. That is to say, while the amounts of waste generated from businesses and life waste were same or a little decreased during the same period of time, the amount of construction waste was continuously increased and is expected to be increased in tens of years coming.

○ The statistical recycling rate of construction material is showing a high figure of 83 %. But, this is simply a figure generated by calculating the amount delivered to intermediate disposal plants as recycling and can not be regarded as a real recycling rate of recycled aggregate produced, inputted to and used in construction sites. That is to say, though the real recycling rate is estimated to be some 10 %, it is difficult

to calculate a real recycling rate because statistical estimation for the stage after recycling disposal is impossible. This is the most important and difficult realistic problem which interrupts materialization of realistic recycling policy.

□ Economic and Industrial sides

(1) Aspect of forecasting amount of construction waste to be generated through analysis of resource flow.

○ The amount of construction waste is overwhelmingly bigger than that of other waste and the whole land of Korean may be covered with construction waste within tens of years unless it is reused or recycled. Such forecast can be made through various statistical data and development of technology to prevent such disaster is needed in national level.

(2) Aspect of characteristics of construction waste generated in Korea

○ When we refer to the statistical figures related to changes in the construction waste generated in Korea, the abrupt increase in the amount of overall waste generated is a big national task in view of the national economy and industry, which has to be urgently solved. Accordingly, development of technology to reduce construction waste through enhancement of recycling rate of construction waste is an important issue in economic and industrial aspect and in view of reduction of overall national waste.

(3) Aspect of forecasting future tendency of construction waste

○ The basic difference of such issue of construction waste from that of industrial waste is that it is in its initial stage of occurrence. Thus, it can be said that national level development of technology is urgently needed at this point because, if we do not prepare for the situation with active reusing and recycling of construction waste, bad effects of such problem will progress more seriously in a bigger scale.

(4) Aspect of preservation of natural environment of future and economy

○ In Korea, the demand for development of replacement resources is fast increasing too due to reinforcement of environmental restrictions following elevation of economy and industry and due to exhaustion of natural resources. In such a respect,

utilization of recycled aggregate as replacement material for stable supply of aggregate resource and preservation of natural resources is arousing a serious interest, for which development of technology is needed at this time.

**Accordingly, considering the necessity in technological, economical and industrial aspects, development of recycling technology for construction waste is inevitably needed at this time and is an issue of importance equivalent to the demand and weight of development technology related to other construction works.**

# III. Contents and Scope of the Research and Development

This research is to accomplish the national goal of "achieving real recycling rate of 80 % through development of recycling technology covering each stage from the occurrence of construction waste to reproduction and recycling." The final goal for such research and 3 major research and development targets to realize the goal are as follows:

## 1. Final Goal of Research and Development

Development of practical technology to achieve recycling rate of 80 % in the whole process of occurrence and disposal of construction waste

## 2. Three Major Research and Development Targets

- ○ Development of technology for construction of foundation for recycling at the stages of recycle planning and design
- ○ Development of selection and material reproduction technology at the stages of occurrence and disposal
- ○ Development of reproduction and utilization technology at the stage of utilization of the reproduced material

In order to make realization of the final goal possible, the third year research is set up as a stage of developing each elemental technology. The contents of research and development set up in such a way are as follows:

## 3. Contents of Research and Development for the Third Year

(1) Establishment of plan for recycling of construction waste and plan for simulation of design technology and model project

- ○ Establishment of plan for application of the technology of research and development to the pilot project
- ○ Development of site recycling simulation algorithm and calculation of the basic unit(1) for actual generation of construction waste when dismantling
- ○ Provision of the final draft for pilot application of pre classified dismantlement of residential buildings and industrial facilities and its construction essentials
- ○ Examination of effects of characteristic change of natural coarse aggregate and recycled fine aggregate on dynamic function of structural members.
- ○ Establishment of operation plan for utilization of standard data process system
- ○ Pilot construction of asphalt base layer at site using recycled aggregate and analysis of initial commonality, applicability and productivity.

(2) Construction of equipment to selectively separate foreign substance during disposal process of construction waste and equipment to produce high quality recycled sand

- ○ Development of technology for composition and functional improvement of general process system for production of high quality recycled sand
- ○ Design and production of sand flux equipment for commercialization and verification of the quality of prototype sand flux
- ○ Functional supplement of prototype of foreign substance removal equipment for soil and completion of the same

(3) Development of recycled product manufacturing technology and application process, and establishment of plan for pilot construction at the site

- ○ Technical assessment of construction sludge recycling system and site application test
- ○ Development of production technology for plastering mortar and light concrete products using small particles and fine fractions of concrete

- ○ Establishment of construction method and mass production technology through pilot application of recycled material of waste polyolefin at site
- ○ Obtainment of production technology of ligneous board using waste wood and development of its imagineering technology.
- ○ Assessment of site applicability of purification system for contaminated residual soil of construction and applicability of residual soil of construction by usage
- ○ Supplement of physical function of waste glass tile made of construction waste glass and development of production technology for waste glass block.

# IV. Result of the Research and Development

■ Development of Technology for Establishment of Foundation for Construction Waste Recycling

1. Examination of effects of characteristic change of natural coarse aggregate and recycled fine aggregate on dynamic function of structural members.
   - ○ Analysis of the mechanism of functional change of natural coarse aggregate and recycled fine aggregate concrete
   - ○ Structural function test(21~27 MPa) for analysis of dynamic characteristics of structural members made of natural coarse aggregate and recycled fine aggregate concrete
   - ○ Examination of long term durability of recycled aggregate concrete members
   - ○ Analysis of behaviors of general concrete and recycled aggregate concrete
   - ○ Putting in order the supplement details for structural standards

2. Establishment of operation plan for utilization of standard data process system
   - ○ Operation of standard data process system of companies related to construction waste
   - ○ Operation of electronic transfer interlocking program using RFID and PDA
   - ○ Operation of follow up management of quality certified products of recycled aggregate
   - ○ Establishment and realization of connection system with systems of similar works

3. Pilot construction of asphalt base layer at site using recycled aggregate and analysis of initial commonality, applicability and productivity

- ○ Establishment of standard for selection of high viscosity asphalt for application of recycled aggregate
- ○ Assessment of property and analysis of environmental elution characteristics of aggregate for application of recycled aggregate for asphalt base layer
- ○ Combination design for base layer asphalt mixture made using recycled aggregate
- ○ Assessment of structural function and commonality of asphalt mixture made using recycled aggregate
- ○ Pilot construction at site and initial commonality assessment
- ○ Assessment of economy of natural aggregate, recycled aggregate and reproduced aggregate

4. Research and development of planning technique for site recycling of construction waste and standard of basic unit

- ○ Establishment of plan to apply technology developed through research of construction waste recycling to pilot project
- ○ Development of simulation algorithm for site recycling and analysis of amount of CO2 discharge
- ○ Development of index for basic unit for construction waste by type

■ Development of Selection and Production System for Construction Waste Recycling

1. Development of technology for composition and functional improvement of general process system for production of high quality recycled sand

- ○ Pre treatment equipment for particle size improvement and process improvement
- ○ Dry type specific gravity separation equipment for improvement of particle shapes and separation efficiency, and process improvement and quality assessment of high quality recycled aggregate
- ○ Particle collector for efficient collection of fine powder and process improvement

2. Design and production of sand flux equipment for commercialization and verification of the quality of prototype sand flux

- ○ Design of sand flux equipment (150 ton/hr) for commercialization
- ○ Establishment of operation condition and production technology for prototype sand flux equipment
- ○ Quality verification of recycled sand produced by the prototype sand flux equipment

3. Functional supplement of prototype of foreign substance removal equipment for soil and completion of the same

- ○ Functional supplement of the first prototype of foreign substance removal equipment for soil
- ○ Study on the usage of soil produced by the prototype equipment
- ○ Production of the send prototype with function supplemented and assessment of function

3. Provision of the final draft for pilot application of pre classified dismantlement of residential buildings and industrial facilities and its construction essentials

- ○ Analysis of the revised contents of laws related to construction waste
- ○ Analysis of the status of construction waste recycling policies
- ○ Presentation of pre classified dismantlement essentials(draft)
- ○ Analysis of contents related to pre classified dismantlement among the revisions of laws and instructions related to construction waste
- ○ Analysis of status of construction waste recycling policies
- ○ Writing and presenting of pre classified dismantlement essentials(draft)
- ○ Submission of suggestion for revision(draft) of proviso in article 9 of the enforcement ordinance of Construction Waste Act
- ○ Pilot construction of pre classified dismantlement of residential buildings and industrial facilities and analysis of result

▣ Development of Recycled Product using Construction Waste and its Application Technology

1. Technical assessment of construction sludge recycling system and site application test
   - ○ Theoretical setting up of utilization technology
   - ○ Assessment of economical efficiency of recycling technology
   - ○ Setting up of characteristics of sludge and subject soil and development of hardening material design
   - ○ Basic assessment of pilot project

2. Development of production technology for plastering mortar and light concrete products using small particles and fine fractions of concrete
   - ○ Development of production technology for plastering mortar made of fine fractions of concrete
   - ○ Design of pilot plant system for production of plastering mortar and product of hydrothermal synthesis
   - ○ Pilot production using an existing plant
   - ○ Development of manufacturing and application technology for light block and water purification filter using small particles of concrete

3. Development of production technology for plastering mortar and light concrete Establishment of construction method and mass production technology through pilot application of recycled material of waste polyolefin at site
   - ○ Development of mass production technology
   - ○ Development of construction technology and method
   - ○ Pilot application to play ground base layer with artificial turf
   - ○ Site test and analysis of applicability

4. Obtainment of production technology of ligneous board using waste wood and development of its imagineering technology.
   - ○ Assessment of characteristics by function required
   - ○ Production of prototype ligneous board
   - ○ Writing of construction method and detailed drawings

5. Assessment of site applicability of purification system for contaminated residual soil of construction and applicability of residual soil of construction by usage

- ○ Improvement of purification treatment system for construction residual soil contaminated by oil and assessment of site applicability
- ○ Assessment and analysis of applicability of purified construction residual soil by usage such as aggregate for pipe line construction

6. Supplement of physical function of waste glass tile made of construction waste glass and development of production technology for waste glass block.

- ○ Supplement of physical function of waste glass tile
- ○ Deduction of optimum formation/production conditions for waste glass block and obtainment of physical function
- ○ Assessment of economical efficiency of waste glass tile and block

# V. Utilization Plan of the Result of Research and Development

1. Development of technology for construction of foundation for construction waste recycling

□ Field of establishing structural standard for recycled aggregate concrete

- ○ Establishment of base technology for enactment and revision of structural standard for recycled aggregate through synthesized structural function test for analysis of dynamic characteristics of material by strength of concrete and dynamic function of concrete members, which will enable replacement of part of natural aggregate with recycled coarse aggregate.
- ○ Great contribution to promotion of recycling of aggregate by examining quality standard of recycled aggregate through structural test of real scale using recycled aggregate concrete produced by ready mixed concrete, which can be utilized as a technical data to dissolve the preconception about quality change partly existed in applicability of recycled aggregate to real structure.
- ○ Enactment and revision of various structural design standards by each design item

are scheduled, in which functional degradation phenomenon partly seen in structural members using natural and recycled aggregate can be properly considered and it is judged that these structural standards can be immediately utilized for design and construction of concrete members made of recycled aggregate.

- ○ Generation of definite demand for recycled aggregate through development of the relevant technology of this research and provision of quantitative quality assessment for concrete made of recycled aggregate through real scale test will help construction waste disposal industry to secure economic efficiency through expansion of recycled aggregate utilization.
- ○ Also, it will contribute to enhancement of competitiveness of domestic construction industry through utilization of cheap recycled aggregate and recycled aggregate concrete, and to enhancement of competitiveness of and supply of technology for environmental industry such as construction waste disposal.

□ Field of recycling technology for construction residual soil

- ○ Obtainment of data needed for future technology development and policy promotion through grasp of overall quality and technology level of contaminated construction residual soil
- ○ Contribution to combinational development of environment and construction through utilization of contaminated construction residual soil and preparation of construction material manufacturing directions
- ○ Contribution to dissolution of insufficiency of landfill through efficient recycling of contaminated construction residual soil and of phenomenon of insufficient natural resources through utilization of the same as a new source of aggregate.
- ○ Possibility of utilizing it as aggregate for pipe line construction
- ○ Possibility of efficient disposal and utilization of construction residual soil contaminated by oil brought into construction waste intermediate treatment companies through judgment of applicability by usage depending on the degree of oil contamination
- ○ Presentation of regulation information depending on conditions of construction sites.

□ Field of recycling technology for waste glass

- ○ Enhancement of recycling rate of construction waste glass through transfer of glass tile and glass block manufacturing technology using construction waste glass to related companies.

○ Effect of enhancing processing technology such as crashing and selection of construction waste glass and manufacturing technology such as forming, firing and processing.

□ Field of application technology for establishment of data process system for companies related to construction waste

○ Epoch making enhancement of information capability of each related company through real time data process infrastructure, which can be utilized as a system for related companies to use voluntarily.

○ Processing of works related to recycling of resources and epoch making enhancement of data process capability of each individual company related to construction waste.

○ Establishment of vehicle self measurement system, which can be used not only for obtainment of transparency of construction waste handling but also for transportation part of all construction fields other than industries related to construction waste and further for all the vehicles loading all kinds of freight.

○ Improvement of the existing inefficiency of works by establishing quantitative system through constructed infrastructure, by connecting with stable system which considered operation plan for each derived system, security and data back up, and by establishing integrated system through business connection with construction waste related companies.

□ Field of technology for asphalt concrete pavement material for base layer of road using recycled aggregate

○ Obtainment of environment friendly road construction technology through utilization of recycled aggregate as construction material - Inducement of recycling of safe, reasonable and environment friendly resources through utilization of recycled aggregate for base layer of road under the condition of increasing concrete waste and assessment of commonality following site application of the same

○ Revitalization of industry through dissolution of aggregate shortage crisis and reduction of aggregate cost - Contribution to dissolution of the aggregate shortage if application of recycled aggregate to road construction becomes possible and, also, expected reduction of the aggregate cost in case use of recycled aggregate is revitalized

○ Extension of the life of landfill of construction waste - Extension of the life of landfill by reducing the amount of waste coming in through recycling of construction waste

2. Development of Selection and Production System for Construction Waste Recycling

□ Development field of dry type manufacturing system for high quality recycled sand

○ Environmental contamination by construction waste can be reduced through recycling of huge amount of waste concrete lumps as small aggregate for concrete and, especially, the supply demand unbalance problem of sand for construction industry can be solved by actively utilizing high quality recycled sand as small aggregate for structural concrete.

○ The dry type production method for high quality recycled sand to be developed though this research not only is superior in economic efficiency and productivity in comparison to the existing recycled sand production methods such as heated grinding or water treatment but also prevents additional environmental contamination following production of recycled sand as it does not generate cleaning water or sludge and produces dried fine powder which can be easily utilized as the second product.

○ This production system of recycled sand can be extensively applied to other aggregate production fields such as fine powder separation process in production of crashed sand and river sand, and the fine powder separated in dry state can be utilized for various secondary products such as repair material, etc.

□ Development field of foreign substance removal equipment for recycled sand

○ Environmental contamination due to construction waste can be reduced by recycling huge amount of waste concrete lumps as small aggregate for high add value concrete through maximum separation of foreign substance contained in the lumps and selection. Especially, supply demand unbalance of sand for construction industry can be solved by actively utilizing the high quality recycled sand as small aggregate for structural concrete.

○ Obtainment of economic efficiency and improvement of environmental problem can be achieved by realizing simplification of the process through replacing the existing foreign substance separation/selection method of water power, wind power or magnetic power of the intermediate treatment companies with the foreign substance

separation/selection equipment developed through this research. Also, the serious managerial crisis of the intermediate treatment companies caused by increase of oil price and labor cost and excessive reclamation expenses can be improved and advantageous managerial environment can be created through increase in sales profit and reduction of reclamation expenses if the construction waste which was reclaimed can be reused as recycled sand.

○ If foreign substance can be precisely separated when reusing construction waste as recycled sand, clean work sites of construction waste crashing companies can be secured and, if construction waste from which foreign substance is removed can be reclaimed in the landfill, the effect of environmental protection will be great.

□ Development field of equipment to remove foreign substance contained in soil

○ Plan for site application

- Inducement of recycling of waste soil at construction sites where it is simply filled in at present by letting construction waste recycling companies, of which the total number in the country reached 350, produce good quality soil after supplying the facilities.

○ Imagineering and commercializing plan

- Production of high quality soil
- Utilization as raw material for sand plant
- Use for refill construction
- Use as soil for backfilling and embanking
- Material to replace small aggregate for road supporting layer

○ Fields and plan for utilization expected through generation of new industrial fields, etc.

- Application to similar fields where there is no dry type technology (soil quality improvement, treatment of contaminated soil from mines, waste landfill, etc.)
- Application to chemical related plants (food and sample ore, etc.) and similar plants which can utilize difference of specific gravity

○ A ripple effect on industrial technology

- Enhancement of construction waste recycling rate by utilizing good quality soil obtained passing through the classification equipment of construction waste to be developed by the technology.
- Presentation of a guide line for usage of regenerated soil by examining quality standard of recycled aggregate by usage

3. Development of Recycled Products using Construction Waste and its Application Technology

□ Field of application technology for hardening material made of recycled construction sludge

○ Utilization of construction sludge and contaminated soil at the site as valid resources such as embanking and covering soil through recycling of huge amount of construction sludge and contaminated soil generated by dismantling of old construction structure and by various construction waste

○ Fundamental cutting off of the source for environmental contamination by presenting a plan to treat sludge, etc. generated as byproduct of various civil engineering works and recycled aggregate production.

○ Achievement of reduction of raw material cost and construction expenses and performance of environment friendly construction works by reuse of resources through development of hardening material which can be reused and recycled to improve quality of soil in construction process and technology to improve contaminated soil quality.

□ Fields of construction material development using small particles and fine fractions of waste concrete and of application technology development 1

○ Utilization plan
- Obtainment of environment friendly image
- Possibility of improving productivity through recycling of waste concrete byproduct
- Possibility of pursuing corporate profit through development of global level technology

○ Utilization fields
- Construction waste treatment companies(Recycled aggregate manufacturing companies)
- Supply of raw material to concrete product manufacturing companies (Manufacturer of mortar and light blocks)

○ Effects on other projects
- Encouragement of studies on byproducts which were scrapped
- Reduction of scrapping expenses and use of byproduct as resources
- Arousing of consciousness about resources scrapped or buried and presentation of necessity for recycling

□ Field of utilizing pre classified dismantlement, site recycling, waste polyolefin, etc.

○ Utilization of the result derived by this research as basic data in judging whether to reuse at the site the construction waste generated by large construction sites such as residence development area, residential environment improvement area and redevelopment area and when considering application of recycled material at site.

○ Encouragement for site recycling of construction waste

○ Utilization as water drain seat and cushioning material

○ Utilization as a water proof protection layer of various structures

□ Field of ligneous board development using recycled construction waste wood and application technology

○ Mass production of ligneous boards

- Expected to be used as various construction materials and, especially, it can possibly be used in new areas such as breast wall finishing and roof insulation

○ Development of new technology for production of ligneous boards

- Expected to be used for development of new material combined with other construction materials (combination with insulation material)

빈 면

# <제목 차례>


**제 1 장 서 론 ..... 1**

1. 연구개발 개요 ..... 1
2. 연구의 목적 ..... 1
3. 연구추진계획 ..... 4
4. 당해연도 연구개발 목표 ..... 6

**제 2 장 국내·외 기술개발 현황 ..... 9**

**제1절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술개발 연구 ..... 9**

1. 국내 기술개발 현황 ..... 9
2. 국외 기술 동향 ..... 17

**제2절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구 ..... 25**

1. 국내 기술 동향 ..... 25
2. 국외 기술 동향 ..... 28

**제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 투수성 아스팔트 포장의 재료 및 시공기술 개발 ..... 32**

1. 국내 연구 현황 ..... 32
2. 국외 연구 현황 ..... 36
3. 요 약 ..... 38

**제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산 시스템 개발 ..... 39**

1. 국내·외 순환잔골재 제조기술 현황 ..... 39
2. 기존 순환모래 생산기술의 문제점 및 개선방향 ..... 56

**제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환모래 이물질 제거 장치 개발 ..... 60**

1. 국내·외 기술 동향 ..... 60

**제6절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발 ... 68**

1. 국내 기술 현황 ..... 68
2. 국외 기술 현황 ..... 71
3. 국내·외 특허 동향 ..... 74

4. 기술 동향 분석 결론 ····· 80

**제7절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발 ····· 81**

1. 건설오니의 정의 ····· 81
2. 건설오니 발생규모 및 관련법규 ····· 84
3. 기술개발 현황 ····· 91

**제8절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발 · ····· 98**

1. 국내·외 미장용 모르터의 이용 기술에 대한 연구 ····· 98
2. 경량기포콘크리트블록 현황 ····· 99
3. 정수용 필터의 현황 ····· 107

**제9절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발 ····· 118**

1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발 ····· 118
2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발 ····· 130
3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발 ····· 136

**제10절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용기술 개발 ····· 137**

1. 국내기술동향 ····· 137
2. 국외기술동향 ····· 143

**제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과 ····· 149**

**제1절 순환골재콘크리트 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술 개발 연구 ····· 149**

1. 순환골재 콘크리트의 구조기준 설정 연구 ····· 149
2. 유류오염 건설잔토의 적정처리 및 재활용기술 개발 연구 ····· 217
3. 건설 폐유리를 재활용한 유리타일 및 유리블록 개발 연구 ····· 252

**제2절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구 ····· 287**

1. 건설폐기물 표준정보처리시스템 운영 ····· 287
2. 자체차량 계량시스템 운영 ····· 295
3. 순환골재 사후관리시스템 ····· 306

**제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 아스팔트 콘크리트 포장의 재료 및 시공기술 개발 ····· 311**

1. 연구개발추진 전략 및 방법 ····· 311

2. 연구 내용 ····· 313

**제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산 시스템 개발 ····· 381**

1. 입도개선을 위한 전처리 장치 및 공정개선 ····· 381
2. 입형개선 및 분리효율 향상을 위한 건식비중분리장치 및 공정 보완과 고품질 순환모래의 품질평가 ····· 393
3. 미분말의 효율적 집진을 위한 집진장치 및 공정 개선 ····· 410

**제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환모래 이물질 제거 장치 개발 ····· 418**

1. 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계 및 제작 ····· 418
2. 시작품 샌드플럭스 장치 운전조건 및 생산현황 파악 ····· 421
3. 시작품 샌드플럭스에서 생산된 순환모래의 품질검증 ····· 422
4. 연구 결과 ····· 441

**제6절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발 ····· 442**

1. 토분 이물질 제거장치 1차 시제품 성능 보완 ····· 442
2. 시제품에서 생산된 토분의 활용용도 연구 ····· 448
3. 성능 보완된 2차 시제품 제작 및 성능 평가 ····· 453

**제7절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발 ····· 458**

1. 이론적 고찰 ····· 458
2. 연구개발 이해를 위한 연구흐름도 ····· 474
3. 건설오니 고화토의 품질구분 및 적용용도 표준에 관한 시험 ····· 476
4. 건설오니를 활용한 흙도로포장재 기초시험 분석 ····· 493
6. 건설오니 고화토의 흙도로포장재 현장적용시험 ····· 510
7. 결 론 ····· 513

**제8절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발 · ····· 515**

1. 폐콘크리트 미세립분을 이용한 미장용 모르터 제조기술 확립 ····· 515
2. 미장용 모르터 및 수열합성 제품 생산용 Pilot plant 시스템 설계 ····· 526
3. 기존 Plant를 이용한 시험생산 ····· 547
4. 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록 및 정수용 필터의 제조기술 및 적용기술 확립 ····· 555

**제9절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발 ····· 580**

1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발 ····· 580

2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발 ····· 642
3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발 ····· 658

**제10절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용기술 개발 ····· 703**
1. 생산라인 적용 및 시제품 제작 ····· 703
2. 폐목질을 재활용한 목질계보드의 시공방법 결정 ····· 717
3. 결론 ····· 719

**제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도 ····· 720**

**제1절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술개발 연구 ····· 720**
1. 연구개발목표 달성도 ····· 720
2. 관련분야에의 기여도 ····· 722

**제2절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구 ····· 728**
1. 연구개발목표 달성도 ····· 728
2. 관련분야의 기여도 ····· 728

**제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 투수성 아스팔트 포장의 재료 및 시공기술 개발 ····· 730**
1. 연구개발 목표의 달성도 ····· 730
2. 연구개발 대외기여도 ····· 735

**제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산 시스템 개발 ····· 737**
1. 연구개발목표 달성도 ····· 737
2. 관련분야에의 기여도 ····· 738

**제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환모래 이물질 제거 장치 개발 ····· 739**
1. 연구개발목표 달성도 ····· 739
2. 관련분야에의 기여도 ····· 740

**제6절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발 ····· 741**
1. 연구개발 목표의 달성도 ····· 741
2. 관련분야에의 기여도 ····· 741

**제7절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발 ····· 742**
1. 당초계획 대비 연구목표의 달성도 ····· 742
2. 연구개발성과의 기여도 ····· 742

**제8절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발 · ····· 743**
1. 연구개발목표의 달성도 ····· 743
2. 관련분야에의 기여도 ····· 744

**제9절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발 ····· 745**
1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발 ····· 745
2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발 ····· 746
3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발 ····· 747

**제10절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용기술 개발 ····· 749**
1. 연구개발목표의 달성도 ····· 749
2. 연구개발 성과의 기여도 ····· 749

**제 5 장 연구개발결과의 활용계획 ····· 750**

**제1절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술 개발 연구 ····· 750**
1. 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용 ····· 750
2. 연구의 기대성과 및 파급효과 ····· 752
3. 연구의 활용계획 ····· 754

**제2절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구 ····· 755**
1. 추가연구의 필요성 ····· 755
2. 타 연구에의 응용 ····· 756
3. 기업화 추진방안 ····· 756

**제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 투수성 아스팔트 포장의 재료 및 시공기술 개발 ····· 757**
1. 연구결과의 활용 방안 ····· 757

**제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산 시스템 개발 ····· 759**
1. 추가 연구개발의 전망 ····· 759

2. 타 산업에의 파급효과 ····· 759
3. 연구개결과의 기업화 추진방안 ····· 759

**제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환모래 이물질 제거 장치 개발 ····· 761**

1. 활용계획 ····· 761
2. 연구결과의 활용방안 및 기대효과 ····· 761

**제6절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발 ····· 764**

1. 연구결과의 활용방안 및 기대효과 ····· 764

**제7절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발 ····· 766**

1. 활용방안 ····· 766
2. 연구개발성과의 파급효과 ····· 766
3. 연구개발의 부수적 효과 ····· 766

**제8절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발 · ····· 767**

1. 추가 연구개발의 전망 ····· 767
2. 추가 연구개발의 고려 ····· 767
3. 타 산업에의 파급효과 ····· 768
4. 연구개결과의 기업화 추진방안 ····· 768

**제9절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발 ····· 769**

1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발 ····· 769
2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발 ····· 770
3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발 ····· 774

**제10절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용기술 개발 ····· 776**

**제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보 ····· 777**

**제1절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술 개발 연구 ····· 777**

1. 淸水建設(시미즈건설) 기술연구소 ····· 777
2. 일본 건재시험센타 중앙연구소 ····· 787
3. 竹中工務店(다케나카 고무텐) 기술연구소 ····· 797
4. 戶田建設(도다건설) 건축공사기술부 ····· 804

**제2절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발 ·812**
1. 일본의「건설발생토 이용기준」 ····· 812
2. 기타 분리·선별 장치 ····· 816

**제3절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발 ····· 820**
1. 상해 플라스틱 및 고무박람회 APPLAS 2007 ····· 820

**제 7 장 참고문헌 ····· 829**

# <표 차례>


<표 2.1.1> 국내 연구현황(건축학회, 콘크리트학회) ····· 10
<표 2.1.2> 국내 오염토양 정화기술의 종류[환경부 고시 제2005-124호 별표 2] ··· 12
<표 2.1.3> 관련 특허 현황 ····· 15
<표 2.1.4> 폐병유리 재처리 시장 규모 ····· 15
<표 2.1.5> 국외 연구현황(일본 및 기타) ····· 17
<표 2.2.1> 국내 건설폐기물 시장규모 ····· 25
<표 2.2.2> 대표적인 국내 관련업체의 주요 공법, 설계능력, 주요품목 및 주요 생산 규모 기술 ····· 26
<표 2.2.3> 건설폐기물관련업체 지역별 분포 ····· 26
<표 2.2.4> 국외 건설폐기물 발생량 ····· 29
<표 2.2.5> 국외 폐기물 정보처리 비용 현황 ····· 29
<표 2.2.6> 대표적인 해외업체의 주요 공법, 설계능력, 주요품목 및 주요 생산규모 기술 ····· 29
<표 2.3.1> 국내 순환 골재 관련 연구 현황 ····· 33
<표 2.4.1> 대신지정에 의한 대응항목과 개요 ····· 40
<표 2.4.2> 가열 마쇄식 플랜트(移設型)의 제원·사양 ····· 41
<표 2.4.3> 가열마쇄식 장치에 의한 이설형(移設型)과 정치형(定置型)의 사양 ····· 41
<표 2.4.4> 장치의 대표적인 사양 ····· 44
<표 2.4.5> 장치의 제원·사양 ····· 48
<표 2.4.6> 기존 순환모래 제조・생산 기술의 비교 ····· 57
<표 2.5.1> (a) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황 ····· 61
<표 2.5.2> (b) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황 ····· 62
<표 2.5.3> (c) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황 ····· 63
<표 2.5.4> (d) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황 ····· 64
<표 2.5.5> (e) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황 ····· 65
<표 2.5.6> (a) 순환골재 콘크리트의 국내 연구현황 ····· 66
<표 2.5.7> (b) 순환골재 콘크리트의 국내 연구현황 ····· 67
<표 2.6.1> 건설폐기물 및 토분 발생량 예측 결과 ····· 70
<표 2.6.2> 토분의 현장 재활용 목표율(환경부 계획) ····· 70
<표 2.6.3> 토분의 재활용량 예측 결과 ····· 70
<표 2.6.4> 토분 재활용에 따른 경제적 이익 ····· 71
<표 2.6.5> 국내 관련 특허 현황 ····· 75
<표 2.6.6> 국외 관련 특허 현황 ····· 78

<표 2.6.7> 풍력기술 및 진동기술 이용 장치의 기존기술현황 ····· 80
<표 2.7.1> 건설폐기물 발생량('00 ~ '04) ····· 85
<표 2.7.2> 건설폐기물 발생량('07) ····· 86
<표 2.7.3> 건설폐기물 처리 현황('00 ~'05) ····· 87
<표 2.7.4> 국내 기술 현황 ····· 92
<표 2.7.5> 일본 기술 현황 ····· 94
<표 2.7.6> 일본 건설오니 재활용 업체현황 ····· 95
<표 2.7.8> 국내 기술 현황 ····· 97
<표 2.8.1> 국내 관련 시장 규모의 현황 및 전망 ····· 98
<표 2.8.2> 모르타르 제조업의 수요 및 공급 ····· 99
<표 2.8.3> ALC 블록의 종류 ····· 100
<표 2.8.4> ALC 블록의 제원 ····· 101
<표 2.8.5> ALC의 규격 ····· 102
<표 2.8.6> ALC관련 차음기준 ····· 102
<표 2.8.7> 벽체의 차음구조인정 및 관리기준 제2장 제3조 ····· 102
<표 2.8.8> ALC 관련 단열기준 ····· 103
<표 2.8.9> 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙[별표 4] 지역별 건축물의 열관류율표 ····· 103
<표 2.8.10> AECON사의 생산블록 제원 ····· 105
<표 2.8.11> CELCON 사의 생산블록 제원 ····· 107
<표 2.8.12> 방류수 수질기준(하수도법 시행규칙 제6조제1항 관련) ····· 108
<표 2.8.13> 여과사의 규격 ····· 117
<표 2.9.1> 건설폐기물 성상현황(2005~2006년) ····· 123
<표 2.9.2> 건설업체의 연도별 수주금액 및 건설폐기물 발생량 ····· 123
<표 2.9.3> 국내 주요 재활용 관련업체 현황 ····· 124
<표 2.9.4> 국내 주요전문가 현황 ····· 125
<표 2.9.5> 국내 기술개발 수준 ····· 125
<표 2.9.6> 일본의 건설리사이클링법에 의한 분별해체 의무화 대상공사 ····· 133
<표 2.9.7> 호주에서의 주거용 건물의 분리해체 후 재사용 비율 ····· 133
<표 2.9.8> 미국의 분별해체 사례조사 결과 ····· 135
<표 2.10.1> 연료칩의 성상 ····· 139
<표 2.10.2> 독일의 폐목재 분류코드화 ····· 148
<표 3.1.1> 순환잔골재 및 재생잔골재 품질시험 결과 ····· 153
<표 3.1.2> 국내 생산 재생/순환잔골재 품질시험결과 ····· 153
<표 3.1.3> 국내 I사 순환잔골재 품질시험결과 ····· 154
<표 3.1.4> 골재의 특성 ····· 155
<표 3.1.5> 재료시험 목록 및 시험체 개수 ····· 158

<표 3.1.6> 골재의 특성 ····· 159
<표 3.1.7> 콘크리트의 배합조건 ····· 160
<표 3.1.8> 배합강도 계산값 및 실험값 비교 ····· 169
<표 3.1.9> 순환잔골재 콘크리트의 강도특성치 비교 ····· 171
<표 3.1.10> 탄성계수 규준식 ····· 172
<표 3.1.11> 순환잔골재 치환율 0% 실험결과 ····· 177
<표 3.1.12> 순환잔골재 치환율 30% 실험결과 ····· 177
<표 3.1.13> 순환잔골재 치환율 60% 실험결과 ····· 178
<표 3.1.14> 순환잔골재 치환율 100% 실험결과 ····· 178
<표 3.1.15> 재생잔골재 치환율 35% 실험결과 ····· 179
<표 3.1.16> 재생잔골재 치환율 70% 실험결과 ····· 179
<표 3.1.17> 부착강도 실험체 계획 ····· 181
<표 3.1.18> 순환잔골재 치환율에 따른 콘크리트 강도특성 ····· 183
<표 3.1.19> 수직 및 2단 수평 Pull-out 실험결과 (ld=4db) ····· 195
<표 3.1.20> 3단 수평 Pull-out 실험결과 ($l_d$=4$d_b$) ····· 195
<표 3.1.21> 휨성능 실험체 일람표 ····· 198
<표 3.1.22> 콘크리트 강도특성 ····· 198
<표 3.1.23> 실물모형 휨성능 실험결과 ····· 202
<표 3.1.24> 실험체 일람 ····· 204
<표 3.1.25> 콘크리트 강도특성 ····· 205
<표 3.1.26> 기둥 압축성능 실험 결과 ····· 208
<표 3.1.26> 전단 실험체 일람 ····· 211
<표 3.1.28> 콘크리트의 강도특성 ····· 212
<표 3.1.29> 실물모형 전단실험결과 ····· 214
<표 3.1.30> 유류오염 건설잔토 정화처리기술 선정 ····· 218
<표 3.1.31> 다이옥신 배출허용기준 ····· 219
<표 3.1.32> 2차오염(다이옥신)방지시스템 ····· 219
<표 3.1.33> 실험인자 및 측정항목 ····· 223
<표 3.1.34> 사용재료 및 정화설비 ····· 223
<표 3.1.35> BTEX 및 TPH 분석결과 ····· 225
<표 3.1.36> 실험인자 및 방법 ····· 239
<표 3.1.37> 물리적 성질 및 입도 실험결과 ····· 239
<표 3.1.38> 입도 실험결과 ····· 243
<표 3.1.39> 실험인자 및 방법 ····· 244
<표 3.1.40> 다짐 실험결과 ····· 245
<표 3.1.41> 현장밀도 실험결과 ····· 246
<표 3.1.42> 평판재하 실험결과 ····· 247

<표 3.1.43> 함수비 실험결과 ····· 247
<표 3.1.44> 직접전단 실험결과 ····· 248
<표 3.1.45> 입도 실험결과 ····· 249
<표 3.1.46> 2차년도 연구성과 ····· 252
<표 3.1.47> 폐유리 타일의 목표 성능 ····· 253
<표 3.1.48> 시험 요소 ····· 253
<표 3.1.49> 소결 이론 모델 ····· 258
<표 3.1.50> 폐유리 블록 제조 방법 ····· 261
<표 3.1.51> 원재료의 화학 조성 ····· 262
<표 3.1.52> 배토의 제조 방법 ····· 265
<표 3.1.53> 배토의 시험 인자 ····· 265
<표 3.1.54> 수분함량에 따른 배토의 가소성 ····· 267
<표 3.1.55> 폐유리 함량에 따른 배토의 가소성 ····· 268
<표 3.1.56> 가소제의 종류에 따른 배토의 가소성 ····· 269
<표 3.1.57> 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 압축강도 ····· 272
<표 3.1.58> 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 흡수율 ····· 274
<표 3.1.59> 폐유리 타일의 물리적 성능 비교 평가 ····· 277
<표 3.1.60> 폐유리 블록의 물리적 성능 비교 평가 ····· 277
<표 3.1.61> 타일의 분류 ····· 280
<표 3.1.62> 제조 원가 구조 ····· 282
<표 3.1.63> 내장타일 생산업체별 출하 현황 ····· 282
<표 3.1.64> 바닥타일 생산업체별 출하 현황 ····· 283
<표 3.1.65> 주요 블록 업체별 현황 ····· 283
<표 3.1.66> GR F 4014, 재활용 점토 블록 인증 업체 ····· 284
<표 3.1.67> 폐유리 타일과 목표 제품의 비교평가 ····· 285
<표 3.1.68> 폐유리 블록과 목표 제품의 비교평가 ····· 286
<표 3.2.1> 성능개선을 위한 시험 항목 ····· 297
<표 3.3.1> 각 나라의 기층용 입도 분포(강민규, 세종대, 2004) ····· 315
<표 3.3.2> 이물질 함유량 실험 결과 ····· 319
<표 3.3.3> 각 재료의 LA 마모실험 결과 ····· 323
<표 3.3.4> 순환 굵은 골재와 재생 굵은 골재 물성 비교 ····· 323
<표 3.3.5> I사와 D사의 순환 잔골재 물성 ····· 323
<표 3.3.6> 폐 콘크리트 순환 골재의 화학 조성 ····· 324
<표 3.3.7> 폐 콘크리트 순환 골재의 용출 시험 결과 ····· 324
<표 3.3.8> 순환 골재의 양화 발생 층 알칼리도의 분석 ····· 330
<표 3.3.9> 배합설계 골재 치환 ····· 332
<표 3.3.10> 천연골재 배합표 ····· 334

<표 3.3.11> 순환골재, 재생골재 배합표 ····· 335
<표 3.3.12> 바인더 함량에 따른 공극률 변화 ····· 337
<표 3.3.13> 천연등급 시료군의 특성치 ····· 338
<표 3.3.14> 순환골재 시료군의 특성치 ····· 339
<표 3.3.15> 재생골재 시료군의 특성치 ····· 339
<표 3.3.16> 동탄성계수 시험항목 및 시험조건 ····· 347
<표 3.3.17> 포아송비 계산을 위한 계수 값 ····· 348
<표 3.3.18> 시편 중앙에서의 수평 변형률 계산을 위한 계수 값 ····· 349
<표 3.3.19> 하중주파수 및 결과측정범위 ····· 352
<표 3.3.20> 동탄성계수 측정값 비교 ····· 356
<표 3.3.21> Indirect Tension Test 배합표 ····· 358
<표 3.3.22> Wheel Tracking Test 배합표 ····· 364
<표 3.3.23> Wheel Tracking 시험조건 ····· 364
<표 3.3.24> 전국 고속도로의 표준 포장 두께 ····· 369
<표 3.3.25> HWLS에서의 층별 다짐 조건(백우현, 2001) ····· 371
<표 3.3.26> 공용성 평가_중·장기적 평가 ····· 375
<표 3.3.27> 천연골재, 순환골재, 재생골재 비용 비교 ····· 379
<표 3.4.1> 건식생산시스템 Ⅰ의 초기비용 분석 ····· 391
<표 3.4.2> 건식생산시스템 Ⅰ의 유지관리비용 분석 ····· 392
<표 3.4.3> 건식생산시스템 Ⅱ의 초기비용 분석 ····· 392
<표 3.4.4> 건식생산시스템 Ⅱ의 유지관리비용 분석 ····· 392
<표 3.4.5> 공정별 생산된 순환모래의 품질평가 결과 ····· 392
<표 3.4.6> 환경부하저감성 측정방법 및 관련 기준 ····· 410
<표 3.4.7> 환경부하저감성 평가 결과 ····· 414
<표 3.5.1> 기초물성 평가를 위한 대상시료의 종류 ····· 423
<표 3.5.2> 순환모래의 실험항목 및 시험방법 ····· 424
<표 3.5.3> 순환모래의 기초물성평가 결과표 ····· 426
<표 3.5.4> 모르타르 품질평가를 위한 실험계획 및 배합 ····· 431
<표 3.5.5> 순환모래의 모르타르 품질평가 평가항목 및 시험방법 ····· 432
<표 3.5.6> 순환모래의 모르타르 품질평가 결과표 ····· 432
<표 3.5.7> 콘크리트 품질평가를 위한 실험계획 및 배합 ····· 436
<표 3.5.8> 순환모래의 실험항목 및 실험방법 ····· 437
<표 3.5.9> 콘크리트 품질평가 결과 ····· 437
<표 3.6.1> 기존 송풍장치와 개선된 송풍장치의 규격 비교 ····· 442
<표 3.6.2> 생활소음 규제 기준 ····· 446
<표 3.6.3> 고정데크 및 진동플레이트 사용에 따른 이물질 제거율 비교 ····· 447
<표 3.6.4> 순환골재 용도별 판매에 따른 판매금액 비교 ····· 451

<표 3.6.5> 샘플 분석 결과 (한국건자재시험연구원) ····· 452
<표 3.7.1> 천연광물의 물리/화학적 특성 ····· 463
<표 3.7.2> 화학성분에 따른 물리적 영향 인자 ····· 464
<표 3.7.3> 유해물질 안정화에 적용되는 화합물 ····· 464
<표 3.7.4> 화합물의 불활성 반응 ····· 465
<표 3.7.5> 포틀랜트 시멘트 화학조성 ····· 468
<표 3.7.6> 포틀랜트 시멘트 산화기 ····· 469
<표 3.7.7> 활용방안별 경제성 평가 ····· 475
<표 3.7.8> 건설오니의 화학성분 및 토성분석 ····· 477
<표 3.7.9> 시험조건 ····· 478
<표 3.7.10> 건설오니 토질성상 ····· 478
<표 3.7.11> 공시체 제작조건 ····· 479
<표 3.7.12> 주요 고화재의 분류 ····· 480
<표 3.7.13> 고화재의 특성 ····· 482
<표 3.7.14> 건설오니의 화학성분 및 토성분석 ····· 483
<표 3.7.15> 배합시험 프로세스 ····· 484
<표 3.7.16> 실내배합시험 프로세스 예 ····· 485
<표 3.7.17> 시험 프로세스 ····· 486
<표 3.7.18> 건설오니 토질시험결과 ····· 487
<표 3.7.19> 개발고화재의 기초배합 시험 ····· 493
<표 3.7.20> 포장재의 염소이온 침투성 ····· 496
<표 3.7.21> 개발 고화재의 비중 측정 시험 결과 ····· 502
<표 3.7.22> 친환경 토양포장재의 투수계수 측정 시험 결과 ····· 503
<표 3.7.23> 개발 고화재의 휨강도 측정 시험 결과 ····· 504
<표 3.7.24> 친환경 토양포장재의 열전도율 시험 결과 ····· 505
<표 3.7.25> 염화물 이온 침투 저항시험 결과 ····· 505
<표 3.7.26> 현장적용시험 세부내용 ····· 510
<표 3.7.27> 평가항목에 따른 시험결과 ····· 511
<표 3.8.1> 공정별 세부사항 ····· 521
<표 3.8.2> 실험배합 ····· 522
<표 3.8.3> 일반미장용 건조 모르터의 물리성능 ····· 523
<표 3.8.4> 제품별 물리적 성질 ····· 523
<표 3.8.5> 세부 설비의 용량 및 수량 ····· 526
<표 3.8.6> 각 공정의 명칭 및 세부설명 ····· 530
<표 3.8.7> ALC와 WCS를 이용한 경량기포콘크리트의 제조공정의 차이점 ····· 532
<표 3.8.8> 분체계 저장고 설비 제원 ····· 534
<표 3.8.9>. 액상계 저장고 설비 제원 ····· 534

<표 3.8.10> 공정 C103의 설비 제원 ····· 535
<표 3.8.11> 기포액 저장고 설비 제원 ····· 535
<표 3.8.12> 기포발생기 설비 제원 ····· 536
<표 3.8.13> 기포계량 설비 제원 ····· 537
<표 3.8.14> 믹서 설비 제원 ····· 537
<표 3.8.15> 몰드 설비 제원 ····· 538
<표 3.8.16> 전치양생고 설비 제원 ····· 538
<표 3.8.17> 증기양생고 설비 제원 ····· 539
<표 3.8.18> 오토클레이브 설비 제원 ····· 539
<표 3.8.19> 절단 설비 제원 ····· 539
<표 3.8.20> 표면처리 설비 제원 ····· 540
<표 3.8.21> Pilot plant 주요설비 ····· 550
<표 3.8.22> 경량블록의 목표성능 ····· 556
<표 3.8.23> 경량블록의 호칭 치수 ····· 556
<표 3.8.24> 보통 포틀랜드 시멘트의 물리, 화학적 성질 ····· 557
<표 3.8.25> 폐콘크리트 미립분의 물리, 화학적 성질 ····· 557
<표 3.8.26> 규사분의 물리, 화학적 성질 ····· 558
<표 3.8.27> 알루미나 시멘트의 물리, 화학적 성질 ····· 558
<표 3.8.28> 소석회의 화학조성 ····· 559
<표 3.8.29> 석고원료의 화학성분 ····· 559
<표 3.8.30> 기포제의 화학적 특성 ····· 559
<표 3.8.31> 고성능감수제의 화학적 특성 ····· 560
<표 3.8.32> 경량블록의 압축강도 및 절건밀도 ····· 563
<표 3.8.33> 경량블록의 겉모양 ····· 563
<표 3.8.34> 제작치수 ····· 563
<표 3.8.35> 제작 치수의 허용차 ····· 563
<표 3.8.36> 실험계획 ····· 565
<표 3.8.37> 실험결과 ····· 567
<표 3.8.38> 정수용 필터의 목표성능 ····· 568
<표 3.8.39> 정수용 필터의 호칭 치수 ····· 568
<표 3.8.40> 계면활성제의 물리, 화학적 성질 ····· 569
<표 3.8.41> 정수용 필터의 겉모양 ····· 569
<표 3.8.42> 제작치수 ····· 570
<표 3.8.43> 제작 치수의 허용차 ····· 570
<표 3.8.44> 실험계획 ····· 573
<표 3.8.45> 배합설계 ····· 573
<표 3.8.46> 사용재료의 화학조성 ····· 574

<표 3.8.47> 실험계획 ····· 577
<표 3.8.48> 실험배합 ····· 577
<표 3.8.49> 흙의 투수성에 따른 투수시험의 종류 ····· 579
<표 3.9.1> 인트켐 시범 적용 계획 ····· 583
<표 3.9.2> 대동종합건설 시범 적용 계획 ····· 585
<표 3.9.3> 공주대학교 시범 적용 계획 ····· 586
<표 3.9.4> 엘씨엠 시범 적용 계획 ····· 587
<표 3.9.5> 시범사업 추진회의 ····· 588
<표 3.9.6> 건설폐기물 발생량 입력 ····· 589
<표 3.9.7> 순환골재 사용처별 소요량의 예 ····· 590
<표 3.9.8> 현장여건/도로상태에 따른 차량속도 ····· 591
<표 3.9.9> 현장재활용 공종별 투입장비 ····· 591
<표 3.9.10> 차량속도 및 운반거리에 따른 운반단가 회귀식 ····· 592
<표 3.9.11> 에너지별 이산화탄소 배출원단위 ····· 593
<표 3.9.12> 구조물 해체 공정의 작업능력 및 단위 연료소비량 ····· 595
<표 3.9.13> 해체과정에서 사용한 장비 및 $CO_2$ 배출량 ····· 595
<표 3.9.14> 현장재활용 공정의 작업능력 및 단위 연료소비량 ····· 596
<표 3.9.15> 현장재활용 시 $CO_2$ 발생량 ····· 597
<표 3.9.16> 중간처리업체의 순환골재생산 공정 및 $CO_2$ 발생량 ····· 598
<표 3.9.17> 운반거리에 따른 이산화탄소 배출량 ····· 598
<표 3.9.18> 산림골재 생산공정 및 $CO_2$ 배출량 ····· 599
<표 3.9.19> 운반거리와 속도에 따른 트럭 수 ····· 600
<표 3.9.20> 폐콘크리트 발생량에 따른 운행횟수 ····· 601
<표 3.9.21> 현장재활용 및 중간처리업체의 연도별 이산화탄소 발생량 ····· 602
<표 3.9.22> 현장재활용 및 산림골재의 연도별 이산화탄소 발생량 ····· 603
<표 3.9.23> 운반거리에 따른 이산화탄소 배출량 비율 ····· 603
<표 3.9.24> 이산화탄소 배출량 차이 ····· 604
<표 3.9.25> 소음에 관련한 민원 발생기준 및 대책 ····· 605
<표 3.9.26> 부곡동 267-67번지의 설계수량(단위: $m^3$) ····· 609
<표 3.9.27> 건설폐기물 발생량 ····· 614
<표 3.9.28> 불법투기류 및 방치생활폐기물량 ····· 614
<표 3.9.29> 기존 원단위 분류 체계 ····· 615
<표 3.9.30> 변경된 원단위 분류 체계 ····· 616
<표 3.9.31> 신천 주거환경개선지구의 원단위 ····· 617
<표 3.9.32> 건축물 폐재류의 적정처리 및 재활용 방안의 원단위 ····· 618
<표 3.9.33> 부천상동지구 발생폐기물 재활용처리 방안에 관한 연구의 원단위 ·· 618
<표 3.9.34> 건설폐기물 분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구의 원단위 619

<표 3.9.35> 건설 표준품셈 원단위 자료의 원단위 ····· 619
<표 3.9.36> 건설현장 폐기물 관리지침의 원단위 ····· 620
<표 3.9.37> 원단위 적용 방법 ····· 620
<표 3.9.38> 원단위 참고문헌 및 연구기관 ····· 621
<표 3.9.39> 화성시 샘플 원단위와 원단위 적용 결과 ····· 621
<표 3.9.40> 부산시 샘플 원단위와 원단위 적용 결과 ····· 622
<표 3.9.41> 건설폐기물 성상별 구분 ····· 624
<표 3.9.42> 빈도 통계량 ····· 625
<표 3.9.43> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 기술통계 ····· 626
<표 3.9.44> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산의 동질성에 대한 검정 ····· 627
<표 3.9.45> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산분석 ····· 627
<표 3.9.46> 지붕 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 기술통계 ····· 628
<표 3.9.47> 지붕 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산의 동질성에 대한 검정 ····· 629
<표 3.9.48> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산분석 ····· 629
<표 3.9.49> 면적과 각 건설폐기물 종류별 상관분석 ····· 630
<표 3.9.50> 폐블록 단순회귀모형 계수(a) ····· 631
<표 3.9.51> 폐블록 실제 발생량과 회귀식에 의한 발생량의 통계량 ····· 631
<표 3.9.52> 폐기와 단순회귀모형 계수(a) ····· 632
<표 3.9.53> 폐목재 단순회귀모형 계수(a) ····· 632
<표 3.9.54> 폐합성수지류 단순회귀모형 계수(a) ····· 633
<표 3.9.55> 폐유리 단순회귀모형 계수(a) ····· 633
<표 3.9.56> 폐슬래트 단순회귀모형 계수(a) ····· 634
<표 3.9.57> 주거용 건축물의 건설폐기물 발생원단위 제안 ····· 634
<표 3.9.58> 빈도 통계량 ····· 635
<표 3.9.59> 상업용 건축물 기술통계량 ····· 635
<표 3.9.60> 분산의 동질성에 대한 검정 ····· 637
<표 3.9.61> 분산분석 ····· 638
<표 3.9.62> 면적과 각 건설폐기물 성상별 상관분석 ····· 638
<표 3.9.63> 폐콘크리트 단순회귀 모형계수 ····· 639
<표 3.9.64> 일표본 통계량 ····· 639
<표 3.9.65> 폐벽돌 단순회귀 모형계수 ····· 639
<표 3.9.66> 폐목재 단순회귀 모형계수 ····· 640
<표 3.9.67> 폐금속류 단순회귀 모형계수 ····· 640
<표 3.9.68> 폐유리 단순회귀 모형계수 ····· 640
<표 3.9.69> 상업용 건축물의 건설폐기물 발생원단위 제안 ····· 641

<표 3.9.70> 건설폐기물 발생원단위 산출식 ····· 641
<표 3.9.71> 건설폐기물 재활용 목표 및 실적 ····· 643
<표 3.9.72> 순환골재의 용도별 생산량 및 활용 현황 ····· 643
<표 3.9.73> 순환골재의 용도별 판매현황 ····· 644
<표 3.9.74> 분별해체공사요령(안) 일반사항 ····· 646
<표 3.9.75> 분별해체요령(안)의 장별 내용 ····· 646
<표 3.9.76> 제안요령(안)에 반영된 폐기물 관련법 규정내용 요약 ····· 649
<표 3.9.77> 주거용건물 해체작업 실사 결과 ····· 654
<표 3.9.78> 산업시설물 해체작업 실사 결과 ····· 657
<표 3.9.79> 시험 및 검사 ····· 662
<표 3.9.80> 한계하강 높이 측정 ····· 668
<표 3.9.81> 오염 한계 기준 ····· 669
<표 3.9.82> 분석 보정계수 ····· 669
<표 3.9.83> 한계하강높이 결과 ····· 670
<표 3.9.84> 유해 원소용출시험 결과 ····· 670
<표 3.9.85> 고무칩 포장재 종류별 특성 ····· 672
<표 3.9.86> 인조잔디 종류별 특성 ····· 675
<표 3.9.87> 적용단면별 경제성 분석 ····· 677
<표 3.9.88> Tmax 산정결과 ····· 682
<표 3.9.89> 침출수 최대 누적수위(hmax ) 산정결과 ····· 682
<표 3.9.90> 배수층 포설두께 산정결과 ····· 683
<표 3.9.91> 본 지반에서 적용된 토질별 물성치 ····· 685
<표 3.9.92> 배수재 인장력의 변화 ····· 690
<표 3.9.93> 배수재 인장력의 변화 ····· 691
<표 3.9.94> 시험시공 프로세스별 주요 내용 ····· 698

<표 3.10.1> 여러수종의 I.I치와 첨가제 혼합에 따른 I.I치 ····· 704
<표 3.10.2> 시멘트의 물리적 특성 ····· 705
<표 3.10.3> 시멘트의 화학적 성능 ····· 705
<표 3.10.4> 폐목재의 특성 ····· 706
<표 3.10.5> 응결촉진제의 특성 ····· 706
<표 3.10.6> 목모 및 목편의 혼합목질계보드 제작과정 ····· 707
<표 3.10.7> 재령 28일 실험 결과 ····· 709
<표 3.10.8> 원목 목모의 물리적 특성 ····· 712
<표 3.10.9> 시멘트의 물리적 성질 ····· 713
<표 3.10.10> 백색 포틀랜드시멘트의 화학적 성분 ····· 713
<표 3.10.11> 경화촉진제의 특성 및 성분 ····· 714

<표 3.10.12> KS F ISO 5660-1에 의한 성능기준 ····· 715
<표 3.10.13> 난연시험 결과 ····· 716
<표 4.1.1> 폐기물 종류별 매립지 반입현황(수도권 매립지) ····· 726
<표 6.1.1> 유류오염의 법적 기준 ····· 789
<표 6.1.2> 유분 측정법 ····· 789
<표 6.1.3> WRAP(The Waste & Resources Action Programme, England 2005) ···
····· 811
<표 6.2.1> 토질구분기준 ····· 814
<표 6.2.2> 토질구분판정을 위한 조사시험방법 ····· 815
<표 6.2.3> 적용용도표준 ····· 815

# <그림 차례>

[그림 1.1.1] 연구개발의 비전 ····· 2
[그림 1.1.2] 건설폐기물 재활용 기술개발 비전의 발전방향 ····· 2
[그림 1.1.3] 연차별 연구추진계획 ····· 6
[그림 2.1.1] 오염토양정화사업 적용기술현황(2000~2006년) ····· 14
[그림 2.4.1] 가열마쇄법의 이미지 ····· 41
[그림 2.4.2] 가열마쇄식 플랜트의 플로우 ····· 41
[그림 2.4.3] 편심로터식 처리장치의 주요부 ····· 44
[그림 2.4.4] 기존의 중간처리시설에 설치한 경우 처리 플로우 ····· 45
[그림 2.4.5] 스크류마쇄식 처리장치의 단면도 ····· 47
[그림 2.4.6] 스크류마쇄식 처리방법의 시작플랜트 (평면도) ····· 48
[그림 2.4.7] 비중선별장치 ····· 49
[그림 2.4.8] 비중판별식의 제조 플로우 (京星社) ····· 49
[그림 2.4.9] 선회마쇄식의 장치 개요 ····· 51
[그림 2.4.10] 선회마쇄판식에 의한 제조 플로우 ····· 51
[그림 2.4.11] 물세척 방식에 의한 고품질 순환모래의 제조공정 플로우 ····· 54
[그림 2.4.12] 풍력 선별방식에 의한 고품질 순환모래의 제조공정 플로우 ····· 55
[그림 2.4.13] 기존 순환모래 제조·생산 기술의 문제점 및 개선방향 ····· 58
[그림 2.7.1] 건설오니 발생현황 ····· 82
[그림 2.7.2] 건설오니(굴삭물) 처리 Flow ····· 83
[그림 2.7.3] 건설오니 발생량 분석 ····· 86
[그림 2.7.4] 국내 건설폐기물 발생량 ····· 87
[그림 2.7.5] 일본 건설폐기물 발생량 ····· 88
[그림 2.7.6] 일본 건설폐기물 최종 처분량 ····· 89
[그림 2.7.7] 국내 건설폐기물 처리 관련법규 ····· 90
[그림 2.7.8] 건설오니 고형화 후 노반재, 뒤채움재 활용 ····· 96
[그림 2.7.9] 건설오니 활용기술 ····· 96
[그림 2.9.1] 현장재활용시의 경제성 판단 자료 ····· 120
[그림 2.9.2] 폐기물 발생량 변화 추이 ····· 120
[그림 2.9.3] 건설폐기물 발생량 및 점유율 ····· 121
[그림 2.9.4] 우리나라의 분별해체 시험시공 결과에 따른 경제성 분석 결과 ····· 131
[그림 2.9.5] 歐美의 통합해체공사 시스템 일례 ····· 132
[그림 2.10.1] 압축가공 연료생산 공정 ····· 138
[그림 2.10.2] 활성탄 제조공정의 흐름도 ····· 139
[그림 2.10.3] 연료칩(Chip) 생산공정 ····· 140

[그림 2.10.4] 저밀도(목모)보드(左)와 고밀도(목편)보드(右)의 형상 ····· 141
[그림 2.10.5] 원목을 이용한 목질계보드 생산공정 ····· 142
[그림 2.10.6] 목질계보드의 적용(천장재, 흡음마감재, 방음벽) ····· 143
[그림 2.10.7] 독일의 발생원별 폐기료 부담 ····· 148
[그림 3.1.1] 2차 시험배합 공기량 및 슬럼프 경시변화 ····· 157
[그림 3.1.2] 2차 시험배합 콘크리트 압축강도 ····· 157
[그림 3.1.3] 레미콘 배합 사용 골재 ····· 159
[그림 3.1.4] 굳지 않은 콘크리트시험 ····· 161
[그림 3.1.5] 각종 재료시험 ····· 163
[그림 3.1.6] 동결융해 및 동탄성계수 측정 시험 ····· 164
[그림 3.1.7] 옥외폭로 시험 ····· 164
[그림 3.1.8] 콘크리트 크리프 시험 ····· 165
[그림 3.1.9] 시간에 따른 순환골재의 공기량 및 슬럼프 변화 ····· 166
[그림 3.1.10] 양생방법별 압축강도 특성 ····· 167
[그림 3.1.11] 압축강도 공시체크기에 따른 비교 ····· 168
[그림 3.1.12] 탄성계수-압축강도 관계 ····· 172
[그림 3.1.13] 쪼갬인장강도-압축강도 관계 ····· 173
[그림 3.1.14] 휨강도-압축강도 관계 ····· 173
[그림 3.1.15] 순환굵은골재 콘크리트의 크리프 변형 ····· 174
[그림 3.1.16] 순환잔골재 콘크리트의 크리프 변형 ····· 175
[그림 3.1.17] 철근의 부착 메커니즘(ACI, 1992) ····· 180
[그림 3.1.18] Pull-out 실험체 ····· 184
[그림 3.1.19] Pull-out 실험체 가력 및 측정 ····· 184
[그림 3.1.20] 부착내구성 시험 ····· 185
[그림 3.1.21] 수직 부착실험체 파괴양상 ····· 185
[그림 3.1.22] 잔골재 치환율에 따른 수직 부착강도 ····· 186
[그림 3.1.23] 수직 부착실험체의 콘크리트 압축강도에 다른 부착강도 분포 ····· 187
[그림 3.1.24] 철근위치에 따른 콘크리트 부착형상 ····· 188
[그림 3.1.25] 2단 수평 부착실험체의 순환골재 치환율에 따른 부착강도 ····· 188
[그림 3.1.26] 2단수평 부착실험체의 부착강도 분포 ····· 189
[그림 3.1.27] 2단수평 부착실험체의 상·하단 부착강도 비 ····· 190
[그림 3.1.28] 순환잔골재 치환율에 따른 3단수평 부착실험체 부착강도 ····· 191
[그림 3.1.29] 3단수평 부착실험체의 부착강도 분포 ····· 191
[그림 3.1.30] 3단수평 부착실험체의 상·하단 부착강도비 ····· 192
[그림 3.1.31] 동결융해에 따른 외관변화 ····· 193
[그림 3.1.32] 순환굵은골재 콘크리트의 동결융해 후 부착강도 ····· 193
[그림 3.1.33] 순환잔골재 콘크리트의 동결융해 후 부착강도 ····· 194

[그림 3.1.34] 실물모형 휨성능 실험체 형상 ····· 198
[그림 3.1.35] 실험체 설치 상황 ····· 199
[그림 3.1.36] 최종파괴 양상 ····· 200
[그림 3.1.37] 하중과 변위와의 관계 ····· 201
[그림 3.1.38] 연성비 평가 ····· 202
[그림 3.1.39] 실험값과 기존연구 비교 ····· 202
[그림 3.1.40] 기둥 실험체 제원 및 형상 ····· 205
[그림 3.1.41] 실험체 가력상황 ····· 206
[그림 3.1.42] 실물모형 압축성능 실험 파괴양상 ····· 207
[그림 3.1.43] 하중-변위 관계 ····· 207
[그림 3.1.44] 실험결과비교 ····· 208
[그림 3.1.45] 실험체의 형상 및 제원 ····· 211
[그림 3.1.46] 실험체 설치상황 ····· 212
[그림 3.1.47] 실험체의 파괴양상 ····· 213
[그림 3.1.48] 사용골재에 따른 하중-처짐관계 ····· 214
[그림 3.1.49] 전단강도 실험값과 기준값의 비교 ····· 215
[그림 3.1.50] 오염 건설잔토 정화처리 공정(안) ····· 220
[그림 3.1.51] 저온가열처리 중 다이옥신 발생 ····· 220
[그림 3.1.52] 다이옥신 분석결과 ····· 221
[그림 3.1.53] 가열방법의 정화특성 검토결과 ····· 222
[그림 3.1.54] 유류오염 건설잔토 세척정화 장치(Pilot) ····· 224
[그림 3.1.55] 계면활성제 첨가율에 따른 BTEX(mg/kg) 농도 ····· 226
[그림 3.1.56] 계면활성제 첨가율에 따른 TPH(mg/kg) 농도 ····· 227
[그림 3.1.57] 세척시간에 따른 BTEX(mg/kg) 농도 ····· 228
[그림 3.1.58] 세척시간에 따른 TPH(mg/kg) 농도 ····· 228
[그림 3.1.59] 유류오염율에 따른 BTEX(mg/kg) 농도 ····· 229
[그림 3.1.60] 유류오염율에 따른 TPH(mg/kg) 농도 ····· 230
[그림 3.1.61] 석유류에 따른 BTEX(mg/kg) 농도(정화전) ····· 230
[그림 3.1.62] 석유류에 따른 BTEX(mg/kg) 농도(정화후) ····· 231
[그림 3.1.63] 석유류에 따른 TPH(mg/kg) 농도(정화전) ····· 232
[그림 3.1.64] 석유류에 따른 TPH(mg/kg) 농도(정화후) ····· 232
[그림 3.1.65] 정화시간에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율 ····· 234
[그림 3.1.66] 정화시간에 따른 TPH(mg/kg) 제거율 ····· 234
[그림 3.1.67] 유류오염율에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율 ····· 235
[그림 3.1.68] 유류오염율에 따른 TPH(mg/kg) 제거율 ····· 235
[그림 3.1.69] 석유류의 종류에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율 ····· 236
[그림 3.1.70] 석유류의 종류에 따른 TPH(mg/kg) 제거율 ····· 236

[그림 3.1.71] 정화방법에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율 ····· 237
[그림 3.1.72] 정화방법에 따른 TPH(mg/kg) 제거율 ····· 237
[그림 3.1.73] 관로공사 기초되메우기 활용 ····· 238
[그림 3.1.74] 정화방법별 골재에 따른 밀도(g/㎤) ····· 240
[그림 3.1.75] 정화방법별 골재에 따른 흡수율(%) ····· 241
[그림 3.1.76] 정화방법별 골재에 따른 점토덩어리(%) ····· 241
[그림 3.1.77] 정화방법별 골재에 따른 입자모양 판정실적률(%) ····· 242
[그림 3.1.78] 정화방법별 골재에 따른 입도(%)/KS F 2573 ····· 243
[그림 3.1.79] 내구성 실험 ····· 244
[그림 3.1.80] 골재에 따른 다짐 ····· 245
[그림 3.1.81] 골재에 따른 현장밀도(g/㎤) ····· 246
[그림 3.1.82] 골재에 따른 평판재하 ····· 247
[그림 3.1.83] 골재에 따른 함수비(%) ····· 248
[그림 3.1.84] 골재에 따른 직접전단 ····· 249
[그림 3.1.85] 골재에 따른 직접전단 ····· 250
[그림 3.1.86] 폐유리 타일 제조 공정 ····· 254
[그림 3.1.87] 폐유리타일의 승온속도에 따른 치수변화 ····· 255
[그림 3.1.88] 폐유리 타일의 소성 조건 ····· 255
[그림 3.1.89] 승온속도와 폐유리 타일의 흡수율과의 상관관계 ····· 256
[그림 3.1.90] 승온속도와 폐유리 타일의 꺾임파괴하중과의 상관관계 ····· 257
[그림 3.1.91] 일반적인 점토블록 제조 방법 ····· 260
[그림 3.1.92] 폐유리 블록 원재료의 SEM 사진 ····· 263
[그림 3.1.93] 블록 원재료의 XRD patterns ····· 263
[그림 3.1.94] 폐유리 원료의 DTA curves ····· 264
[그림 3.1.95] stringer-emery 시험법 ····· 266
[그림 3.1.96] 배토의 성형 ····· 266
[그림 3.1.97] 수분함량에 따른 배토의 가소성 ····· 267
[그림 3.1.98] 폐유리 함량에 따른 배토의 가소성 ····· 268
[그림 3.1.99] 가소제의 종류에 따른 배토의 가소성 ····· 269
[그림 3.1.100] 블록의 성형 - 압축성형 프레스 ····· 271
[그림 3.1.101] 폐유리 블록 소성 조건 ····· 271
[그림 3.1.102] 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 압축강도 ····· 273
[그림 3.1.103] 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 흡수율 ····· 274
[그림 3.1.104] 폐유리 블록의 소성시간과 압축강도와의 상관관계 ····· 275
[그림 3.1.105] 폐유리 블록의 소성시간과 흡수율과의 상관관계 ····· 276
[그림 3.1.106] 폐유리 블록의 최적 소성 조건 ····· 276
[그림 3.1.107] 점토 블록의 시장 상황 여건 ····· 281

[그림 3.2.1] 표준정보처리시스템 구성도 ····· 288
[그림 3.2.2] 순환골재 사후관리 시스템 구성도 ····· 288
[그림 3.2.3] 모듈설계 ····· 289
[그림 3.2.4] 계약관리 ····· 293
[그림 3.2.5] 배차현황 ····· 293
[그림 3.2.6] 배차등록 ····· 293
[그림 3.2.7] 배차관리 ····· 293
[그림 3.2.8] 배차처리 ····· 294
[그림 3.2.9] 계량관리 ····· 294
[그림 3.2.10] 순환골재 조회 ····· 294
[그림 3.2.11] 순환골재 판매내역서 ····· 294
[그림 3.2.12] 순환골재 생산/판매대장 ····· 294
[그림 3.2.13] 순환골재 재고량 ····· 294
[그림 3.2.14] 하중 측정 장치 개념도 ····· 295
[그림 3.2.15] Lab. Scale 시험 측정 사진 ····· 296
[그림 3.2.16] 센서 Prototype 조립품 ····· 297
[그림 3.2.17] 판스프링 계략도 ····· 298
[그림 3.2.18] 판스프링 실험 장면 ····· 298
[그림 3.2.19] 판스프링 내부에 설치된 Strain gauge ····· 299
[그림 3.2.20] 판 스프링의 변위를 측정하기 위한 실차 테스트 ····· 300
[그림 3.2.21] TWMS를 사용한 적재량 측정 실험 ····· 301
[그림 3.2.22] 하중 계측을 위한 센서 장착 위치 ····· 302
[그림 3.2.23] 자체 장착식 하중 측정 센서 ····· 303
[그림 3.2.24] 순환골재 품질인증 사후관리시스템 구상도 ····· 309
[그림 3.2.25] 순환골재품질인증 사후관리시스템 모듈설계 ····· 309
[그림 3.3.1] 연구추진 전략 ····· 312
[그림 3.3.2] 연차별 연구 목표 흐름도 ····· 312
[그림 3.3.3] 사용 골재 (천연골재, I사 순환골재, D사 재생골재) ····· 314
[그림 3.3.4] 실내 실험용 혼합 입도 ····· 315
[그림 3.3.5] 밀도 및 흡수율 시험 결과 ····· 316
[그림 3.3.6] 천연골재와 순환골재, 재생골재의 단입도 별 밀도비교 ····· 317
[그림 3.3.7] 천연골재와 순환골재, 재생골재의 단입도 별 흡수율 비교 ····· 317
[그림 3.3.8] 이물질 함유량 측정 모습(KS F 2576) ····· 318
[그림 3.3.9] 편장석의 정의(KS F 2575) ····· 320
[그림 3.3.10] 편장석률 측정 ····· 320
[그림 3.3.11] 편장석률 시험 결과(두께 : 길이 = 1 : 3) ····· 321
[그림 3.3.12] LA 마모시험기 ····· 322

[그림 3.3.13] pH 조건에 따른 중금속 용출 특성 ····· 326
[그림 3.3.14] pH 조건에 따른 중금속 용출 특성, (a)Fe, (b)Al ····· 327
[그림 3.3.15] 순환 골재 충진 컬럼의 용출 실험 모식도 ····· 328
[그림 3.3.16] 순환골재 양에 따른 용출 알칼리도 ····· 329
[그림 3.3.17] 실내 실험용 혼합 입도 ····· 333
[그림 3.3.18] 아스팔트 혼합물 제작 과정 ····· 335
[그림 3.3.19] 마샬 배합설계 시편 제작 과정 ····· 336
[그림 3.3.20] 이론최대밀도 측정 과정 ····· 337
[그림 3.3.21] 밀도측정(온도25℃) ····· 338
[그림 3.3.22] 마샬안정도 시험기 ····· 338
[그림 3.3.23] 천연골재의 배합설계 그래프 ····· 340
[그림 3.3.24] 도로포장 시방기준과 시료군 특성치 비교 ····· 341
[그림 3.3.25] 순환골재의 배합설계 그래프 ····· 341
[그림 3.3.26] 재생골재의 배합설계 그래프 ····· 342
[그림 3.3.27] 선회다짐기를 이용한 실험용 시편 제작 과정 ····· 343
[그림 3.3.28] 선회다짐기를 이용한 시편 상세도 ····· 344
[그림 3.3.29] 시험 모습 ····· 345
[그림 3.3.30] 게이지 포인터 설치(순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물) ····· 346
[그림 3.3.31] 동탄성계수 하중재하 형태 ····· 346
[그림 3.3.32] 동탄성계수 시험 및 해석 절차(세종대) ····· 350
[그림 3.3.33] 측정한 데이터와 커브 핏팅을 거친 후의 변형률 데이터 비교 ····· 351
[그림 3.3.34] 동탄성계수 데이터의 해석 프로그램 ····· 351
[그림 3.3.35] Shape parameter의 정의 ····· 353
[그림 3.3.36] 동탄성계수 측정 시험 결과(천연골재) ····· 354
[그림 3.3.37] 동탄성계수 측정 시험 결과(순환골재) ····· 354
[그림 3.3.38] Shift Factor ····· 355
[그림 3.3.39] Master Curve(Reference Temperature 15℃) ····· 355
[그림 3.3.40] 간접 인장 시험 모습 ····· 357
[그림 3.3.41] 간접 인장 강도 시험 개요 ····· 357
[그림 3.3.42] 시편 제작 ····· 358
[그림 3.3.43] 시편 단면 모습 ····· 359
[그림 3.3.44] 간접 인장 시험 재하 하중 변화 ····· 359
[그림 3.3.45] 간접인장강도 - 변위 그래프 ····· 360
[그림 3.3.46] 간접인장강도 시험 후 시편 파괴 면 ····· 360
[그림 3.3.47] KIM Test 시험 모습 ····· 361
[그림 3.3.48] KIM Test 시험개요 ····· 362
[그림 3.3.49] 기존 KIM Test 시험 결과와 순환골재 시험 결과 ····· 362

[그림 3.3.50] Wheel Tracking 시험 사진 ····· 363
[그림 3.3.51] Wheel Tracking 시편 제작 ····· 363
[그림 3.3.52] 완성된 Wheel Tracking 시편 사진 ····· 365
[그림 3.3.53] 시간 - 변형량 그래프 ····· 366
[그림 3.3.54] 동적안정도 - 변형속도 그래프 ····· 367
[그림 3.3.55] HWLS 개념도 ····· 368
[그림 3.3.56] HWLS 공용성 평가를 위한 실험 단면 구성 ····· 370
[그림 3.3.57] HWLS에서의 공용성 평가 실험 모습 ····· 371
[그림 3.3.58] 정적 하중재하 및 변형률 게이지 위치 ····· 372
[그림 3.3.59] HWLS 실험 결과 ····· 373
[그림 3.3.60] 정적 하중재하 실험 결과 ····· 374
[그림 3.3.61] 현장시험 시공 단면 ····· 375
[그림 3.3.62] 현장 시험 시공 모습 ····· 376
[그림 3.3.63] FWD 시험 개요 ····· 376
[그림 3.3.64] 천연골재 기층 Wheel Path 와 Non Wheel Path 비교 ····· 377
[그림 3.3.65] 순환골재 기층 Wheel Path 와 Non Wheel Path 비교 ····· 378
[그림 3.3.66] FWD 결과 종합 ····· 378
[그림 3.3.67] 순환골재 이용 시 이점 ····· 379
[그림 3.3.68] 천연골재, 순환골재, 재생골재 건설비용 비교 ····· 380
[그림 3.4.1] 건식생산시스템의 공정 및 구성 장치 ····· 382
[그림 3.4.2] 선별장치의 개선 (건식생산시스템 Ⅰ) ····· 388
[그림 3.4.3] 개선된 건식생산시스템 Ⅰ의 공정 플로우 ····· 389
[그림 3.4.4] 선별장치의 개선 (건식생산시스템 Ⅱ) ····· 390
[그림 3.4.5] 개선된 건식생산시스템 Ⅱ의 공정 플로우 ····· 391
[그림 3.4.6] 순환모래의 표준입도분포곡선 (건식생산시스템 Ⅰ) ····· 393
[그림 3.4.7] 미세립 분리회수장치의 평면도 ····· 394
[그림 3.4.8] 미세립 분리회수장치의 입면도 ····· 394
[그림 3.4.9] 미세립 분리장치에 의한 순환모래 및 미분말의 순환 개념도 ····· 395
[그림 3.4.10] 미세립 분리회수장치에 의한 미세립분의 입도분포 ····· 399
[그림 3.4.11] 파쇄마쇄장치의 설치 ····· 401
[그림 3.4.12] 순환모래 건식생산시스템Ⅰ의 순환모래 채취공정 ····· 402
[그림 3.4.13] 공정별 생산된 순환모래의 입도분포 ····· 406
[그림 3.4.14] 공정별 생산된 순환모래의 절대건조밀도 ····· 408
[그림 3.4.15] 공정별 생산된 순환모래의 흡수율 ····· 408
[그림 3.4.16] 공정별 생산된 순환모래의 0.08mm체 통과량 ····· 409
[그림 3.4.17] 공정별 생산된 입자모양판정실적율 ····· 409
[그림 3.4.18] 미세분진 측정결과 ····· 414

[그림 3.4.19] 소음 측정결과 ····· 415
[그림 3.4.20] 진동 측정결과 ····· 415
[그림 3.4.21] 환경부하저감성 및 순환모래 품질개선을 위한 개선방안 ····· 417
[그림 3.5.1] 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계도(150Ton/hr) ····· 418
[그림 3.5.2] 상품화용 샌드플럭스 장치의 공정 설계도 ····· 419
[그림 3.5.3] 상품화용 샌드플럭스의 장치구성 ····· 419
[그림 3.5.4] 시작품 샌드플럭스 장치를 적용한 현장 플랜트 ····· 421
[그림 3.5.5] 건설폐기물 중간처리업체의 순환모래의 생산공정도 ····· 424
[그림 3.5.6] 절건밀도의 변화 ····· 427
[그림 3.5.7] 흡수율의 변화 ····· 428
[그림 3.5.8] 유기이물질함유량의 변화 ····· 428
[그림 3.5.9] 점토덩어리량의 변화 ····· 430
[그림 3.5.10] 0.08mm체 통과량의 변화 ····· 430
[그림 3.5.11] 모르타르의 유동특성의 변화(W/C 40%) ····· 433
[그림 3.5.12] 모르타르의 유동특성의 변화(W/C 50%) ····· 434
[그림 3.5.13] 모르타르의 압축강도의 변화(W/C 40%) ····· 434
[그림 3.5.14] 모르타르의 압축강도의 변화(W/C 50%) ····· 435
[그림 3.5.15] 콘크리트의 단위수량의 변화 ····· 438
[그림 3.5.16] 콘크리트의 유동특성의 변화 ····· 438
[그림 3.5.17] 콘크리트의 압축강도의 변화 ····· 439
[그림 3.5.18] 콘크리트의 소성수축의 변화 ····· 440
[그림 3.6.1] 1차 시제품 시운전 시 나타난 문제점 ····· 443
[그림 3.6.2] 자문회의 개최 사진 ····· 443
[그림 3.6.3] 성능 보완된 송풍장치 설계도면 ····· 445
[그림 3.6.4] 진동 플레이트 설계도면 ····· 448
[그림 3.6.5] 순환골재 용도별 재활용 현황 ····· 450
[그림 3.6.6] 리사이클링 플랜트 공정도 ····· 453
[그림 3.6.7] 이물질 제거장치에 의한 토분의 처리 공정 ····· 454
[그림 3.6.8] 2차 시제품 설치 가능 장소 검토 ····· 455
[그림 3.6.9] 2차 시제품 설치를 위한 도면 ····· 455
[그림 3.6.10] 동건환경(주) 현장 내에 설치된 2차 시제품 ····· 456
[그림 3.6.11] 2차 시제품 시연회 개최 사진 ····· 456
[그림 3.7.1] 건설오니 재활용 처리기술 ····· 475
[그림 3.7.2] 건설오니 시료토의 상태 ····· 479
[그림 3.7.3] 발생유형별 건설오니 고화토의 물리적 특성관계 ····· 479
[그림 3.7.4] 건설오니 재활용 처리기술 ····· 482
[그림 3.7.5] 점토(시료명.1, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화 ···· 488

[그림 3.7.6] 실트(시료명.3, MH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화 ·· 490
[그림 3.7.7] 점토(시료명.2, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화 ··· 491
[그림 3.7.8] 실트(시료명.4, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화 ··· 492
[그림 3.7.9] 실트(시료명.4, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화 ··· 497
[그림 3.7.10] 고화재(DGK-180)의 건설오니 첨가시험에 따른 압축강도 변화 ····· 497
[그림 3.7.11] 건설오니, 마사토 혼합에 따른 압축강도 변화 ····· 498
[그림 3.7.12] 고화재와 건설오니, 마사토, 황토 혼합시험에 따른 압축강도 변화 · 498
[그림 3.7.13] 개발 고화재의 OPC와 SL 변화에 따른 압축강도 시험 결과 ····· 499
[그림 3.7.14] 개발 고화재의 GMC 변화에 따른 압축강도 시험 결과 ····· 499
[그림 3.7.15] 개발 고화재의 CSA 변화에 따른 압축강도 시험 결과 ····· 500
[그림 3.7.16] 흙도로포장재 압축강도 시험 결과 ····· 501
[그림 3.7.17] 친환경 양포장재 다짐시험일축압축강도 시험 ····· 501
[그림 3.7.18] 개발 고화재의 CSA 변화에 따른 일축압축강도 시험 결과 ····· 502
[그림 3.7.19] 친환경 토양포장재의 투수계수측정 시험 ····· 503
[그림 3.7.20] 건설오니 종류별 고화재 첨가량에 따른 투수계수 ····· 504
[그림 3.7.21] 개발 고화재의 휨강도 측정 시험 ····· 504
[그림 3.7.22] 건설오니 고형화 처리 장비 설계(안) ····· 506
[그림 3.7.23] 일본 松江市 항만 준설공사에서 준설토 고형화 처리공정 ····· 507
[그림 3.7.24] 고화토를 이용한 흙포장 시험시공 ····· 508
[그림 3.7.25] 건설오니 고형화 처리 장비 설계(안) ····· 509
[그림 3.7.26] 자주식 건설오니 고형화 처리 장비(일본. ODESSA) ····· 512
[그림 3.8.1] 건조 모르터 제조공정 ····· 516
[그림 3.8.2] 건조모르터 기존 생산 공정도 ····· 517
[그림 3.8.3] 순환골재 적용을 위한 생산 공정도 - 설계안1 ····· 518
[그림 3.8.4] 순환골재 적용을 위한 생산 공정도 - 설계안2 ····· 519
[그림 3.8.5] 순환골재 적용을 위한 생산 공정도 - 설계안3 ····· 520
[그림 3.8.6] 설계안3의 제조공정 플로우 ····· 520
[그림 3.8.7] 재령에 따른 제품별 압축강도 ····· 524
[그림 3.8.8] 재령에 따른 제품별 길이변화율 ····· 525
[그림 3.8.9] Pilot plant 종단면도 ····· 527
[그림 3.8.10] Pilot plant A-A′ 단면도 ····· 528
[그림 3.8.11] Pilot plant의 설계 Process ····· 529
[그림 3.8.12] ALC의 제조공정 ····· 530
[그림 3.8.13] 폐콘크리트 미세립분을 사용한 경량블록 제조공정 ····· 531
[그림 3.8.14] 건식모르터 제조공정 ····· 549
[그림 3.8.15] 200㎜ 설치 단면 ····· 556
[그림 3.8.16] 100㎜ 설치 단면 ····· 556

[그림 3.8.17] 실험결과(기포율250%) ····· 567
[그림 3.8.18] 실험결과(기포율300%) ····· 567
[그림 3.8.19] 배합방법 ····· 575
[그림 3.8.20] 양생방법 ····· 575
[그림 3.8.21] 기포혼입률 변화에 따른 슬러리 밀도와 플로우 ····· 576
[그림 3.8.22] 기포혼입률 변화에 따른 압축강도와 절건밀도 ····· 576
[그림 3.8.23] 실험방법 ····· 578
[그림 3.8.24] 양생방법 ····· 578
[그림 3.9.1] 시뮬레이션 프로그램 개발 방법 ····· 581
[그림 3.9.2] 공주대 산학협력 공장동 시범적용 계획 ····· 582
[그림 3.9.3] 폐유리 재활용 제품 시험시공 적용 부위 ····· 584
[그림 3.9.4] 흙 포장 공사 적용 부위 도면 ····· 585
[그림 3.9.5] 경량블록 적용 부위 도면 ····· 587
[그림 3.9.6] 운반거리 및 속도에 따른 운반단가 ····· 592
[그림 3.9.7] 이산화탄소 배출량 비교 ····· 599
[그림 3.9.8] 이산화탄소 배출량(운반거리: 30km) ····· 604
[그림 3.9.9] 시뮬레이션 프로그램 구성 개요 ····· 606
[그림 3.9.10] 부곡동 재개발지구 및 대상 건축물 위치 ····· 608
[그림 3.9.11] 실측 ····· 608
[그림 3.9.12] 실측도면 작성(좌:1층, 우:2층) ····· 609
[그림 3.9.13] 부곡동 재개발지구 및 조사대상 건축물 위치 ····· 610
[그림 3.9.14] 샘플시공 대상건축물 현황 ····· 612
[그림 3.9.15] 혼합폐기물 성상별 분류과정 ····· 612
[그림 3.9.16] 혼합폐기물 개근 ····· 613
[그림 3.9.17] 생활폐기물 및 건설폐기물의 발생량 결과 ····· 614
[그림 3.9.18] 대구광역시 내 신천1-2지구 위치 ····· 623
[그림 3.9.19] 재료별 히스토그램(주거용 건물) ····· 625
[그림 3.9.20] 재료별 히스토그램(상업용 건물) ····· 635
[그림 3.9.21] 국내 폐기물 분류체계도 ····· 642
[그림 3.9.22] 건설폐기물 정책의 중장기 목표(자원순환형 폐기물관리 체계) ····· 645
[그림 3.9.23] 분별해체공사 실행목표 ····· 647
[그림 3.9.24] 분별해체공사 프로세스 ····· 647
[그림 3.9.25] 해체현장 발생 폐기물 ····· 649
[그림 3.9.26] 관련 법률 및 지침과 정부정책방향과의 정합성 검토 ····· 650
[그림 3.9.27] 주거용건물 2차 시험시공 대상 ····· 652
[그림 3.9.28] 시험시공 대상건물 현황조사 및 실측 ····· 652
[그림 3.9.29] 시험시공 대상건물 실측도면 ····· 653

[그림 3.9.30] 시험시공 주요 작업공정 ····· 654
[그림 3.9.31] 산업시설물 2차 시험시공 대상 ····· 655
[그림 3.9.32] 시험시공 대상건물 현황조사 및 실측 ····· 655
[그림 3.9.33] 시험시공 대상건물 실측도면 ····· 656
[그림 3.9.34] 시험시공 주요 작업공정 ····· 656
[그림 3.9.35] 파쇄설비 전경 ····· 659
[그림 3.9.36] 연속 생산 설비 설계 ····· 661
[그림 3.9.37] 블록 타입 양산 공정 ····· 661
[그림 3.9.38] 방수층 보호재 시방서 ····· 664
[그림 3.9.39] 안전인증 절차 ····· 666
[그림 3.9.40] 한계하강높이(HIC) 측정용 시험장치 ····· 667
[그림 3.9.41] 하강높이에 대한 전형적인 HIC 곡선 ····· 668
[그림 3.9.42] 어린이놀이터 바닥재로 적용 단면 비교 ····· 672
[그림 3.9.43] 매립지 적용 단면도 ····· 678
[그림 3.9.44] 기본 단면 ····· 680
[그림 3.9.45] 해석단면의 형태 ····· 686
[그림 3.9.46] 요소의 변화형상 ····· 686
[그림 3.9.47] 폐기물 매립장의 전단변형률 ····· 687
[그림 3.9.48] 전단응력의 분포도 ····· 687
[그림 3.9.49] 배수재 인장력의 변화 ····· 691
[그림 3.9.50] 배수재 인장력 변화 ····· 692
[그림 3.9.51] 설계 적용 도면 ····· 695
[그림 3.9.52] 설계 적용 도면 ····· 696
[그림 3.9.53] 어린이 놀이터 시험 시공 전경 ····· 697
[그림 3.9.54] 시공 개요도 ····· 697
[그림 3.9.55] 적용 단면 비교 ····· 698
[그림 3.9.56] 재활용 PO폼과 콘크리트 부착 시공법 ····· 699
[그림 3.9.57] 재활용 PO폼과 기초콘크리트 부착 시공 순서 ····· 700
[그림 3.9.58] 재활용 PO폼 시공 순서 ····· 700
[그림 3.9.59] 인조잔디 깔기 시공 순서 ····· 701
[그림 3.9.60] 배수상세도 ····· 702
[그림 3.10.1] 폐목재 칩 생산 과정 ····· 706
[그림 3.10.2] 혼합 목질계보드 제조 공정도 ····· 707
[그림 3.10.3] 혼합 목질계보드 제조 공정 ····· 708
[그림 3.10.4] 재령별 휨파괴 하중 ····· 709
[그림 3.10.5] 재령별 휨파괴 하중 ····· 710
[그림 3.10.6] 28일 재령 보드의 비중 ····· 711

[그림 3.10.7] 폐목질을 재활용한 목모 생산 과정 ····· 712
[그림 3.10.8] 목모의 형상 ····· 713
[그림 3.10.9] 시험편 제작 과정 ····· 714
[그림 3.10.10] 콘칼로리미터 ····· 715
[그림 3.10.11] 난연시험 이후 목질계보드의 형상 ····· 716
[그림 4.1.1] 연도별 골재허가/공급실적 ····· 726
[그림 4.1.2] 본 연구가 건설산업에 미치는 영향(건설잔토 및 폐유리분야) ····· 727
[그림 6.1.1] 시미즈건설의 정화공사 현장 ····· 781
[그림 6.1.2] 실증시험에 의한 세정효과의 예 ····· 783
[그림 6.1.3] 새로운 정화시스템의 특징 ····· 783
[그림 6.1.4] 시미즈건설의 정화사업추진계획 ····· 786
[그림 6.1.5] 주유소 및 사업자수의 추이 ····· 791
[그림 6.1.6] 주유소 지하의 유류오염 현황 ····· 793
[그림 6.1.7] 석회석을 이용한 정화공법의 공정도 ····· 795
[그림 6.1.8] DCM－e공법 ····· 801
[그림 6.1.9] 유류성분 추출 ····· 802
[그림 6.1.10] 가열처리시스템 ····· 803
[그림 6.1.11] 석회석을 이용한 온싸이트 정화 ····· 803
[그림 6.1.12] 세척정화시스템 ····· 803
[그림 6.1.13] 세척정화 후 운반 ····· 803
[그림 6.1.14] 동결과 가스흡인 실험 ····· 805
[그림 6.1.15] 동결과 가스흡인 처리에 의한 토양정화촉진 공정도 ····· 805
[그림 6.1.16] 정화처리시스템 및 현장적용 ····· 806
[그림 6.1.17] 동결과 가스흡인 처리에 의한 토양정화 ····· 806
[그림 6.1.18] 오염토양 정화공법의 비교 ····· 807
[그림 6.1.19] 오염토양 정화처리 현장 ····· 808
[그림 6.1.20] 건축공사 전 현장내 정화 ····· 808
[그림 6.1.21] 오염토양 정화처리장으로 수송 후 정화 ····· 809
[그림 6.1.22] 바이오 공법 처리공정 ····· 810
[그림 6.1.23] 도다건설이 보유한 가열처리공법 ····· 811

# <사진 차례>

[사진 2.4.1] 가열마쇄식 플랜트(移設型) ····· 42
[사진 2.4.2] 정치형(定置型)의 60t/h 가열장치(아스콘공장) ····· 42
[사진 2.4.3] 재생굵은골재 H ····· 42
[사진 2.4.4] 재생잔골재 H ····· 42
[사진 2.4.5] 편심로터식 장치에 의한 처리플랜트의 예시 ····· 45
[사진 2.4.6] 파쇄제품(좌), 제조된 재생굵은골재(우) ····· 46
[사진 2.4.7] 스크류마쇄식 처리장치 ····· 48
[사진 2.4.8] 재생굵은골재 ····· 48
[사진 2.4.9] 스크류마쇄식 처리방법의 시작플랜트 ····· 48
[사진 2.4.10] 재생굵은골재 ····· 49
[사진 2.4.11] 선회마쇄판식 장치의 외관 ····· 51
[사진 2.4.12] 재생굵은골재의 외관 ····· 52
[사진 2.4.13] 재생잔골재의 외관 ····· 52
[사진 2.4.14] 고품질 순환모래 생산을 위한 물세척 방식의 일례 ····· 53
[사진 2.4.15] 고품질 순환모래 생산을 위한 풍력 선별방식의 일례 ····· 55
[사진 2.8.1] 블록의 형상 ····· 105
[사진 2.8.2] 영국 Celcon사의 생산제품 ····· 106
[사진 2.8.3] 가네트 ····· 112
[사진 2.8.4] 안트라사이트 여과제 ····· 113
[사진 2.8.5] 활성탄소의 종류 ····· 114
[사진 2.8.6] 하이드로필트 ····· 115
[사진 2.8.7] BIRM ····· 116
[사진 3.4.1] 수평 임팩트 크러셔의 전경(직렬식 건식생산시스템) ····· 383
[사진 3.4.2] 트롬멜 스크린의 전경(직렬식 건식생산시스템) ····· 384
[사진 3.4.3] 수직 임팩트 크러셔의 전경(병렬식 건식생산시스템) ····· 385
[사진 3.4.4] 롤크러셔의 전경(병렬식 건식생산시스템) ····· 386
[사진 3.4.5] 진동스크린의 전경(병렬식 건식생산시스템) ····· 387
[사진 3.4.6] 순환모래의 선별(건식생산시스템 Ⅰ) ····· 388
[사진 3.4.7] 순환모래의 선별(건식생산시스템 Ⅱ) ····· 390
[사진 3.4.8] 미세립 분리회수장치의 설치전경 ····· 395
[사진 3.4.9] 미세립 분리회수장치의 현장설치 (1단계) ····· 396
[사진 3.4.10] 미세립 분리회수장치의 현장설치 (2단계) ····· 397
[사진 3.4.11] 미세립 분리회수장치에 의한 미세립분의 형상 ····· 398

[사진 3.4.12] 파쇄마쇄장치(안)의 제작 ····· 400
[사진 3.4.13] 파쇄마쇄장치의 전경 ····· 401
[사진 3.4.14] 생산된 순환모래의 형상(a) ····· 403
[사진 3.4.15] 생산된 순환모래의 형상(b) ····· 404
[사진 3.4.16] 생산된 순환모래의 형상(c) ····· 405
[사진 3.4.17] 소음 측정전경 (NL-21) ····· 411
[사진 3.4.18] 진동 측정전경 (VM-52) ····· 412
[사진 3.4.19] 미세분지 측정전경 (PM-10) ····· 413
[사진 3.5.1] 상품화용 샌드플럭스 장치의 주요장치 ····· 420
[사진 3.5.2] Sand Flux System의 전경 ····· 423
[사진 3.5.3] 전체 생산시설 전경 ····· 423
[사진 3.5.4] 대상시료의 채취 장소 및 외형 ····· 425
[사진 3.5.5] 대표적인 대상시료의 부유된 유기이물질의 변화 ····· 429
[사진 3.5.6] 대표적인 대상시료의 유기 이물질 분리(육안선별법) ····· 429
[사진 3.5.7] 소성수축 실험결과 ····· 440
[사진 3.8.1] 건조모르터 제조설비 ····· 517
[사진 3.8.2] Pilot Plant 제조공정 ····· 522
[사진 3.8.3] 미장용 모르타르 제조공정(한일시멘트 가야공장) ····· 549
[사진 3.8.4] Pilot plant 설비를 이용한 시험생산 과정 ····· 554
[사진 3.8.5] $PO_4$ 흡착실험 ····· 566
[사진 3.8.6] $PO_4$ 용출실험 ····· 566
[사진 3.8.7] 정수위 투수계수 측정방법 ····· 578
[사진 3.9.1] 구조물 반력구조 시험시공 부위 ····· 583
[사진 3.9.2] 시험시공 적용 부위(1층 화장실 벽 및 바닥) ····· 584
[사진 3.9.3] 흙포장 공사 대상 부위(건물입구 및 후정) ····· 586
[사진 5.4.1] 고품질 순환모래의 제품화 전망 ····· 760

# <CONTENTS>

**Chapter 1. Introduction** ····· 1
1. Significances of R&D ····· 1
2. Purpose of R&D ····· 1
3. Action plan of R&D ····· 4
4. Target of R&D for the 3rd year ····· 6

**Chapter 2. Current Situation of Technical Development at Home and Abroad** ····· 9

**Part 1 Study of structural standard establishments of recycled aggregate concrete and recycling technology development of construction waste soil and waste glass** ····· 9
1. Technology development at home ····· 9
2. Technology development abroad ····· 17

**Part 2 Development of application technology to establish the information processing for the construction waste related companies** ····· 25
1. Domestic technology trend ····· 25
2. Foreign technology trend ····· 28

**Part 3 Development of hot mixed asphalt concrete pavement base materials and construction work technology with use of recycled aggregates** ····· 32
1. Current domestic states of research trends ····· 32
2. Current overseas states of research trends ····· 36
3. Summary ····· 38

**Part 4 Development of dry process production system of high quality recycled fine aggregate by TS type sorting separator and gravity cyclone** ····· 39
1. Present status of manufacture technology of recycled fine aggregate in the domestic and abroad ····· 39
2. Problem and improvement direction of existing production technology of recycled fine aggregate ····· 56

**Part 5 Development of the impurity separation system in high-quality recycled sand of cyclone method using difference of gravity and buoyancy ····· 60**

1. Present status of technology development in the domestic and abroad ····· 60

**Part 6 Development of foreign material removing device in generated soil from recycling process of construction waste ····· 68**

1. Domestic technical trends ····· 68
2. Overseas technical trends ····· 71
3. Present status of patent in the domestic and abroad ····· 74
4. Conclusion on the technical trends analysis ····· 80

**Part 7 Development of soil stabilizer and application utilizing of construction sludge ····· 81**

1. Generation of construction sludge ····· 81
2. Scope and related laws of construction sludge ····· 84
3. Current states of technology development ····· 91

**Part 8 The development of building materials and application for recycling from waste concrete powder ····· 98**

1. Collection of domestic and foreign technical information on plaster mortar ·· 98
2. Present status of lightweight foam concrete block ····· 99
3. Present status of purifying filter ····· 107

**Part 9 Optimize construction demolition field to improve recycling of construction waste and development of manufacturing process of construction materials and application technology ····· 118**

1. Development unit index of construction waste and planning technique for in-situ recycling ····· 118
2. Development of sorting technology by classification of structure and characteristics of waste in demolition field ····· 130
3. Development of construction materials and application by utilizing of polyolefin foam-based waste ····· 136

**Part 10 Development and application technology for wood board by construction waste wood ····· 137**

1. Technology Trend inside of the country ····· 137
2. Technology Trend outside of the country ····· 143

Chapter 3 Content and outcomes of R&D ····· 149

Part 1 Study of structural standard establishments of recycled aggregate concrete and recycling technology development of construction waste soil and waste glass ····· 149

1. Study on establishing the concrete structure standard with recycled aggregate ·· 149
2. Analysis of decontamination process and effect in association with contaminated surplus soil ····· 217
3. Development of glass tile by recycling the construction waste glass ····· 252

Part 2 Development of application technology to establish the information processing for the construction waste related companies ····· 287

1. Operation of information processing system for construction ····· 287
2. Operation of in-house batching system ····· 295
3. Follow-up management of circulated aggregate ····· 306

Part 3 Development of hot mixed asphalt concrete pavement base materials and construction work technology with use of recycled aggregates ····· 311

1. Promoting strategy and method of R&D ····· 311
2. Contents of the study ····· 313

Part 4 Development of dry process production system of high quality recycled fine aggregate by TS type sorting separator and gravity cyclone ····· 381

1. Development of pre-treatment equipment and process for improving grade ····· 381
2. Complement of dry specific gravity separator and process for improving particle shape and improving separation efficiency and quality evaluation of high quality recycled sand ····· 393
3. Development of dust collector and process for efficient dust collecting of powder ····· 410

Part 5 Development of the impurity separation system in high-quality recycled sand of cyclone method using difference of gravity and buoyancy ····· 418

1. Designing and building Sand Flux device to be commercialized ····· 418
2. Understanding operating condition and production status of trial Sand Flux ····· 421
3. Verifying quality of recycled sand produced by trial Sand Flux device ····· 422

4. Study results ····· 441

**Part 6 Development of foreign material removing device in generated soil from recycling process of construction waste ····· 442**

1. Performance improvement of the 1st device ····· 442
2. Study of recycle soil using which produced by the device ····· 448
3. Manufacture and performance test of improved 2nd device ····· 453

**Part 7 Development of soil stabilizer and application utilizing of construction sludge ····· 458**

1. Theoretical review ····· 458
2. Flowchart for understanding of R&D ····· 474
3. Quality classification and standard test of stabilized soil by construction sludge ····· 476
4. Trial test analysis of soil pavement utilizing construction sludge ····· 493
6. Field test of stabilized soil by construction sludge for soil pavement ····· 510
7. Conclusion ····· 513

**Part 8 The development of building materials and application for recycling from waste concrete powder ····· 515**

1. Development of manufacture technique of plaster mortar using waste concrete coarse powde ····· 515
2. Pilot pant system design for plaster and hydro-thermal products ····· 526
3. Pilot production using existing plant ····· 547
4. Manufacture and application techniques of lightweight foam concrete block and purifying filter for waste water ····· 555

**Part 9 Optimize construction demolition field to improve recycling of construction waste and development of manufacturing process of construction materials and application technology ····· 580**

1. Development unit index of construction waste and planning technique for in-situ recycling ····· 580
2. Development of sorting technology by classification of structure and characteristics of waste in demolition field ····· 642
3. Development of construction materials and application by utilizing of polyolefin foam-based waste ····· 658

**Part 10 Development and application technology for wood board by construction waste wood ····· 703**

1. Application of production line and manufacture of trial product ····· 703
2. Decision of execution method for wood-based board using waste wood ····· 717
3. Conclusion ····· 719

**Chapter 4 Achievements and contributions of R&D goals ····· 720**

**Part 1 Study of structural standard establishments of recycled aggregate concrete and recycling technology development of construction waste soil and waste glass ····· 720**
1. Research and development achievement ····· 720
2. Contributions to the relevant industries ····· 722

**Part 2 Development of application technology to establish the information processing for the construction waste related companies ····· 728**
1. Degree of R&D target achievement ····· 728
2. Degree of contribution to related fields ····· 728

**Part 3 Development of hot mixed asphalt concrete pavement base materials and construction work technology with use of recycled aggregates ····· 730**
1. Achievable probability of R&D objectives ····· 730
2. Contributory connection of R&D to external conditions ····· 735

**Part 4 Development of dry process production system of high quality recycled fine aggregate by TS type sorting separator and gravity cyclone ····· 737**
1. Achievement degree of study development plan ····· 737
2. Contribution to related sector ····· 738

**Part 5 Development of the impurity separation system in high-quality recycled sand of cyclone method using difference of gravity and buoyancy ····· 739**
1. Achievement degree of study development plan ····· 739
2. Contribution degree of study development plan with relevant field ····· 740

**Part 6 Development of foreign material removing device in generated soil from recycling process of construction waste ····· 741**
1. Achievement degree of R&D ····· 741

2. Contribution degree to related field ····· 741

**Part 7 Development of soil stabilizer and application utilizing of construction sludge ····· 742**

1. Achievement degree of study development plan ····· 742
2. Contribution degree of R&D results ····· 742

**Part 8 The development of building materials and application for recycling from waste concrete powder ····· 743**

1. Degree of achievement ····· 743
2. Degree of contribution for relevant field ····· 744

**Part 9 Optimize construction demolition field to improve recycling of construction waste and development of manufacturing process of construction materials and application technology ····· 745**

1. Development unit index of construction waste and planning technique for field recycling ····· 745
2. Development of sorting technology by classification of structure and characteristics of waste in demolition field ····· 746
3. Development of construction materials and application by utilizing of polyolefin foam-based waste ····· 747

**Part 10 Development and application technology for wood board by construction waste wood ····· 749**

1. Accomplishment of research ····· 749
2. Contribution of research ····· 749

**Chapter 5 Application plan for R&D results ····· 750**

**Part 1 Study of structural standard establishments of recycled aggregate concrete and recycling technology development of construction waste soil and waste glass ····· 750**

1. Need of further study and application to other studies ····· 750
2. Expected effect and ripple effect of R&D ····· 752
3. Plan for using the study result ····· 754

**Part 2 Development of application technology to establish the information processing for the construction waste related companies ····· 755**

1. Demands for additional research ····· 755
2. Application to other research ····· 756
3. Drive plan for commercialization ····· 756

**Part 3 Development of hot mixed asphalt concrete pavement base materials and construction work technology with use of recycled aggregates ····· 757**

1. Actual plan of use from the results of research ····· 757

**Part 4 Development of dry process production system of high quality recycled fine aggregate by TS type sorting separator and gravity cyclone ····· 759**

1. Prospect of additional R&D ····· 759
3. Ripple effect in other industry ····· 759
3. Industrial strategy plan of study development results ····· 759

**Part 5 Development of the impurity separation system in high-quality recycled sand of cyclone method using difference of gravity and buoyancy ····· 761**

1. Application Plan ····· 761
2. Application plan and expected effects of study results ····· 761

**Part 6 Development of foreign material removing device in generated soil from recycling process of construction waste ····· 764**

1. Application plan and expected effects of study results ····· 764

**Part 7 Development of soil stabilizer and application utilizing of construction sludge ····· 766**

1. Application Plan ····· 766
2. Dispersion effects of study results ····· 766
3. Incidental effects of R&D ····· 766

**Part 8 The development of building materials and application for recycling from waste concrete powder ····· 767**

1. Prospect of additional R&D ····· 767
2. Consideration of additional R&D ····· 767
3. Ripple effect in other industry ····· 768
3. Industrialization plan for results of R&D ····· 768

**Part 9 Optimize construction demolition field to improve recycling of construction waste and development of manufacturing process of construction materials and application technology ····· 769**

1. Development unit index of construction waste and planning technique for field recycling ····· 769
2. Development of sorting technology by classification of structure and characteristics of waste in demolition field ····· 770
3. Development of construction materials and application by utilizing of polyolefin foam-based waste ····· 774

**Part 10 Development and application technology for wood board by construction waste wood ····· 776**

**Chapter 6 Foreign scientific and technical information gained from R&D process ····· 777**

**Part 1 Study of structural standard establishments of recycled aggregate concrete and recycling technology development of construction waste soil and waste glass ····· 777**

1. Shimizu Institute of Technology ····· 777
2. Central Laboratory of Japan Testing Center for Construction Materials ····· 787
3. Takenaka Corporation Technology Institute ····· 797
4. ToDa Construction ····· 804

**Part 2 Development of foreign material removing device in generated soil from recycling process of construction waste ····· 812**

1. Using standards of generating soil by construction in Japan ····· 812
2. Other Separation and Sorting Device ····· 816

**Part 4 Optimize construction demolition field to improve recycling of construction waste and development of manufacturing process of construction materials and application technology ····· 820**

1. Engplast China 2007 and APPLAS 2007 ····· 820

**Chapter 7 References ····· 829**

# <TABLE>

<Table 2.1.1> Domestic research status(The Architectural Institute of Korea , Korea Concrete Institute) ····· 10
<Table 2.1.2> Domestic types of contaminated soil purification [Ministry of Environment public Notice No. 2005-124 # 2] ····· 12
<Table 2.1.3> Related patent status ····· 15
<Table 2.1.4> Waste glass bottle re-treatment market size ····· 15
<Table 2.1.5> Overseas research status (Japan and others) ····· 17
<Table 2.2.1> Domestic construction waste market size ····· 25
<Table 2.2.2> Main method, design capacity, key items and key production capacity, and technology ····· 26
<Table 2.2.3> Construction waste companies regional distribution ····· 26
<Table 2.2.4> Overseas construction waste generation ····· 29
<Table 2.2.5> Overseas cost comparison for processing waste information ····· 29
<Table 2.2.6> Main method, design capacity, key items, key production capacity, and key technology ····· 29
<Table 2.3.1> Domestic research status on Circulated aggregate ····· 33
<Table 2.4.1> Required items and outline in minister certification ····· 40
<Table 2.4.2> Index and item of heating trituration method plant ····· 41
<Table 2.4.3> Item of transfer type and fixation type in heating trituration method ····· 41
<Table 2.4.4> Index and item of equipment ····· 44
<Table 2.4.5> Index and item of heating trituration type plant ····· 48
<Table 2.4.6> Comparison of existing manufacture and production technology of recycled fine aggregate ····· 57
<Table 2.5.1> (a) Overseas study tendency of concrete using recycled aggregate 61
<Table 2.5.2> (b) Overseas study tendency of concrete using recycled aggregate 62
<Table 2.5.3> (c) Overseas study tendency of concrete using recycled aggregate 63
<Table 2.5.4> (d) Overseas study tendency of concrete using recycled aggregate 64
<Table 2.5.5> (e) Overseas study tendency of concrete using recycled aggregate 65
<Table 2.5.6> (a) Domestic study tendency of concrete using recycled aggregate 66
<Table 2.5.7> (b) Domestic study tendency of concrete using recycled aggregate 67
<Table 2.6.1> Prediction of construction wastes generation ····· 70
<Table 2.6.2> Percentage target of soil recycle in field ····· 70

<Table 2.6.3> Prediction of soil recycle ····· 70
<Table 2.6.4> Economic profit by recycling soil using ····· 71
<Table 2.6.5> Patent status of domestic ····· 75
<Table 2.6.6> Patent status of overseas ····· 78
<Table 2.6.7> Technologies status of wind technology and vibrating technology ····· 80
<Table 2.7.1> The weight of construction waste('00 ~ '04) ····· 85
<Table 2.7.2> The weight of construction waste('07) ····· 86
<Table 2.7.3> Present condition of construction waste treatment(('00 ~ '05) ····· 87
<Table 2.7.4> Present condition of internal technique ····· 92
<Table 2.7.5> Present condition of technique in Japan ····· 94
<Table 2.7.6> List of construction sludge recycling company in Japan ····· 95
<Table 2.7.8> Present condition of technique at home ····· 97
<Table 2.8.1> Forecast and present status of domestic market ····· 98
<Table 2.8.2> Demand and supply of dry mortar manufacture industry ····· 99
<Table 2.8.3> Type of ALC block ····· 100
<Table 2.8.4> Specification of ALC block ····· 101
<Table 2.8.5> Standard of ALC block ····· 102
<Table 2.8.6> Sound insulation standard of ALC ····· 102
<Table 2.8.7> Management standard for sound insulation of partition wall ····· 102
<Table 2.8.8> Insulation standards of ALC ····· 103
<Table 2.8.9> Rules of equipment standard on the building ····· 103
<Table 2.8.10> Specification of block in AECON company ····· 105
<Table 2.8.11> Specification of block in CELCON company ····· 107
<Table 2.8.12> Water quality standard of effluent ····· 108
<Table 2.8.13> Standard of sand filter ····· 117
<Table 2.9.1> Condition of construction wastes ····· 123
<Table 2.9.2> Construction company's the amount of orders received and estimating construction ····· 123
<Table 2.9.3> Present condition of main companies related recycling ····· 124
<Table 2.9.4> Present condition of main specialist domestic ····· 125
<Table 2.9.5> Level of R&D at home ····· 125
<Table 2.9.6> Fractional dismantle construction of obligation according to construction recycling law in Japan ····· 133
<Table 2.9.7> The ratio of recycle after residential building fractional dismantle in Australia ····· 133
<Table 2.9.8> Investigation of fractional dismantle case in U.S.A ····· 135
<Table 2.10.1> Character and condition of fuel chip ····· 139

<Table 2.10.2> Classified code of waste wood in Germany ····· 148
<Table 3.1.1> Quality test results of recycled fine aggregate and reuse fine aggregate ····· 153
<Table 3.1.2> Quality test results of domestically produced reuse/recycled fine aggregate ····· 153
<Table 3.1.3> Quality test results of recycled fine aggregate by domestic company "I" ····· 154
<Table 3.1.4> Aggregate characteristics ····· 155
<Table 3.1.5> Material test list and number of test specimen ····· 158
<Table 3.1.6> Aggregate characteristics ····· 159
<Table 3.1.7> Concrete mixture conditions ····· 160
<Table 3.1.8> Comparison of target strength calculation values and test values ·· ····· 169
<Table 3.1.9> Comparison of recycled fine aggregate strength characteristics values ····· 171
<Table 3.1.10> Criterion formula for modulus of elasticity ····· 172
<Table 3.1.11> Test results of recycled fine aggregate with displacement ratio of 0% ····· 177
<Table 3.1.12> Test results of recycled fine aggregate with displacement ratio of 30% ····· 177
<Table 3.1.13> Test results of recycled fine aggregate with displacement ratio of 60% ····· 178
<Table 3.1.14> Test results of recycled fine aggregate with displacement ratio of 100% ····· 178
<Table 3.1.15> Test results of reuse fine aggregate with displacement ratio of 35% ····· 179
<Table 3.1.16> Test results of reuse fine aggregate with displacement ratio of 70% ····· 179
<Table 3.1.17> Plan for adhesion strength test specimen ····· 181
<Table 3.1.18> Strength characteristics of recycled fine aggregate according to displacement ratio ····· 183
<Table 3.1.19> Test results of vertical and 2-layer horizontal pull-out test results ($l_d$=4$d_b$) ····· 195
<Table 3.1.20> Test results of 3-layer horizontal pull-out test results ($l_d$=4$d_b$) ···· 195
<Table 3.1.21> Bending performance test specimen list ····· 198
<Table 3.1.22> Concrete strength characteristics ····· 198
<Table 3.1.23> Mock up bending performance test results ····· 202

<Table 3.1.24> Test specimen list ····· 204
<Table 3.1.25> Concrete strength characteristics ····· 205
<Table 3.1.26> Column compression performance test results ····· 208
<Table 3.1.27> Shear test specimen list ····· 211
<Table 3.1.28> Concrete strength characteristics ····· 212
<Table 3.1.29> Mock up shear test results ····· 214
<Table 3.1.30> Choice of purification technology for oil-contaminated construction surplus soil ····· 218
<Table 3.1.31> Dioxin effluent quality standard ····· 219
<Table 3.1.32> Secondary contamination (Dioxin) prevention system ····· 219
<Table 3.1.33> Test variables and measurement items ····· 223
<Table 3.1.34> Applied materials and purification ····· 223
<Table 3.1.35> BTEX and TPH analysis results ····· 225
<Table 3.1.36> Test variables and methods ····· 239
<Table 3.1.37> Properties and gradation test results ····· 239
<Table 3.1.38> Gradation test results ····· 243
<Table 3.1.39> Test variables and methods ····· 244
<Table 3.1.40> Compaction test results ····· 245
<Table 3.1.41> Field density test results ····· 246
<Table 3.1.42> Plate bearing test results ····· 247
<Table 3.1.43> Moisture content test results ····· 247
<Table 3.1.44> Direct shear test results ····· 248
<Table 3.1.45> Gradation test results ····· 249
<Table 3.1.46> Second year research achievement ····· 252
<Table 3.1.47> Waste glass tiles target performance ····· 253
<Table 3.1.48> Test factors ····· 253
<Table 3.1.49> Sintering theory model ····· 258
<Table 3.1.50> Method for manufacturing waste glass block ····· 261
<Table 3.1.51> Raw material chemical composition ····· 262
<Table 3.1.52> Method of making displaced soil ····· 265
<Table 3.1.53> Test variables for displaced soil ····· 265
<Table 3.1.54> Plasticity of displaced soil according to moisture content ····· 267
<Table 3.1.55> Plasticity of displaced soil according to waste glass content ··· 268
<Table 3.1.56> Plasticity of displaced soil depending on plasticizer ····· 269
<Table 3.1.57> Waste glass block compression strength according to waste glass content and plasticity temperature ····· 272
<Table 3.1.58> Waste glass block absorption according to waste glass content and

plasticity temperature ····· 274
<Table 3.1.59> Physical performance comparison and evaluation of waste glass tiles ····· 277
<Table 3.1.60> Physical performance comparison and evaluation of waste glass blocks ····· 277
<Table 3.1.61> Tiles classification ····· 280
<Table 3.1.62> Breakdown of manufacturing costs ····· 282
<Table 3.1.63> Interior tiles delivery status by companies ····· 282
<Table 3.1.64> Floor tiles delivery status by companies ····· 283
<Table 3.1.65> Major blocks companies status ····· 283
<Table 3.1.66> GR F 4014, certified companies for reuse clay blocks ····· 284
<Table 3.1.67> Comparison and evaluation of waste glass tiles and target products ····· 285
<Table 3.1.68> Comparison and evaluation of waste glass blocks and target products ····· 286
<Table 3.2.1> Test items for performance enhancement ····· 297
<Table 3.3.1> Road base course grain size distribution by country(Kang Min Kyu of Sejong University, 2004) ····· 315
<Table 3.3.2> Contaminant content test results ····· 319
<Table 3.3.3> Individual material LA abrasion test results ····· 323
<Table 3.3.4> Properties comparison of recycled coarse aggregate and reuse coarse aggregate ····· 323
<Table 3.3.5> Properties of recycled fine aggregate from companies "I" and "D" 323
<Table 3.3.6> Chemical composition of Circulated aggregate from waste concrete ···· 324
<Table 3.3.7> Leaching test results of Circulated aggregate from waste concrete ····· 324
<Table 3.3.8> Alkalinity analysis of positive picture layer of Circulated aggregate ···· 330
<Table 3.3.9> Mixture design aggregate displacement ····· 332
<Table 3.3.10> Natural aggregate mixture tables ····· 334
<Table 3.3.11> Mixture tables of Circulated aggregate and Recycled aggregate ·· 335
<Table 3.3.12> Porosity transformation according to binder content ····· 337
<Table 3.3.13> Natural grade samples characteristics values ····· 338
<Table 3.3.14> Circulated aggregate samples characteristics values ····· 339
<Table 3.3.15> Recycled aggregate samples characteristics values ····· 339
<Table 3.3.16> Dynamic modulus of elasticity test items and conditions ····· 347
<Table 3.3.17> Coefficient for calculation of Poisson's ratio ····· 348
<Table 3.3.18> Coefficient for calculation of horizontal strain ratio of the center of

test piece ····· 349
<Table 3.3.19> Load frequency and results measurement range ····· 352
<Table 3.3.20> Comparison of dynamic modulus of elasticity ····· 356
<Table 3.3.21> Mixture tables for indirect tension test ····· 358
<Table 3.3.22> Mixture tables for wheel tracking ····· 364
<Table 3.3.23> Wheel Tracking test conditions ····· 364
<Table 3.3.24> National standard paving thickness of highways for the country · 369
<Table 3.3.25> Compaction conditions for each layer in HWLS (Baek Wu Hyeon, 2001) ····· 371
<Table 3.3.26> Performance evaluation - middle-term and long-term ····· 375
<Table 3.3.27> Cost comparison of natural aggregate, recycled aggregate, Recycled aggregate ····· 379
<Table 3.4.1> Analysis of initial cost of dry manufacturing system I ····· 391
<Table 3.4.2> Analysis of maintenance cost of dry manufacturing system I ····· 392
<Table 3.4.3> Analysis of initial cost of dry manufacturing system II ····· 392
<Table 3.4.4> Analysis of maintenance cost of dry manufacturing system ····· 392
<Table 3.4.5> Result of quality evaluation of recycled sand produced by process ·· 392
<Table 3.4.6> Measurement method and relation standard of environmental road efficiency ····· 410
<Table 3.4.7> Measurement result of environmental road efficiency ····· 414
<Table 3.5.1> Kind of object sample for evaluating fundamental properties ·· 423
<Table 3.5.2> Experiment category and testing method for recycled sand ····· 424
<Table 3.5.3> Result table of fundamental properties evaluation for recycled sand ···· 426
<Table 3.5.4> Experiment plan and combination for quality evaluation of mortar ····· 431
<Table 3.5.5> Evaluation category and test method for quality evaluation of mortar of recycled sand ····· 432
<Table 3.5.6> Result table for quality evaluation of mortar of recycled sand ····· 432
<Table 3.5.7> Experiment plan and combination for quality evaluation of concrete ·· ····· 436
<Table 3.5.8> Experiment category and experiment method for recycled sand ····· 437
<Table 3.5.9> Result of quality evaluation of concrete ····· 437
<Table 3.6.1> Comparison of existing ventilator and advanced ventilation ····· 442
<Table 3.6.2> Regulation standard of living noise ····· 446
<Table 3.6.3> Comparison of foreign matter removal by fixed deck and vibration plate ····· 447
<Table 3.6.4> Comparison of recycled aggregates selling ····· 451
<Table 3.6.5> Results of soil sample analysis ····· 452

<Table 3.7.1> Physical and chemical characteristic of nature mineral ····· 463
<Table 3.7.2> Physical factor by chemical composition ····· 464
<Table 3.7.3> Stabilization of harmfulness material applied compound ····· 464
<Table 3.7.4> Inactivity reaction of compound ····· 465
<Table 3.7.5> Chemical composition of Portland cement ····· 468
<Table 3.7.6> Oxidation of Portland cement ····· 469
<Table 3.7.7> Economic analysis classified by application plan ····· 75
<Table 3.7.8> Chemical component and soil texture analysis of construction sludge ····· 477
<Table 3.7.9> Testing condition ····· 478
<Table 3.7.10> Soil texture of construction sludge ····· 478
<Table 3.7.11> Manufacturing condition of specimen ····· 479
<Table 3.7.12> Classification of main stabilizer ····· 480
<Table 3.7.13> Characteristic of stabilizer ····· 482
<Table 3.7.14> Chemical component and soil texture analysis of construction sludge ····· 483
<Table 3.7.15> Mixing test process ····· 484
<Table 3.7.16> Example of process for indoor mixing test ····· 485
<Table 3.7.17> Testing process ····· 486
<Table 3.7.18> Soil test of construction sludge ····· 487
<Table 3.7.19> Base mixture of developed stabilizer ····· 493
<Table 3.7.20> Penetrability of chlorine ion to paving material ····· 496
<Table 3.7.21> Specific gravity of developed stabilizer ····· 502
<Table 3.7.22> Test result for hydraulic conductivity of environment-friendly soil paving material ····· 503
<Table 3.7.23> Test result for flexural strength of developed stabilizer ····· 504
<Table 3.7.24> Test result for thermal transmission properties of environment-friendly soil paving material ····· 505
<Table 3.7.25> Test result of resistance to chlorine ion penetration ····· 505
<Table 3.7.26> Detail content of field application ····· 510
<Table 3.7.27> Testing result classified by items ····· 511
<Table 3.8.1> Detailed subject of process ····· 521
<Table 3.8.2> Experimental plan ····· 522
<Table 3.8.3> Physical properties of dry plaster mortar ····· 523
<Table 3.8.4> Physical properties of product types ····· 523
<Table 3.8.5> Capacity of equipment ····· 526
<Table 3.8.6> Detailed explanation of each process ····· 530

<Table 3.8.7> Difference of manufacture process of lightweight foam concrete using WCS and ALC ····· 532
<Table 3.8.8> Specification of powder material storage ····· 534
<Table 3.8.9> Specification of depot liquid material storage ····· 534
<Table 3.8.10> Specification of C103 process ····· 535
<Table 3.8.11> Specification of depot foaming ····· 535
<Table 3.8.12> Specification of foaming generator ····· 536
<Table 3.8.13> Specification of foaming weighing ····· 537
<Table 3.8.14> Specification of mixer ····· 537
<Table 3.8.15> Specification of mold ····· 538
<Table 3.8.16> Specification of pre-curing ····· 538
<Table 3.8.17> Specification of steam-curing ····· 539
<Table 3.8.18> Specification of Autoclave-curing ····· 539
<Table 3.8.19> Specification of cutting equipment ····· 539
<Table 3.8.20> Specification of surface treatment ····· 540
<Table 3.8.21> Main equipment of pilot plant ····· 550
<Table 3.8.22> Target performance of lightweight foam concrete block ····· 556
<Table 3.8.23> Basic dimension of lightweight foam concrete block ····· 556
<Table 3.8.24> Physical and chemical properties of ordinary portland cement ····· 557
<Table 3.8.25> Physical and chemical properties of waste concrete powder ····· 557
<Table 3.8.26> Physical and chemical properties of quartz powder ····· 558
<Table 3.8.27> Physical and chemical properties of alumina cement ····· 558
<Table 3.8.28> Chemical properties of calcium hydroxide ····· 559
<Table 3.8.29> Chemical properties of anhydrite ····· 559
<Table 3.8.30> Chemical properties of foaming agent ····· 559
<Table 3.8.31> Chemical properties of superplasticizer ····· 560
<Table 3.8.32> Oven dry density and compressive strength of lightweight foam concrete block ····· 563
<Table 3.8.33> Shape of lightweight foam concrete block ····· 563
<Table 3.8.34> Manufacture dimension ····· 563
<Table 3.8.35> Tolerance of manufacture dimension ····· 563
<Table 3.8.36> Experimental plan ····· 565
<Table 3.8.37> Experimental result ····· 567
<Table 3.8.38> Target performance of purifying filte ····· 568
<Table 3.8.39> Basic dimension of purifying filter ····· 568
<Table 3.8.40> Physical and chemical properties of surface active agent ····· 569
<Table 3.8.41> Shape of purifying filter ····· 569

<Table 3.8.42> Manufacture dimension ····· 570
<Table 3.8.43> Tolerance rate of manufacture dimension ····· 570
<Table 3.8.44> Experimental plan ····· 573
<Table 3.8.45> Mixing design ····· 573
<Table 3.8.46> Chemical properties of used materials ····· 574
<Table 3.8.47> Experimental plan ····· 577
<Table 3.8.48> Experimental mix design ····· 577
<Table 3.8.49> Type of Test method according to the permeability ····· 579
<Table 3.9.1> Trial plan (Case 1. Intchem) ····· 583
<Table 3.9.2> Trial plan (Case 2. Daedong) ····· 585
<Table 3.9.3> Trial plan (Case 3. Kong-ju university) ····· 586
<Table 3.9.4> Trial plan (Case 4. LCM korea) ····· 587
<Table 3.9.5> Meeting of pilot project ····· 588
<Table 3.9.6> Input quantity of construction waste ····· 589
<Table 3.9.7> Example of recycling aggregate needs by used parts ····· 590
<Table 3.9.8> Truck speed on field conditions/road conditions ····· 591
<Table 3.9.9> Injection equipment on progress of work ····· 591
<Table 3.9.10> Regression equation of transport charge unit by truck speed and transport distance ····· 592
<Table 3.9.11> Coefficient of $CO_2$ emission on kind of energy ····· 593
<Table 3.9.12> The ability to work and fuel consumption unit by process of demolition work ····· 595
<Table 3.9.13> Equipment and $CO_2$ emission used in demolition work ····· 595
<Table 3.9.14> The ability to work and fuel consumption unit by process of site recycling ····· 596
<Table 3.9.15> In the case of site recycling, $CO_2$ emission ····· 597
<Table 3.9.16> Production process of recycling aggregate by recycling companies and $CO_2$ emission ····· 598
<Table 3.9.17> $CO_2$ emission by distance carrier ····· 598
<Table 3.9.18> Production process of stone mountain and $CO_2$ emission ····· 599
<Table 3.9.19> The number of truck on distance carrier and truck speed ····· 600
<Table 3.9.20> The number of trains on quantity of construction waste ····· 601
<Table 3.9.21> $CO_2$ emission on case of site recycling and recycling companies by year ····· 602
<Table 3.9.22> $CO_2$ emission on case of site recycling and stone mountain by year ····· 603
<Table 3.9.23> Rate of $CO_2$ emission by distance carrier ····· 603

<Table 3.9.24> Difference in $CO_2$ emission ····· 604
<Table 3.9.25> Petitions related noise standards and measures to noise ····· 605
<Table 3.9.26> The quantity of construction wastes in Bugok-dong No.267-67 ····· 609
<Table 3.9.27> The emission ofconstruction wastes ····· 614
<Table 3.9.28> The volume of illegal fly-tipping and leaving waste ····· 614
<Table 3.9.29> Existing classification system of the unit ····· 615
<Table 3.9.30> New classification system of the construction wastes unit ····· 616
<Table 3.9.31> The unit of Sinchon housing environment amelioration program ····· 617
<Table 3.9.32> Construction waste disposal and the unit of a program recycling ···· 618
<Table 3.9.33> The unit of study to recycle Sangdong district's construction wastes ····· 618
<Table 3.9.34> A study on separately discharge the construction wastes ····· 619
<Table 3.9.35> The unit of construction standard estimating research material data ····· 619
<Table 3.9.36> The unit of guidelines to manage the construction site's wastes ··· 620
<Table 3.9.37> The method of application the unit ····· 620
<Table 3.9.38> The bibliography and the research institution of the unit ····· 621
<Table 3.9.39> Result of applied unit in Hwasung city ····· 621
<Table 3.9.40> Result of applied unit in Busan city ····· 622
<Table 3.9.41> Division of construction wastes by producing states ····· 624
<Table 3.9.42> Statistical data of frequency ····· 625
<Table 3.9.43> Statistics of construction waste by wall materials ····· 626
<Table 3.9.44> Examination of dispersion consubstantiality of a kind of construction by wall materials ····· 627
<Table 3.9.45> Variance analysis of construction waste by wall materials ····· 627
<Table 3.9.46> Statistics of construction wastes by roofing materials ····· 628
<Table 3.9.47> Examination of dispersion consubstantiality of a kind of construction by roofing materials ····· 629
<Table 3.9.48> Distributed analysis of construction wastes by roof materials 629
<Table 3.9.49> Correlative analysis by floor space and construction wastes ··· 630
<Table 3.9.50> Simple regression model coefficient of waste block(a) ····· 631
<Table 3.9.51> Statistics of wastes block of real emission and regression calculation expression ····· 631
<Table 3.9.52> Simple regression model coefficient of waste roofing title(a) ··· 632
<Table 3.9.53> Simple regression model coefficient of waste wood(a) ····· 632
<Table 3.9.54> Simple regression model coefficient of waste plastics(a) ····· 633
<Table 3.9.55> Simple regression model coefficient of waste glass(a) ····· 633

<Table 3.9.56> Simple regression model coefficient of waste slate(a) ····· 634
<Table 3.9.57> Suggestion of Construction wastes emission of commercial building ····· 634
<Table 3.9.58> Statistics of Frequency ····· 635
<Table 3.9.59> Statistics of Commercial buildings ····· 635
<Table 3.9.60> Examination of dispersion consubstantiality ····· 637
<Table 3.9.61> Analysis of variance ····· 638
<Table 3.9.62> Correlative analysis by floor space and construction wastes ··· 638
<Table 3.9.63> Simple regression model coefficient of waste concrete ····· 639
<Table 3.9.64> Statistic of one-sample ····· 639
<Table 3.9.65> Simple regression model coefficient of waste brick ····· 639
<Table 3.9.66> Simple regression model coefficient of waste wood ····· 640
<Table 3.9.67> Simple regression model coefficient of waste metal ····· 640
<Table 3.9.68> Simple regression model coefficient of waste glass ····· 640
<Table 3.9.69> Suggestion of construction wastes emission of commercial building ····· 641
<Table 3.9.70> Calculation expression of construction wastes emission unit ··· 641
<Table 3.9.71> The target and actual result on recycle of construction waste ····· 643
<Table 3.9.72> Present status according to use of recycled aggregate ····· 643
<Table 3.9.73> Use status and out put according to use of recycled aggregate ····· 644
<Table 3.9.74> General subject of fractional dismantle construction trick suggestion ····· 646
<Table 3.9.75> Detail contents of fractional dismantle construction trick suggestion ····· 646
<Table 3.9.76> Regulations contents summary of reflected law in connection with waste in fractional dismantle construction trick suggestion ····· 649
<Table 3.9.77> Differentiation with existing fractional dismantle construction trick suggestion of ministry of land transport and maritime affairs ····· 651
<Table 3.9.78> Result of residential building fractional dismantle ····· 654
<Table 3.9.79> Result of industrial building fractional dismantle ····· 657
<Table 3.9.80> Test and Inspects ····· 662
<Table 3.9.81> Test of limit drop height ····· 668
<Table 3.9.82> Pollution standard ····· 669
<Table 3.9.83> Analysis of Factor ····· 669
<Table 3.9.84> Result of limit drop height ····· 670
<Table 3.9.85> Result of noxious exhaust test ····· 670
<Table 3.9.86> Type by properties of rubber chip packaging material ····· 672

<Table 3.9.87> Type by properties of artificial grass ····· 675
<Table 3.9.88> Analysis of Economical efficiency ····· 677
<Table 3.9.89> Result of $T_{max}$ calculation ····· 682
<Table 3.9.90> Result of $h_{max}$ calculation ····· 682
<Table 3.9.91> Result of installation thickness calculation ····· 683
<Table 3.9.92> The physical properties value which is applied ····· 685
<Table 3.9.93> Variation of tensile strength of drain material ····· 690
<Table 3.9.94> Variation of tensile strength of drain material ····· 691
<Table 3.9.95> A tentative constructs process by main subject ····· 698
<Table 3.10.1> I.I value by kinds of wood and addition materials ····· 704
<Table 3.10.2> Physical properties of cement ····· 705
<Table 3.10.3> Chemical properties of cement ····· 705
<Table 3.10.4> Characteristic of waste wood ····· 706
<Table 3.10.5> Characteristic of setting accelerator ····· 706
<Table 3.10.6> Manufacturing process of wood-based board using wood wool and chip ····· 707
<Table 3.10.7> Testing result on 28day ····· 709
<Table 3.10.8> Physical properties of log wood-wool ····· 712
<Table 3.10.9> Physical nature of cement ····· 713
<Table 3.10.10> Chemical component of white portland cement ····· 713
<Table 3.10.11> Characteristic and component of hardening accelerator ····· 714
<Table 3.10.12> Performance standard by KS F ISO 5660-1 ····· 715
<Table 3.10.13> Testing result for incombustibility ····· 716
<Table 4.1.1> Status of waste taken to landfill by waste types(Metropolitan landfill) ····· 726
<Table 6.1.1> Regulatory reference for oil contamination ····· 789
<Table 6.1.2> Oil content measurement ····· 789
<Table 6.1.3> WRAP (The Waste & Resources Action Programme, England 2005) ····· 811
<Table 6.2.1> Standard of earthiness ····· 814
<Table 6.2.2> Investigation experiment method on the earthiness division decision ····· 815
<Table 6.2.3> Application standard ····· 815

# <FIGURE>

[Figure 1.1.1] Vision of R&D ····· 2
[Figure 1.1.2] Direction of R&D ····· 2
[Figure 1.1.3] Action plan of R&D by annual ····· 6
[Figure 2.1.1] Technical application status of contaminated soil purification(2000~2006) ····· 14
[Figure 2.4.1] Image of heating triturationin method ····· 41
[Figure 2.4.2] Flow of heating triturationin method plain ····· 41
[Figure 2.4.3] Principal part of eccentric rotter method equipment ····· 44
[Figure 2.4.4] Processing flow in the case of establishment existing middle disposal equipment ····· 45
[Figure 2.4.5] Section of screw trituration method equipment ····· 47
[Figure 2.4.6] Plant of screw trituration method equipment ····· 48
[Figure 2.4.7] Specific gravity sorting separator ····· 49
[Figure 2.4.8] Production flow of specific gravity sorting separator ····· 49
[Figure 2.4.9] Equipment outline of circular trituration method ····· 51
[Figure 2.4.10] Production flow of circular trituration method ····· 51
[Figure 2.4.11] Production progress flow of high quality recycled fine aggregate due to water washing method ····· 54
[Figure 2.4.12] Production progress flow of high quality recycled fine aggregate due to wind velocity sorting method ····· 55
[Figure 2.4.13] Problem and improvement direction of existing manufacture and production technology of recycled fine aggregate ····· 58
[Figure 2.7.1] Occurrence status of construction sludge ····· 82
[Figure 2.7.2] Treatment flow of construction sludge ····· 83
[Figure 2.7.3] Analysis of construction sludge quantity ····· 86
[Figure 2.7.4] Quantity of construction waste at home ····· 87
[Figure 2.7.5] Quantity of construction waste in Japan ····· 88
[Figure 2.7.6] Final disposal weight of construction waste in Japan ····· 89
[Figure 2.7.7] Law and regulation related to construction waste process at home ····· 90
[Figure 2.7.8] Application of construction sludge as roadbed material and backfill after solidification ····· 96
[Figure 2.7.9] Application technique of construction sludge ····· 96
[Figure 2.9.1] Judgement data of economical efficiency of site recycling ····· 120
[Figure 2.9.2] Changes in quantity of construction waste ····· 120
[Figure 2.9.3] Share and quantity of construction waste ····· 121
[Figure 2.9.4] Analysis of economical efficiency according to result of trial construction

of fractional dismantle in domestic ····· 131
[Figure 2.9.5] An Example of Unity Dismantle Construction in Europe and America ····· 132
[Figure 2.10.1] Production process of compressed fuel ····· 138
[Figure 2.10.2] Flow diagram of manufacture process for active carbon ····· 139
[Figure 2.10.3] Production process of fuel chip ····· 140
[Figure 2.10.4] Shape of low(wood wool, left) and high(wood chip, right) density board · ····· 141
[Figure 2.10.5] Production process of wood-based board using lumber ····· 142
[Figure 2.10.6] Application of wood-based board ····· 143
[Figure 2.10.7] Expense of disusing fee classified by occurred source in Germany ····· 148
[Figure 3.1.1] Change of secondary test mixture air content and slump hardening ····· 157
[Figure 3.1.2] Compressive strength of secondary test mixture ····· 157
[Figure 3.1.3] Mixture aggregate of ready mixed concrete ····· 159
[Figure 3.1.4] Fresh concrete test ····· 161
[Figure 3.1.5] Various material test ····· 163
[Figure 3.1.6] Measuring test for freezing and thawing and for dynamic modulus of elasticity ····· 164
[Figure 3.1.7] Outdoors exposure test ····· 164
[Figure 3.1.8] Concrete creep test ····· 165
[Figure 3.1.9] Change of Circulated aggregatge air content and slump by time 166
[Figure 3.1.10] Compressive strength characteristics of each curing method ····· 167
[Figure 3.1.11] Comparison according to sizes of test specimen mold for compressive strength ····· 168
[Figure 3.1.12] Modulus of elasticity - compressive strength relation ····· 172
[Figure 3.1.13] Splitting tensile strength - Compressive strength relation ····· 173
[Figure 3.1.14] Bending strength- Compressive strength ····· 173
[Figure 3.1.15] Recycled coarse aggregate concrete creep strain ····· 174
[Figure 3.1.16] Recycled fine aggregate concrete creep strain ····· 175
[Figure 3.1.17] Bar adhesion mechanism (ACI, 1992) ····· 180
[Figure 3.1.18] Pull-out test specimen ····· 184
[Figure 3.1.19] Pull-out test specimen ····· 184
[Figure 3.1.20] Adhesion durability test ····· 185
[Figure 3.1.21] Failure pattern of vertical adhesion test specimen ····· 185
[Figure 3.1.22] Vertical adhesion strength according to fine aggregate displacement ratio ····· 186

[Figure 3.1.23] Adhesion strength distribution of vertical adhesion test specimen according to concrete compressive strength ····· 187
[Figure 3.1.24] Concrete adhesion shape according to location of bars ····· 188
[Figure 3.1.25] Adhesion strength of 2-layer horizontal adhesion test specimen according to aggregate displacement ratio ····· 188
[Figure 3.1.26] Adhesion strength distribution of 2-layer vertical adhesion test specimen ····· 189
[Figure 3.1.27] Ratio of lower and higher layer adhesion strength of 2-layer horizontal adhesion test specimen ····· 190
[Figure 3.1.28] Adhesion strength of the 3-layer horizontal adhesion test specimen according to aggregate displacement ratio ····· 191
[Figure 3.1.29] Adhesion strength distribution of 3-layer horizontal adhesion test specimen ····· 191
[Figure 3.1.30] Ratio of lower and higher layer adhesion strength of 3-layer horizontal adhesion test specimen ····· 192
[Figure 3.1.31] Exterior transformation due to freezing and thawing ····· 193
[Figure 3.1.32] Adhesion strength of recycled coarse aggregate concrete after freezing and thawing ····· 193
[Figure 3.1.33] Adhesion strength of recycled fine aggregate concrete after freezing and thawing ····· 194
[Figure 3.1.34] Test specimen for mock-up bending performance ····· 198
[Figure 3.1.35] Test specimen installation situation ····· 199
[Figure 3.1.36] Final failure pattern ····· 200
[Figure 3.1.37] Load in relation to displacement ····· 201
[Figure 3.1.38] Evaluation of ductility ratio ····· 202
[Figure 3.1.39] Comparison of test values and previous research ····· 202
[Figure 3.1.40] Measurement and shape of column test specimen ····· 205
[Figure 3.1.41] Test specimen ····· 206
[Figure 3.1.42] Failure pattern of mock up compressive performance test ····· 207
[Figure 3.1.43] Load in relation to displacement ····· 207
[Figure 3.1.44] Test results comparison ····· 208
[Figure 3.1.45] Shape and measurement of test specimen ····· 211
[Figure 3.1.46] Test specimen installation situation ····· 212
[Figure 3.1.47] Test specimen failure pattern ····· 213
[Figure 3.1.48] Load in relation to deflection according to used aggregate ····· 214
[Figure 3.1.49] Comparison of shear strength test values and reference values 215
[Figure 3.1.50] Processing for purification treatment of contaminated construction

surplus soil ····· 220
[Figure 3.1.51] Dioxin generation during lower heating process ····· 220
[Figure 3.1.52] Analysis results of Dioxin ····· 221
[Figure 3.1.53] Review results of purification characteristics of heating method222
[Figure 3.1.54] Equipment for washing purification of oil-contaminated construction surplus soil (Pilot) ····· 224
[Figure 3.1.55] BTEX(mg/kg) concentration according to surface-active agent addition ratio ····· 226
[Figure 3.1.56] TPH(mg/kg) concentration according to surface-active agent addition ratio ····· 227
[Figure 3.1.57] BTEX(mg/kg) concentration according to washing time ····· 228
[Figure 3.1.58] TPH(mg/kg) concentration according to washing time ····· 228
[Figure 3.1.59] BTEX(mg/kg) concentration according to oil contamination ratio ·· ····· 229
[Figure 3.1.60] TPH(mg/kg) concentration according to oil contamination ratio 230
[Figure 3.1.61] BTEX(mg/kg) concentration according to petroleum (before purifying) 230
[Figure 3.1.62] BTEX(mg/kg) concentration according petroleum (after purifying) ····· 231
[Figure 3.1.63] TPH(mg/kg) concentration according to petroleum (before purifying) ····· 232
[Figure 3.1.64] TPH(mg/kg) concentration according to petroleum (after purifying) ····· 232
[Figure 3.1.65] BTEX(mg/kg) removal ratio according to purification time ····· 234
[Figure 3.1.66] TPH(mg/kg) removal ratio according to purification time ····· 234
[Figure 3.1.67] BTEX(mg/kg) removal ratio according to oil contamination ratio · ····· 235
[Figure 3.1.68] TPH(mg/kg) removal ratio according to oil contamination ratio ··· 235
[Figure 3.1.69] BTEX(mg/kg) removal ratio according to petroleum types ····· 236
[Figure 3.1.70] TPH(mg/kg) removal ratio according to petroleum types ····· 236
[Figure 3.1.71] BTEX(mg/kg) removal ratio according to purification method ····· 237
[Figure 3.1.72] TPH(mg/kg) removal ratio according to purification method ···· 237
[Figure 3.1.73] Utilization of pipe line work foundation refilling ····· 238
[Figure 3.1.74] Density(g/㎤) for aggregate by purification methods ····· 240
[Figure 3.1.75] Absorption(%)) for aggregate by purification methods ····· 241
[Figure 3.1.76] Clay block(%) for aggregate by purification methods ····· 241
[Figure 3.1.77] Particle shape identification(%) for aggregate by purification methods

····· 242
[Figure 3.1.78] Gradation(%)/KS F 2573 for aggregate by purification methods ···· 243
[Figure 3.1.79] Durability test ····· 244
[Figure 3.1.80] Compaction according to aggregate ····· 245
[Figure 3.1.81] Density(g/㎤) according to aggregat ····· 246
[Figure 3.1.82] Plate bearing according to aggregate ····· 247
[Figure 3.1.83] Moisture content(%) according to aggregate ····· 248
[Figure 3.1.84] Direct shear according to aggregate ····· 249
[Figure 3.1.85] Grain size according to aggregate ····· 250
[Figure 3.1.86] Manufacturing process for waste glass tiles ····· 254
[Figure 3.1.87] Measurement transformation of waste glass tiles according to temperature increase rate ····· 255
[Figure 3.1.88] Plasticity conditions for waste glass tiles ····· 255
[Figure 3.1.89] Correlation between temperature increase rate and waste glass tiles absorption ratio ····· 256
[Figure 3.1.90] Correlation between temperature increase rate and waste glass tiles failure load ····· 257
[Figure 3.1.91] General clay blocks manufacturing method ····· 260
[Figure 3.1.92] SEM photograph of waste glass block raw material ····· 263
[Figure 3.1.93] XRD patterns of blocks raw materials ····· 263
[Figure 3.1.94] DTA curves of waste glass raw materials ····· 264
[Figure 3.1.95] Stringer-emery methodology ····· 266
[Figure 3.1.96] Plasticity of displaced soil ····· 266
[Figure 3.1.97] Displaced soil plasticity according to moisture content ····· 267
[Figure 3.1.98] Displaced soil plasticity according to waste glass content ····· 268
[Figure 3.1.99] Displaced soil plasticity according to plasticizer types ····· 269
[Figure 3.1.100] Blocks plasticity - Compressive plasticity press ····· 271
[Figure 3.1.101] Plasticity conditions for waste glass block ····· 271
[Figure 3.1.102] Compressive strength of waste glass blocks according to waste glass content and plasticity temperature ····· 273
[Figure 3.1.103] Absorption of waste glass blocks according to waste glass content and plasticity ····· 274
[Figure 3.1.104] Correlation between waste glass block plasticity time and compressive strength ····· 275
[Figure 3.1.105] Correlation between waste glass block plasticity time and absorption ratio ····· 276

[Figure 3.1.106] Optimal plasticity conditions for waste glass block ····· 276
[Figure 3.1.107] Clay blocs market situation ····· 281
[Figure 3.2.1] Composition diagram for information processing system ····· 288
[Figure 3.2.2] Composition diagram for follow-up management of recycled aggregate ····· 288
[Figure 3.2.3] Modular design ····· 289
[Figure 3.2.4] Contract management ····· 293
[Figure 3.2.5] Dispatch status ····· 293
[Figure 3.2.6] Dispatch registration ····· 293
[Figure 3.2.7] Dispatch management ····· 293
[Figure 3.2.8] Dispatch handling ····· 294
[Figure 3.2.9] Batching management ····· 294
[Figure 3.2.10] Recycled aggregate ····· 294
[Figure 3.2.11] Recycled aggregate sales records ····· 294
[Figure 3.2.12] Recycled aggregate production and distribution logs ····· 294
[Figure 3.2.13] Recycled aggregate inventory ····· 294
[Figure 3.2.14] Diagram of load measuring equipment ····· 295
[Figure 3.2.15] Photograph of Lab. Scale test measuring ····· 296
[Figure 3.2.16] Sensor prototype assembling parts ····· 297
[Figure 3.2.17] Sketchy description of plate spring ····· 298
[Figure 3.2.18] Picture of plate spring test ····· 298
[Figure 3.2.19] Strain gauge installed inside plate spring ····· 299
[Figure 3.2.20] Test with actual load on vehicle to measure plate spring displacement · ····· 300
[Figure 3.2.21] Load measuring test by using TWMS ····· 301
[Figure 3.2.22] Sensor location to measure loading ····· 302
[Figure 3.2.23] Built-in load sensor ····· 303
[Figure 3.2.24] Road-map for follow-up management system of quality certification for recycled aggregate ····· 309
[Figure 3.2.25] Modular design of follow-up management system of quality certification for recycled aggregate ····· 309
[Figure 3.3.1] Progress plan of R&D ····· 312
[Figure 3.3.2] Flow chart for R&D target by annual ····· 312
[Figure 3.3.3] Aggregate for application (natural aggregate, recycled aggregate, reuse aggregate) ····· 314
[Figure 3.3.4] Combined gradation for indoors test ····· 315
[Figure 3.3.5] Density and absorption test method KS F 2503 and KS F 2504 ··· 316

[Figure 3.3.6] Density comparison for each single gradation of natural aggregate, recycled aggregate, Recycled aggregate ····· 317
[Figure 3.3.7] Absorption comparison for each single gradation of natural aggregate, recycled aggregate, Recycled aggregate ····· 317
[Figure 3.3.8] Picture of test of contaminant content (KS F 2576) ····· 318
[Figure 3.3.9] Definition of flat/elongated particle in aggregate (KS F 2575) ··· 320
[Figure 3.3.10] Measurement of ratio of flat/elongated particle in aggregate ···· 320
[Figure 3.3.11] Test results of flat/elongated particle in aggregate (Thickness : Length = 1 : 3) ····· 321
[Figure 3.3.12] LA abrasion test equipment ····· 322
[Figure 3.3.13] Heavy metal leaching characteristics according to pH conditions ·· 326
[Figure 3.3.14] Heavy metal leaching characteristics according to pH conditions (a)Fe, (b)Al ····· 327
[Figure 3.3.15] Detailed diagram of leaching test for Circulated aggregate filler column ····· 328
[Figure 3.3.16] Leaching alkalinity according to Circulated aggregatge volume 329
[Figure 3.3.17] Combined gradation for indoors test ····· 333
[Figure 3.3.18] Manufacturing process of asphalt mixture ····· 335
[Figure 3.3.19] Process of making test piece of Marshal's mixture design ····· 336
[Figure 3.3.20] Theoretic maximum density ····· 337
[Figure 3.3.21] Density measuring (Temperature 25℃) ····· 338
[Figure 3.3.22] Marshal's stability tester ····· 338
[Figure 3.3.23] Mixture design graph of natural aggregate ····· 340
[Figure 3.3.24] Comparison of road pavement specification and samples characteristics values ····· 341
[Figure 3.3.25] Mixture design graph of Circulated aggregate ····· 341
[Figure 3.3.26] Mixture design graph of Recycled aggregate ····· 342
[Figure 3.3.27] Making of test piece by using rotary compaction ····· 343
[Figure 3.3.28] Details of test piece using rotary compaction ····· 344
[Figure 3.3.29] Picture of test ····· 345
[Figure 3.3.30] Install gauge pointer (asphalt mixture of recycled aggregate) ·· 346
[Figure 3.3.31] Loading Shape of Dynamic modulus of elasticity ····· 346
[Figure 3.3.32] Dynamic modulus of elasticity test and reading procedure (Sejong university) ····· 350

[Figure 3.3.33] Comparison of measured data and strain ratio data after curve fitting ····· 351

[Figure 3.3.34] Data analysis program of Dynamic modulus of elasticity ····· 351
[Figure 3.3.35] Definition of shape parameter ····· 353
[Figure 3.3.36] Measurement results of Dynamic modulus of elasticity (natural aggregate) ····· 354
[Figure 3.3.37] Measurement results of Dynamic modulus of elasticity (recycled aggregate) ····· 354
[Figure 3.3.38] Shift Factor ····· 355
[Figure 3.3.39] Master Curve(Reference Temperature 15℃) ····· 355
[Figure 3.3.40] Indirect tension test ····· 357
[Figure 3.3.41] Indirect tensile strength test overview ····· 357
[Figure 3.3.42] Making of test piece ····· 358
[Figure 3.3.43] Section of test piece ····· 359
[Figure 3.3.44] Indirect tensile strength ····· 359
[Figure 3.3.45] Indirect tensile strength - strain grap ····· 360
[Figure 3.3.46] Test piece failure section after Indirect tensile strength test ·· 360
[Figure 3.3.47] KIM Test ····· 361
[Figure 3.3.48] KIM Test overview ····· 362
[Figure 3.3.49] KIM Test results and Circulated aggregatge test results ····· 362
[Figure 3.3.50] Wheel Tracking test ····· 363
[Figure 3.3.51] Wheel Tracking test piece making ····· 363
[Figure 3.3.52] Completed Wheel Tracking test piece ····· 365
[Figure 3.3.53] Time - Strain graph ····· 366
[Figure 3.3.54] Dynamic stability - Strain rate graph ····· 367
[Figure 3.3.55] HWLS diagram ····· 368
[Figure 3.3.56] Preparation of test section for HWLS performance evaluation · 370
[Figure 3.3.57] HWLS performance evaluation test ····· 371
[Figure 3.3.58] Strain ratio gauge location ····· 372
[Figure 3.3.59] HWLS test results ····· 373
[Figure 3.3.60] Test results for static loading ····· 374
[Figure 3.3.61] On-site test construction section ····· 375
[Figure 3.3.62] On-site test construction ····· 376
[Figure 3.3.63] FWD test overivew ····· 376
[Figure 3.3.64] Comparison of Wheel Path and Non Wheel Path of natural aggregate road base course ····· 377
[Figure 3.3.65] Comparison of Wheel Path and Non Wheel Path of recycled road base course ····· 378

[Figure 3.3.66] FWD overall results ····· 378
[Figure 3.3.67] Advantage of using Circulated aggregatge ····· 379
[Figure 3.3.68] Construction cost comparison of natural aggregate, recycled aggregate, Recycled aggregate ····· 380
[Figure 3.4.1] Progress and organization equipment of dry separation system ····· 382
[Figure 3.4.2] Development of sorting equipment (Dry manufacturing system Ⅰ) ···· 388
[Figure 3.4.3] Process flow of developed dry manufacturing system Ⅰ ····· 389
[Figure 3.4.4] Development of sorting equipment (Dry manufacturing system Ⅱ) ···· 390
[Figure 3.4.5] Process flow of developed dry manufacturing system Ⅱ ····· 391
[Figure 3.4.6] Standard grading curve of recycled sand (Dry manufacturing system Ⅰ) ····· 393
[Figure 3.4.7] Plane figure of reclaimer of minuteness sand ····· 394
[Figure 3.4.8] Projection of reclaimer of minuteness sand ····· 394
[Figure 3.4.9] Recycling concept of recycled sand and powder by reclaimer of minuteness sand ····· 395
[Figure 3.4.10] Grade of minuteness sand by reclaimer of minuteness sand ····· 399
[Figure 3.4.11] Establishment of crushing and trituration equipment ····· 401
[Figure 3.4.12] Gathering process of recycled sand of dry manufacturing system Ⅰ ·· 402
[Figure 3.4.13] Grade of recycled sand produced by process ····· 406
[Figure 3.4.14] Absolute dry density of recycled sand produced by process ····· 408
[Figure 3.4.15] Water absorption ratio of recycled sand produced by process ·· 408
[Figure 3.4.16] 0.08mm sieve passing weight of recycled sand produced by process ····· 409
[Figure 3.4.17] Ratio of absolute volume of recycled sand produced by process ····· 409
[Figure 3.4.18] Measurement result of minuteness dust ····· 414
[Figure 3.4.19] Measurement result of noise ····· 415
[Figure 3.4.20] Measurement result of vibration ····· 415
[Figure 3.4.21] Improvement plan for developing environmental road efficiency and quality of recycled sand ····· 417
[Figure 3.5.1] Plan of Sand Flux device for commercialization ····· 418
[Figure 3.5.2] Process plan of Sand Flux device for commercialization ····· 419
[Figure 3.5.3] Composition of Sand Flux device for commercialization ····· 419
[Figure 3.5.4] Field plant with application of trial Sand Flux device ····· 421
[Figure 3.5.5] Manufacturing process of recycled sand of the middle-treatment enterprise of construction waste ····· 424
[Figure 3.5.6] Variation of specific gravity ····· 427
[Figure 3.5.7] Variation of absorbing ratio ····· 428

[Figure 3.5.8] Variation of organic impurities content ····· 428
[Figure 3.5.9] Variation on the amount of clay lump ····· 430
[Figure 3.5.10] Variation on passage amount of 0.08mm ····· 430
[Figure 3.5.11] Variation on fluid characteristics of mortar (W/C 40%) ····· 433
[Figure 3.5.12] Variation on fluid characteristics of mortar (W/C 50%) ····· 434
[Figure 3.5.13] Variation on compressive strength of mortar (W/C 40%) ····· 434
[Figure 3.5.14] Variation on compressive strength of mortar (W/C 50%) ····· 435
[Figure 3.5.15] Variation on unit water contents of concrete ····· 438
[Figure 3.5.16] Variation on fluid characteristics of concrete ····· 438
[Figure 3.5.17] Variation on compressive strength of concrete ····· 439
[Figure 3.5.18] Variation plastic shrinkage of concrete ····· 440
[Figure 3.6.1] Problems of the 1st device test run ····· 443
[Figure 3.6.2] Hold a consultation meeting ····· 443
[Figure 3.6.3] Design of advanced ventilator ····· 445
[Figure 3.6.4] Design of vibration plate ····· 448
[Figure 3.6.5] Using of recycled aggregates ····· 450
[Figure 3.6.6] Flow chart of recycling plant ····· 453
[Figure 3.6.7] Process of soil treatment by foreign matter removal device ·· 454
[Figure 3.6.8] Investigation of place which installation of the 2nd device ··· 455
[Figure 3.6.9] Design for installation of the 2nd device ····· 455
[Figure 3.6.10] Installed device at dong-gun environment co., ltd. ····· 456
[Figure 3.6.11] Hold a demonstration of the 2nd device ····· 456
[Figure 3.7.1] Recycling technique of construction sludge ····· 475
[Figure 3.7.2] Condition of construction sludge sample ····· 479
[Figure 3.7.3] Physical properties of construction sludge by occurred condition ····· 479
[Figure 3.7.4] Recycling technique of construction sludge ····· 482
[Figure 3.7.5] Variation of uniaxial compressive strength by dissolving and stabilizing to clay(sample 1, CH) ····· 488
[Figure 3.7.6] Variation of uniaxial compressive strength by dissolving and stabilizing to silt(sample 3, CH) ····· 490
[Figure 3.7.7] Variation of uniaxial compressive strength by dissolving and stabilizing to clay(sample 2, CH) ····· 491
[Figure 3.7.8] Variation of uniaxial compressive strength by dissolving and stabilizing to silt(sample 4, CH) ····· 492

[Figure 3.7.9] Variation of uniaxial compressive strength by dissolving and stabilizing to silt(sample 4, CH) ····· 497

[Figure 3.7.10] Variation of compressive strength by test of construction sludge addition to stabilizer(DGK-180) ····· 497
[Figure 3.7.11] Variation of compressive strength by mixing construction sludge with weathered granite soil ····· 498
[Figure 3.7.12] Variation of compressive strength by mixing stabilizer with construction sludge, weathered granite soil and yellow soil ····· 498
[Figure 3.7.13] Compressive strength by variation of OPC and SL to developed stabilizer ····· 499
[Figure 3.7.14] Compressive strength test by variation of GMC to developed stabilizer 499
[Figure 3.7.15] Compressive strength test by variation of CSA to developed stabilizer 500
[Figure 3.7.16] Compressive strength test of soil paving material ····· 501
[Figure 3.7.17] Testing for compaction unconfined compressive strength of environment -friendly soil paving material ····· 501
[Figure 3.7.18] Unconfined compressive strength test by variation of CSA to developed stabilizer ····· 502
[Figure 3.7.19] Testing for hydraulic conductivity of environment-friendly soil paving material ····· 503
[Figure 3.7.20] Hydraulic conductivity according to stabilizer contents classified by construction sludge ····· 504
[Figure 3.7.21] Testing for flexural strength of developed stabilizer ····· 504
[Figure 3.7.22] Design plan of solidification equipment to construction sludge ····· 506
[Figure 3.7.23] Solidification process of drift soil on harbor dredging activities in Matsue, Shimane, Japan ····· 507
[Figure 3.7.24] Trial construction of soil paving using stabilized soil ····· 508
[Figure 3.7.25] Design plan of solidification equipment to construction sludge ····· 509
[Figure 3.7.26] Mobile equipment for solidification to construction sludge(ODESSA co., Japan) ····· 512
[Figure 3.8.1] Manufacture process of oven dry plaster mortar ····· 516
[Figure 3.8.2] Manufacture process for oven dry mortal ····· 517
[Figure 3.8.3] Manufacture process for the application of recycled aggregate -design 1 ····· 518
[Figure 3.8.4] Manufacture process for the application of recycled aggregate -design 2 ····· 519
[Figure 3.8.5] Manufacture process for the application of recycled aggregate -design 3 ····· 520
[Figure 3.8.6] Manufacture process for flow by design 3 ····· 520
[Figure 3.8.7] Compressive strength according to age ····· 524

[Figure 3.8.8] Length change for product according to age ····· 525
[Figure 3.8.9] Longitudinal section of pilot plant ····· 527
[Figure 3.8.10] Side section of pilot plant A-A′ ····· 528
[Figure 3.8.11] Process design of pilot plant ····· 529
[Figure 3.8.12] Manufacture process of ALC ····· 530
[Figure 3.8.13] Manufacture process for lightweight block of using WCS ····· 531
[Figure 3.8.14] Manufacture process for oven dry mortal ····· 549
[Figure 3.8.15] Section of 200㎜ product ····· 556
[Figure 3.8.16] Section of 100㎜ product ····· 556
[Figure 3.8.17] Testing result(AES 250%) ····· 567
[Figure 3.8.18] Testing result(AES 300%) ····· 567
[Figure 3.8.19] Mixing method ····· 575
[Figure 3.8.20] Curing method ····· 575
[Figure 3.8.21] Flow and slurry density according to variation for foam ratio · 576
[Figure 3.8.22] Oven dry density and compressive strength according to foam ratio ····· 576
[Figure 3.8.23] Experimental Method ····· 578
[Figure 3.8.24] Curing Method ····· 578
[Figure 3.9.1] Develop method of simulation program ····· 581
[Figure 3.9.2] Trial plan on kongju university ····· 582
[Figure 3.9.3] Applying part of construction test(waste glass) ····· 584
[Figure 3.9.4] Drawing of applying parts(Packaging soil) ····· 585
[Figure 3.9.5] Drawing of applying parts (Lightweight block) ····· 587
[Figure 3.9.6] Transport unit charge by distance and truck speed ····· 592
[Figure 3.9.7] Comparison of $CO_2$ emission ····· 599
[Figure 3.9.8] Emission of $CO_2$(distance: 30km) ····· 604
[Figure 3.9.9] Configuration outline of simulation program ····· 606
[Figure 3.9.10] Location of Bugok-dong redevelopment district ····· 608
[Figure 3.9.11] Actual measurement ····· 608
[Figure 3.9.12] Actual measurement drawing(left:1F, right:2F) ····· 609
[Figure 3.9.13] Location of Sample Building in Bugok-dong ····· 610
[Figure 3.9.14] The situation of Sample building ····· 612
[Figure 3.9.15] Assortment course of mixed wastes ····· 612
[Figure 3.9.16] Measure mixed wastes ····· 613
[Figure 3.9.17] Domain waste and construction waste emission result ····· 614
[Figure 3.9.18] Location of Sin-chon 1-2 district ····· 623
[Figure 3.9.19] Histogram by type of material(Residential building) ····· 625

[Figure 3.9.20] Histogram by type of material(Industrial building) ····· 635
[Figure 3.9.21] Classification diagram of waste in country ····· 642
[Figure 3.9.22] Medium-and long -term target of construction waste policy ···· 645
[Figure 3.9.23] Executive target of fractional dismantle construction ····· 647
[Figure 3.9.24] Process of fractional dismantle construction ····· 647
[Figure 3.9.25] Occurred waste in dismantle site ····· 649
[Figure 3.9.26] Investigate suitable of government policy and reflected law, guide ····· 650
[Figure 3.9.27] Secondary trial construction of fractional dismantle to residential building ····· 652
[Figure 3.9.28] Examination the present condition and survey to trial construction building ····· 652
[Figure 3.9.29] Surveyed blue print to trial construction building ····· 653
[Figure 3.9.30] The main working process of trial construction of fractional dismantle ····· 654
[Figure 3.9.31] Secondary trial construction of fractional dismantle to industrial building ····· 655
[Figure 3.9.32] Examination the present condition and survey to trial construction building ····· 655
[Figure 3.9.33] Surveyed blue print to trial construction building ····· 656
[Figure 3.9.34] The main working process of trial construction of fractional dismantle ···· 656
[Figure 3.9.35] Photograph of crusher ····· 659
[Figure 3.9.36] Design of continuous process ····· 661
[Figure 3.9.37] Production process of block type ····· 661
[Figure 3.9.38] Specifications of drainage protection layer ····· 664
[Figure 3.9.39] Process of safety authentication ····· 666
[Figure 3.9.40] Test equipment of HIC ····· 667
[Figure 3.9.41] Curve graph of HIC ····· 668
[Figure 3.9.42] Comparison of application section for ground material in playground ····· 672
[Figure 3.9.43] Application section of landfill ····· 678
[Figure 3.9.44] Basic section ····· 680
[Figure 3.9.45] Type of interpretation section ····· 686
[Figure 3.9.46] Changing formation of element ····· 686
[Figure 3.9.47] Shear strain ratio of waste landfill ····· 687
[Figure 3.9.48] A distribution chart of shear stress ····· 687
[Figure 3.9.49] Variation of tensile strength of drain material ····· 691

[Figure 3.9.50] Variation of tensile strength of drain material ····· 692
[Figure 3.9.51] Application drawing ····· 695
[Figure 3.9.52] Application drawing ····· 696
[Figure 3.9.53] A tentative constructs of playing ground yard ····· 697
[Figure 3.9.54] Profile of construction ····· 697
[Figure 3.9.55] Comparison of application section ····· 698
[Figure 3.9.56] Construction method for bonding of recycled polyolefin foam and concrete ····· 699
[Figure 3.9.57] Construction order of recycled polyolefin foam and base concrete bonding ····· 700
[Figure 3.9.58] Construction order of recycled polyolefin foam ····· 700
[Figure 3.9.59] Construction order of artificial turf spread ····· 701
[Figure 3.9.60] Drain detail drawing ····· 702
[Figure 3.10.1] Production process of waste wood chip ····· 706
[Figure 3.10.2] Manufacturing process diagram of mixed wood-based board ····· 707
[Figure 3.10.3] Manufacturing process of mixed wood-based board ····· 708
[Figure 3.10.4] Bending breaking load by age ····· 709
[Figure 3.10.5] Bending breaking load by age ····· 710
[Figure 3.10.6] Specific gravity of board on 28day ····· 711
[Figure 3.10.7] Production process of wood-wool recycling waste wood ····· 712
[Figure 3.10.8] Shape of wood-wool ····· 713
[Figure 3.10.9] Manufacturing process of specimen ····· 714
[Figure 3.10.10] Cone calorimeter ····· 715
[Figure 3.10.11] Shape of wood-based board after retardant test ····· 716
[Figure 4.1.1] Yearly data of aggregate approved and delivered ····· 726
[Figure 4.1.2] Impact of the research on construction industry (construction surplus soil and waste glass) ····· 727
[Figure 6.1.1] Purification construction sites of Shimizu ····· 781
[Figure 6.1.2] Case of washing effect by verification test ····· 784
[Figure 6.1.3] Characteristics of new purification system ····· 784
[Figure 6.1.4] Shimizu purification business execution plan ····· 786
[Figure 6.1.5] Trends of gas stations and operators ····· 791
[Figure 6.1.6] Underground oil-contamination of gas stations ····· 793
[Figure 6.1.7] Limestone purification method process map ····· 795
[Figure 6.1.8] DCM-e method ····· 801
[Figure 6.1.9] Extraction of oil content ····· 802
[Figure 6.1.10] Heating treatment system ····· 803

[Figure 6.1.11] On-site limestone purification on ····· 803
[Figure 6.1.12] Washing purification system ····· 803
[Figure 6.1.13] Delivery after washing purification ····· 803
[Figure 6.1.14] Freezing and gas suction ····· 805
[Figure 6.1.15] Soil purification acceleration process map through Freezing and gas suction ····· 805
[Figure 6.1.16] Soil purification system and on-site application ····· 806
[Figure 6.1.17] Soil purification through freezing and gas suction ····· 806
[Figure 6.1.18] Comparison of contaminated soil purification methods ····· 807
[Figure 6.1.19] Site of contaminated soil purification ····· 808
[Figure 6.1.20] Construction site-wide purification ····· 808

[Figure 6.1.21] Purification of contaminated soil after delivery to purification plant ····· 809
[Figure 6.1.22] Process of bio-method treatment ····· 810
[Figure 6.1.23] Heat treatment of ToDa Construction ····· 811

# <PHOTO>

[Photo 2.4.1] Heating triturationin method plant (Transfer type) ····· 42
[Photo 2.4.2] Heating equipment of 60t/h with fixation type(ASCON factory) ··· 42
[Photo 2.4.3] Recycled coarse aggregate H ····· 42
[Photo 2.4.4] Recycled fine aggregate H ····· 42
[Photo 2.4.5] Example of treatment plant on the eccentric rotter method equipment ····· 45
[Photo 2.4.6] Crushed goods (left), Recycled coarse aggregate (right) ····· 46
[Photo 2.4.7] Screw trituration method equipment ····· 48
[Photo 2.4.8] Recycled coarse aggregate ····· 48
[Photo 2.4.9] Plant of screw trituration method ····· 48
[Photo 2.4.10] Recycled coarse aggregate ····· 49
[Photo 2.4.11] The look of equipment of circular trituration method ····· 51
[Photo 2.4.12] The look of recycled coarse aggregate ····· 52
[Photo 2.4.13] The look of recycled fine aggregate ····· 52
[Photo 2.4.14] Example of water washing method for high quality recycled fine aggregate ····· 53
[Photo 2.4.15] Example of wind velocity sorting method for high quality recycled fine aggregate ····· 55
[Photo 2.8.1] Shape of block ····· 105
[Photo 2.8.2] Product of Celcon in England ····· 106
[Photo 2.8.3] Garnet ····· 112
[Photo 2.8.4] Anthracite ····· 113
[Photo 2.8.5] Type of activated Carbon ····· 114
[Photo 2.8.6] Hydro filter ····· 115
[Photo 2.8.7] BIRM ····· 116
[Photo 3.4.1] Full vies of horizontal impact crusher(Series type dry manufacturing system) ····· 383
[Photo 3.4.2] Full vies of trommel screen(Series type dry manufacturing system) ····· 384
[Photo 3.4.3] Full vies of vertical impact crusher(Parallel type dry manufacturing system) ····· 385
[Photo 3.4.4] Full vies of Roll crusher(Parallel type dry manufacturing system) ····· 386
[Photo 3.4.5] Full vies of vibration screen(Parallel type dry manufacturing system) ····· 387

[Photo 3.4.6] Sorting of recycled sand (Dry manufacturing system Ⅰ) ····· 388
[Photo 3.4.7] Sorting of recycled sand (Dry manufacturing system Ⅱ) ····· 390
[Photo 3.4.8] Establishment full view of reclaimer of minuteness sand ····· 395
[Photo 3.4.9] Field establishment of reclaimer of minuteness sand(1st step) ····· 396
[Photo 3.4.10] Field establishment of reclaimer of minuteness sand(2nd step) ····· 397
[Photo 3.4.11] Shale of minuteness sand by reclaimer of minuteness ····· 398
[Photo 3.4.12] Establishment of crushing and trituration equipment(Plan) ····· 400
[Photo 3.4.13] Full vies of crushing and trituration equipment ····· 401
[Photo 3.4.14] Shape of producing recycled sand(a) ····· 403
[Photo 3.4.15] Shape of producing recycled sand(b) ····· 404
[Photo 3.4.16] Shape of producing recycled sand(c) ····· 405
[Photo 3.4.17] Measurement full view of noise (NL-21) ····· 411
[Photo 3.4.18] Measurement full view of vibration (VM-52) ····· 412
[Photo 3.4.19] Measurement full view of minuteness dust (PM-10) ····· 413
[Photo 3.5.1] Major device of Sand Flux device for commercialization ····· 420
[Photo 3.5.2] The look of the Sand Flux System ····· 423
[Photo 3.5.3] The look of whole production facility ····· 423
[Photo 3.5.4] Appearance and collecting site of object sample ····· 425
[Photo 3.5.5] Variation of floating organic impurities content of representative object sample ····· 429
[Photo 3.5.6] Organic impurities separation of representative object sample (Visual sorting method) ····· 429
[Photo 3.5.7] Experiment result of plastic shrinkage ····· 440
[Photo 3.8.1] Manufacture Equipment for oven dry mortar ····· 517
[Photo 3.8.2] Manufacture process for pilot plant ····· 522
[Photo 3.8.3] Manufacture production of plaster mortar ····· 549
[Photo 3.8.4] Test production of using pilot plant ····· 554
[Photo 3.8.5] Test of $PO_4$ absorption ····· 566
[Photo 3.8.6] Test of $PO_4$ elution ····· 566
[Photo 3.8.7] Test method for hydraulic conductivity ····· 578
[Photo 3.9.1] Applying part of construction test ····· 583
[Photo 3.9.2] The Picture of applying parts(waste glass) ····· 584
[Photo 3.9.3] The Picture of applying parts(Packaging soil) ····· 586
[Photo 5.4.1] Products prospect of high quality recycled fine aggregate ····· 760

# 제 1 장 서 론

## 1. 연구개발 개요

지금까지 국토해양부나 환경부 등 관련 정부부처에서 각종 국책사업을 통하여 다양한 건설폐기물의 재활용기술을 개발해 왔음에도 불구하고 국가 전체적인 재활용률의 향상이 미진한 것으로 확인됨.

그 주요원인이 건설폐기물의 발생, 처리 및 재활용 단계까지의 체계적이고 종합적인 기술개발의 미흡에 있다는 분석에 근거하여, 재활용 계획 및 설계단계, 발생 및 처리단계, 그리고 재생자재의 생산 및 재활용단계라는 명확한 프로세스로 구분하여 각각의 단계별로 필요한 요소기술들을 개발함.

개발기술을 개별 또는 복합적인 종합성과 검증을 통한 실용화가 이루어지도록 최종목표를 설정함으로서 건설폐기물의 실질적인 재활용률을 약 80%까지 증진시키기 위한 실용기술을 개발하고자 하는 것임.

## 2. 연구의 목적

### 가. 연구의 비전

본 연구에서 추구하는 거시적 비전은 "재활용의 계획, 발생 및 처리, 재활용 단계별 실용적 요소 및 복합기술개발을 통하여 실행 가능한 재활용기반을 구축함으로써 관련 산업의 활성화를 통한 건설폐기물의 실질 재활용률 향상을 유도하여 국가자원의 절약 및 관련산업의 활성화를 유도"하고자 하는 것임.

이러한 총괄 비전을 뒷받침 하기위한 세부비전들을 기술하면 다음과 같음.

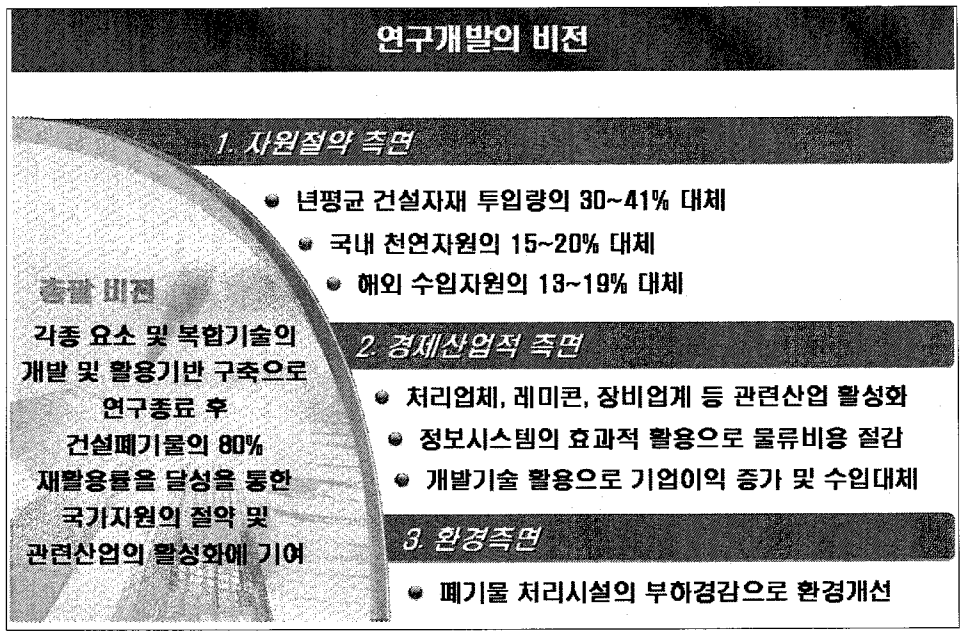
① 적극적인 자원의 재활용을 통한 국내 생산자원 및 수입자원을 대체함으로서 국내 사용자원의 약 40%를 대체

② 개발되는 각종 생산장치, 설비 및 정보화 시스템의 활용 및 활성화를 통하여 장치산업 및 재생자재 생산업 등 관련 산업의 활성화에 기여

③ 매립되는 건설폐기물의 감소를 통해 폐기물 매립장의 잔여용량 확보, 폐기물 처

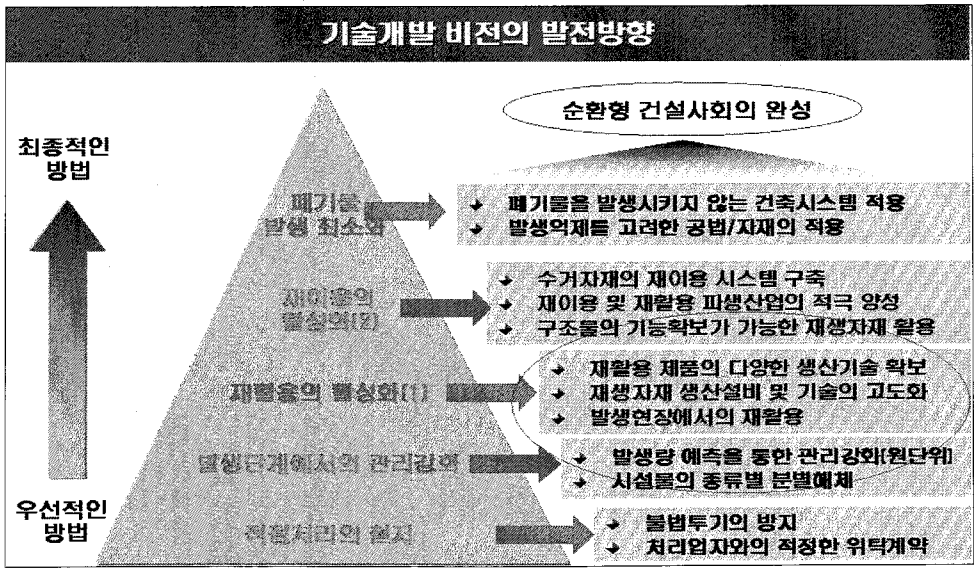
리시설의 부하경감, 그리고 현장재활용의 활성화 등을 통한 현장주변의 이산화탄소 배출 억제 등 국가 환경개선에의 기여

이상과 같은 연구개발의 거시적 비전과 세부비전을 정리하여 표현하면 [그림 1.1.1]과 같음.




[그림 1.1.1] 연구개발의 비전

## 나. 발전방향




[그림 1.1.2] 건설폐기물 재활용 기술개발 비전의 발전방향

"건설폐기물 재활용 기술개발 비전의 전개과정과 발전방향"은 이전까지의 관련 산업의 여건분석, 현재의 기술적 현상파악, 그리고 미래의 기술발전 방향에 대한 예측을 통하여 가능함. 이러한 측면에서 분석하여 작성한 비전의 전개 및 발전방향은 [그림 1.1.2]와 같으며, 단계별 비전의 발전방향을 분석하면 다음과 같음.

① 산업의 고도화 단계에서의 불법투기 방지 및 적정처리의 유도 단계(과거)

산업화의 고도화 단계에 진입하면서 관행적으로 묵인하던 불법처리를 적정처리로 유도하는 단계임. 이것은 기존에 건설공사의 부대공종으로서 제대로 된 계약조차 않던 관행을 발주자와 처리업자의 계약을 통하여 적정처리를 유도하는 초기단계의 소극적 정책으로서 기술개발보다는 주로 정책적인 장려 및 지원에 의해서 정착이 가능한 단계임. 우리나라는 1990년대부터 현재까지 '폐기물관리법' 등을 통한 적법처리의 유도 등 이미 시행되어온 단계라고 할 수 있음.

② 발생 및 처리단계에서의 관리강화 단계(과거 ~ 현재 ~ 가까운 미래)

건설폐기물 발생량의 예측기준(원단위)의 마련, 선진국에서 시행하는 분별해체의 필요성 대두 및 분별해체 요령마련('04년), '90년대 후반의 "자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률" 등 각종 건설폐기물 재활용 시책과 2005년 1월 발효된 "건설폐기물 재활용촉진에 관한법률"에 의거한 적극적 재활용의 시도라고 할 수 있으며, 향후 2~3년 후까지 지속적으로 진행되는 단계라 할 수 있음.

③ 재활용의 활성화 단계(향후 5 ~ 6년)

"분별해체의 의무화추진"에 대비한 관련기술의 개발 및 보급, "순환골재의 사용의무화" 및 "순환골재의 용도별 품질기준" 제정에 따른 고품질 순환골재의 생산기술개발, 기존의 오프라인적 건설폐기물 재활용정책을 "건설폐기물재활용촉진에 관한 법률"에 의거 온라인에 의한 "건설폐기물 정보시스템" 구축, 그리고 분별해체의 시행으로 예상되는 유리, 목재, 토사 등 각종 건설폐기물의 재활용 기술개발 등 재활용 범위 및 용도의 다변화를 추구하기 위한 기술개발 단계라고 할 수 있음.

④ 재이용의 활성화 단계(향후 5 ~ 10년)

분별해체의 정착 및 고도화에 의하여 각종 구성재의 원형보존형 해체를 통한 직접 재사용이 가능한 단계까지의 기술을 개발하고 재활용 유통시장을 활성화하는 단계임. 즉, 리모델링이나 재건축시에 구조성능이 확보된 콘크리트 부재의 절단해체 등

을 통한 재사용, 유리창, 창틀, 출입문틀 등 각종 구성재의 원형보존 분리회수를 통한 재사용 등 이상적인 단계의 재활용 및 재이용 기술개발과 활용 단계로 다음 단계의 기술개발 지표라고 할 수 있음.

⑤ 폐기물 발생의 최소화 단계(향후 10년 이후)

이전 단계까지는 해체를 고려하지 않고 건립된 구조물의 해체과정에서 발생된 건설폐기물의 재활용에 관한 기술발전 단계라면, 본 단계는 구조물의 신축단계에서 부터 "설치 및 해체가 용이한 건축시스템"(Deconstruction)을 적용함으로서 해체가 용이하고 발생된 건설폐기물을 최소화하거나 전혀 발생시키지 않는 최종 단계에서의 이상적 재활용 기술개발 단계라고 할 수 있음.

이상과 같은 5단계의 재활용 기술개발 비전의 발전단계 중에서 본 연구에서 추구해야할 단계는 2단계에서 4단계 초기까지라고 할 수 있으며, 본 연구에서의 종합적인 기술개발을 통하여 이러한 기술단계를 극복해야만 다음 단계로의 순차적인 기술개발 및 실현이 가능할 것으로 사료됨.

## 3. 연구추진계획

본 연구단에 주어진 목표는 국내 건설폐기물의 실질 재활용률 80% 이상을 달성하기 위한 관련기술을 개발하기 위한 것이다. 참고로, 국립환경과학원에서 발간된 「2005 전국 폐기물 발생 및 처리현황」을 보면 2005년도에 이미 건설폐기물 재활용률이 80%를 상회하고 있는 것으로 나타나고 있음.

그러나, 지금까지의 재활용 실적치는 건설폐기물 발생현장에서 중간처리업체에 위탁하는 양을 근거로 산출한 것이므로, 실질적으로 건설현장에서 재활용되는 비율은 아니다(환경부, 건설폐기물 재활용기본계획(2007년~2011년)). 즉, 중간처리업체에 반입된 것이 소각 또는 매립 등으로 재활용되지 않더라도 재활용 실적치로 산정되어 왔음.

이와 관련하여, 본 연구단의 목표와 관련이 있는 실질 재활용률의 의미를 환경부의 「건설폐기물 재활용기본계획(2007년~2011년)」에서는 많은 건설폐기물 중에서 순환골재에 대한 실질 재활용률을 "건설현장에서 발생된 건설폐기물을 처리하여 다시 건설현장에서 재활용되는 비율"이라고 정의하고 있음.

한국건설순환자원학회에서 수행한 "건설폐기물 재활용 기본계획 수립을 위한 연구(환경부, pp.182, 2006. 9)"에서도 발생→처리→생산→ 재활용에 이르는 단계에서 최종적으로 실질적으로 재활용되는 양을 재활용률의 산정기준으로 설정하고 있으며, "폐콘크리트 및 폐아스콘 등을 재처리하여 생산한 순환골재를 건설현장에서 도로보조기층용 이상의 용도로 활용하는 것을 말한다."라고 정의하고 있다. 단, 순환골재 이외의 건설폐기물에 대해서는 특정한 용도 이상으로 명확하게 정의되어 있는 것은 전혀 없는 실정임.

그러므로, 본 연구에서는 실질 재활용의 의미를 "건설폐기물이 경제적으로 수익성이 확보됨은 물론 현재보다 고부가가치를 창출할 수 있는 용도로 재활용되는 것"이라고 정의하고자 함.

한편, 건설폐기물의 실질 재활용률 향상은 재활용 정책이나 관련제도 개선 및 기술개발이 동시에 이루어져야 한다. 또한, 관련기술이 개발되더라도 건설폐기물 중간처리업체, 재활용 제품 생산업체, 건설발주기관, 시공사 및 관련정부부처 등이 함께 동참하여 이행되어야 재활용률을 향상시킬 수 있다는 점에서 실질 재활용률은 점진적인 향상이 이루어질 것임.

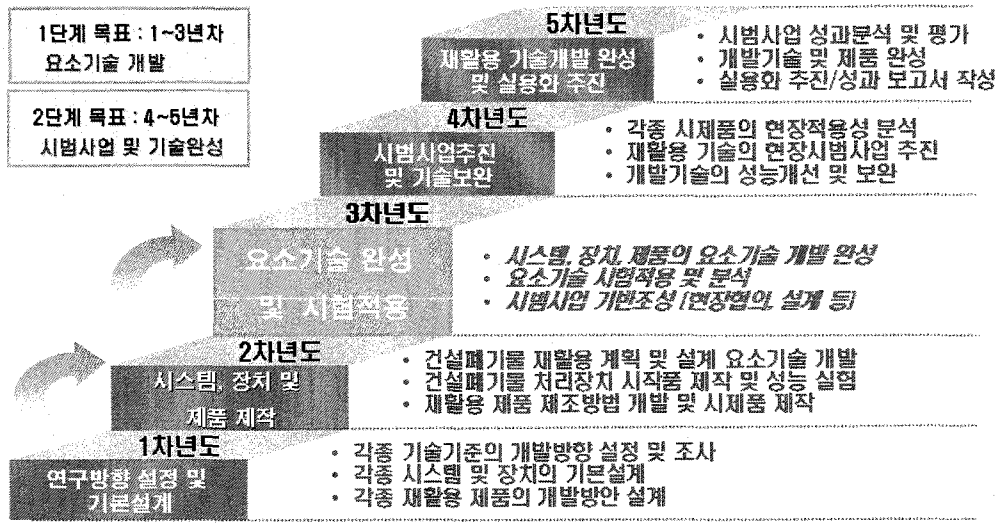
그러므로, 본 연구가 성공적으로 완수되더라도 실질 재활용률 80% 달성 시기는 상기와 같은 다양한 여건의 성숙여부에 의해서도 좌우되므로, 그 시기를 가늠하기는 용이하지 않다. 그러나, 기술개발이 이루어지지 않는다면 시간의 경과와 관계없이 실질 재활용률의 향상은 전혀 기대할 수 없으므로, 관련기술을 개발하는 것은 실질 재활용률 80% 달성에 반드시 필요한 매우 중요한 사안임.

본 연구의 연차별 성과에 따라서 실질 재활용률의 향상이 즉시즉시 현실로 나타날 수는 없을 것이지만, 개발기술의 확보는 실질 재활용률을 향상시키는 잠재적인 역량으로 작용하게 될 것이다. 그러므로, 국내 건설폐기물의 실질 재활용률 80% 이상을 이룩할 수 있는 기술력은 본 연구의 종료시점에서 확보되어야만 함.

이러한 목표를 달성하려면 본 연구의 목표와 실적이 연차별로 달성되어야 하므로, 본 연구에서는 이와 같은 연구추진 목표를 설정하고, 연차별 실질 재활용률의 연차별 목표를 다음과 같이 설정하였음.

여기에서, 실질 재활용률의 연차별 목표는 본 연구가 계획대로 진척되어 연차별로 개발된 관련기술이 관련현장에 전반적으로 즉시 적용된다는 것을 가정하였을 경우에 달성될 것으로 추정되는 값이며, 실질 재활용률은 매년 환경부에서 시행하

는 건설폐기물 현황 통계조사에 의해 검증되어야 하며, 이 조사에는 국내의 모든 중간처리업체 및 건설업체 등의 관련기관에서 재활용 현황에 대한 상세하고 정확한 조사가 이행되어야 할 것임.




[그림 1.1.3] 연차별 연구추진계획

<연차별 실질 재활용률 추정목표>

| 종류 | '06년 발생량 (만톤/년) | '06년 점유율 (%) | 실질 재활용률 단계별 추정 목표 (%) | | | | | 관련 기술개발 항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 1차 | 2차 | 3차 | 4차 | 5차 | |
| 폐콘크리트 | 3,782 | 62 | 14 | 21 | 35 | 42 | 56 | • 굵은골재 구조설계기준<br>• 고품질 순환모래 생산<br>• 미립분 재활용 제품화<br>• 도로기층용 아스콘 적용 |
| 폐아스콘 | 732 | 12 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | ※아스콘 재활용 기술 개발 |
| 폐 토 사 | 305 | 5 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | • 유류오염토사 정화, 재활용 |
| 폐 목 재 | 122 | 2 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | • 건축용 보드 제품화 |
| 혼합폐기물 | 854 | 14 | 2 | 2 | 3 | 6 | 8 | • 토분 재활용 |
| 기 타 | 305 | 5 | 0 | 0 | 1 | 2 | 3 | • 건설오니, 폐Po, 폐유리 재활용 제품화 |
| 계 | 6,100 | 100 | 27 | 34 | 51 | 63 | 82 | |

**최종 연구목표 실질재활용률 80% 달성가능한 재활용 기술 확보**

## 4. 당해연도 연구개발 목표

"건설폐기물의 실질 재활용률 80% 달성"이라는 궁극적인 목적을 달성하기 위하여, 건설폐기물의 발생단계에서부터 재생제품의 재활용 단계까지 각 단계별 대응방안을 강구해야 한다는 개념을 정립하여, 다음과 같이 연구의 최종목표와 이를 실현하기 위한 3대 연구개발목표를 설정함.

◎ 연구개발 최종목표 : 건설폐기물의 발생 및 처리 전과정에서의 재활용률 80%를 달성하기 위한 실용적 재활용 기술개발

◎ 3대 연구개발목표

- 재활용 계획 및 설계단계에서의 재활용 기반구축 기술 개발
- 발생 및 처리단계에서의 선별 및 재생자재의 생산기술 개발
- 재생자재 활용단계에서의 재생제품 생산 및 활용기술 개발

같은 연구의 최종목표를 실현하기 위하여, 3차 년도는 각 요소기술을 완성하는 단계로 설정하고, 다음과 같은 연구목표를 설정함.

◎ 3차년도 연구개발목표

- ■ 목표 1 : 건설폐기물 재활용계획 및 설계기술 모의적용 및 시범사업 계획수립
- ■ 목표 2 : 건설폐기물 처리과정의 이물질분리 선별장치 및 고품질 순환 모래 생산 장치 시제품 제작
- ■ 목표 3 : 재활용 제품 생산기술 및 적용공법 개발과 현장 시험시공 계획 수립

3차년도 연구목표와 주요내용 및 범위는 다음과 같음.

| 연 도 | 연구 목표 | 주요 내용 및 범위 |
|---|---|---|
| 3차년도 (2007) | ▪ 건설폐기물 재활용 계획 및 설계기술 모의적용 및 시범사업 계획수립 | • 건설부산물의 재활용 종합계획 및 설계기술 제안<br>• 제안기술을 활용한 재활용 시범사업 현장섭외 및 개발기술의 적용을 위한 시범사업 계획수립 |
| | | • 천연 굵은 골재와 순환 잔골재 콘크리트의 특성변화가 구조부재의 역학적 성능에 미치는 영향 규명 |
| | | • 멀티미디어 데이터 상호운용환경을 고려한 전자상거래에 적합한 S/W 및 건설폐기물 차량계량 시스템 개발(H/W의 인프라 구축) |
| | | • 현장시험시공을 통한 순환골재 아스팔트 기층의 초기 공용성 평가 및 적용성 분석<br>• 시험시공 구간에 대한 초기 역학적 공용성 평가 |
| | | • 건설잔토의 용도별 적용성 시험 및 대기오염도 분석<br>• 폐유리를 활용한 유리블록 제조기술 개발 |
| | ▪ 건설폐기물 처리 과정의 이물질분리 선별장치 및 고품질 순환 모래 생산 장치 시제품 제작 | • 주거용 건물 분별해체 시험적용(2) 및 공사요령 최종(안) 제시<br>• 산업시설물 분별해체 시험적용(2) 및 공사요령 최종(안) 제시 |
| | | • 환경위해요인을 고려한 토분 중 이물질의 최적 분리배출 기술 확립<br>• 최적 건식분리 시스템 설계보완 및 2차 시작품 제작 |
| | | • 고품질 순환모래 생산 전 과정의 보완(2) 및 생산된 순환모래의 품질평가 |
| | | • 파일럿 플랜트에 의한 지속적 품질성능 평가를 통한 순환모래 생산용 파쇄·분선장치 시제품 제작 |
| | ▪ 재활용 제품 생산 기술 및 적용공법 개발과 현장 시험시공 계획 수립 | • 대상토질별 시제품용 고화재 개발 및 현장시험 적용성 평가 및 보완(발생 현장/원인별, 토질별 체계화 및 배합설계 개발) |
| | | • 폐콘크리트 미·세립분을 이용한 콘크리트 2차 제품의 제조기술 개발 |
| | | • 폐폴리올레핀계 재활용 자재를 현장 시험적용을 통한 시공법 확립과 양산화 기술 확립 |
| | | • 폐목재를 활용한 목모보드 및 목질계 목모보드 생산기술 확보 및 생산 관리지침 작성 |

# 제 2 장 국내·외 기술개발 현황

## 제 1 절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술개발 연구

### 1. 국내 기술개발 현황

#### 가. 순환골재 콘크리트의 구조기준 설정 연구

국내에서 순환골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구는 1983년 시작하여 현재까지 주로 재료적인 특성 및 순환골재 생산시스템에 중점을 둔 연구가 집중적으로 진행되어져 왔다. 즉, 순환콘크리트에 관한 기존 연구의 대부분은 재료학적 특성에 집중되어 있으며 구조부재의 역학적 성능에 대한 연구로는 보의 휨 및 전단성능에 대한 기초적인 거동에 국한되어 있는 실정이다. 특히 순환콘크리트의 부착 및 정착 성능, 장기거동에 등에 관해서는 연구가 거의 이루어지지 않아 재생콘크리트의 구조체로의 적용이 활성화되지는 못한 실정이다. 순환골재 콘크리트의 역학적 구조특성에 대한 국내 연구현황을 나타내면 <표 2.1.1>과 같다. 표에서 보는 바와 같이 순환골재 콘크리트를 사용한 부재의 구조성능에 대한 연구는 1999년 시작되어 매년 1~2편 정도의 연구결과가 발표되고 있는 실정으로 그 연구성과는 미미한 실정이다. 이는 현재까지 순환골재의 적용 범위가 주로 도로 노반재 및 비구조체에 활용하는 정도로 국한하였기 때문이라 할 수 있다. 특히, 순환골재를 사용한 구조부재에 대한 성능평가 연구도 주로 전단 및 휨에 대한 기본적인 특성 평가를 위한 연구로 제한되고 있으며, 부착/이음 및 장기거동 특성에 대한 연구성과는 전무한 실정이다.

<표 2.1.1> 국내 연구현황(건축학회, 콘크리트학회)

| 연 구 자 | 년 도 | 주 요 변 수 | 연 구 내 용 |
|---|---|---|---|
| 윤현도외 2명 | 1986 | · 물시멘트비<br>· 골재종류 | · 물시멘트비 40-70% 범위의 컨시스턴시 및 역학적 상태 비교분석 |
| 김무한외 4명 | 1990 | · 물시멘트비<br>· 재생모래 대체율<br>· 재생자갈 대체율 | · 재생골재 혼합조건에 따른 아직 굳지않은 콘크리트의 기초적인 성상 |
| 도영수 외 2명 | 1992 | · 대기상태의 압축강도<br>· 3점 휨 시험 | · 재생콘크리트의 동결융해저항성과 변형 특성에 관한 연구<br>· 하중수행능력의 증진 및 변형률에 대한 보다 자세한 검토가 필요 |
| 윤기원외 5명 | 1993 | · 물시멘트비<br>· 굵은 골재 입경 | · 재생골재 콘크리트의 슈미트햄머법 강도추정은 실용가능성이 있음<br>· 초음파속도법은 충분한 검토 필요 |
| 김무한외 3명 | 1994 | · 물결합재비<br>· 조골재의 대체율<br>· 플라이애쉬 혼입율 | · 경화콘크리트 상태의 고강도영역 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 연구 |
| 김무한외 3명 | 1995 | · 재생골재 대체율<br>· 물결합재비 | · 경화콘크리트 상태의 재생골재콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구 |
| 서치호외 2명 | 1996 | · 재생골재 혼입비<br>· 양생조건<br>· 재령별 변화 | · 재생골재의 압출성형 재료는 7일 경과후에는 오토클레이브를 거치지 않아도 소요강도를 얻을수 있음 |
| 윤현도외 4명 | 1997 | · 물시멘트비 | · 물시멘트비 0.4정도에서 재생골재와 천연골재 콘크리트의 역학적 특성이 근접함 |
| 윤현도외 4명 | 1998 | · 물시멘트비<br>· 골재종류 | · 강도특성에 따른 천연골재의 재생골재로의 대체 가능성 |
| 구봉근외 4명 | 1999 | · 재생골재 대체율 | · 재생골재의 대체율에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동과 전단거동 검토 |
| 송하원외 1명 | 1999 | · 물시멘트비<br>· 골재 종류 | · 재생굵은골재 및 재생잔골재를 사용한 폐콘크리트의 배합특성을 비교하여 KS F 2573 (안) (콘크리트용 재생골재)을 제안<br>· 모르타르 부착량 측정기술(Linear Traverse Meth o d)를 소개 |
| 서정인외 2명 | 2000 | · 재생골재 대체율 | · 재생골재 콘크리트의 보의 재생골재 치환율에 따른 전단거동 연구 |

| 연 구 자 | 년 도 | 주 요 변 수 | 연 구 내 용 |
|---|---|---|---|
| 서치호외 1명 | 2001 | · 물결합재비<br>· 재생골재 혼입율<br>· 실리카흄 혼입율 | · 고강도의 재생골재콘크리트 제조시 재생골재 30% 대체혼입이 바람직<br>· 재생골재콘크리트의 구조용부재 활용시 역학적 성능저하 고려 |
| 윤현도외 3명 | 2002 | · 전단경간비<br>· 콘크리트강도 | · 재생골재를 사용한 고강도 콘크리트 보의 전단거동 규명 |
| 신성우외 3명 | 2002 | · 콘크리트 강도<br>· 재생굵은골재 치환률 | · 재생굵은골재를 사용한 철근콘크리트 보의 거동에 관한 연구 |
| 변근주외 2명 | 2003 | · 물시멘트비<br>· 굵은골재 종류<br>· 잔골재 종류 | · 재생골재 및 재생골재 콘크리트의 역학적, 내구적 특성을 규명 |
| 변근주외 3명 | 2005 | · 물시멘트비<br>· 골재 종류<br>· 구조형식 | · 재생골재 콘크리트의 규격, 시방기준, 품질기준, 설계기준 검토<br>· 재생골재 혼입율에 따른 구조부재의 성능평가 |
| 변근주외 1명 | 2005 | · 해석변수<br>· 골재종류 | · 재생골재 콘크리트를 적용가능한 구조물 검토<br>· 재생골재 콘크리트를 적용가능한 구조물의 거동을 해석적으로 검토 |

## 나. 건설잔토 · 폐유리 재활용 기술개발 연구

오염토양 정화기술은 처리공정에 따라 생물학적 처리기술, 물리 · 화학적 처리기술, 열적 처리기술 등으로 분류하고 있으며, 오염물질의 특성 및 부지 특성에 따라 단일 기술로 적용되거나 여러 가지 기술을 복합적으로 사용하기도 한다. 이에 대하여 특정토양오염관리대상시설의 방지시설 등에 관한 고시'에서 처리방법별로 18개 기술로 구분 고시되어 있다.

<표 2.1.2> 국내 오염토양 정화기술의 종류 [환경부 고시 제2005-124호 별표 2]

| 기 술 명 | | 공 정 개 요 |
|---|---|---|
| 생물학적 처리 방법 | 생물학적 분해법 (Biodegradation) | 영양분과 수분(필요시 미생물)을 오염토양내로 순화시킴으로써 미생물의 활성을 자극하여 유기물 분해기능을 증대시키는 방법 |
| | 생물학적 통풍법 (Bioventing) | 오염된 토양에 대하여 강제적으로 공기를 주입하여 산소농도를 증대시킴으로써 미생물의 생분해능을 증진시키는 방법 |
| | 토양경작법 (Landfarming) | 오염토양을 굴착하여 지표면에 깔아 놓고 정기적으로 뒤집어줌으로써 공기중의 산소를 공급해 주는 호기성 생분해 공정법 |
| | 바이오파일법 (Biopile) | 오염토양을 굴착하여 영양분 및 수분 등을 혼합한 파일을 만들고 공기를 공급하여 오염물질에 대한 미생물의 생분해능을 증진시키는 방법 |
| | 식물재배 정화법 (Phytoremediation) | 식물체의 성장에 따라 토양내의 오염물질을 분해 · 흡수 · 침전 등을 통하여 오염토양을 정화하는 방법 |
| | 퇴비화법 (Composting) | 오염토양을 굴착하여 팽화제(bulking agent)로서 나무조각, 동식물 폐기물과 같은 유시성 물질을 혼합하여 공극과 유기물 함량을 증대시킨후 공기를 주입하여 오염물질을 분해시키는 방법 |
| | 자연저감법 (Batural Attenuation) | 토양 또는 지층에서 자연적으로 일어나는 희석, 휘발, 생분해, 흡착 그리고 지중물질과의 화학반응 등에 의해 오염물질 농도가 허용가능한 수준으로 저감되도록 유도하는 방법 |
| 물리 · 화학적 처리 방법 | 토양세정법 (Soil flushing) | 오염물 용해도를 증대시키기 위하여 첨가제를 함유한 물 또는 순수한 물을 토양 및 지하수에 주입하여 오염 물질을 침출 처리하는 방법 |
| | 토양증기추출법 (Soil Vapor Extraction) | 추출정을 굴착 · 설치하여 감압 하에서 압력구배를 형성시킴으로써 토양 내의 휘방성 오염물질을 휘발 · 추출하는 방법 |
| | 토양세척법 (Soil Washing) | 오염토양을 굴착하여 토양입자 표면에 부착된 유 · 무기성 오염물질을 세척액으로 분리시켜 이를 토양내에서 농축 · 처분하거나, 재래식 폐수처리방법으로 처리하는 방법 |
| | 용제추출법 (Solvent Extraction) | 오염토양을 추출기내에서 용재(solvent)와 혼합시켜 용해시킨 후 분리기에서 분리하여 처리하는 방법 |
| | 화학적 산화/환원법 (Chemical Oxidation/ Reduction) | 오염된 토양에 오존, 과산화수소 등의 화합물을 첨가하여 산화/환원반응을 통해 오염물질을 무독성화 또는 저독성화시키는 방법 |
| | 고형화/안정화법 (Solidification/ stabilization) | 오염토양에 첨가제(시멘트, 석회, 슬래그 등)을 혼합하여 오염성분의 이동성을 물리적으로 저하시키거나, 화학적으로 용해도를 낮추거나 무해한 형태로 변화시키는 방법 |
| | 동전기법 (Electrokinetic Separation) | 투수계수가 낮은 포화토양에서 이온상태의 오염물(음이온 · 양이온 · 중금속 등)을 양극과 음극의 전기장에 의하여 이동을 촉진시켜 오염물질을 처리하는 방법 |
| 열적 처리 방법 | 열탈착법 (Thermal Desorption) | 오염토양내의 유기오염물질을 휘발 · 탈착시키는 기법이며, 배기가스는 가스처리 시스템으로 이송하여 처리하는 방법 |
| | 소각법 (incineration) | 산소가 존재하는 상태에서 871~1,204℃의 고온으로 오염토양 내의 유기오염물질을 소각 · 분해시키는 방법 |
| | 유리화법 (Vitrification) | 굴착된 오염토양 및 슬러지를 전기적으로 용융시킴으로써 용출특성이 매우 적은 결정구조로 만드는 방법 |
| | 열분해법 (Pyrolysis) | 산소가 없는 혐기성 상태에서 열을 가하여 오염토양중의 유기물을 분해시키는 방법 |

1990년대 이후 대학과 연구소를 중심으로 산발적인 연구가 진행되어 왔으나, 국내 토양정화 시장의 규모가 작은 관계로 상용화된 기술이 전무한 실정이며, 환경부 등 관계 부처 등에서 차세대핵심개발사업 등에 오염 토양. 지하수 정화에 대한 기술 연구 및 개발을 집중 육성 중에 있다.

최근에는 중 · 대규모의 정화 공사 발주로 인하여 오염토양 정화시장의 확대와

함께 정화기술에 대한 투자의 증가로 현장 적용성을 갖춘 다양한 기술이 개발되고 있으며 현장에 적용되고 있다.

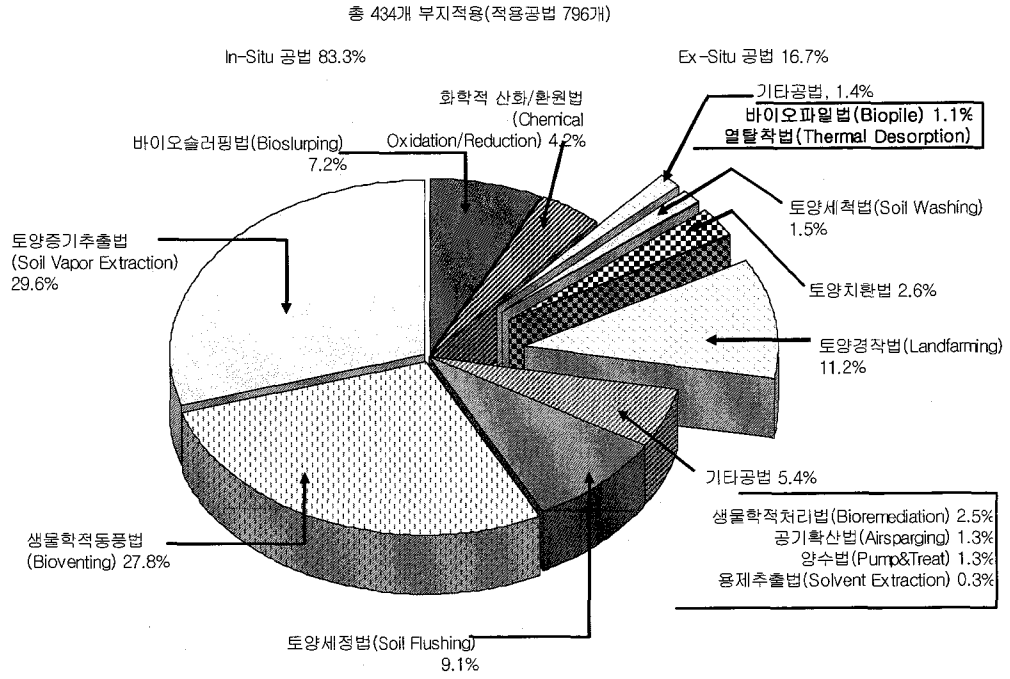
오염토양 정화시장은 신흥시장으로서 역사가 매우 짧고 시장규모 또한, 전무한 실정이며, 오염부지 및 오염토양 정화기술에 대한 체계적인 관리 및 정보수집이 이루어지지 않은 상태이기 때문에 오염부지 현황 및 오염토양 정화기술 적용현황과 같은 통계자료가 아직 마련되어 있지 않는 실정이다.

정화시장의 오염토양 정화기술 적용현황을 파악하기 위하여 현재 토양정화업체로 등록된 43개 업체 중 36개 업체를 대상으로 최근 5~6년간의 정화실적 및 정화시장의 기술 적용 현황을 조사한 결과 총 434개 오염토양 정화현장 내에서 적용된 796개 정화기술 중 지중처리기술이 83.3%로 지상처리기술 16.7% 보다 현저하게 많이 적용된 것으로 조사 되었으며, 이와 같은 이유는 초기 국내 토양정화공사가 주유소 등을 대상으로 수행되었기 때문에 사업장을 유지하면서 경제적으로 정화사업을 수행하기 위해 토양증기추출법이나 생물학적통풍법과 같은 지중처리 기술을 주로 사용하였기 때문으로 판단된다.

반면 지상처리기술은 지중처리기술에 비해 넓은 부지와 굴착공사 등에 따라 비교적 많은 정화비용이 소요되므로 초기에는 많이 적용되지 않았으나, 최근 일부정화사업 현장에서는 부지 활용을 위해 오염토양의 신속한 처리가 요구됨에 따라 지상처리기술의 적용이 증가하고 있는 추세이다.

적용 실적이 있는 정화방법들에 대하여 세부적인 기술별 적용현황을 조사한 결과 총 434개 오염토양 정화현장 내에서 적용된 796개의 정화기술 중 현장 적용이 용이하고 유류오염 정화에 적용이 용이한 토양증기추출법이 29.6%로 사용 빈도가 가장 높게 나타났으며, 생물학적통풍법과 토양경작법이 27.8%, 11.2%로 많이 적용되어 높은 사용 빈도수를 보이고 있음 이들 기술은 유류성분 중 휘발성유기화합물질 및 준휘발성유기화합물질을 제거하는데 효과적인 방법들로 효과가 입증된 기술이다.

이처럼 국내에서는 현재까지 생물학적 정화기술들이 주를 이르고 있는 실정이었으나 2000년 이후 미국 등을 중심으로 최신기술의 적용비율이 점차 늘어나고 있다.




[그림 2.1.1] 오염토양정화사업 적용기술현황(2000~2006년)

유류오염 처리에 대하여 열탈착법을 적용하기 위해서는 열탈착법에 의해 처리된 토양의 사후관리에 있어서 토양환경보전법상의 정화토양으로 관리할 것인가 또는 폐기물관리법에서의 폐기물로 관리할 것인가에 대한 법적관리 문제도 검토되어져야 할 것이며, 열탈착된 토양내 유류오염의 용출 여부, 이에 대한 관리 및 대책을 위한 사후 모니터링 방법 등이 선행되어져야 할 것이다.

현재 국내에서는 오염 토양내 유류를 처리하기 위하여 다양한 처리기술 등이 시도되고 있으나, 아직까지 주유소, 저유소, 군시설, 산업단지 등에서 발생되는 유류로부터 오염된 토양에 대한 정화 실적이 많지 않은 상태임 따라서, 이들 다양한 유류에 의해 오염된 토양을 처리하기 위한 기술개발과 보급이 시급한 것으로 판단된다.

현재 건설 폐유리를 활용한 타일 및 블록 제조 기술은 국내에 실용화된 예가 없으며, 다만 폐병유리를 활용하여 인조대리석에 적용하는 기술은 현재 대림콘크리트에서 실용화 단계에 있다. 기타 폐유리 활용 기술은 여러 군소 업체에서 기술 개발을 진행 중에 있거나 실용화 검토 중에 있다. 폐유리를 활용하는 기술은 주로 콘크리트 및 골재, 도로 포장재, 대리석타일, 발표 유리 등에 적용하는 기술이 검토되고 있다.

현재 건설 폐유리와 같은 산업 폐기물의 처리대책에 대한 관심이 증가되고 있으므로 업체별 폐유리 활용 기술을 지속적으로 검토 중에 있으며 실용화하기 위하여 노력하고 있다. 이러한 예로 (주)세로라인에서는 폐유리를 이용한 경량골재 제조 기술을, (주)인트켐에서는 폐유리를 이용한 경계블록 제조 기술을 실험실적으로 개발 완료한 상황이다. 폐유리 관련 특허 출원/등록 건수는 아래와 같다.

<표 2.1.3> 관련 특허 현황

| 분 야 | 출 원 | | 등 록 | |
|---|---|---|---|---|
| | 건 수 | % | 건 수 | % |
| 블록/콘크리트 제품 | 57 | 33.5 | 21 | 27.3 |
| 대리석/타일류 | 26 | 15.3 | 11 | 14.3 |
| 포장용 재료 | 25 | 14.7 | 20 | 26.0 |
| 유리처리 및 가공 | 22 | 12.9 | 11 | 14.3 |
| 골재 | 13 | 7.6 | 4 | 5.2 |
| 발포유리 | 10 | 5.9 | 7 | 9.1 |
| 폐유리 처리 장비/설비 | 9 | 5.3 | 2 | 2.6 |
| 콘크리트 | 6 | 3.5 | 1 | 1.3 |
| 경계석 | 2 | 1.2 | - | - |
| 계 | 170 | 100.0 | 77 | 100.0 |

주) 분석 구간 : 1985 ~ 2005년

· 국내 시장 현황 및 예측

현재 국내에서는 폐유리를 활용하여 실용화에 성공한 한 예가 없으므로 관련 시장이 형성되어 있지 못하며, 다만 제병공정에 재활용하기 위한 폐병유리 재처리 시장은 다음과 같다.

<표 2.1.4> 폐병유리 재처리 시장 규모

| 구 분 | 2000년 | | 2001년 | | 2002년 | | 2003년 | | 2004년 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 물량 (만톤) | 금액 (억원) | 물량 (만톤) | 금액 (억원) | 물량 (만톤) | 금액 (억원) | 물량 (만톤) | 금액 (억원) | 물량 (만톤) | 금액 (억원) |
| 폐병유리 재처리 시장 규모 (제병공장재활용) | 25 | 125 | 26 | 138 | 26 | 143 | 28 | 154 | 30 | 165 |

주) 한국유리공업협동조합(추정치)

· 국내 기술개발 수준

국내 기술개발 수준은 재처리 기술은 (주)인트켐 및 한국유리공업협동조합에서 재처리 설비를 통하여, 재처리 제품을 생산하고 있는 실정이며, 폐유리 타일 및 폐유리 블록은 실험실적으로 제조기술을 확보한 상태이다.

| 세부기술 내용 | 국외 현황<br>(주요선진국명) | 국내 개발 현황 | 수준<br>(국외대비) |
|---|---|---|---|
| 폐유리<br>재처리 기술 | Crystal clay(일본)<br>WRAP(영국) | 폐유리 재처리 기술 개발 및 설비<br>구축<br>(인트켐, 한국유리공업협동조합) | 90% |
| 폐유리 타일<br>제조 기술 | Crystal clay<br>(일본) | 실험실적 개발<br>(산업기술시험원) | 85% |
| 폐유리 블록<br>제조 기술 | Crystal clay(일본) | 실험실적 시도 | 70% |

· 국내 시장 예측 및 발전 전망

| 구분 | 현재 시장 규모 | | 2011년 | | 2013년 | | 2018년 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 시장<br>규모2) | 예상<br>점유율 | 시장<br>규모 | 예상<br>점유율 | 시장<br>규모 | 예상<br>점유율 |
| 폐유리<br>타일 | 시장규모 | 1,700억원/년[1)]<br>(내장타일기준) | 1,860억원 | 5%<br>(90억원) | 1,970억원 | 10%<br>(197억원) | 2,300억원 | 15%<br>(345억원) |
| 폐유리<br>블록 | 시장규모 | 1,700억원/년[1)]<br>(점토벽돌기준) | 1,860억원 | 5%<br>(90억원) | 1,970억원 | 10%<br>(197억원) | 2,300억원 | 15%<br>(345억원) |

1) 출처 : 월간 세라믹스 2005.12

2) 시장 규모 : 년간 성장률 3% 기준

## 2. 국외 기술 동향

### 가. 순환골재 콘크리트의 구조기준 설정 연구

재생골재에 대한 연구는 일본을 중심으로 활발하게 진행되어 왔으며 1974년 건축업협회가 폐콘크리트의 처리 및 재이용에 관한 연구를 시작으로 1978년 "재생골재 및 재생콘크리트의 사용 규준(안) 및 동해설"이 발표되면서 실용화 단계에 이르렀으며 1991년 "재생자원 이용의 추진에 관한 법률"이 시행되어 건설 부산물 중 폐콘크리트 등의 재활용이 활발히 추진되고 있다. 특히, 최근에는 환경보존 및 자원의 유효이용 측면에서 재생콘크리트 활용에 대한 연구가 더욱 활발히 이루어지고 있으며, 재생콘크리트를 철근콘크리트 보, 합성기둥 그리고 half PC 골조 등의 주요 구조재료로 적용된 구조부재에 대한 실험 및 이론적 연구가 활발히 진행되고 있다(<표 2.1.5> 참조). 이러한 연구를 바탕으로 일본에서는 순환골재의 품질별 등급(H Class, M Class, L Class)을 규정하고, 각 등급별 구조부재의 적용범위 및 구조설계시의 고려사항 등을 제안하고 있으나, 아직까지 현업에서의 적용은 이루어지지 않고 있는 실정이다.

<표 2.1.5> 국외 연구현황(일본 및 기타)

| 연 구 자 | 연도 | 주 요 변 수 | 연 구 내 용 |
|---|---|---|---|
| 德田弘외 3명 | 1995 | · 재생굵은골재의 종류<br>· 재생미분말의 활용 | · 재생굵은골재를 이용한 초경련 빈배합콘크리트의 성상 검토(미분말을 활용한 콘크리트의 역학적 성상 검토 |
| 前田弘美외 3명 | 1995 | · 혼화재료의 사용<br>· 물시멘트비<br>· 골재의 종류(보통, 재생) | · 재생콘크리트의 활용확대를 위한 품질개선에 관한 실험적 연구검토 |
| 國府勝郎외 2명 | 1995 | · 굵은골재(재생, 일반)<br>· 배합조건에 따른 응결성상,압축강도, 건조수축 | · 초경련 및 경련재생콘크리트의 응결특성, 강도, 건조수축 성상의 검토 |
| 前田弘美외 2명 | 1996 | · 재생골재의 품질 (흡수율) | · 재생콘크리트의 역학적특성 및 건조수축에 영향을 미치는 재생골재(굵은골재)의 품질 검토 |
| 河野廣陸외 1명 | 1996 | · 파쇄방법에 따라 | · 아스팔트콘크리트를 사용한 |

| 연 구 자 | 연도 | 주 요 변 수 | 연 구 내 용 |
|---|---|---|---|
| | | 얻어진 아스콘의 치환율 | 재생콘크리트의 물성에 관한 검토 |
| E.Vazquez외 1명 | 1996 | · 콘크리트의 종류 | · 재생골재 습도가 경화 콘크리트의 특성에 미치는 영향 연구 |
| 田中孔治외 4명 | 1997 | · 파괴형태<br>· 압축강도 | · 재생골재를 사용한 철근콘크리트 부재의 성상에 대한 연구 |
| 田中孔治외 4명 | 1997 | · 파괴형태<br>· 압축강도 | · 고강도 재료를 사용한 재생 철근콘크리트 부재의 성상에 대한 연구 |
| 大平雄司외 3명 | 1997 | · 재생골재의 치수 및 압축강도 | · 동결융해의 영향이 적은 강관기둥의 충진재로서 재생골재를 사용한 콘크리트의 이용성 검토 |
| 福田俊之외 5명 | 1998 | · 사용골재<br>· 재생골재 치환율 | · 콘크리트의 부착성능에 미치는 재생골재의 영향 연구 |
| 田中禮治외 4명 | 1999 | · 재생콘크리트와 일반 철근콘크리트 파괴형식<br>· 콘크리트 강도 | · 재생콘크리트의 일반 철근 콘크리트로의 이용에 대한 적합성 여부 및 가능성 검토 |
| F.Buyle-Bodin외 1명 | 1999 | · 모르타르의 종류<br>· 폴리프로필렌 섬유의 함량 | · 재생골재 모르타르의 균열 및 건조수축 제어에 있어 폴리프로필렌 및 금속 섬유의 영향의 연구 |
| 田中禮治외 2명 | 2001 | · 리사이클 회수<br>· 보부재의 휨, 전단, 부착파괴 | · 리사이클된 재생골재로 제조한 재생콘크리트가 내진성능 관점에서의 이용가능성 의 검토 |
| A.H.Taylor외 1명 | 2001 | · 조골재의 크기<br>· 재생골재의 치환율 | · 재생조골재를 사용한 콘크리트의 성능 연구 |
| 書鋪範昭외 3명 | 2002 | · 재생콘크리트와 일반 철근콘크리트 파괴형식 | · 겹침이음부를 가진 재생콘크리트를 이용한 half PCa 구조의 탄·소성 해석을 통한 재생콘크리트의 실용화 설계수법 검토 |
| 田口史雄외 3명 | 2002 | · 재생골재의 치환율<br>· 재생골재의 흡수율<br>· 모르타르 부착율 | · 재생골재의 흡수율에 착안한 재생콘크리트의 압축강도, 동결융해, 건조수축 특성의 규명 |
| 野口貴文외 2명 | 2002 | · 물시멘트비<br>· 재생골재의 개선처리 | · 저품질 재생골재의 개선처리에 따른 구조체 콘크리트 적용에 관한 검토 |
| 鳥居和之외 3명 | 2002 | · 플라이애시 치환율<br>· 골재종류 (재생골재, 규석골재) | · 오토클레이브처리 포러스 콘크리트의 역학적 성질을 검토 |
| Eric Wirquin 외 3명 | 2002 | · 재생골재의 종류 | · 재생골재 콘크리트의 표면침투성 평가에 대한연구 |

| 연 구 자 | 연도 | 주 요 변 수 | 연 구 내 용 |
|---|---|---|---|
| N. Padayachee 외 1명 | 2002 | · 재생골재의 치환율 | · 내구성 지수에 의한 재생골재 콘크리트의 성능에 대한 연구 |

○ 세계시장을 선도하는 주요 업체

| 업체명(국적) | 업체별 능력 | 중점 분야 |
|---|---|---|
| 삼양Material (일본) | 고품질 재생골재를 사용한 건축물 설계 및 건설기술 | 일본에서 순환골재의 품질 및 생산기술 측면에서 가장 앞선 업체로 인정 |
| 대성건설(일본) | 재생골재 콘크리트 암거 설계 및 시공기술 보유 | |

○ 해외 시장예측 및 발전전망

최근 Green round 및 교토의정서와 같이 환경보호 및 자원절약에 대한 세계 각국의 노력으로 인하여 각국에서는 기존 건축물의 수명연장 기술과 함께 주요한 건설폐기물인 재생골재의 재활용 기술에 대한 연구가 급속히 진행되고 있다.
최근 일본에서는 JIS 기준 등에 재생골재의 품질규준을 신설하고 이를 실제 현장에서 활용할 수 있도록 기준을 정비하고 있어 미국, 일본 및 유럽지역의 재생골재를 사용한 시설물의 설계 및 시공기술에 대한 시장규모는 급격하게 증가할 추세에 있어 시장의 전망은 매우 양호하고 발전가능성이 높게 평가된다.

○ 해외 업체 · 연구기관과의 공동연구 필요성 및 추진 방안

콘크리트의 관련분야 연구 중에서 특히 재료분야 연구는 각국의 자원환경의 차이로 인하여 선진국의 연구결과를 국내에 그대로 적용하는 것이 불가능한 실정다.

또한, 순환골재와 관련된 많은 선행연구를 수행한 일본의 경우에는 강진지역에 위치한 특성으로 인하여 하중의 크기가 국내의 수준보다 높으며, 이로 인하여 철근배근량이 상대적으로 많은 부재를 대상으로 연구를 진행됨에 따라 순환골재 콘크리트의 성능저하에 기인하는 부재의 성능저하 현상이 작게 나타나는 특성이 있다.

즉, 본 연구 분야는 외국과의 재료환경/기술환경의 차이가 크게 나타나는 분야로서 해외업체 · 연구기관과의 공동연구 필요성이 그다지 크지 않을 것으로 판단된다.

○ 개발된 기술의 해외 시장 진출 방안

본 연구분야는 외국과의 재료환경/기술환경의 차이로 인하여 외국에 그대로 적용하기 어려운 분야이므로 관련기술의 해외시장 진출은 현실적으로 어려울 것으로 판단된다.

## 나. 건설잔토·폐유리 재활용 기술개발 연구

국외의 건설잔토 재활용 기술개발은 네덜란드의 경우 토양정화서비스센타(SCG)에서 전담하고 있으며, 처리되는 성분은 평균 7~8종의 유해물질로 70%가 PAHs와 중금속이다.

처리기술 사용빈도는 열적처리 약 60%, 물리화학적처리 약 40%를 사용하고 있다. 열적처리의 규모는 800,000톤의 처리능력을 가진 5개의 고정시설과 1개의 이동시설이 있고 가장 큰 시설이 200,000톤 규모이다. 열적처리온도는 400~700℃ 범위에서 처리하고 배출가스는 800~1200℃의 after burner에서 처리한다.

물리화학적(CP) 처리규모는 300,000톤으로 6개의 고정시설과 1개의 이동시설이 있고 이들 시설의 평균 처리능력은 20,000~60,000톤 규모이며, 토양처리기술 이용경향은 열적처리에서 물리/화학적 처리기술의 사용빈도가 점차 많아지고 있다. 생물학적 처리기술은 Landfarming 기술정도가 실용화 되어 있고 기타 생물학적 처리기술들은 아직 개발단계에 있다. 보관능력은 7개 지역에서 최대 700,000톤으로 보관은 긴급한 경우에만 하고 있으며, 평균 보관기간은 8개월 정도이다.

네덜란드의 연구개발은 네델란드 종합연구프로그램(1986 설립)에서 수행하고 있으며, 토양의 다기능성 및 유해물질의 확산 및 영향, 위해성 평가방법 및 기준설정, 정화 및 방지기술 등 다양한 연구를 진행하고 있다.

열적처리 연구개발은 유기할로겐 물질로 오염된 토양처리 및 배출가스 정화와 고온상태에서 처리한 오염토양에 대한 건축자재로의 재활용성 평가하였으며, 물리화학적처리 연구개발은 PAH's의 선택적 부상기술 및 안정화를 위한 각 단계별 조사가 이루어지고 있다. 생물학적 처리는 효과적인 미생물균주 선발, 독성 분해산물의 확인, 토양증기 추출법과 미생물처리방법의 결합에 대한 연구를 하고 있다.

미국의 이용기술 및 연구개발현황은 SARA(1986)은 슈퍼펀드 혁신 기술평가(SITE) 프로그램을 만들어 혁신정화기술의 입증 및 평가를 위한 장치를 제공하고

있으며, 약 100개의 회사가 SITE에 참여하여 약 60개의 SITE 과제가 on-site 상태에서 신기술을 입증하고 있고 일부 과제는 완료된 실정이다. 이들 대부분 과제는 물리/화학 처리, 생물학적 처리, 열적 처리, 안정화/고형화, 소각기술이 사용되고 있다. 환경기술 확인프로그램(1993)이 캘리포니아에서 만들어져 확인된 기술의 시장화 확대와 빠른 승인 획득에 목적이 있다. 확인기준은 어떤 특별한 조작 조건에서 이루어질 때 건강과 환경에 잠재적 위해가 있는 기술은 안되며, 장비는 특별한 훈련이 없이도 작동할 수 있어야 하고 유해폐기물 소각기술은 확인프로그램에 포함되지 않아야 된다.

독일은 토양정화기술로 off-site, on-site 및 in situ에서 토양세척, 열적처리, 생물학적처리기술이 이용되고 있다. 또한, 59개의 토양처리시설이 있고 처리기술별로 열적처리 3개, 토양세척 16개 및 미생물처리 40개 시설로 되어있으며, 처리능력은 150만톤 정도이다.

독일의 연구개발은 연방정부는 오염지역 탐지, 조사 및 정화기술을 증진시키는데 노력하고 있으며, 여러 주정부와 공동프로젝트 수행하고 있다.

신기술 개발은 새로운 containment 기술, 이동시설 포함 열적처리, in-situ, on-situ에서 미생물 정화, 토양세척, 유·무기 오염물질의 추출, 오염토양 재활용 연구, 유기오염물질의 in-situ 산화 등에 대한 연구가 이루어지고 있다.

독일은 미국과의 국제공동연구와 오염토양 평가를 위한 기준설정을 마련하고 있는 중이다.

국외 기술개발은 정화대상 부지의 특성에 따라 적합한 기술을 선택하고 있으며, 오염의 물질종류, 오염정도, 위해도 등이 평가되고 이를 바탕으로 대상기술 및 효용성, 적용성, 처리비용 등의 평가 등 각 기술별 세부평가를 통해 적합한 기술을 선정하고 있다.

미국은 1990년대 이후부터 폐유리 등의 폐자원을 도로에 활용하는 방안을 적극 추진하였으며, 1997년 콜롬비아 대학에서는 폐유리를 도로용 골재로 사용하는 glasscrete 실용화에 성공하였으며, 일본의 경우, 유리 타일 및 블록 개발, 야광도로 포장재의 개발, 폐유리 활용 벽돌 개발, 폐유리 활용 자전거 포장 도로 개발 및 실용화, glass powder, glass sand, glass light(경량골재) 개발 및 실용화, 유리폐재를 활용한 경질 흡음판 개발, 파유리의 도로용 골재 적용성 연구, 폐유리의 세골재화에 대한 연구 등을 주요 업체에서 개발해 시판되고 있는 실정이다.

영국, 독일, 스위스, 네덜란드, 호주 등의 유럽 및 기타 지역의 경우에도, 폐유리 수거 및 재처리 기술 등에 대하여 다양하게 연구되고 있다.

| 구분 | | | 기술 개발 현황 | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| 국내 | (주)인트켐 | | • 폐유리를 이용한 야광반사 경계블록 개발<br>• 폐유리 재처리 기술 개발 및 설비 구축<br>• 폐유리를 활용한 콘크리트 제조 기술개발<br>• 폐유리를 이용한 인조 대리석 제조 기술 개발<br>• 폐유리 Edgeless 기술개발 검토 | 기술 개발완료<br>실용화 완료<br>기술 개발완료<br>실용화 단계<br><br>기술 검토 |
| | 한국유리공업협동조합 | | • 폐유리 재처리 기술 개발 및 설비 구축 | 실용화 완료 |
| | (주)세로라인 | | • 활용한 경량골재 개발 | 실험적 개발 |
| | 대림콘크리트 | | • 활용한 인조대리석 개발 | 실용화 검토 |
| | (주)바이넥스 | | • 그라스비드 | 실험적 개발 |
| | (주)벽산 | | • 보온재 | 실용화 검토 |
| | 인화세라믹 | | • 유리분쇄 발포 벽돌 | 실험적 개발 |
| | (주)그린필 | | • 폐유리 미분말 활용 매립지차수막 개발 | 실용화 검토 |
| 국외 | 미국 | 콜롬비아대학 | • 활용 glasscrete 개발 | 실용화 완료 |
| | | CWC | • 재활용 유리분말의 연마재 사용기술 연구<br>• 재활용 유리분말의 폐수처리 여과재 사용기술 연구<br>• 폐유리의 Glassphalt 적용기술 연구<br>• 폐유리의 건축용 골재 적용기술 연구<br>• 폐유리의 보도포장 벽돌 적용 연구<br>• 폐유리의 세라믹 원료로의 적용 연구 | |
| | 일본 | Crystal Clay | • 유리 타일 및 블록 개발<br>• 야광도로 포장재의 개발<br>• 폐유리 활용 벽돌 개발<br>• 폐유리 활용 자전거 포장 도로 개발 및 실용화 | 실용화 완료<br>실용화 완료<br>실용화 완료<br>실용화 완료 |
| | | Sunlight | • 폐유리 미분, 골재, 경량골재 생산 | 실용화 완료 |
| | | 신일철화학 | • 폐유리를 이용한 경질 흡음판 개발 | 실용화 완료 |
| | | 일본기계공업연합회 & 유리병재활용추진연합 | • 파유리(Cullet)의 도로용 골재 적용성 연구 | 실용화 검토 |
| | | CJC (Clean Japan Center) | • 폐유리의 세골재화에 대한 연구 | 실용화 검토 |
| | 영국 | York Handmade Bricks | • 폐유리 재활용 블록 제조 기술 개발 | 기술 보유/ 실용화 완료 |
| | | Hanson | • 폐유리 재활용 블록 제조 기술 개발 | 기술 보유/ |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | | | | 실용화 완료 |
| | | WRAP (The Waste & Resources Action Programme) | • 폐유리 재활용 기술 개발 | 기술개발 완료 |

○ 세계시장을 선도하는 주요 업체

| 업체명(국적) | 업체별 능력 | 중점 분야 |
|---|---|---|
| 대성건설(일본) | 건설잔토 소규모 처리기술 개발 및 보유 | 건설잔토 재활용 |
| DOWA 에코시스템(주) (일본) | 오염토양의 다양한 처리기술 보유 | 오염토양 |
| 히타치 조선(주) (일본) | 독일 테크 트레이드사와 기술제휴를 통해 독일회사의 가열킬른을 히타치조선(주)의 토양정화 시스템의 하나로서 제조·판매 하고 있는 회사 | 유류오염토양 |
| SITA Remediation (프랑스) | 오염토양 처리기술 중 소각관련 처리기술의 선도 기업 | 유류오염토양 |
| Inertec (프랑스) | 건설중간처리회사로 오염토양처리를 적용 및 생산 | 오염토양 |
| Crystal Clay (일본) | 폐유리 재활용 각종 제품 생산(타일, 블록, 등) 폐유리 재활용 기술 세계 선도 기업 | 타일, 블록, 도로포장재 등 |
| Sunlight (일본) | 폐유리 미분, 골재, 경량골재 생산 | 건축소재 (골재) |
| 신일철화학 (일본) | 폐유리를 이용한 경질 흡음판 개발 | 흡음재 |
| York Handmade Bricks (영국) | 폐유리 재활용 블록 제조 기술 보유 | 블록 |

○ 해외 업체· 연구기관과의 공동연구 필요성 및 추진 방안

콘크리트의 관련분야 연구 중에서 특히 재료분야 연구는 각국의 자원환경의 차이로 인하여 선진국의 연구결과를 국내에 그대로 적용하는 것이 불가능한 실정다.

또한, 순환골재와 관련된 많은 선행연구를 수행한 일본의 경우에는 강진지역에 위치한 특성으로 인하여 하중의 크기가 국내의 수준보다 높으며, 이로 인하여 철근배근량이 상대적으로 많은 부재를 대상으로 연구를 진행됨에 따라 순환골재 콘크리

트의 성능저하에 기인하는 부재의 성능저하 현상이 작게 나타나는 특성이 있다.

즉, 본 연구 분야는 외국과의 재료환경/기술환경의 차이가 크게 나타나는 분야로서 해외업체·연구기관과의 공동연구 필요성이 그다지 크지 않을 것으로 판단된다.

국내의 폐유리 재처리 기술 및 설비는 선진국에 근접한 기술 수준에 도달해 있으며, 해외 사례를 연구하여 타일 및 블록 이외의 여러 용도의 적용에 관한 연구 또한 실용화를 위한 연구 단계에 있다.

○ 개발된 기술의 해외 시장 진출 방안

본 연구분야는 외국과의 재료환경/기술환경의 차이로 인하여 외국에 그대로 적용하기 어려운 분야이므로 관련기술의 해외시장 진출은 현실적으로 어려울 것으로 판단된다.

폐유리 타일 및 블록의 경우, 두 가지 시장으로 구분할 수 있는데, 생산성을 앞세운 저가형 시장과 디자인을 앞세운 고가형 시장이 형성되고 있으며, 저가형의 경우 판유리 뿐만아니라 타일 및 블록의 경우에도 생산성을 앞세워 저가형으로 공급되고 있는 중국산의 유입으로 국내 시장을 잠식해 가고 있는 실정임. 고가형의 경우 한국적인 이미지를 부각한 고가형의 제품이 일부 유럽 지역으로 수출되고 있는 실정이며, 따라서, 저가형의 소지토 개발보다는 디자인의 우수성을 앞세운 고가형이면서도 재활용율을 높인 타일 및 블록을 개발하는데 중점을 두어야 할 것으로 판단된다.

# 제 2 절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구

## 1. 국내기술 동향

IT 기술을 접목하여 건설 폐기물을 자원화 하기 위한 노력은 지속적으로 진행 중이다. 이는 건설 폐기물 정보교환 시스템을 도입하여 한 사업장에서 발생하는 폐기물을 다른 사업장에서 원료로 사용할 수 있는 상호계약을 하고자 하는 요구가 증가하고 있다. 특히 환경재생공사 등 관련 유관기관에서 활발한 활동이 진행되고 있다. 환경재생공사는 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 제 19조에 근거하여 폐기물 적법처리 입증정보시스템을 운영하여 인터넷을 통한 건설폐기물을 인계할 수 있도록 사용 대상자를 확대하는 노력을 하고 있다.

이와 같은 많은 노력이 있음에도 불구하고 실제적 운영 결과는 그리 좋지 않다. 특히 정보교환에 대한 많은 유용성의 문제로 인하여 폐기물의 활용은 매우 저조한 실정이다. 이는 폐기물 발생업체는 처리 비용을 줄일 수 있으며, 이용 업체는 값싼 원료를 구할 수 있다. 또한 사회 전체적으로 재자원화를 시킬 수 있음에도 많은 활용이 되고 있지 않다. 많은 사업장에서는 이 시스템이 존재한다는 사실 조차 인식하고 있지 못한 형편이다.

### 가. 국내 시장규모

<표 2.2.1> 국내 건설폐기물 시장규모

(단위 : 천원)

| 구 분 | 2002년 | | | 2003년 | | | 2004년 | | | 2005년 | | | 2006년 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 소계 | | | 소계 | | | 소계 | | | 소계 | | | 소계 |
| 건설폐기물 ($/ton 가정) | | | 78.8 | | | 108.5 | | | 120.1 | | | 145.4 | | | 165 |
| 유통 정보 시스템 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | | | 0 | | | 0 |

## 나. 국내 주요 관련업체

<표 2.2.2> 대표적인 국내 관련업체의 주요 공법, 설계능력, 주요품목 및 주요 생산규모 기술

| 업체명 | 업체별 능력 | 비 고 |
|---|---|---|
| (주)대웅소프트 | 국가적 노력에 의한 폐기물 적법처리 입증정보시스템을 운영 다양한 자원의 재생에 노력을 하고 있으며, 최근 건설 폐기물 분야에 정보시스템을 구축 완료하여 운영을 시작하였음 | |

## 라. 지역별 관련업체 분포

<표 2.2.3> 건설폐기물관련업체 지역별 분포

| 지 역 | 전 체 | 해당산업 | 비중(%) |
|---|---|---|---|
| 서울 | 2 | 중간처리업체 | 0.5 |
| 부산 | 12 | 중간처리업체 | 3.3 |
| 대구 | 3 | 중간처리업체 | 0.8 |
| 인천 | 6 | 중간처리업체 | 1.6 |
| 광주 | 4 | 중간처리업체 | 1.1 |
| 대전 | 3 | 중간처리업체 | 0.8 |
| 울산 | 6 | 중간처리업체 | 1.6 |
| 경기 | 80 | 중간처리업체 | 21.7 |
| 강원 | 41 | 중간처리업체 | 11.1 |
| 충북 | 19 | 중간처리업체 | 5.2 |
| 충남 | 31 | 중간처리업체 | 8.4 |
| 전북 | 33 | 중간처리업체 | 9.0 |
| 전남 | 29 | 중간처리업체 | 7.9 |
| 경북 | 62 | 중간처리업체 | 16.8 |
| 경남 | 35 | 중간처리업체 | 9.5 |
| 제주 | 2 | 중간처리업체 | 0.5 |
| 계 | 368 | 중간처리업체 | 100 |

(2006)전국폐기물통계_시군구별현황, 환경부

## 마. 국내시장 예측 및 발전전망

현재 건설폐기물 처리 시장은 기하급수적으로 늘어날 전망이다. 이는 사회적으로 짧은 건물의 생애 주기와 관련이 있으며, 이는 수치적으로도 확인되고 있다.

1996년의 경우 건설폐기물이 28.4천 톤으로 부터 시작하여 4년 후 약 4배인 2000년에는 101.5천 톤으로 2003년에는 145.4천 톤으로 증가하였다. 이는 매년 20%의 증가를 나타내고 있다. 이러한 추세로 지속적으로 증가되었다면 2005년의 경우 약 200천 톤을 배출한 결과가 된다. 이 연구가 완료되는 2010년까지 보수적으로 15%로 가정할 경우 400천 톤의 폐기물이 발생한다. 이를 톤당 처리를 위한 정보처리 비용을 10000원으로 가정할 경우 2010년의 정보처리 시장은 40억원이 된다. 그 후 폐기물 시장의 확대를 10%로 가정할 경우 2015년에는 그 물량이 644천 톤에 64.4억 원이 된다.

이와 함께 정보처리를 위한 B2B 시스템 도입과 ERP 시장, 그리고 그에 따른 정보관리 시장이 지속적으로 확대될 것이다. 또한 효율적 폐기물의 운송과 유통을 위한 차량계측시스템의 부착과 이를 GIS, GPS를 응용한 시스템의 보급이 지속될 전망이다. 차량계측 시스템의 경우 시스템의 부착 비용을 500만원으로 예상하고 매년 1000대의 차량에 보급할 경우 50억원 시장이 될 예상되며 화물차량 전체로 확산된다면 그 시장규모는 그야말로 엄청난 새로운 시장이 될 것 이다.

## 2. 국외기술동향

### 가. 일본

일본의 폐기물 정보 네트워크구축은 산업폐기물을 대상으로 하여 제조업체들 간의 폐기물 에 관한 정보를 제공하고 교환을 촉진시키기 위한 형태로서, 재이용 가능한 폐기물에 대한 공급과 수요에 관한 정보를 신속히 안내하는 것이며, 이를 관장하는 기관은 각 사업소에서 이들 자료를 제공받아 직접 연결시켜 주기도 하고, 또 이들 자료를 모아 안내책자를 만들어 배포함으로써 사업자 스스로가 서로 연락을 하여 폐기물을 교환·활용하기도 한다.

1976년에 오이타현(大分縣)에서 처음 폐기물 정보 네트워크구축은가 실시되었고, 현재도 전국약 31개 도·부·현에서 자체적으로 폐기물 교환제도를 도입하여 독자적으로 실시하고 있으며 폐지된 곳은 없다고 한다. 다음 페이지의 <표 2.2.5>는 현재 일본에서 실시되고 있는 폐기물 정보 네트워크구축은의 현황을 보여주고 있다.

이러한 폐기물 정보 네트워크구축은의 업무수행과정은 지방마다 약간씩 다르

기는 하지만 대체적으로 다음과 같은 5단계를 거친다.

① 앙케이트 조사에 의한 교환·수급정보 파악
② 교환·수급정보에 대한 대장을 정비보관
③ 각종 홍보매체를 이용하여 수급정보 제공
④ 교환희망 사업자와의 직접교섭에 의거 교환체결
⑤ 교환이 성립한 경우 실적내용을 집행기관에 보고·등록하여 사후관리에 이용

이 제도의 운영주체는 현, 공사, 상공회의소 또는 이들의 복합체로 지역사정에 따라 여러 형태를 보이고 있고, 운영주체의 다양한 홍보활동에도 불구하고 두드러진 운영성과를 얻지는 못하고 있지만 이 제도를 통해 거래되는 폐기물 교환량은 상당한 편이어서 제도의 정착을 위해 계속적인 노력을 하고 있다.

최근에는 후생성이 일본 전역의 폐기물 교환정보를 통합, 유통시키려는 계획하에 (재)일본 산업폐기물처리 진흥센터를 통해 전국 각 현을 대상으로 교환정보의 전산화를 추진 중에 있다.

## 나. 미국

현재 미국에서는 50개소 이상의 폐기물 교환기구가 운영되고 있다. 특히 1990년대 초에 정부의 재정지원하에 국가차원의 정보시스템이 만들어지면서 교환기구의 수도 급격하게 증가하였다.

이들 폐기물 교환기구는 폐기물의 유·무상 교환을 촉진시키기 위해 다양한 방법을 모색하고 있으나, 일반적으로 이용자들이 교환정보를 직접적이고 쉽게 알수 있는 카탈로그나 폐기물 목록을 발행하여 제공하고 있다. 이런 방법이 비교적 인원과 비용부담을 줄일 수 있기 때문이다. 또한 대부분이 EPA의 지원에 의한 NMEN(National Materials Exchange Network)과 연계하여 자신들의 폐기물 목록을 인터넷을 통해 공유하고 있다. 한편 MNEN의 운영자들은 연간 20만불의 운영비용을 전적으로 정부보조금에 의존할 수는 없다고 인식하여 관련단체와 협력을 모색한 결과 취급품목을 다양화하고 인터넷서비스를 실시함으로써 재활용 관련업체들을 규합하여 Earthcycle을 조직, 이의 지원을 받게 되었다. 현재

MNEN은 활동이 중단된 상태이며 Global Recycling Network와 Recycler's World가 MNEN의 역할을 대체하여 활발한 활동을 전개하고 있다.

## 다. 주요국가의 시장규모

건설 폐기물은 2002년 통계를 보면 다음과 같다.

<표 2.2.4> 국외 건설폐기물 발생량

| | 한국 | 미국 | 일본 | 프랑스 | 영국 |
|---|---|---|---|---|---|
| 폐기물 발생량 (ton/day) | 145,420 | 336,858 | 153,326 | 65,476 | 197,260 |

(참고 : '02 OECD Compendium)

선진국의 경우 우리와 달리 급격한 변화는 없으며 ton당 정보처리 비용을 1000원으로 추정할 경우 이에 따른 시장은 다음과 같다.

<표 2.2.5> 국외 폐기물 정보처리 비용 현황

(단위 : 억원)

| | 미국 | 일본 | 프랑스 | 영국 |
|---|---|---|---|---|
| 폐기물 정보처리 비용 | 1,200 | 560 | 206 | 720 |

## 라. 세계시장을 선도하는 주요 업체

<표 2.2.6> 대표적인 해외업체의 주요 공법, 설계능력, 주요품목 및 주요 생산규모 기술

| 업체명(국적) | 업체별 능력 | 비 고 |
|---|---|---|
| (재) 일본 산업폐기물 처리 진흥센터 (일본) | 일본 전역의 폐기물 교환정보를 통합 유통시키고자 하는 조직, 일본 후생성 후원 하에 진행 | |
| National Materials Exchange Network | 미국 EPA의 지원 하에 폐기물 목록을 인터넷을 통하여 공유 | |
| Global Recycling Network | 미국 민간 단체로써 폐기물 정보를 인터넷을 통하여 공유 | |
| Recycler's World | 미국 민간 단체로써 폐기물 정보를 인터넷을 통하여 공유 | |

## 마. 해외 시장예측 및 발전전망

현재 폐기물 정보교환시스템은 국가별로 뚜렷한 차이를 나타내기 보다는 지역의 여건별로 탄력적으로 운영되고 있지만, 전체적으로 볼 때 운영주체나 운영기금, 폐기물 재활용 시장 여건에 따른 여러 교환활동들을 국가적 범주로 구분하여 비교해보면 향후 폐기물 정보교환시스템의 현황자료로 활용하는데에 더 많은 도움이 될 것으로 생각된다. 위에 소개된 일본과 미국의 건설폐기물 정보교환시스템의 운영사례를 운영주체, 운영기금, 대상폐기물, 교환실적, 기타의 촉진활동을 기준으로 비교·검토하고자 한다.

일본의 경우는 현과 같은 정부기관이나 지방자치단체의 예산이 지원되거나 또는 상공회의소를 통해 운영기금이 조달되고 있고 운영기금을 조달하는 주체가 곧 운영주체가 되고 있다. 그러므로 운영성과가 저조하더라도 현, 지방자치단체, 상공회의소의 운영기금이 중단되지만 않는다면 건설폐기물 정보교환시스템가 중단되는 사례가 없이 계속 유지되고 있다. 일본에서는 운영실적이 저조하더라도 앞으로의 폐기물 문제 해결을 위해서 꾸준히 교환제도가 운영되고 있다는 사실 자체에 큰 의미를 부여하고 있다. 최근 교환정보의 전산화를 통해 건설폐기물 정보교환시스템를 활성화시키려는 많은 노력이 전개되고 있으며, 교환되는 폐기물 성상이 교환에 부적합하다거나 배출시기가 일정치 않고 배출량이 소량이어서 운반비 부담이 크다는 등의 근본적인 문제가 여전히 해결되어야 할 과제로 남아있다.

미국의 경우는 건설폐기물 정보교환시스템 역시 시장원리에 의해 운영되고 있으며 운영기금을 제공하는 주체와 운영주체는 별도인 경우가 많다. 즉, 정부의 보조금도 있지만, 지역의 관련 기업이나 개인 혹은 공공 후원자가 운영기금을 지원하는 사례가 많다. 그러므로 교환제도의 성패여부가 곧 교환기구의 존립과도 연결되고 있고, 따라서 건설폐기물 정보교환시스템의 활발한 운영을 위한 여러가지 활동들이 전개되고 있다. 경쟁력을 확보하지 못한 교환기구는 시장원리에 의해 금방 폐지되고 있으며, 어려운 여건 속에서도 꾸준히 지속되고 있는 교환기구들도 있다. 인터넷이 보편화되면서 인터넷을 활용하여 외국과의 교환을 추진하고 있는 사례들도 있다.

## 바. 기술동향 분석 결론

세계적으로 자원의 재활용 측면은 인류의 생존과 밀접한 관계를 지니고 있다고 인식되고 있다. 특히 중국의 부상에 따라 석유자원으로부터 시작하여 각종 자원의 품귀현상을 불러일으키고 있다. 국내적으로도 이제 천연 골재는 매우 구하기 어려운 형편이며, 환경적 측면으로도 더 이상 건설폐기물을 방치할 수 없는 형편에 있다.

이러한 문제를 해결할 수 있는 단초는 건설 폐기물을 생산하는 사업장과 이를 자원으로 활용할 수 있는 사업장을 연결하는 유통 시스템의 구축이 필수적이다. 이에, 이 연구는 건설폐기물의 유통을 효율화 하며, 이를 안정적으로 운영할 수 있는 시스템 구축과 운영 방식에 대한 연구가 필수적이다.

# 제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 투수성 아스팔트 포장의 재료 및 시공기술 개발

최근 2005년 1월 건설폐기물재활용촉진법 시행령·시행규칙에 따르면 도로중 4㎞ 이상인 도로의 시설·확장공사 등 순환골재 의무사용 건설공사의 포괄적인 대상을 규정(다만, 법 제38조 제3항의 규정에 의거 순환골재의구체적인 사용량 등에 대한 고시이후에 순환골재의무사용 규정 적용) 했으며, 2005년 1월부터 각급 공공공사에 순환골재 30% 이상을 의무적으로 사용하여야 한다. 이처럼 순환골재의 사용이 의무화가 된 현재, 순환골재의 원활한 사용을 위해서 더욱 더 많은 연구들이 필요한 현실이다.

그래서 본 장에서는 순환골재에 대한 국내·외 연구현황을 국내 산업에 적용하는 관점에서 조사 분석하였다.

## 1. 국내 연구 현황

우리나라에서는 1980년 중반 유럽 및 미국의 여러 선진국 그리고 일본등지에서의 연구결과를 바탕으로 학교 및 연구기관을 중심으로 학술적 연구가 시작된 이후, 1990년대 들어서 건설폐기물 및 순환골재 관련 연구가 본격적으로 추진되었다.

하지만 국내의 순환골재의 사용이 의무화와 함께 순환골재 품질 기준 제정 및 인증제도 시행이 국회를 통과한 현재, 순환골재의 원활한 사용을 위해서 더욱 더 많은 연구와 생산 관리가 필요한 현실이다. 본 절에서는 지금까지 국내에서 수행된 순환골재관련 된 연구 과제를 정리하면 <표 2.3.1>과 같으며 이를 바탕으로 기초연구에 대한 내용은 다음과 같다.

<표 2.3.1> 국내 순환 골재 관련 연구 현황

| 연 구 제 목 | 시 기 | 연구기관(명) |
|---|---|---|
| 굵은 골재로서 폐콘크리트를 사용한 콘크리트에 관한 실험 연구 등 | 1986 | 충 남 대 |
| 폐콘크리트 재활용에 있어서 강도 특성상의 문제점 | 1992 | 강 원 대 |
| 순환골재콘크리트에 관한 연구 · 순환골재품질 | 1993 | 일본건재시험센터, (주)대동 |
| 폐콘크리트 재활용 기술개발 연구 | 1994 | 자원순환공사, 코오롱, KICT |
| 건설 산업 폐기물의 재활용 기술개발에 관한 연구 | 1995 | 충 남 대 |
| 건설현장 쓰레기 관리기법 개발 | 1995 | KICT |
| 건설폐자재 재활용 시스템 구축 방안 | 1996 | 환경영향평가협회 |
| 건설 산업 폐기물의 리사이클링 시스템 및 재활용 기술개발 | 1997 | 충남대, 동아건설 |
| 박판 프리캐스트 시스템 개발 | 1998 | 한라건설 |
| 무세골재 콘크리트 제조와 건자재 활용 기술개발 | 1999 | 한라건설 |
| 친환경적 건설사업 활용화 방안 연구 | 1999 | KICT |
| 폐콘크리트 순환골재를 이용한 아스팔트 표층용 혼합물의 특성 평가 | 2002 | 김재현, 이관호, 김남호 |
| 순환골재의 품질평가 및 순환골재 콘크리트의 강도 특성 | 2002 | 문대중, 문한영 |
| 도로포장의 린콘크리트에 순환골재 적용 연구 | 2002 | 중앙대 |
| 순환골재에 포함되어있는 유기 이물질 정량화 연구 | 2004 | 중앙대 |
| 순환골재의 도로공사용 아스팔트 포장 품질 기준 설정 및 설계, 시공 지침 작성에 관한 연구 | 2004 | 중앙대 |

강원대의 김광우 교수팀은 순환 골재의 강도발현과 동결융해 저항성 특성을 알아보는 연구에서 유동화제 첨가량과 fly-ash의 첨가량을 변화시키면서 양생일 에 따른 강도 특성을 비교하고, 동결 융해에 대한 저항성을 살펴보면서, 순환골재가 첨가제를 통해 강도와 내구성이 증가될 수 있다는 결론을 확인하였다.

충남대의 김무한 교수팀은 순환 세·조골재를 순환골재 제조 현장에서 채취하여 실험을 통해 순환 세·조골재의 각종 기초물성을 비교·분석하였으며 생산 공정에서 토사 및 미립분 제거의 필요성을 강조하였다. 또한 양생을 하는 과정에서 화학약품에 수침을 시켜 골재의 화학 안정성을 살펴 본 결과, 순환 골재로 만든 공시체가 $H_2SO_4$ 에서는 안정성을 보이지 못하고 강도가 저하된다.

김문섭 등은 "순환 골재 콘크리트의 역학적 특성"에서 순환 골재를 사용한 콘크리트가 천연 골재를 사용한 콘크리트에 비하여 압축강도는 약 70% 수준이었으나 순환 골재를 깨끗이 세척한 후 사용하면 강도 증진 효과를 볼 수 있다는 결과를 발표하였다.

충북대의 서상교 교수팀은 폐콘크리트에서 나오는 순환 미분 말에 관한 연구에서 혼화제를 사용한다면 순환 미분말을 세골재의 일부로 대체하여 순환콘크리트를 재조할 수 있다고 주장하였으나, 건조수축의 저감방안 및 혼화제의 사용 방법에 대해서는 향후과제로 미루었다.

충남대의 윤현도 교수팀은 순환골재로 만든 부재의 구조적인 특성을 연구하였는데 천연골재 콘크리트와 대등한 구조적인 성능을 발휘하고 있으며 또한 현행 천연골재 콘크리트 보에 대한 설계식 및 제안 식을 순환골재 콘크리트를 사용한 보의 설계 시에도 그대로 적용 가능할 것으로 판단하였다.

연세대의 변근주 교수팀은 순환골재의 평가방법에 관하여 연구하였는데 순환골재로 만든 환경부하 저감형 순환골재 콘크리트의 합리적 평가가 순환골재의 흡수율로서 가능함을 주장하였다. 즉 순환골재는 일반 골재와 다른 물리적 성질을 가지므로 순환골재에 적합한 평가기준이 필요하며 순환골재의 품질기준으로 흡수율, 비중, 마모감량, 실적률, 0.08mm체 통과량 등을 사용해야 한다고 주장하였다.

경성대의 이관호 교수팀은 순환골재를 아스팔트 표층포장용 골재로서의 활용을 위한 안정성시험, 간접인장시험, 크리프(Creep) 시험을 실시하였는데 천연골재, 혼합골재, 순환골재의 시험 값이 거의 비슷하였다. 하지만 폐콘크리트 골재만을 사용하기보다는 천연골재와 적절히 혼합하여 이용한다면 포장의 성능에 긍정적인 효과를 기대할 수 있을 것으로 보고하였다.

순환골재를 이용한 건축물 (인선ENT(주) 기업부설연구소 신축)이 2004년도에 완공이 되었다. 이는 법테두리 내에서 순환골재를 활성화시키기 위한 노력에 의해서 시작된 것이었다. 이 시범 사업은 순환 굵은 골재를 구조용 굵은 골재로 일부

치환하여 적용하는 공사로서 콘크리트 구조체공사에 순환 굵은 골재를 30% 대체 적용하였다. 1종 순환 굵은 골재 30%대체시 건물의 주요 구조부인 기둥, 보, 옹벽 등 설계기준강도 24MPa 의 순환 콘크리트를 전량 타설했고, 1층 노출 기둥에 설계기준강도 27MPa를 타설하였다.

경성대의 이관호 교수팀은 또한 폐콘크리트 분진을 첨가한 아스팔트의 특성을 평가하였는데 폐콘크리트 분진을 첨가한 원아스팔트의 침입도 감소효과가 크게 나타났다. 감온성을 평가한 결과, 개질재의 사용량과 종류에 따라 그 효과가 비교적 평이하게 나타났다. 또한 동적전단유동시험의 경우 250°C에서 원아스팔트에 폐콘크리트 분진 10%를 첨가한 아스팔트의 복소전단계수의 증가효과가 가장 크게 나타났다.

중앙대 임남웅 교수팀은 환경부 사업 일환으로 경기도 남양주시 진건 하수 처리장 건설의 진입로 공사때 일정구간의 기층과 보조기층에 순환골재를 콘크리트 포장에 시공 한적이 있다. 준공이후 내구력 시험, 강도 시험 등을 하였으나 천연골재보다 높은 강도가 나왔다.

중앙대 임남웅 교수팀은 순환골재에 포함된 이물질에 대한 명확한 정의가 없으며 기준 또한 정량화되지 않아 도로 포장 적용에 어려움을 느끼고 순환골재 내에 포함된 이물질의 특성에 따라 무기이물질과 유기이물질로 구분하여 도로 보조기층에 적용 가능한 이물질 함량 기준을 제시하였다.

대한 주택공사에서 시행하고 있는 논현택지 연약지반 배수층 용으로 2006년 현재 인천에 소재한 D사로부터 납품받은 순환골재가 사용되고 있다. 대한주택공사는 논현택지 연약지반 샌드매트용으로 모래를 사용하기로 설계했으나 모래파동으로 인해 공사의 진전도가 없자 엄격한 품질검사를 통해 순환골재를 사용해도 무방하다는 결론을 내리고 선택하기도 했다.

동의공업대학 조재윤 교수 등은 폐콘크리트 순환골재를 이용한 아스팔트 혼합물의 특성평가를 연구하면서 간접인장시험, 크리프(Creep), 시험회복 탄성계수 ($M_R$) 시험을 하였는데 혼합골재와 천연골재는 비슷한 값을 보였다. 또한 온도영역을 살펴보면, 온도변화에 따른 회복탄성계수값의 변화 기울기가 폐콘크리트 아스팔트 혼합물의 경우 다른 아스팔트 혼합물에 비하여 완만하므로 감온성면에서는 우수하다고 발표하였다.

중앙대 임남웅 교수팀은 순환골재 품질 기준 제정 및 인증제도 시행방안 연구의 일환으로 순환골재의 도로공사용 아스팔트 포장 품질 기준 설정 및 설계, 시공 지침 작성에 관한 연구를 통해 순환골재를 사용한 상온 아스팔트 기층용, 표층용 모두 가능성을 입증하였다.

## 2. 국외 연구 현황

순환골재의 선진국은 유럽이다. 그 이유인즉, 제 2 차 세계대전 후 도시의 재건축을 위하여 콘크리트 폐기물을 파쇄하여 건설재료로 재이용한 경험이 많았기 때문이다. 특히, 도시 재건작업이 어느 정도 완료된 후에는 폐콘크리트의 재활용에 대한 관심이 낮았으나, 1976년에 이르러 RILEM의 「콘크리트 해체와 재이용 위원회(약칭 37-DRC)」가 발족되어 서독, 벨기에 및 네덜란드 3국이 공동 프로젝트 그룹을 형성해 활동을 개시한 후 재활용에 대한 관심이 높아졌다.

선진국에서는 환경과 자원고갈에 대한 우려 속에 콘크리트 재활용에 대한 기초연구는 물론 실용화를 위한 연구가 많이 진행되어 왔다. 따라서 관련규정의 제정 및 법제화, 강도 증진 방안, 철근 콘크리트 구조물의 적용성, 벽돌 재활용 등이 현장 성능으로 확인되어 활성화가 되어 있다.

다음은 국내의 실정과 가까운 일본과 미국 그리고 유럽등의 대한 순환골재의 연구 현황을 정리하였다.

일본의 재활용 연구는 1974년에 (재)건축업협회에 의한 것이 최초이고 우리나라와 같이 자원이 부족하기 때문에 재활용에 대한 관심이 매우 높다.

특히, 일본에서 순환골재와 관련되어 제시된 최초의 기준은 일본콘크리트공학협회에서 1977년에 제안한 재생골재 및 콘크리트의 사용기준(안)이 있다. 이후 지속된 연구를 통하여 수정 보완된 기준(안)들이 제안되었으며, 2000년에는 JIS규격의 제정 전단계인 TR정보가 제시되기에 이르렀다.

현재 일본에서는 순환골재를 쇄석, 슬래그와 더불어 인공골재에 포함시킴으로써 무용의 자원이닌 유용한 자원으로 인식하고 있으며, 폐아스팔트 콘크리트라는 용어를 사용하지 않을 정도로 활용 의지가 강하다.

독일에서는 일찍부터 건설폐기물에 대한 재활용 촉진 대책을 시행하였다. 1951년에는 폐벽돌 재활용기준을 고시하여 폐벽돌을 콘크리트 골재로 재활용하도록

하였다. 독일의 Schilz는 1998년 독일의 폐콘크리트 재활용에 관한 논문에서 순환골재를 사용한 콘크리트의 강도상의 문제점을 지적하고 순환 잔골재의 사용은 제한할 필요가 있다는 점을 발표하였다.

네덜란드 Barth에 의해 건설폐기물의 재활용에 따른 경제적, 사회적, 정치적 면에서의 문제점을 지적였다. 특히 건설폐기물 활용에 대해 홍보 부족 및 부정적인 인식으로 인해 사용에 제약이 있다고 주장하였다. 또한 종이, 플라스틱 등 불순물이 중량비와 용적비로 1% 미만이어야 한다고 주장하고 있다.

영국에서는 1994년에 Collins가 해체 폐기물의 약 40%가 재활용 되고 있지만 그 중 대부분은 채움재 같은 저급의 재료로 쓰이며 콘크리트 등과 같은 고급 재료로의 사용은 미약하다고 하였으며 적절한 규정의 부족이 원인임을 지적하였다.

덴마크에서는 폐콘크리트를 1929년에 도로포장, 1959년에는 공항포장, 1969년에는 자동차용 도로 포장에 활용하였다. Hansen은 그의 연구에서 순환 골재를 사용한 콘크리트의 한계점과 이에 대한 대책으로 혼화제 사용을 제시하였다.

프랑스는 1976년 파리 근교의 도로 보조기층과 동상방지층에 순환골재가 사용된 이후 현재 파리 지역에서는 일상적으로 사용되고 있다. Marlet와 Pomienta(1994)가 순환 콘크리트의 역학적 특성과 물리·화학적 특성에 대해 연구하였는데 그들은 특히 순환 콘크리트는 건초 수축이 크며, 물의 이동과 탄산화의 비율이 높다고 지적하였다.

MIT의 Frondistou-Yannas는 폐콘크리트 재활용의 경제성에 관한 연구를 Itoh와 함께 발표하였다. 그들은 대부분 대도시 지역에서 15mile 이내의 천연골재 자원은 고갈되어 가고 있으며 폐콘크리트의 재활용에 의한 순환골재 생산비는 $2/ton 임에 비하여 천연골재의 구입비는 $3.3/ton 으로 더 높다고 하였다. 또한 굵은 골재를 콘크리트 파쇄 석으로 대치한 순환콘크리트의 역학적 성질을 규명한 연구에서 몰탈과 순환 골재의 부착력이 일반 콘크리트 보다 55~88% 감소되며, 압축 강도는 일반 콘크리트 강도의 76% 내지 그 이상, 그리고 탄성계수는 일반 콘크리트의 60~100% 정도임을 보여주었다.

미국의 연방도로국은 1980년대 초·중반 포틀랜드 시멘트 콘크리트 포장의 재활용 시범사업(Demonstration Project Program : DP # 47)을 시행하였다. 이 프로젝트는 미국의 Wyoming 주 등 10여개 주에서 참여하여 1980년대 중반 성공적으로 끝났다. 연방도로국 소속의 Forster는 논문을 통하여 비록 순환 콘크리트가

일반 콘크리트 보다 성질상 다소 다르기는 하지만 충분한 실험을 통하여 내구성 있고 강한 콘크리트를 변모할 수 있음을 시사하였다.

Texas의 Moon Won은 순환 골재를 사용한 콘크리트를 연속 철근 콘크리트 포장에 적용하여 좋은 공용성을 확인하였다. Rebecca는 순환 골재를 사용하여 내구성을 증진시켜 콘크리트 포장에서 발생하는 D-균열을 억제하는 방안에 대하여 연구하였다. Abdol, Shiou 등은 1999년 순환 골재를 콘크리트 포장에 사용하기 위한 연구를 가속촉진실험장비에서 실시하였다. 연구 결과, 순환 골재를 사용한 콘크리트가 낮은 압축 강도에도 불구하고 포장 표층에 사용이 가능하며, 포장 하부 층에 사용하기 위해서는 순환 골재의 입도 기준을 정확히 해야 하며, 입도 기준이 맞지 않았을 경우에는 천연 골재와 섞어 사용해야 한다고 주장하였고, 이런 입도 기준을 맞췄을 때 순환 골재는 아스팔트 포장이나 콘크리트 포장의 하부 층으로 사용이 가능함을 주장하였다.

국내·외 연구 동향을 살펴보면 폐 콘크리트 순환골재를 이용하여 순환 콘크리트에 적용하는 연구와 포장 입상재료 적용 타당성 연구를 수행하였고 국내에서 가장 활발한 연구는 폐아스콘을 이용하여 순환아스콘의 활용에 관한 것이었다. 하지만 본 연구에서와 같이 폐 콘크리트의 순환골재를 이용하여 순환 아스팔트에 적용하기 위한 기존 연구는 미비한 실정이다.

## 3. 요 약

문헌조사 결과, 국내·외 에서는 순환골재에 관련된 기초 물성 연구와 도로 적용 및 기타 응용 연구등 건설폐기물의 활성화를 위한 연구가 다양하게 진행되었다. 또한, 도로건설산업 활용에 대해서는 긍정적인 결론이다.

하지만 순환골재의 활용도 가치는 도로건설산업 측면에서 다양한 연구가 있는데 모두 하부구조인 매립형 방안과 구조체의 경우 콘크리트에 치환하는 정도로 개발 및 활용이 되고 있는 실정으로 도로건설산업에 직접적인 영향을 주는 아스팔트 포장체 적용에 대한 연구는 매우 미흡한 실정이다.

또한, 건설폐기물을 활용한 순환골재의 생산 기술문제로 인한 품질 기준의 강화와 사회적 인식 문제는 국가와 기업, 그리고 연구기관에서 해결해야 할 과제로 안고 있는 실정이다

# 제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산시스템 개발

## 1. 국내·외 순환잔골재 제조기술 현황

### 가. 국외 제조기술 현황

(1) 가열마쇄식

가열마쇄식은 콘크리트를 가열하여 시멘트 수화물을 분해시키고 그 후 골재를 파쇄하지 않는 정도의 힘으로 시멘트분말만을 선택하여 제거하는 기술로, [그림 2.4.1]에 나타낸 바와 같다.

(가) 이설형(移設型) 플랜트

이설형(移設型) 프랜트의 시스템 플로우를 [그림 2.4.2], 제원 및 사양을 <표 2.4.1>에 나타내었다.

① 가열처리공정

가열처리에서는 최대직경 50mm이하에 전처리된 콘크리트 덩어리의 가열처리를 실시한다. 충전형 가열처리는 상부에서 연속 투입한 콘크리트 덩어리를 하부에서 불어넣은 열기를 사용하여 300℃ 정도로 가열하며, 가열된 콘크리트는 가열장치 밑 부분에서 배출되고, 다음 1차 마쇄장치에 투입한다.

② 1차 마쇄 공정

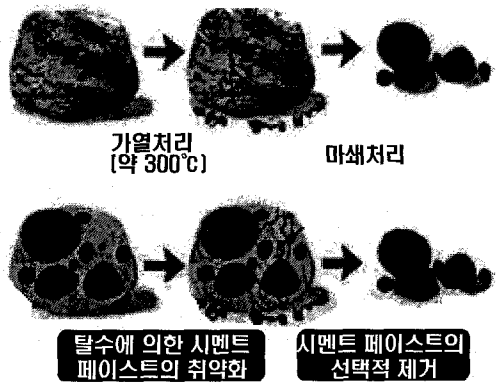
1차 마쇄는 콘크리트 덩어리를 마쇄하여 굵은 골재를 제조하는 단계이며, 장치는 튜브밀로 한다. 매체가 콘크리트 덩어리를 파쇄하지 않을 정도로 마쇄한 것으로 매체에는 수 종류의 금속기기를 사용한다. 1차 마쇄장치의 내용물은 연속적으로 배출되며 2차 마쇄장치에 투입한다.

③ 2차 마쇄 공정

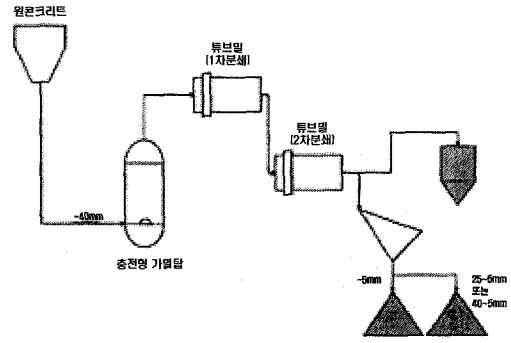
2차 마쇄에는 콘크리트 덩어리에서 굵은 골재를 분리하고 남은 모르타르에서 잔 골재를 제조한다. 이 공정에서는 튜브밀을 채용하며 발생하는 미분은 밀 내의 통풍에 의해 제거된다.

<표 2.4.1> 대신지정에 의한 대응항목과 개요

| NO. | 항목 | 개요 | 대응 |
|---|---|---|---|
| 1 | 품질기준과 측정방법 | 시멘트의 품질기준, 측정방법 | 일본공업규격 등을 참고하여 설정골재는 고품질순환골재제조방식에 의한 고품질순환골재의 규격을 제시 |
| | | 골재의 품질기준, 측정방법 | |
| | | 압축강도의 기준치, 시험결과, 측정방법 | 실기실험에 의한 대응 |
| | | 슬럼프의 기준치, 측정방법 | JIS규격 등을 참고하여 설정골재는 고품질순환골재 제조방식에 의한 고품질순환골재의 규격을 제시 |
| | | 공기량의 기준치, 측정방법 | |
| | | 염화물의 기준치, 측정방법 | |
| 2 | 검사항목 및 검사방법 | 압축강도, 슬럼프 및 검사 데이터 | 레미콘공장의 일반 데이터와 골재의 제조기록을 기재관리체제의 제시 |
| | | 시멘트, 골재 등의 수납 검사 데이터 | |
| | | 제조실적 | |
| 3 | 제조, 운반 및 보관 | 제조공정규격, QC공정표 등과 그 기록 | |
| | | 출하규정, 운반규정 등과 그 기록 | |
| | | 원재료 공정검사규격과 그 기록 | |
| 4 | 검사설비의 정도·성능 | 검사설비관리규정, 계측기교정요령 등 | 레미콘공정의 사내규격과 일반 데이터에의 대응 |
| 5 | 품질관리 | 사내규격 | 시공회사 및 레미콘공장의 사내규격과 그에 근거하는 서류 |
| | | 사내규격을 재검토한 기록, 주지시킨 기록 | |
| | | 제품검사기록, 자재검사기록 등 | |
| | | 공정관리기록 | |
| | | 작업기록, 검사기록, 관리도 | |
| | | 불량품 또는 불합격 로트의 처리 등의 기록 | |
| | | 공해관계 | |
| | | 설비관계의 점검, 검사 등의 기록 | |
| | | 외주관계의 기록 | |
| | | 클래임처리의 기록 | |
| | | 기록이 보관되어 있는 것을 나타내는 서류 등 | |
| 6 | 기술적 생산조건 | 조직도 | 시공회사 및 레미콘공장의 사내규격·조직체제 |
| | | 품질관리추진책임자의 직무실시기록 등 | |
| | | 교육훈련계획서·실시기록 등 (외주포함) | |




[그림 2.4.1] 가열마쇄법의 이미지




[그림 2.4.2] 가열마쇄식 플랜트의 플로우

<표 2.4.2> 가열 마쇄식 플랜트(移設型)의 제원·사양

| 처리공정 | 장치명칭 | 치수 | 처리능력 |
|---|---|---|---|
| 가열처리 | 충전형 가열탑 | 2,500Ø×4,700H | 약 10t/h |
| 일차마쇄 | 굵은골재 튜브밀 | 1,500Ø×2,000L | 약 5~10t/h |
| 이차마쇄 | 잔골재 튜브밀 | 1,700Ø×4,100L | |

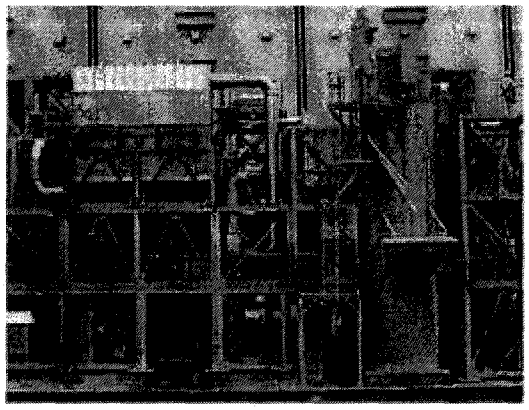
<표 2.4.3> 가열마쇄식 장치에 의한 이설형(移設型)과 정치형(定置型)의 사양

| 대 상 | | 기 존 | 개 량 |
|---|---|---|---|
| | | 이설형(移設型) | 정치형(定置型) |
| 프로세스 | 가열공정 | 충전형 가열탑 | 로터리 드라이버 |
| | 1차 마쇄 공정 | 2중 원구형 튜브 밀 | 튜브 밀, 로드 밀 컴프레셔 등 범용마쇄장치 |
| | 2차 마쇄 공정 | 튜브 밀 | 튜브 밀 |

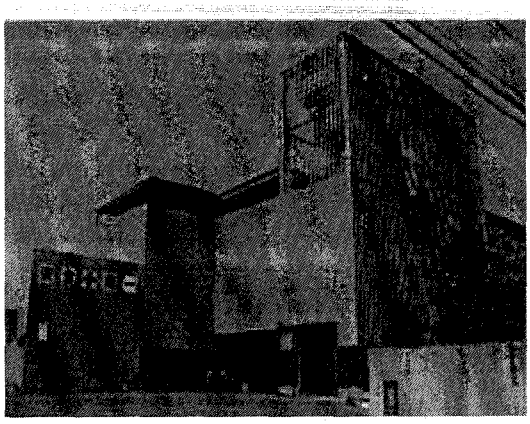
(나) 정치형(定置型) 플랜트

이동형 플랜트에서는 주요장치를 유닛에 수납하기 때문에 설치면적이 작은 충전형가열탑을 채용한다. 사이트 내에 반입하는 것을 가능하게 하지만 가열처리의 능력이 낮은 결점이 있다. 한편, 균일가열처리 후의 콘크리트 덩어리는 골재와 시멘트가 분리되기 쉬운 상태이기 때문에 마쇄장치로서 처리능력이 큰 과거의 마쇄

장치를 적용하는 것이 가능하다.



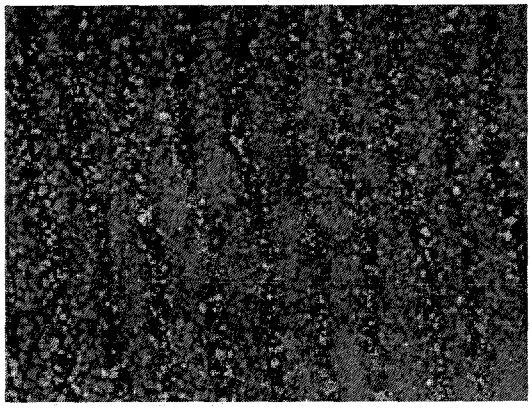
[사진 2.4.1] 가열마쇄식 플랜트 (移設型)



[사진 2.4.2] 정치형(定置型)의 60t/h 가열장치 (아스콘공장)



[사진 2.4.3] 재생굵은골재 H



[사진 2.4.4] 재생잔골재 H

여기서, 정치형(定置型) 시스템상의 율속인 가열처리공정에 로터리드라이어를 채용하여 처리능력의 개선에 노력하였으며, 지금까지 아스팔트콘크리트용의 로터리드라이어에 300℃의 균일처리가열능력 60t/h를 확인하였다.

이상에서 정치형(定置型) 플랜트에는 로터리드라이버와 범용의 마쇄장치의 조합으로 처리능력의 향상을 도모함과 동시에 플랜트의 저비용화가 예상되며, <표 2.4.2>에 이설형(移設型)과 정지형(定置型)의 사양을 나타내었다.

(2) 편심로터식

(가) 처리장치의 개요

처리장치주요부의 단면을 [그림 2.4.3]에 나타내었다. 처리하는 원콘크리트는 외통부와 고속으로 편심 회전하는 내통부의 사이를 상부에서 하부로 통과하는 중에 부착 모르타르분말이 마쇄작용을 받고 굵은골재와 모르타르분말로 분리된다. 장치하부에서 배출하는 골재를 5mm의 체로 분리함으로써 재생굵은골재를 얻을 수 있다.

(나) 재생굵은골재처리 플로우

분별해체되는 콘크리트 덩어리에서 재생굵은골재를 회수하기 위한 처리플로우를 [그림 2.4.4]에 나타내었다. 편심 로터식 장치는 콘크리트 덩어리를 파쇄하는 능력이 거의 없기 때문에 원콘크리트는 전처리공정에 있어서 최대 40mm 정도의 입경으로 할 필요가 있다. 현장에서 반입 저장하는 콘크리트 덩어리는 조크러셔로 1차 파쇄하여 40mm이하의 입경으로 처리한 후 효율향상을 위해 5mm이하를 체로 제거한 후 편심로터에 의해 처리한다.

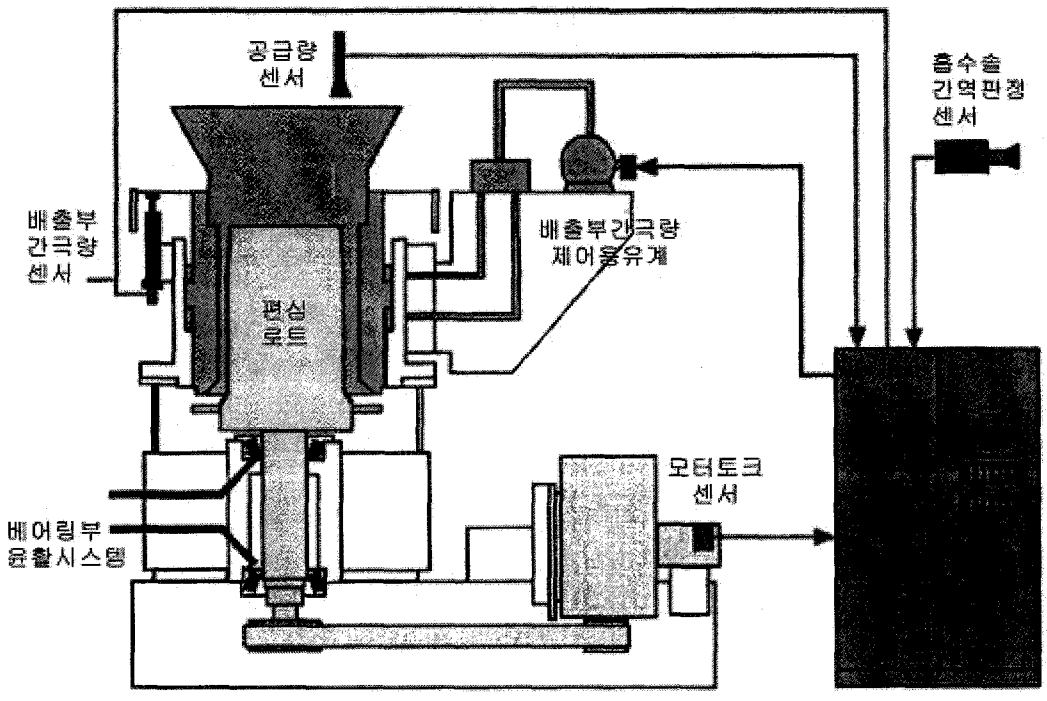
처리 후에는 5mm의 진동체로 체가름 후 체에 남는 것을 순환골재로서 추출한다. 철근이나 나무조각 등의 불순물은 전처리공정의 전후 및 재생굵은골재로서 체가름을 실시한 후, 자력선별기, 습식의 세정장치를 이용함과 동시에 수작업을 통해 제거하며, 5mm이하의 것은 노반재 등에 재사용한다.

(다) 제조된 재생굵은골재의 품질

[사진 2.4.4]는 제조된 재생굵은골재와 파쇄처리물을 나타낸 것이다. 사진과 같이 원골재에 자갈이 포함된 경우에는 파쇄처리품과 다른 원자갈 형태의 굵은골재가 얻어진다. 제조된 재생굵은골재의 품질은 JIS A 5021 콘크리트용 재생굵은골재 H의 기준에 만족하는 것을 얻을 수 있다.

(3) 스크류마쇄식

스크류마쇄식 처리방법은 콘크리트 덩어리 사이의 빈번한 마쇄작용을 이용하여 표면부의 모르타르를 박리 및 마쇄하고 원골재의 파손 없이 재생굵은골재를 제조하는 방법이다.

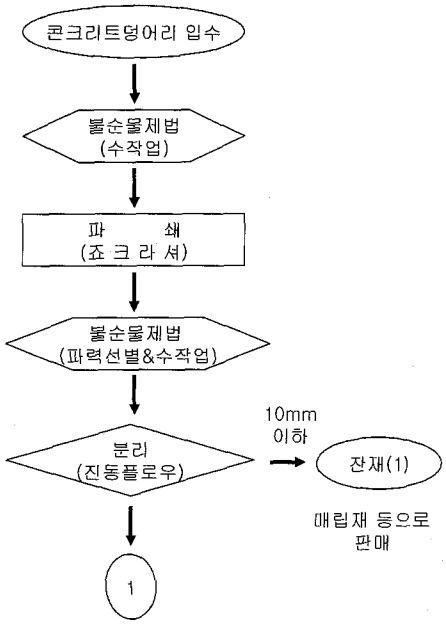



[그림 2.4.3] 편심로터식 처리장치의 주요부

<표 2.4.4> 장치의 대표적인 사양

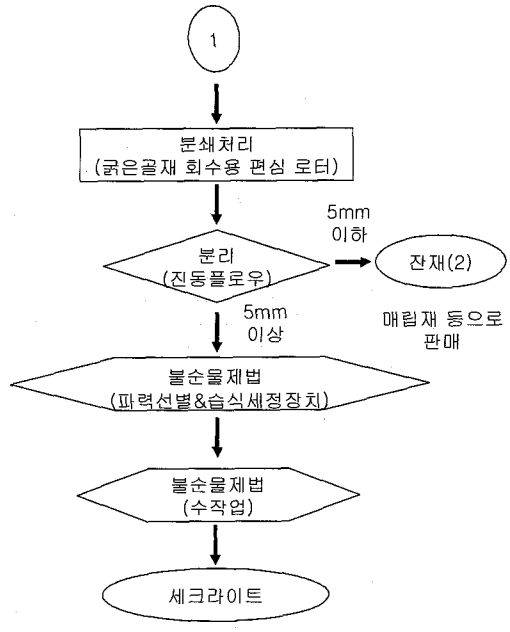
| | |
|---|---|
| 케이싱 안치수 | 720mm |
| 로터 치수 | Ø600mm, 높이 800mm |
| 로터 편심량 | 12mm |
| 배출구 극간 | 표집치 20~35mm |
| 파쇄실용적 | 0.10㎥ |
| 구동모터 | 110㎾·6P 인버터제어 |
| 로터회전수 | 표집치 : 300~500 rpm |
| 처리능력 | 전처리품으로 20~30t/h |

<중간처리장 기설 파쇄플랜트>




전용 야적지로 반송

<편심로터식 처리플랜트>

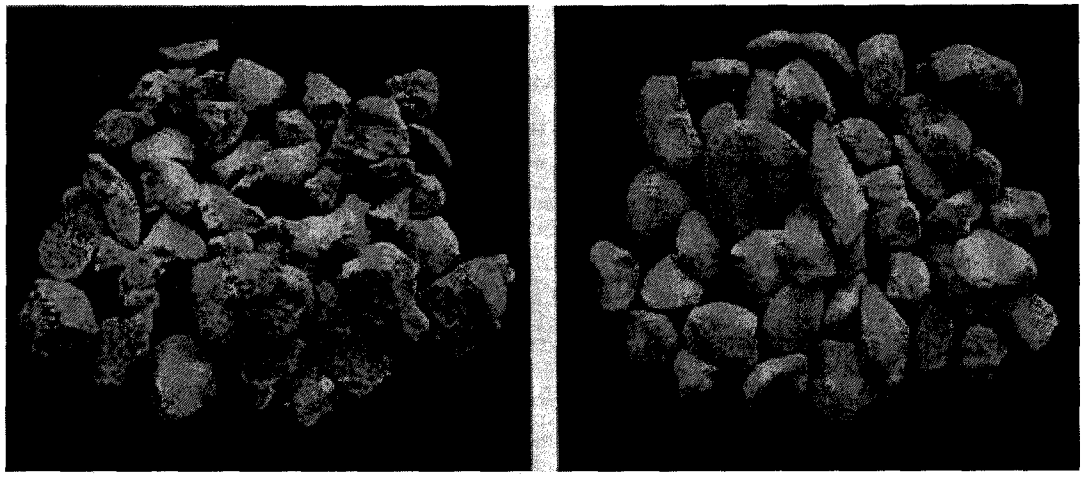



출하예정의 생콘공장에 출하

[그림 2.4.4] 기존의 중간처리시설에 설치한 경우 처리 플로우



[사진 2.4.5] 편심로터식 장치에 의한 처리플랜트의 예시



[사진 2.4.6] 파쇄제품(좌), 제조된 재생굵은골재(우)

(가) 장치개요

스크류마쇄식 처리방법에 의한 장치의 외관은 [사진 2.4.6], 제원·사양을 <표 2.4.5>, 또한 장치의 단면도는 [그림 2.4.5]에 각각 나타내었다.

스크류마쇄식 처리방법에 의한 장치는 원구형 케이싱축에 부설되어 있는 플레이트부 및 배출콘부에서 조성되어 횡형일축의 기구로 되어 있으며, 콘크리트덩어리 사이의 과도한 맞물림에 의하여 골재파괴를 억제하여 축 받침부를 투입구측의 일축으로 하고 부하동력의 저감을 도모한다.

① 1차 제거( 투입구~중앙콘)

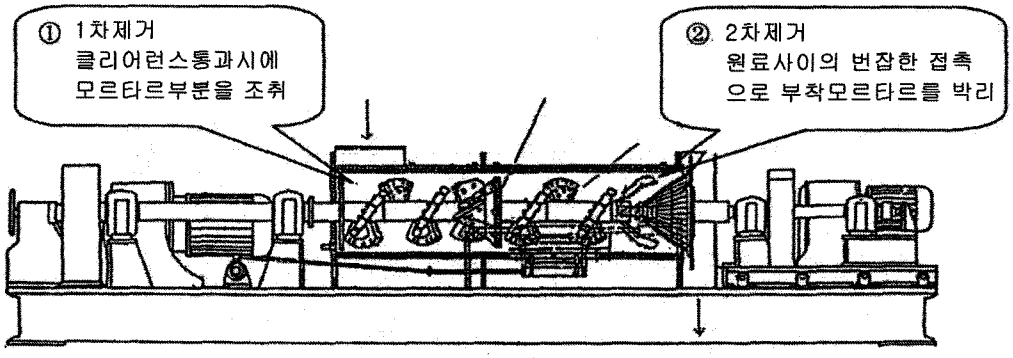
콘크리트덩어리는 중앙콘까지는 50%정도의 충전율로 이동시에 원구형케이싱 내부의 클리어런스통과와 콘크리트덩어리 상호간의 접촉에 의하여 모르타르부분이 제거된다.

② 2차 제거( 중앙콘~배출구)

중간콘을 통과한 콘크리트덩어리는 배출콘의 가압에 의하여 충전율이 거의 100%로 되며 콘크리트덩어리 상호간의 빈번한 마쇄작용에 의하여 모르타르가 제거된다.

<표 2.4.5> 장치의 제원·사양

| 항 목 | 제원·사양 |
|---|---|
| 본체 치수 | 450mm 직경×2,200mm |
| 동 력 | 75kW×4P×220V×50Hz<br>(스크류부)<br>15kW×4P×220V×50Hz<br>(배출콘부) |
| 스크류축 회전수 | 100~130rpm<br>(표준 120rpm) |
| 최대처리능력 | 30t/h (투입베이스) |



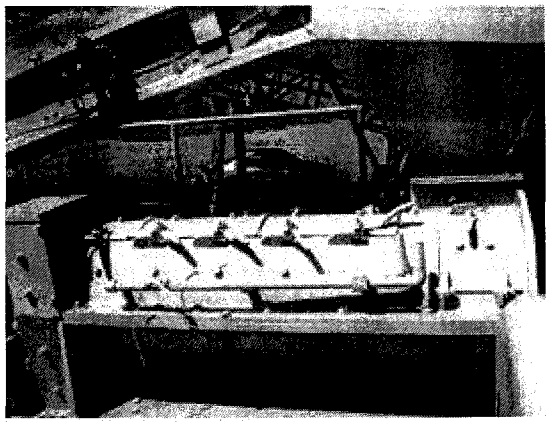

[그림 2.4.5] 스크류마쇄식 처리장치의 단면도

(나) 플랜트 개요

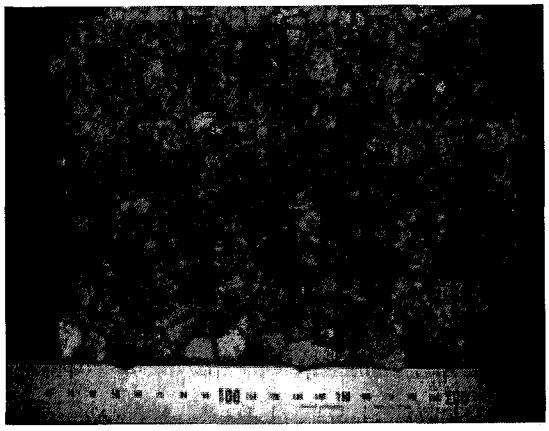
현행의 시작플랜트는 스크류마쇄처리의 처리회수를 설정한 것에 의하여 JIS A 5021에 적합한 콘크리트용 재생굵은골재 H 외에 M, L 상당품의 제조가 가능하여, 그 목적에 따라서 재생굵은골재를 제조할 수 있다. 스크류마쇄식 처리방법에의하여 제조된 재생굵은골재는 [사진 2.4.7], 장치를 설치한 시작플랜트는 [그림 2.4.6] 및 [사진 2.4.8]에 나타낸 바와 같다.

(4) 비중선별방식

비중선별방식은 京星社 (소재 : 大阪府 枚方市)에서 실시한 순환골재의 제조방식을 가리킨다. 이 회사에서는 사업베이스로 콘크리트덩어리를 수집 운반할 때, 동일 회사의 중간처리시설에 의한 재생굵은골재를 제조하고, 또한 이 재생굵은골재와 천연모래를 조합한 재생콘크리트를 제조 · 출하한다. 또한 본 콘크리트는 대신인정을 취득하였다.



[사진 2.4.7] 스크류마쇄식 처리장치



[사진 2.4.8] 재생굵은골재

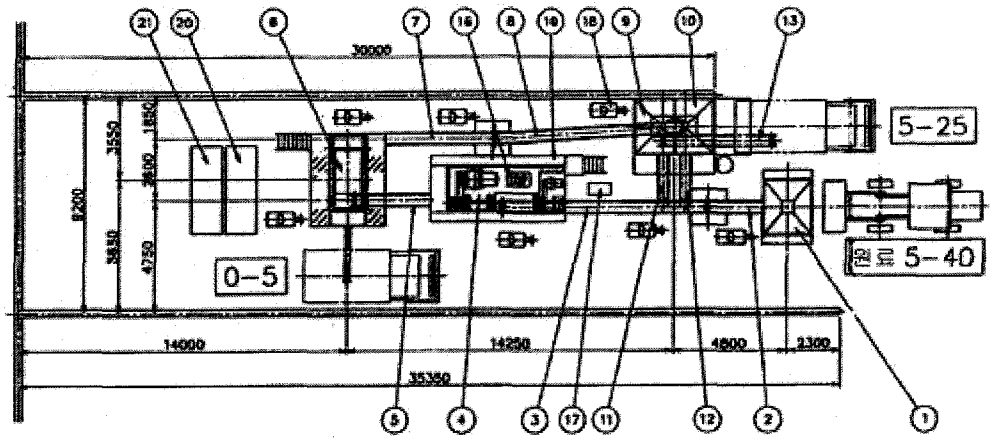
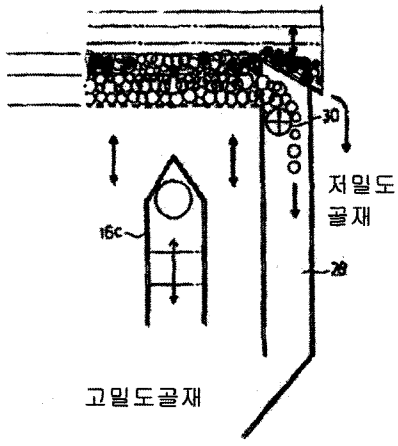



그림 2.4.6 스크류마쇄식 처리방법의 시작플랜트 (평면도)



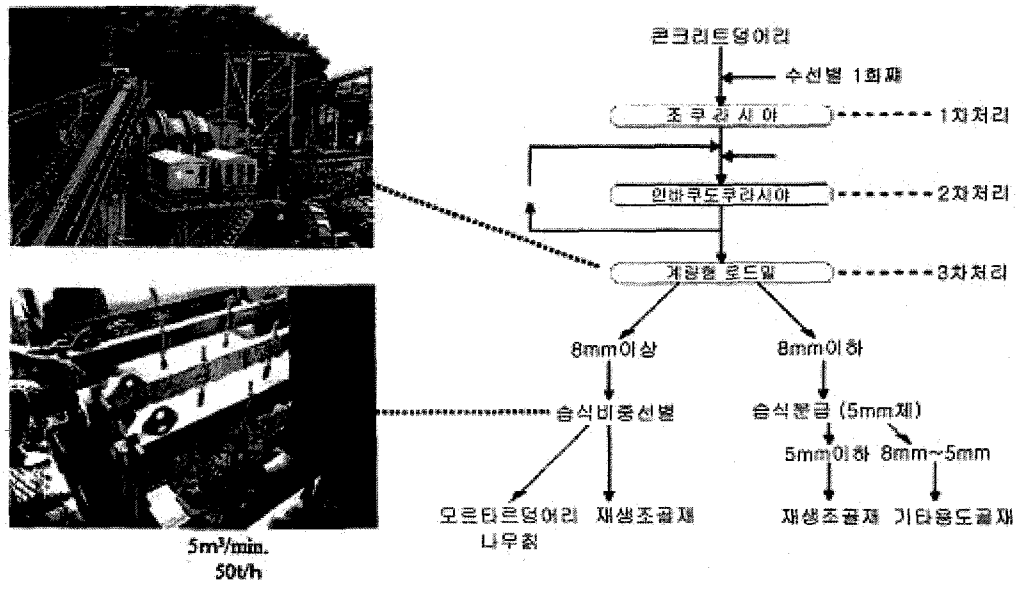

[사진 2.4.9] 스크류마쇄식 처리방법의 시작플랜트




[그림 2.4.7] 비중선별장치



[사진 2.4.10] 재생굵은골재




[그림 2.4.8] 비중판별식의 제조 플로우 (京星社)

(가) 처리장치의 개요

비중선별식의 특징은 [그림 2.4.7]에 나타낸 비중선별장치에 있다. 로드밀에서 제조된 재생굵은골재는 다른 고도처리기에 비하여 충분히 모르타르가 제거되지 않는다. 거기서 습식의 비중선별장치를 이용한 세정에서부터 밀도가 높은것과 낮은것을 나누어 밀도가 높은것을 재생굵은골재로서 이용하고 있다. 재생굵은골재의 예를 [사진 2.4.9]에 나타내었다.

(나) 재생굵은골재의 제조 플로우

① 재생굵은골재의 제조방법

주된 순서를 이하 ①~③에 나타내었으며, 비중선별식의 제조플로우를 [그림 2.4.8]에 나타내었다.

㉠ 콘크리트덩어리에서 철근제거 후, 건식파쇄기에 2차파쇄하여 40mm이하의 파쇄분(RC40 상당, 실질, 입형 33mm이하)으로 가공한다. 그때 불순물 제거를 자선기와 수작업으로 실시한다.

㉡ ㉠에 얻어진 재료에 대해서는 로드밀로 부착모르타르를 제거한다.

㉢ ㉡에 얻어진 재료에 대해서는 비중선별장치로 선별 및 세정(습식처리)을 하여 재생굵은골재를 제조한다. 또, 굵은골재와 잔골재는 5mm체로 분리하여 나눈다.

② 생산능력

재생굵은골재의 생산능력은 50t/h. (콘크리트덩어리의 처리능력은 150t/h)이며, 일생산은 400t/h, 월생산은 10,000t/月 (400t/日 × 25일 조업/月)이 된다.

③ 재생굵은골재의 품질과 용도

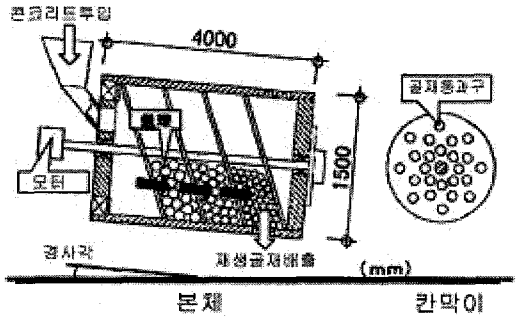
콘크리트용 순환골재로서의 제품은 재생굵은골재 1종류뿐이다. 이것의 품질과 변동 범위는 흡수율 2.5~3.2%, 절건밀도 2.49~2.51g/cm$^3$, 조립율 6.65~6.70이다. 재생굵은골재의 용도는 레미콘용 골재 외에 노반재가 있고, 수요에 대응하여 적절히 나눠져 있다.

(5) 선회마쇄판식

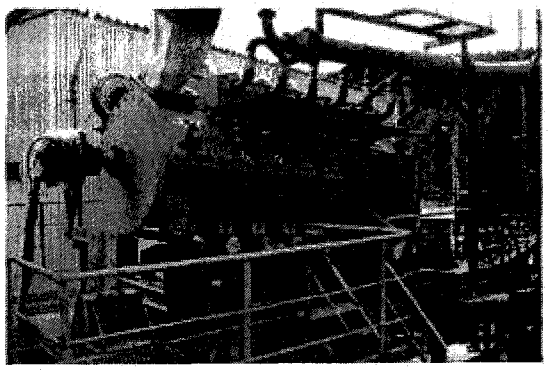
(가) 처리장치의 개요

선회마쇄판식의 장치개요를 [그림 2.4.9], 외관을 [사진 2.4.10]에 나타내었다. 구조와 드럼본체를 선회마쇄판(칸막이)에서 세밀하게 나누고, 이것에 마쇄용의 금속기기를 장전하여 선회마쇄판의 회전에 의해 골재시료 및 금속기기의 상하 및 수평방향의 운동을 행하게 하는 것으로, 일종의 볼밀이라 할 수 있다. 선회마쇄판으로

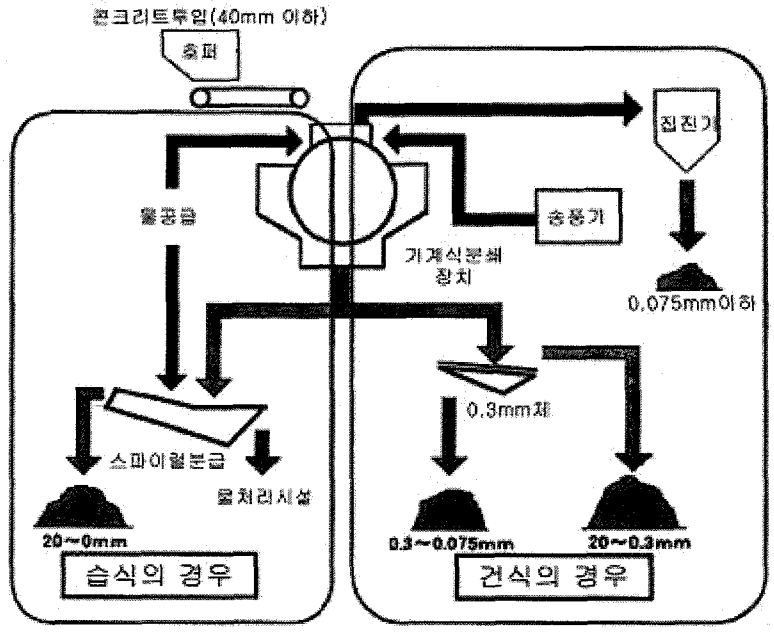
간격을 좁게 하고 체류시간을 조정하는 것에 의해 골재품질의 향상을 도모한 것이다. 또한 현재 본 방식은 연구단계에 있다.



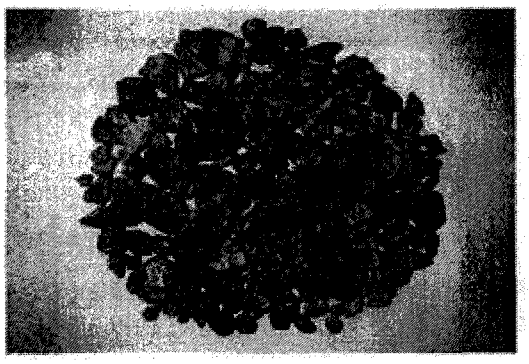

[그림 2.4.9] 선회마쇄식의 장치 개요



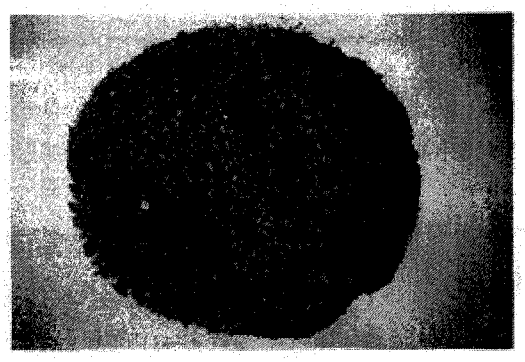
[사진 2.4.11] 선회마쇄판식 장치의 외관




[그림 2.4.10] 선회마쇄판식에 의한 제조 플로우



[사진 2.4.12] 재생굵은골재의 외관



[사진 2.4.13] 재생잔골재의 외관

(나) 순환골재의 제조 플로우

선회마쇄판식에 의해 제조 플로우를 [그림 2.4.10]에 나타내었다. 상정의 운전조건은 선회마쇄판식 장치에의 투입량은 약 10t이며, 장치의 회전수는 35~37rpm, 본체의 경사각은 5°를 표준으로 한다. 원료인 콘크리트덩어리는 40mm정도이하에 2차파쇄한 다음 선회마쇄판식의 장치에 투입, 굵은골재 및 잔골재를 제조한다. 제조방식에는 장치본체에 물 투입의 유무에 따라 건식 및 습식 모두 선택가능하다.

제조하는 순환골재의 예로서 재생 굵은골재를 [사진 2.4.11]에, 재생잔골재를 [사진 2.4.12]에 제시하였다. 재생굵은골재의 품질은 JIS A 5021의 품질 규준을 만족하는 것이다. 또한 재생잔골재의 품질은 JIS A 5021의 품질 규준을 만족하지 못하는 것은, JIS A 5308-1999 부속서 1(레디믹스트콘크리트용 골재)에 완화규정 품질규준치의 만족여부를 실험적으로 확인한다.

## 나. 국내 제조기술 현황

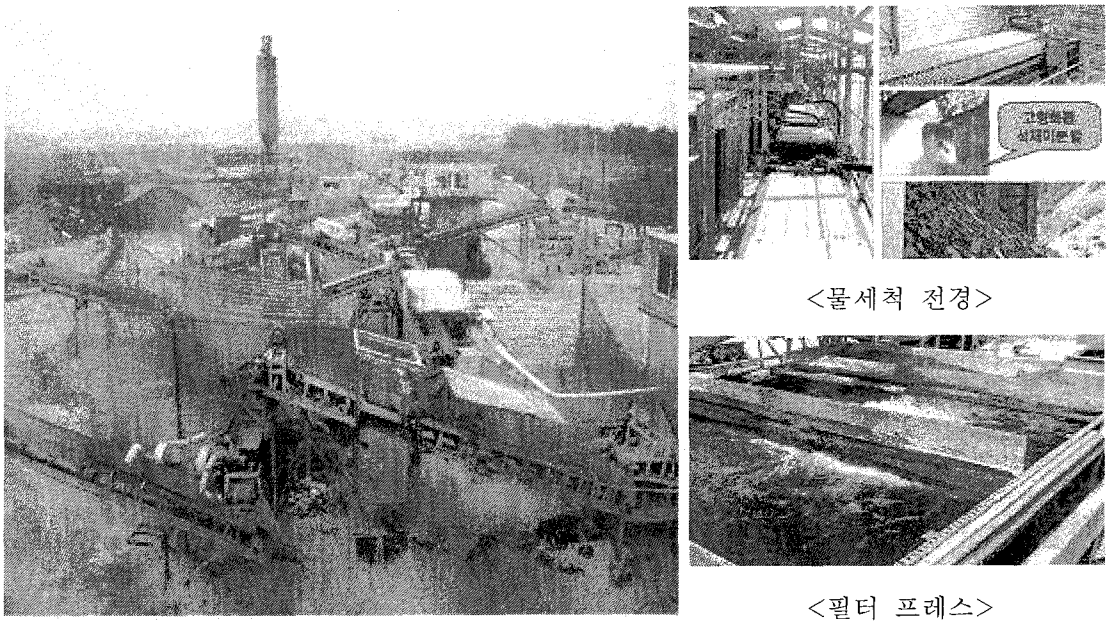
(1) 물세척 방식

[사진 2.4.13]과 같은 물세척 방식은 폐기콘크리트 덩어리로부터 순환골재 생산시 발생하는 미립분을 제거하기 위하여 파쇄 및 체가름 등의 선행작업을 거친 골재 등을 투입하여, 유수분리장치 내부 또는 외부에 세정수가 저장되어 있는 수조에 공기 또는 고압수를 공급하여 와류 및 기포를 발생시켜 골재는 가라앉고, 부유물질과 미

분 및 미세립분이 함유된 세척수를 외부로 배출하는 장치로서, 세척수를 사용하여 미립분을 제거하고 고품질의 순환모래를 생산하고자 하는 방식이다.

주요설비는 수조 또는 회전통체에 세정수가 저장되어 있고, 다수의 회전날이 나선형으로 부착된 회전체 또는 회전통체가 수조 내에서 회전 가능하도록 설치되며, 모래와 이물질을 분리하여 수거할 수 있는 기계적 장치로 고압수·유수분리기 및 선별기와 고압수 살수와 진동에 의하여 입자크기별로 분리하여 체가름을 할 수 있는 체가름 진동체 및 물세척시설·폐수집수조·침전조·농축조·교반조·필터프레스 탈수조 등으로 구성되며, 주요 공정은 [그림 2.4.11]에서 나타낸 바와 같다.

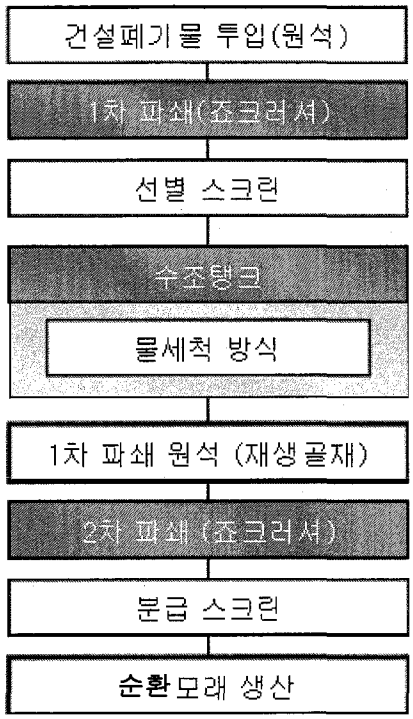
이 기술은 기존에 가장 실용화된 공법으로 다수 활용 중에 있는 공법으로 물세척에 의한 미분제거 효과가 우수하며 우기에도 작업이 가능하고, 생산량을 조절할 수 있는 장점이 있는 반면 물세척에 의한 환경오염 발생, 고가의 필터프레스 장비 구입 및 작업장 환경 불량 및 물세척 시설비 과다로 인한 초기 투자시설비 및 유지관리비가 과다하게 되며, 수중설치에 의한 처리시설의 내구성이 부족하며 동절기 동파로 인한 작업이 불가능하며, 슬러지 활용이 어렵다는 단점이 제기되고 있다.



<물세척 전경>

<필터 프레스>

[사진 2.4.14] 고품질 순환모래 생산을 위한 물세척 방식의 일례

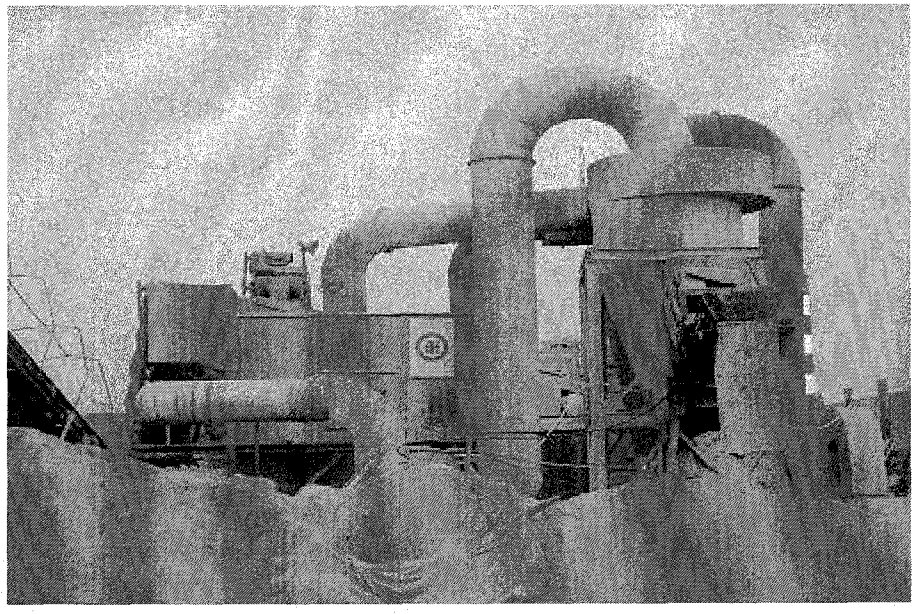



[그림 2.4.11] 물세척 방식에 의한 고품질 순환모래의 제조공정 플로우

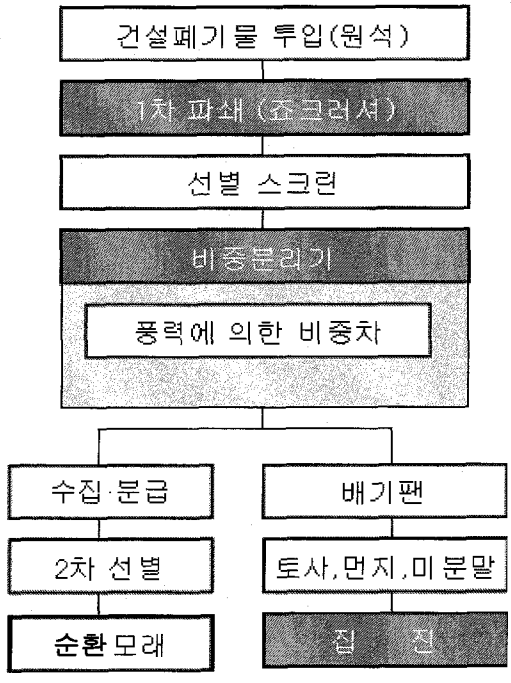
(2) 풍력선별 방식

풍력선별 방식은 [사진 2.4.14]와 같은 장치를 활용하여 폐기콘크리트 덩어리로부터 재생 모래를 생산하는 데 있어 미분말 및 이물질이 섞여 있는 파쇄된 순환골재를 풍력을 공급하여 비중 차에 의해 미분을 제거하는 방식이다.

풍력선별 방식의 제조공정은 [그림 2.4.12]에서 나타낸 바와 같이 폐기콘크리트 덩어리를 크러셔에 의하여 0~40 mm이하로 파쇄된 순환골재로부터 폐석분을 저장하는 저장공정과 이물질과 입도가 큰 골재를 선별 제거하는 선별공정, 비교적 정선된 폐석분을 제공받아 비산시켜 투입하는 투입공정 및 비산된 상태의 폐석분에서 비중이 큰 골재와 비중이 작은 이물질을 풍력에 의해 골재와 골재로서 불필요한 토사, 먼지, 미세분말 등의 이물질을 비중차로 분리한 뒤 골재를 수집하고, 골재와 분리된 이물질에서 입자가 큰 이물질을 포집하는 집진공정 등의 처리를 통해 폐석분에서 콘크리트용으로 적합한 5 mm 이하의 순환모래를 제조·생산한다.



[사진 2.4.15] 고품질 순환모래 생산을 위한 풍력 선별방식의 일례




[그림 2.4.12] 풍력 선별방식에 의한 고품질 순환모래의 제조공정 플로우

기존의 풍력선별방식은 생산공정이 단순하고 생산단가가 저렴하다는 장점이 있는 반면, 비산먼지 발생을 막기 위한 추가 공정이 필요하고, 송풍압이 일정하지 못하여 입도선별이 명확하지 않으며, 폐기물이 중첩된 상태로 낙하하므로 불순물 분

리 효율이 낮아지게 되어 전체적으로 미분말 분리 효율이 낮아 고품질 순환모래를 생산하기가 어렵다는 단점이 제기되고 있다.

## 2. 기존 순환모래 생산기술의 문제점 및 개선방향

### 가. 기존 순환모래 생산기술의 문제점

최근 건설산업용 모래 수급불균형 문제를 해결하기 위하여 국가·사회적으로 지대한 관심을 모으고 있는 폐기콘크리트를 재활용한 순환모래의 제조·생산 시설은 <표 2.4.6>에서 정리한 바와 같이 국내·외에서 다양하게 이루어지고 있다.

국내에서도 순환모래를 생산하기 위한 제조·생산기술이 다양하게 진행되고 있으나 폐기콘크리트로부터 재생굵은골재 제조시 생산되는 5 mm 이하의 순환모래의 경우 폐기콘크리트 파쇄과정 중 발생되는 미립분이 다량 함유되어 있어 품질이 열악한 상황이며, 입도가 불량하고 흡수율이 크기 때문에 순환모래로 활용하기는 현실적으로 어려운 상황이다.

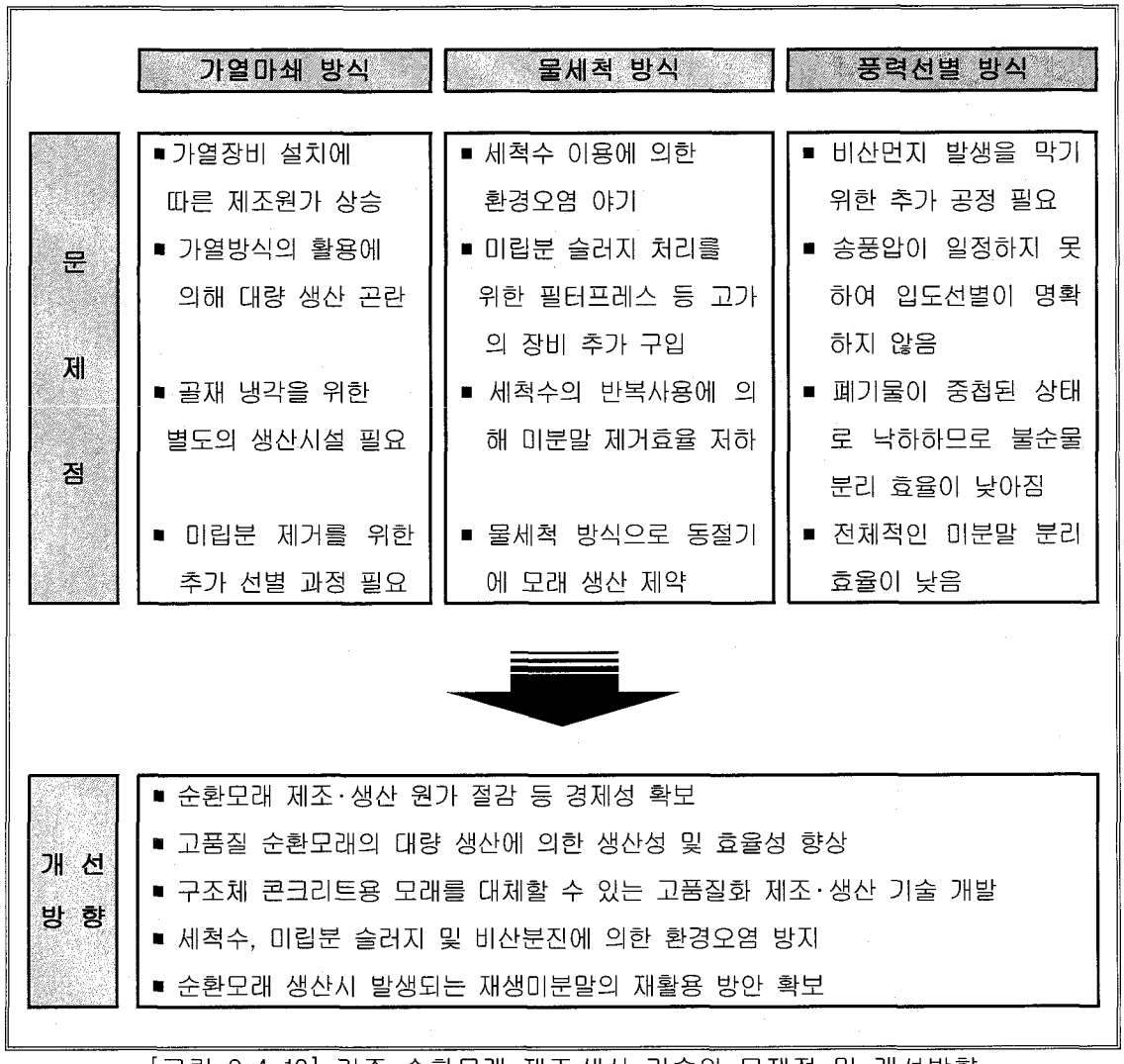
이러한 미립분을 제거하는 기존의 물세척 방식에 의한 제조 시스템의 경우 순환모래로부터 미립분을 제거하기 위해 유수분리기 등에 의해 물로 세척하고 있으나 세척수를 반복하여 사용하고 또한 일시에 다량의 잔골재를 세척하기 때문에 최종적으로 생산된 순환모래 내에 미립분이 효과적으로 제거되지 못하여 다량 포함되어 미립분 제거효율이 저하되며 흡수율이 커지는 등 순환모래의 품질이 불량하기 때문에 성토재나 채움재 등으로만 소량 이용되거나 거의 이용되지 않고 매립·폐기되고 있는 실정이다. 또한 순환모래의 세척에 사용된 세척수를 재이용하기 위해서는 침전, 농축 등의 공정이 필요하게 되고 이 과정에서 많은 시간이 소요되며, 생산성을 향상시키기 위해 다량의 물이 필요하기 때문에 미립분이 완전히 침전되지 않은 물을 그대로 사용하게 되어 최종적으로 생산된 순환모래의 품질이 더욱 열악하게 된다. 한편 미립분 슬러지 처리를 위한 필터 프레스 등의 고가의 장비를 추가로 구입하여야 하며, 물을 사용하기 때문에 동절기에는 순환모래의 생산이 곤란한 등의 다양한 문제점을 안고 있다.

또한, 기존의 풍력선별 방식에 의한 순환모래 제조 시스템의 경우 여러 가지 제조방식의 한계로 인하여 전체적인 미분말 분리 효율이 저하되고 소요의 고품질 순

환모래를 생산하지 못한다는 문제점이 제기되고 있다.

<표 2.4.6> 기존 순환모래 제조·생산 기술의 비교

| 구분 | 가열마쇄 방식 | 물세척 방식 | 풍력 선별방식 |
|---|---|---|---|
| 원리 | 400℃까지 가열하여 시멘트페이스트를 제거하고 편심마쇄에 의한 미분 분리 공법 | 부력과 비중 차의 원리를 이용한 물세척 방식에 의하여 분류 및 세척하는 공법 | 풍력을 이용한 비중차에 의하여 입도 및 크기를 선별 생산하는 건식분리 공법 |
| 제조 생산 공정 및 사진 | 건설폐기물 투입(원석)<br>가열 공정 (400℃)<br>굵은골재 튜브밀 장치<br>원형 강구에 의한 편심마쇄<br>모래 튜브밀 장치<br>굵은골재 2차 편심마쇄<br>분급 장치<br>순환모래 생산 | 건설폐기물 투입(원석)<br>1차 파쇄(조크러셔)<br>선별 스크린<br>수조탱크<br>물세척 방식<br>1차 파쇄 원석 (재생골재)<br>2차 파쇄 (조크러셔)<br>분급 스크린<br>순환모래 생산 | 건설폐기물 투입(원석)<br>1차 파쇄 (조크러셔)<br>선별 스크린<br>비중분리기<br>풍력에 의한 비중차<br>수집·분급<br>배기팬<br>2차 선별<br>토사,먼지,미분말<br>순환모래<br>집진 |
| 특징 | ■ 장 점<br>▪ 미립분 제거 효율이 우수<br>▪ 순환모래 품질향상 가능<br>■ 단 점<br>▪ 대량 생산의 한계<br>▪ 생산단가가 높음<br>▪ 미립분 제거를 위한 추가 공정 필요 | ■ 장 점<br>▪ 가장 일반적으로 사용<br>▪ 순환모래 대량 생산 가능<br>■ 단 점<br>▪ 세척수에 의한 환경오염<br>▪ 세척수 반복사용에 의한 순환모래 품질저하 우려 | ■ 장 점<br>▪ 생산공정이 단순<br>▪ 생산단가가 저렴<br>■ 단 점<br>▪ 미립분 제거 효율이 낮음<br>▪ 고품질 모래 생산이 곤란<br>▪ 비산분진에 의한 환경오염 |




[그림 2.4.13] 기존 순환모래 제조·생산 기술의 문제점 및 개선방향

(2) 고품질 순환모래 생산기술의 개선방향

위와 같은 문제점을 해결하기 위하여 일본에서 가열마쇄방식에 의한 고품질 순환골재회수 생산 기술이 국내에 도입되어 시도되고 있으나 가열장치 설비에 따른 제조원가가 대폭적으로 상승하게 되며 한번에 가열할 수 있는 골재량의 한계로 가열방식의 활용에 의한 대량생산의 한계점을 노출하고 있다. 이 밖에도 가열된 골재를 냉각시키기 위한 추가 시간 및 공정이 투입되어야 하며, 미립분 제거를 위한 추가 선별 과정이 필요하다는 등의 문제점이 다양하게 제기되고 있다

따라서 폐기콘크리트로부터 생산되는 순환모래를 고품질화 하기 위해서는 기존의 순환모래 내에 다량 함유된 미립분을 효과적으로 분리·제거할 수 있는 기술 개발이 필수적이며, 아울러 건설산업을 환경친화적 산업구조로 전환시켜 환경보존과 건설생산성 향상을 동시에 실현하여 국가경쟁력을 제고시킬 수 있는 건설 생산과정에서 재활용 생산기술의 도입이 한층 요구되고 있다.

이러한 측면에서 [그림 2.4.13]에서 나타낸 바와 같이 폐기콘크리트로부터 순환모래 제조시 발생되는 미립분을 순환모래로부터 효과적으로 분리·제거하여 고품질의 순환모래를 제조하고, 이를 건설생산현장에 활용함으로서 천연 골재자원부족 및 골재채취에 대한 환경규제에 원천적으로 대응하여 모래의 수급불균형 문제를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 고품질 순환잔골재의 활용처를 확대하고 구조체 콘크리트용 잔골재로 고부가가치화 하기 위해, 일본의 고품질 재생골재와 동일한 수준의 순환잔골재를 생산하는 것이 국가 · 사회적으로 시급히 요구되고 있는 실정이다.

# 제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환 모래 이물질 제거장치 개발

## 1. 국내·외 기술 동향

본 연구에서는 순환골재의 제조기술과 순환골재 콘크리트에 관한 연구 및 실용화 실적이 풍부한 일본을 중심으로 순환골재 콘크리트의 연구동향을 분석하고자 한다.

<표 2.5.1 ~ 2.5.5>는 최근 일본건축학회(AIJ), 일본콘크리트학회(JCI) 및 연구기관과 CCR(Cement and Concrete Research), CCC(Cement & Concrete Composites)에서 발표한 것이며, <표 2.5.6 ~ 2.5.7>은 국내의 각종 학회 및 연구기관에서 발표한 순환골재 콘크리트에 관한 대표적인 연구동향을 정리·분석한 결과를 나타낸다. 일본의 경우, 1990년대 초반부터 고품질 순환골재의 제조기술에 관한 연구개발이 활발히 이루어져 1990년대 후반부터는 다양한 제조기술이 실용화되기 시작하였으며, 이와 더불어 폐기콘크리트로부터 재생된 순환골재의 고부가가치 활용을 도모하기 위해 콘크리트용 잔골재 및 굵은골재로 활용하기 위한 다각적인 연구가 진행되어 오고 있는 실정이다.

더욱이, 순환모래 및 순환굵은골재를 구조체 콘크리트용 골재로 활용하기 위해 공기량, 슬럼프, 블리딩 등의 시공성능, 압축강도, 인장강도 및 휨강도 등의 역학성능, 염해저항성, 중성화저항성, 동결융해저항성, 화학부식저항성 및 철근부식특성 등의 내구특성, 단기휨거동, 단기전단거동, 단기정착/이음거동 등의 단기구조성능과 장기휨거동, 장기피로성능 등의 장기구조성능 등에 관하여 다양한 연구가 진행되었으며, 순환골재 콘크리트의 실용화 가능성을 검증하기 위해 실구조체에 직접 적용하여 현재 모리터링이 진행되고 있는 상황이다.

이상과 같은 연구결과를 바탕으로 2003년 개정된 일본건축학회 건축공사표준사양서의 철근콘크리트공사(JASS 5)에는 건축구조체용 순환골재의 품질기준이 천연골재와 동등한 수준으로 규정되었으며, 더욱이 2005년 3월 경제산업성에서는 『콘크리트용 순환골재』를 3등급으로 분류하여 JIS(일본공업규격)에 규격화하였다.

<표 2.5.1> (a) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황

| NO. | 논문명 또는 과제명 | 대 상 | 년 도 | 주저자 | 출 처 | 시 험 및 평 가 항 목[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 시공성능 | 역학성능 | 내구성능 | 구조성능 |
| 1 | 再生骨材の品質が再生骨材コンクリートの諸性質に及ぼす影響に關する實驗的研究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2000 | 梅宮博貴 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓔ | | |
| 2 | 再生骨材コンクリートの靜彈性係數に關する考察 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2000 | 柳啓 | AIJ | | Ⓓ Ⓕ | | |
| 3 | 再生コンクリートの建築構造用コンクリートへの適用 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2000 | 道正泰弘 | AIJ | | Ⓓ | Ⓖ Ⓗ Ⓘ | |
| 4 | 低品質粗骨材を用いたコンクリートの耐凍害性 | 콘크리트 (굵은골재) | 2000 | 阿波稔 | JCI | Ⓐ | | Ⓙ | |
| 5 | 再生コンクリートの乾燥收縮低減に關する考察 | 콘크리트 (굵은골재) | 2001 | 篠崎公彦 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ | Ⓖ | |
| 6 | 加熱すりもみ法により回收した高品質再生骨材コンクリートの性狀 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2001 | 立屋敷 久志 | JCI | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓔ | Ⓖ Ⓘ Ⓙ | |
| 7 | 高品質再生骨材の製造技術に關する研究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2002 | 大西一彦 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓔ | Ⓖ | Ⓡ Ⓠ |
| 8 | 再生細骨材の物理的性質がコンクリート性狀に及ぼす影響について | 콘크리트 (잔골재) | 2002 | 麓 隆行 | JCI | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓔ | | |

주 1) Ⓐ 공기량 Ⓑ 슬럼프 Ⓒ 블리딩 Ⓓ 압축강도 Ⓔ 인장강도 Ⓕ 탄성계수
Ⓖ 건조수축 Ⓗ 염해저항성 Ⓘ 중성화저항성 Ⓙ 동결융해저항성 Ⓚ 화학부식 Ⓛ 철근부식특성
Ⓜ 내화특성 Ⓝ 휨거동 Ⓞ 전단거동 Ⓟ 정착/이음거동 Ⓠ 피로거동 Ⓡ 크리프

<표 2.5.2> (b) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황

| NO. | 논문명 또는 과제명 | 대 상 | 년 도 | 주저자 | 출 처 | 시 험 및 평 가 항 목[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 시공성능 | 역학성능 | 내구성능 | 구조성능 |
| 9 | 高品質再生細骨材を再いた再生コンクリートに關する研究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2002 | 松村宇 | AIJ | | Ⓓ Ⓕ | Ⓖ Ⓙ | |
| 10 | 再生骨材の吸水率が再生コンクリートの强度および耐久性に及ぼす影響 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2003 | 河中涼一 | JCI | | Ⓓ | ⒼⒽⒾⓀ | |
| 11 | 再生骨材を混合使用いたRC部材の力學特性に關する研究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2003 | 高見新一 | JCI | Ⓐ | Ⓓ | | Ⓝ |
| 12 | 再生骨材コンクリートの構造性能に關する實驗研究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2003 | 長谷川 了一 | AIJ | | Ⓓ Ⓔ | | Ⓞ Ⓠ |
| 13 | 再生骨材の品質が再生コンクリートの壓縮强度に及ぼす影響 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2003 | 佐川康貴 | JCI | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓕ | | |
| 14 | 高品質再生骨材を用いたコンクリートの研究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2003 | 早川光敬 | AIJ | Ⓑ | Ⓓ Ⓔ Ⓕ | Ⓘ | |
| 15 | 再生骨材の品質がコンクリートの諸性狀に及ぼす影響 | 콘크리트 (잔골재) | 2003 | 栩木隆 | AIJ | Ⓑ | Ⓓ Ⓔ Ⓕ | Ⓙ | |
| 16 | 再生骨材を用いたコンクリートの構造性能に關する實驗的研究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2003 | 川口昌也 | JCI | | Ⓓ Ⓔ Ⓕ | | Ⓝ Ⓝ Ⓠ |

주 1) Ⓐ 공기량 Ⓑ 슬럼프 Ⓒ 블리딩 Ⓓ 압축강도 Ⓔ 인장강도 Ⓕ 탄성계수
Ⓖ 건조수축 Ⓗ 염해저항성 Ⓘ 중성화저항성 Ⓙ 동결융해저항성 Ⓚ 화학부식 Ⓛ 철근부식특성
Ⓜ 내화특성 Ⓝ 휨거동 Ⓞ 전단거동 Ⓟ 정착/이음거동 Ⓠ 피로거동 Ⓡ 크리프

<표 2.5.3> (c) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황

| NO. | 논문명 또는 과제명 | 대 상 | 년 도 | 주저자 | 출 처 | 시 험 및 평 가 항 목[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 시공성능 | 역학성능 | 내구성능 | 구조성능 |
| 17 | 高品質再生骨材を使用したコンクリートの諸性質 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 立屋敷 久志 | AIJ | Ⓐ | Ⓓ Ⓕ | Ⓙ | |
| 18 | 構造用再生骨材コンクリートによる現場内リサイクル | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 黒田泰弘 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ | Ⓖ | |
| 19 | 高品質再生骨材コンクリートの基礎的特性と實大壁における擧動に關する硏究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 石井 壽美江 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ | Ⓖ Ⓘ | Ⓠ |
| 20 | 再生粗骨材コンクリートの建築構造物への適用 | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | 飯島眞人 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ | Ⓗ | |
| 21 | 再生コンクリートの實構造物への適用 | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | 近藤學 | AIJ | | Ⓓ Ⓕ | Ⓗ Ⓘ | |
| 22 | 高品質再生骨材の製造技術に關する開發[Ⅷ] | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 久木野慶紀 | AIJ | | Ⓓ | Ⓘ Ⓛ | |
| 23 | 高品質再生骨材コンクリートの各種性狀 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 新谷彰 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓕ | Ⓘ Ⓙ | |
| 24 | 再生細骨材の品質がコンクリート性狀に及ぼす影響 | 콘크리트 (잔골재) | 2004 | 富田治 | AIJ | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓕ | Ⓖ | |

주 1) Ⓐ 공기량 Ⓑ 슬럼프 Ⓒ 블리딩 Ⓓ 압축강도 Ⓔ 인장강도 Ⓕ 탄성계수
Ⓖ 건조수축 Ⓗ 염해저항성 Ⓘ 중성화저항성 Ⓙ 동결융해저항성 Ⓚ 화학부식 Ⓛ 철근부식특성
Ⓜ 내화특성 Ⓝ 휨거동 Ⓞ 전단거동 Ⓟ 정착/이음거동 Ⓠ 피로거동 Ⓡ 크리프

<표 2.5.4> (d) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황

| NO. | 논문명 또는 과제명 | 대 상 | 년 도 | 주저자 | 출 처 | 시 험 및 평 가 항 목[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 시공성능 | 역학성능 | 내구성능 | 구조성능 |
| 25 | 再生骨材コンクリートの乾燥收縮ひび割れに關する基礎的硏究 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 增川聰 | AIJ | | Ⓓ Ⓔ | Ⓖ | Ⓠ |
| 26 | 高流動コンクリートの品質に及ぼす高品質再生骨材の影響に關する硏究 | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | 古賀康男 | AIJ | | Ⓓ Ⓔ | Ⓖ | |
| 27 | 再生粗骨材を用いたコンクリートの凍結融解抵抗性 | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | 佐藤靖彦 | JCI | | Ⓕ | Ⓙ Ⓖ | |
| 28 | 再生骨材の性能評價と再生コンクリート 特性 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 村上順一 | JCI | | Ⓓ Ⓕ | Ⓖ Ⓚ | |
| 29 | 偏心ロータ式處理裝置により製造した再生骨材および再生コンクリートの性質 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 辻大二郎 | JCI | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ | Ⓖ Ⓘ Ⓙ | |
| 30 | 側面被り厚さを變化させた再生骨材コンクリート梁部材の付着特性 | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | 飾橋憲貴 | JCI | | Ⓓ | Ⓖ | Ⓝ Ⓠ |
| 31 | 實機でり製造した再生骨材コンクリートの强度および耐久性狀 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 山崎順二 | JCI | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓕ | Ⓖ Ⓘ | |
| 32 | 鐵筋再生コンクリートはりの力學特性に關する實驗的檢討 | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | 十河勝 | JCI | | Ⓓ Ⓔ | | Ⓝ Ⓞ Ⓠ |

주 1) Ⓐ 공기량 Ⓑ 슬럼프 Ⓒ 블리딩 Ⓓ 압축강도 Ⓔ 인장강도 Ⓕ 탄성계수
Ⓖ 건조수축 Ⓗ 염해저항성 Ⓘ 중성화저항성 Ⓙ 동결융해저항성 Ⓚ 화학부식 Ⓛ 철근부식특성
Ⓜ 내화특성 Ⓝ 휨거동 Ⓞ 전단거동 Ⓟ 정착/이음거동 Ⓠ 피로거동 Ⓡ 크리프

<표 2.5.5> (e) 순환골재 콘크리트의 국외 연구현황

| NO. | 논문명 또는 과제명 | 대 상 | 년 도 | 주저자 | 출 처 | 시 험 및 평 가 항 목[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 시공성능 | 역학성능 | 내구성능 | 구조성능 |
| 33 | Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete | 콘크리트 (굵은골재) | 2003 | Amnon Katz | CCR | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓔ Ⓕ 휨강도 | Ⓖ Ⓘ | |
| 34 | Properties of concrete produced with waste concrete aggregate | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | Ilker Bekir Topcu | CCR | Ⓑ | Ⓓ 휨강도 | | |
| 35 | Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate an experimental study | 콘크리트 (잔/굵은) | 2002 | J.M.V. Gomez | CCR | | Ⓓ Ⓔ Ⓕ | Ⓖ 공극량 | Ⓡ |
| 36 | Influence of moisture states of natural and recycled aggregate on the slump and compressive strength of concrete | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | C.S. Poon | CCR | Ⓑ | Ⓓ | | |
| 37 | Influence of recycled aggregate on mechanical properties of HS/HPC | 콘크리트 (잔/굵은) | 2002 | A. Ajdukiewicz | CCC | | Ⓓ Ⓔ Ⓕ 포아송비 | Ⓖ | Ⓡ 부착강도 |
| 38 | Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate | 콘크리트 (잔/굵은) | 2001 | K.K. Sagoe | CCR | | Ⓓ Ⓔ | Ⓖ Ⓘ 흡수계수 | |
| 39 | Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes | 콘크리트 (굵은골재) | 2002 | F.T. Olorunsgo | CCR | | | Ⓗ 흡수계수 | |
| 40 | Frost resistance of recycled aggregate concrete | 콘크리트 (잔/굵은) | 2004 | R. Zahaieva | CCR | | | Ⓙ | |

주 1) Ⓐ 공기량 Ⓑ 슬럼프 Ⓒ 블리딩 Ⓓ 압축강도 Ⓔ 인장강도 Ⓕ 탄성계수
Ⓖ 건조수축 Ⓗ 염해저항성 Ⓘ 중성화저항성 Ⓙ 동결융해저항성 Ⓚ 화학부식 Ⓛ 철근부식특성
Ⓜ 내화특성 Ⓝ 휨거동 Ⓞ 전단거동 Ⓟ 정착/이음거동 Ⓠ 피로거동 Ⓡ 크리프

<표 2.5.6> (a) 순환골재 콘크리트의 국내 연구현황

| NO. | 논문명 또는 과제명 | 대 상 | 년도 | 주저자 | 출 처 | 시 험 및 평 가 항 목[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 시공성능 | 역학성능 | 내구성능 | 구조성능 |
| 1 | 재생골재 50% 이하 첨가된 재생콘크리트의 강도 및 피로저항 특성 | 콘크리트 (굵은골재) | 2005 | 도영수 | 한국도로학회 | | Ⓓ Ⓔ | | Ⓠ |
| 2 | 재생골재 콘크리트의 건조수축 및 크리프에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은/잔) | 2005 | 김병윤 | 대한건축학회 | | Ⓓ Ⓔ | Ⓖ | |
| 3 | 플라이애시를 혼입한 재생골재 콘크리트의 장기안정성에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2005 | 김병윤 | 대한건축학회 | | Ⓓ Ⓔ | Ⓖ Ⓘ Ⓙ | |
| 4 | 재생골재를 사용한 콘크리트의 강도발현특성 및 내구성에 관한 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | 정대동 | 대한건축학회 | Ⓐ Ⓑ Ⓒ | Ⓓ Ⓔ Ⓕ | Ⓘ Ⓚ | |
| 5 | 재생골재 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2004 | 서치호 | 한국콘크리트학회 | Ⓐ | | Ⓖ Ⓘ Ⓙ | |
| 6 | 재생골재 콘크리트의 수축균열 특성에 관한 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2003 | 구봉근 | 충북대학교 | | | Ⓖ | |
| 7 | 재생골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구 | 콘크리트 (굵은/잔) | 2003 | 박영신 | 대한건축학회 | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓔ | | |
| 8 | 재생골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2003 | 최광윤 | 대한건축학회 | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ Ⓔ | | |
| 9 | 폐기콘크리트의 콘크리트용 골재로서 리싸이클링 연구 | 콘크리트 (굵은/잔) | 2004 | 문대중 | (주)동양이엔씨 | | Ⓓ Ⓔ Ⓕ | Ⓖ Ⓙ Ⓚ | Ⓡ |

주 1) Ⓐ 공기량 Ⓑ 슬럼프 Ⓒ 블리딩 Ⓓ 압축강도 Ⓔ 인장강도 Ⓕ 탄성계수
Ⓖ 건조수축 Ⓗ 염해저항성 Ⓘ 중성화저항성 Ⓙ 동결융해저항성 Ⓚ 화학부식 Ⓛ 철근부식특성
Ⓜ 내화특성 Ⓝ 휨거동 Ⓞ 전단거동 Ⓟ 정착/이음거동 Ⓠ 피로거동 Ⓡ 크리프

<표 2.5.7> (b) 순환골재 콘크리트의 국내 연구현황

| NO. | 논문명 또는 과제명 | 대 상 | 년도 | 저자 또는 연구기관 | 출 처 | 시 험 및 평 가 항 목[1] | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 시공성능 | 역학성능 | 내구성능 | 구조성능 |
| 10 | 재생골재를 사용한 콘크리트의 초기재령 수축에 관한 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2003 | 구봉근 | 한국구조물 진단학회 | | | Ⓖ | |
| 11 | 파쇄방법별 재생골재 콘크리트의 현장적용을 위한 기초적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2002 | 박희곤 | 대한건축학회 | | Ⓓ Ⓔ | | |
| 12 | 전단보강되지 않은 고강도 재생골재 콘크리트 보의 전단거동 | 콘크리트 (굵은골재) | 2002 | 한병찬 | 대한건축학회 | | Ⓓ | | Ⓞ |
| 13 | 재생골재를 사용한 고강도 철근콘크리트 보의 전단성능에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2001 | 박우철 | 한국콘크리트학회 | | | | Ⓞ |
| 14 | 재생골재 콘크리트의 화학안정성에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2000 | 이정률 | 충남대학교 | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ | Ⓚ | |
| 15 | 재생골재를 사용한 콘크리트 보의 휨 거동 | 콘크리트 (굵은골재) | 2000 | 구봉근 | 한국구조물 진단학회 | | Ⓓ Ⓕ | | |
| 16 | 재생골재콘크리트의 내동해성 및 건조수축 특성에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 2000 | 김무한 | 한국폐기물 학회 | | | Ⓖ Ⓙ | |
| 17 | 재생골재의 품질에 따른 재생 콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 1998 | 김기철 | 대한건축학회 | Ⓐ Ⓑ | Ⓓ | | |
| 18 | 건설산업 폐기물의 리싸이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구 | 콘크리트 (굵은골재) | 1994 | 충남 대학교 | 건설교통부 | Ⓐ Ⓑ Ⓒ | Ⓓ Ⓔ Ⓖ | Ⓙ | |

주 1) Ⓐ 공기량 Ⓑ 슬럼프 Ⓒ 블리딩 Ⓓ 압축강도 Ⓔ 인장강도 Ⓕ 탄성계수
Ⓖ 건조수축 Ⓗ 염해저항성 Ⓘ 중성화저항성 Ⓙ 동결융해저항성 Ⓚ 화학부식 Ⓛ 철근부식특성
Ⓜ 내화특성 Ⓝ 휨거동 Ⓞ 전단거동 Ⓟ 정착/이음거동 Ⓠ 피로거동 Ⓡ 크리프

# 제6절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발

## 1. 국내 기술 현황

### 가. 개요

○ 건설폐기물 재활용 공정 중 발생하는 토분의 유효활용을 위한 장치/설비에 관한 기술개발은 지금이 초기 단계

○ 토분 처리를 위한 상용화된 장치/설비가 없는 실정이며, 국내의 경우 특허기술이 일부 소개되고 있음

### 나. 토분 처리 관련 기술 현황

(1) 풍력을 이용하는 2가지 유형의 토분처리 관련 기술

○ 토분과 토분 속의 이물질을 이송장치를 통하여 함께 이송·낙하하는 과정에서 이송 장치의 끝단 하부에 설치되어 있는 송풍장치의 분사노즐에서 강력하게 송풍하여 비중이 큰 물질과 이물질 사이의 비중 차에 의한 낙하속도 및 풍속에 의해 이물질이 날려가는 거리 차에 의해 비중이 큰 물질과 이물질 수집 호퍼를 제작·설치하고, 호퍼와 호퍼 사이에는 거리 조절이 가능한 댐퍼를 장착하여 투입물의 상황에 맞게(투입되는 토분의 함수량이 높고 낮음과 투입량 등) 댐퍼를 조절함으로써 분리·수거

○ 이송되는 컨베이어 상에서 이물질을 수거하는 방식으로, 컨베이어 상에 토분 및 이물질을 혼재하여 이송하면서 여러 개의 흡입 닥트를 설치하여 이물질을 흡입·제거하는 방식. 처음에 설치되어 있는 흡입 닥트는 컨베이어 위의 토분 중 상부에 산재되어 있는 이물질을 수거하고, 컨베이어 상의 하부 면에 산재되어 있는 이물질은 토분을 뒤집고 섞어내는 장치나 도구를 설치하여 토사를 뒤섞어서 하부 이물질이 상부로 올라오게 한 뒤 흡입·수거

○ 송풍이나 흡입에 의해 선별된 이물질 속에는 미세한 토분입자가 함께 섞여

있기 때문에 이를 다시 분리하기 위해서는 사이클론에서의 선별이 필요하게 되고 사이클론에서 빠져나온 공기는 집진장치인 백 필터를 거치게 되고 깨끗한 공기는 대기로 방출되는 시스템으로 구성

(2) 진동 혹은 스크린을 이용하는 토분처리 관련 기술

○ 재생 골재를 큰 자갈, 작은 자갈 및 모래로 구분하여 선별할 수 있도록 고무재의 다공스크린을 각각 알맞은 지름의 구멍을 일정한 간격으로 다수개로 천공하여 이 구멍을 통하여 순도 높은 재생골재 선별장치 개발

○ 모래 집진장치에서 폐기물을 공급 비산시켜 집진기에서 이물질 및 미분을 분류하고, 비산되지 않은 폐기물을 배출하여 이를 이용하여 양질의 재생골재를 제조하는 방법 및 장치 개발

○ 스크린과 진동기술을 이용하는 기술 중 토분 처리 장치는 개발되지 않음

## 다. 국내 시장 현황 및 예측

(1) 건설폐기물 발생량 현황 및 예측

① 건설폐기물 발생량은 해마다 증가하는 추세
(2004년은 2000년 대비 약 1.9배)

② 환경부의 건설폐기물 재활용 기본계획(2007-2011년) 자료 참고

③ 1996년도를 기준년도로 2005년도까지 건설폐기물 발생량 자료를 토대로 시계열 분석을 실시

④ 건설폐기물 발생량 = -91.003(Y′)2 + 17846(Y′)

Y′ : 년도의 대체변수(1996년=1)

$R^2$ = 0.9663

⑤ 토분 발생량 = 건설폐기물 발생량 × 0.30

<표 2.6.1> 건설폐기물 및 토분 발생량 예측 결과

(단위 : 톤/일)

| 년도 | 2005 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 |
|---|---|---|---|---|---|
| 건설폐기물 | 129,572 | 223,919 | 299,171 | 376,048 | 454,666 |
| 토 분 | 38,900 | 67,200 | 89,800 | 112,800 | 136,400 |

(2) 건설폐기물 현장 재활용 목표율

① 건설폐기물 재활용 목표에 따른 토분의 실질 재활용량을 추정

② 부정적 결과 : 기본 목표의 80% 달성 가정

중립적 결과 : 기본 목표의 100% 달성 가정

긍정적 결과 : 기본 목표의 120% 달성 가정

<표 2.6.2> 토분의 현장 재활용 목표율(환경부 계획)

| 년도 | 2006 | 2007 | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2015 | 2020 | 2025 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 목표율 [%] | 15 | 18 | 21 | 24 | 27 | 30 | 42 | 57 | 72 |

<표 2.6.3> 토분의 재활용량 예측 결과

(단위 : 톤/일)

| 년도 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 |
|---|---|---|---|---|
| 부정적 | 14,600 | 30,200 | 51,500 | 78,600 |
| 중립적 | 18,200 | 37,700 | 64,300 | 98,200 |
| 긍정적 | 21,800 | 45,200 | 77,200 | 117,800 |

(3) 토분 재활용에 따른 경제적 이익

① 천연골재의 순환골재 대체에 따른 경제적 편익은 약 270억 원에 이름 (2002년 건교부 보고, 년 간 700,000톤 생산 기준)

② 순환골재 중 토분이 차지하는 비율을 약 50%라고 가정하면, 경제적 편익은 약 135억 원

<표 2.6.4> 토분 재활용에 따른 경제적 이익

(단위 : 억 원/년)

| 년도 | 2010 | 2015 | 2020 | 2025 |
|---|---|---|---|---|
| 부정적 | 2,000 | 4,240 | 7,240 | 11,040 |
| 중립적 | 2,500 | 5,300 | 9,050 | 13,800 |
| 긍정적 | 3,000 | 6,360 | 10,860 | 16,560 |

## 2. 국외 기술 현황

### 가. 미 국

(1) 자원의 절약 및 재활용법(RCRA)

① 1976년 제정된 「자원의 절약 및 재활용법(RCRA)」에서 모든 폐기물의 관리방향을 제시

(2) National Construction Goals('93-2003)

① 국가과학기술위원회에서 건설폐기물과 오염물질의 50% 감소를 목표로 건설폐기물 최소화 및 재활용 기술개발

② 건설폐기물 최소화를 위한 설계 및 시공방법 채택

③ 건설자재 포장방식의 개선 및 포장폐기물 최소화 방법 개발

④ 비환경적(non-green) 자재 사용에 대한 불이익 시스템 채택, 건설폐기물 분리 및 재생에 대한 계약 의무 등 부과

(3) 재생골재의 용도

① 대부분의 고속도로에서 심각한 보수가 요구되고 있으며 매년 약 320km의 콘크리트 도로가 보수되고 있음

② 재생골재의 사용용도

- 도로기층용
- 기초(Footing & Foundation)의 지지층(Base Material)
- 아스팔트 혼합물 및 콘크리트용 골재

(4) 재생골재의 기술적 평가

① 텍사스 교통국에서 10년간 활용 실적을 토대로 기술적인 결과 도출

② 콘크리트용 골재 사용 시 워커빌리티에 대한 문제가 있으나 함수비 조정 등을 통하여 조절 가능

③ 구조부재의 적용 시 CREEP과 건조수축에 대한 검증을 실시한 후 적용

④ 재생골재 사용에 따른 경제성은 확보할 수 있는 것으로 도출

⑤ 도로기층용 사용 시 입도분리가 발생하지 않도록 포설길이를 최소화하는 등의 방법으로 안전성 확보

## 나. 일 본

(1) 건설 Recycle 추진계획 97

① 계획·설계단계에서 대책을 수립하여 발생억제 및 재활용을 촉진하기 위한 각종 제도를 마련

② 재이용이나 감량화가 불가능한 부분에 대해서는 적정하게 처리하는 방안을 제시

③ 「Recycle Plan 21」에서 목표치를 조정하고 건설슬러지와 건설발생토분에 대한 추가적인 목표치를 설정

④ 공공공사 발주자로부터 책무를 철저히 하고 계획·설계단계에서의 대응 방안을 마련

(2) 국토가 좁고 길기 때문에 재활용 시설의 설치에 많은 애로사항이 발생

① 폐기물처리시설 등의 건립 시 인근 주민의 반대가 심하여 심각한 어려움 산재

② 건설부산물 재활용 증진위원회를 구성하여 건설부산물의 올바른 처리를 위한 가이드라인 제시(1998)

(3) 재활용을 위한 기술지침 마련

① 「건설 산업의 폐기물 이용기술개발」에 대한 연구를 실시하여 "플랜트 재생 포장 기술지침"과 "노상재생 기술지침" 마련

② 발생억제 및 재이용기술개발을 실시하여 "콘크리트 부산물의 재이용에 관한 용도별 품질기준"마련

③ 국토교통성을 중심으로 순환골재 제조방법과 품질에 대한 보고 실시

## 다. E U

(1) 건설동향 및 건설폐기물 발생량

① 유럽건설산업 연합회의 자료에 의하면 건설시장 동향은 754조 유로이며 천백만명의 고용효과를 가지고 있음

② EU 15개국의 건축폐기물(Construction & Demolition Waste 이하 C&DW)은 년간 1억8천만 톤임(96년기준)

(2) 영국의 경우 건설폐기물을 중요한 건설재료로 보는 인식이 확산되고 있음

① 천연골재의 의존도를 낮추며 더불어 건설 산업으로 인한 환경에 대한 영향을 낮출 수 있는 방안을 검토

(3) 네덜란드의 경우 약90%의 건설폐기물이 처리과정을 거쳐 도로용 및 콘크리트 혼합물 생산에 사용

① 주요 용도는 도로보조기층용, 빈 콘크리트용 골재, 콘크리트 혼합물용 골재 등으로 구분

### 라. 해외 시장 예측 및 발전전망

(1) 미국, 일본, EU 등 주요 국가

① 80-90년대부터 이미 건설폐기물 재활용에 대한 정책 및 제도가 시행되고 있음

② 재활용 플랜트 및 사회적 인프라 구축이 활발히 진행되고 있음

③ 재활용 관련 시장도 매우 빠르게 성장할 것이라 예측됨

(2) 동남아시아, BRICs 등 신흥개발국

① 아직까지 건설폐기물 재활용에 대한 국가적 인식이 미흡

② 수 년 내에 관련 산업 분야에 대한 관심이 고조될 것으로 전망됨

## 3. 국내·외 특허 동향

### 가. 국내 특허 동향

(1) 개 요

① 2006년 기준으로 관련 특허 및 실용신안 출원은 전체적으로 총 1,086건 출원

- 이 중 843건이 등록되었으며 폐 콘크리트 또는 순환골재와 관련된 것이 전체의 약 78%를 차지

② 최근 순환골재에 대한 사회적 관심이 증가되면서 골재의 품질향상을 위한 기술 개발 증가추세

- 공공부문 처리용역입찰과 관련하여 기술개발에 대한 가점 부여에 따라 처리 업체의 기술 확보 활발
- 건설신기술(4건)과 환경신기술(14건) 및 NET 마크(구 KT 마크, 4건) 획득 신기술도 다수 존재

(2) 국내 특허 기술 현황

<표 2.6.5> 국내 관련 특허 현황

| 특허 명 | 특허 내용 | 출원인 |
|---|---|---|
| 건축 폐기물의 선별장치 (2002-0024264) | • 건축폐기물을 재생하는 과정에서 발생하는 토사에 강력한 바람을 불어주어 토사와 토사에 혼합된 이물질을 비중 차에 의하여 선별하는 장치<br>• 벨트 컨베이어에 의해 운반된 토사와 이물질을 제1호퍼에 낙하시키면 무거운 골재 및 토사는 제1호퍼로 낙하되어 수집된 후 벨트 컨베이어에 의하여 적재 장소에 저장<br>• 작은 입자의 토사 및 이물질은 제2호퍼로 운반되는 과정에서 배풍기에 의해 빨아 당겨지는 공기압 작용에 의하여 미세한 미분은 빨아 당겨져 배풍기를 통하여 사이클론으로 투입된 뒤 다시 미분과 공기로 분리<br>• 이때 이물질은 제2호퍼와 배풍기 사이에 설치된 여과망에 걸러서 제2호퍼로 수집 | 구미녹색환경(주) |
| 건축폐기물의 토사 내에 포함된 이물질 제거장치 (2003-0011014) | • 건축폐기물의 이물질 선별 시스템에 관한 것<br>• 흡입 및 배출 수단에 의한 이물질 선별<br>• 건축폐기물 처리효율 증가에 의한 순수 토사의 재활용 | (주)오성개발 |
| 다중 원형선별기와 가변식 진동호퍼가 탑재된 트레일러를이용한 폐기물의 현장처리방법과 그 장치 (2004-0083347) | • 다중 원형선별기와 가변식 진동호퍼가 탑재된 트레일러를 이용한 폐기물의 현장처리방법과 장치<br>• 폐기물의 현장처리방법에 있어서, 가변식 진동호퍼와 다중 원형선별기가 탑재된 일체형 트레일러를 구비<br>• 탑재된 원형선별기와 가변식 진동호퍼의 각도를 동시에 조절하고, 필요시 가변식 진동호퍼의 각도를 추가적으로 조절하여 공급되는 폐기물을 투입 및 선별하는 단계<br>• 선별되는 폐기물 중 선별크기에 따라 상기 일체형 트레일러에 구비된 접이식컨베이어를 전개시켜 이동시키고, 나머지는 선별망 끝단으로 배출시키는 단계<br>• 다중 원형선별기의 배출구 쪽에 위치한 접이식컨베이어의 끝단 하부에 송풍기를 설치하여 풍력에 의해 이물질은 날려 분리하고, 송풍되지 않고 낙하한 선별폐기물은 접이식컨베이어 하부에 위치한 선별컨베이어에 의해 이송되도록 함<br>• 송풍된 이물질의 낙하지점에는 컨베이어 상부와 양측에 바람막이가 장치되어 바람통로가 형성된 에어컨베이어를 설치하여 송풍기의 풍력으로 이물질을 원활하게 이송시키는 단계로 구성 | (주)신텍 |
| 재생골재를 위한 건설폐기물 이물질 선별장치 (2004-0004294) | • 건설폐기물을 골재로 재활용하는 시스템에서 골재의 재생효율을 떨어뜨리는 각종 이물질을 걸러내어 제거하거나 세척함으로써 양질의 재생골재를 득하기 위한 이물질 선별장치에 관한 것<br>• 재생골재의 질을 향상시키기 위한 것으로, 그 구 | 천지환경(주) |

| | | |
|---|---|---|
| | 성을, 파쇄된 건설폐기물의 파쇄물을 상기 수조에 공급하는 공급컨베이어와, 양측이 중앙부를 향하여 하향 경사면을 이루고, 폐기물이 투입되는 부분에서 배출되는 쪽은 깊고 그 반대편 쪽은 완만한 상향 경사면을 이루며, 또 파쇄물이 투입되는 측면부에는 부유물 포집공간과 그 상단에 물배수구를 갖는 구조의 수조와, 상기 수조의 바닥에서부터 수조의 외부로 경사지게 연결되어 수조에 가라앉은 파쇄물을 외부로 배출시키는 배출컨베이어와, 투입컨베이어 하부의 수조 내에 배출컨베이어를 향하여 경사지게 설치된 스크린과, 상기 수조의 측면부에 상기 부유물 포집공간을 향하여 설치되어 물의 흐름을 발생시키는 물공급장치와, 상기 수조의 둘레에 설치되어 부유물 포집공간을 향하여 부유물을 이동시키는 부유물 이동수단으로 구성 | |
| 재생골재 제조장치의 이물질 선별장치 (2005-0087165) | • 1차 죠크러셔를 통과한 이물질을 선별하는 진동스크린을 1차 죠크러셔와 2차 죠크러셔 사이의 재생골재의 원료 진행흐름 공정 상에 설치<br>• 전동력에 의해 지속적으로 회전하면서 선별된 진동스크린의 이물질을 픽업하여 걸러내는 이물질 제거수단 및 상기 이물질 제거수단으로부터 선별하여 걸러진 이물질을 배출하도록 배출흐름경로를 갖는 배출 컨베이어를 포함하여 구성 | 청경그린산업(주) |
| 건설폐기물의 풍력선별장치 (2005-022723) | • 건설폐기술의 토사는 스크린이나 피더로 이동하여 낙하하는 지점에 송풍장치를 설치하여 무거운 제품은 하부로 낙하하여 벨트 콘베어에 모여 적치되고, 가벼운 이물질 및 토사는 바람에 날리어 원통 스크린으로 이동<br>• 이동된 토사 및 이물질은 원통 스크린의 체가름에 의하여 분리<br>• 원통 스크린에 설치되어 있는 눈의 크기에 의하여 토사와 이물질이 선별되므로 눈의 크기를 얼마로 하느냐와 풍속을 얼마로 하느냐가 중요 | 구경신 |
| 건설폐기물 이물질 선별방법 및 장치 (2005-0050320) | • 건설폐기물의 재활용을 위한 이물질 선별방법 및 장치에 관한 것<br>• 풍력 선별장치를 통하여 비닐 등과 같은 가벼운 이물질이 분리된 건설폐기물에 포함된 목재 등과 같은 무거운 이물질을 수조를 이용하여 분리하는 비중 선별장치; 재생골재의 이물질을 완벽하게 세척하기 위한 스팀 세척장치; 원심력 분리장치를 이용하여 물을 정화하여 재사용하는 장치; 기온이 낮을 경우 건설폐기물 소각로에서 발생되는 온수를 이용하여 기온의 영향 없이 작업을 할 수 있게 한 것으로 건설폐기물 내에 포함된 이물질을 분리 선별한는 장치에 관한 것 | 탄용환경개발(주) |
| 건설폐기물의 이물질 선별장치 | • 건설폐기물의 이물질 선별장치에 관한 것<br>• 분쇄된 건설폐기물이 이송컨베이어를 통해 슈트 | 정창규 |

| | | |
|---|---|---|
| (2006-0102576) | 의 내부로 공급되어 하부로 낙하되어지도록 구성하고, 상기 슈트에 설치된 에어공급부로 부터 공급된 에어가 가변 노즐부를 통해 낙하되어지는 건설폐기물로 분사되어 그 속에 포함된 이물질과 골재가 선별되어지도록 구성된 건설폐기물의 이물질 선별장치<br>• 상기 슈트는 투입구에 루버판이 결합된 슈트몸체를 프레임에 결합되도록 구성하고, 상기 슈트몸체의 하부 양측에 각각 하드타입의 제1가이드를 갖는 이물질배출구와 소프트타입의 제2가이드를 갖는 골재배출구를 설치하되, 상기 제1가이드는 상단 내측에 반사패널이 결합되도록 구성하고, 상기 제2가이드는 상/하단이 관통된 루버로 구성하되, 상기 루버는 제1가이드에 맞닿는 쪽의 두께를 이송컨베이어에 근접한 곳의 두께에 비하여 더 두껍게 구성되어지도록 하고, 상기 제1가이드 및 제2가이드의 상단이 결합된 슈트몸체 내측에 댐퍼가 설치되도록 구성됨을 특징으로 한다. | |
| 건설폐기물의 세척과 이물질 제거방법 및 그 장치<br>(2007-0037464) | • 건설폐기물의 효율적인 재활용을 도모하기 위한 것으로 건설폐기물 처리 과정 중 순환골재와 잔골재에 혼재하는 이물질을 제거하기 위한 것<br>• 이물질 제거 방법은 건설폐기물에서 잔골재를 얻기 위해 파쇄 후 골재 또는 선별토사를 물과 함께 폭기 수조내에 투입하여 폭기 수조내에서 에어 폭기 장치에 의해 부상 후 폭기 되면서 이물질과 0.3mm이하의 미립분과 물을 배출하고 잔골재만 남도록 한다. 이후 스크류 데칸터를 이용하여 물과 이물질, 미립분으로 분리 선별되고, 각기 다른 배출구로 배출되어 야적장으로 이송되고, 물은 급수저장조로 이송되어 재공급하는 공정으로 이루어는 것으로 구성되는 각 장치의 세부구성과 방법을 제공하는 것에 관한 것 | 최준옥 |

## 나. 국외 특허 동향

(1) 개 요

① 해외기술로 작업여건과 건설폐기물 재활용 기술이 우리나라와 유사한 일본의 특허 기술에 관하여 검토

② 국내 기술보다 복잡하고 다양한 기술이 많이 개발되어 있음

③ 일본에 있어서 토분 속의 이물질을 풍력을 이용하여 제거하는 기술은 크게 4가지로 분류 가능

- 토분을 이송하는 과정에서 토분이 이송·낙하되는 순간, 하부에 위치하고

있는 송풍기의 분사노즐을 통한 강력한 송풍에 의해 이물질이 제거된 토분(제품)과 이물질을 비중 차에 의해 선별

- 국내기술은 흡입 닥트를 이용하여 벨트 컨베이어 상에서 흡입하는 방식이나, 일본기술은 진동스크린이나 진동피더 상부에 흡입 닥트를 설치하여 이물질을 흡입하고, 진동스크린이나 진동피더에 망 또는 펀칭 플레이트를 설치하고 하부로부터 송풍을 해줌. 이렇게 하면, 상부로부터의 흡입과 하부로부터의 송풍, 진동체의 진동에 의해 이물질이 제거된 토분(제품)과 이물질의 뒤섞임이 한꺼번에 이루어질 수 있음
- 사이클론 방식을 개조한 것으로 독특한 방식의 이물질 선별장치로, 2개의 사이클론을 거꾸로 뒤집어서 맞물리게 한 뒤, 중간 부분에 토분을 투입하여 토분이 하부로 낙하되게 하면서 하부에 상승기류를 일으키는 송풍장치와 상승 선회기류를 발생시키는 송풍장치를 설치하여 이물질이 제거된 토분(제품)과 이물질이 분리되게 하고, 다시 가벼운 이물질은 상승기류 및 선회기류에 의해 회전하면서 상부로 부상하여 선별하는 방식
- 처리대상 물질을 송풍에 의해 1차로 토분과 이물질로 분리하고, 제거되지 않은 이물질은 굴곡이 형성되어 있는 높고 긴 슈트를 통하여 떨어뜨리는 동안 하부로부터의 2차 강력송풍에 의하여 토분과 이물질을 분리시키는 선별장치. 이 장치는 토분이 굴곡이 져 있는 긴 슈트를 타고 내려오는 동안 송풍에 의해 토분과 이물질 사이의 분리시간이 길어지기에 확실한 선별효과가 있음

(2) 국외 특허 기술 현황

<표 2.6.6> 국외 관련 특허 현황

| 특허 명 | 특허 내용 | 출원인 |
|---|---|---|
| 풍력선별기구를 병용하는 진동사(振動篩)에 의한 순환골제 제조방법 (風力選別機構を併用する振動篩による再生骨劑の製造方法) (1997-192608) | • 콘크리트 폐재 등을 기계적 파쇄방법에 의해 얻은 일정 입도(粒度)의 재생소재를 풍력선별기구를 병용하는 진동사(振動篩) 방식에 의해 사람의 손을 필요로 하는 일없이 재생 비용을 절감하여 고품위의 순환골재를 얻음 | 太洋鑄機株式會社 |

| | | |
|---|---|---|
| 풍력 선별기<br>(風力選別機)<br>(2001－187377) | • 가연성 쓰레기(가벼운 이물질) 속에 내재되어 있는 불연성 쓰레기(무거운 이물질)를 양호하게 선별할 수 있는 풍력선별기로 사이클론을 거꾸로 뒤집어 설치한 타입의 선별기<br>• 가벼운 이물질을 풍력으로 불어서 뿜어 올릴 때 날아오르지 않는 무거운 이물질을 상승기류를 발생시키는 장치를 이용하여 선회기류를 타게 함<br>• 이때 무거운 이물질과 가벼운 이물질 간에 충돌을 일으켜 뭉쳐져 있는 가벼운 이물질들이 분리·해쇄된 뒤 상승기류를 타서 상부로 이송되고, 무거운 이물질은 선회기류를 따라서 회전하다가 서서히 하부로 떨어져내려 수집<br>• 이 장치는 상승기류를 형성하는 공기의 풍속과 선회기류를 작업조건에 적합하게 적절히 조절함으로써 양질의 제품 선별에 유용 | 石川島播磨重工業株式會社 |
| 폐아스팔트 골재의 처리 방법 및 폐아스팔트 골재의 처리 장치(廢アスファルト骨材の處理方法および廢アスファルト骨材の處理裝置)<br>(2001-259604) | • 토사 등의 이물 제거를 효율적으로 행할 수 있음과 동시에 소음, 진동, 분진 등에 의한 공해, 환경 문제가 발생하는 것을 확실히 방지할 수 있음<br>• 재생된 재사용 가능 아스팔트 골재에 직사광선 등에 의한 열을 가하여도 고화(固化)되지 않고 세립화 상태(細粒化狀態)를 유지할 수 있는 폐아스팔트 골재의 처리 방법 및 폐아스팔트 골재의 처리 장치를 제공 | 松崎 力 |
| 풍력 선별 장치<br>(風力選別裝置)<br>(2000-202368) | • 정량공급장치(스크류 콘베어)를 통하여 투입된 제품이 하부로 길게 늘어져 있는 굴곡부의 슈트를 통과하는 과정에서 굴곡부 하부로부터의 강력한 송풍에 의하여 무거운 물질은 굴곡부의 슈트를 타고 내려오게 되고, 가벼운 이물질은 상부로 이동하게 되는 선별장치<br>• 굴곡부에서의 각도와 투입입자와의 마찰 및 미끄럼 속도 등에 의하여 운동방향이 결정되고, 하부에서의 송풍에 의하여 분리가 이루어지는데, 연속적인 작업이 불가능하고 일정량 선별이 끝난 후에 다음 공정이 이루어지는 단점이 있는 반면, 클로우즈 사이클에 의해 백필터를 사용할 필요가 없다는 장점을 지님<br>• 굴곡부 슈트 상부로 이송된 미세입자와 이물질은 사이클론으로 이송된 뒤 하부로 배출되고, 공기는 리턴되어 송풍기로 되돌아감 | 株式會社御池鐵工所 |

## 4. 기술 동향 분석 결론

(1) 건설폐기물 재활용 공정에서 발생하는 폐 토분 속 이물질을 제거하는 장치 개발은 초기 단계이며, 현장 조건에 따른 적용 가능한 기술개발이 요구됨.

(2) 단순 매립되고 있는 폐 토분을 보다 가치 있게 재활용하기 위한 기술개발이 시급한 실정이나, 지금 현재 관련 업계와 학계의 관심 부족으로 관련 연구가 미비한 실정임.

(3) 본 개발 기술은 건설폐기물 재활용 분야 중 비교적 미개척 기술을 개발하는 것이며, 향 후 다양한 접근과 기술개발에 대한 시도가 있을 것으로 예상됨.

(4) 해외 기술, 특히 일본 기술의 경우 그 구성이 보다 세밀하고 복잡·다양한 것으로 나타남.

(5) 공기를 이용한 송풍방식과 흡입방식이 주된 기술이며, 여기에 부대설비를 추가적으로 장착하여 선별이 원활하게 이루어지도록 구성.

(6) 풍력기술 및 진동기술을 이용한 기존 기술의 현황을 요약하면 <표 2.6.7.>과 같음.

<표 2.6.7> 풍력기술 및 진동기술 이용 장치의 기존기술현황

| 풍력 이용 | 진동기술 이용 |
|---|---|
| - 토분 속에 포함된 이물질 제거장치 개발은 초기단계이며, 현장여건(수분함유토사 처리 등)을 감안한 실질적인 기술개발 미흡<br>- 토분 처리를 위한 기술개발에 대한 관련업계와 학계의 관심 미비와 기술적 제약에 의하여 발전되지 않음<br>- 기계적 원리로는 공기를 이용한 송풍방식과 흡입방식이 주이며, 부대설비를 추가하여 선별이 원활하게 이루어질 수 있도록 구성되어 있음 | - 재생 골재를 큰 자갈, 작은 자갈 및 모래로 구분하여 선별할 수 있도록 고무재의 다공스크린을 각각 알맞은 지름의 구멍을 일정한 간격으로 다수개로 천공하여 이 구멍을 통하여 순도 높은 재생골재 선별장치 개발<br>- 모래 집진장치에서 폐기물을 공급 비산시켜 집진기에서 이물질 및 미분을 분류하고, 비산되지 않은 폐기물을 배출하여 이를 이용하여 양질의 재생골재를 제조하는 방법 및 장치 개발<br>- 스크린과 진동기술을 이용하는 기술 중 토분 처리 장치는 개발되지 않음 |

# 제 7 절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 건설오니의 정의

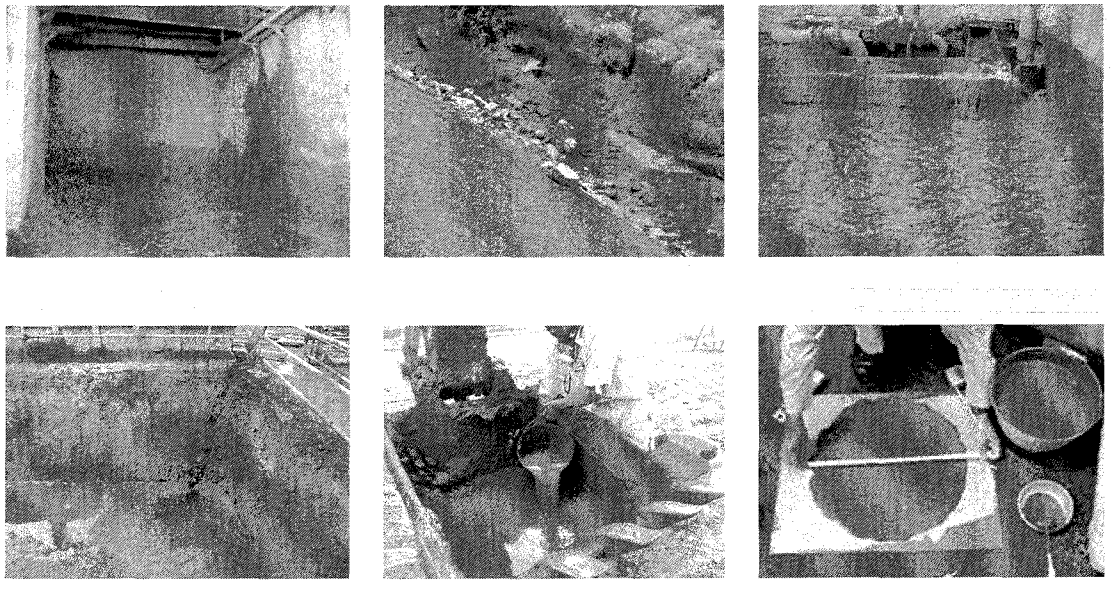
건설폐기물들은 관련 법규나 적용상황에 따라 건설폐기물, 건설폐재, 건축물폐재류, 건설부산물 등의 다양한 용어로 사용되어 왔다. 건설폐기물에 대한 개념을 살펴보면 현실적으로 현장에서 폐기물에 따라 정확하게 적용하는 것이 애매모호하게 정의되어 있고 건설폐기물이란 큰 항목 하에 세부항목에서 건설폐기물이 다른 형태로 정의되는 등 건설폐기물분류가 복잡한 것이 사실이다. 건설폐재배출 사업자의 재활용지침상에는 "건설폐재" 의 경우 토사 콘크리트 아스팔트콘크리트 벽돌 및 건축폐목재를 포함하고 있으며, 자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률이나 폐기물관리법 시행규칙 제7조에서의 "건설폐재류"는 폐토사 폐벽돌, 폐콘크리트 및 폐아스팔트콘크리트를 포함하며, 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 및 시행령에서의 "건설폐재류"는 건설현장에서 폐콘크리트, 폐아스팔트콘크리트, 폐토사, 폐벽돌, 폐블럭 등이 혼합 배출된 폐기물로서 폐타일 폐석재 폐기와 기타 비금속광물제품 등이 혼합 된 것을 포함하고 있는 것으로 각 법률과 지침상의 동일한 용어에 포함되는 폐기물의 종류가 다르게 정의되어 있는 것에 주목할 만하다. 「건설폐기물 재활용 처리기준 및 방법 등에 관한 업무처리지침」은 건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률 및 폐기물관리법으로 이원화되어 적용되고 있는 건설폐기물의 배출자 신고, 수집·운반·보관 및 처리 등 건설폐기물의 친환경적 적정 처리 및 재활용 촉진을 위하여 필요한 구체적인 사항을 규정함을 목적으로 한다. 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률[1]에서 규정하고 있는 건설오니는 탈수·건조 등에 의하여 수분함량 85%이하로 사전처리를 한 후에 매립하는 것으로 하고 있다.

하지만 오니라 하면 하수오니가 연상되는 것과 같이 명확하게 오염되고 혼탁되어 있어 함부로 처리할 수 없는 폐기물이라는 이미지가 강하다. 건설현장에서 그 해석상 애매한 것[2]이 많이 배출되고 있다. 굴삭물을 건설오니로 분류하는 것에 관해서는 과거에 우여곡절을 거친 후 현재에 와 있지만, 아직 여러 가지 문제점이 남

1) 건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 시행령 대통령령 제 20477호(2007년 12월 28일)
슬라임 등 굴착공사, 지하구조물 공사 등을 할 때 연약지반을 안정화시키는 과정 등에 발생하는 무기성오니와 건설폐재류를 중간처리하는 과정에서 발생하는 무기성오니

2) 폐관법의 대상이 되지 않는 잔토와 구별하기 힘든 것

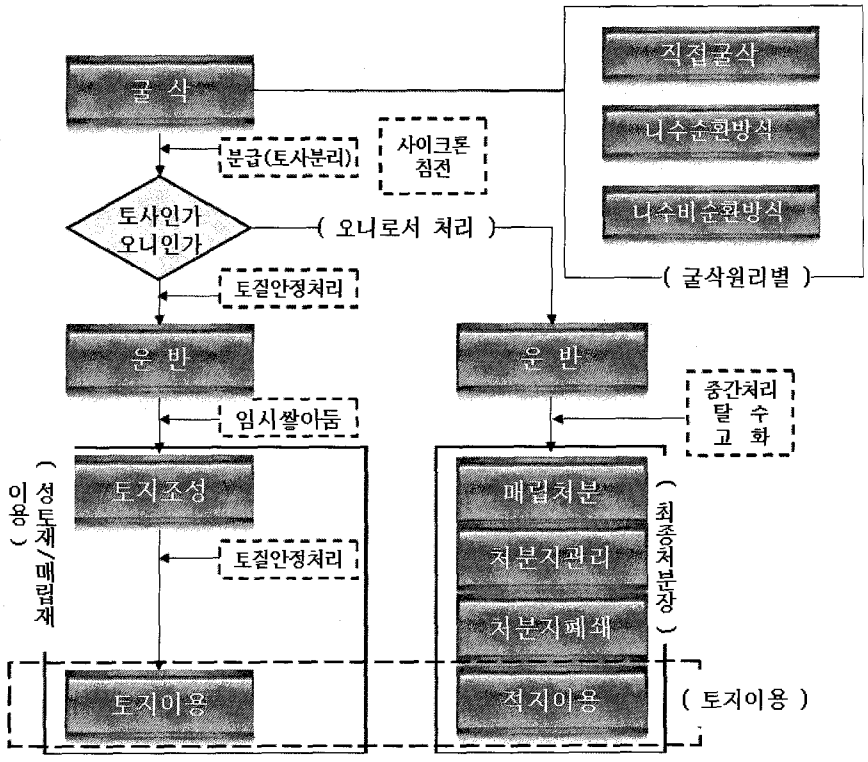
아 있다. 예를 들면 벤토나이트를 사용하여 배출된 오니 중에 pH가 13전후의 것이 있으며, 폐기물관리법 시행령 6조에서는 pH12.5이상의 것은 폐알카리로 취급할 것인가도 불분명하다. 폐기물관리법 시행령 6조 10의 내용은 분진·소각재·오니류 중 지정폐기물이 아닌 폐기물로서 수소이온농도가 12.5 이상이거나 2.0 이하인 것은 관리형 매립시설의 차수시설 및 침출수처리시설의 성능에 지장을 초래하지 아니하도록 하여 매립하는 것으로 하고 있다. 대한건설폐기물공제조합에서는 건설오니는 지하구조물 공사 시 연약지반을 안정화시키는 과정에서 발생하는 무기성오니로서 함수율 85% 이내로 처리 후 운반 처리하여야 한다. 건설오니는 기초말뚝시공, 지하철, 하수관, 공동하수구 등 쉴드공법에 의한 시공, 지하연속벽 시공 시 사용한 벤토나이트를 주로 하는 오물이 섞여 불법투기 또는 매립을 할 경우 토지가 연약하게 되어 알칼리성 침출수가 나오기도 한다. 따라서 오니 자체는 독성이 없다 하여도 부적절한 처리를 할 경우 2차 오염의 발생 우려가 있어 처리에 주의를 요하는 것으로 명시하고 있다.



[그림 2.7.1] 건설오니 발생현황

일본은 1986년 3월 환경 제 87호에 따라 「지하철의 공사현장에서 배출되는 함수율이 높고, 입자가 미세한 니상의 무기성오니」로 정의하며 실제의 현장에서는

다른 의견이 속출하여 각 지자체에서 시행이 일정하지 않았다. 그러나 최근 국토교통성에서는 건설공사와 관련되는 공사로부터 생기는 진흙투성이 상태의 굴착물 및 흙탕물 중 폐기물 처리법으로 규정하는 산업업폐기물로서 취급되는 것으로 정의하고 있다. 잔토라면 비교적 용이하게 처분 가능하지만, 건설오니로 되면 배출자의 책임이 물어지고, 산업폐기물 처리업자에 위탁하거나 배출자 자신이 처분해야만 하게 되어, 코스트도 상당히 달라졌다. 오니와 잔토의 구분하는 내용으로는 오니는 매립 중에 알카리성이나 COD가 높은 오수를 유출시키기도 한다. 성토라면 트럭이나 건설기계가 움직여도 지장이 생기지 않으나, 오니라면 미끄러지거나 움직이기 힘들다. 오니는 장기간 기반의 불안정이 계속되고, 침하도 심해지며, 강우에 의해 유동화되어 붕괴되기 쉽다.[3)]




[그림 2.7.2] 건설오니(굴삭물) 처리 Flow

3) 건설오니에 해당하는 상태란, 표준 덤프 트럭에 산적을 하지 못하고 사람이 걸을 수 없는 상태 (콘지수 200 kN/㎡ 이하 또는 일축압축강도 50 kN/㎡이하) _ 국토교통성

## 2. 건설오니 발생규모 및 관련법규

### 가. 국내 발생 현황

터널 공사현장에서는 다량의 건설오니가 발생하고 있음을 사진을 통해 알 수 있다. 특히 공정의 특성상 벤토나이트액 등의 조정액을 사용하고 있어 발생되는 건설오니의 오염문제(pH 등)를 야기하고 있으며, 암반특성에 따라 발생특성도 더불어 다양할 것이라 예상된다. 부산신항만 배후철도 공사현장 터널공사 현장의 경우 발생된 건설오니를 탈수공정 등을 거쳐 처리하고 있었으며, 이와 같이 대량 발생현장은 자체 처리설비를 갖추고 있었다. 처리 과정에 발생된 폐수는 pH조절, 응집, 침전, 활성탄 흡착 등의 폐수처리 과정을 거쳐 처리되고 있었으며, 탈수 처리된 건설오니는 재활용되지 않고, 매립 등의 방법으로 최종 처리되고 있음을 알 수 있다.

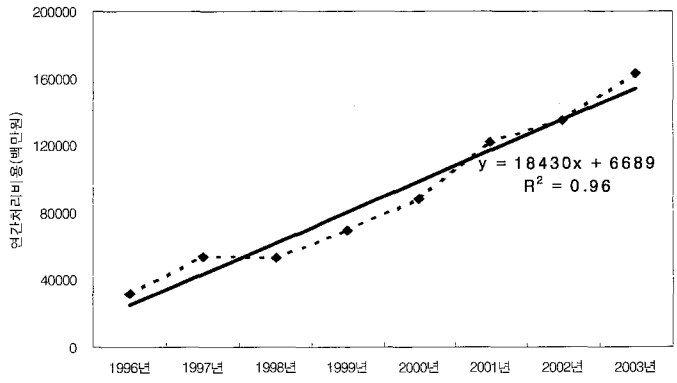
교량 건설 시에 공정 특성상 굴착공법이 자주 사용되고 있다. 굴착 시 공법에 따라 벤토나이트액 등을 사용하는 공법과 그렇지 않은 공법으로 나눌 수 있는데, 공통적으로 건설오니의 발생량은 많은 것으로 조사되었다. 하천 항만 준설오니는 통상 토사로 취급되고 있지만 뻘이 퇴적된 수역의 것은 부분적으로 함수율과 발생성상 등으로 건설오니로 취급을 받는 것도 있다. 실제로는 수저 토사의 처분지로 개질하거나 천연 건조시켜 처리되고 있지만 그것을 오니로서 폐기물 취급을 하면 행정상 대단히 곤란한 일이 된다. 따라서 건설오니는 그 척도의 적용을 육상 굴삭물로 한정시킬 필요가 있을 것이다. 또한 택지조성 공사 현장에서 슬라임 등 굴착공사, 지하구조물 공사에서 집중적으로 발생하며, 공정에 따라 터파기 및 세륜시설에서 5-6 ㎥/일 정도가 발생되고 있다. 쇄석(샌드밀)을 이용한 골재 생산업체에서 암석파쇄 및 골재생산과정에서 오염물질이 함유된 건설오니를 발생하는 것으로 조사되었다. 기초자료의 부족으로 인해 정보가 부족하며, 현장방문의 경우에도 각 업체의 비협조로 인해 샘플링 채취가 이뤄지지 못했다. 일반적인 쇄석(샌드밀) 생산 공정 중 파쇄·분쇄 등의 작업에서 상당량의 오염물질을 함유한 건설오니가 발생될 개연성이 충분히 있다고 판단된다. 현재 우리나라의 건설 폐기물 중에서 가장 많은 비중을 차지하는 것은 폐콘크리트이다. 이러한 폐콘크리트는 현재 전국의 재활용 업체에 의해서 순환골재로 다시 만들어져 각종 유효 용도로 사용되고 있다. 그리고 순환골재 활용의 기술연구가 이루어짐에 따라 현재 순환골재의 품질은 높은

수준에 이르고 있으며, 품질기준 또한 체계화 되어 가고 있다. 그러나 순환골재 제조과정은 비용이 많이 드는 화학적 처리보다는 기계적 처리가 대부분으로 1, 2, 3차 파쇄와 분급을 위한 세척공정을 거쳐서 이루어지며 각 업체의 특수성을 고려한 제조공정에 따라 처리되어 지고 있다. 이러한 순환골재는 전체 투입량(진주 S사)의 약 70%로가 유효자원인 순환골재로 만들어지고 나머지 25%이상이 토분으로, 약 5%가 폐콘크리트 슬러지로 배출된다. 폐콘크리트 슬러지는 탈수 공정을 거친 후 대부분이 재활용 되지 못하고 장기간 야적으로 인한 오염문제와 일부에서는 불법적으로 순환골재와 혼용하여 처리하는 경우도 조사되었다. 환경부 건설폐기물 발생량 조사(2005) 발표자료에 의하면, 국내 폐콘크리트 발생량은 전체 건설폐기물 발생량의 약 55~70%를 차지하는 막대한 양이 발생하고 있으며 그 양은 2005년 일일 기준 약 95,806톤, 이것은 15톤 트럭으로 약 6,400대 분의 엄청난 물량이 매일 발생하고 있는 셈이다.

<표 2.7.1> 건설폐기물 발생량('00 ~ '04)

| 구 분 | | '00 | '01 | '02 | '03 | '04 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 총 계 | | 78,777 | 108,520 | 120,141 | 145,420 | 148,489 |
| 가연성 | 소 계 | 5,207 | 6,749 | 6,053 | 5,807 | 7,021 |
| | 나 무 류 | 2,367 | 3,111 | 2,632 | 2,534 | 3,248 |
| | 합성수지류 | 1,311 | 1,821 | 1,800 | 1,445 | 1,687 |
| | 종 이 류 | 591 | 557 | 507 | 452 | 478 |
| | 기 타 | 938 | 1,260 | 1,113 | 1,376 | 1,608 |
| 불연성 | 소 계 | 73,570 | 101,771 | 114,088 | 139,613 | 141,468 |
| | 금 속 류 | 1,087 | 1,316 | 1,323 | 922 | 1,025 |
| | 유 리 류 | 181 | 304 | 430 | 354 | 313 |
| | 기 타 | 1,239 | 1,491 | 10,343 | 7,722 | 7,842 |
| | 건설폐재류 | 71,063 | 98,660 | 101,992 | 130,615 | 132,288 |

주택 건설호수와 재건축 시기를 참고로 향후 국내의 건설폐기물 발생량은 10년 후 약 2.5배, 20년 후 에는 약 5.6배의 건설폐기물이 발생될 것으로 예측된다. 폐콘크리트는 순환골재로서의 활용성은 높은 관계로 재활용률이 기타 폐기물에 비해 높으며 본 연구에서 재활용하고자 하는 폐콘크리트 슬러지는 발생량 총량을 재활용 한다는 가정 하에 근거자료를 토대로 회귀분석 한 결과는 아래와 같다.




[그림 2.7.3] 건설오니 발생량 분석

하지만 '05년부터 「건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률」에 의거 건설폐기물 성상 분류 기준 변경되었으며 건설폐재류 중 폐콘크리트가 전체 건설폐기물 중에서 57.7%로서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 다음으로 혼합건설 폐기물이 21.1%를 차지하고 있다. 국내 건설오니 발생량 통계자료를 보면 건설오니의 비율이 전체 건설폐기물에서 차지하는 비율이 일본에 비하여 굉장히 낮은 수치를 나타내고 있는 것은 일본과 주택구조가 유사한 점과 미루어 통계자료의 신뢰성의 검토가 필요할 것으로 판단된다.

<표 2.7.2> 건설폐기물 발생량('07)[4]

(단위:일/톤)

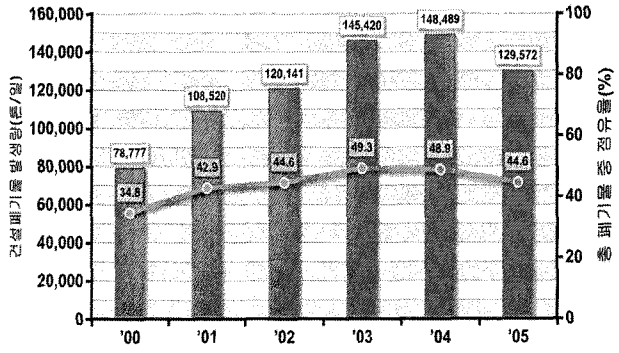
| 구분 / 연도 | 총계 | 건설폐재류 | | | | | 가연성 폐기물 | | | | 비가연성 폐기물 | | | 건설 폐토석 | 혼합 건설 폐기물 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 폐 콘크리트 | 폐아스팔트 | 폐 벽돌 | 폐 블럭 | 폐 기와 | 폐 목재 | 폐합성수지 | 폐 섬유 | 폐 벽지 | 건설 오니 | 폐 금속류 | 폐 유리 | | |
| 2005 | 129,572 | 74,757 | 15,172 | 265 | 127 | 7 | 3,676 | 1,003 | 21 | 1 | 398 | 72 | 25 | 6,657 | 27,391 |
| 2006 | 168,984 | 110,296 | 21.674 | 712 | 67 | 204 | 1,773 | 974 | 16 | 2 | 473 | 7 | 7 | 8,817 | 23,991 |

4) 자료 : 환경부(2007)
1. 폐콘크리트를 전량 재활용된다고 가정하면 중간 처리하는 과정에서 최종부산물로 발생하는 무 기성오니인 슬러지는 제조공정에서 중량비로 약 5%가 발생되며 이를 산출하면 06년 약 3,738 톤/일, 07년 약 5,515톤/일이 발생.
2. 비가연성폐기물 건설오니와 건설폐재류 무기성오니의 발생량의 합산하면 전체 건설폐기물에서 건설오니가 차지하는 비율은 06년 약 3.2%, 07년 약 3.5% 임

건설오니에 대한 이해도 부족으로 2006년에 처음으로 환경부 통계자료에 분류되었으며 비교적 그 신뢰도가 낮다.

'05년도 발생량은 129,572톤/일이며, 전년도 148,489톤/일에 대비 12.7% 감소하였다. 건설폐기물 발생량이 감소한 이유는 2005년도 건축허가현황과 주택건설실적이 전년도에 비해 각각 5.1%, 6.1% 감소하였기 때문으로 추정된다.

이에 따라 건설폐기물의 총 폐기물 중 점유율은 44.6%로 전년도 48.9%에 비해 낮아졌다.




[그림 2.7.4] 국내 건설폐기물 발생량

건설폐기물의 재활용율은 년도에 따라서 계속 증가하고 있는 반면, 소각율, 매립율은 감소하고 있다.

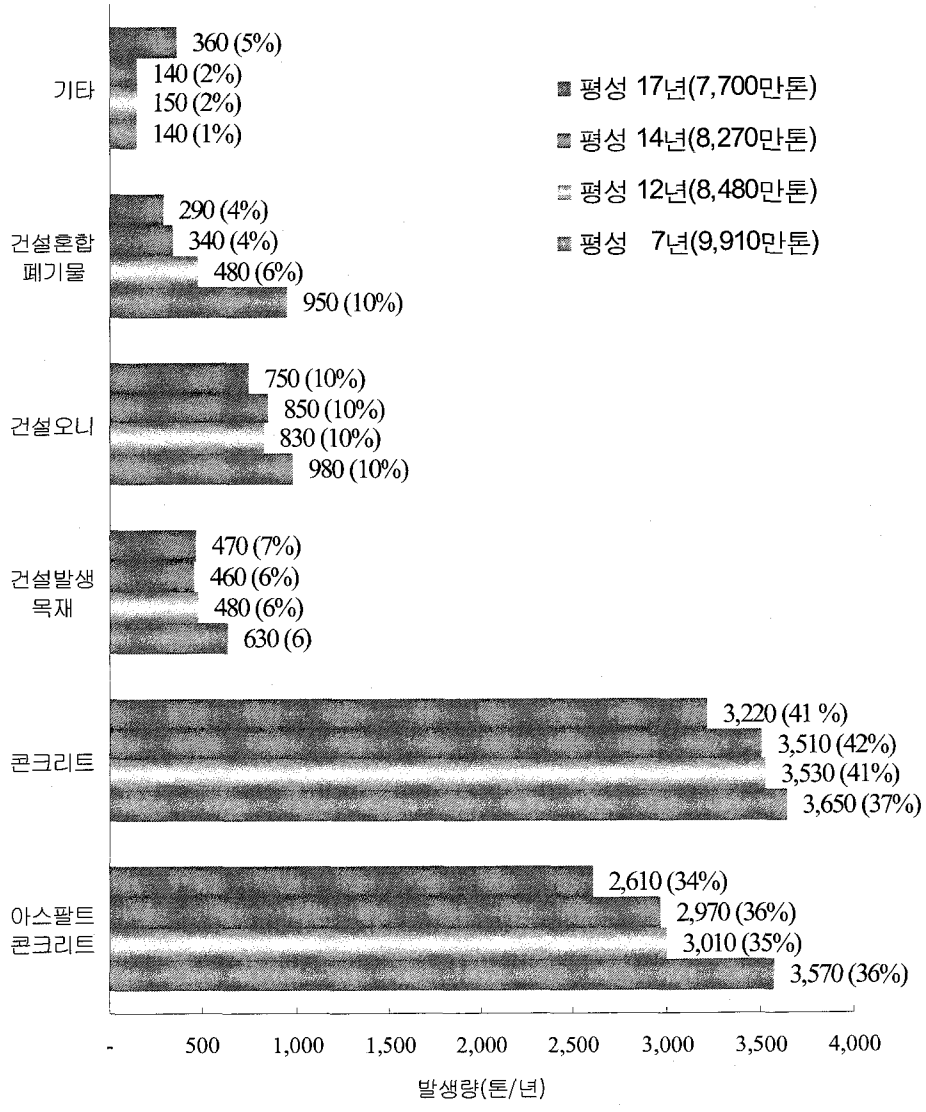
<표 2.7.3> 건설폐기물 처리 현황('00 ~ '05)[5]

| 구 분 | '00 | | '01 | | '02 | | '03 | | '04 | | '05 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | % | | % | | % | | % | | % | | % |
| 계 | 78,777 | 100 | 108,520 | 100 | 120,141 | 100 | 145,420 | 100 | 148,489 | 100 | 129,572 | 100 |
| 매 립 | 10,021 | 12.7 | 12,943 | 11.9 | 17,462 | 14.5 | 13,715 | 9.4 | 10,976 | 7.3 | 3,290 | 2.6 |
| 소 각 | 2,071 | 2.6 | 2,424 | 2.3 | 2,462 | 2.1 | 2,233 | 1.5 | 2,949 | 2.0 | 862 | 0.7 |
| 재활용 | 66,685 | 84.7 | 93,153 | 85.8 | 100,209 | 83.4 | 129,462 | 89.0 | 134,557 | 90.7 | 125,327 | 96.7 |
| 해역배출 | | | | | 8 | | 10 | | 7 | | 93 | |

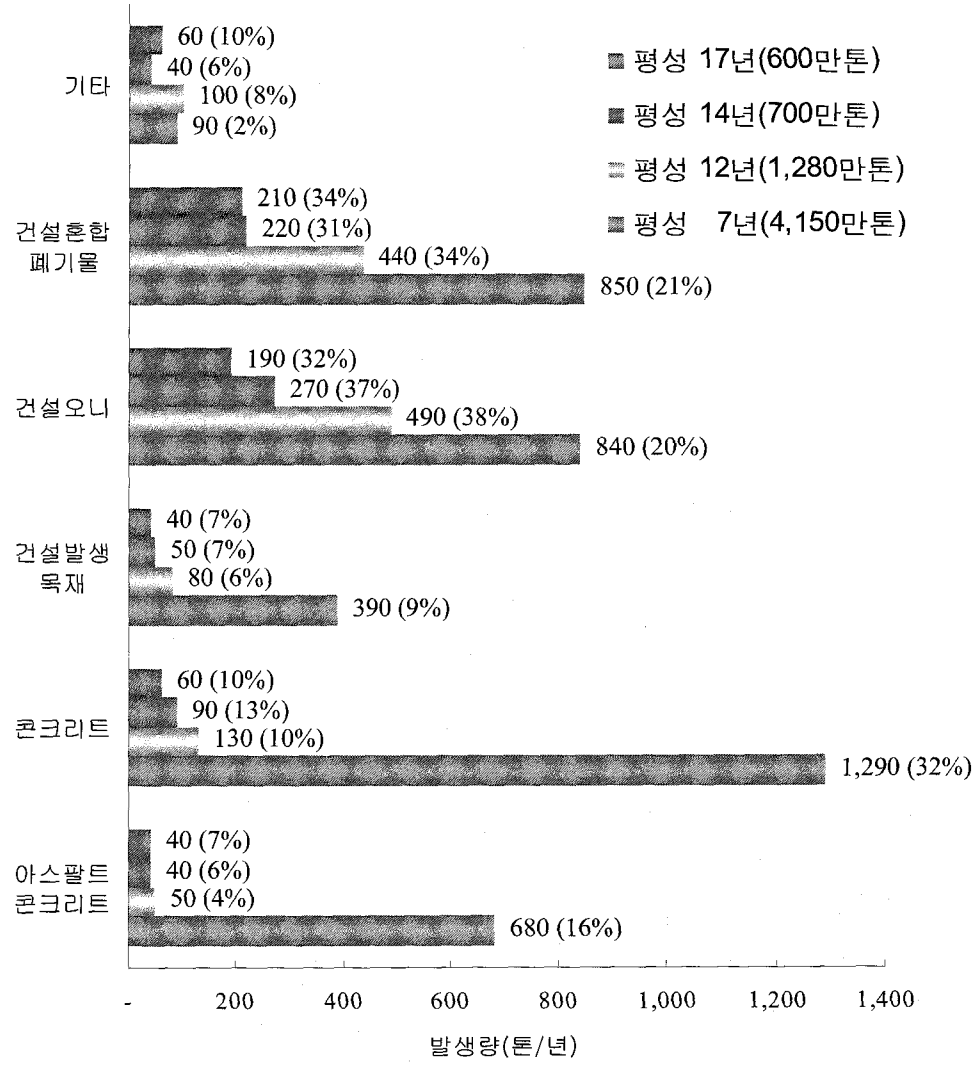
5) 자료 : 환경부(2006)
1. 재활용율은 '05년 96.7%로 전년대비 6.6%포인트 증가.
2. 소각율은 0.7%로서, 과거년도에는 1~3%대였으나 '05년에는 1% 이하로 감소.
3. 매립율은 2.6%로서 전년도 7.3%에 비해서 큰 비율로 감소.

## 나. 일본의 건설폐기물 발생량 및 최종 처분량

선진국의 1일 건설폐기물 발생량과 비교하여 보면 일본, 영국에 근접하여 있고 미국에는 절반에 가까운 수준까지 이르고 있어 이들 나라들이 우리나라 보다 국토의 면적이나 경제적 규모가 큰 점으로 볼 때 우리나라의 건설폐기물 발생량은 상당이 많은 실정이다.



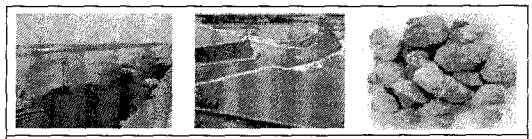

[그림 2.7.5] 일본 건설폐기물 발생량




[그림 2.7.6] 일본 건설폐기물 최종 처분량

일본의 경우 지난 10년간 꾸준히 전체 건설폐기물 중 약 10%씩의 건설오니[6]가 발생되어지며, 이것은 주택구조 및 생활습관이 유사한 일본의 건축문화를 고려하면 아직 국내에서는 집계되는 건설오니 발생량 보다는 실제 많은 양의 건설오니가 발생되어지고 있는 것으로 판단된다.

6) 일본 건설오니 재활용 현황



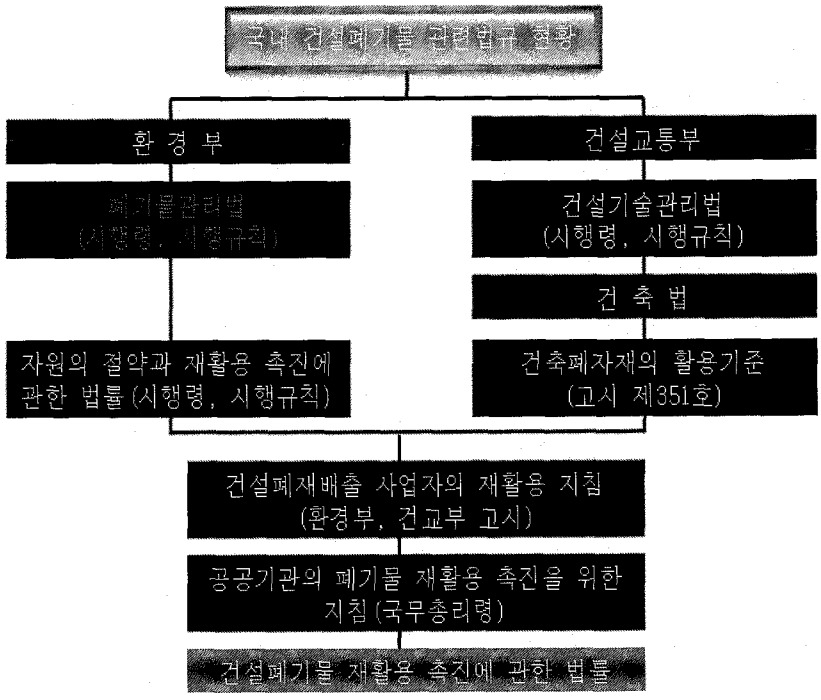
건설오니 재활용 제품

## 다. 국내 건설폐기물 관련 법규

『건설폐기물 처리기준 및 방법 등에 관한 업무지침』 환경부 예규 제 277호 (2006. 3.31)의 목적은 『건설폐기물 촉진에 관한 법』, 『폐기물관리법』으로 이원화 되어 있는 건설폐기물의 친환경적 적정 처리 및 재활용 촉진을 위한 구체적인 사항을 규정하기 위하여 제정 하였다.

동 법에서 규정하는 건설오니의 처리 방법은 수분함량 85%이하로 탈수, 건조 후 매립처리 하는 것으로 되어 있다.

이것은 국내 건설폐기물의 인식의 정도를 나타내는 단적인 예로 들 수 있다. 고함수비 건설오니를 단순 전처리하여 매립한다는 것은 앞장에서 언급한 바와 같이 매립장 확보, 강우 시 침출수 발생, 지반침하, 건설오니에 포함된 유해물질의 용출로 인한 환경적 피해를 예측하지 못하는 것을 포함한다. 관련법규에서 정의하는 건설폐재의 정의가 법규마다 다른 것을 보아도 국내의 관련법규의 수정이 불가피한 상황이라 할 수 있다.




[그림 2.7.7] 국내 건설폐기물 처리 관련법규

## 3. 기술개발 현황

### 가. 국내 기술개발 현황

중금속이 함유된 액상 폐기물의 경우 침전, 흡착, 이온교환, 산화, 환원, 등과 같은 물리, 화학적 방법으로 처리하는 기술은 국내에 도입되어 부분적으로 이미 실용화 되고 있으나 건설오니의 고형화 및 적용기술에 대한 연구는 매우 미흡할 뿐 만 아니라 다양한 성상으로 인하여 효과적인 고형화 처리 시스템의 적용에 대해서는 선진국에서도 아직 연구단계에 있다. 현재 해외에서 개발된 대부분의 고형화 기술은 어는 특정한 폐기물을 고형화 시키는데 제한적으로 사용될 수 있다. 그러나 발생되는 건설오니는 매우 복잡한 성상을 지니고 있으며 용존 무기성 이온과 유기성 물질 등이 공존함으로서 고형화에 큰 문제점으로 대두하고 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서 건설오니가 가지는 고유특성을 조사, 분석하고 이러한 악영향을 감소시킬 수 있는 새로운 고형화 공정의 개발이 필요하게 된다.

국내에서는 유해중금속이 포함된 슬러지나 산업폐기물을 포함하는 슬러지를 고형화하는 방법은 고화재(Soil Stabilizer) 사용법, 시멘트 고화법, 석회 고화법, Thermal Treatment, Molten glass(vitrificatipn)법 등이 있다. 그러나 국내에서는 건설오니에 대한 연구는 전무한 실정이며, 일부 도금공장 등의 중금속 슬러지의 고형화 및 하수슬러지의 시멘트 고형화에 대한 연구가 산발적으로 시작되어 왔으나, 외국 기술수준에 접근하기 위해서는 좀더 체계적인 연구가 필용하다. 무기성오니 등의 연구는 대부분 기초 연구에 지나지 않으며 슬러지를 관리형 매립지에 매립할 수 있게 됨에 따라 기업체의 관심에서도 멀어지고 있는 실정이다.

특히 국내의 오니류의 고화 공정은 환경관리공단의 화성사업소, 온산사업소, 등에서 폐기물 1㎥당 시멘트 150kg과 불용출제인 DMDC 또는 Sodium polysulfide를 섞어서 수화반응에 의한 단순고화를 하고 있으나 작업서이 나쁘고 적용 폐기물에 한계가 있다. 따라서 건설오니와 같은 폐기물을 효율적으로 고화처리 하기 위해서는 일본과 유럽과 같이 고형화/안정화한 폐기물을 고부가가치를 창출할 수 있는 고화재나 도로 Base 용이나 건축재료로 전환하든가 원재료로 재활용 하는 방법을 연구하는 것이 가장 확실하리라 생각된다.

<표 2.7.4> 국내 기술 현황

| | | |
|---|---|---|
| 국내 | 환경관리공단<br>(화성, 온산, 대구) | 시멘트 고화 Sequester 이용 |
| | 안국화학 | Oritol-s, 고화재 일부 |
| | 동양화학 | Sequester |
| | 한국삼협화성 | Sodium Polysulfide |
| | 기타 | 동아건설, 제일지질, 대한산업,<br>(주)영일화성, 신한케미컬 |

상기에 서술한 내용과 같이 국내에서는 일부 오염된 토양에서 배출되는 특정 슬러지상 오니류의 고형화에 연구가 일부 진행되고 있는 것으로 조사되고 있으나 본 연구와 같이 막대한 발생량을 가지는 건설오니의 재활용 기술은 전무한 실정이다. 더욱이 폐콘크리트 슬러지 분야는 건식 공정의 파쇄 및 분급과정에 발생되는 미분말을 활용한 연구일 뿐 이렇다 할 실적이 없는 것으로 조사되어 연구의 시급성이 인정된다.

(1) 호소 및 하천의 퇴적오니 분포조사 및 환경친화적인 준설·재이용 기술개발 (2001년 건설핵심기술연구개발사업)

본 연구의 세부 연구내용 및 범위는 다음과 같다. 대상 하천 및 호소의 퇴적오니의 성상 및 분포도 조사, 국내외 퇴적오니 준설사례, 공법조사, 퇴적오니의 준설 시 수질영향예측을 위한 기초자료 조사, 준설토의 건설자재로의 재이용 기술조사, 준설퇴적물의 폐쇄처분시설(CDF) 설계, 퇴적오니의 성상에 따른 준설토 분리, 선별기술개발, 오염퇴적물의 처리 및 안정화를 위한 기초개발, 활용목적별 건설자재 시제품 제작공정 구축, 장기성능 시험 및 평가를 통한 실용화 구축, 퇴적오니 층으로부터 질소, 인 등 영양염류의 용출특성 파악 전달조작 규명 및 수질개선효과 예측기법 개발이다.

본 연구에서 진행하는 건설오니의 재활용 기술은 아직 국내에는 없는 것으로 조사된다. 국내의 관련법규의 정의내용이나 활용 정도는 매우 초보적인 단계이며 특히 오니의 활용기술연구는 하수오니인 유기성오니에 편중되어 있고, 건설오니의 활용 기술과 연구는 전무하다.

(2) 조사연구개발사례에 대한 평가

건설폐기물 재활용 기술개발사업 연구수행에 힘입어 건설오니의 단순처리에 의한 미래의 환경 영향 심각성이 인식되어지며, 항타, 지하연속벽 등의 공사 시 발생하는 건설오니는 자체처리플랜트의 설치가 의무화 되어 있다.

하지만, 자체처리플랜트의 설비공정은 고함수비의 건설오니를 탈수 처리하여 매립 혹은 폐기의 형태로 처분되고 있으며, 이러한 처리는 건설오니의 효율적 처리방안과는 부합되지 않는다. 산업의 발전에 따라 건설오니의 발생유형은 더욱 다양화, 복잡화 되고 있으며, 그에 따라 그 관리수준도 엄격하게 관리되어야 한다. 본 연구에서 개발하고자 하는 건설오니를 활용한 고화재 역시도 평가방법이 지극히 개별적으로 진행되는 것이 사실로서, 고화체를 형성한 후 기능 또는 성능확보여부를 평가하기는 어려움이 있다.

## 나. 국외 기술개발 현황

(1) 일본

(가) 건설 오니의 리사이클 기술 - 환경에 좋은 고화재를 이용한 오니의 리사이클 (松岡武男 土木施工., 2002)

건설오니 리사이클의 중요한 목적으로 친환경 소재를 활용한 고화재로서 발생현장에서 직접 고형화를 통한 성토재, 노반재 등의 활용을 하는 기술로서 고화재의 특수성과 수거, 운반, 설비 등의 체계화된 시스템을 활용하여 콘지수의 성능면을 만족하는 목적물을 제공한다. 건설오니에 적용하는 일반적 고화재의 성능기준은 아직 일본에서도 체계화 되지 않은 상태로서 이것은 법적 규제에 있어 적용기간 즉 양생기간과 알칼리 농도의 용출 특성을 정의할 확실한 기일이 아직 부정확하다. 단순이 성능 면만을 강조하면 조기 강도 및 고형화를 위해 많은 양의 고화물질이 투입되어야 하며, 이것은 원가상승 요인을 작용하여 실용적 기술의 저해요인이다. 따라서 소량의 친환경, 경제성을 가질 수 있는 고화물질의 개발과 성능평가 기준의 확립이 요구된다. 건설폐기물 리사이클의 가장 낮은 수치를 나타내는 건설오니의 활용률 개선을 위해선 성능평가시스템을 검토를 연속해서 하고 있다.

(나) 고함수 진흙 조립 고체화 연구 - 五洋建設, 建設汚泥リサイクルシステム

일반적으로 건설 진흙은, 탈수·건조나 시멘트 고체화 처리 후에 최종 처분되어 있습니다만, 고요건설에서는, 종래의 처리 방법과 다른 「건설 진흙 리사이클 시스템」을 개발했다. 이 「건설 진흙 리사이클 시스템」은, 재이용의 어려운 고함수의 건설 진흙을 조립 고체화(탈수·건조등의 사전 처리는 불필요) 해, 모래와 동등 품질의 인공 토양을 제조하는 기술이다. 본 시스템은, 환경 사업단의 「헤세이 11년도 차세대 폐기물 처리 기술 기반 정비 사업」에 있어서의 「건설 진흙의 현장에서의 입상화 기술」의 분야에서, 자금 조성을 받아 개발되었다.

주된 건설 진흙의 발생 공사는 쉴드(shield)·추진 공사/건축 기초공사/SMW 공사/준설 공사/연약 지반 굴착 공사 등이다.

(다) 일본의 건설오니 재활용 실적

현장 고형화를 통한 현장 재활용이 일반적 활용방안이며 그 외 방안은 기술적 실용성이 미비한 것으로 조사되고 있다. 일본 역시도 재활용 산업의 활성화를 위한 기술적 연구 부족한 것이 사실이며 이를 개선하기 위한 다양한 연구의 시도는 국내의 수준과 비교하여서는 월등한 것으로 판단된다.

<표 2.7.5> 일본 기술 현황

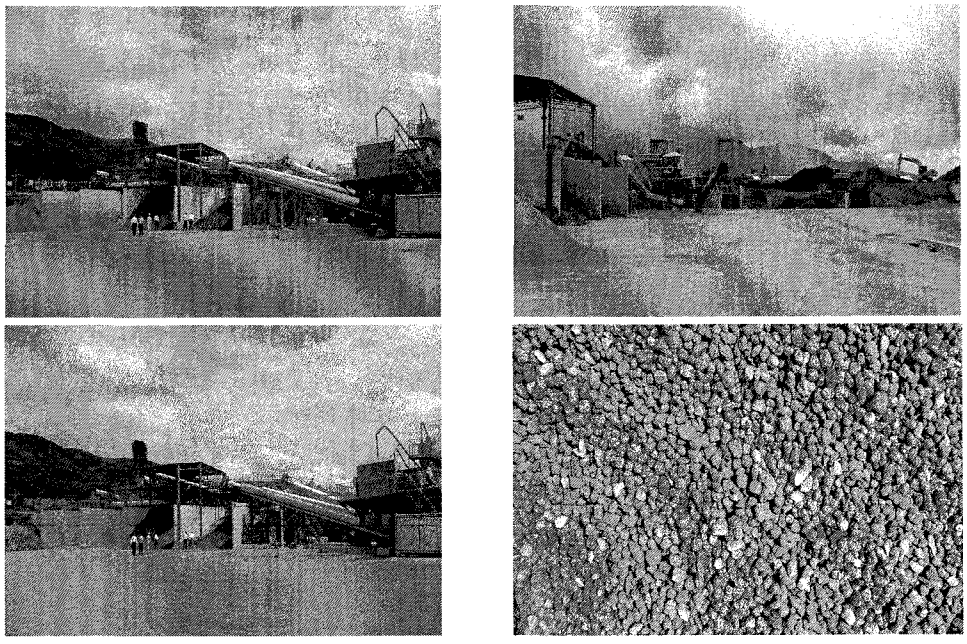
| 재생품 | 개량흙 (성토,노반재) | 모래 (세석) | 식생기반재 | 원료화 | 블럭 (벽돌) | 기타 (Eco) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 업체수 | 19 | 4 | 2 | 2 | 6 | 2 |
| 비율(%) | 54 | 11 | 6 | 6 | 17 | 6 |

일본 업체의 연구는 수분의 감소, 용출면적의 감소, 용해도 감소, 강도의 증가, 투수계수 성능의 향상을 목적으로 이에 따른 Construction material 이나 토양지반 개량, 도로건설 등에 이용하는 방안을 연구하여 지반개량제나 Brick, Block 등을 만드는 시멘트계 Binder 개발, 응용제품 연구, 처리장비 등에 대한 연구가 시멘트 업체를 주축으로 활발한 연구를 진행하고 있다.

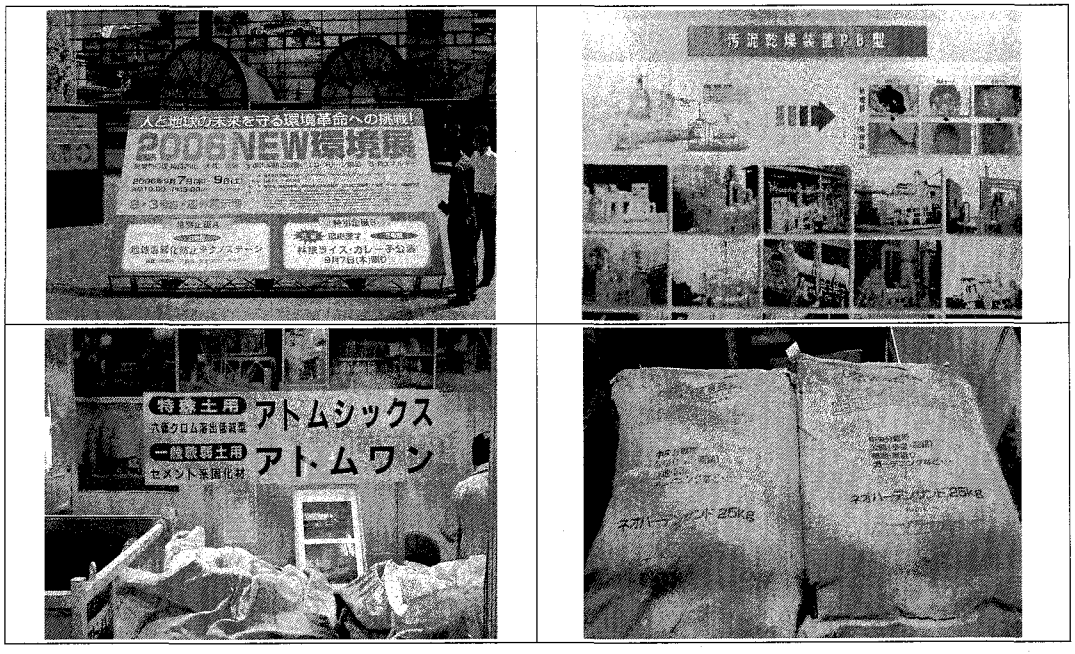
다꾸지 연구소는 토양고화재를 개발하여 농로의 정비, 공항 건설의 지반고화, 준설폐재의 고화, 보도블럭이나 벽돌을 생산하고 있는 실용화 예도 있다

<표 2.7.6> 일본 건설오니 재활용 업체현황

| 리사이클 정보 일람 | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 폐기물 | 재생재 | 공법명 | 인정 | 공법 상세에 |
| 건설 진흙 | 재생흙 | 구리 락 공법 (진흙 응고 용적 축소 안정화 처리법) | 기후현 인정 | 422 |
| 건설 진흙 | 세탁모래 | 에코·사블레 | 미에현 인정 | 429 |
| 건설 진흙 | 식생 기반 | 에코 사이클 녹화 기반 | 기후현 인정 | 423 |
| 건설 진흙 | 재생흙 | 진공 흡인 압송 시스템 | 기후현 인정 | 424 |
| 건설 진흙 | 개량흙 | | 오카야마현 히로시마현 인정 | 425 |
| 건설 진흙 | 개량흙 | 아트 토양 (안녕 토양) | 미에현 인정 | 428 |
| 건설 진흙 | 토질 재료 | E3(이큐후″) 시스템(건설 진흙의 재자원화 시스템) | 아이치현 인정(만나오는 재) 제품명 이산드 | 420 |
| 건설 진흙 | | 라버 플로우 브릭(소성품) | 아이치현 인정 | 100 |
| 건설 진흙 | | 유니·토양 | 특허 | 96 |
| 건설 진흙 | 시멘트 원료 | | | 253 |
| 건설 진흙 | 시멘트 원료 | | | 108 |
| 건설 진흙 | 개량흙 | 니토의 개질 방법 | 기후현 인정 | 94 |
| 건설 진흙 | 개량흙 | 코카 그린 | | 111 |
| 건설 진흙 | 항균·탈취 가공재 | 산업 폐기물을 이용한 항균·탈취 가공재와 그 제조 방법 | 특허 | 95 |
| 건설 진흙 | 재생 아스팔트 개질재 | 에콕스 | | 112 |
| 건설 진흙 | 재생모래(세사) | | 미에현 인정 | 106 |
| 건설 진흙 | 재생 자갈 재생모래 개량흙 | 재생 자갈 재생모래 개량흙 | 아이치현 인정 | 99 |
| 건설 진흙 | 식생 기반 토양 | 건설 진흙의 식생 토양화 | | 110 |
| 건설 진흙 | 지중 매설 케이블 보호관 | 세라다크트 A | | 251 |



[그림 2.7.8] 건설오니 고형화 후 노반재, 뒤채움재 활용
( 키타규우슈우 실버스트 주식회사[7] )




[그림 2.7.9] 건설오니 활용기술
( 2006 오사카 뉴환경박람회 )

7) 北九州ソイルベスト柱式會社
北九州市苦松區南二島 4-2-1 TEL 093-791-1339

(2) 기타

미국[8]은 유해폐기물 고형화 개발 방법은 유기성 고화재는 소수성의 특성 때문에 유기폐액이나 방사성 폐기물 적용하는 연구를 하고 있으며 무기성 고화재는 시멘트 등의 반응성에 의한 고함수 무기성 슬러지 고형화에 적용되며, Sodium silicate, Colloidal silicate 등 용해성 Silicate 이용방안과 Zeolite, Bentonite, Kaolinite, Vermiculite 등의 Clay mineral에 의한 오염물질 흡착 개량화 방안을 연구하고 있다.

또한 Lime과 Pozzolan 반응 후 Mold에서 Compacting 하는 방법도 연구하고 실용화 된 사례도 있다. 특히 미국은 방사성 폐기물 고형화에 관심이 많다.

유럽의 경우는 프랑스가 앞장서고 있으며 유해폐기물을 단순 고형화하여 처리하기 보다 상품화를 위한 연구에 관심을 갖고 The Conversion stabilization waste into useful construction material 또는 The reuse of solid waste as raw material 을 주장하고 있다.

이외에도 Cement 고형화, LIme, Pozzolan 등에 대한 연구를 하고 있으며 고형화 방법에 대한 시장개척, 매립장의 감용화 등에 대한 연구를 하고 있다.

특히 프랑스는 ADEME와 GEOSTOCK에서 주관한 국제 고형화/안정화 연구를 진행하였다. 고형화/안정화 적용 예로서는 France Cane시 채석장에 광재 및 소각회 안정화를 위해 용해성 Silicate, Aluminate 등의 수경성 바인더를 이용하여 년간 400톤 처리하는 시설이 있으며, NANCY, JEANDELA INCOURT PLANT 등이 설치, 가동 중에 있다

8) 81년에 유해폐기물 적정처리를 위한 Super program에 대한 CERCLA(Comorehensive Environmental Response Compensation)이 제정.
1. '84년에는 폐기물 수정법(Hazardous and Solid Waste Management)이 제정되었으며,
2. '86년에는 Superfund Amendments and Reauthorization Act (SARA)개정에 따라 Superfund site에서 불량처분지의 개량방법 (SITE : Superfund Innovative Technology Evaluation)으로 확고한 위치를 정립
3. '95년도에 유해폐기물 고형화 기준이 마련되었으나 '96현재까지 미국 EPA에서 유해폐기물 고형화에 대한 Standard, Criteria, Guide Line 등이 없으나 유해폐기물 전처리 단계로 인정하고 있으며 다만 권장사항으로 되어있어 위스콘신 주 등 일부 지자체에서 Waste Managment Co.에 의해 설치 운영

# 제 8 절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 국내·외 미장용 모르터의 이용 기술에 대한 연구

### 가. 국내 시장 규모의 현황 및 전망

건조 모르타르는 1970년대 초반 독일의 석회산업에서 시작하여 현재는 유럽전역에 보편화, 대중화되어 사용되고 있다. 미국에서도 1982년 도입된 이래 세계 각국으로의 사용이 확산되고 있는 실정이며, 유럽의 경우는 시멘트계 보다는 석고나 석회계의 모르타르가 많이 사용되고 있다. 건조 모르타르를 제조하기 위해서는 시멘트, 잔골재, 혼합재 및 화학 혼화제를 용도에 따라 적절히 배합하여야 하며, 국내에서의 시멘트와 잔골재는 KS L 5201 및 KS F 2527의 규격에 적합하여야 한다. 국내에서는 90년대 들어서 건조 모르타르 시공이 일반화되기 시작하였으며, 최근에는 고성능 혼화재의 사용에 따라 사용량은 증가하고 있는 추세이다. 건조 모르타르 사용시 장점은 현장배합시의 모래를 체로 치고 시멘트와 손비빔하는 조공이 필요 없어 인건비가 절감되며, 공기가 단축될 수 있으며, 도심지 공사인 경우 협소한 작업공간에서도 손쉽게 작업할 수 있다는 장점이 있다. 최근에는 이와 같은 장점과 더불어 원적외선을 방사하는 기능성 건조 모르타르를 개발하고자 하는 시도가 다수 이루어지고 있다.

<표 2.8.1> 국내 관련 시장 규모의 현황 및 전망

(단위 : 억 원)

| 구 분 | | 2005년 | 2010년 | 2015년 | 2020년 | 2030년 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 수요 | 내 수 | 1,300 | 1365 | 1,433 | 1,505 | 1,580 |
| | 수 출 | 3.4 | 3.57 | 3.75 | 3.94 | 4.14 |
| 공급 | 국내생산 | 1,303.4 | 1,368.6 | 1,437.0 | 1,508.9 | 1,587.3 |
| | 수 입 | 65 | 68 | 71 | 75 | 78.75 |
| 합 계 | | 2,671.8 | 2,805.17 | 2,944.75 | 3,092.84 | 3,250.19 |

참고 : 2005년 12월 통계청의 자료에 의해 아래 <표 2.8.2>와 같이 모르타르 제조업에 대해서 검토하는 것으로 하였음. 수출은 한일시멘트의 2007년도 판매량에 준하여 약 3.4억원을 매출을 했다고 보고되고 있음. 수입에 대한 것은 국내의 약 5%정도로 예측하였음. 국내 관련 시장 규모의 현황은 5년씩 약 5%정도 증가하는 것으로 계산하였음.

<표 2.8.2> 모르타르 제조업의 수요 및 공급

(단위 : 백만원)

| 산업별 | 2005 | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 출하액 | 주요생산비 | 부가가치 | 유형자산연말잔액 |
| 모르타르 제조업 | 235,178 | 30,883 | 105,791 | 133,426 |

## 2. 경량기포콘크리트블록 현황

현재 국내에서는 본 연구에서 개발한 선발포 방식을 이용하여 제조한 경량기포콘크리트블록은 아직까지 제품으로 출시된 적이 없으며 제조기술과 관련된 규정 및 지침은 없는 상황이다. 따라서 경량블록 제조기술 및 적용기술의 정립에서는 많은 어려움이 있는 실정이다. 다만, 경량블록의 경우에는 본 연구에서 개발한 선발포 경량블록과 제조방법이 유사한 ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)에 관한 KS지침 및 제조에 관한 일반적인 규정이 있어 이와 관련된 선행조사를 통해 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록의 제조 및 적용기술의 확립에 있어 기초적 자료로 활용하고자 하였다.

### 가. 국내현황조사

현재 국내에서 경량블록을 생산하고 있는 업체는 1980년대 후반 정부의 주택 200만호 건설의 여파와 노동인력의 고임금화로 8개사의 제조 메이커가 있었으나 5개사의 부업 및 폐업 등으로 현재는 벽산, 풍림, 쌍용 3개 업체에서만 제품을 생산하고 있다. 출시되고 있는 제품의 종류는 크게 4가지로 구분할 수 있다. 제조회사마다 제품명을 따로 붙여 부르고 있지만 다음과 같이 구분하는 것이 일반적이다.

<표 2.8.3> ALC 블록의 종류

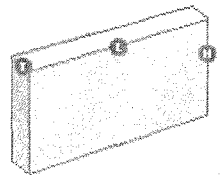
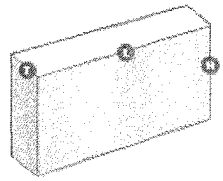
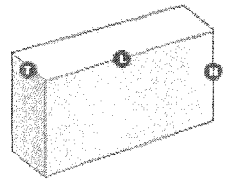
| 종 류 | 설 명 |
|---|---|
| 일반블록 | 별도의 가공 없이 표준품으로 만든 블록으로 밀도가 0.5g/㎤이며 강도는 3 MPa 이상인 것을 말한다. |
| 가공블록 | 사용목적에 따라 별도로 가공한 블록으로 그라우팅을 하기 위해 블록의 양쪽 끝을 오목하게 판 블록과 요철(Tongue & Groove) 블록 등이 여기에 속한다. |
| 고강도블록 | 시멘트 벽돌 대용으로 5층 이하의 건축물용 내력벽 또는 보통 블록보다 높은 차음성을 요구하는 간막이용으로 사용하기 위해 강도를 보통블록보다 높여 만든 블록 |
| 특수블록 | 크기를 특수목적으로 보통블록보다 크거나 작게 한 것, L형 U형으로 만든 블록, 창호 인방용으로 만든 것 등이 이에 속한다. |

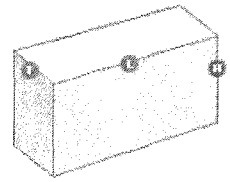
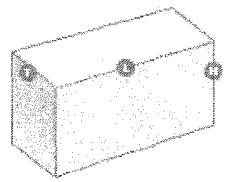
ALC 블록 적용기술은 독일의 방법을 표준으로 각 나라의 환경조건에 맞는 공법으로 발전하여 크게는 내력벽 System과 비내력벽 System으로 구분하여 사용하고 있다. 내력벽 System은 ALC블록을 구조체로 사용하고 바닥을 현장타설 콘크리트 슬래브나 Half PC 혹은 ALC 패널을 사용하는 System이 주를 이루고 있다. 비내력벽 System으로는 기존 골조에 블록벽을 삽입하는 방식으로 APT나 오피스의 간막이벽으로 주로 사용하고 있다.

3개 업체에서 생산되는 있는 경량블록의 제원은 조금씩 차이는 있지만 대부분 표준크기로 생산되고 있으며 블록의 두께에 따라 구분할 수 있다. 블록의 크기는 보통 높이에 따라 두 가지 규격으로 나뉜다. 두께 150㎜ 이상은 높이 300㎜로 하고 그 이하의 두께는 높이 400㎜로 하는 것이 보통이다.

그 어느 것이나 우리나라에서 생산되는 것은 600㎜ 폭을 기본으로 하고 있다. 유럽이나 대부분의 외국에서도 600㎜가 기본 폭이다. 그러나 특수용도에 사용되거나 별도의 목적을 위해서 폭이 다른 블록을 공장에서 만드는 것은 그 다지 어려운 일이 아니다. 두께는 75㎜에서부터 10㎜ 단위로 300㎜ 보다 더 두꺼운 것도 만들 수 있다. 높이는 현장에서 조적공사 시 블록 한 장의 무게를 인력으로 쉽게 옮길 수 있을 정도로 하며, 작업효율을 고려하여 200㎜에서 400㎜의 것이 제작된다. 규격품이 아니더라도 높이와 길이를 5㎜ 간격으로 하여 주문생산이 가능하다.

<표 2.8.4> ALC 블록의 제원

| 구분 | 규격 | | 단위 |
|---|---|---|---|
| THK. 100 |  | T : 100㎜<br>H : 400㎜<br>L : 600㎜ | 1 Pallet : 45매<br>= 1.08㎥<br>=10.28㎡ |
| THK. 120 |  | T : 120㎜<br>H : 400㎜<br>L : 600㎜ | 1 Pallet : 36매<br>= 1.0368㎥<br>=8.64㎡ |
| THK. 150 |  | T : 150㎜<br>H : 400㎜<br>L : 600㎜ | 1 Pallet : 40매<br>= 1.08㎥<br>=7.2㎡ |

| 구분 | 규격 | | 단위 |
|---|---|---|---|
| THK. 200 |  | T : 200㎜<br>H : 400㎜<br>L : 600㎜ | 1 Pallet : 28매<br>= 1.008㎥<br>=5.04㎡ |
| THK. 240 |  | T : 240㎜<br>H : 400㎜<br>L : 600㎜ | 1 Pallet : 24매<br>= 1.0368㎥<br>=4.32㎡ |

ALC에 관한 국내기준으로는 KS F 2701(경량기포콘크리트 블록)에서 상세하게 규정하고 있다. 주요내용을 살펴보면 다음과 같다.

<표 2.8.5> ALC의 규격

| 구 분 | 단위 | ALC 규격 | | |
|---|---|---|---|---|
| | | 0.5품 | 0.6품 | 0.7품 |
| 밀도등급 | kg/m³ | 0.45~0.55 | 0.55~0.65 | 0.65~0.75 |
| 압축강도 | N/㎠ | 30 | 50 | 70 |
| 열저항값 | ㎡K/W | 0.0053d 이상 | 0.0042d 이상 | 0.0036d 이상 |

ALC블록의 제품 적용에 대한 기준으로는 크게 건축물의 법적단열기준 및 차음성능기준에 의거하여 제품을 설치하게 되었다. <표 2.8.5>과 <표 2.8.6>은 각각의 기준을 나타낸 것이다.

<표 2.8.6> ALC관련 차음기준

| 법규 | 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 건축법 시행령 | 제53조(경계벽 및 간막이벽 설치) | |
| 건축물의 피난, 방화구조 등의 기준에 관한 규칙 | 제19조(경계벽 및 간막이벽의 설치)제2항 | |
| 주택건설기준 등에 관한 기준 | 제14조(세대 간의 경계벽 등) | |
| 벽체의 차음구조인정, 관리기준 | 건설교통부 고시 제 1999-393호 | |

건축물의 경계벽 및 간막이벽에 사용하는 차음구조벽은 <표 2.8.7>에서 정한 기준이상의 차음성능을 확보하여야 한다.

<표 2.8.7> 벽체의 차음구조인정 및 관리기준 제2장 제3조
(건설교통부 고시 제1999-393호)

| 중심 주파수 | 음향투과손실 |
|---|---|
| 125Hz | 30dB |
| 500Hz | 45dB |
| 2000Hz | 55dB |

<표 2.8.8> ALC 관련 단열기준

| 법규 | 내용 | 비고 |
|---|---|---|
| 건축법 | 제59조(건축물의 에너지이용 및 폐자재 활용) | |
| 건축법 시행령 | 제91조(건축물의 에너지 이용 및 폐자재 활용) | |
| 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙 | 제21조(건축물의 열손실 방지) | (별표 4) 지역별 건축물 부위 열관류율 |

건축물의 법적 단열 기준을 살펴보면, 건축물의 에너지절약 설계기준 제4조 [건축물의 의무사항]에서 "단열조치를 하여야 하는 부위에 대하여는 규칙 제21조[별표4]의 부위별 열관류율에 적합하도록 단열재 두께를 결정하거나 이 기준[별표1]의 단열재의 등급 분류에 따라 제시되는 [별표2]의 단열재 두께를 적용할 수 있다." 라고 규정하고 있으며, 아래의 표가 별표 4이다. 따라서 별표 4의 규정에 만족하는 ALC블록의 조건별 단열성을 확인해 볼 수 있는데, 이때 열전도율, 열관류율, 열저항 상관관계식을 이용하여 조건별 단열성능을 알아볼 수 있다.

<표 2.8.9> 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙[별표 4] 지역별 건축물의 열관류율표

| 건축물의 부위 \ 지역 구분 | | | 중부지역 | 남부지역 | 제주도 |
|---|---|---|---|---|---|
| 거실의 외벽 | 외기에 직접 면하는 경우 | | 0.47 이하 | 0.58 이하 | 0.76 이하 |
| | 외기에 간접 면하는 경우 | | 0.64 이하 | 0.81 이하 | 1.10 이하 |
| 최상층에 있는 거실의 반자/지붕 | 외기에 직접 면하는 경우 | | 0.29 이하 | 0.35 이하 | 0.41 이하 |
| | 외기에 간접 면하는 경우 | | 0.41 이하 | 0.52 이하 | 0.58 이하 |
| 최하층에 있는 거실의 바닥 | 외기에 직접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우 | 0.35 이하 | 0.41 이하 | 0.47 이하 |
| | | 바닥난방이 아닌 경우 | 0.41 이하 | 0.47 이하 | 0.25 이하 |
| | 외기에 간접 면하는 경우 | 바닥난방인 경우 | 0.52 이하 | 0.58 이하 | 0.64 이하 |
| | | 바닥난방이 아닌 경우 | 0.58 이하 | 0.64 이하 | 0.76 이하 |
| 공동주택의 측벽 | | | 0.35 이하 | 0.40 이하 | 0.50 이하 |
| 공동주택의 층간바닥 | 바닥 난방의 경우 | | 0.81 이하 | 0.81 이하 | 0.81 이하 |
| | 그밖의 경우 | | 1.16 이하 | 1.16 이하 | 1.16 이하 |
| 창 및 문 | 외기에 직접 면하는 경우 | | 3.84 이하 | 4.19 이하 | 5.23 이하 |
| | 외기에 간접 면하는 경우 | | 5.47 이하 | 6.05 이하 | 7.56 이하 |

1) 중부지역 : 서울특별시, 인천광역시, 경기도, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군 제외), 충청북도(영동군 제외), 충청남도(천안시), 경상북도(청송군)
2) 남부지역 : 부산광역시, 대구광역시, 광주광역시, 대전광역시, 울산광역시, 강원도(강릉시, 동해시, 속초시, 삼척시, 고성군, 양양군), 충청북도(영동군), 충청남도(천안시 제외), 경상북도(청송군 제외), 경상남도

이상과 같이, ALC블록의 적용은 크게 소음기준 및 단열성능의 기준에 의해 블록의 두께가 정해지게 된다. 하지만, 단열성능기준보다는 소음기준에 의해 블록의 두께가 정해지는 것이 일반적이다.

## 나. 해외현황조사

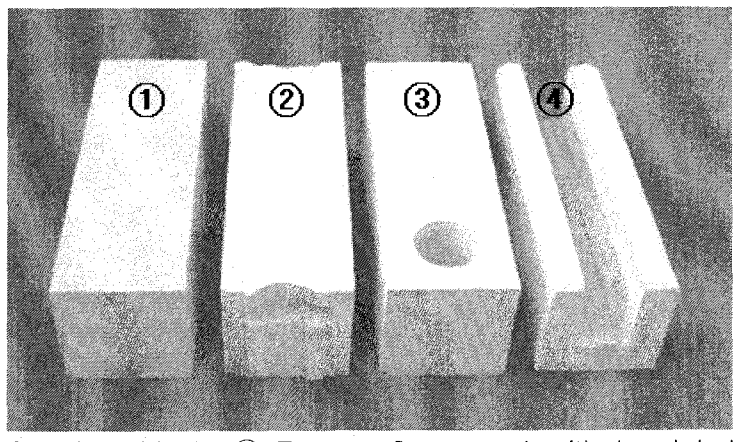
(1) 미국

미국 내에서 ALC 시장은 타 국가에 비해 다소 늦게 시장이 형성되기 시작했다. 하지만 현재에는 ALC의 보급에 적극적으로 제조회사가 활동하고 있는 상황이다. 현재 경량기포콘크리트 제품을 생산하고 있는 업체의 대부분은 AACPA(Autoclaved Aerated Concrete Products Association)의 회원사로서 업체로는 AECON, TrueStone America, Xella Aircrete, hebel 사 등이 있다. 미국 내에서 생산되고 있는 경량블록의 종류는 한국에서 생산되고 있는 제품과 거의 동일한 종류의 제품이 생산되고 있으며, 타운하우스 등의 중규모의 주택 건설에서 빠른 시공 및 인건비 절약을 위해서 보통블록을 사용하여 시공하는 일반적인 공법보다 전기미니크레인을 이용하여 기계화 시공이 가능한 일반블록보다 6배 정도 큰 점보블록의 사용이 증가하고 있는 것이 특징이다. 경량블록의 생산하고 있는 제조사 중 대표적인 회사인 AECON사의 제품에 대해서 살펴보면 다음과 같다.

<표 2.8.10> AECON사의 생산블록 제원

| Product | Available Dimensions (Normimal) | Strength Class* |
|---|---|---|
| Block<br>Handholds in 8″ thick blocks or greater | Length : 24″<br>Height : 8″<br>Thickness : 4, 6, 8, 10, 12″ | AC2<br>AC4<br>AC6 |
| U-Block | Length : 24″<br>Height : 8″<br>Thickness : 4, 6, 8, 10, 12″ | AC4 |
| Tongue & Groove Block<br>Handholds in 8″ thick blocks or greater | Length : 24″<br>Height : 8″<br>Thickness : 4, 6, 8, 10, 12″ | AC2<br>AC4<br>AC6 |
| Cored Block | Length : 24″<br>Height : 8″<br>Thickness : 4, 6, 8, 10, 12″ | AC2<br>AC4<br>AC6 |
| Lintel | Length : 8′ 0″ max<br>Height : 8″<br>Thickness : 8, 10, 12″ | AC4 |
| ValuBlock<br>Flat face or with tongue & groove ends | Length : 24″<br>Height : 8″<br>Thickness : 4, 6, 8, 10, 12″ | AC2<br>AC4<br>AC6 |

Strength Class* : AC2(2.4㎫), AC4(4.6㎫), AC6(6.0㎫)

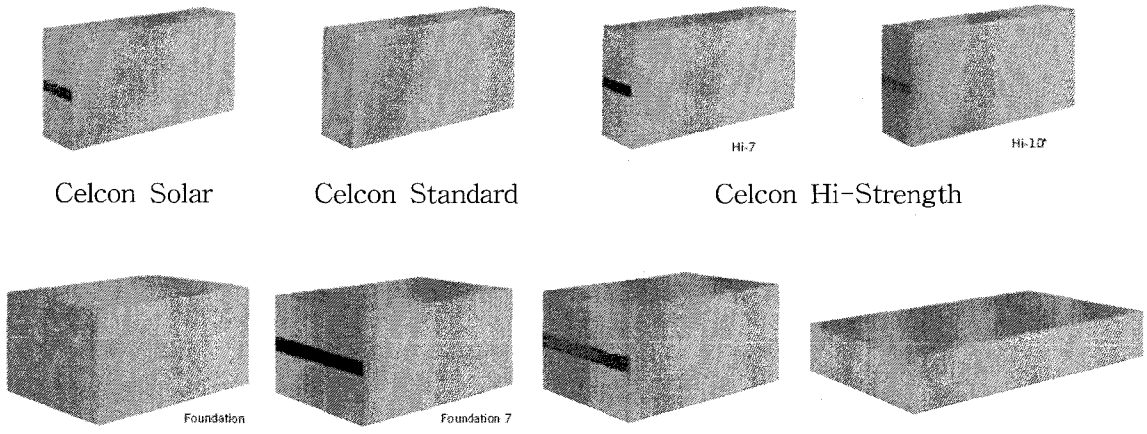



① Standard block, ② Tongue & grooved with hand holds,
③ Cored block, ④ U-block

[사진 2.8.1] 블록의 형상

(2) 영국

ALC는 스웨덴에서 시작하여 독일에서 발전하여 유럽 및 세계 각국으로 보급이 이루어졌다고 할 수 있다. 특히 서유럽 생산국가 중에서 독일과 영국에서의 생산량이 전체의 약 80%를 차지하고 있는데, 이중 영국의 주요생산회사로는 Hanson, Xella UK, H&H CELCON, Durox 등이 있다. 영국도 기타 서유럽 및 미국과 유사한 블록제품을 생산하고 있다. 재료에서는 대부분 규사를 사용하고 있지만, 부분적으로 pulverised fuel ash (PFA)를 사용하여 제품을 생산하고 있는 업체도 있다. 이중 ALC 경량블록을 생산하고 있는 대표적 업체인 CELCON에서 출시하고 있는 제품의 규격은 [사진 2.8.2]와 같다.




Celcon Solar　Celcon Standard　Celcon Hi-Strength

Celcon Foundation Block　Floor Block

[사진 2.8.2] 영국 Celcon사의 생산제품

<표 2.8.11> CELCON 사의 생산블록 제원

| Product | Available Dimensions (㎜) | Thickness (㎜) | Strength (N/㎟) | Density (kg/㎥) |
|---|---|---|---|---|
| Celcon Solar | 440*215<br>610*215(Plus)<br>610*270(Jumbo Plus) | 100, 115, 125, 140, 150, 200, 215, 255, 265, 275, 300 | 2.7 | 460 |
| Celcon Standard | 440*215<br>610*215(Plus)<br>610*270(Jumbo Plus) | 〃 | 3.6 | 600 |
| Celcon Hi-Strength | 440*215<br>610*215(Plus)<br>610*270(Jumbo Plus) | 100, 115, 125, 140, 150, 200, 215, 255, 265, 275, 300, 355 | 7.3 | 750 |
| Celcon Foundation Blocks | 440*215 | 255, 265, 275, 300, 355 | 8.7 | 750 |
| Celcon FloorBlock | 610*350(Floor Block)<br>440*215(Standard Block) | - | - | 600 |

이상과 같이 국내 및 국외에서 생산되고 있는 오토클레이브를 통해 제조되는 경량 블록의 예를 살펴보았다. 우리나라의 경우는 외국으로부터의 기술 도입에 따라 초기 도입국 및 회사의 제품규격을 국내실정에 맞게 수정하여 제품에 적용하였으며, 제품의 규격은 대부분 제조회사가 거의 동일한 규격으로 제품을 생산하는 것으로 나타났다. 사용재료에서는 국내 대부분의 제조회사들이 규사분 및 규석분말을 $SiO_2$의 주원료로 이용하는 것으로 나타났다. 반면, 외국의 경우에서는 국내보다는 ALC의 많은 사용처 및 큰 시장으로 기본형 블록 이외에도 많은 제품들이 출시되고 있는 것으로 나타났다. 사용재료에서도 화력발전소에서 발생하는 Ash를 부분적으로 사용하는 제조회사들도 있는 것으로 조사되었다.

## 3. 정수용 필터의 현황

### 가. 하수처리공정의 현황

우리나라에서는 해마다 수질개선을 위하여 막대한 자원을 투자하고 있으며, 방류수 수질강화 측면에서 1996년 1월부터 총인(T-P)와 총질소(T-N) 방류수 수질기준을 수질환경보전법에 명시하여 규제하기 시작하여, 2008년 1월1일부터는 BOD 및 SS

10㎎/L, T-N 20㎎/L로 전국적으로 강화할 계획이다. 이에 관련된 기준은 <표 2.8.12>와 같다. 2002년말 현재 하수도 보급률은 75%이며, 전국에 가동 중인 201개 하수종말처리장의 시설용량은 19. 596천톤/일이며, 201개소 중 고도처리시설을 설치하여 가동 중인 처리장은 50개소이며, 공사 중이나 설계중인 처리장은 54개소이다.

<표 2.8.12> 방류수 수질기준(하수도법 시행규칙 제6조제1항 관련)

| 구분 | BOD (㎎/ℓ) | COD (㎎/ℓ) | SS (㎎/ℓ) | T-N (㎎/ℓ) | T-P (㎎/ℓ) | 대장균군수 (개/㎎) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 특정지역기준 | 10 이하 | 40 이하 | 10 이하 | 20 이하 | 2 이하 | 3,000 이하 |
| 기타지역기준 | 20 이하 | 40 이하 | 20 이하 | 60 이하 | 8 이하 | |

하수처리는 하수 중에 포함된 오염물질의 제거를 목적으로 하며 그 처리방식에 따라 1차 처리, 2차 처리, 3차 처리 및 고도처리 등으로 분류된다. 1차 처리는 하수 중에 부유하는 물질이나 침강성 물질을 물리적으로 제거하는 방법으로 스크리닝 시설과 침전시설 등이 이용되며 대개 하수처리장에서 최초침전지까지의 공정이 이에 해당한다. 2차 처리에서는 화학적 처리와 생물학적 처리 기술을 도입하여 생물학적 처리가 쉽게 될 수 있는 여건을 만들어 주거나 유기물을 처리한다. 3차 처리는 부영양화 원인물질인 질소(N)와 인(P)을 처리하는 기술로서 화학적 및 생물학적 처리기술이 도입되고 있다. 고도처리 기술은 처리수의 수질을 개선하기 위하여 물리, 화학, 생물학적 처리기술을 이용한다. 고도처리 목적은 청정지역의 공공수역 수질을 확보하거나 처리수를 재이용하기 위하여 도입되고 있다.

## 나. 고도 처리의 개요

국내 하수처리장의 대부분은 유기물 제거에 목적을 둔 활성슬러지공법으로 설계, 운전 중에 있다. 활성슬러지법은 BOD, SS 등을 90% 정도 제거하는 반면에 질소와 인은 미생물에 필요한 영양소로 만 제거되어 질소 10-30%, 인 10-30% 정도만이 제거된다. 이러한 질소와 인이 미처리되어 방류되면 하천 및 호소에서의 부영양화가 심화되어 상수원 오염으로 정수처리시의 비용 증가뿐만 아니라 보건상의 위해성을 증가시킬 수 있다.

따라서, 이러한 질소와 인을 처리하기 위한 고도처리시설의 설치가 필수적이며 1996

년부터 하수처리장 방류수 수질기준 항목에 질소와 인을 추가하여 규제를 강화하고 있다. 그러나 현재의 수질기준은 항목 추가 자체에 의미가 있으며 외국의 경우에도 항목 추가 후 5년 단위로 규제치를 강화하고 있다. 국내도 현재의 질소 60mg/l, 인 8mg/l를 2002년부터 수역에 따라 질소 20mg/l, 인 2mg/l로 규제를 강화할 예정이다.

이런 고도처리시설의 도입을 위해서는 먼저 국내 하수성상에 적합한 공정을 선정하는 것이 무엇보다 중요하다. 기존의 외국 공법들이 BOD 200mg/l 정도의 하수성상에 적합토록 개발된 공정이므로 이들 공법을 국내 하수처리시설에 적용하기 위해서는 먼저 Pilot plant 운전 등을 통하여 국내성상에 맞는 최적 설계인자 및 운전인자를 결정하여야 한다.

## 다. 고도처리의 개념

하수처리시설의 2차 처리에 의하여 제거되지 않는 잔류 오염물질의 처리를 위하여 설치하는 추가시설을 3차 처리라 한다. 즉, 2차 처리의 후속공정에 BOD, SS, N, P 등의 처리를 위한 시설을 말한다. 고도처리란 2차 처리에서 얻을 수 있는 이상의 수질을 확보하기 위한 처리공정을 말한다. 즉, 고도처리는 반드시 2차 처리 후에 시설을 설치할 필요는 없으며 기존의 2차 처리시설을 변경/개량하여 고도처리 시설화할 수 있으며, 신설처리장의 경우는 2차시설로 고도처리의 수질을 얻을 수 있도록 시설을 설치할 수도 있다. 그러나 통상 고도처리와 2차 처리를 혼용하여 사용되고 있다. 3차 처리 시설은 처리대상물질에 따라 분류할 수 있는데, 잔류 SS제거를 위해서 급속여과, 마이크로스트레이너 등의 설치를 고려할 수 있으며, 용존 유기물 제거를 위해서는 활성탄, 막 분리, 오존산화 시설 등을 설치할 수 있고, 질소 및 인 제거를 위해서는 암모니아 스트립핑, 파괴점 염소주입, 이온교환, 화학적 인 제거, 생물학적 질소, 인 제거시설을 설치할 수 있다. 고도처리시설은 2차 처리 후속에 설치할 수도 있고, 2차 처리 후속에 설치할 수도 있고, 2차 처리시설을 개량하여 설치할 수도 있다. 주로 질소와 인을 제거하기 위한 시설이며 고도처리 공정의 선정 및 조합은 처리수 이용계획, 하수의 성상, 건설비 및 유지관리비, 처리효율 등에 따라 달라지며 특히 방류수에 대한 법적 규제(처리수준 요구도)에 의하여 처리공정의 채택여부가 결정된다.

## 라. 수처리 설비의 종류

(1) 다층여과장치

다층연과장치란 정수 및 폐수처리과정에서 수질의 개선을 위해 사용하는 공법으로 적당한 다공물질층(안트라이트)에 탁도가 있는 액체를 통과시켜 탁도를 제거하는 방법이다. 종래의 Sand 등의 일반여과제 사용 시 발생되었던 여러 가지 불합리한 문제점을 해결할 수 있고 내부에 3~6층의 여과제로 형성하여 상층여과제는 가볍고 굵으므로 크고 굵은 불순물을, 하층여과제는 무겁고 가늘기 때문에 미세한 불순물을 거르기 때문에 탱크내부의 전체가 여과층을 형성하여 원수를 10~20Micron 정도의 입자를 제거할 수 있다. 안트라이트는 여과속도가 매우 빨라 처리수량을 증대할 수 있고 입자의 경도가 높아 마모에 의한 손실이 매우 적고 수압에 의한 내구력이 커서 장기간 사용하여도 여과속도의 저하 현상이 발생하지 않는다. 적용분야로는 숙박시설의 생활용수, 세척용수, 세차용수, 순수장치의 전처리용, 식품, 염색, 피혁공장에서 사용한다.

(2) 활성탄여과장치

흡착력이 강한 탄소질로 구성되어 있으며 활성탄의 원료는 야자수나무열매, 껍질 또는 갈탄, 역청탄 및 이동탄으로 제조하여 세공이 발달된 탄소의 집합체로서 고온하에서 수증기로 부활한 것으로서 분자형태의 내부에 세공이 형성되어 큰 표면적을 갖는 흡착력이 우수한 처리장치로서 수도물중의 염소 및 각종 유기화합물의 제거, 색도, 탁도의 개선, 물의 불쾌한 맛을 향상시키고 역삼투압 전처리장치로 필수불가결하게 사용된다. 충분한 내밀성과 기계적강도와 내마모성이 뛰어나 재생회수율이 높다. 그러나 지속적사용으로 흡착능력 저하시 내용물을 교체하여 사용한다. 적용분야로는 잔류염소의 제거, 염색공장의 염색용수, 유기화합물의 제거, 공장폐수의 복원, 재생 처리, 식품, 청량음료, 과일주스의 제조용수, 폐수처리장 유기물의 색도, 탁도 제거, 제약용수의 제조, 일반화학공업 용수의 정화, 순수 장치의 전처리용, 음료수, 위생수 정화, 하수처리용수의 정화용으로 많이 적용되고 있다.

(3) r/o순수장치

1950년대에 미국에서 식물의 자연 삼투막 원리를 기초로 해서 최초로 인공역삼투압을 개발하였고, 인공역삼투압은 특수한 재질을 사용한 박막으로서 설계, 제조되고 0.0001Micron(사람머리카락의 100만분의 1정도)의 미세한 구멍을 일정하게 뚫어져 있어 각종 화학오염물질은 물론이고 박테리아, 바이러스, 방사성 오염물질까지도 제거하는 능력이 있다.

역삼투압의 원리는 농도가 높은 물에서 일정한 압력을 가해 특수하게 제작된 반투막을 통과시키면 분자량이 적은 순수한 물과 용존산소 및 미량의 미네랄만이 반투막을 통과하고 물에 녹아있는 이온물질과 부유물질 등은 반투막을 통과하지 못하고 계속해서 압력에 의해 밀려나와 폐수로 배출하도록 되어 있고, 반투막은 반드시 폐수가 흘러나오는 형태로 설계 및 사용상에서 검토되어야 한다.

지하수는 건강상 유해영향 무기물질, 유기물질, 신미적영향물질 및 미생물(세균) 등에 오염되어 있는 경우가 많고 오염의 정도가 심하지 않고, 비금속(음이온)계의 이온함량이 낮은 경우에는 일반적인 여과장치 및 연수시스템으로도 처리할 수 있으나 오염도가 높고 특히 질산성질소($NO_3$), 암모니아성, 및 연수시스템으로는 처리결과를 전혀 기대할 수 없다. 따라서 적절한 전처리 및 후처리 장치를 조합하여 역삼투압 장치를 응용하여 처리함으로서 원하는 수질을 지속적으로 얻을 수 있다.

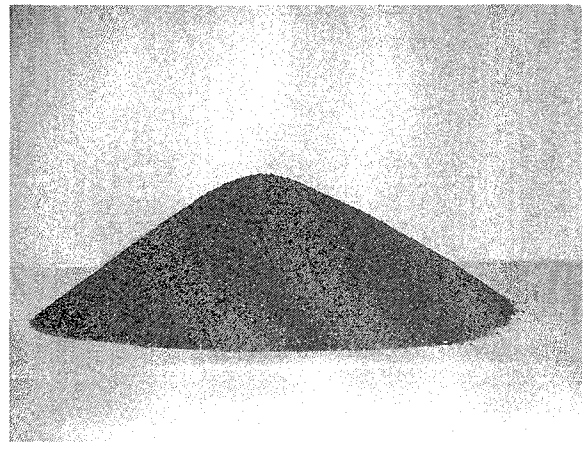
역삼투압막 분리의 장점으로는 상변화를 수반하지 않는 분리공정으로 에너지 절약형이며 분리 대상물질의 변질이 없다. 또한, 막소재의 물리, 화학적 기능에 의해 입자크기별, 화학적 친화성에 의하여 분리됨으로 특정물질만을 분리하는 기능을 가지며 Condensator, Evaporator등의 부속설비가 불필요함으로 설비가 Compact 하다.

그리고 응용법위가 넓고 온도변화가 적은 공정에 적용이 가능하며 공정설계 및 scale-up이 간단·단순하고, 운전 및 장치가 간단하여 자동화가 용이하며, Shock Loading때 처리수의 수질에는 큰 영향이 없다. 적용분야로는 염분이 많은 물을 음용수로 할 때 (5000PPM이하), 실험용수, 초순수 장치의 전처리용, 전자, 반도체, 원자력 발전소의 용수, 병원의 인공신장실용, 혈액분석용, 실험실용, 생약의 농축정재, 의료, 의료용수 제조, 공장폐수의 복원, 재생처리, 질산성질소의 처리, 석유화학, 공업배수처리, 도금용수(금도금, 정밀도금), 정밀화학 제조수에 사용된다.

## 마. 수처리여과제의 종류

(1) 가네트(Garnet)

일반적으로 석류석이라 불리우며 비중이 약 2.2~2.5에 달하는 여과재로서 유기물 분해와 같은 화학적인 반응은 없으며 미세한 탁도 및 부유물질의 제거에 사용되며 다층여과 방식에서는 탁월한 효과가 있다. 여재로서의 자체 강도가 높아 수명은 반영구적이나 압력식 탱크의 역세 시 조건에 따른 역세수압과 유속, 여재 상호간의 마찰로 인해 자체강도가 약해질 수 있으므로 사용 중인 여재의 내구연한을 측정하기가 어렵다.



[사진 2.8.3] 가네트

(2) 안트라사이트(Anthracite)

1930년 펜실바니아 공과대학에서 수돗물 연구에 대한 연구중에 개발되어 괴탄의 입상형으로 파쇄하여 제조한 여과제로서 급속 또는 다층여과 공정에서 부유성물질 콜로이드상 물질을 제거하기에 최상의 여과제이다. 그 기초물질은 고정탄소로 되어 있어 내산성, 내알카리성이 대단히 강하고 일반용수, 폐수, 화학공정상 사용되고 Sand에 비해 비중이 낮아 역쇄효율이 뛰어나고 지속적인 효과를 볼 수 있다. 여과사와 비교하여 비표면적 내공극율이 크므로 수질이 저하되지 않고 여과속도와 처리량을 증가시킬 수 있으며, 중력식 여과방식인 경우 사여과능력보다는 용이하게 100% 이상 증가할 수 있다. 기설 여과장치의 능력을 증대시키고자 할 때 여과사 대신 "안트라사이트"를 충진하면 여과속도는 현저히 상승되며 또 역세수를 대폭 감소시켜

사여과보다 다량의 물이 처리되고 수질도 향상된다.

또한, 여재로서의 Abration Hardness가 높아 입자의 마모손실이 아주 적으며 수압에 대한 내구력이 커서 장시간 사용으로 인한 여과속도의 저하는 거의 일어나지 않고, 기공율이 높아 수두 손실이 낮으므로 여과속도가 빠르며 기설 여과장치의 능력을 증대시키고자 할 때 Anthracite를 사용하면 처리수량이 증대하고 수두 손실이 과대하게 될 때까지는 여과계속시간이 대폭 연장되어 역세회수가 단축된다. 그리고 고정탄소가 많아 대전성이 강해서 산이나 Alkali가 침투치 못하므로 용제회수용의 여과재로써 최적이며 Sand와 같이 Silica를 용출하지 않으므로 Boiler등 기재를 안전하게 보존할 수 있다.



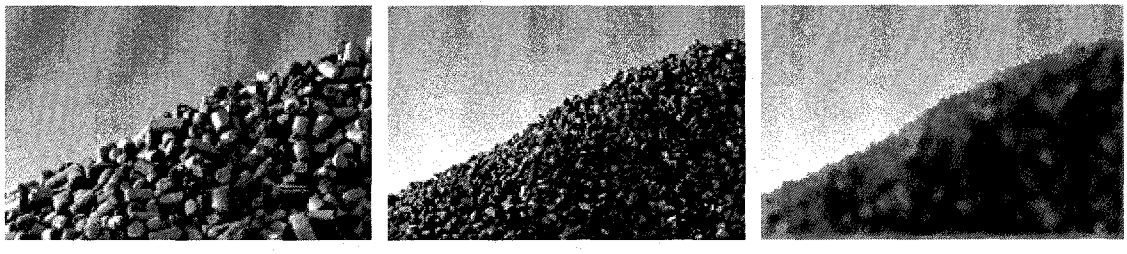
[사진 2.8.4] 안트라사이트 여과제

(3) 활성탄소

활성탄소는 목재, 갈탄, 무연탄, 및 야자껍질 등을 원료로 제조되는 미세세공이 잘 발달된 무정형 탄소의 집합체로서, 활성화 과정에서 분자크기 정도의 미세세공이 잘 형성되어 큰 내부표면적을 가지게 되는 흡착제이다. 활성탄소는 단위 g당 1,000㎡ 이상의 표면적을 갖기도 하는데 표면에 존재하는 탄소원자의 관능기가 주위의 액체 또는 기체에 인력을 가하여 피흡착질의 분자를 흡착하는 성질이 있다. 따라서 활성탄소는 환경, 수처리 등의 제반 산업분야에서 활용되고 있다.

흡착은 고체의 표면력에 기인해서 기체, 액체 혹은 용질, 분산물질, 콜로이드물질이 흡착제 표면에 농축되는 현상으로 분자상호간에 존재하는 Van Der Waals Force에 의한 것으로 이와 같이 힘에 의한 흡착을 물리흡착 이라 하며, 흡착된 분자는 용

이하게 표면에서 탈착한다. 이와는 별도로 화학흡착은 표면분자와 화학적으로 작용하는 것이다. 더 강한 힘으로 결합한 분자는 비가역적으로 탈착이 어렵다. 또한, 흡착은 발열현상으로 온도가 낮은편이 흡착에 좋은 조건인 것은 열역학적으로 분명하다. 활성탄소의 흡착과정은 3단계로 구분되며 흡착질 분자들이 흡착제 외부표면으로 이동하는 단계, 흡착질이 활성탄소의 Meso Pore, Micro Pore를 통과하는 확산 단계, 확산된 흡착질이 미세공 내부표면과의 결합이나 채워지는 단계로 구분할 수 있다. 대부분의 제조방법은 높은 온도의 수증기 활성화방법이나 약품부활도 시행되고 있으며, 원료와 활성화공정은 활성탄소의 특성에 매우 큰 영향을 미친다. 가장 중요한 활성화공정은 800~1,100℃의 온도범위에서 일어나는 탄소의 산화반응으로 탄화물의 표면을 침식시켜 탄화물의 미세세공을 발달시키는 공정이다.

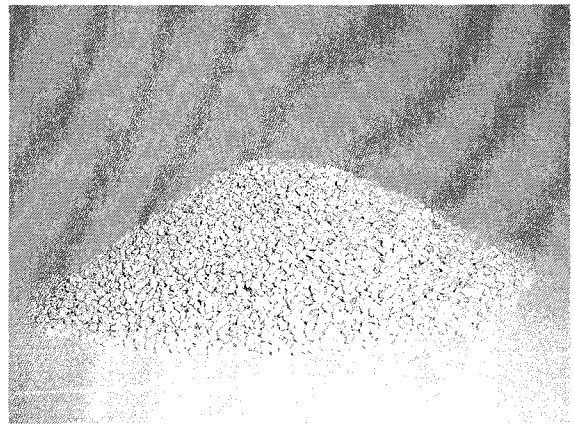


조립활성탄소　　파쇄활성탄소　　분말활성탄소

[사진 2.8.5] 활성탄소의 종류

(4) 하이드로 필트

Hydro Filt는 기공이 있는 규소여과 매체이다. 이것은 넓은 내부공간을 가지고 있어서 촉매반응과 생물학적 반응의 적절한 효과를 나타낸다. Hydro Filt는 음용수, 수영장의 물, 상수 및 하수의 처리에 단독으로 또는 복합적인 여과매체로 이용된다. Hydro Filt 는 단독으로 사용하거나 산화제와 흡착제와 함께 사용하여 밀폐 또는 개방된 금속 여과재 및 접촉여과재로 이용한다.



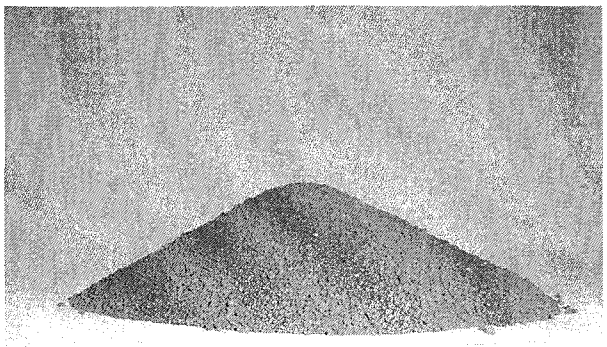
[사진 2.8.6] 하이드로필트

(5) 범(BIRM)

BIRM은 공급수로부터 철과 망간 화합물 제거에 이용되는 과립(파상형)형태의 여과재이다. 초기 철 제거 시스템은 OPEN AERATER TYPE(개방공기 주입형)에 의해 공기와 물을 접촉시켜 산화 시간을 60-90분 정도로 충분히 주어 용존공기의 도움으로 처리하는 방식이다. 이러한 방식은 규모가 커져서 재펌핑이 요구되며 산업적, 공업적 시스템에 주로 사용되어 왔다. 이산화망간의 산소와 철 사이에서 일어나는 촉매반응에 대한 것은 오래전에 밝혀져 왔고, 1930년대 초기에 천연의MnO에 대해 여러 가지 여과방식으로 처리하기 위한 시도가 있었다. 그러나 여과재의 중량이 무거워서 역세 중의 세정이 어려운 문제로 대두되었다.

BIRM은 이러한 문제점을 극복하기 위하여 발전시킨 여과재이다. 1939년에 상업적으로 소개되어 BIRM이 여러 가지 산업에 적용되었다. BIRM은 MnO에 Light Silicon Diaxide core을 코팅 결합하여 촉매반응을 유도한다. 선적무게는 50llbs/cu.ft(801kg/$m^3$)이하이고 일정한 크기로 되어 있으며 10-12gpm/sq.ft(108-129gpm/$m^2$)의 역세유속을 필요로 한다.

실질적인 촉매반응에 있어서 BIRM은 철 제거 과정에서는 소실되지 않고, 재생을 위한 화학약품이 요구되지 않으며, 단지 축적된 철의 침전물을 제거하기 위해 정기적 역세만이 가능하다. BIRM은 중식력 또는 가압식 여과처리 시스템으로 이용할 수 있다.또한 약품주입이 없는 수처리 시스템으로써 BIRM은 적절한 조건 아래서 적용될 때 철 제거에 대해서 우수한 여과재이다.



[사진 2.8.7] BIRM

(6) 여과사 및 여과자갈

- 급속여과사

급속 여과지는 비교적 굵은 여과사층에 빠른 유속으로 물을 통과시켜 여과하는 방법으로 급속 여과사는 혼탁 물질을 여재에 부착되거나 여과사 층의 체작용에 의하여 제거하게 된다.

급속 여과지에서는 혼탁물질이 여과사에 부착되거나 분리되기 쉽도록 미리 플로그(미세한 유기불순물이 약품에 의하여 응집되어 굵은 혼탁물질 덩어리가 된 것)가 되어야 한다. 급속 여과사의 기능은 여과사층 표면에서 불순물이 부착, 응집에 의하여 억지되는 표면 여과와 여층의 내부에 플러그를 침입시켜 혼탁물질을 포착하는 내부 여과로 분리된다.

급속 여과사는 여재표면의 부착 응집에 의한 탁질의 억류가 주요인이므로 그 기능의 용량은 단위 면적당 여재 표면적에 좌우되며 여재 표면적은 여과사의 입경에 반비례하고 여층두께에 비례한다. 여과사의 입경이 작을수록 얇은 여층에 의한 억지효과가 가능하나 억류물이 특정 여층에 집중하여 높은 손실수두를 발생하므로 적절한 입도의 여과사의 내부 여과를 위한 충분한 여층 두께를 유지하여야 한다.

급속 여과사의 적절한 입경은 유효경(0.45~0.7 mm)과 균등계수 (1.7 이하)로 선정하나, 0.3 mm 이하의 여과사는 사층을 빨리 폐쇄시키고 2 mm 이상의 여과사는 통상 두께의 여층에서 여과 효과에 기여하지 못하므로 최소경 및 최대경으로 상하

한의 입경을 정하고 있다. 급속 여과지에서는 혼탁물의 억지능력을 극대화하기 위하여 탁질의 누출에 대응할 수 있는 일정한 손실수두에 도달하거나 또는 일정시간마다 여과를 정지하고 세척(역류세척)하는 것이 일반적이다.

- 완속 여과사

완속 여과법은 여과사층과 여과사층 표면에 증식한 미생물군에 의하여 수중의 불순물을 포착하여 산화, 분해하는 방법에 의존하는 정수방법이다. 완속 여과지는 일반적으로 급속 여과지의 유기 불순물 억지기능에 비하여 혼탁물질이나 세균이 고도로 저지되며 암모니아성 질소, 냄새, 철, 망간, 합성세제, 페놀까지도 어느 정도 제거할 수 있다. 여층 표면에 흡착되거나 체 작용에 의하여 부착된 불순물은 이를 분해하는 미생물군을 생성시켜 미생물 피막을 형성하고 유기 불순물을 산화시킨다. 완속 여과지의 여과기능은 생물 피막의 체작용, 흡착 및 생물산화작용에 의하여 이루어지므로 이를 생물 여과막이라고 한다.

완속 여과지의 생물 여과막은 일광을 받아 탄소 동화작용을 하고 탄소 동화 작용에 의하여 물의 pH치가 상승함으로서 여층의 전하를 정전하로 역전시켜 흡착효과를 높이고 철이나 망간의 산화를 촉진하므로 가능하면 여층면에 광선이 도달하도록 설계하는 것이 효과적이며 복개를 할 경우 문을 설치하는 것이 좋다. 완속 여과지의 혼탁물이 축적되어 여층이 폐쇄되고 손실수두가 크게 발생할 시 여층표면을 적절히 삭취 제거하고 보충하여야 한다.

<표 2.8.13> 여과사의 규격

| 항목 | 완속 여과사 | 급속 여과사 | 데그레몽 타입 |
|---|---|---|---|
| 유효경 | 0.3~0.45㎜ | 0.45~0.7㎜ | 0.9~1.1㎜ |
| 균등계수 | 2.0 이하 | 1.7 이하 | 1.3~1.6 |
| 최대경 | 2.0㎜ 이하 | 2.0㎜ 이하 | 2.0㎜ 이하 |
| 비중 | 2.55~2.65 | 2.55~2.65 | 2.55 이상 |
| 강열감량 | 0.7% 이하 | 0.7% 이하 | 2% 이하 |
| 마모율 | 3% 이하 | 3% 이하 | 2% 이하 |
| 세척탁도 | 30도 이하 | 30도 이하 | 30도 이하 |
| 염산가용률 | 3.5% 이하 | 3.5% 이하 | 2% 이하 |
| 최소경 | 0.18㎜ 이상 | 0.3㎜ 이상 | 0.63㎜ 이상 |
| 겉모양 | 석영질이 많고 견고하고 균일한 자연규사로서 먼지, 점질 등 불수물이 적고 납작하거나 약한 모래가 적어야 한다. | | |

# 제 9 절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐 폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발

## 1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발

### 가. 국내 관련기술 동향

국내에서 각종 건설부산물의 종합적인 활용을 위한 계획 및 설계단계에서의 제반 기술기준들은 정립되어있지 않다. 다만, 종합적인 설계시스템 구축에 필요한 각 과정들 중에서 발생량의 산정기준, 현장재활용에 관련된 경제성 판단기준 등은 일부 연구를 통하여 제시된 기준들이 있으나, 종합적이고 체계화되어 있지는 못한 실정이다. 그리고 재활용계획 수립 및 추진에 있어서 가장 기본이 되는 건설부산물의 발생량의 예측기준들은 산개된 형태로 제안되어 있다. 가장 대표적인 것이 한국건설산업연구원에서 조사하여 건설공사표준품셈 1-38에 등재되어 있는 기준이다. 그러나 품셈기준은 그 자체가 너무 포괄적이어서 활용성이 미흡하다고 볼 수 있다.

그렇기 때문에 각 기관별로 그 필요성에 따라서 각각의 기준을 정하여 활용하고 있으며, 이러한 기준들을 요약하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 대한주택공사에서 재개발지구 저층 지상물을 한옥, 양옥, 스레이트조, 그리고 8개 잔재유형별로 구분하여 산정할 수 있도록 연구제안한 기준(1996)

(2) 서울시정개발연구원의 건축물의 용도 및 구조별 해체건설폐기물 배출량원단위(1995)

(3) 건설교통부의 아파트 해체공사 현장의 건설폐기물 발생 원단위 기준(1995), 한국건설기술연구원의 건축물 해체폐기물 원단위(2000) 등이 있으며,

(4) 가장 최근의 연구발표 자료로는 환경부의 국책연구인 "건설폐기물분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구(2004. 4)"를 통하여 발표한 "해체공사 발생 원단위"기준과,

(5) 건교부 국책과제인 "공동주택 철거잔재의 활용성 향상을 위한 해체기술 및 시스템개발(2004.12)"를 통하여 발표한 공동주택에서 발생되는 해체잔재의 발생량 원단위 기준 등이 있다.

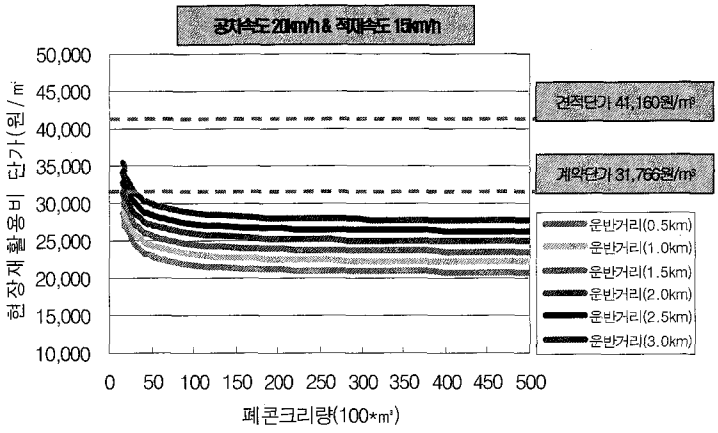
그러나 이상과 같은 원단위 기준들은 통일되어 있지 않아 일률적인 활용이 어려운 특성이 있으며, 잔재의 종류별 원단위는 제안되어 있지만 이들이 실제 현장에서 발생될 때 잔재별 혼입으로 인해 100%로 회수가 어렵고, 체적과 중량의 환산과정에서 발생하는 오차 등에 대한 고려가 전혀 없는 실정이다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 건교부 국책연구인 "공동주택 철거잔재의 활용성 향상을 위한 해체기술 및 시스템개발(2004.12)"에서는 잔재의 종류별 현장 회수율, 체적환산 및 중량환산계수를 현장 실측자료를 분석하여 제안하여 이의 활용은 부분적으로 가능한 상태이다.

따라서 원단위 기준은 실제 현장에서 발생되는 성상에 맞는 조건으로 산출이 가능하도록 각 잔재별 현장에서의 실제 회수율, 잔재별 체적환산계수, 중량환산계수를 정립하여 제시할 필요가 있다.

급증하는 건설폐기물을 친환경적으로 적정처리하고 효율적으로 재활용하기 위해 제정한 "건설폐기물의 재활용 촉진에 관한 법률"에서는 건설폐기물을 중간처리업체 뿐만 아니라 건설공사현장에서도 직접 재활용할 수 있도록 규정하고 있다. 그러나 건설폐기물을 수집/운반하여 중간처리업체에 반입한 후, 중간처리업체의 적정처리 시스템을 통하여 소각, 매립, 재활용되며, 366개(2004년 기준)에 달하는 중간처리업체의 처리량은 건설폐기물 95.9%를 차지한다.

폐콘크리트의 현장재활용은 이동식 콘크리트 파쇄기를 현장에 설치하여 골재를 파쇄하고, 그것을 성·복토 및 공사용도로의 노반재로 일부 현장에서 활용되고 있는 수준이다. 건설폐기물의 현장재활용은 순환골재의 사용처를 안정적으로 확보할 수 있어 건설폐기물의 실질적인 재활용률을 높일 수 있으며, 건설폐기물의 운반거리 감소에 따른 운송비용, 이산화탄소 발생량, 교통량 등을 감소할 수 있어 사회적, 환경적, 경제적으로 많은 효과를 기대할 수 있을 것이다.

2차년도 연구결과의 민감도 분석에 따르면 폐콘크리트의 현장재활용 비용은 현장내 운반거리, 차량속도, 폐콘크리트량에 따라 크게 영향을 받는다. 따라서 운반거리 감소, 차량속도의 증가, 폐콘크리트량의 증가는 현장재활용 비용을 크게 감소시킨다. 현장재활용 비용은 운반거리 및 차량속도에 상관없이 폐콘크리트량 5,000㎥초과 후 일정한 값으로 수렴되는 것을 알 수가 있으며, 폐콘크리트 발생지에서 현장 파쇄시설까지 거리 및 현장 파쇄시설에서 활용 장소까지 거리가 각각 2.5km를 넘어서면 "현장재활용" 비용의 단가가 중간처리업체 위탁 처리비용을 초과 하는 것을 알 수가 있다.([그림 2.9.1] 참조).




[그림 2.9.1] 현장재활용시의 경제성 판단 자료

이러한 효과에도 불구하고 건설공사현장에서의 건설폐기물의 재활용이 활성화되지 못하는 여러 가지 원인 중에 주된 이유는 건설폐기물의 용역을 분리 발주해야 하는 건설공사 현장의 경우, 공공기관은 건설폐기물을 실질적으로 현장에서 재활용할 수 없는 "건폐법" 규정, 현재의 현장파쇄시설 기술수준은 도로 보조기층용까지 생산이 가능하지만, 대부분 성토용 등의 단순용도로 많이 사용되고 있으므로 자원재활용의 고부가치화라는 정부정책의 기본원칙과 배치된다는 점, 현장에서 유해물질의 포함여부 관리가 제대로 이행되지 않아 부적절하게 재활용될 경우 2차적인 환경오염과 구조물의 성능저하를 발생시킬 소지가 있다는 점, 그리고 도시 내에서 현장재활용을 할 경우 현장파쇄시설에서 나오는 소음 및 분진에 의한 민원 발생을 들 수가 있다.

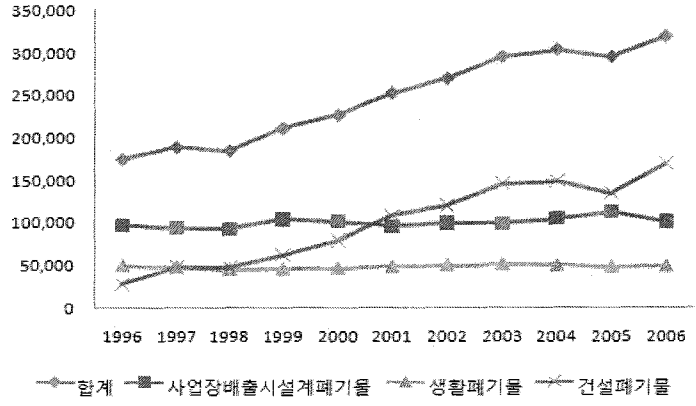
따라서 현 기술수준에서 건설폐기물의 현장재활용은 경제성뿐만 아니라 현장의 규모, 현장의 골재수요 유무, 순환골재의 현장 생산용지 및 생산된 골재를 장기간 적치할 여유부지의 확보유무 등을 설계 및 계획단계에서 고려하여 결정할 수 있는 시스템이 정비 되어야 한다. 또한 소음, 진동, 분진 등 현장생산에 수반되는 사회 · 환경 · 경제적 문제점의 해결도 향후 기술적인 숙제라고 할 수 있다.

(1) 국내 시장 규모 및 향후 전망

국내에서는 급격한 경제적 발전과 사회적 변화에 따라 구조물에 대한 기능적 요구도 증가하여 구조적인 수명에 의하기보다는 경제적, 환경적 요인이 복합적으로

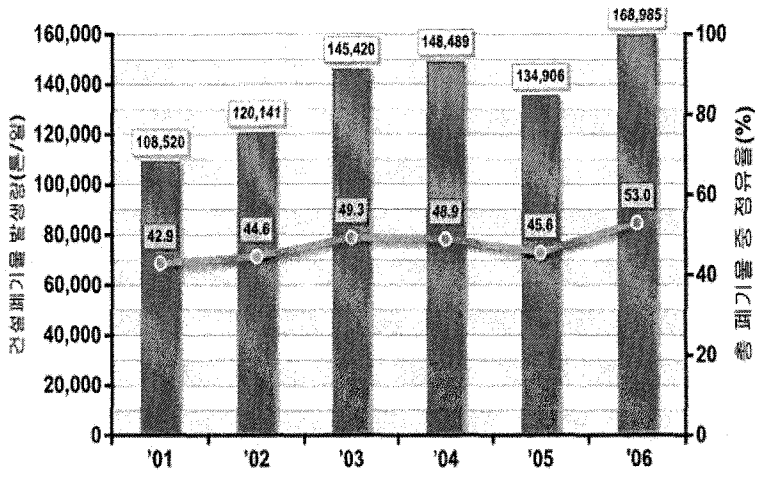
작용하여 해체가 조기에 이루어지는 경우가 빈번하고 주택재개발사업 및 주거환경 개선사업이 활성화되면서 폐기물의 발생량은 2002년 269,548톤/일에서 2004년 303,514톤/일, 2006년에는 318,928톤/일로 해마다 큰 폭으로 증가하고 있다. 이 중 2006년 건설폐기물은 53%로 년 168,985톤/일로 사업장배출시설계폐기물 31.7%, 생활폐기물 15.3%보다 절반 이상의 큰 구성 비율을 차지하고 있다. 이는 단시간 내에 많은 수의 건축물을 지어 보급하고자 했던 당시의 정책에 상응하여 빠른 노후화가 진행되고 있기 때문이다. 노후화된 건축물의 철거와 사회기반시설 확충공사 등의 수많은 도시재개발 사업이 폭 넓게 진행됨에 따라 토사, 폐콘크리트, 폐아스팔트 콘크리트, 폐목재, 폐금속류 등 많은 양의 건설폐기물이 발생하고 있음을 나타내는 결과라 할 수 있다.

환경부의 [전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2007]에서 보면 2001년에서 2006년 현재까지 6년 간 전국에서 발생되는 폐기물 발생량 변화 추이는 [그림2.9.2]와 같다.




[그림 2.9.2] 폐기물 발생량 변화 추이

[그림2.9.3]에서와 같이 가장 급격한 증가를 보이는 건설폐기물의 발생량은 사업장배출시설계폐기물과 생활폐기물 보다 발생량 증가의 폭이 큰 것을 알 수 있다. 2005년도 건설폐기물 발생량은 129,572톤/일이며, 전년도 148,489톤/일에 대비 12.7% 감소하였으나, 2006년도 발생량은 168,985톤/일이며, 2005년 대비 30.4%가 증가하였다. 또한 배출자 신고자수가 전년(89,301개소/년) 대비 금년(103,753개소/년) 16.1%가 증가하였다.




[그림2.9.3] 건설폐기물 발생량 및 점유율

건설폐기물 성상현황 중 2001~2004년까지의 가연성 및 불연성으로 나뉘었으나, 2005년부터 『건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률』에 의거 건설폐기물 성상 분류 기준이 변경되어 <표 2.9.1>과 같이 나타났다. 2006년도의 건설폐기물의 성상은 건설폐재류 78.7%. 가연성 1.6%, 비가연성 0.3%, 건설폐토석 5.2%, 혼합건설폐기물 14.2%이며, 폐콘크리트가 전체 65.3%로 가장 큰 비중을 차지하고 있다.

연도별 건축허가현황과 지역별 주택건설 실적은 2003년에 비해 2004년과 2005년은 건축허가현황과 주택건설실적이 줄었지만 2006년 건설폐기물 발생량이 30%정도 증가하여 건축허가현황과 주택건설실적 발생량은 늘어날 것으로 판단된다.

한국건설기술연구원의 「건설현장쓰레기 관리기법 개발, 1995」에 의하면 건설업체의 수주금액이 2010년 이후로 일백조원을 넘을 것으로 예상하고 있다. 이에 따라 건설폐기물의 발생량도 지속적으로 증가할 것으로 예상하고 있다. 이 결과를 대한건설협회와 환경부가 발표한 현재의 실적과 비교하면 <표 2.9.2>와 같으며, 수주금액은 2003년에 이미 백조원을 넘어 2007년에 120조원에 달하고 있으며, 발생량 또한 2006년에 6천만톤 이상 발생한 것을 알 수 있다.

<표2.9.1> 건설폐기물 성상현황(2005~2006년)

| 구 분 | | 2005년 | 2006년 |
|---|---|---|---|
| 총 계 | | 134,906 | 168,985 |
| 건설폐재류 | 소 계 | 94,303 | 132,955 |
| | 폐콘크리트 | 78,506 | 110,296 |
| | 폐아스콘 | 15,384 | 21,674 |
| | 기 타 | 413 | 985 |
| 가연성 건설폐기물 | 소 계 | 4,729 | 2,737 |
| | 폐 목 재 | 3,697 | 1,772 |
| | 폐합성수지 | 1,009 | 947 |
| | 기 타 | 23 | 18 |
| 비가연성 건설폐기물 | 소 계 | 497 | 487 |
| | 건설오니 | 399 | 473 |
| | 기 타 | 98 | 14 |
| 건설폐토석 | | 6,806 | 8,817 |
| 혼합건설폐기물 | | 28,571 | 23,991 |

<표 2.9.2> 건설업체의 연도별 수주금액 및 건설폐기물 발생량

| 구 분 | 예측량 | | 실제 발생량 | |
|---|---|---|---|---|
| | 수주금액 (10억원/년) | 건설폐기물 발생량 평균 (백만톤/년, 토사미포함) | 수주금액 (10억원/년) | 건설폐기물 발생량 평균 (백만톤/년) |
| 2002년 | 66,858.53 | 52.7 | 83,149.2 | 43.8 |
| 2003년 | 70,602.61 | 55.7 | 102,447.8 | 53.1 |
| 2004년 | 74,556.36 | 58.8 | 94,572.3 | 54.2 |
| 2005년 | 78,731.51 | 62.1 | 99,384.0 | 47.3 |
| 2006년 | 83,140.48 | 65.6 | 107,318.4 | 61.7 |
| 2007년 | 87,796.35 | 69.2 | 127,911.8 | - |
| 2008년 | 92,712.64 | 73.1 | - | - |
| 2009년 | 97,904.87 | 77.2 | - | - |
| 2010년 | 103,387.54 | 81.5 | - | - |

(2) 국내 주요 관련업체

본 연구와 관련된 주요 건설폐기물의 처리 및 재활용 업체의 현황을 살펴보면 <표 2.9.3>과 같다.

<표 2.9.3> 국내 주요 재활용 관련업체 현황

| 업체명 | 업체별 능력 | 비 고 |
|---|---|---|
| 인선ENT(주) | 수처리 방식, 신기술 보유(폭기수조를 활용한 분리) | 생산업체 |
| (주)오성개발 | 골재의 입형개선 및 이물질 선별 시스템 | 〃 |
| 삼표산업 (주) | 건설폐기물 재생골재의 이물질 제거 및 세척장치 | 〃 |
| 청경그린산업 (주) | 재생골재 제조시스템의 이물질 제거장치 | 〃 |
| (주)세영 | 건설폐기물을 이용한 청정 재생골재 생산용 이물질 자동 분리제거 장치 | 〃 |
| 금강환경산업(주) | 건설폐기물에서 1차 선별된 재생골재 재활용을 위한 이물질 처리시설 | 〃 |
| 천지환경(주) | 재생골재를 위한 건설폐기물 이물질 선별장치 | 〃 |
| 신잔토개발 | 건설폐재류의 와류인 방식 선별 세척장치 및 그 방법 | 〃 |
| (주)청석티알씨 | 건설폐기물의 재활용 처리방법 | 〃 |
| 풍전 | 습식공정을 이용한 건설폐기물 재활용 방법 및 장치 | 〃 |
| 신텍 | 다중 원형선별기와 가변식 진동호퍼가 탑재된 트레일러를 이용한 폐기물의 현장처리방법과 그 장치 | 〃 |
| 삼홍종합환경 | 고품질의 재생골재 생산을 위한 가공방법 및 그 처리장치 | 〃 |
| 하나환경산업(주) | 재생골재의 세척 선별장치 | 〃 |
| (주)송림환경 | 재생골재 선별장치 | 〃 |
| 삼표산업(주) | 건설 폐기물 토사의 이물질 선별장치 | 〃 |
| 성인건기 | 건설폐기물의 분리재생장치 | 〃 |
| 성안산업개발(주) | 골재제조방법 및 장치 | 〃 |
| (주) 광산기공 | 골재파쇄 및 입형개선, 다종모래 제조(분급, 탈수) | 〃 |
| 거산기계 | 폐콘리크 및 재생골재를 이용한 모래 제조방법 및 그 장치 | 〃 |
| (주)선양 | 건설오니, 처리시설에서 발생된 액상 물질 처리시설 등 | 〃 |
| 광산기공 | 석산개발용 플랜트 설계, 제작 능력보유 | 장치업체 |
| 삼영플랜트 | 석산개발용 플랜트, 건설폐기물 재활용 플랜트 외 아스팔트 재생 플랜트 설계, 제작능력 보유 | 〃 |
| 경동기계 | 석산개발용 플랜트, 건설폐기물 재활용 플랜트 설계, 제작능력보유 | 〃 |
| 에이스패널 | 콘크리트 칸막이재 생산기술 보유 | 제품생산 |
| 삼우엔지니어링 | 샌드위치패널 생산기술 보유 | 〃 |
| 한솔홈데코 | MDF를 제조하는 대표적인 업체 연간 35㎥생산 능력보유 | 〃 |
| 텍템코리아 | 목모보드를 수입하여 판매하는 업체, 연간100~150억 수입/판매 | 〃 |
| 엘씨엠 | 목모보드의 국내최초 제조 판매, 연간생산능력 400만㎥ | 〃 |
| 한국환경자원공사 | 국가적 노력에 의한 폐기물 적법처리 입증정보시스템을 운영, 최근 건설폐기물 정보시스템을 구축 중 | 〃 |

(3) 국내전문가 및 연구기관 현황

건설폐기물의 원단위 및 현장재활용과 관련된 국내 전문가 현황은 <표 2.9.4>와 같다. 국내 인프라 수준은 다소 미흡한 수준이다.

<표 2.9.4> 국내 주요전문가 현황

| 항목 | 전문가 | 소속기관 | 기술개발현황 | 수준 (국외대비) |
|---|---|---|---|---|
| 건설폐기물 원단위 | 정하익 | 건설기술연구원 | 실측조사를 통한 건설폐기물 원단위 산정 | 70% |
| | 이희선 | 한국환경정책 평가연구원 | 간접조사를 통한 건설폐기물 원단위 산정 | 50% |
| | 정재천 | 서울시정 개발연구원 | 간접조사를 통한 건설폐기물 원단위 산정 | 50% |
| 현장재활용 | 배재근 | 아태환경 경영연구원 | 간접조사를 통한 건설폐기물 원단위 산정 | 50% |
| | 김창학 | 진주산업대학교 | 폐콘크리트 현장재활용 경제성 분석 | 50% |
| | 김진철 | 한국도로공사 | 고속도로 폐콘크리트 현장재활용 적용 | 50% |

국내 기술개발 수준은 <표 2.9.5>와 같이 정리할 수 있으며, 국외 수준 대비 아직 기술적으로 많이 부족한 실정이며, 이에 대한 꾸준한 연구가 요구되고 있다.

<표 2.9.5> 국내 기술개발 수준

| 항목 | 전문가 | 소속기관 | 기술개발현황 |
|---|---|---|---|
| 건설폐기물 처리 및 재활용 정책 및 시스템 등 인프라 구축 | 건설폐기물 처리 및 재활용 제도, 기준 및 정책이 국가기준으로 정비되어 있음.(유럽연합, 일본) | 건설폐기물 처리 및 재활용 제도 및 정책의 정비를 위한 국가차원의 지원이 시작됨.(대한주택공사, 건설기술연구원) | 60 |
| | 현장여건에 따라서 건설폐기물의 중간처리 및 현장재활용 처리 공정이 종합적인 체계가 정비되어 있음.(일본, 유럽). 그러나 현재는 대규모 택지개발 및 재개발 현장이 없어 현장재활용은 활성화 되지 못함. | 대규모 택지개발 및 재개발 지구에서 건설폐기물의 현장재활용은 공정은 수립되어 있지만 종합적이고 체계적이지 못하며, 건설폐기물의 대부분 중간처리업체로 반입되어 처리됨 | 50 |
| 건설폐기물 원단위 지표 | 분별해체에 의한 건축구조물 타입별 용도별 및 토목구조물의 건설폐기물 원단위가 잘 구축됨(일본, 유럽 등). | 건설폐기물 원단위 산정 (7건) 등이 있으나 종합적이고 체계적이지 못함.(대한주택공사, 건설기술연구원, 시정개발연구원 등) | 70 |

## 나. 국외기술동향

(1) 미 국

건설폐기물의 톤당 처리비가 $50을 상회하는 지방이 급격하게 증가하고 있으며, 이러한 성향은 연방정부와 비영리단체들이나 이익집단에서 주도하고 있다. 연방정부는 노후건물의 분별해체를 적극 유도하고 있다. 미국의 경우 재활용에 대한 연구 및 시공실적이 활발하여 폐콘크리트를 콘크리트 포장, 빈배합 콘크리트, 기층, 노반재 등 다양한 도로용 재료로 재활용한 실적이 있으며, 기존 도로의 재활용을 위한 파쇄, 재포장 기술 등을 보유하고 있음. 또한 FHWA에서는 콘크리트 포장의 재활용 시범사업을 1980년대 초, 중반에 시행하여 성공적인 결과를 도출함으로써 폐기물 처리에 따른 환경문제의 발생억제 및 골재구입비의 저감 등 괄목할 만한 성과를 거두고 있다.

미국의 콘크리트용 골재 관련 규격으로는 ASTM C 33(Standard Specification for Concrete)가 있으며, 이 규격에서 잔골재는 천연모래, 제조모래 및 이들의 혼합물로 규정하고 있으며, 굵은골재는 자갈, 부순자갈, 부순물, 공냉고로슬래그, 부순콘크리트 및 그들의 혼합물로 규정하고 있다. ASTM C 125(Standard Relating to Concrete and Concrete Aggregate)는 콘크리트와 골재에 대한 용어의 정의에 대한 규격으로, 이 규격에 의하면 제조모래는 암석, 자갈, 제철고로슬래그 또는 수경시멘트콘크리트를 파쇄해서 제조한 잔골재로 정의되어 있다. 레디믹스트 콘크리트에 대한 규격인 ASTM C 94에서는 콘크리트의 제조에 사용되는 골재의 조건으로 ASTM C 33에 따르도록 하고 있다. 따라서 순환잔골재 및 순환굵은골재 모두 콘크리트의 제조에 이용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

(2) 일 본

일본의 건설폐기물 발생량은 2003년에 약 7,500만톤정도 발생했으며, 2010년도에는 9,800만톤정도 발생할 것으로 예측되었으며, 건축물 해체에 의한 건설폐기물 발생량은 2010년도에는 2000년도와 비교해서 55% 급증할 것으로 예상된다. 급증하는 건설폐기물을 대처하기 위하여 일본은 2000년에 "순환형 사회형성기본법" 및 2001년 "건설리사이클법 기본방침을 제정하였다. 그 내용은 배출억제, 일정규

모 이상의 공사를 대상으로 건설폐기물의 분별해체를 의무화 및 특정건설폐자재를 구체적으로 분류하여 재자원화를 추진하였다. 건설리사이클 추진계획 2002 개요는 폐콘크리트류 98%, 폐아스콘 99% 폐목재 89%, 건설오니 69% 등 실질적인 재자원화 목표를 설정하여 추진하여 만족스러운 결과를 보고 있다.

(3) 영 국

연간 약 5,300만 톤 정도의 건설폐기물이 발생하고 있으며, 이중에서 비활성 폐기물 2,400만 톤이 재활용되고 있다. 영국에서는 건설폐기물을 혼합폐기물로 매립할 경우에는 톤당 11파운드의 세금을 지불해야 하지만, 혼합되지 않은 일반 폐기물은 톤당 2파운드로서 혼합폐기물이 6배의 세금을 더 지불하도록 함으로써 자원의 재생과 재활용률을 높이도록 유도하고 있으며, 1996년에는 매립세(landfill tax)를 도입함으로써 정치식 또는 이동식 파쇄장치와 재활용 장비가 급격히 증가하는데 일조하였으며, 이를 통하여 1994년에 100개이던 재활용 전문업체 수는 1999년에는 400개로 급격히 증가하였으며, 약 3백 만 톤의 건설부산물이 매년 재활용되고 있다.

BS 6543(Use of industrial by-products and waste material in building and civil engineering)에서는 도로와 건축에서 파쇄폐기물과 다른 폐기물을 사용하는 방법을 설정하였다. 2002년 새롭게 제정된 BS 8500 (Concrete-Complementary Brish Standard to BS EN 206-1)은 기존의 BS 5328과 BS EN 206-1 등을 통합한 콘크리트에 대한 총체적 규준이다. BS 8500에서는 재생골재를 「RA(Recycled Aggregates)」와 「RCA(Recycled Concrete Aggregates)」로 구분하고 있다.

(4) 유럽의 통일규정

EU에서는 매년 1억8천만톤, 1인당 480kg 정도의 건설폐기물이 발생하고 있으며 이중 28%만이 재활용되고 있다. 건설폐기물의 80%는 주로 독일, 영국, 프랑스, 이탈리아, 스페인 등에서 발생하고 있으며 재활용되는 건설폐기물의 총량은 총 골재 사용량의 1/5 수준인 것으로 알려져 있다.

오스트리아, 덴마크, 독일, 네덜란드 등에서 건설폐기물의 재활용에 대한 표준과 기준에 제정되고 있으며 이러한 기준들의 근간을 이루는 건설폐기물의 재이용과 재활용에 국제표준은 다음과 같다.

- RILEM TC 121-DRG : Specification for concrete with recycled aggregates. Materials and Structures.(1994)
- CEN TC-154 Ad Hoc group for recycled aggregates.

(5) 독 일

독일에서는 1, 2차 세계대전으로 발생한 구조물 잔재의 효율적인 이용을 위하여 파쇄벽돌을 효율적인 이용을 위하여 파쇄벽돌로 만든 콘크리트의 생산과 사용에 대한 지침(DIN4163)을 만들어 1945년부터 1955년까지 많은 양의 파쇄벽돌 재생콘크리트를 만드는데 적용하였다.

매년 약 4,500만 톤의 해체폐기물이 발생하고 있으며, 이중 콘크리트가 25%, 벽돌 및 석재가 50%이다. 1991~1999년 사이에는 분별해체를 시행하기 위한 사례연구가 수차례 진행하여 해체과정에서 발생하는 폐기물의 95%가 재사용 또는 재생될 수 있다고 발표하였다. 최근의 연구는 97%의 재활용률 달성시기를 앞당기기 위한 분별해체 기술 및 장비에 대해 집중 연구를 실시하고 있으며, 프랑스와의 공동연구를 통해 분별해체의 경제성과 기술적 측면을 망라한 분별해체 프로세스를 지원하는 전산시스템의 개발을 진행하고 있다. 또한 19개동의 해체건물에서 발생한 건설폐자재의 조성비율을 조사하여 건설폐자재에는 폐콘크리트 이외에 40% 정도의 벽돌블록, 3% 정도의 불순물이 포함되어 있다고 보고하였다.

현재는 파쇄벽돌로 만든 재생콘크리트가 경량콘크리트로 분류하기에는 단위용적중량이 너무 크고 보통콘크리트로 사용하기에는 압축강도와 탄성계수가 낮아 사용을 허용하지 않고 있다. 그러나 DIN 4163의 규정으로 최대강도 300kg/㎠의 콘크리트를 제조할 수 있어 독일연방정부는 재생콘크리트에 대한 규준 작성과 그 사용을 추진하고 있다.

(6) 네덜란드

네덜란드에서는 CUR(Commissie vor Uitvoering van Research ingesteld door de Vetonvereniging)에서 재생골재를 이용하여 보통콘크리트, 철근콘크리트, 프리스트레스트콘크리트를 제조하는 표준시방서를 작성하였다. 이 규준에 의하면 사용되는 골재의 총량에서 재생골재가 20% 이상 차지하면 이 시방서가 적용이 되고 20% 이하이면 적용되지 않도록 정하고 있어 건설업자들에게 재생골재를 사용

할 수 있도록 유도하고 있으며, 이러한 내용들은 1986년 New Dutch concrete-code에 포함되어 실질적으로 사용되고 있다.

## 다. 기술동향 분석 결론

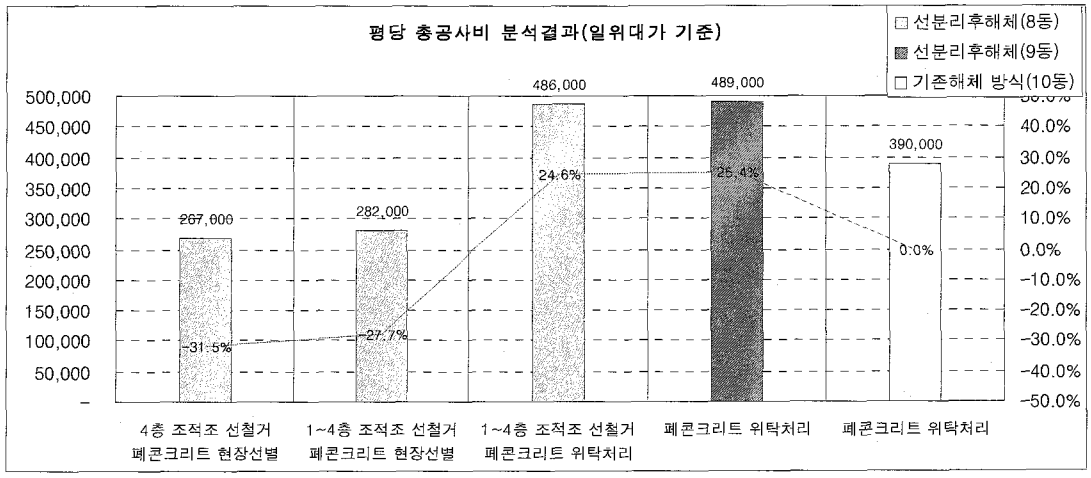
앞에서 기술동향에서 언급한 바와 같이 건설부산물의 정확한 발생량 예측을 통한 재활용방안 강구에 가장 필요한 각종 원단위 기준들은 어느 정도 정립이 되어 있다. 그러나 원단위 기준은 실제 현장에서 발생되는 성상에 맞는 조건으로 산출이 가능하도록 각 잔재별 현장에서의 실제 회수율, 잔재별 체적환산계수, 중량환산계수를 정립하여 세밀하고 통일된 기준을 정립하고, 이것은 다시 현장검증 및 샘플시공을 통하여 보정하여 제시할 필요가 있다.

건설폐기물의 현장재활용을 활성화하기 위해서는 현 기술수준에서 건설폐기물의 현장재활용은 경제성뿐만 아니라 현장의 규모, 현장의 골재수요 유무, 순환골재의 현장 생산용지 및 생산된 골재를 장기간 적치할 여유부지의 확보유무 등을 설계 및 계획단계에서 고려하여 결정할 수 있는 종합적인 시스템이 정비 되어야 하며, 현장파쇄시설에서 나오는 소음, 진동, 분진 등 현장생산에 수반되는 사회·환경·경제적 문제점의 해결도 향후 기술적인 숙제라고 할 수 있다

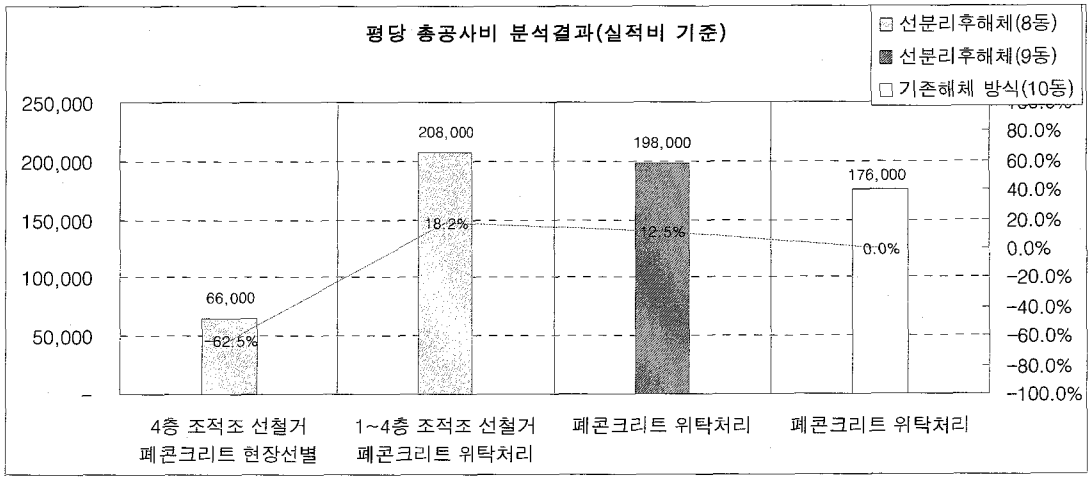
## 2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발

### 가. 국내 기술 동향

건설부산물이 발생되는 해체단계에서부터의 분리선별을 통한 잔재별 회수 및 활용성을 향상하기 위한 방편중의 하나로서 근래 들어 새롭게 추구하고 있는 시책이 분별해체이다. 분리·선별에 의한 구조물해체의 필요성은 2000년 5월 입법화된 일본의 "건설리싸이클링법"에서 분별해체를 의무화함으로써 촉발되었으며, 우리나라에서는 2002년 이후 추진된 "건설폐기물 리사이클의 품질기준 및 촉진방안"('02.9) 등의 건교부 및 환경부의 국책연구 보고서에서 그 필요성을 구체적으로 제안하기 시작하였다. 이후 추진된 건교부의 국책연구인 "건설부산물 재활용 방안 연구"('03 .11)에서는 일본의 건설리싸이클링법을 참고하여 "시설물 분별해체 공사지침(안)"을 작성하여 처음으로 제안하였다. 건교부는 상기의 지침(안)을 토대로 대한주택공사, 한국건설기술연구원의 검토를 거쳐 "시설물 분별해체 요령(안)"을 마련하여 2004년 10월에 전국적으로 배포하였다. 이를 토대로 대한주택공사는 건교부 국책연구인 "공동주택 철거잔재의 활용성 향상을 위한 해체기술 및 시스템 개발"('04.12) 연구과정에서 국내 최초로 4층의 공동주택 2개동을 대상으로 분별해체 시험시공을 실시하고 그에 따른 각종 성과를 분석하여 기존 공법대비 경제성 등의 결과를 제안하였다. 분별해체를 시행하였을 때 일본은 총 해체 및 폐기비용이 약 0.5%상승하고, 독일 등 유럽은 대부분의 경우에서 감소하는데 비하여 우리나라에서 시험시공을 실시한 저층의 공동주택에서는 약 17 ~ 28%정도 총 해체 및 폐기비용이 상승하는 것으로 나타나고 있다.




(a) 표준품셈 기준

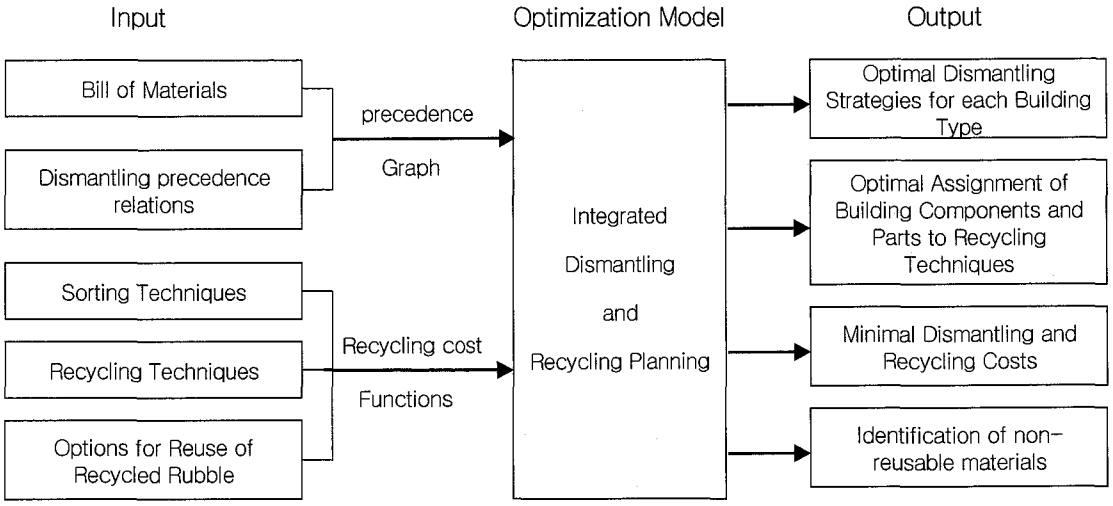



(b) 실행단가 기준

[그림 2.9.4] 우리나라의 분별해체 시험시공 결과에 따른 경제성 분석 결과(공동주택)

## 나. 국외 기술동향

선진 외국의 경우에 일본과 같이 분별해체를 의무화하고 있는 국가도 있는 반면에 의무화 시행 없이도 분별해체가 일상화 된 경우가 많다. 또한 분별해체의 실행 및 건설폐기물의 재활용이 용이하도록 국가실정에 맞는 해체공사 관련 기술개발 및 합리적 체계개선을 통하여 매립처분율을 "Zero(0)"로 계획하는 등 재활용을 극대화하는 노력을 계속하고 있다.




[그림 2.9.5] 歐美의 통합해체공사 시스템 일례
(자료) Demolition and Refuse of Concrete and Masonry, 1993.10

일례로 유럽에서는 해체공사를 위한 의사결정 시스템을 [그림 2.9.5]와 같이 체계적으로 유지하여 해체공사의 계획부터 처리단계까지 일관된 형태를 유지할 수 있는 합리적인 시스템을 구축하고 있다.
주요 국가별 분별해체 시행현황을 정리하면 다음과 같다.

(1) 일 본

2000년 5월에 건설리사이클링법을 제정하여 특정 건설자재를 이용한 건축물 등에 속한 해체공사 또는 그 시공에 특정 건설자재를 이용하는 신축공사 등 일정규모 이상의 건설공사에 대해서는 정해진 시공기준에 따라 콘크리트, 콘크리트 및 철근으로 구성된 건설자재, 목재, 아스팔트콘크리트(특정건설자재)를 현장에서 분별하는 것을 의무화시켰으며, 분별해체로 발생된 이들 특정한 건설폐기물에 대해서 재자원화를 의무화시켰다.

<표 2.9.6> 일본의 건설리사이클링법에 의한 분별해체 의무화 대상공사

| 공 사 종 류 | 규 모 기 준 |
|---|---|
| 건축물 해체 | 바닥면적 80m$^2$ |
| 건축물 신축 · 증축 | 바닥면적 500m$^2$ |
| 건축물 수선(리모델링) | 공사금액 1억엔 |
| 기타 공작물에 관한 공사(토목공사 등) | 공사금액 500만엔 |

(2) 독 일

독일에서는 매년 약 4,500만톤의 해체폐기물이 발생하고 있으며, 이중에서 콘크리트가 25%, 벽돌 및 석재가 50%를 이루고 있다. 1991년부터 1999년 사이에는 분별해체를 시행하기 위한 사례연구가 지속 수행되었고, 이를 통하여 해체과정에서 발생하는 폐기물의 95%가 재사용될 수 있다고 발표하였다.
특히 최근의 연구는 97%의 재활용률 달성을 위한 공기단축이 가능한 분별해체 기술과 장비개발 연구에 집중하고 있고 독일, 프랑스와의 공동연구를 통해 분별해체의 경제성과 기술적 측면을 모두 망라한 분별해체 프로세스를 지원하는 전산시스템의 개발을 진행하고 있다.

(3) 호 주

호주에서는 매년 약 1,400만톤 정도의 폐기물이 발생하고 있으며, 이중 신축과 해체공사로 발생하는 폐기물의 비율은 약 16 ~ 40% 정도이다. 주거용 건물의 분별해체과정에서는 자재의 50 ~ 80%가 재생용으로 수거되고 있으며, 이들은 특정한 처리과정이 없이 직접 재사용되고 있다. 그러나 상업용 건물은 이보다 재생률이 낮아 약 69%가 재처리된 후 재사용되고 있음. 또한 콘크리트잔재의 80%가 재생골재로 활용되고 있으며, 주거용 건물의 해체과정에서 발생된 재사용 비율은 다음 표와 같다.

<표 2.9.7> 호주에서의 주거용 건물의 분리해체 후 재사용 비율 (단위 : 중량비, %)

| 폐기물 종류 | 벽돌 | 목재 | 강재 | 문 | 창문 | 지붕 | 바닥재 | 지붕 타일 | 배관 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 재사용 비율 | 77 | 79 | 78 | 71 | 73 | 88 | 78 | 50 | 73 |

(4) 네덜란드

네덜란드는 연간 1,400만톤의 건설폐기물이 발생하고 있다. 이러한 폐기물의 약 80%는 여타 다른 건설공사에 재이용 되도록 하는 매우 엄격한 규정을 시행하고 있으며, 거의 대부분은 도로의 노반재로서 활용되고 있다. 정부는 1997년 3월에 재생 가능한 건축폐기물의 폐기를 절대 금지하는 법률을 처음 제정하여 발표하면서 자원의 재활용률을 급격하게 높이는 계기가 되었다. 우리나라와 매립지 여건이 비슷하고, 다른 어느 나라 보다 분별해체에 대한 법규정이 체계화되어 있다.

(5) 노르웨이

연간 150만톤의 건설폐기물이 발생하고 있으며, 이들 중 해체과정에서 약 100만톤이 발생하고 있다. 노르웨이 정부는 재활용률을 70%까지 높이기 위한 노력을 지속 중에 있으며, 노르웨이 건축사협회(GAIA)는 분리해체를 고려한 설계기술을 개발 중에 있다. 또한 재생을 고려한 빌딩시스템(Building System for Reuse or BFO)을 목표로 설정하였는데, 이는 복합재의 사용을 없애고 가장 전통적이면서 단순한 재료를 사용하는 방법이다. 이러한 시스템(BFO)은 88개의 표준 목재와 콘크리트 제품을 조립할 수 있도록 구성함으로써 사용자가 쉽게 조립하고 해체할 수 있고, 또한 변경도 가능토록 하는 것이다.

(6) 영 국

영국에서는 연간 약 5,300만톤의 건설폐기물이 발생하고 있으며, 정책방향은 주로 세금부과를 통한 분별해체 및 재활용을 유도하는데 집중하고 있다. 즉, 건설폐기물을 혼합폐기물로 매립할 경우, 일반폐기물의 약 6배에 달하는 11파운드/톤의 세금을 지불하도록 하여 자원의 재생과 재활용률을 높이고 있다. 1996년에는 매립세를 도입하여 1994년에 100개이던 재활용 전문업체가 1999년에는 400개로 급증하였고, 이에 따라 건설폐기물의 재활용률도 증가하고 있다.

(7) 미 국

미국에서는 건설폐기물의 톤당 처리비가 $50을 상회하는 지방이 급격하게 증가하고 있으며, 이러한 성향은 연방정부와 비영리단체들이나 이익집단에서 주도

하고 있다. 연방정부는 노후건물의 해체 시에는 분별해체를 적극적으로 유도하고 있으며, 플로리다 주립대학의 건설환경센타를 중심으로 분별해체에 대한 연구를 지속적으로 수행해오고 있다.

<표 2.9.8> 미국의 분별해체 사례조사 결과

| 위 치 | 사 례 조 사 | 재 생 율(%) |
|---|---|---|
| San Francisco | Presidio | 87 |
| Fort McCoy | U.S. Army barracks | 85 |
| San Diego | U.S. Navy Motor Pool building | 84 |
| Marina | Fort Ord | 80~90 |
| Twin City | Army ammunition plant | 60~80 |
| Baltimore | Four unit residential housing | 76 |
| Port of Oakland | Warehouse | 70 |
| Minneapolis | Residential building | 50~75 |

## 다. 기술동향 분석 결론

앞의 기술동향에서 언급한 바와 같이 국내에서 분리·선별에 의한 해체공사의 필요성이 대두되기 시작한 것은 2002년부터이며, 이후 관련법이 제·개정되어 그 당위성은 충분히 마련되어 있지만, 실제 공사를 수행하는데 필요한 세부지침이나 요소기술의 개발은 이에 미치지 못하고 있는 상황이다. 다행히, 대한주택공사에서 2004년 완료한 연구의 결과로 공동주택에 대한 분리·선별 기술은 일정 수준 제안되었다고 볼 수 있지만, 이외의 구조물에 대한 기술 개발은 전혀 시도되지 않은 상황에 있어 동 기술의 조기 정착을 위해서는 이에 대한 기술 개발이 시급한 상황이다. 선진외국의 경우 일본과 같이 분별해체의 실행을 법적으로 의무화한 국가가 있는 반면, 영국, 미국 등과 같이 분별해체 미 이행시의 세금부과, 발생폐기물의 재활용 업체에 대한 각종 인센티브 지급 등의 간접적인 방법을 이용하여 폐기물의 재활용률을 75~80% 수준까지 끌어올리고 있는 상황이다.

이러한 국내외 상황을 검토해 보면, 본 과제에서 제안코자 하는 분별해체에 의한 해체공사는 관련법의 정비와 실행지침의 마련도 필요하지만, 분별된 건설부산물의 종류별 재활용이 용이한 파생산업에 대한 정책적인 장려 및 지원이 필요하다 할 수 있다.

## 3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발

현재 발포폴리올레핀계 폐기물을 이용하여 Block type 고밀도 판넬을 제조하는 기술이 개발되어 있으며, 충격흡수 매트 등으로의 단순 용도개발이 진행되고 있는 실정이나, 원재료의 수급, 제품화, 시공장비 및 시공방법에 이르는 종합적인 연구는 없었으며 관련업계간 교류 및 여건이 성숙하지 않은 것으로 판단된다.

### 가. 국내 및 국외 관련기술 동향

(1) 국내기술동향

없음

(2) 국외기술동향

○ 유럽 / APP Dachgarten GmbH

· 배수지

· 놀이터 완충재

소수 기술선진국에서 유사기술을 개발하여 실용화단계에 접어들고 있음

(3) 기술동향 분석 결론

○ Polyolefin Foam 폐기물을 이용한 Block type 고밀도 판상 시트 개발 및 실용화

- 충격흡수 매트용으로 활용 중

현재까지 국내에서의 연구 활동이나 개발에 관한 활동 및 자료는 없으나 유럽을 중심으로 선진 기술사들이 제품생산 및 시공방법을 실용화하여 사용하고 있으며 그 적용처의 확대를 모색하고 있는 단계로 기술격차가 좁다.

# 제 10 절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용 기술 개발

## 1. 국내기술동향

폐목재는 건설현장에서 공사 후 남는 목재편과 콘크리트 형틀(거푸집)을 비롯하여 기존 건물의 해체 시 발생하는 문짝, 문틀과 같은 대형 폐재로서 제재공장 등에서 발생하는 수피, 톱밥, 기타 목재편이 포함된다.

이러한 폐목재는 자원과 에너지 절약의 관점에서 목질계 성형원료로서 재생이용이 가능한데 원래 삼림자원으로서 발열량도 높고 칼로리당 가격도 등유의 60%~70% 선에 머물고 있다.

과거에는 농업용, 원예용 등으로 대량 이용되었으나 근래 석유계 중심의 연료전환에 따라 점차 감소추세에 있다.

그러나 장차 삼림자원의 유효이용을 도모함으로서 고형원료의 생산과 수요개발에 노력하여야 할 시기가 도래하고 있으므로 우리나라도 이에 적극 부응하여야 할 것이다. 우리나라가 폐목재를 단순 연소시켜 열을 회수하거나 일부 목탄제조를 제외하면 특별한 재활용 기술이 없는 것과는 달리 일본의 경우는 폐목재 분말과 폐플라스틱류의 분말을 이용한 복합연료의 제조와 같은 다양한 방법으로 재활용하고 있는 실정이다.

### 가. 건설 폐목재의 재활용 기술 현황

일상생활에서 쉽사리 볼 수 있는 폐목재를 이용한 재자원화 방식의 대표적인 예를 들어보면 목질계 압축가공 연료제조, 활성탄 제조, 연료칩(chip) 생산공정 등이 있다.

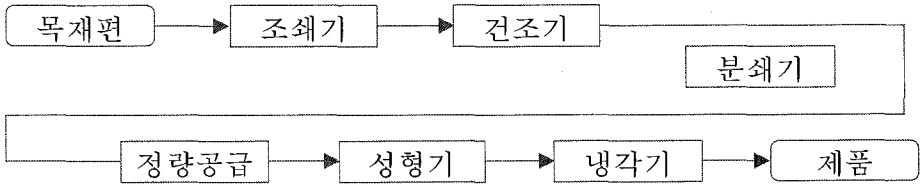
(1) 목질계 압축가공 연료 시스템

폐목재를 분쇄·압축·성형하여 연료제품을 만드는 것이다. 압축가공 연료의 특성은 다음과 같다.

- 비중 : 0.9~1.3

- 발열량 : 4,500~5,000㎉/kg
- 함수량 : 10% 전후
- 형상 : 6㎜(직경), 6~20㎜(길이)

압축가공 연료의 특성은 톱밥, 수피, 기타 목편 등 목질계 원료는 모두 사용이 가능하며 제품 함수율이 비교적 일정하므로 발열량도 안정하다는 점이다. [그림 2.10.1]은 압축가공 연료생산 공정을 나타낸 것이다.



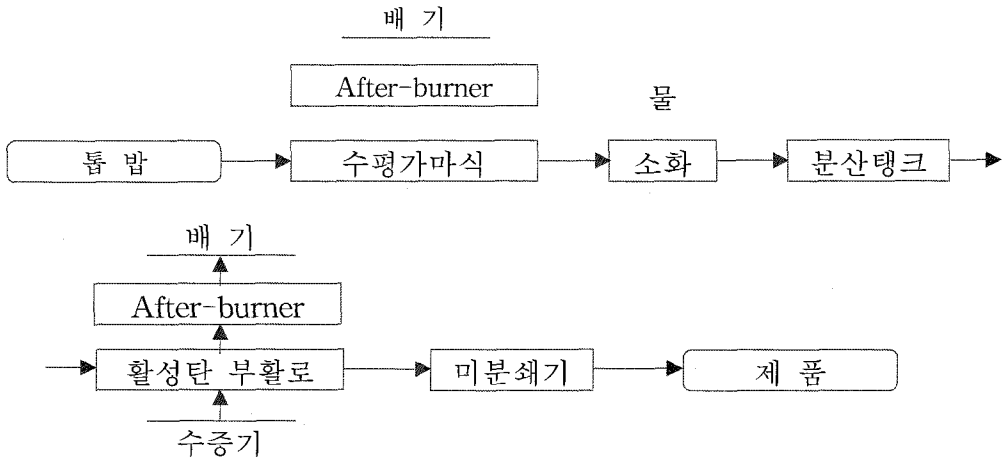

[그림 2.10.1] 압축가공 연료생산 공정

(2) 활성탄 제조공정

활성탄 제조공정은 폐목재를 저온으로 장시간 탄화하여 활성탄을 만드는 것이다. 탄화시간은 3~4일/pack, 탄화온도는 280℃~300℃, 활성탄 재생온도는 약 800℃이다. 활성탄 제조공정의 특징은 다음과 같다.

- 저온으로 장시간 탄화하여 톱밥의 중심부까지 균일하게 탄화시킬 수 있다.
- 수평 가마식 탄화로는 설비비가 저렴하지만 분진대책을 수립해야 할 필요가 있다.
- 제품의 수율이 높다.

[그림 2.10.2] 는 활성탄 제조공정의 흐름도를 나타낸 것이다.




[그림 2.10.2] 활성탄 제조공정의 흐름도

(3) 연료칩(Chip) 제조공정

연료칩 제조공정은 폐목재를 파쇄기로 잘게 파쇄하여 팔렛모양의 연료칩을 제조하는 공정이다.

이 공정의 특징은 다음과 같다.

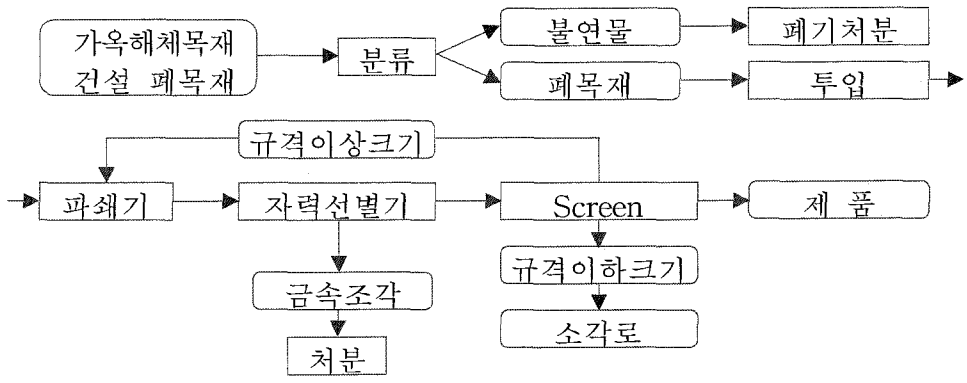
- 목재, 콘크리트 형틀, 문짝 등 대형 폐목재를 전처리 없이 투입이 가능하다.
- 고장이 적고 유지관리가 용이하다.
- 폐재의 분별은 수선별에 의한다.
- 공장입지는 집하거리를 고려하여 통상 50㎞ 이내에 설치한다.
- 단점으로는 폐목재의 비중이 0.2~0.3으로서 작기 때문에 넓은 장소가 필요하다.
- SOx, NOx 배출농도가 낮아서 특별한 대책이 불필요하다.
- 가옥 해체제가 주원료이므로 함수율이 낮다.
- 가옥 해체제는 다른 폐목재에 비하여 회분이 5~7배의 높은 비율이므로 회처분 시설이 필요하다.

연료칩(Chip)의 성상은 <표 2.10.1>과 같다.

<표 2.10.1> 연료칩의 성상

| 용적비중 | 함수율(%) | 재(%) | 칼로리(㎉/㎏) |
|---|---|---|---|
| 0.2~0.3 | 15~25 | 5~7 | 3,200~3,700 |

연료칩(Chip) 생산 공정은 [그림 2.10.3]과 같다.




[그림 2.10.3] 연료칩(Chip) 생산공정

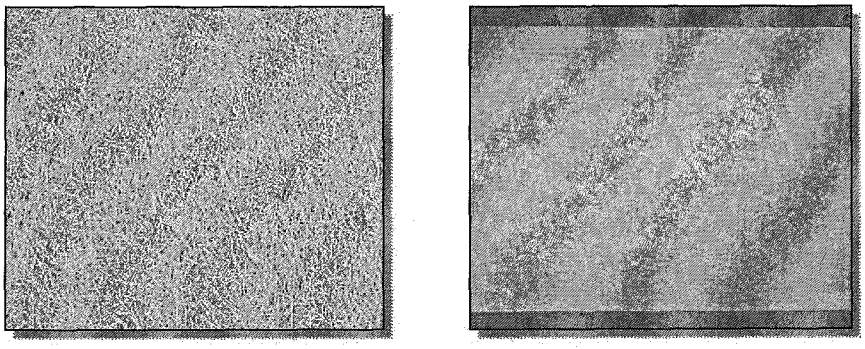
(4) 제지용 칩 원료로서 이용

제지용 칩은 예부터 폐가옥을 손으로 해체할 때 생성되는 양질의 각재 혹은 폐파렛, 포장재 조각 등의 이물질이 적게 함유된 것을 이용하여 제조하여 왔다. 그러나 최근의 해체목재는 활엽수와 침엽수가 섞여있고 페인트가 부착되어 있으며 방부가공을 한 폐목재가 있기 때문에 제지용으로 사용하는 것은 어렵다. 또한 품질규격이 엄격하기 때문에 취급을 거부하는 폐목재에 대해서는 많은 문제가 산적되어 있다.

그러므로 원료의 선별수집이 불가능할 때는 절삭칩 라인과 파쇄칩 라인을 병설하여 대응하는 것이 유리하다. 펄프용 칩 수요량은 매년 증가하고 있으나, 제지용으로 이용되고 있는 폐목재는 이중에 약 2%밖에 해당되지 않는다.

## 나. 목질계시멘트보드의 기술 현황

목질계시멘트보드는 목모, 목편, 목질섬유 등과 시멘트를 바인더로 혼합하여 성형한 보드이며, 각각 목모시멘트판(KS F 4720), 목편시멘트판(KS F 4030-폐지), 펄프시멘트판(KS F 4031)이라 부르고 있으며 일종의 시멘트 복합재료이다. 이들 보드는 투입되는 시멘트의 양에 따라 고밀도보드 및 저밀도 보드로 분류할 수 있으며 일반적인 특징은 목질재료가 지닌 우수한 가공성과 시멘트 재료가 지닌 불연성이 특성이며, 그 성질과 용도는 비중에 따라 차이가 있다.

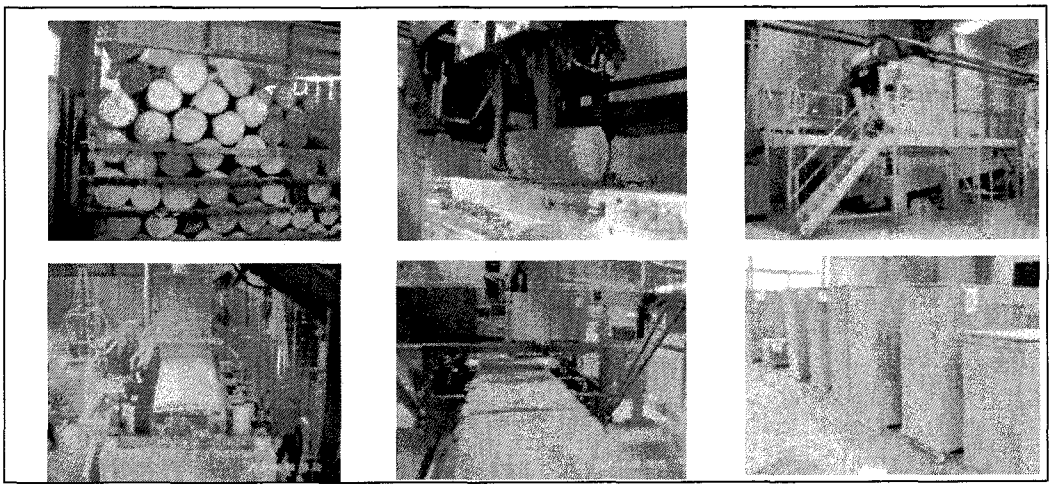


[그림 2.10.4] 저밀도(목모)보드(左)와 고밀도(목편)보드(右)의 형상

(1) 목모시멘트판

나무 섬유인 목모와 시멘트를 주원료로 혼합하여 압축성형한 판으로 목재를 세장하게 소편으로 한 목모와 시멘트를 중량비로 45:55로 혼합한 후 소량의 물과 경화촉진제를 혼합하여 박판상으로 압축 성형한다. 연소성에 따라 보통목모시멘트판과 난연목모시멘트판으로 구분된다. 목모는 칼날이 부착된 전자동 설비에 의해서 생산되며, 길이는 섬유방향으로 25~50㎝, 폭 0.7~3㎜, 두께 0.1~0.3㎜ 정도로 제조한다. 보통목모 시멘트판은 현재 거의 생산되지 않는다.

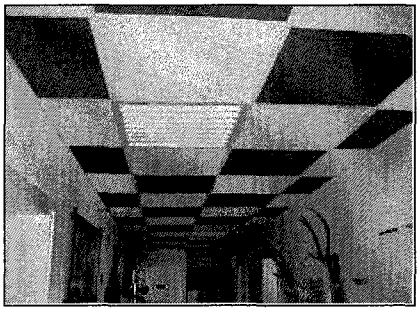
판의 크기로는 폭 60~120㎝, 길이 60~240㎝, 두께 15~100㎜ 정도의 다양한 조합으로 이루어지며 품질로는 판의 휨파괴 하중과 처짐 및 열저항(단열목모시멘트판의 경우)을 종류별 및 두께별로 따로 정하고 있다. 목모시멘트보드의 용도는 뛰어난 흡음과 단열효과가 있어 내벽 및 천장의 마감재, 극장·체육관·방송실 등 흡음을 요구하는 곳에 널리 적용며 발포폴리스티렌, 유리섬유, 우레탄등 다양한 단열재와 복합구조를 이루어 지붕의 단열재 및 건식경량벽체로 활용되고 있다. 또 방음벽, 비탈형 거푸집과 치장목적의 마감재로 사용되고 있다.

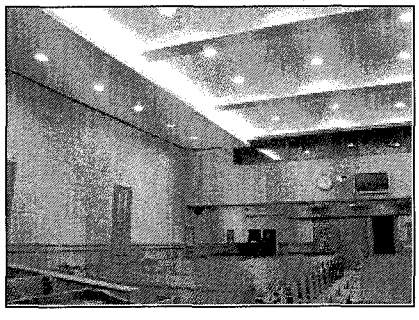


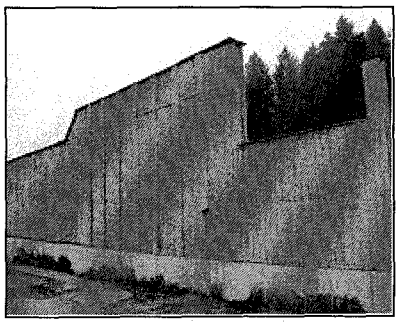
[그림 2.10.5] 원목을 이용한 목질계보드 생산공정

(2) 목편 시멘트판

나무조각인 목편과 시멘트를 주원료로 혼합하여 압축성형한 판으로서 종류는 부피비중과 철근에 의한 보강유무에 따라 경질목편 시멘트판(비중 0.8이상), 보통목편 시멘트판(비중 0.5이상, 0.8미만), 목편시멘트 철근보강판, 목편시멘트 마감보강판(판의 한면에 모르타르 마감)이 있다. 판의 크기로는 폭 45~90㎝, 길이 90~300㎝, 두께 1.2~8㎝간의 다양한 조합으로 이루어지며 품질로는 판의 휨파괴하중과 처짐 한도를 종류별 및 두께별 따로 정하고 있다. 이 판의 용도로는 단열 보온재 또는 칸막이판 등으로 사용되며, 철근보강판은 바닥이나 지붕을 만들 수 있다.





[그림 2.10.6] 목질계보드의 적용(천장재, 흡음마감재, 방음벽)

(3) 펄프시멘트판

시멘트, 펄프, 무기질 섬유재료, 펄라이트 및 무기질 혼합재를 주원료로 성형한 판으로 종류로는 비중에 따라 0.8판(비중 0.6이상 0.9미만), 10판(비중 0.9 이상 1.2 미만), 화장가공 유무에 따라 보통판, 화장판(표면에 인쇄, 도장 등 가공)이 있다. 판의 크기는 폭 45~121㎝에 길이 91~227㎝, 두께 6㎜, 8㎜의 다양한 조합으로 이루어지며 품질로는 휨파괴 하중, 내충격성, 흡수에 의한 길이 변화, 난연성을 종류별, 두께별로 다로 정하고 있다.

## 2. 국외기술동향

### 가. 일본

목재는 소재, 제재, 판재, 섬유, 연료 등의 다단계형 원료형태를 가지고 있으므로 리싸이클이 가능하다. 따라서 재자원화, 재활용율이 높으며 폐기물로서 생태계에 미치는 영향도 비교적 적다고 할 수 있다. 일본의 경우 건축물 등이 해체 후에 배출된 목재는 그대로 손상된 부분을 제거하여 재차 건축재로 이용하거나 혹은 신탄재 등으로 사용하고 있다. 목재공업의 경우에도 생산과정에서 발생되는 폐목재의 90% 이상이 목재칩, 보일러 등의 연료 또는 퇴비, 가축깔개 등으로 유효하게 활용하고 있으며 최종적으로 소각 혹은 폐기되는 폐목재량은 매우 적다.

일본에서는 폐목재를 「木くず」라 하며 배출주체에 따라서 다음과 같이 크게 분류된다.

폐목재 ┬ 산업폐기물 ─ 건설업과 관련된 것으로 공작물을 제거함에 따라 발생된 것
· 목재, 목제품의 제조업, 가구제조업, 펄프제조업, 입목재 판매업으로부터 발생한 것
예) 폐목재, 톱밥, 건물 해체시 폐목재, 베니어 등

└ 일반폐기물 ─ 상기 이외의 것
· 가정계 - 일반폐기물 예) 가구
· 사업계 - 일반폐기물 예) 파렛트, 포장재 등

폐목재를 포함한 폐기물의 처리와 자원화를 위하여 「재생자원이용촉진법(리사이클링법)-1991」,「개정폐기물 처리법(신폐기물처리법)-1997」, 「산업폐기물 시설정비법-1992」, 「에너지절약 ·재활용지원법-1993」,「용기포장재활용법-1995」등의 법이 제정되어 법적 기반이 정비되었다. 이러한 법 중 「재생자원이용촉진법」은 생산, 유통, 소비의 각 단계를 거꾸로 거슬러 올라가면서 재자원화의 촉진과 자원의 유효 이용을 도모하여 폐기물의 발생 억제와 환경보전을 목표로 하고 있다.「개정 폐기물법」은 폐기물의 배출억제, 분리, 보관, 수집, 운반, 처리 등의 사항을 보완하여 폐기물이 배출되기 이전부터의 관리를 목적으로 하고 있으며, 특히 폐기물 발생 시 발생량에 따른 처리비용의 부담체계를 정하는 등 적극적인 정책이라는 특성을 지니고 있다.「에너지절약 ·재활용지원법」은 재활용설비, 관련시설 등 특정 사업 활동에 대한 책무 보증 및 이자 지급과 과세특례에 대한 내용을 주로 다루고 있으며,「용기포장재활용법」은 소비자( 분별배출), 기초자치단체( 분별수거), 특정사업자( 재상품화) 의 역할분담을 명확히 하는데 목적이 있다.

(1) 목조주택 해체재의 처리 및 재활용 실태

목조주택의 해체작업은 최근까지 주로 인력에 의해서 이루어졌으나 고재(古材) 재활용의 감소와 인력부족 등으로 인하여 건설기계에 의한 기계해체가 점차 증가하고 있는 실정이다. 전체 해체작업 중 분별기계 해체가 전체의 65%를 차

지하고 있으며 인력해체는 27% 정도의 낮은 비율로 나타나 인력작업과 분별기계 해체작업이 겸용되고 있다.

인력작업은 폐목재와 다른 폐기물과의 분별이 확실히 이루어지기 때문에 단독 폐목재가 많이 발생하고 있기 때문에 혼합폐목재의 발생량은 비교적 적은 편이다.

따라서 건축물에서 발생한 폐목재를 이용하기 위해서는 분별해체가 전제조건이 된다. 그러나 현실은 이와 다르며 실제로 해체된 폐기물이 적정하게 처리되고 있는가에 관심을 가진 발주자도 거의 없는 실정이다. 따라서 이러한 문제를 방지하기 위해 「폐기물의 처리 및 청소에 관한 법률」의 제3조에 배출된 폐기물에 대하여 처리규정과 처벌에 관한 내용이 제도로서 정해져 있지만 실제로는 잘 지켜지고 있다고는 볼 수 없다.

이러한 상황에서 건축폐목재의 재자원화에 가장 많이 이용되고 있는 것은 폐목재 연료칩으로 석유파동 당시에 폐목재 보일러를 이용하는 공장에 의해 주로 이용되었지만, 원유가격이 하락 안정추세로 돌아서면서 연료칩을 이용하는 공장이 없어지고 있으며 보일러의 관리비용, 잔사처리, 칩 집하장 등을 위한 시설 및 비용의 증가와 더불어 석유 또는 가스로 전환하는 업체가 많아져 이용율이 급격히 떨어지고 있다. 따라서 해체업자를 대상으로 조사한 설문에 대한 응답도 재활용 증가를 위한 방법 등 수요 개발에 대한 부분이 많았고, 또한 문제점으로는 순수원료와 비교하여 가격과 품질의 열세, 석유가격의 정체현상에 따른 이용률 감소, 잔재의 처리등에 대한 문제점들을 보완해야 폐목재의 재활용성이 높아질 수 있는 것으로 조사되었다.

(2) 신축 폐목재의 처리 및 재활용실태

건설업자협회에서는 폐목재, 폐금속, 가연물, 불연물, 젖은 쓰레기 등의 5종류에 대하여 회수용기를 표시하는 등 통일적인 디자인을 정하여 전국적인 보급에 노력하고 있지만 실제 건축현장에서는 분별수집이 제대로 이루어지지 않는 곳이 많기 때문에 다양한 폐기물이 동일개소에 혼합 폐기되고 있는 경우가 많다. 이와 같은 폐기물을 수집·운반업자에 위탁하면 현장에서 직접선별을 하든지, 혹은 중간처리장에서 선별처리 하게 되지만, 이때에는 처리비용이 상승한다. 그러나 현장에서 직접 분별회수된 경우에도 '폐기물처리법'에 의한 건설폐기물의 운

반 및 처리를 위해서는 일반폐기물의 경우 시정촌장이 허가하는 일반폐기물 처리업자에게, 산업폐기물은 현(縣)지사가 허가하는 산업폐기물 처리업자에게 각각 개별적으로 위탁하지 처리하게 되어 있다. 또한 건설폐기물 중 일반폐기물을 일반폐기물 처리업자와 위탁계약을 체결하는 것이 대부분 불가능한 상태이기 때문에 일부러 분별회수를 하여도 신축혼합폐기물로서 산업폐기물 처리업자에게 수집운반 및 처리를 위탁하고 있기 때문에 분별회수나 법령을 준수하려는 의식은 결여되어 있는 것으로 나타났다.

빌딩 ·맨션의 경우 목재가 사용되는 곳은 건물의 용도와 관계없이 철근 콘크리트 구조물, 철골 ·철근 콘크리트 구조물을 만들 때의 거푸집·합판과 보조목재, 마무리때에 자기류를 포장하고 있는 포장재 및 양생 등에 사용되는 합판 등이다. 거푸집·합판은 통상 형틀공사업자가 재료를 가지고 청부하는 경우도 많으며 현장에서 공사가 종료되면 잔재는 업자가 일괄하여 가지고 돌아가는 구조로 되어 있다. 처리는 업자에 의하여 자사의 재료보관 장소에 재생처리하는 시설을 이용하는 곳도 있고 전용하는 경우도 있다. 그러나 공사현장에서 공사가 종료되면 대부분은 재자원화 칩공장 등 폐기물처리업자에게 반입되든지 또는 소각된다.

## 나. 독일

폐목재(Gebrauchtholz)는 최종생산물에 사용한 목재 혹은 목재제작재료이며, Gebr auchtholz(폐목재)와 Altholz(폐재)는 같은 뜻으로 쓰이나 최근에는 폐목재(Gebrauchtholz)로 통용되고 있다. 잔재(Restholz)는 폐목재와 달리 목재나 목재품을 원료로 가공할 때 발생하는 물질로 일종의 부산물이며, 제재잔재 혹은 산업용 잔재로 대별할 수 있다.

- 폐재(Altholz) : 장기간(수십년) 사용후 발생한 것으로서, 일반적으로 방부재나 기타 목질첨가물의 사용여부 불명
- 잔재(Restholz) : 목재를 산업용으로 가공 중 발생한 부산물로서, 잔재의 출처와 가공이 알려져 있음

또한 독일 목재연구회의 폐잔재에 대한 구분과 정의는 다음과 같다.

- 잔재(Restholz) : 목재를 산업용으로 가공 중 발생한 것으로서, 잔재의 출처와 가공이 알려져 있음

- 무처리재(UnbehandeltesHolz) : 자연재와 비슷한 의미로 사용되며, 독일 오염물질법 시행령 1조(소규모난방장치법) 에 의거 연료로 분류
- 조각재(수피붙은 것), 톱밥, 목재가루, 목편, 수피 (오염물질법 시행령)
- 무처리재는 무도색, 무라크, 무덧칠, 무목질보호재(Marutzky에 의함)
- 자연재(NaturbelassenesHolz) : 기계적으로만 가공된 목재로서, 이용시에 유해물질 혼합 안됨.

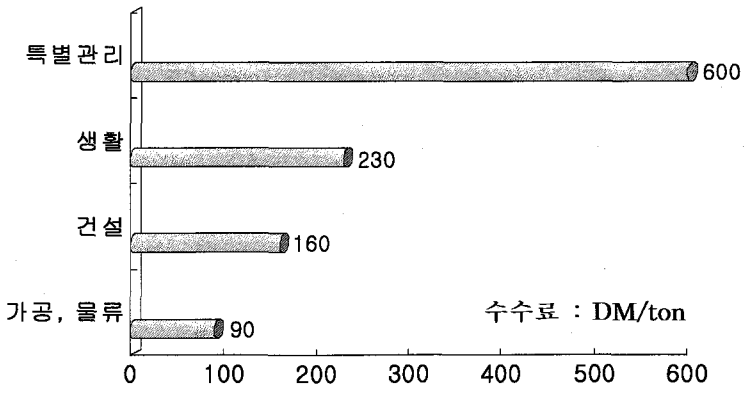
(1) 독일의 폐목재코드화 작성

독일의 폐목재 코드화에 의한 선별기준을 보면 크게 두 가지로 가공시 발생한 폐목재와 사용시 발생한 폐목재로 구분한다. 다음으로 수피, 죽더기, 대팻밥, 톱밥, 제재조각, 목재연마가루, 목재찌꺼기, 목재보드류 생산시 발생한 찌꺼기 및 가루를 분류하고 포목장재, 폐목재, 건축폐재, 목섬유, 갱목, 코크스가스 정제시 발생한 신탄제, 황산함유 신탄제, 방부처리지주대 및 전선주, 톱밥, 제재조각으로서 기름 혹은 무기질성 유해물질을 포함한 폐목재로 구분하여 코드화를 작성한다.

또한 독일 사회는 배출자부담원칙을 철저하게 준수하고 있다. 독일은 폐기물 배출비용에 대해 100% 배출자가 부담한다. 또한 폐목재를 가공 ·물류폐목재, 건설폐목재, 생활폐목재, 특별관리폐목재로 구분하여 발생원에 따라 폐기료를 차등징수하고 있다.

<표 2.10.2> 독일의 폐목재 분류코드화

| 폐목재 종류 | 코드번호 | 발 생 원 |
|---|---|---|
| 수피 | 171 01 | 제재소, 섬유판 ·목재펄프 ·종이생산 |
| 죽더기, 대팻밥 | 171 02 | 제재소, 목재가공 |
| 톱밥, 제재조각 | 171 03 | 제재소, 목재가공 |
| 목재鍊磨가루, 목재찌꺼기 | 171 04 | 합판 ·섬유판 ·파티클보드생산, 목재가공 |
| 목재보드류 생산시 발생한 찌꺼기 및 가루 | 171 05 | 목재보드류 생산 |
| 목포장재, 폐목재 | 172 01 | 유통업 |
| 건축폐재 | 172 02 | 건축업, 건물철거, 유통업 |
| 목섬유 | 172 03 | 유통업 |
| 갱목 | 172 04 | 광산 |
| 코크스가스 정제시 발생한 신탄재 | 172 05 | 코크스 및 가스제조 |
| 황산함유 신탄재 | 172 06 | 코크스 및 가스제조 |
| 방부처리 지주대 및 전신주 | 172 08 | 전선가설, 과수재배 |
| 톱밥, 제재조각으로서 기름 혹은 유기질성 유해물질 포함 | 172 11 | 기름흡수, 유기용재 및 찌꺼기, 목재방부처리시설 |
| 톱밥, 제재조각으로서 기름 혹은 무기질성 유해물질 포함 | 172 12 | 액체 ·찌꺼기의 흡수, 목재방부처리시설 |
| 폐목재 및 목재용기에 유기질성 유해물질 포함 | 172 13 | 건축업, 운송업, 건물철거, 유통업, 조경 |




[그림 2.10.7] 독일의 발생원별 폐기료 부담

# 제 3 장 연구개발 수행 내용 및 결과

## 제 1 절 순환골재콘크리트 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술개발 연구

### 1. 순환골재 콘크리트의 구조기준 설정 연구

#### 가. 레미콘 배합에 의한 순환골재 콘크리트의 재료역학적 특성

(1) 서 론

(가) 연구 배경

순환골재 콘크리트의 재료강도 특성치에 대한 기존의 연구결과에 의하면 천연골재에 대한 순환골재의 대체율이 약 50% 미만일 경우에 압축강도 등의 강도특성치에 대한 성능저하가 관측되지 않는 것으로 보고되고 있으며, 순환골재의 대체율이 30% 범위에서는 물-시멘트비의 감소효과로 인하여 부분적으로 강도가 증가될 뿐만 아니라 내구성 측면에서도 큰 문제는 발생되지 않는 것으로 보고되고 있다. 이러한 재료분야의 연구결과에 따라 콘크리트용 순환골재 품질기준에서는 천연골재의 30% 범위 이내에서 순환골재로 치환하여 사용하는 것을 권장하고 있다.

그러나 콘크리트용 순환골재 품질기준에서 순환굵은골재는 설계기준강도 27MPa 이하에서 천연골재를 대체하여 적용부위에 제한없이 사용할 수 있지만, 순환잔골재는 설계기준강도 21MPa미만에서 콘크리트 블록 및 건축물의 비구조체 콘크리트 등으로만 사용하도록 제한하고 있다. 한편 이러한 품질기준의 근간이 되는 실험결과는 소량의 순환골재를 표건상태로 관리하는 실험실내의 엄격한 품질조건하에서 얻어진 실험결과이기 때문에, 실제 순환골재 콘크리트를 제조하는 레미콘 공장에서의 일반조건하에서 추가적인 검증이 요구된다. 즉, 실험실에서는 표건상태의 표준조건으로 골재를 관리하므로 순환골재 표면의 미립분을 제거하는 효과를 포함하여 고도의 품질관리가 가능하다. 이에 대하여 Batcher Plant에서도 순환골재의 표면수 보정을 위

한 Pre-wetting을 실시하지만, 전체 골재에 대하여 균일한 표건상태를 만들기 어려우며, 또한 순환골재의 대량 취급으로 인한 이물질의 발생 및 혼합가능성으로 인하여 부분적인 성능저하 현상을 배재하기 어려울 것으로 사료된다.

이러한 분석에 따라 본 연구에서는 순환잔골재의 활용범위를 확대하기 위하여 순환골재 치환율별로 현장조건과 동일한 레미콘 배합에 의해 생산된 순환골재 콘크리트의 재료역학적 특성을 분석하고자 하였다.

(나) 연구 목적

본 연구에서는 현재 국내에서 생산되는 순환잔골재 품질성능을 확인하고 생산가능한 최고품질의 순환잔골재를 사용하여 레미콘 배합에 의해 생산된 콘크리트의 재료 역학적 특성분석을 수행함으로써 순환잔골재를 사용한 부재의 역학적 거동을 예측하기 위한 기초자료를 구축하며, 순환잔골재의 활용확대 측면에서 구조재로서의 적용성을 평가하고자 한다.

(2) 실험

(가) 순환골재의 선정

2006년 건설교통부에서 제정된 순환골재 품질기준 및 KS F 2573「콘크리트 순환골재」에서 콘크리트용 순환골재의 품질을 규정하고 있다. 콘크리트용 순환굵은골재는 현행 천연굵은골재의 품질기준인 KS F 2526「콘크리트용 골재」, KS F 2527「콘크리트용 부순 골재」와 동등한 수준으로 규정하고 있다. 한편, 현행 순환잔골재의 품질기준은 국내 순환잔골재 제조사의 생산설비 및 품질수준을 고려하여 절건밀도 2.2g/cm$^3$이상, 흡수율 5%이하로 규정하고 있으며, 천연잔골재와 구분하여 적용강도 및 부위를 제한하고 있다.

국내·외의 연구결과에 의하면 순환골재를 사용한 콘크리트도 설계기준강도 30MPa 이상의 강도발현이 가능한 것으로 알려져 있으나 국내에서 순환골재를 사용한 콘크리트의 적용사례가 많지 않고 장기 내구성 등의 기술적 확인이 충분히 이루지지 못하였기 때문에 현행기준에서는 순환골재의 적용강도 및 부위를 제한하였다. 그러나 본 연구의 2차년 연구결과에서도 나타난 바와 같이 순환굵은골재에 대해서

는 현재 국내 제조사의 생산설비 및 제조기술의 향상으로 고품질의 순환굵은골재의 생산이 가능해졌으며, 현장에서의 콘크리트 제조환경 하에서도 충분한 품질관리가 유지될 수 있는 것이 검증되었다. 반면 순환잔골재는 아직까지 국내 제조방식 및 생산기술이 고품질의 순환잔골재를 생산하기에는 미흡한 실정이다. 따라서 기존연구의 대부분이 저품질 재생잔골재를 대상으로 하고 있으며, 연구자료도 충분히 축적되어 있지 못하다. 따라서 본 연구에서는 순환골재의 활용 촉진 및 현행 품질기준에서 비구조용으로 사용되고 있는 순환잔골재의 구조용도로의 활용확대를 위하여 현재 국내에서 생산 가능한 콘크리트용 순환잔골재의 최대품질을 파악하고 현장 레미콘 배합에 의한 순환잔골재 콘크리트의 재료 및 구조성능을 검토함으로써 구조용 콘크리트로서의 적용성을 검토하고자 하였다. 이와 같은 분석을 통하여 순환잔골재의 선정은 국내 제조사의 설비 및 품질관리 현황을 바탕으로 5개 업체에 대한 1차 생산 및 시험을 실시하여 품질을 확인하였으며, 품질이 가장 우수한 업체를 선정하여 원자재 및 제조공정을 개선하는 방식으로 지속적인 골재 품질시험을 수행하였다.

(나) 순환잔골재 품질시험

국내 생산 가능한 최대품질의 순환잔골재를 선정하기 위한 시험은 순환골재 품질기준에서 제시하는 시험항목 중에서 국내 생산특성 및 기술수준을 고려하여 일부 항목에 대해서 1차적 검토를 수행하였으며, 최종 결정된 업체의 잔골재에 대해서는 품질기준에서 제시하는 모든 항목에 대한 시험을 실시하였다. 기본 시험항목은 순환골재의 품질 평가의 척도가 되는 밀도 및 흡수율 시험과 입도시험을 실시하였으며, 혼합폐기물을 원자재로 하는 경우에는 무기이물질 시험을 추가하였다.

<표 3.1.2>는 국내의 대표적인 순환골재 생산업체의 잔골재를 대상으로 시험한 결과를 나타낸 것이다. 시험결과, 대체로 흡수율 5% 이상의 재생잔골재로 나타났다. 따라서, 현재 생산되는 제품 중 최대품질을 갖고, 생산설비를 고려할 때 품질 개선의 제반조건이 가장 우수한 I사의 제품을 선정하였으며, 총 5차에 걸쳐 반복 생산/시험 결과를 <표 3.1.3>에 나타내었다. I사의 잔골재의 품질은 순환골재 품질기준에서 제시하는 흡수율 5.0%, 절건밀도 2.2g/cm$^3$를 다소 만족하지 못하였으며, 일부 5%이하의 제품들은 무기 이물질 기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

한편 현행 KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법에서 제시하고 있는 시험방법은 정량적 판단의 근거가 미흡하고 시험자의 주관적 판단 및 작업환경에 의

해 편차가 크게 발생될 수 있기 때문에 대상 순환잔골재의 품질을 명확하게 정의하기 어렵다. 따라서 이러한 편차조건을 고려할 때 본 연구에서 선정한 I사의 품질은 대략 5% 내외로 판단되며, 현재 국내에서 생산 가능한 최대품질의 잔골재이므로 이를 근거로 순환잔골재 콘크리트의 연구를 진행하기로 하였다.

최종 생산된 I사의 순환잔골재와 기존 재생잔골재에 대한 순환골재 품질기준에서 제시하는 모든 항목에 대한 시험결과를 나타낸 것이다. 본 연구에서는 순환잔골재 콘크리트의 재료 및 구조성능을 검토함과 동시에 저품질의 재생잔골재 콘크리트와의 비교를 통하여 골재 품질성능 차에 따른 콘크리트 성능변화를 정량적으로 파악하고자 하였다.

<표 3.1.1> 순환잔골재 및 재생잔골재 품질시험 결과

| 항 목 | | 품질기준 | 순환잔골재 (I사) | 재생잔골재 (D사) |
|---|---|---|---|---|
| 밀도 ($g/cm^3$) | | 2.2 이상 | 2.29 | 2.15 |
| 흡수율 (%) | | 5.0 이하 | 5.83 | 7.95 |
| 입자모양판정실적률 (%) | | 53 이상 | 50.1 | 50.8 |
| 0.08㎜체 통과량 시험에서 손실된 양 (%) | | 7.0 이하 | 1.46 | 3.36 |
| 알칼리골재반응 | | 무해할 것 | 무해 | - |
| 점토덩어리량 (%) | | 1.0 이하 | 0.15 | 0.16 |
| 안정성 (%) | | 10 | 7.6 | - |
| 이물질 함유량 (%) | 유기 이물질 | 1.0 이하 (용적) | 0.01 | 0.02 |
| | 무기 이물질 | 1.0 이하 (질량) | 0.6 | 9.08 |

<표 3.1.2> 국내 생산 재생/순환잔골재 품질시험결과

| 제조사 | 표본 | 표건밀도 ($g/cm^3$) | 절건밀도 ($g/cm^3$) | 진밀도 ($g/cm^3$) | 흡수율 (%) | 조립율 | 원자재 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A사 | 1-1 | 2.396 | 2.251 | 2.633 | 6.428 | 2.67 | 폐콘크리트 | |
| | 1-2 | 2.403 | 2.270 | 2.619 | 5.865 | | | |
| | 1-3 | 2.416 | 2.287 | 2.626 | 5.641 | | | |
| | 1-4 | 2.422 | 2.294 | 2.630 | 5.552 | | | |
| | 1-5 | 2.415 | 2.293 | 2.611 | 5.307 | | | |
| | 2-1 | 2.370 | 2.233 | 2.588 | 6.135 | | | |
| | 2-2 | 2.373 | 2.237 | 2.591 | 6.112 | | | |
| | 2-3 | 2.365 | 2.223 | 2.594 | 6.428 | | | |
| | 2-4 | 2.371 | 2.228 | 2.600 | 6.406 | | | |
| | 2-5 | 2.362 | 2.218 | 2.591 | 6.474 | | | |
| | 평균 | 2.389 | **2.253** | 2.608 | **6.035** | | | |
| B사 | 1-1 | 2.257 | 2.045 | 2.598 | 10.400 | 2.91 | 폐콘크리트 | 건식생산 |
| | 1-2 | 2.266 | 2.059 | 2.595 | 10.011 | | | |
| | 1-3 | 2.273 | 2.063 | 2.612 | 10.181 | | | |
| | 1-4 | 2.270 | 2.062 | 2.603 | 10.059 | | | |
| | 2-1 | 2.238 | 1.993 | 2.641 | 12.284 | | | |
| | 2-2 | 2.233 | 1.992 | 2.627 | 12.108 | | | |
| | 2-3 | 2.241 | 2.000 | 2.638 | 12.082 | | | |
| | 2-4 | 2.237 | 1.998 | 2.628 | 11.982 | | | |
| | 3-1 | 2.221 | 1.972 | 2.628 | 12.638 | | | |
| | 3-2 | 2.213 | 1.971 | 2.603 | 12.309 | | | |
| | 3-3 | 2.222 | 1.967 | 2.642 | 12.969 | | | |
| | 평균 | 2.243 | **2.011** | 2.620 | **11.548** | | | |
| C사 | 1-1 | 2.378 | 2.240 | 2.598 | 6.135 | 3.54 | 폐콘크리트 | 입도초과 |
| | 1-2 | 2.394 | 2.258 | 2.614 | 6.022 | | | |
| | 1-3 | 2.385 | 2.245 | 2.610 | 6.225 | | | |
| | 1-4 | 2.388 | 2.252 | 2.607 | 6.045 | | | |
| | 1-5 | 2.398 | 2.266 | 2.612 | 5.820 | | | |
| | 2-1 | 2.326 | 2.172 | 2.567 | 7.066 | | | |
| | 2-2 | 2.331 | 2.180 | 2.570 | 6.952 | | | |
| | 2-3 | 2.306 | 2.144 | 2.560 | 7.550 | | | |
| | 2-4 | 2.299 | 2.133 | 2.558 | 7.782 | | | |
| | 2-5 | 2.301 | 2.138 | 2.556 | 7.643 | | | |
| | 3-1 | 2.309 | 2.132 | 2.591 | 8.295 | | | |
| | 3-2 | 2.300 | 2.122 | 2.583 | 8.389 | | | |
| | 평균 | 2.343 | **2.190** | 2.585 | **6.994** | | | |
| D사 | 1-1 | 2.320 | 2.154 | 2.585 | 7.735 | 3.35 | 혼합폐기물 | 입도초과<br>이물질초과 |
| | 1-2 | 2.315 | 2.140 | 2.594 | 8.155 | | | |
| | 1-3 | 2.321 | 2.151 | 2.593 | 7.898 | | | |
| | 1-4 | 2.317 | 2.145 | 2.592 | 8.015 | | | |
| | 평균 | 2.318 | **2.148** | 2.591 | **7.951** | | | |

<표 3.1.3> 국내 I사 순환잔골재 품질시험결과

| 제조사 | 표본 | 표건밀도 ($g/cm^3$) | 절건밀도 ($g/cm^3$) | 진밀도 ($g/cm^3$) | 흡수율 (%) | 조립율 | 원자재 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| I사 1차 | 1-1 | 2.439 | 2.333 | 2.612 | 4.581 | 2.99 | 혼합폐기물 | 이물질초과 |
| | 1-2 | 2.454 | 2.353 | 2.617 | 4.275 | | | |
| | 1-3 | 2.430 | 2.317 | 2.612 | 4.866 | | | |
| | 1-4 | 2.441 | 2.321 | 2.636 | 5.130 | | | |
| | 2-1 | 2.439 | 2.323 | 2.630 | 5.020 | | | |
| | 2-2 | 2.453 | 2.343 | 2.632 | 4.668 | | | |
| | 2-3 | 2.455 | 2.335 | 2.654 | 5.130 | | | |
| | 2-4 | 2.455 | 2.338 | 2.649 | 5.020 | | | |
| | 3-1 | 2.435 | 2.301 | 2.657 | 5.820 | | | |
| | 3-2 | 2.461 | 2.338 | 2.668 | 5.285 | | | |
| | 3-3 | 2.470 | 2.350 | 2.671 | 5.108 | | | |
| | 평균 | 2.448 | **2.332** | 2.640 | **4.991** | | | |
| I사 2차 | 1-1 | 2.419 | 2.301 | 2.609 | 5.129 | 2.75 | 혼합폐기물 | 이물질초과 |
| | 1-2 | 2.403 | 2.272 | 2.615 | 5.753 | | | |
| | 1-3 | 2.415 | 2.288 | 2.621 | 5.552 | | | |
| | 1-4 | 2.403 | 2.260 | 2.637 | 6.315 | | | |
| | 1-5 | 2.404 | 2.270 | 2.622 | 5.910 | | | |
| | 2-1 | 2.410 | 2.281 | 2.620 | 5.664 | | | |
| | 2-2 | 2.411 | 2.289 | 2.608 | 5.330 | | | |
| | 2-3 | 2.411 | 2.282 | 2.620 | 5.641 | | | |
| | 2-4 | 2.400 | 2.266 | 2.616 | 5.887 | | | |
| | 2-5 | 2.400 | 2.257 | 2.633 | 6.315 | | | |
| | 평균 | 2.407 | **2.277** | 2.620 | **5.750** | | | |
| I사 3차 | 1-1 | 2.442 | 2.319 | 2.645 | 5.307 | 2.87 | 혼합폐기물 | 이물질초과 |
| | 1-2 | 2.436 | 2.315 | 2.634 | 5.219 | | | |
| | 1-3 | 2.429 | 2.311 | 2.620 | 5.086 | | | |
| | 1-4 | 2.439 | 2.319 | 2.636 | 5.175 | | | |
| | 1-5 | 2.441 | 2.324 | 2.631 | 4.998 | | | |
| | 2-1 | 2.468 | 2.359 | 2.649 | 4.624 | | | |
| | 2-2 | 2.471 | 2.369 | 2.639 | 4.319 | | | |
| | 2-3 | 2.473 | 2.372 | 2.640 | 4.275 | | | |
| | 2-4 | 2.460 | 2.352 | 2.637 | 4.581 | | | |
| | 평균 | 2.451 | **2.338** | 2.637 | **4.843** | | | |
| I사 4차 | 1-1 | 2.420 | 2.293 | 2.629 | 5.574 | 3.03 | 폐콘크리트 | 이물질초과 |
| | 1-2 | 2.422 | 2.291 | 2.635 | 5.686 | | | |
| | 1-3 | 2.419 | 2.288 | 2.635 | 5.753 | | | |
| | 1-4 | 2.415 | 2.284 | 2.628 | 5.731 | | | |
| | 1-5 | 2.415 | 2.281 | 2.633 | 5.843 | | | |
| | 평균 | 2.418 | **2.287** | 2.632 | **5.717** | | | |
| I사 5차 | 1-1 | 2.426 | 2.295 | 2.643 | 5.731 | 2.90 | 폐콘크리트 | |
| | 1-2 | 2.428 | 2.291 | 2.655 | 5.977 | | | |
| | 1-3 | 2.418 | 2.288 | 2.631 | 5.686 | | | |
| | 1-4 | 2.425 | 2.291 | 2.646 | 5.843 | | | |
| | 1-5 | 2.428 | 2.292 | 2.652 | 5.910 | | | |
| | 평균 | 2.425 | **2.291** | 2.645 | **5.829** | | | |

(3) 순환잔골재 콘크리트 시험배합

(가) 개 요

콘크리트 배합시 사용되는 골재는 기본적으로 표건상태에서 배합설계를 하도록 되어있다. 그러나 대량으로 생산되는 레미콘에서는 적재되어 있는 골재에 프리웨팅을 실시하며 배처플렌트에서 표면수 보정을 통해 대략적인 표건상태를 유지하도록 한다. 이때 천연골재는 흡수율이 낮아 표면수에 의한 영향을 크게 받지 않으며, 각 레미콘 생산업체에서 다년간의 배합경험에 의해 품질관리가 원활한 반면, 흡수율이 높은 순환골재는 천연골재에 비하여 표면수 보정이 까다로우며 이에 대한 경험도 부족하기 때문에 품질관리의 어려움이 크다. 따라서 순환잔골재를 이용한 레미콘 제작 시에는 시험배합을 통하여 순환잔골재의 특성이 콘크리트 물성에 미치는 영향을 파악할 필요가 있다.

본 연구에서는 실제 레미콘 공장에서 타설 현장까지의 시간을 고려하여 1시간 후의 슬럼프를 순환골재 치환율에 관계없이 150mm로 유지할 수 있도록 표면수 보정을 하였다. 즉, 배합설계는 기존 설계압축강도 27MPa의 천연골재 콘크리트 배합비를 따르되 골재의 표면수를 고려하여 배합시 소정의 물을 추가하면서 배합직후, 30분후, 1시간후의 슬럼프 경시변화를 관찰하고 1시간후의 슬럼프가 일정하도록 표면수율을 조정하였다.

시험배합은 총 2차에 걸쳐서 시행하였으며, 1차 시험배합에서의 결과를 바탕으로 2차 시험배합에서 최종 표면수량을 결정하도록 하였다.

<표 3.1.4> 골재의 특성

| 구분 | 입경 (mm) | 절건밀도 ($g/mm^3$) | 흡수율 (%) | 단위용적중량 ($kg/m^3$) | 조립율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 천연굵은골재 | 25 | 2.68 | 0.59 | 1.568 | 6.66 |
| 천연잔골재(하천) | 5 | 2.55 | 1.43 | 1.580 | 2.82 |
| 천연잔골재(강) | 5 | 2.65 | 0.98 | 1.489 | 2.44 |
| 순환잔골재 | 5 | 2.29 | 5.83 | 1.114 | 2.90 |
| 재생잔골재 | 5 | 2.15 | 7.95 | 1.090 | 3.35 |

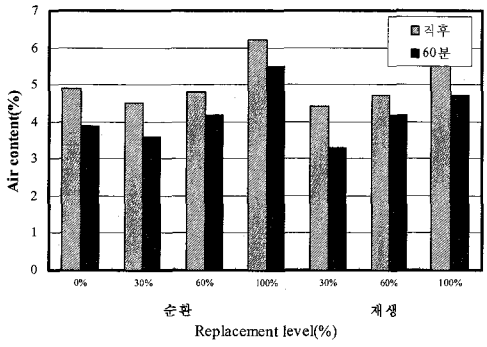
(나) 순환잔골재 콘크리트 시험배합 계획

순환잔골재 콘크리트의 표면수 관리를 위한 1차 시험배합에서는 쇄석의 천연굵은 골재와 하천모래를 사용하였으며, 순환잔골재와 재생잔골재를 천연골재 대비 각각 30, 60, 100% 치환하여 배합하였다. 2차 시험배합에서는 천연잔골재로 고품질의 강모래를 사용하였으며, 순환잔골재는 1차 시험배합과 동일한 제품을 사용하였다. 기본적인 배합설계는 레미콘 생산업체의 설계압축강도 27MPa의 배합을 사용하였으며, 순환 및 재생잔골재 콘크리트는 배합과정에서 콘크리트 반죽질기를 육안관찰하면서 표면수량을 조정하였다.

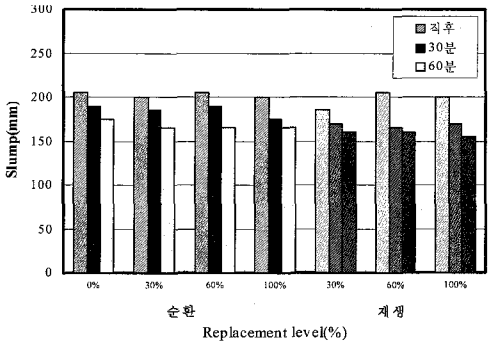
배합된 콘크리트는 굳기 전 물성인 슬럼프와 공기량을 측정하였다. 슬럼프는 배합직후, 30분후, 1시간 후의 경시변화를 측정하였고, 공기량은 배합직후와 1시간후의 경시변화를 측정하였다. 또한 경화 후 콘크리트 압축강도에 대하여 3, 7, 14, 28일 강도변화를 측정하였다.

(다) 시험배합결과

1, 2차 시험배합을 통하여 표면수량을 조정하였으며, 1시간 후 슬럼프를 150mm에 근접하도록 계획하였다. 시험배합에서 공기량 및 슬럼프 측정결과는 [그림 3.1.1]에서 나타난 바와 같이 배합 직후 슬럼프는 차이가 있으나 1시간 후의 슬럼프는 160mm 내외로 거의 일정한 것으로 나타났다. 이에 따라 시간의 경과에 따른 콘크리트 압축강도도 천연골재 콘크리트와 순환골재 콘크리트 치환율에 따른 차이는 거의 나타나지 않았다. 따라서 표면수 보정을 통한 전체 배합수의 관리를 통하여 순환골재 콘크리트의 품질을 충분히 관리할 수 있을 것으로 판단된다.

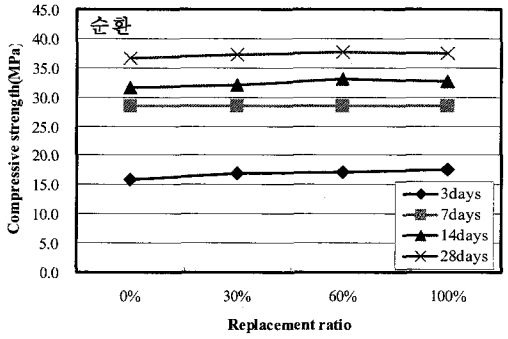



(a) 공기량

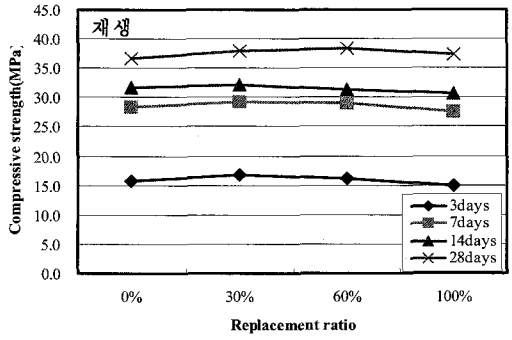



(b) 슬럼프

[그림 3.1.1] 2차 시험배합 공기량 및 슬럼프 경시변화




(a) 순환잔골재 콘크리트




(b) 재생잔골재 콘크리트

[그림 3.1.2] 2차 시험배합 콘크리트 압축강도

(4) 순환잔골재 콘크리트의 재료실험

(가) 실험 계획

본 연구에서는 동일 설계기준강도(27MPa),에서 레미콘 배합에 의해 생산된 순환 및 재생잔골재 콘크리트의 경화 전/후 물리·역학적 특성을 평가하기 위하여 순환잔골재 치환율(0, 30, 60, 100%) 및 재생잔골재 치환율(35, 70%), 양생방법(표준, 일반) 등을 실험변수로 실험계획을 수립하였다.

<표 3.1.5> 재료시험 목록 및 시험체 개수

| 배합조건 | | 압축강도/탄성계수 | | | | | | | | | | | 쪼갬인장 | 휨강도 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 단기성능 | | | | | 장기성능 | | | | | | | |
| | | | | | | | 동결융해 | | | 장기폭로 | | 크리프 | | |
| 강도(MPa) | 순환골재치환율(%) | 7일 | 28일 | | | 90일 | 100c | 200c | 300c | 1년 | 2년 | 28일 | 28일 | 28일 |
| | | 표준 | 표준 | | 기건 | 표준 | 표준 | | | | | 표준 | 표준 | 표준 |
| | | Φ100 | Φ100 | Φ150 | Φ100 | Φ150 | Φ100 | Φ100 | Φ100 | Φ100 | Φ100 | Φ150 | Φ150 | 150×150 |
| 27A | 0 | 5 | 20 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| | 30 | 5 | 20 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| | 60 | 5 | 20 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| | 100 | 5 | 20 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 |
| 27B | 35 | 5 | 20 | 3 | 5 | - | | | | | | - | 5 | 5 |
| | 70 | 5 | 20 | 3 | 5 | - | | | | | | - | 5 | 5 |

또한, 순환잔골재의 밀도/흡수율과 역학적 성능과의 관계를 파악하기 위하여 잔골재의 밀도/흡수율의 관계로부터 순환잔골재의 치환율 60%와 100%를 대체하는 재생골재 치환율을 설정하였으며, 이에 따라 콘크리트 내에서 저품질의 잔골재 비율에 따른 역학적 성능 변화를 검토하도록 하였다.

평가항목은 굳기 전 콘크리트의 공기량, 슬럼프와 굳은 콘크리트의 단기성능시험으로 압축강도/탄성계수, 쪼갬인장강도, 파괴계수를 선정하였으며, 순환골재 콘크리트의 내구성 평가를 위하여 동결융해, 자연열화, 크리프시험을 수행하였다.

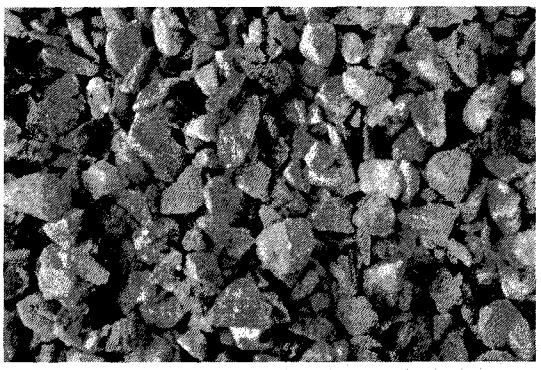
(나) 사용 재료

① 천연 및 순환골재

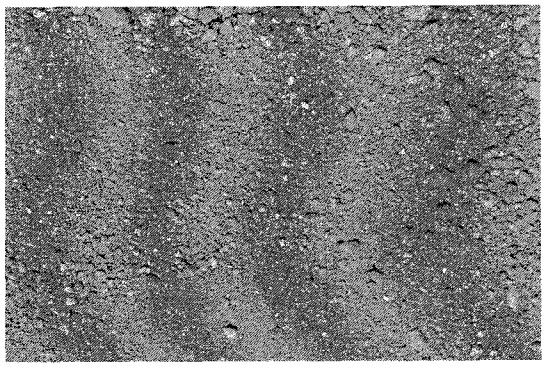
위에서도 언급한 바와 같이 콘크리트용 순환잔골재 및 재생잔골재의 품질성능을 평가・분석하기 위해 현재 국내에서 생산되는 최대품질의 순환잔골재에 대한 선정시험을 수행하였으며, 반복시험을 통해 흡수율 5.83%, 절건밀도 2.29g/cm$^3$의 순환잔골재를 생산하였다. 또한 잔골재 품질에 따른 콘크리트의 역학적 특성분석을 위해 흡수율 7.95%, 절건밀도 2.15g/cm$^3$의 재생잔골재를 생산하였다. 레미콘에 사용된 각 골재의 일반적인 특성치는 <표 3.1.6>과 같으며 골재의 입형 및 형상은 [그림 3.1.3]과 같다.

<표 3.1.6> 골재의 특성

| 구분 | 입경 (mm) | 절건밀도 ($g/mm^3$) | 흡수율 (%) | 단위용적중량 ($kg/m^3$) | 조립율 |
|---|---|---|---|---|---|
| 천연굵은골재 | 25 | 2.68 | 0.59 | 1.568 | 6.66 |
| 천연잔골재 | 5 | 2.65 | 0.98 | 1.489 | 2.44 |
| 순환잔골재 | 5 | 2.29 | 5.83 | 1.114 | 2.90 |
| 재생잔골재 | 5 | 2.15 | 7.95 | 1.090 | 3.35 |



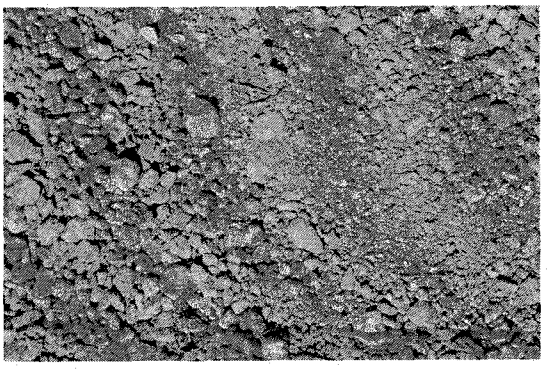
(a) 천연굵은골재



(b) 천연잔골재



(c) 순환잔골재



(d) 재생잔골재

[그림 3.1.3] 레미콘 배합 사용 골재

(다) 실험방법

① 배합 계획

현재까지 순환골재 콘크리트에 관한 연구는 소규모의 실험실 실험을 통해 이루어졌으며, 이러한 소규모 실험으로 얻어진 결과를 실제 현장에 적용할 경우, 비빔방법

및 물량의 차로 인해 실험의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 현장에서 발생할 수 있는 실험오차를 배제하기 위해 레미콘 배합으로 콘크리트를 제조하였다. 콘크리트의 압축강도는 설계기준강도 27MPa로 설정하였으며, 목표 슬럼프는 건축공사에 있어서 가장 일반적으로 사용되는 150mm를 선정하였다. 배합조건은 물시멘트비 43.6%의 수준에서 잔골재 품질별 콘크리트의 재료역학적 특성을 분석하기 위하여 순환잔골재 치환율은 0, 30, 60, 100%의 4 수준, 재생잔골재 치환율은 35, 70% 수준으로 계획하였다. 순환 및 재생잔골재 치환율에 따른 콘크리트의 배합조건을 <표 3.1.7>에 나타내었다.

또한, 레미콘 배처(batcher)에서의 순환골재 콘크리트 생산시에는 순환잔골재의 흡수율이 콘크리트 품질에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 다음과 같이 표면수 관리를 위한 방안을 모색하였다. 즉, 콘크리트 배합 7일 전에 순환골재가 충분히 적셔질 수 있도록 살수기를 이용하여 살수한 후, 비닐을 덮어 수분증발을 최대한 억제하였다. 배합 2일 전에 표면상태를 확인한 후 호퍼에 투입하고 내·외부 골재를 교반하여 가능한 골재의 함수율이 균일해지도록 조치하였다.

<표 3.1.7> 콘크리트의 배합조건

| $f_{ck}$ (MPa) | 순환 및 재생잔골재 치환율 (%) | W/C (%) | S/a (%) | 단위중량(kg/m$^3$) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | W | C | G | S1 (천연) | S2 (순환) | S3 (재생) | AD |
| 27 (순환) | 0 | 43.6 | 46.0 | 166 | 392 | 968 | 799 | 0 | 0 | 2.94 |
| | 30 | | | | | 968 | 559 | 203 | 0 | |
| | 60 | | | | | 968 | 320 | 405 | 0 | |
| | 100 | | 42.2 | | | 968 | 0 | 675 | 0 | |
| 27 (재생) | 35 | | 46.0 | | | 955 | 520 | 0 | 239 | |
| | 70 | | | | | 944 | 239 | 0 | 478 | |

② 양생 및 측정방법

㉠ 양생방법

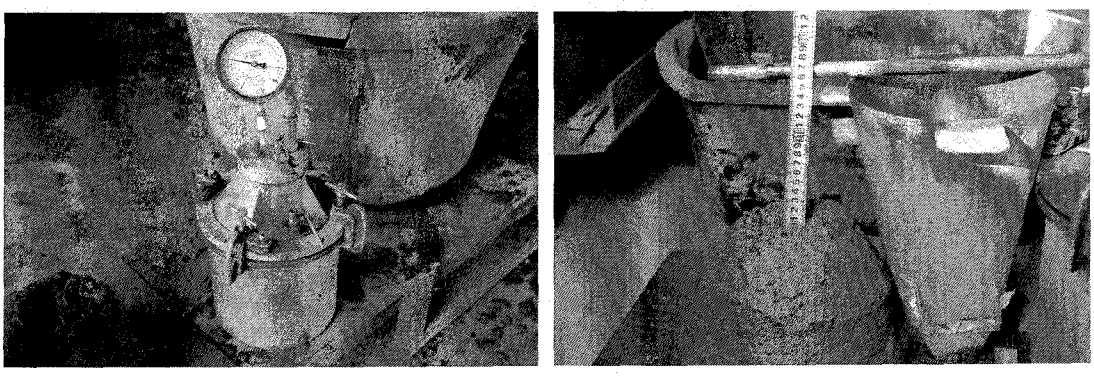
본 연구에서는 순환 및 재생잔골재 치환율 및 양생방법을 변수로 순환골재 콘크리트의 역학적 특성을 평가하고자 하였으며, 양생방법은 각 시험체별로 표준 및 일반

양생 방법을 채택하였다. 표준양생은 공시체 탈영 후 28일간 20℃에서 수중양생을 실시하였으며, 일반양생은 실제 구조물의 양생조건을 모사하기 위하여 공시체 탈영 후 5일간은 살수에 의해 습윤상태를 유지하고 그 후에는 28일까지 기건상태에서 양생하였다.

여기서, 일반양생 조건은 시험체의 실제강도 및 현장에서 구조체의 양생조건을 가장 불리한 조건으로 평가하기 위하여 설정한 것으로, 시방서에서 규정하고 있는 방법과는 달리 공시체 탈형 후 최종시험시까지 실물모형 실험체와 같이 대기중에 노출하여 양생하는 조건으로 설정하였다.

㉡ 공기량 및 슬럼프 시험

공기량 측정은 KS F 2421 (굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기 함유량 시험방법(공기실 압력방법))에 준하여 실시하였으며, 사용된 공기량 측정기는 [그림 3.1.4(a)]에 나타낸 바와 같다. 우선, 비빔이 완료된 콘크리트를 용기의 1/3씩 채운 후 각층을 25회씩 다짐하였으며, 상면을 평활하게 마감한 후 공기량을 측정하였다. 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프는 KS F 2402(포틀랜드 시멘트 콘크리트의 슬럼프 시험방법)에 따라 [그림 3.1.4(b)]에 나타낸 바와 같은 슬럼프 시험기를 이용하여 측정하였다. 우선, 시료를 슬럼프 콘 용적의 1/3씩 채운 후 각층을 25회 다짐하고, 슬럼프 콘을 수직으로 들어 올린 후 슬럼프 콘의 높이(300mm)에서 주저앉은 콘크리트의 높이차를 측정하여 슬럼프 값을 산출하였다.



(a) 공기량 시험　　(b) 슬럼프 시험

[그림 3.1.4] 굳지 않은 콘크리트시험

㉢ 압축강도시험

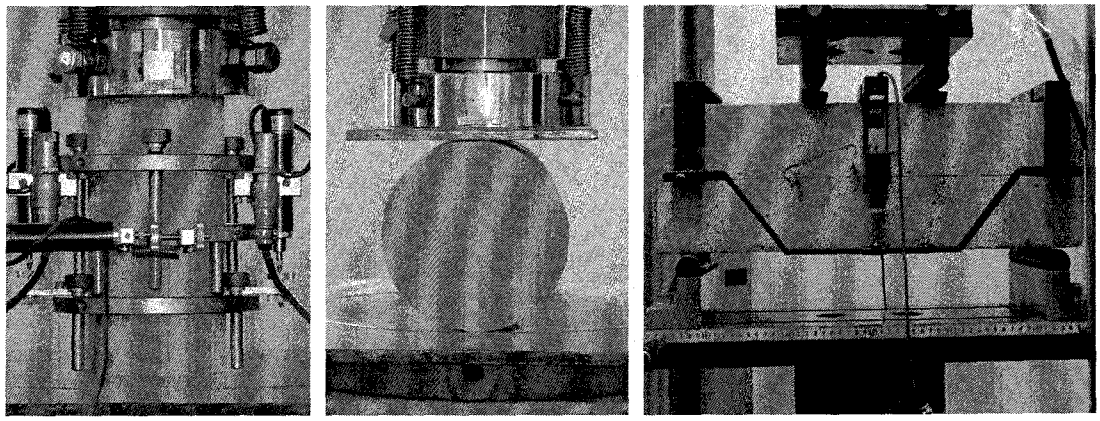
압축강도시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험방법)에 따라 공시체 높이의 중앙에서 서로 직교하는 두 방향의 지름을 3회 측정하여 평균한 값으로 단면적을 계산한 후, 공시체가 시험기의 가압판 중앙에 위치하도록 하고, 매초 0.6±0.4($N/mm^2$)의 속도로 공시체가 파괴될 때까지 하중을 가하였다. 그리고 공시체가 받는 최대하중을 단면적으로 나누어 강도를 구하고 1배합당 5개의 공시체 강도를 평균하여 압축강도를 산출하였다.

㉣ 탄성계수

구조재료로써 사용되는 콘크리트는 강도뿐만 아니라 변형성능도 중요한 요소로 평가된다. 따라서 본 연구에서는 정적상태에서 콘크리트의 응력-변형률 곡선에 의한 순환골재 콘크리트의 정탄성계수를 측정하기 위하여 KS F 2438(콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 푸아송비 시험방법)에 따라 φ100×200mm의 원주형 공시체로서 압축강도 시험과 병행하여 [그림 3.1.5(a)]와 같이 콤프레소메터를 이용하여 재하에 따른 축방향 변형을 측정하였다. 콘크리트 파괴점까지의 데이터를 저장하고 측정된 변형을 지정된 시험체의 길이로 나누어 변형률을 산정하였다. 그리고 압축강도와 변형률의 관계식으로서 초기 변형률 50μm와 압축강도의 40%에서의 탄성계수를 산출하였다.

㉤ 인장강도 시험

인장강도시험은 KS F 2423(콘크리트의 인장강도 시험방법)에 따라 시험용 공시체의 양단부 근처와 중앙부의 지름을 3회씩 측정하여 그 평균값을 지름으로 계산하고 공시체의 길이는 양단지름의 표시선을 포함한 평면에서 1개소 이상을 3회씩 측정하여 그 평균값을 계산하였다. 공시체의 가압시 공시체 양단의 표시선이 연직선이 되도록 하고 지지판과 중심선을 맞춘 후, 나머지 지지판을 공시체의 길이방향으로 표시선에 따라 중심선을 맞추었다. 재하속도는 공시체가 파괴될 때까지 매초 0.6±0.4($N/mm^2$)의 하중이 가해지도록 하고 압축강도 시험과 동일하게 배합당 5개씩 측정결과를 평균하여 인장강도 값을 산출하였다.



(a) 압축강도시험 (b) 쪼갬인장강도시험 (c) 휨강도 시험

[그림 3.1.5] 각종 재료시험

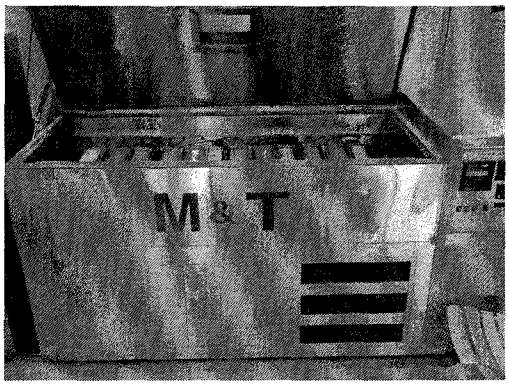
㉤ 휨강도 시험

휨강도시험은 KS F 2408(콘크리트 휨강도 시험방법)에 따라 휨시험용 150×150×530mm의 몰드로 시험체를 제작한 후 4점 가력에 의해 하중을 가하였으며 재하에 따른 변형을 측정하였다. 휨강도 시험은 배합당 5개씩 측정하여 평균 휨강도 값을 산출하였다.

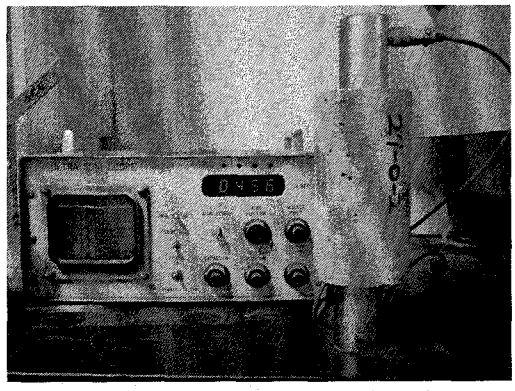
㉥ 동결융해 시험 및 동탄성계수 측정시험

동결융해시험은 KS F 2456(급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법)에 따라 ϕ100×200mm의 원주형 압축공시체를 대상으로 28일간 습윤양생 후 수중동결-수중융해의 조건에서 300cycle까지 촉진 노출시험을 실시하였다. 또한 동결융해 시험과 병행하여 공시체에 대한 동탄성계수 측정시험을 수행하였으며, 동결융해 시험 완료 후에는 공시체의 압축강도시험을 수행하였다.

동탄성계수 측정시험은 KS F 2437(공명 진동에 의한 콘크리트의 동 탄성계수 및 푸아송비이 시험 방법)을 준용하여 원주형 공시체의 종방향 동탄성계수를 측정하였다. 시험체는 중량, 치수, 동탄성계수를 동결융해 시험전과 매 30cycle 마다 측정하였다.




(a) 동결융해 시험

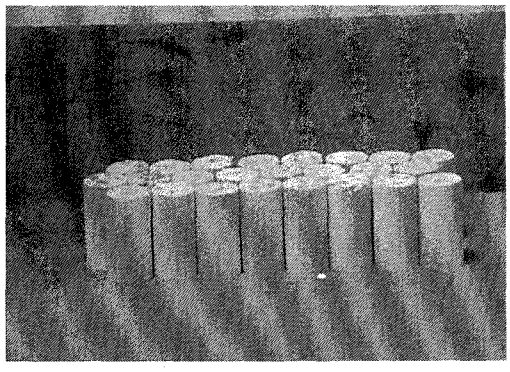


(b) 동탄성계수 측정시험

[그림 3.1.6] 동결융해 및 동탄성계수 측정 시험

◎ 옥외폭로 시험

자연열화를 위한 옥외폭로 시험은 KS M ISO 2810(도료와 바니시-도막의 자연 내후성-폭로 및 평가)를 준용하여 시험하였다. 시험은 Φ100×200mm의 원주형 압축 공시체를 대상으로 28일간 습윤양생 후 대기 중에 자유로이 노출될 수 있도록 옥외에 배치하였으며, 폭로기간은 1년, 2년으로 설정하였다. 정해진 폭로기간 후에는 공시체의 압축강도시험을 수행하였다.



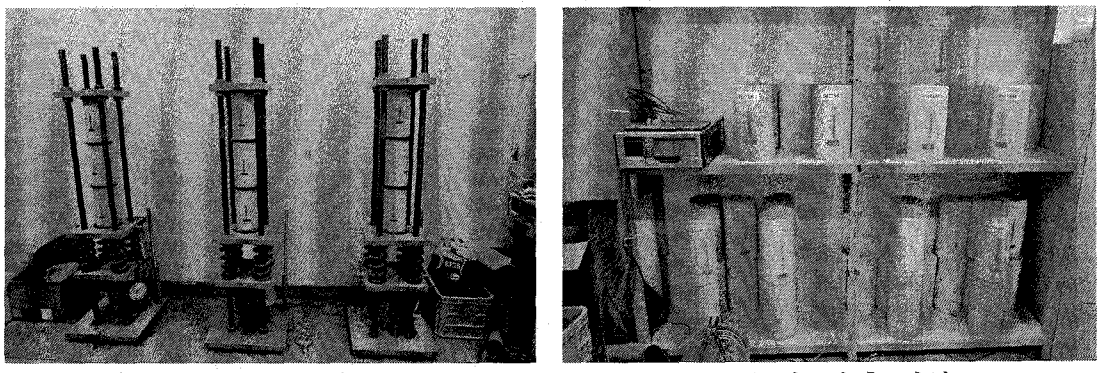
[그림 3.1.7] 옥외폭로 시험

㉦ 크리프 시험

크리프 시험은 KS F 2453(콘크리트의 압축 크리프 시험 방법)에 따라 Φ 150×300mm의 원주형 압축공시체를 대상으로 28일간 습윤양생 후 [그림 3.1.8(a)]의 크리프 재하장치에 거치하고 시험을 수행하였다. 크리프 시험은 공시체 3개를 수직으로 겹쳐 놓고 $0.4f_c$의 하중을 가력한 후 90일간 공시체에 발생되는 변형을 측정하

였다.

공시체의 순수 크리프 변형을 측정하기 위하여 동일 배치(batch)에서 제작된 공시체에 대하여 [그림 3.1.8(b)]와 같이 건조수축에 의한 자기수축량을 측정하였다.



(a) 크리프 시험 (b) 건조수축 시험

[그림 3.1.8] 콘크리트 크리프 시험

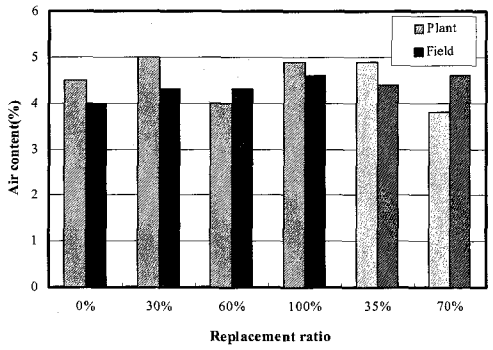
(5) 실험결과 및 고찰

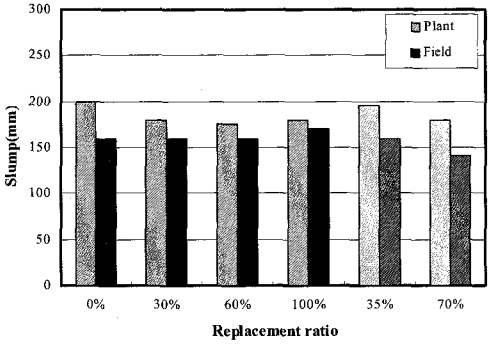
(가) 굳지 않은 콘크리트의 특성

본 연구에서는 순환골재를 실 구조물에 적용하기 위한 연구의 일환으로 실제 시공상황과 동일한 조건으로 레미콘 배합을 실시하였으며, 시공성에 영향을 미칠 것으로 예상되는 공기량 및 슬럼프를 각각 측정하였다. 각 항목의 측정시에는 공장에서 콘크리트 배합을 끝낸 직후와 콘크리트 타설 현장까지 약 1시간 정도 레미콘으로 운송한 후에 각각 측정하여 경시변화를 평가하였다.

① 비빔직후 공기량 및 슬럼프

[그림 3.1.9]에서 보는 바와 같이, 순환골재의 치환율 별로 공장에서 측정된 콘크리트의 공기량은 4.5% 내외, 슬럼프 185mm 내외로 측정되었다. 본 배합조건에서는 1시간 운반거리 후 발생되는 슬럼프 loss를 고려하여 배합하였다.




(a) 공기량 변화 (b) 슬럼프 변화

[그림 3.1.9] 시간에 따른 순환골재의 공기량 및 슬럼프 변화

② 공기량 및 슬럼프경시 변화

1시간 정도의 레미콘 운반 후에 현장에서 측정된 공기량의 경시변화를 살펴보면, [그림 3.1.9(a)]에서 보는 바와 같이 모든 조건에서 공기량이 4.0~4.5% 사이로 대체로 일정한 것으로 나타났다.

또한, [그림 3.1.9(b)]에 나타낸 슬럼프의 경시변화를 살펴보면, 배합직후에 비하여 1시간 후에 측정된 슬럼프는 160mm 내외로 매우 안정적인 것으로 나타났다. 즉, 본 배합조건에서는 앞서 설명한 바와 같이 순환골재의 흡수율에 따른 물성변화를 제어하기 위하여 전체 배합수를 일정하게 유지할 수 있도록 1시간 후의 슬럼프를 균일하게 맞추도록 하였기 때문에 슬럼프 loss를 고려한 배합관리가 적절히 이루어진 것으로 볼 수 있다.

(나) 경화된 콘크리트의 특성

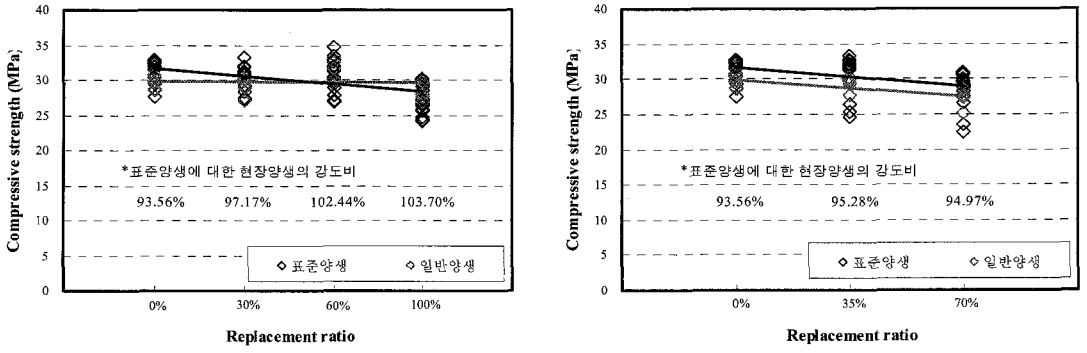
① 압축강도

순환 및 재생잔골재의 치환율에 따른 재령일 28일 콘크리트 압축강도 특성치는 [그림 3.1.10]에서 보는 바와 같이, 표준양생된 공시체의 경우 순환골재의 치환율에 따른 강도저하 현상은 순환잔골재를 100% 치환한 경우와 재생잔골재를 70% 치환한 경우에 한해서 대략 10%내외의 강도 저하가 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 현장도착 슬럼프를 일정하게 유지하는 품질관리를 통하여 흡수율 5.0%대의 순환잔골재를 사용한 콘크리트에서도 치환율 60%까지는 천연골재와 동등한 압축성능을 유지할

수 있는 것으로 나타났다.

양생방법에 따른 순환 및 재생골재 콘크리트의 추세선을 살펴보면, 일반양생을 실시한 콘크리트의 압축강도가 표준양생에 비해 다소 작게 나타나는 경향을 보이지만 일반양생을 실시한 콘크리트의 강도가 표준양생의 편차범위 내에 포함되기 때문에 양생방법에 따른 영향은 무시할 수 있을 것으로 판단된다.

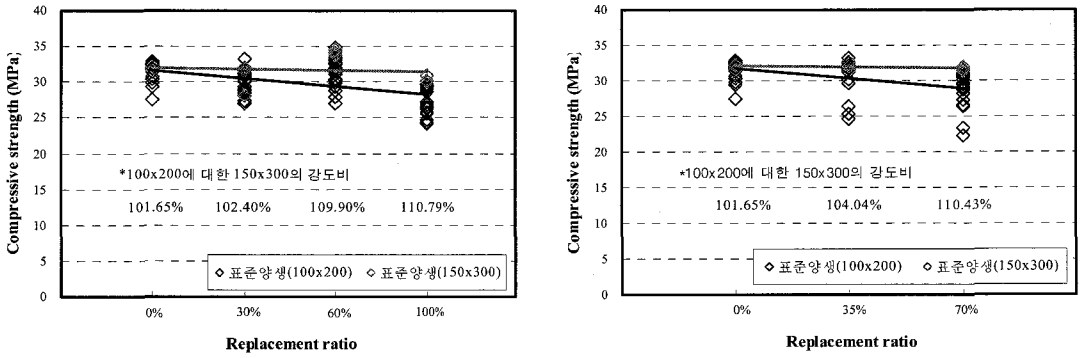
콘크리트구조설계기준에서는 압축강도 실험을 위한 공시체는 Φ150×300을 기준으로 하되, Φ100×200을 사용할 경우에는 0.97의 강도보정계수를 사용하여 압축강도를 산정하도록 하고 있다.




(a) 순환잔골재 (b) 재생잔골재

[그림 3.1.10] 양생방법별 압축강도 특성

[그림 3.1.11]의 순환 및 재생잔골재 치환율에 따른 콘크리트의 공시체 크기에 대한 본 연구결과에서 Φ150×300시험체의 평균압축강도가 Φ100×200 시험체의 평균압축강도에 비하여 대략 1~10% 범위에서 높게 나타나고 있으며, 각 시험체의 강도편차를 고려할 때 기존의 강도보정계수의 적용은 적절한 것으로 판단된다.




(a) 순환잔골재 (b) 재생잔골재

[그림 3.1.11] 압축강도 공시체크기에 따른 비교

② 배합강도 검토

콘크리트의 배합강도는 콘크리트가 지니는 재료의 불확실성을 반영하여 재하되는 외력에 저항하는 강도의 확보 이외에도 내구성, 내마모성 등 콘크리트의 다른 여러 특성을 고려하여 결정된다. 통상적으로 배합강도는 시험배합이나 경험적 기록에 의하여 설계기준압축강도보다 높게 설정하며, 현행 콘크리트구조설계 기준에서는 '2.3.2 콘크리트 배합의 선정'에서 콘크리트의 배합강도 결정을 다음과 같이 규정하고 있다. 본 규정에 의하면 표준편차는 계산된 표준편차와 콘크리트의 시험횟수에 따른 보정계수의 곱으로 계산할 수 있으며, 콘크리트의 배합강도는 콘크리트의 설계기준압축강도에 따라 두 개의 식으로 계산된 값 중 큰 값으로 정하고 있다. [KCI2007 2.3.2(1), (2) 참조].

fck ≤ 35MPa인 경우,

$$fcr = fck + 1.34s \quad (1)$$

$$fcr = (fck - 3.5) + 2.33s \quad (2)$$

fck > 35MPa인 경우,

$$fcr = fck + 1.34s \quad (3)$$

$$fcr = 0.9fck + 2.33s \quad (4)$$

순환골재 콘크리트의 배합강도를 검토하기 위하여 골재 치환율별 각각 20개의 압축강도 시험을 실시하였다. 시험결과로부터 계산된 표준편차 및 배합강도와 평균압

축강도를 비교하여 나타내면 <표 3.1.8>과 같으며, 순환잔골재를 30 및 60% 치환한 콘크리트와 재생잔골재를 35% 치환한 콘크리트는 압축강도 실험값이 배합강도보다 큰 것으로 나타났다. 그러나 순환잔골재와 재생잔골재를 각각 100, 70% 치환한 콘크리트의 압축강도 실험값이 배합강도보다 작은 것으로 나타나 치환율이 높은 순환 및 재생콘크리트의 경우 표준편차에 대한 재검토가 필요할 것으로 판단된다.

<표 3.1.8> 배합강도 계산값 및 실험값 비교

| 순환잔골재 치환율(%) | | 표준편차, s | 표준편차 보정 | 배합강도, $f_{cr}$ | | | 28일 평균 압축강도 | 판정 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 식 (1) | 식 (2) | 식(1), (2) 중 큰 값 | | |
| 순환 | 0 | 1.37 | 1.47 | 28.98 | 26.94 | 28.98 | 31.51 | O.K |
| | 30 | 1.81 | 1.95 | 29.62 | 28.05 | 29.62 | 29.88 | O.K |
| | 60 | 2.11 | 2.28 | 30.05 | 28.80 | 30.05 | 31.04 | O.K |
| | 100 | 1.88 | 2.03 | 29.72 | 28.23 | 29.72 | 27.40 | N.G |
| 재생 | 35 | 2.36 | 2.55 | 30.42 | 29.44 | 30.42 | 30.77 | O.K |
| | 70 | 2.31 | 2.49 | 30.34 | 29.30 | 30.34 | 28.66 | N.G |

③ 순환골재 콘크리트의 사용승인을 위한 평가

실용화를 전제로 한 순환골재 콘크리트의 재료역학적 성능평가에 있어서 가장 기본이 되는 것은 현장에서의 레미콘 배합에 의해 생산된 콘크리트의 강도특성치가 현행 콘크리트구조설계 기준에서 요구하는 품질기준을 만족하는 가를 검토하는 것이다. 이에 대하여 기존연구에서는 주로 순환골재 콘크리트의 배합조건에 따른 특성을 분석하기 위한 실험실내 실험으로 제한됨에 따라 이에 대한 검토가 원천적으로 불가능하였다. 이에 따라 본 연구에서는 현행기준에서 규정하고 있는 절차에 의거하여 레미콘 생산에 의해 제작된 순환골재 콘크리트의 압축강도 특성치에 대한 품질을 평가하였다.

1) 콘크리트 품질기준

현행의 콘크리트구조설계 기준에서는 '2.3.3 콘크리트의 평가와 사용승인'에서 콘크리트의 사용승인을 위한 평가절차 및 방법을 규정하고 있다. 본 규정에 의하면 콘크리트 각 등급의 강도가 다음의 두 요건을 충족할 경우 만족할 만한 것으로 평가하고 있다 [KCI2007 2.3.3(2) 참조]. 즉,

① 3번의 연속강도 시험의 결과 그 평균값이 $f_{ck}$ 이상일 때,

② 개개의 강도 시험값이 $f_{ck} \leq 35$MPa인 경우 ($f_{ck}-3.5$)MPa 이상일 때, 또는 $f_{ck}>35$MPa인 경우 $0.9f_{ck}$이상일 때

또한, 현행기준에서는 현장양생의 적합성을 합리적인 판단의 기준으로 삼고자 할 경우, 추가로 현장 양생된 공시체의 강도와 표준양생된 공시체의 강도를 비교·검토할 것을 요구하고 있다 [KCI2007 2.3.3(3) 참조]. 즉,

④ $f_{ck}$의 결정을 위해 지정된 시험 재령일에 행한 현장 양생된 공시체 강도가 동일 조건의 시험실에서 양생된 공시체 강도의 85퍼센트 보다 작을 때는 콘크리트의 양생과 보호절차를 개선하여야 한다. 만일, 현장양생된 것의 강도가 $f_{ck} \leq 35$MPa인 경우 $f_{ck}$보다 3.5MPa을 더 초과하거나 $f_{ck}>35$MPa인 경우 $f_{ck}$보다 $0.1f_{ck}$를 더 초과하면 85퍼센트의 한계조항을 무시할 수 있다.

2) 순환골재 콘크리트의 사용승인 평가

현장양생 콘크리트의 품질적합성을 평가하기 위한 공시체는 현장수중양생 및 현장봉합양생에 의해 제작되어야 하지만 일부 현장에서는 구조체와 동일한 조건을 모사하기 위해 구조체와 같이 5일간 습윤양생 후 기건방치하는 양생방법이 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 현장양생 조건에 비하여 불리한 조건의 일반양생 방법에 대한 평가를 통해 순환골재 콘크리트의 품질기준을 평가하도록 하였다.

순환 및 재생잔골재의 치환율에 따른 각 강도별 콘크리트 28일 압축강도 시험결과를 표준양생 및 일반양생 공시체와 비교하여 나타내면 <표 3.9>와 같다. 일반양생 공시체의 강도특성치를 살펴보면 표에서 보는 바와 같이 모든 시험체에서 일반양생 공시체의 압축강도가 표준양생 공시체 압축강도의 85% 이상의 값을 나타내는 것으로 파악되었다. 따라서 현행 콘크리트 구조설계기준에서 규정하고 있는 콘크리트 사용승인 평가를 위한 순환골재 콘크리트 현장양생 품질에는 큰 문제가 없는 것으로

판단된다.

<표 3.1.9> 순환잔골재 콘크리트의 강도특성치 비교

| $f_{ck}$ (MPa) | 순환잔골재 치환율(%) | 28일 압축강도(MPa) | | 일반/표준 | 조건 검토 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 일반 | 표준 | | (3) |
| 27 (순환잔골재) | 0 | 29.48 | 31.51 | 93.56 | 만족 |
| | 30 | 29.04 | 29.88 | 97.17 | 만족 |
| | 60 | 31.80 | 31.04 | 102.44 | 만족 |
| | 100 | 28.41 | 27.40 | 103.70 | 만족 |
| 27 (재생잔골재) | 35 | 29.32 | 30.77 | 95.28 | 만족 |
| | 70 | 27.22 | 28.66 | 94.97 | 만족 |

② 정탄성계수

㉠ 압축강도와 정탄성계수와의 관계

현행 KBC2005 및 KCI2007에서는 콘크리트 탄성계수를 압축강도 및 단위질량의 변수로서 <표 3.1.10>과 같이 규정하고 있으며 본 연구에서 얻어진 순환 및 재생잔골재 콘크리트의 탄성계수를 양생방법(표준양생, 일반양생)별로 기준식에 의해 산정된 값과 비교하여 나타내면 [그림 3.1.12]와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 순환 및 재생잔골재를 사용한 콘크리트의 실험값은 KBC2005 및 KCI2007과 경향은 매우 유사하게 나타나지만, 천연골재 콘크리트를 포함하여 전반적으로 콘크리트의 탄성계수가 현행 규준식에 비하여 작은 경향을 나타내고 있다.

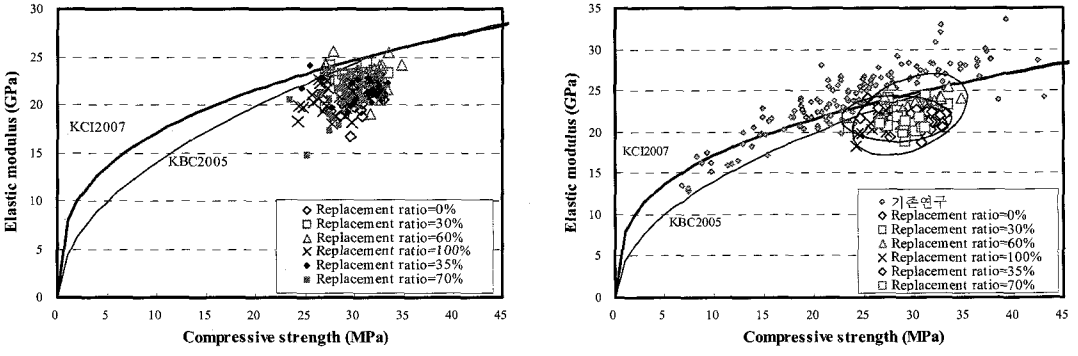
또한 기존연구와 본 연구의 탄성계수-압축강도 관계를 비교한 결과, 순환골재 사용에 따른 탄성계수의 저하는 발생하지 않지만, 현행 탄성계수 설계식의 근간이 된 기존 실험값(1960, Pauw)에 비하여 본 연구의 실험값이 천연골재 및 순환골재 모두 낮은 탄성계수를 나타내고 있다. 이러한 경향은 기존 실험결과에 사용된 골재 및 콘크리트와 현재 국내에서 사용되고 있는 재료의 물성 차에 의해 나타나는 결과로 판단되며, 이를 고려한 현행 탄성계수 설계식의 수정이 필요할 것으로 판단된다.

<표 3.1.10> 탄성계수 규준식

| 규준 | 단위질량 (kg/m$^3$) | 압축강도 (MPa) | | 비고 |
|---|---|---|---|---|
| | | 30 이하 | 30 이상 | |
| KBC2005 | 1,450~2,500 | $E_c = 0.043\ w_c^{1.5}$ | $E_c = 0.030\, w_c^{1.5}\sqrt{f_{ck}} + 7{,}700$ | |
| | 2,300 | $E_c = 4{,}700\sqrt{f_{ck}}$ | $E_c = 3{,}300\sqrt{f_{ck}} + 7{,}700$ | 보통골재시 |
| KCI2007 | 1,450~2,500 | $E_c = 0.077 m_c^{1.5}\sqrt[3]{f_{cu}}\ \ (MPa)$ | | |
| | 2,300 | $E_c = 8500\sqrt[3]{f_{cu}}\ \ (MPa)$ | | 보통골재시 |

단, KCI2007의 경우,

$f_{cu} = f_{ck} + 8\ \ (MPa)$, $\quad E_c = 0.85 E_{ci}$



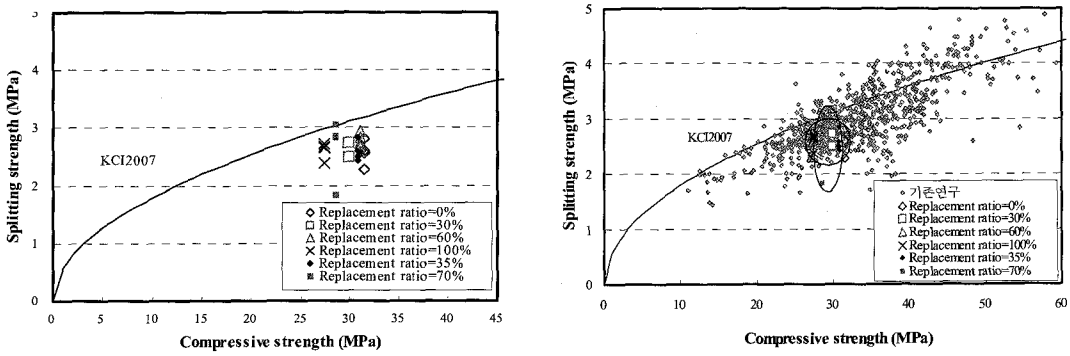

(a) 3차년도 실험결과 (b) 기존연구와의 비교

[그림 3.1.12] 탄성계수-압축강도 관계

③ 쪼갬 인장강도

본 실험에서 얻어진 순환골재 콘크리트의 쪼갬 인장강도를 KCI2007의 계산식과 비교하여 압축강도와의 관계로 나타내면 [그림 3.1.13]과 같다.

그림에서 보는 바와 같이 콘크리트의 쪼갬인장강도는 순환 및 재생잔골재의 치환율에 따른 상관관계는 보이지 않는 것으로 나타났으며, 대부분의 실험값이 KCI2007의 규준식을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 또한 현행 규준식의 근거가 되는 기존연구결과와 본 연구의 천연, 순환 및 재생잔골재 콘크리트의 실험값을 비교하면, 규준식에 비해서는 감소하지만 기존연구결과의 편차범위 내에 분포하는 것으로 나타났다.

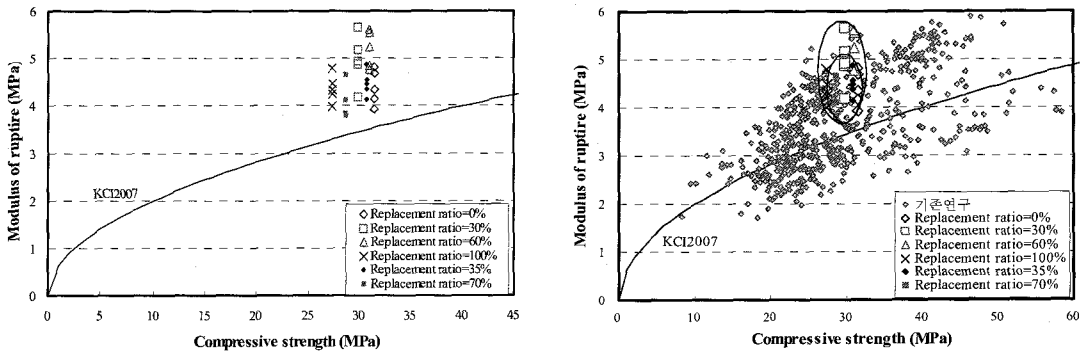



(a) 3차년도 실험결과 (b) 기존연구와의 비교

[그림 3.1.13] 쪼갬인장강도-압축강도 관계

④ 휨강도

본 실험에서 얻어진 순환 및 재생잔골재 콘크리트의 휨강도수를 KCI2007의 규준식과 비교하여 압축강도와의 관계로 나타내면 [그림 3.1.14]와 같으며, 모든 실험과가 현행의 KCI2007의 값을 만족하는 것으로 나타났다.




(a) 3차년도 종합 (b) 기존연구와의 비교

[그림 3.1.14] 휨강도-압축강도 관계

그림에서 나타난 바와 같이 순환골재 콘크리트의 휨강도-압축강도 관계에서 혼합된 순환굵은골재를 사용한 2차년도 실험값은 KCI2007를 대부분 만족하지 못하는 것으로 나타났으나, 순환굵은골재를 사용한 1차년도의 실험값과 순환 및 재생잔골재를 사용한 3차년도의 실험값은 모두 만족하는 것으로 나타났다.

또한 기존연구와 본 연구결과를 비교하였을 경우, 본 연구의 실험결과가 천연골재

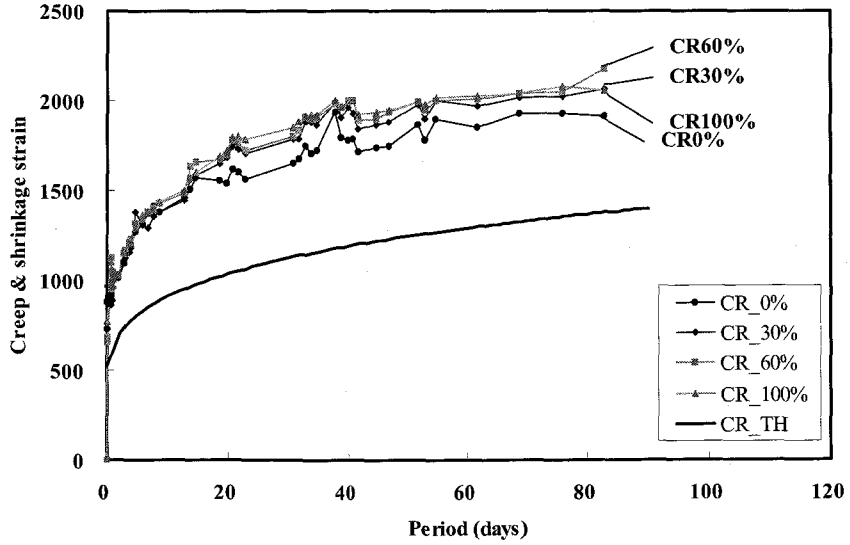
콘크리트를 사용한 기존연구의 분포 내에 존재하는 것으로 나타나 콘크리트의 휨강도-압축강도 관계에서 순환골재 콘크리트는 순환 및 재생잔골재 치환율에 관계없이 천연골재 콘크리트와 대등한 성능을 발휘할 것으로 판단된다.

(6) 장기/내구성 실험결과 및 고찰

(가) 순환굵은골재 콘크리트의 장기/내구성 특성

① 크리프

순환굵은골재의 치환율을 변수로 90일간 측정된 압축공시체의 건조수축변형률을 포함하는 전체 크리프 변형률을 나타내면 [그림 3.1.15]와 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 순환굵은골재 콘크리트와 천연굵은골재 콘크리트의 크리프 변형률 차이는 대략 10% 내외로 순환굵은골재 콘크리트가 증가되는 것으로 나타났다. 그러나 크리프 시험에서 초기 가력 하중이 천연골재 콘크리트의 28일 압축강도를 기준으로 모든 실험체에 공통적으로 가력되었기 때문에 순환굵은골재 콘크리트의 압축강도가 천연골재 콘크리트에 비하여 대략 9% 감소하는 것을 감안하면 전체 크리프 변형률의 차이는 거의 없는 것으로 판단된다.



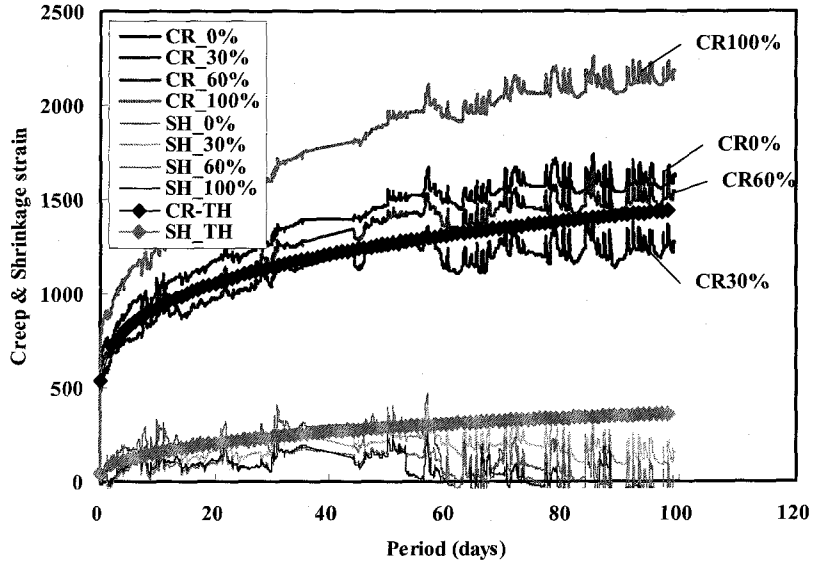

[그림 3.1.15] 순환굵은골재 콘크리트의 크리프 변형

(나) 천연굵은골재와 순환잔골재 콘크리트의 장기/내구성 특성

① 크리프

순환잔골재의 치환율을 변수로 90일간 측정된 압축공시체의 건조수축변형률을 포함하는 전체 크리프 변형률을 나타내면 [그림 3.1.16]과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 순환잔골재 치환율 60%까지는 천연골재 콘크리트의 크리프 변형률 보다 작은 것으로 나타났다. 반면 순환잔골재를 100% 치환한 공시체는 천연골재 콘크리트에 비하여 크리프 변형률이 대략 35% 증가하는 것으로 나타났다.

현행 KCI2007에서 제시하는 콘크리트 크리프 및 건조수축변형률의 예측식에 의해 계산된 값과 본 연구의 실험값을 비교하면, 그림에서 나타난 바와 같이 순환골재 치환율 60%까지는 예측식과 유사하게 나타나지만 순환잔골재 100%치환한 실험값은 예측식에 비하여 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 순환잔골재 60%까지는 기존 천연골재 콘크리트의 크리프 예측모델을 적용하는 것이 가능할 것으로 판단된다.




[그림 3.1.16] 순환잔골재 콘크리트의 크리프 변형

(7) 소 결

본 연구는 순환잔골재 및 재생잔골재 콘크리트의 치환율(순환잔골재 : 0, 30, 60, 100%, 재생잔골재 : 35, 70%), 양생방법(표준, 일반양생), 장기/내구성 등에 따른 영향을 평가하고, 현행 설계기준에 대한 순환골재 콘크리트의 적용가능성을 분석한 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 본 연구에서 대상으로 한 콘크리트 설계압축강도(27MPa) 범위에서 순환 및 재생잔골재의 치환율에 따른 콘크리트의 압축강도 저하는 10% 내외로 그다지 크지 않은 것으로 나타났다. 따라서 현행 순환골재 품질기준을 만족하는 순환잔골재도 구조용 콘크리트로의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

(나) 순환잔골재 콘크리트의 재료역학적 특성을 KBC2005 및 KCI2007의 기준식 및 기존 실험결과와 비교한 결과, 탄성계수-압축강도 및 쪼갬 인장강도-압축강도 관계에서 천연골재 콘크리트를 포함하여 전반적으로 시험결과가 규준식보다 작은 경향을 나타냈다. 따라서 이를 고려할 수 있도록 설계식의 재검토가 필요할 것으로 판단된다.

(다) 레미콘 배합에 의한 순환잔골재 콘크리트의 강도특성은 현장양생 콘크리트의 품질적합성을 포함한 모든 조건에서 콘크리트구조설계기준에서 규정하고 있는 콘크리트 강도사용 승인요건을 만족하는 것으로 나타났다.

(라) 90일간 측정된 크리프 실험으로부터 순환굵은골재 콘크리트는 순환골재 치환율에 관계없이 천연골재 콘크리트와 유사한 크리프 변형을 나타내었으며, 순환잔골재 콘크리트는 치환율 60%까지 천연골재 콘크리트와 동등 이상의 크리프 변형능력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

<표 3.1.11> 순환잔골재 치환율 0% 실험결과

| No. | 표준양생 (Φ100×200) | | 쪼갬인장강도 (MPa) | 휨강도 (MPa) | 표준양생 (Φ150×300) | | 일반양생 (Φ100x200) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | | | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) |
| 1 | 29.39 | 22.33 | 2.57 | 4.81 | 31.67 | 22.80 | 29.61 | 16.73 |
| 2 | 29.81 | 20.83 | 2.29 | 4.34 | 32.18 | 23.41 | 29.90 | 19.78 |
| 3 | 32.64 | 21.99 | 2.61 | 3.92 | 32.23 | 22.94 | 30.65 | 19.49 |
| 4 | 27.57 | 19.34 | 2.61 | 4.68 | - | - | 28.71 | 20.17 |
| 5 | 30.75 | 20.11 | 2.80 | 4.14 | - | - | 28.52 | 18.82 |
| 6 | 32.42 | 23.01 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 32.50 | 23.20 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 30.79 | 21.59 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 32.28 | 21.25 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 32.64 | 21.65 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 31.85 | 21.88 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 32.76 | 20.88 | - | - | - | - | - | - |
| 13 | 32.69 | 21.05 | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 31.93 | 21.88 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 31.94 | 21.45 | - | - | - | - | - | - |
| 16 | 31.41 | 21.11 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | 32.82 | 20.56 | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 30.79 | 18.76 | - | - | - | - | - | - |
| 19 | 32.74 | 21.19 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 30.43 | 16.30 | - | - | - | - | - | - |
| ave. | 31.51 | 21.27 | 2.58 | 4.38 | 32.03 | 23.05 | 29.48 | 19.00 |

<표 3.1.12> 순환잔골재 치환율 30% 실험결과

| No. | 표준양생 (Φ100×200) | | 쪼갬인장강도 (MPa) | 휨강도 (MPa) | 표준양생 (Φ150×300) | | 일반양생 (Φ100x200) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | | | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) |
| 1 | 31.22 | 22.42 | 2.49 | 5.17 | 28.05 | 22.80 | 30.23 | 20.68 |
| 2 | 28.98 | 23.08 | 2.50 | 4.17 | 32.09 | 23.41 | 29.93 | 20.29 |
| 3 | 30.16 | 23.18 | 2.75 | 5.65 | 31.66 | 22.94 | 29.14 | 19.93 |
| 4 | 27.33 | 23.53 | 2.74 | 4.87 | - | - | 28.82 | 20.93 |
| 5 | 27.01 | 23.15 | 2.74 | 4.93 | - | - | 27.07 | 19.71 |
| 6 | 28.98 | 22.71 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 30.70 | 23.00 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 28.82 | 23.22 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 29.27 | 22.15 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 27.01 | 22.74 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 28.38 | 22.57 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 30.96 | 22.76 | - | - | - | - | - | - |
| 13 | 31.20 | 22.46 | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 27.46 | 24.14 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 31.16 | 24.43 | - | - | - | - | - | - |
| 16 | 31.98 | 23.56 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | 31.88 | 23.10 | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 30.00 | 23.20 | - | - | - | - | - | - |
| 19 | 33.30 | 23.27 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 31.86 | 22.66 | - | - | - | - | - | - |
| ave. | 29.88 | 23.09 | 2.65 | 4.96 | 30.60 | 23.05 | 29.04 | 20.31 |

<표 3.1.13> 순환잔골재 치환율 60% 실험결과

| No. | 표준양생 (Φ100×200) | | 쪼갬인장강도 (MPa) | 휨강도 (MPa) | 표준양생 (Φ150×300) | | 일반양생 (Φ100x200) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | | | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) |
| 1 | 34.79 | 24.12 | 2.95 | 4.86 | 33.73 | 25.13 | 29.92 | 20.45 |
| 2 | 31.19 | 23.40 | 2.59 | 5.54 | 34.55 | 23.85 | 33.27 | 21.66 |
| 3 | 33.47 | 25.48 | 2.82 | 5.61 | 34.07 | 27.78 | 31.60 | 19.12 |
| 4 | 31.49 | 22.29 | 2.71 | 4.76 | - | - | 32.63 | 20.49 |
| 5 | 32.06 | 23.22 | 2.68 | 5.25 | - | - | 31.59 | 22.63 |
| 6 | 29.90 | 22.63 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 32.52 | 24.18 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 32.01 | 23.73 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 32.63 | 23.88 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 32.71 | 24.19 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 26.97 | 23.17 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 29.40 | 23.14 | - | - | - | - | - | - |
| 13 | 27.88 | 25.62 | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 31.74 | 22.71 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 27.05 | 24.25 | - | - | - | - | - | - |
| 16 | 32.63 | 22.48 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | 32.99 | 22.45 | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 28.89 | 22.70 | - | - | - | - | - | - |
| 19 | 30.39 | 23.66 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 30.18 | 23.62 | - | - | - | - | - | - |
| ave. | 31.04 | 23.54 | 2.75 | 5.20 | 34.12 | 25.59 | 31.80 | 20.87 |

<표 3.1.14> 순환잔골재 치환율 100% 실험결과

| No. | 표준양생 (Φ100×200) | | 쪼갬인장강도 (MPa) | 휨강도 (MPa) | 표준양생 (Φ150×300) | | 일반양생 (Φ100x200) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | | | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) |
| 1 | 24.40 | 19.82 | 2.38 | 4.25 | 30.91 | 21.89 | 28.04 | 18.86 |
| 2 | 29.59 | 21.06 | 2.68 | 4.79 | 29.97 | 21.26 | 27.69 | 18.05 |
| 3 | 29.16 | 19.54 | 2.71 | 4.47 | 30.18 | 20.80 | 29.83 | 21.38 |
| 4 | 26.47 | 22.27 | 2.66 | 3.99 | - | - | 29.67 | 18.07 |
| 5 | 27.24 | 21.67 | 2.65 | 4.32 | - | - | 26.83 | 19.37 |
| 6 | 29.67 | 22.28 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 25.65 | 21.04 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 26.35 | 22.67 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 26.38 | 20.61 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 25.77 | 20.25 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 29.36 | 21.05 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 30.06 | 21.08 | - | - | - | - | - | - |
| 13 | 24.24 | 18.22 | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 28.54 | 20.83 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 26.80 | 21.01 | - | - | - | - | - | - |
| 16 | 27.16 | 22.51 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | 30.16 | 21.09 | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 29.02 | 20.22 | - | - | - | - | - | - |
| 19 | 24.79 | 19.77 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 27.13 | 19.90 | - | - | - | - | - | - |
| ave. | 27.40 | 20.89 | 2.62 | 4.36 | 30.35 | 21.31 | 28.41 | 19.15 |

<표 3.1.15> 재생잔골재 치환율 35% 실험결과

| No. | 표준양생 (Φ100×200) | | 쪼갬인장강도 (MPa) | 휨강도 (MPa) | 표준양생 (Φ150×300) | | 일반양생 (Φ100x200) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | | | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) |
| 1 | 24.65 | 21.71 | 2.51 | 4.88 | 32.61 | 21.95 | 29.60 | 19.90 |
| 2 | 26.44 | 22.84 | 2.43 | 4.36 | 31.97 | 22.68 | 29.80 | 20.20 |
| 3 | 31.31 | 22.75 | 2.50 | 4.47 | 31.47 | 22.42 | 30.15 | 20.56 |
| 4 | 29.70 | 22.22 | 2.84 | 4.14 | - | - | 27.74 | 19.72 |
| 5 | 30.21 | 22.72 | 2.58 | 4.55 | - | - | 29.33 | 19.17 |
| 6 | 33.23 | 22.33 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 32.21 | 22.30 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 31.26 | 22.40 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 31.85 | 21.07 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 31.83 | 21.59 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 32.51 | 21.97 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 31.31 | 20.76 | - | - | - | - | - | - |
| 13 | 31.84 | 22.44 | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 32.00 | 21.45 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 31.63 | 20.23 | - | - | - | - | - | - |
| 16 | 32.76 | 20.53 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | 32.11 | 21.14 | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 25.39 | 24.18 | - | - | - | - | - | - |
| 19 | 31.82 | 21.18 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 31.42 | 21.13 | - | - | - | - | - | - |
| ave. | 30.77 | 21.88 | 2.57 | 4.48 | 32.02 | 22.35 | 29.32 | 19.91 |

<표 3.1.16> 재생잔골재 치환율 70% 실험결과

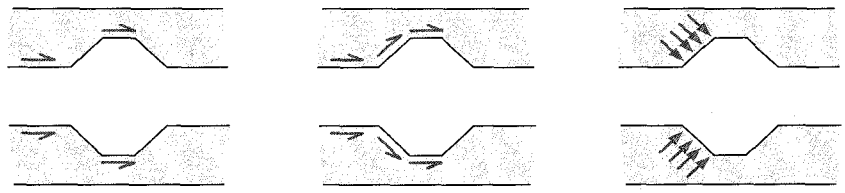
| No. | 표준양생 (Φ100×200) | | 쪼갬인장강도 (MPa) | 휨강도 (MPa) | 표준양생 (Φ150×300) | | 일반양생 (Φ100x200) | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | | | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) | 압축강도 (MPa) | Ec (GPa) |
| 1 | 23.47 | 20.57 | 1.83 | 4.66 | 31.65 | 21.21 | 25.11 | 14.85 |
| 2 | 29.47 | 20.71 | 2.85 | 4.11 | 31.92 | 20.87 | 27.40 | 19.02 |
| 3 | 22.40 | 26.27 | 2.83 | 4.12 | 31.35 | 22.14 | 28.38 | 17.90 |
| 4 | 27.36 | 20.72 | 2.83 | 3.83 | - | - | 27.74 | 18.61 |
| 5 | 30.81 | 20.85 | 3.05 | 3.80 | - | - | 27.43 | 17.39 |
| 6 | 29.09 | 18.84 | - | - | - | - | - | - |
| 7 | 30.55 | 21.59 | - | - | - | - | - | - |
| 8 | 29.69 | 21.10 | - | - | - | - | - | - |
| 9 | 30.61 | 20.71 | - | - | - | - | - | - |
| 10 | 28.77 | 21.90 | - | - | - | - | - | - |
| 11 | 28.87 | 19.96 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 28.29 | 21.75 | - | - | - | - | - | - |
| 13 | 26.69 | 21.37 | - | - | - | - | - | - |
| 14 | 30.13 | 20.10 | - | - | - | - | - | - |
| 15 | 26.52 | 21.09 | - | - | - | - | - | - |
| 16 | 29.00 | 20.84 | - | - | - | - | - | - |
| 17 | 30.53 | 21.76 | - | - | - | - | - | - |
| 18 | 29.07 | 21.27 | - | - | - | - | - | - |
| 19 | 30.77 | 20.58 | - | - | - | - | - | - |
| 20 | 31.02 | 20.60 | - | - | - | - | - | - |
| ave. | 28.66 | 20.86 | 2.68 | 4.10 | 31.64 | 21.41 | 27.22 | 17.55 |

## 나. 순환 잔골재 콘크리트의 철근과의 부착거동

(1) 서 론

(가) 연구 배경

콘크리트에 대한 철근의 부착저항 메커니즘은 [그림 3.1.17]에 나타낸 바와 같이 크게 ① 화학적인 접착력(Adhesion), ② 표면 거칠기에 의한 마찰력(Friction) 및 ③ 기계적인 맞물림(Mechanical interlocking) 등으로 구분할 수 있다. 이와 같은 3가지의 정착메커니즘 중에서 전자의 2가지는 매트릭스 재료(시멘트 페이스트)의 특성에 주로 영향을 받으며, 후자는 콘크리트의 압축 및 인장쪼개짐강도에 영향을 받을 것으로 예상된다. 본 연구에서의 순환골재 콘크리트는 잔골재만을 순환잔골재로 치환하여 콘크리트와 철근과의 부착실험을 실시하였으며 또한 순환잔골재에 비하여 골재 품질이 낮은 재생잔골재를 사용한 콘크리트와 철근과의 부착실험을 실시하였다. 한편 직접인발시험으로 순환굵은골재 콘크리트의 부착성능을 평가한 1, 2차년 연구결과에 의하면, 수직 및 수평 하단근에서는 순환골재 치환율에 관계없이 모두 현행 설계기준에서 제시하고 있는 부착강도 규정을 충분히 만족하지만, 수평 상단근에서는 부착강도 저하가 현저히 나타났다. 즉, 콘크리트 타설 시 발생되는 블리딩 및 골재침하가 원인으로 분석되고 있으나, 충분한 실험적 검증을 통해 순환골재콘크리트의 부착특성을 규명할 필요가 있을 것으로 판단된다.




[그림 3.1.17] 철근의 부착 메커니즘(ACI, 1992)

(나) 연구 목적

3차년도 연구에서는 순환잔골재 콘크리트와 철근의 부착성능을 평가하기 위하여 부착강도에 영향을 미치는 다양한 실험변수를 설정하고 순환골재의 치환율에 따른

영향을 평가하였다. 이러한 일련의 실험적 검증을 통하여 현행 각국의 부착관련 규준과 비교·분석을 실시함으로써 최종적으로 순환골재 콘크리트의 구조기준을 정립하고자 하였다.

(2) 실험방법 및 일반사항

(가) 실험 계획

순환골재 콘크리트와 철근의 부착거동 특성을 평가하기 위하여 본 연구에서는 철근위치, 타설방향 및 내구성에 대하여 순환 잔골재 치환율을 변수로 직접인발(Pull-out)실험체 198개를 제작하였다. 실험체의 콘크리트 압축강도는 현행 순환골재 품질기준에서 최대압축강도로 제한하고 있는 27MPa로 제작하였다. 각 변수별 세부사항을 나타내면 <표 3.1.17>과 같다.

<표 3.1.17> 부착강도 실험체 계획

| 배합조건 | | 부착강도 | | | | | | 내구성 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 강도 | 순환골재 치환율 (%) | 압축인발 | | | | | | 압축인발-수직 | | | | | |
| | | 수직 | 2단 수평 | | 3단 수평 | | | 동결융해(cycle) | | | 자연열화 | | |
| | | | 상 | 하 | 상 | 중 | 하 | 100 | 200 | 300 | 1년 | 2년 | 3년 |
| 27 (순환잔골재) | 0 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 |
| | 30 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 |
| | 60 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 |
| | 100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 6 | 6 | 6 |
| 27 (재생잔골재) | 35 | 3 | 3 | 3 | - | - | - | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| | 70 | 3 | 3 | 3 | - | - | - | 2 | 2 | 2 | - | - | - |
| 합계 | | 18 | 18 | 18 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 24 | 24 | 24 |

직접인발 부착실험체는 KS F 2441/ASTM C234와 CSA S802-02 규격을 참고하여 제작하였다. 현행 각국의 설계기준에서는 공통적으로 수평철근의 하부로 300mm 이상의 콘크리트가 타설될 때 블리딩에 의한 부착강도 저하를 고려하고 있으며, 1, 2차년도 실험결과에서도 수평배근에 따른 상부 철근의 부착강도 저하를 확인하였다.

따라서 본 연구에서는 타설방향과 철근의 위치 및 철근의 높이에 따른 부착강도 차이를 검증하기 위하여 수직근과 수평근에 대한 실험체를 제작하였다. 수평철근은 상부와 하부철근으로 구성된 2단 수평과 2단 수평실험체와 동일한 철근간격을 갖으며, 3단으로 배치한 3단 수평실험체로 구성된다. 수평 부착실험체의 경우 철근 배치방향과 직각으로 콘크리트를 타설하였으며, 상·중·하부의 실험체를 동시에 타설한 후 양생이 완료되면 각각의 실험체를 분리하여 개별적으로 실험하였다. 또한 순환골재 콘크리트의 내구특성이 부착강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 촉진노출실험인 동결융해 실험과 1년~3년까지 외기에 폭로 후 부착특성을 평가하는 자연열화 실험을 계획하였다.

(나) 재료계획

① 골재

콘크리트용 순환잔골재 및 재생잔골재의 품질성능을 평가·분석하기 위해 흡수율 5.83%이하, 절건밀도 2.29g/cm$^3$의 순환잔골재와 흡수율 7.95%, 절건밀도 2.15g/cm$^3$의 재생잔골재를 생산하였다.

② 콘크리트

현재까지 순환골재 콘크리트에 관한 연구는 소규모의 실험실 실험을 통해 이루어졌으며, 이러한 소규모 실험으로 얻어진 결과를 실제 현장에 적용할 경우, 비빔방법 및 물량의 차로 인해 실험의 오차가 발생할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 현장에서 발생할 수 있는 실험오차를 배제하기 위해 한 배치당 최소 4m$^3$ 이상의 레미콘 배합으로 콘크리트를 제조하였다. 콘크리트의 압축강도는 설계기준강도 27MPa로 설정하였으며, 목표 슬럼프는 건축공사에 있어서 가장 일반적으로 사용되는 150mm를 선정하였다. 배합조건은 설계기준강도에 따라 물시멘트비 43.6%의 수준에서 잔골재 품질별 콘크리트의 부착특성을 분석하기 위하여 순환잔골재 치환율을 0, 30, 60, 100%의 4 수준, 재생잔골재 치환율을 35, 70% 수준으로 계획하였다.

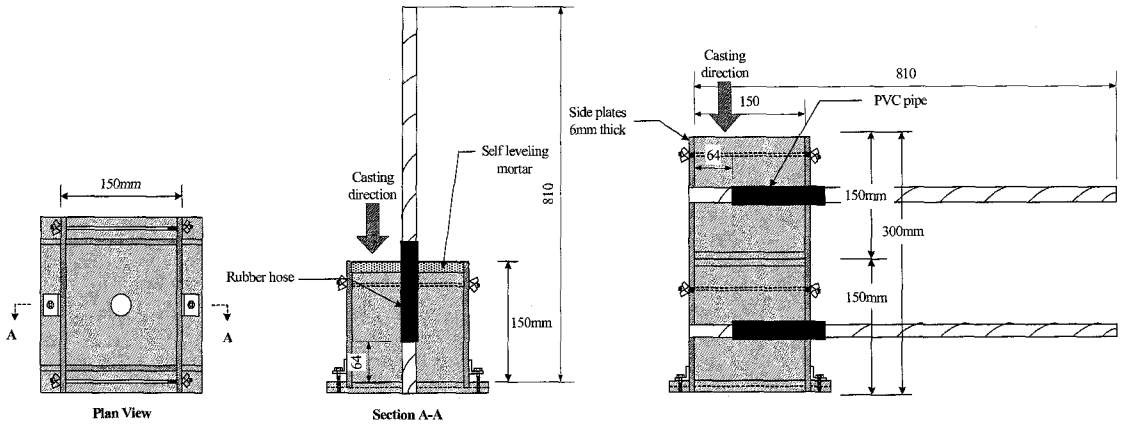
순환골재 치환율에 따른 콘크리트의 강도 특성은 <표 3.1.18>과 같다.

<표 3.1.18> 순환잔골재 치환율에 따른 콘크리트 강도특성

| $f_{ck}$ (MPa) | 순환잔골재 치환율 (%) | $f_{cu\_\phi100}$ (MPa) | $E_c$ (GPa) | 쪼갬 인장강도 (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 27 (순환잔골재) | 0 | 31.51 | 21.27 | 2.58 |
| | 30 | 29.88 | 23.09 | 2.65 |
| | 60 | 31.04 | 23.54 | 2.75 |
| | 100 | 27.40 | 20.89 | 2.62 |
| 27 (재생잔골재) | 35 | 30.77 | 21.88 | 2.57 |
| | 70 | 28.66 | 20.86 | 2.68 |

(다) 시험체 형상 및 치수

직접인발 실험체는 KS F 2441, ASTM C234와 CSA S802-02 규격을 참고하여 철근위치에 따라서 수직, 2단수평, 3단수평의 3가지 형태로 제작하였다. 수직 부착실험체는 150×150×150mm의 콘크리트 몰드에 철근을 수직으로 배치하고 콘크리트를 수직 타설하였다. 배근된 철근의 총 길이는 810mm이며, 콘크리트 몰드의 하부로부터 철근직경의 4배인 64mm가 콘크리트와 부착되도록 하고 비부착 구간에는 콘크리트와의 접착을 방지하기 위하여 고무호스로 피복하였다. 2단 수평 부착실험체는 150×150mm 평면에 높이 300mm로 제작하였으며, 하부로부터 75mm와 225mm 위치에 철근을 수평으로 배근하고 콘크리트를 수직 타설하였다. 배근된 철근의 길이는 810mm이며, 콘크리트 몰드의 한쪽 측면으로부터 64mm의 콘크리트 정착구간과 PVC파이프를 이용한 비부착 구간을 갖도록 제작하였다. 또한 강재몰드의 150mm 높이에 V형 홈을 성형하여 양생 후 콘크리트가 수직 부착실험체와 동일한 크기로 분리될 수 있도록 하였다. 3단 수평 부착실험체는 2단 수평 부착실험체와 동일한 방법으로 제작되며, 전체 높이가 450mm로 하부로부터 75mm, 225mm, 375mm 위치에 철근을 수평 배근하였다. 강재몰드에는 150mm 위치마다 V형 홈을 성형하여 수직 부착실험체와 동일한 크기로 3등분 될 수 있도록 하였다.

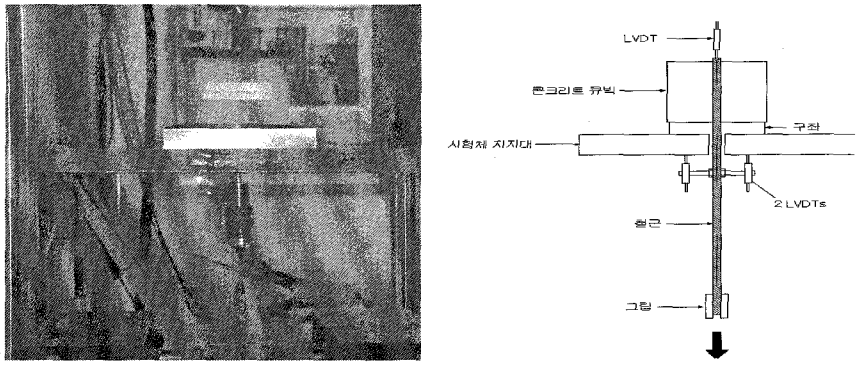



[그림 3.1.18] Pull-out 실험체

(라) 가력 및 측정계획

① Pull-out test

부착강도시험은 CSA S806-02 규준에 따라 실시하였다. 하중은 1000kN 용량의 만능재료시험기를 이용하여 가력하였으며, 철근과 콘크리트 사이의 슬립양을 측정하기 위하여 실험체 상부에 돌출되어 있는 철근에 1개의 LVDT를 설치하여 콘크리트와 철근의 상대변위를 측정하였다.

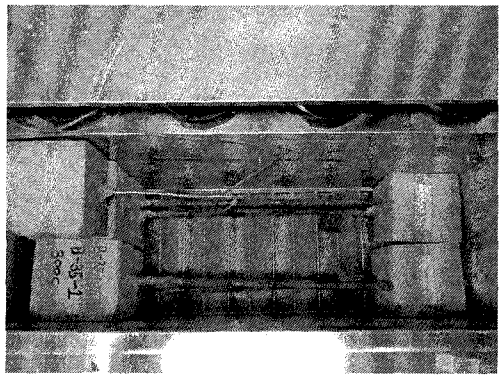



[그림 3.1.19] Pull-out 실험체 가력 및 측정

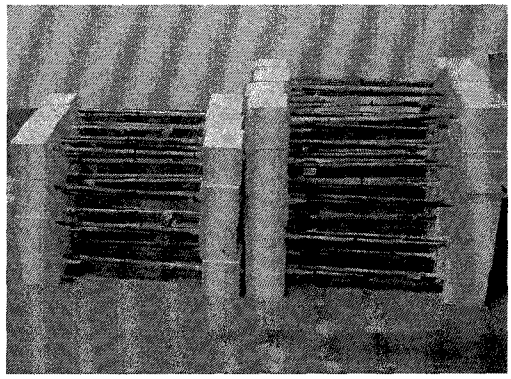
② 부착내구성 실험

순환잔골재 콘크리트의 부착내구성을 평가하기 위하여 [그림 3.1.20]과 같이 동결융해에 의한 촉진노출시험과 자연열화 시험을 수행하였다. 동결융해 시험은 기건동결·수중융해의 조건으로 0, 100, 200, 300cycle의 노출 후 부착실험을 실시하였으며,

자연열화 시험은 옥외 기후조건에서 1년, 2년, 3년 방치 후 부착실험을 수행할 계획이다.



(a) 동결융해시험



(b) 자연열화시험

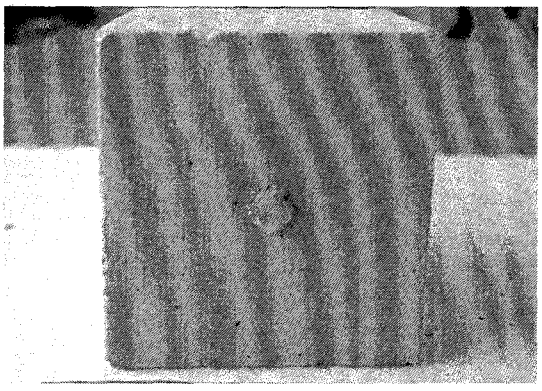
[그림 3.1.20] 부착내구성 시험

(3) 실험결과 및 분석

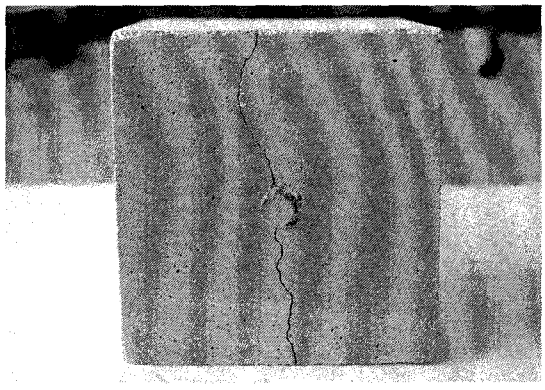
(가) 수직 Pull-out 실험결과

① 파괴양상

수직 부착실험에 의한 천연 및 순환골재 콘크리트의 파괴양상은 [그림 3.1.21]에 나타난 바와 같이 순환잔골재 치환율에 관계없이 splitting 파괴와 pull-out 파괴가 모두 나타나고 있다.



(a) Pull out failure

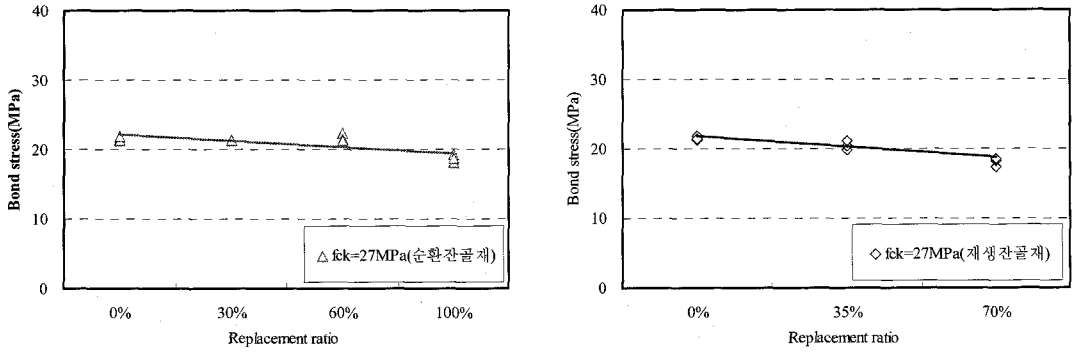


(b) Splitting failure

[그림 3.1.21] 수직 부착실험체 파괴양상

② 최대 부착강도

수직 부착실험체의 순환골재 치환율에 따른 최대부착강도는 [그림 3.1.22]에서 보이는 바와 같이 순환골재 치환율이 증가할수록 감소하는 경향을 나타내며, 이러한 경향은 순환골재 치환율에 따른 콘크리트 압축강도 경향과 거의 유사하다. 즉, 수직부착 실험의 경우 부착강도를 저하시키는 블리딩의 영향이 없기 때문에 콘크리트의 부착강도는 압축강도에 직접적으로 비례하며, 순환잔골재의 치환율에 따른 영향이 거의 없는 것으로 판단된다.

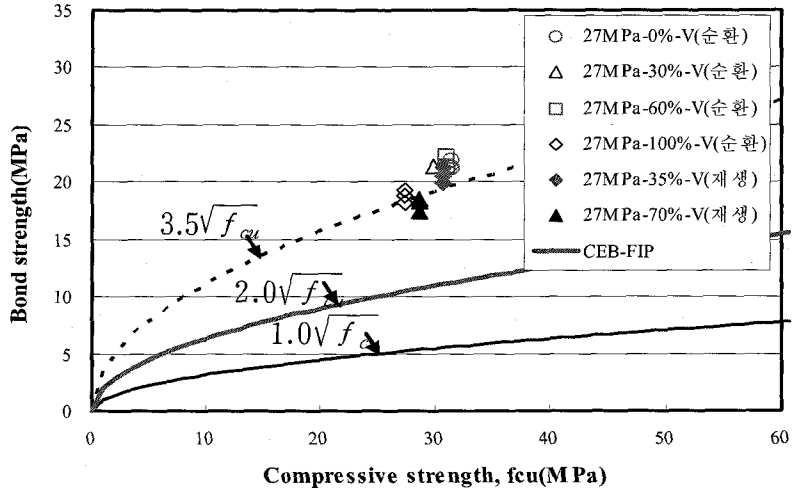



(a) 순환잔골재 (b) 재생잔골재

[그림 3.1.22] 잔골재 치환율에 따른 수직 부착강도

③ 실험결과 분석

본 연구에서 제작한 수직 부착실험체는 콘크리트 커버 두께가 $4.2d_b$로 CEB-FIP에서 규정한 $5d_b$이상의 구속 조건을 만족하지 못하기 때문에 최대 부착강도를 $2.0\sqrt{f_{cu}}$로 제한하여 검토하였다. [그림 3.1.23]에서 나타난 바와 같이 순환골재 치환율에 관계없이 모든 수직 부착실험체는 CEB-FIP에서 제시하는 부착강도를 상회하고 있으며, 콘크리트의 압축강도의 함수($\sqrt{f_{cu}}$)로 표현하면 $3.5\sqrt{f_{cu}}$에 근접하는 것으로 나타났다.




[그림 3.1.23] 수직 부착실험체의 콘크리트 압축강도에 다른 부착강도 분포

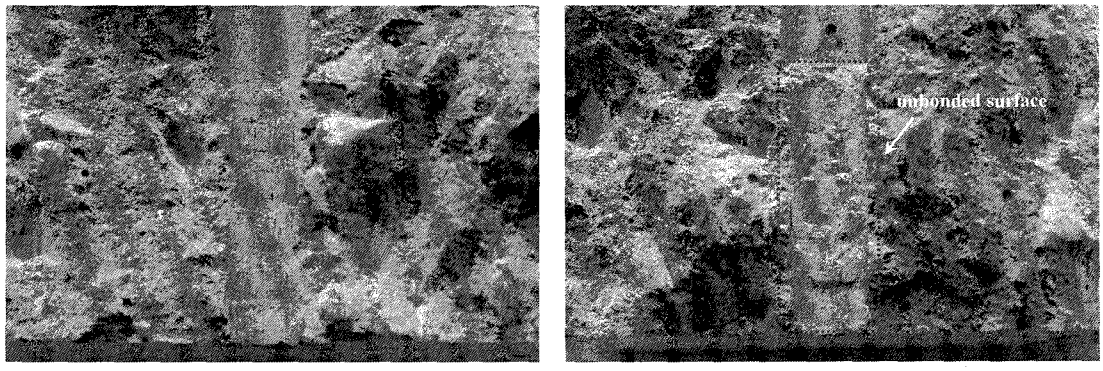
(나) 2단수평 부착실험

① 파괴양상

2단수평 부착실험체의 파괴양상은 앞 절의 수직 부착실험체에서 언급한 것과 같이 콘크리트의 splitting 파괴와 pull-out 파괴로 구분되며, 순환골재 치환율에 관계없이 수평 부착실험체의 하단근 및 상단근의 모든 실험체에서 pull-out 파괴가 발생하였다. 따라서 2단수평 부착실험에서 순환골재 치환율에 따른 파괴양상의 차이는 나타나지 않았다.

② 부착-슬립관계

[그림 3.1.24]는 2단 수평 부착실험체의 실험종료 후 상단철근위치에서 콘크리트를 절단하여 상·하부 경계면을 나타낸 것이다. 상단근 상·하부 경계면을 비교할 때 상부 경계면은 철근과 콘크리트의 부착으로 철근리브 전면의 지압파괴(crushing)와 pull-out에 의한 철근 마디사이의 콘크리트 파괴(shearing-off)가 발생된 것을 볼 수 있는 반면 상단근 하부 경계면은 블리딩에 의해 하부 표면적의 90% 이상 비부착된 것을 볼 수 있다.



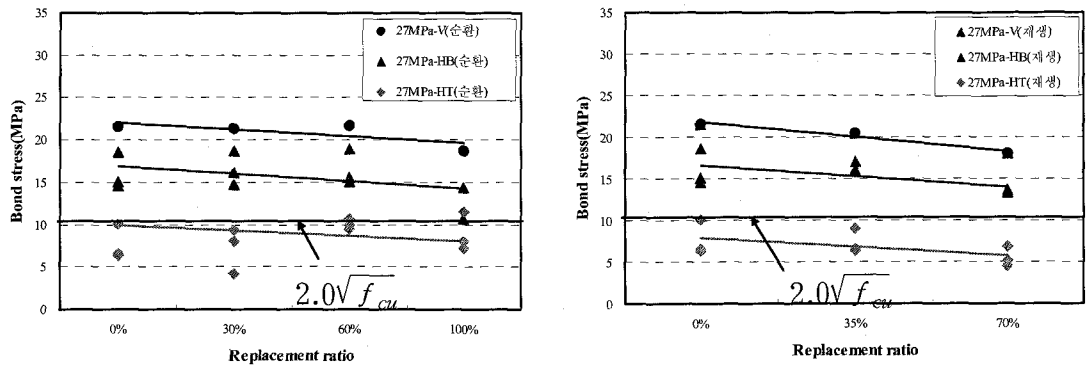

(a) 상단철근 상부면 (b) 상단철근 하부면

[그림 3.1.24] 철근위치에 따른 콘크리트 부착형상

③ 최대 부착강도

순환잔골재 및 재생잔골재의 치환율에 따른 2단수평 부착실험체의 상·하단의 철근의 최대부착강도를 나타내면 [그림 3.1.25]와 같다.

실험결과, 순환잔골재와 재생잔골재를 사용한 실험체 모두 하단철근에 비하여 상단철근의 부착강도가 현저히 감소되는 것으로 나타났다. 순환잔골재와 재생잔골재를 사용한 하단근 실험체의 경우 수직실험체의 부착강도에 비하여 강도가 감소하였으나 CEB-FIP 규준에서 제시하는 $2.0\sqrt{f_{cu}}$ 값을 상회하고 있다. 한편 상단근 실험체의 경우 부착강도가 CEB-FIP 규준에서 제시하는 $2.0\sqrt{f_{cu}}$ 이하로 감소하므로 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

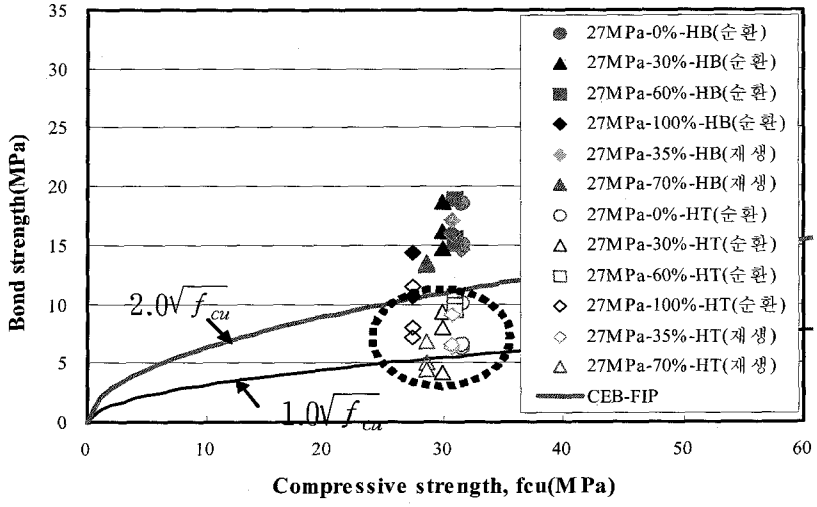



(a) 순환잔골재 (b) 재생잔골재

[그림 3.1.25] 2단 수평 부착실험체의 순환골재 치환율에 따른 부착강도

④ 실험결과 분석

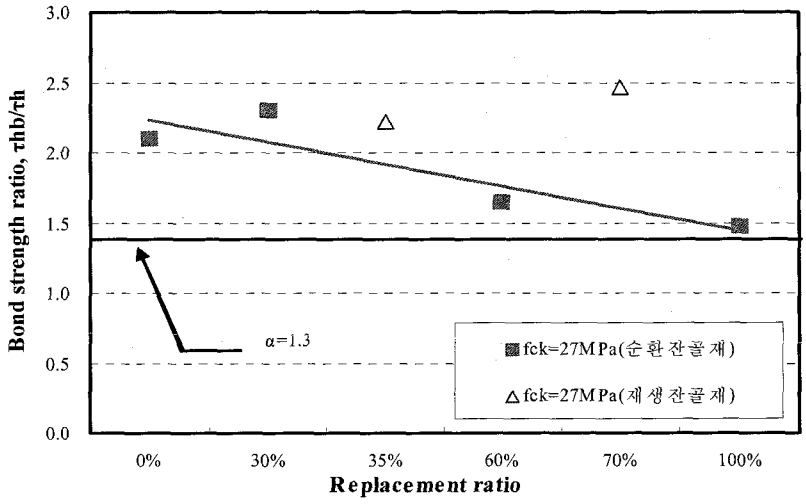
[그림 3.1.26]은 순환잔골재 치환율에 따른 2단수평 부착실험체의 상·하단 부착강도를 콘크리트 압축강도에 대하여 나타내었으며, CEB-FIP에서 구속효과에 따라 제시하고 있는 부착강도 규정에 대하여 검토하도록 하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 수평 하단근은 순환골재 치환율에 관계없이 CEB-FIP에서 제시하는 부착강도를 상회하고 있으나, 수평 상단근은 대체로 규정값을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.




[그림 3.1.26] 2단수평 부착실험체의 부착강도 분포

철근의 정착길이는 부착강도의 역함수 관계로 상단근의 부착강도에 대한 하단근의 부착강도 증가율로 평가할 수 있다. 상단근에 대한 하단근의 부착강도 증가율을 순환골재 치환율에 따라 나타내면 [그림 3.1.27]과 같다. 그림에서 철근위치에 따른 부착길이 보정계수 1.3은 KCI-07 및 ACI318-05에서 규정된 값으로 천연골재 콘크리트를 포함한 모든 실험값의 상·하단 부착강도비가 대략 2.0내외의 값으로 설계기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 순환잔골재를 사용한 콘크리트 실험체의 상·하단 부착강도 비는 치환율이 증가할수록 작아진다. 이는 순환잔골재가 천연골재보다 밀도가 작고 파쇄에 의해 입형이 불규칙하기 때문에 강사인 천연잔골재보다 침하의 영향이 적고 이에 따라 상·하단의 부착강도 차를 감소시키는 역할을 한 것으로 판단된다. 이에 반하여 순환잔골재보다 품질이 낮고 이물질이 많은 재생잔골재의 경우 실험 종료 후에 파단면을 관찰한 결과 부피는 크지만 낮은 밀도의 레이턴스

와 이물질이 상부에 분포한 것을 확인할 수 있었으며, 이로 인하여 상부와 하부의 강도차이가 증가한 것으로 판단된다.

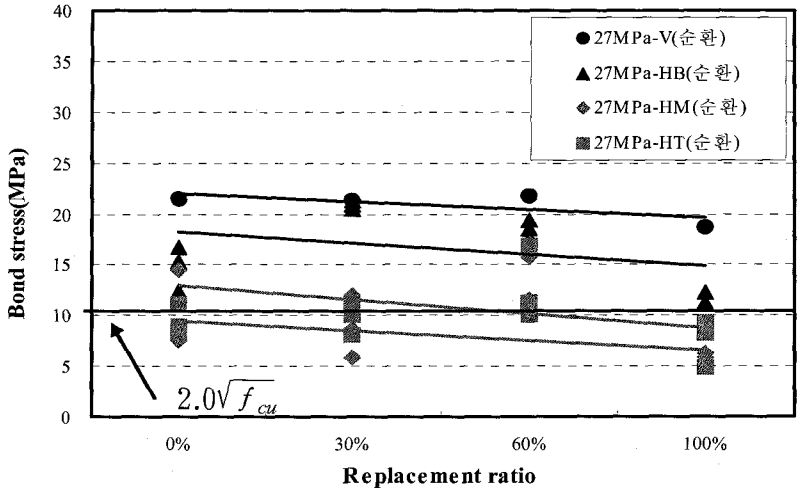



[그림 3.1.27] 2단수평 부착실험체의 상·하단 부착강도 비

(다) 3단수평 부착실험

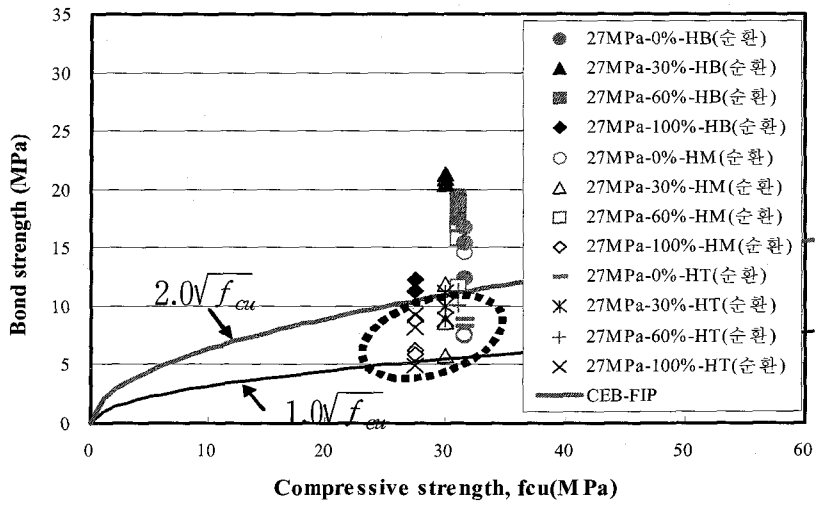
순환골재의 치환율에 따른 3단수평 부착실험체의 철근위치에 따른 최대부착강도를 나타내면 [그림 3.1.28]과 같다.

콘크리트 압축강도 27MPa로 제작된 순환잔골재 3단수평 부착실험체의 철근위치에 따른 최대부착강도는 철근 하부에 타설되는 콘크리트 깊이가 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 블리딩에 의해 영향을 받는 일정높이가 존재하는 것으로 판단되며, 본 실험결과에 의하면 철근하부의 콘크리트 타설깊이가 225mm인 중단근의 부착강도가 하단근에 비하여 현저히 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 현행 KCI-07 및 ACI 318-05 규준에서 제시하고 있는 300mm보다는 더 낮은 타설깊이에서 부착강도가 감소되는 것으로 판단된다. 한편 중간근 및 상단근에서는 부착강도는 CEB-FIP에서 제시하는 $2.0\sqrt{f_{cu}}$ 이하로 감소하므로 이에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.



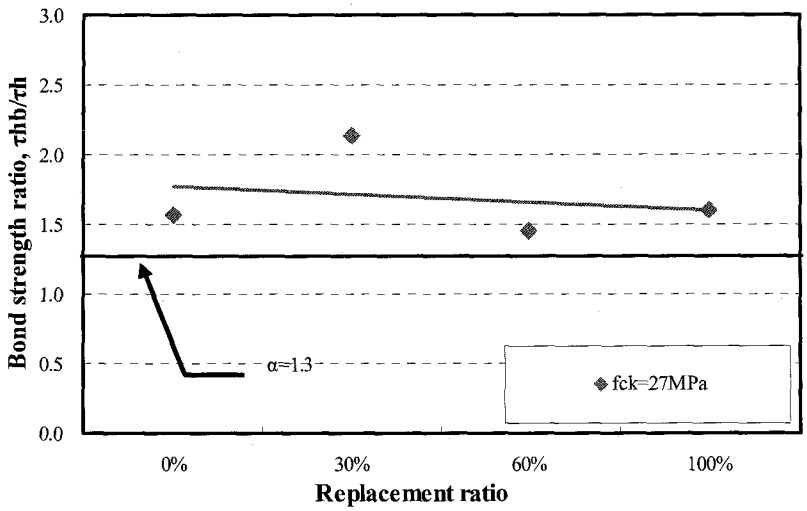

[그림 3.1.28] 순환잔골재 치환율에 따른 3단수평 부착실험체 부착강도

[그림 3.1.29]는 설계압축강도 27MPa의 순환골재 치환율에 따른 3단수평 부착실험체의 철근위치에 따른 부착강도를 각각의 콘크리트 압축강도에 대하여 나타내었으며, CEB-FIP에서 제시하고 있는 부착강도 규정에 대하여 검토하도록 하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 수평 하단근은 순환골재 치환율에 관계없이 CEB-FIP에서 제시하는 부착강도를 모두 상회하고 있으나, 수평 중단근 및 상단근은 대체로 규정값을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.




[그림 3.1.29] 3단수평 부착실험체의 부착강도 분포

상단근의 부착강도에 대한 하단근의 부착강도증가율을 순환골재 치환율에 따라 나타내면 [그림 3.1.30]과 같다. 2단 수평 부착실험결과와 마찬가지로 3단 수평 부착실험체의 중단근 및 상단근은 KCI-07 및 ACI318-05에서 제안하고 있는 부착길이 보정계수 1.3의 값을 만족하지 못하며, 대략 상·하단부착강도 비가 2.0내외인 것으로 나타났다.



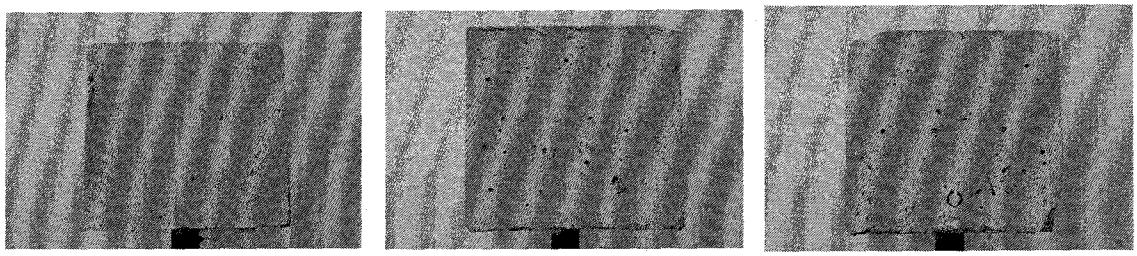

[그림 3.1.30] 3단수평 부착실험체의 상·하단 부착강도비

(4) 부착내구성 실험결과 및 분석

(가) 순환굵은골재 콘크리트의 부착내구성

① 동결융해에 따른 부착내구성

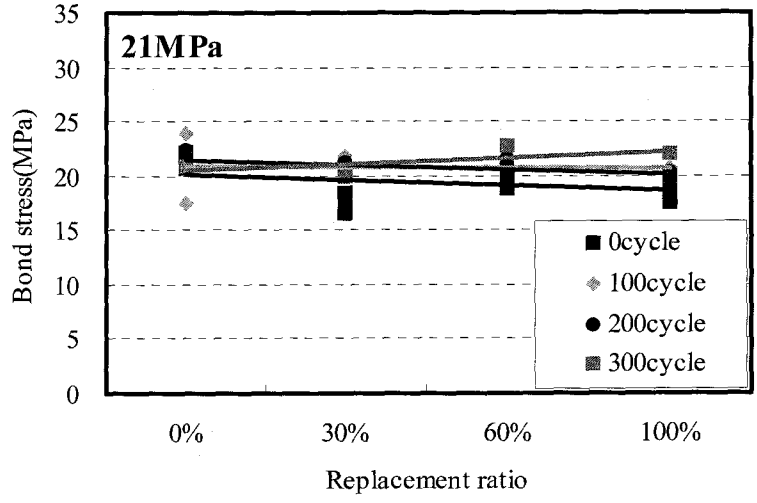
[그림 3.1.31]은 순환굵은골재 콘크리트의 각 동결융해 사이클 종료 후 실험체 표면 상태를 나타낸 것으로 동결융해 사이클의 증가에 따라서 부분적인 표면의 열화가 관측되었지만 열화깊이는 깊지 않았으며, 박락된 콘크리트의 양도 많지 않았다. 또한 동일한 동결융해 조건하에서 순환골재 콘크리트와 천연골재 콘크리트의 외관상 열화정도는 차이가 없는 것으로 나타났다.



(a) 동결융해 100cycle (b) 동결융해 200cycle (c) 동결융해 300cycle

[그림 3.1.31] 동결융해에 따른 외관변화

동결융해 사이클에 따른 순환굵은골재 콘크리트의 최대부착강도는 [그림 3.1.32]에서 나타난 바와 같이 동결융해 노출시간에 관계없이 대체로 유사하며, 순환굵은골재 치환률에 따른 영향도 거의 없는 것으로 나타났다.




[그림 3.1.32] 순환굵은골재 콘크리트의 동결융해 후 부착강도

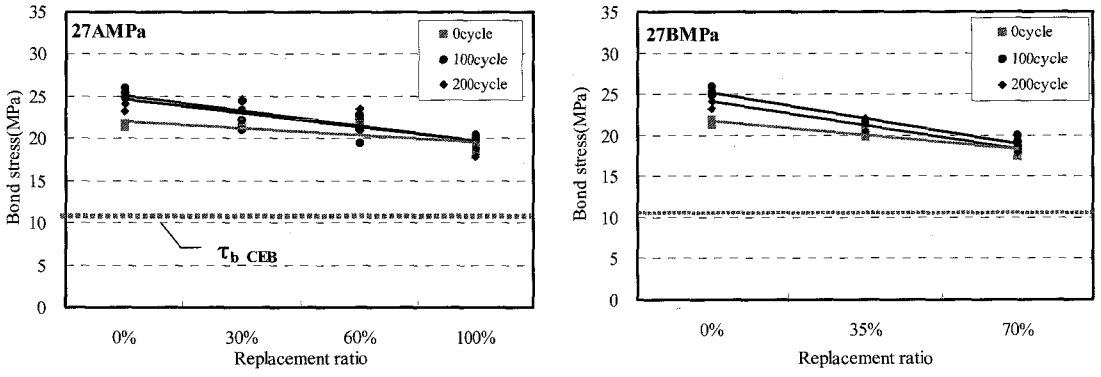
일반적으로 AE제를 사용한 콘크리트에서는 동결융해에 의한 피해가 크지 않은 것으로 보고되고 있다. 본 연구에서도 천연 및 순환골재 콘크리트 모두 AE제를 사용한 콘크리트 배합으로 제작되었다. 이에 따라 동결융해에 의한 콘크리트의 열화가 표면에서만 일부 발생하였으며, 철근과 부착된 내부 콘크리트의 열화는 거의 발생하지 않은 것으로 판단된다. 따라서 천연골재를 사용한 배합과 동등한 수준의 공기량을 확보할 경우 순환골재 콘크리트에서 동결융해에 의한 문제는 발생하지 않을 것으로 판단된다.

(나) 순환잔골재 콘크리트의 부착내구성

① 동결융해에 따른 부착내구성

동결융해 노출시간에 따른 순환잔골재 및 재생잔골재 콘크리트의 부착강도 변화를 나타내면 [그림 3.1.33]과 같다. 그림에서 나타난 바와 같이 동결융해 노출시간에 관계없이 노출 전에 비하여 부착강도가 저하되지 않는 것으로 나타났다. 또한, 동결융해 노출 후 순환골재 치환율에 따라 부착강도가 감소하는 경향을 나타내지만 초기 노출 전의 부착강도 이상을 확보하고 있으므로 순환골재 치환에 따른 부착내구성의 문제도 없는 것으로 판단된다.

본 연구에서 사용된 콘크리트 배합은 AE제를 포함한 것으로 동일한 공기량을 확보할 때 순환잔골재 콘크리트는 천연골재 콘크리트와 동등한 동결융해 저항성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다.




(a) 순환잔골재 콘크리트 (b) 재생잔골재 콘크리트

[그림 3.1.33] 순환잔골재 콘크리트의 동결융해 후 부착강도

<표 3.1.19> 수직 및 2단 수평 Pull-out 실험결과 ($l_d$=4$d_b$)

| $f_{ck}$ (MPa) | 치환율 (%) | $\tau_V$ (MPa) | | | | $\tau_{HB}$ (MPa) | | | | $\tau_{HT}$ (MPa) | | | | $f_{cu}$ (MPa) | $\tau_{CEB}$ (MPa) | $\tau_{ACI}$ (MPa) | $\tau_{HB}$ /$\tau_{HT}$ | $\tau_{CEB}$ /$\tau_{HT}$ | $\tau_{ACI}$ /$\tau_{HT}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | Avg | 1 | 2 | 3 | Avg | 1 | 2 | 3 | Avg | | | | | | |
| 27A | 0 | 21.85 | 21.31 | 21.44 | 21.53 | 15.13 | 18.60 | 14.59 | 16.11 | 10.11 | 6.30 | 6.62 | 7.68 | 31.51 | 11.23 | 7.10 | 2.10 | 1.46 | 0.92 |
| | 30 | 21.34 | - | - | 21.34 | 16.19 | 18.70 | 14.69 | 16.53 | 8.00 | 9.32 | 4.19 | 7.17 | 29.88 | 10.93 | 6.91 | 2.30 | 1.52 | 0.96 |
| | 60 | 21.28 | 21.44 | 22.30 | 21.67 | 15.14 | 15.55 | 18.99 | 16.56 | 10.63 | 10.00 | 9.51 | 10.05 | 31.04 | 11.14 | 7.04 | 1.65 | 1.11 | 0.70 |
| | 100 | 18.74 | 19.27 | 18.17 | 18.73 | 14.40 | 10.61 | 14.43 | 13.15 | 7.17 | 11.56 | 8.07 | 8.93 | 27.40 | 10.47 | 6.62 | 1.47 | 1.17 | 0.74 |
| 27B | 35 | 19.85 | 20.47 | 21.22 | 20.51 | 15.94 | 16.05 | 17.10 | 16.36 | 9.08 | 6.39 | 6.64 | 7.37 | 30.77 | 11.09 | 7.01 | 2.22 | 1.51 | 0.92 |
| | 70 | 17.43 | 18.26 | 18.49 | 18.06 | 13.60 | 13.25 | 13.45 | 13.43 | 4.46 | 5.07 | 6.87 | 5.47 | 28.66 | 10.71 | 6.77 | 2.46 | 1.96 | 1.24 |

<표 3.1.20> 3단 수평 Pull-out 실험결과 ($l_d$=4$d_b$)

| $f_{ck}$ (MPa) | 치환율 (%) | $\tau_{RHB}$ (MPa) | | | | $\tau_{RM}$ (MPa) | | | | $\tau_{RT}$ (MPa) | | | | $f_{cu}$ (MPa) | $\tau_{CEB}$ (MPa) | $\tau_{ACI}$ (MPa) | $\tau_{RB}$ /$\tau_{RT}$ | $\tau_{CEB}$ /$\tau_{RT}$ | $\tau_{ACI}$ /$\tau_{RT}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | Avg | 1 | 2 | 3 | Avg | 1 | 2 | 3 | Avg | | | | | | |
| 27A | 0 | 12.37 | 16.75 | 15.40 | 14.84 | 14.50 | 7.49 | 7.60 | 9.86 | 8.90 | 8.33 | 11.18 | 9.47 | 31.51 | 11.23 | 7.10 | 1.57 | 1.19 | 0.75 |
| | 30 | 20.88 | 21.34 | 20.47 | 20.90 | 5.79 | 11.93 | 8.60 | 8.77 | 8.15 | 11.22 | 10.03 | 9.80 | 29.88 | 10.93 | 6.91 | 2.13 | 1.12 | 0.71 |
| | 60 | 19.39 | 18.58 | 17.63 | 18.53 | 17.04 | 11.62 | 15.73 | 14.80 | 10.06 | 11.32 | 16.92 | 12.77 | 31.04 | 11.14 | 7.04 | 1.45 | 0.87 | 0.55 |
| | 100 | 12.30 | 12.32 | 11.30 | 11.97 | 6.21 | 5.91 | 8.78 | 6.97 | 4.91 | 9.32 | 8.23 | 7.49 | 27.40 | 10.47 | 6.62 | 1.60 | 1.40 | 0.88 |

(5) 소 결

본 연구에서는 순환골재 콘크리트의 철근에 대한 부착특성을 파악하기 위하여 순환잔골재, 재생잔골재의 치환율, 철근 배근방향/위치 및 장/단기(내구성)에 따른 부착시험을 실시하였으며, 본 시험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 수직근 및 수평 하단근의 부착강도는 순환잔골재 치환율에 관계없이 CEB-FIP에서 규정하는 부착강도를 모두 상회하는 것으로 나타났다. 그러나 수평 상단근의 부착강도는 블리딩 및 골재침하에 의해 하단근에 비하여 현저히 저하되며, CEB-FIP의 규준값을 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

(나) 수평 상단근의 부착강도 저하는 상단근 하부로 타설되는 콘크리트 깊이가 깊을수록 증가하며, 현행 구조설계기준에서 제시하는 상단근 효과를 고려한 타설깊이 300mm보다 낮은 높이에서도 부착강도 저하가 발생되는 것으로 관측되었다.

(다) 수평상단근의 부착강도 저하현상은 천연골재와 순환골재를 사용한 실험체 모두 KCI-07 및 ACI318-05에서 규정하고 있는 부착길이 보정계수 1.3 이상으로 나타났으며, 대략 2.0내외의 값을 나타내었다.

(라) 동결융해 조건에 노출된 천연 및 순환골재 콘크리트의 부착성능은 노출시간에 관계없이 비교적 일정한 부착강도를 유지하는 것으로 나타났으며, 순환골재의 치환률에 따른 콘크리트의 부착성능도 차이가 없는 것으로 나타났다. 따라서 AE제를 사용한 순환골재 콘크리트는 동결융해 조건 하에서 충분한 부착 내구성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

## 다. 레미콘 배합에 의한 순환 잔골재 콘크리트 실물모형 부재의 휨 거동

(1) 서론

(가) 연구배경

본 연구의 재료시험 결과에 의하면 순환잔골재 콘크리트에서 치환율 60%까지는 천연골재 콘크리트에 비하여 재료특성 차이가 거의 없는 것으로 나타나고 있다. 한편 현행 순환골재 품질기준에서는 순환잔골재의 경우 콘크리트 강도가 21MPa 미만인 범위에서 도로구조물 기초, 강도가 요구되지 않는 채움재 콘크리트, 건축물의 비구조체 콘크리트 등으로 적용 범위를 제한하고 있다. 그러나 본 연구의 재료성능 실험에서 확인한 바와 같이 순환잔골재의 재료성능이 천연골재 콘크리트와 동등한 성능을 확보하고 있으므로 구조부재에 대한 적용 가능성이 높을 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 설계압축강도 27MPa로 생산된 순환잔골재 콘크리트를 사용하여 실물부재에 대한 구조역학적 검토를 수행함으로써 순환잔골재의 구조부재에 대한 적용성을 평가하고자 한다.

(나) 연구 목적

본 연구에서는 실물모형 보 부재에 대한 휨성능 실험을 통하여 순환골재가 부재의 최대 휨 내력과 처짐 등의 사용성에 미치는 영향을 평가하였다. 이러한 일련의 실험적 연구를 통하여 순환잔골재 콘크리트를 사용한 휨 부재의 구조설계 기준을 정립하기 위한 기초자료를 구축하고자 하였다.

(2) 실험

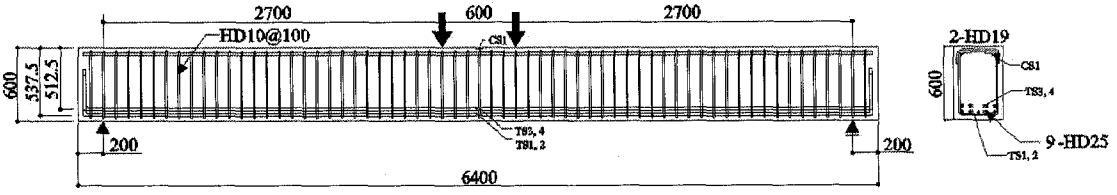
(가) 실험 계획

본 연구에서는 휨부재에서 가장 불리한 조건인 최대철근비로 배근된 실험체에 대하여 순환잔골재 콘크리트를 사용한 휨부재의 휨강도 및 단기 사용성 평가를 수행하였다. 이에 따라 <표 3.1.21>에 나타난 바와 같이 압축연단 콘크리트 변형률이 0.003 도달할 때 최하단 인장철근의 순인장변형률이 0.005에 도달하도록 인장철근을 배근

하였다. 또한 인장지배단면으로 설계되는 휨부재는 콘크리트의 특성이 휨강도에 미치는 영향이 적을 것으로 판단되므로 본 실험체 계획에서는 가장 불리한 조건인 순환잔골재 치환율 100%와 재생잔골재 치환율 70%에 대해서만 검토하도록 하였다.

<표 3.1.21> 휨성능 실험체 일람표

| 실험체명 | 단면 b×d (mm) | 길이 (순경간) (mm) | 순환잔골재 치환율 (%) | 재생잔골재 치환율 (%) | 주철근 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | $\varepsilon_s$ | $\rho_s/\rho_b$ | $A_s$ |
| BFS5-A0 | 400×525 | 6,400 (6,000) | 0 | - | 0.005 | 0.649 | 9-D25 |
| BFS5-A100 | | | 100 | | | | |
| BFS5-B70 | | | - | 70 | | | |




[그림 3.1.34] 실물모형 휨성능 실험체 형상

(나) 재료계획

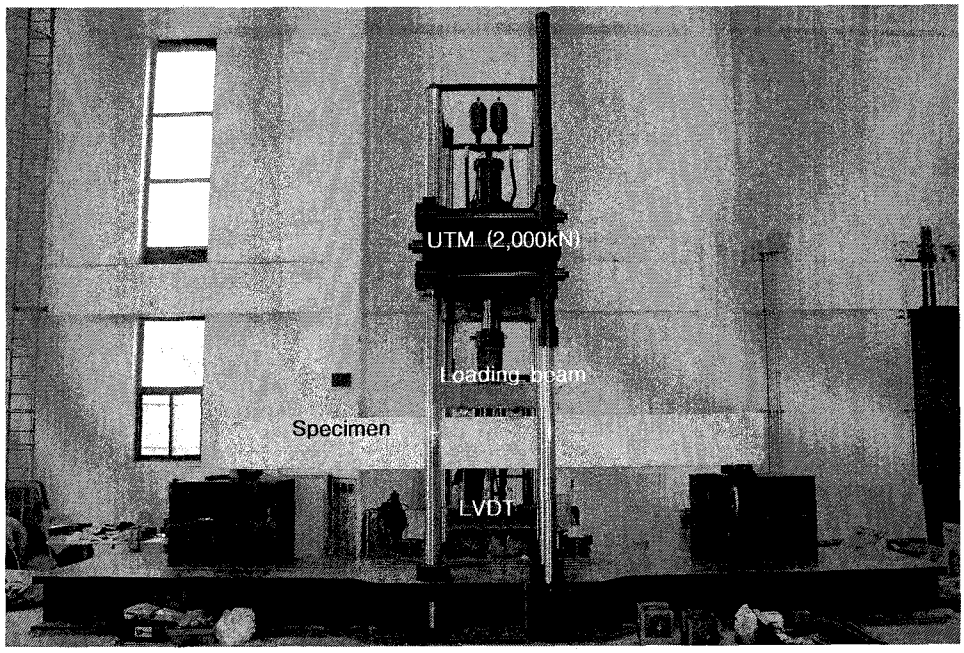
본 연구에서는 순환잔골재의 설계기준강도를 27MPa로 계획하였으며, 치환율에 따른 콘크리트의 강도특성치는 <표 3.1.22>과 같다. 본 연구에서는 인장 및 압축철근으로 SD400급의 HD25 및 HD19철근을 사용하였으며, 스터럽으로 HD10철근을 사용하였다.

<표 3.1.22> 콘크리트 강도특성

| 순환잔골재 치환율 (%) | 재생잔골재 치환율 (%) | 28일 압축강도 $f_{cu}$ (MPa) | 탄성계수 $E_c$ (GPa) | 파괴계수 $f_r$ (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | - | 31.51 | 21.27 | 4.38 |
| 100 | | 27.40 | 20.85 | 4.36 |
| - | 70 | 28.66 | 20.86 | 4.10 |

(다) 가력 및 측정

본 연구에서는 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 휨성능을 평가하기 위하여 [그림 3.1.35]와 같이 2,000kN 용량의 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 가력하였으며, 보의 전체적인 수직 및 가력점에서의 처짐량과 곡률을 측정하기 위하여 보의 중앙부와 가력점 하부에 각각 변위계(LVDT)를 설치하였다. 또한 주근 및 콘크리트의 변형률 측정을 위한 변형률 게이지를 최대모멘트 발생구간에 설치하였다.



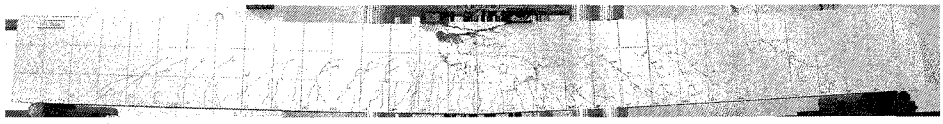

[그림 3.1.35] 실험체 설치 상황

(3) 실험 결과 및 분석

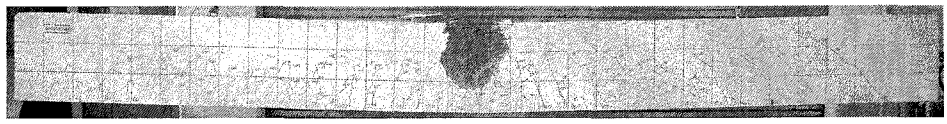
(가) 균열 및 최종파괴 양상

순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 휨파괴형 철근콘크리트 보의 최종파괴 양상을 나타내면 [그림 3.1.36]과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 균열발생 및 최종파괴양상은 큰 차이를 보이지 않았다. 모든 실험체는 철근 항복 이후 급격한 처짐 증가와 가력점 중앙부에

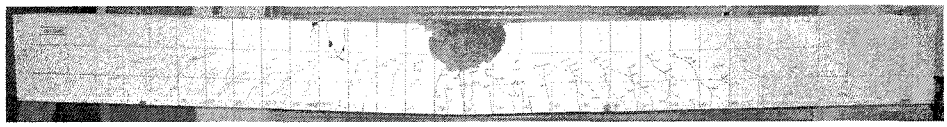
서의 콘크리트 압괴가 발생하며 최종파괴 되었다.



(a) BFS5-A0 실험체



(b) BFS5-A100 실험체

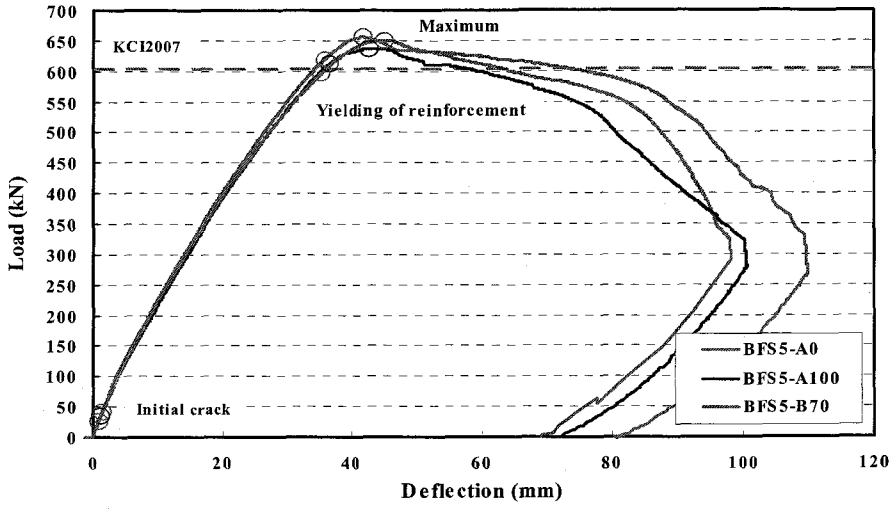


(c) BFS5-B70 실험체

[그림 3.1.36] 최종파괴 양상

(나) 하중-변위 관계

[그림 3.1.37]은 실물모형 휨실험체의 하중과 변위와의 관계를 나타낸 것으로, 변위는 실험체 중앙하부에 설치된 변위계를 통해 측정된 수치를 사용하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 모든 실험체의 초기강성은 거의 동일하며, 순환골재 치환율에 따른 최대내력의 차이도 3% 이내로 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 순환잔골재 치환율 및 재생잔골재 치환율에 관계없이 모든 실험체는 현행 구조설계기준의 규준값을 6~8%정도 상회하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 순환잔골재 및 재생잔골재 치환에 따른 휨 성능의 차이는 크지 않은 것으로 판단된다.




[그림 3.1.37] 하중과 변위와의 관계

(다) 연성비 평가

각 실험체의 연성비를 비교하여 나타내면 [그림 3.1.38]과 같다. 그림에서 D1 (Ductility ratio)은 최대하중에서의 변위를 철근 항복 시점에서의 변위로 나누었으며, D2는 최대하중 이후 하중이 80%까지 저하된 시점의 변위에 대하여 항복하중의 변위로 나누어 계산하였다.

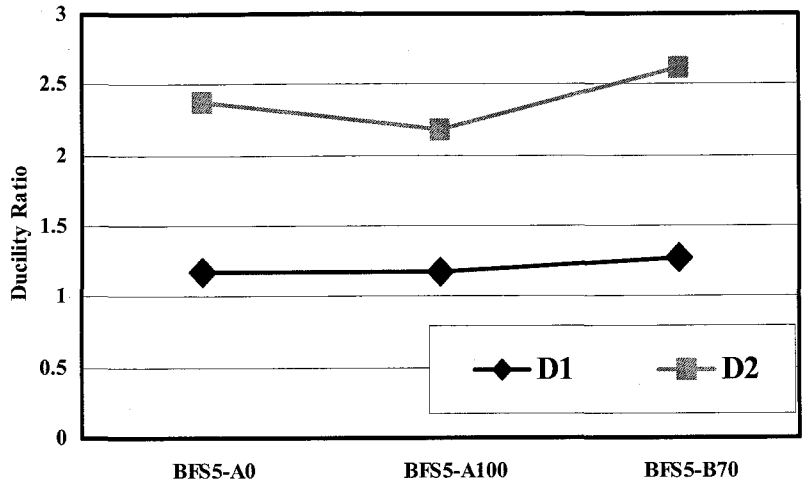
$$D1 = \delta_{max} / \delta_y$$

$$D2 = \delta_{max\_80\%} / \delta_y$$

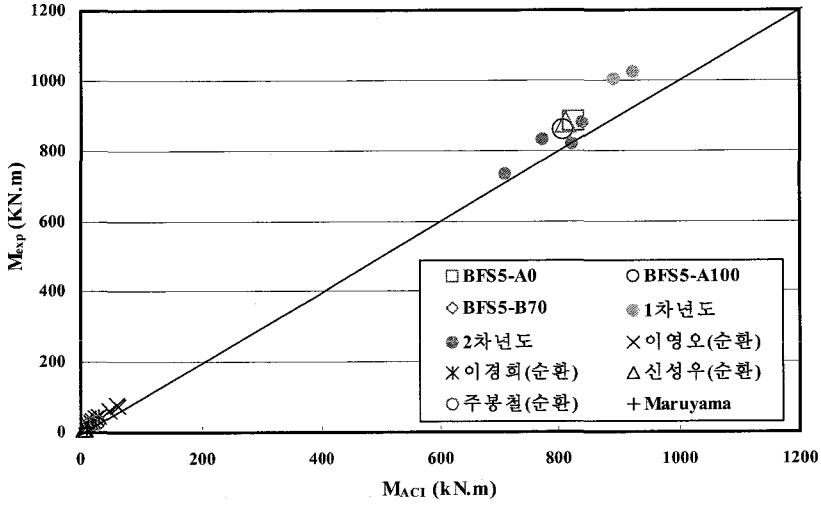
그림에서 나타난 바와 같이 최대하중 시점에서의 변위 연성비 D1은 모든 실험체가 1.16~1.27을 나타내고 있으며 항복하중이후 최대하중의 80% 까지의 연성비로 정의되는 D2는 2.17~2.61로 나타났다. 또한 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 관계없이 유사한 연성비를 나타내었다.

(라) 휨강도에 대한 현행 설계기준 적용성 검토

[그림 3.1.39]는 본 연구의 실험결과를 기존 실험결과 및 현행 설계기준값과 비교하여 나타낸 것으로 본 실험의 모든 실험체가 현행 설계 규준값을 6~8%정도 상회하고 있다. 따라서, 순환잔골재 및 재생잔골재 콘크리트 휨부재의 설계에 현행 KCI 기준식의 적용이 가능할 것으로 판단된다.




[그림 3.1.38] 연성비 평가




[그림 3.1.39] 실험값과 기존연구 비교

<표 3.1.23> 실물모형 휨성능 실험결과

| 실험체 | 실험값 | | | | | | | | 규준값[1] | | 실험값/규준값 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 콘크리트 초기 균열 | | | 철근 항복 | | | 최대내력 | | 균열 하중 (kN) | 최대 하중 (kN) | $M_{exp}/M_n$ (kN) |
| | 하중 (kN) | 변위 (mm) | 강성 (kN/mm) | 하중 (kN) | 변위 (mm) | 강성 (kN/mm) | 하중 (kN) | 변위 (mm) | | | |
| BFS5-A0 | 40.56 | 1.28 | 31.69 | 619.78 | 35.88 | 17.27 | 655.36 | 41.98 | 72.14 | 611.26 | 1.07 |
| BFS5-A100 | 34.02 | 1.14 | 29.84 | 612.22 | 36.64 | 16.70 | 636.79 | 42.84 | 67.27 | 598.07 | 1.06 |
| BFS5-B70 | 26.28 | 0.9 | 29.20 | 596.29 | 35.26 | 16.91 | 650.76 | 45.06 | 68.80 | 602.52 | 1.08 |

1) : 콘크리트 재료강도 $f'_c$로 계산

(4) 소 결

본 연구는 순환잔골재 콘크리트의 활용성 증대 및 규준 정립에 관한 연구의 일환으로, 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 실규모 철근콘크리트 보의 휨거동 특성을 실험적으로 수행한 것으로 본 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 순환잔골재 콘크리트는 실물모형 보 부재의 휨 성능 실험결과로부터 순환잔골재 치환율에 관계없이 초기강성 및 최대내력, 연성비 등에서 천연골재 콘크리트와 동등한 휨성능을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

(나) 순환잔골재 치환율에 관계없이 모든 실험값은 현행 KCI 설계기준식에 의한 계산값을 6~8% 초과하고 있으므로 순환잔골재 및 재생잔골재를 사용한 콘크리트 휨부재 설계에 현행 설계기준식의 적용이 가능할 것으로 판단된다.

## 라. 레미콘 배합에 의한 순환잔골재를 사용한 콘크리트 실물모형 압축부재의 중심축력 거동

(1) 서 론

(가) 연구 배경

순환골재 사용시 재료성능 측면에서 나타나는 순환골재 콘크리트의 성능저하 현상은 철근으로 보강된 콘크리트 구조부재에서 그 영향이 감소될 수 있을 것으로 판단되며, 실험실 내에서의 엄격한 품질관리 조건에서 평가된 순환골재 콘크리트의 압축강도 평가 결과는 레미콘 배합에 의한 현장조건에 비하여 실험결과가 과대평가될 가능성이 있다. 따라서 순환골재 콘크리트의 현장 적용성을 제고하기 위해서는 실제 레미콘 배합조건에 따른 성능저하 현상 및 철근보강으로 인한 영향요인 감소효과를 모두 고려한 실물모형 실험체를 통한 성능평가가 필요할 것으로 판단된다.

(나) 연구 목적

본 연구에서는 순환잔골재 치환율에 따른 철근콘크리트 기둥의 중심축력 거동을 가장 불리한 조건으로 검토하고자 하였다. 이에 따라 KCI2007에서 규정하는 최소횡보강근으로 배근된 실물모형 기둥의 구조실험을 실시하였으며, 실험결과를 통해 순환잔골재를 사용한 철근콘크리트 구조부재의 구조설계기준 구축 및 정립을 위한 기초자료를 마련하고자 하였다.

(2) 실험

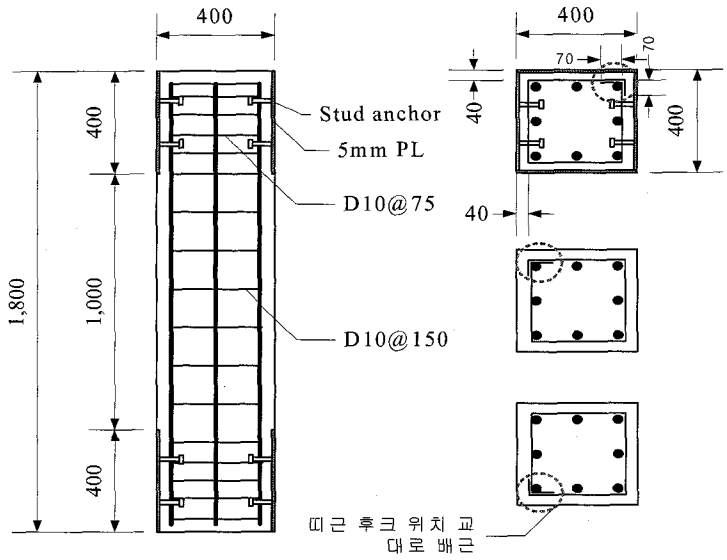
(가) 실험체 계획

본 연구에서는 순환잔골재 치환율에 따른 중심축력을 받는 기둥의 압축거동을 평가하기 위하여 순환잔골재 치환율(0, 30, 60, 100%)과 재생잔골재 치환율(70%)을 변수로 총 5개의 실험체를 제작하였다.

순환잔골재 치환율에 따른 철근콘크리트 기둥의 압축거동특성을 검토하기 위한 실험체 계획 및 상세는 <표 3.1.24> 및 [그림 3.1.40]에 나타내었다. [그림 3.1.40]에 나타난 바와 같이 기둥 실험체의 크기는 400㎜×400㎜×1800㎜로 순환굵은골재 치환율에 관계없이 모두 동일하게 제작하였으며, 기둥 중앙부분 1,000㎜를 실험구간으로 하였다. 주근에는 8-HD19를 사용하여 배근하였으며, 횡보강근량은 철근콘크리트 기둥의 압축거동시 순환잔골재 치환율에 따른 콘크리트의 압축기여분 특성을 정량적으로 알아보기 위하여 본 연구에서 사용한 실험체에 요구되는 최소철근량(HD10@150, ph=0.0018%)만을 배근하였다.

<표 3.1.24> 실험체 일람

| 실험체명 | 순환굵은골재 치환율 (%) | $f_{ck}$ (MPa) | 주근 (철근비) | 단면크기 (㎜) | 횡보강근 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | 철근간격 | 횡보강근비 |
| C-A0 | 0 | 27 | 8-HD19 (0.014) | 400×400 | HD10@150 | 0.0018 |
| C-A30 | 30 | | | | | |
| C-A60 | 60 | | | | | |
| C-A100 | 100 | | | | | |
| C-B70 | 70 | | | | | |




[그림 3.1.40] 기둥 실험체 제원 및 형상

(나) 재료계획

기둥 실험체는 설계압축강도 27MPa로 제작하였으며, 제작에 사용된 순환잔골재 및 재생잔골재 콘크리트의 특성은 <표 3.1.25>에 나타내었다. 주근은 HD19를 사용하였으며, 횡보강근은 HD10을 사용하여 배근하였다.

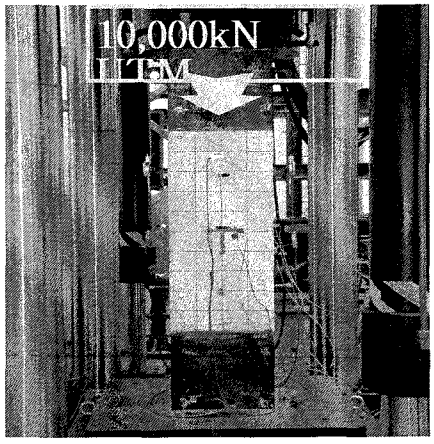
<표 3.1.25> 콘크리트 강도특성

| 순환잔골재 치환율(%) | | 7일 압축강도 (MPa) | 28일 압축강도 (MPa) | 탄성계수 (GPa) | 휨강도 (MPa) | 쪼갬 인장강도 (MPa) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 순환 | 0 | 25.01 | 31.51 | 21.27 | 4.38 | 2.58 |
| | 30 | 24.76 | 29.88 | 23.07 | 4.96 | 2.65 |
| | 60 | 27.06 | 31.04 | 23.55 | 5.20 | 2.75 |
| | 100 | 23.43 | 27.40 | 20.85 | 4.36 | 2.62 |
| 재생 | 70 | 23.58 | 28.66 | 20.86 | 4.10 | 2.68 |

(다) 실험체 가력 및 측정장치

기둥에 작용하는 축력은 [그림 3.1.41]에 나타낸 바와 같이 10,000kN 용량의 만능재료시험기(UTM)를 이용하여 기둥 중심부에 가력하였으며, 하중가력 시 축방향 변위를 측정하기 위하여 기둥 4면에 다이얼게이지(Dial gauge)를 설치하였다. 또한 횡

방향 변위를 측정하기 위한 게이지와 콘크리트의 수직 및 수평방향의 변형률 및 철근의 변형률을 측정하기 위한 변형률 게이지를 각각 설치하였다.

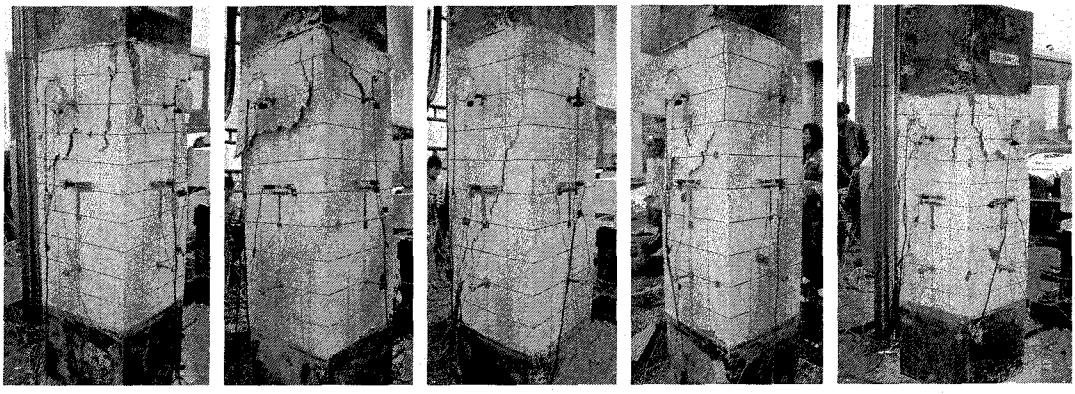



[그림 3.1.41] 실험체 가력상황

(3) 실험결과

(가) 최종파괴양상

[그림 3.1.42]는 순환잔골재 및 재생잔골재를 사용한 콘크리트 기둥의 최종파괴양상을 나타낸 것이다. 순환잔골재 치환율에 관계없이 모든 실험체는 유사한 파괴양상을 나타내었다. 모든 실험체에서 최대하중 이후 실험체 상부에서 발생된 세로균열이 중앙부로 진전되면서 하중이 저하되었으며, 횡보강근 내부의 구속콘크리트까지 균열이 전이되면서 피복콘크리트의 박락이 발생하였다.

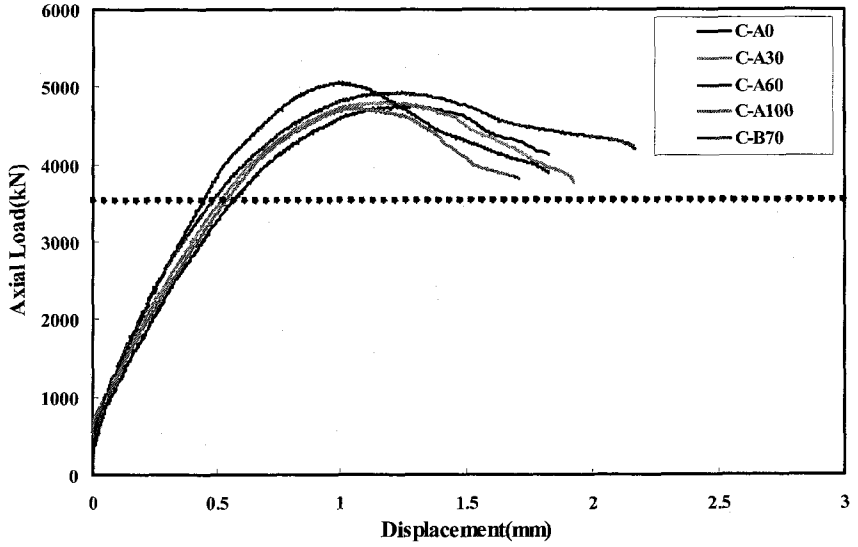


(a) C-A0 (b) C-A30 (c) C-A60 (d) C-A100 (e) C-B70

[그림 3.1.42] 실물모형 압축성능 실험 파괴양상

(나) 하중-변위 관계 곡선

[그림 3.1.43]은 순환잔골재콘크리트 기둥의 중심축력 가력시 나타난 하중-변위 관계 곡선이며, KCI2007 기준식과의 비교·분석을 통해 기준의 적용가능성을 검토하고자 하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 모든 실험체에서 주근의 변형율이 0.002를 나타내는 1㎜부근에서 비선형구간으로 바뀌어 변위가 급격히 증가하는 등 유사한 하중-변위 관계 곡선의 경향을 나타내었다. 또한 각 실험체의 최대강도는 순환골재 치환율에 관계없이 모두 현행 기준식 이상을 확보하고 있으며, 순환잔골재 치환율에 따른 최대강도의 차이는 대략 6% 이내로 나타났다. 따라서 기둥의 압축성능 평가에서 순환잔골재 치환율에 따른 영향은 적은 것으로 판단된다.



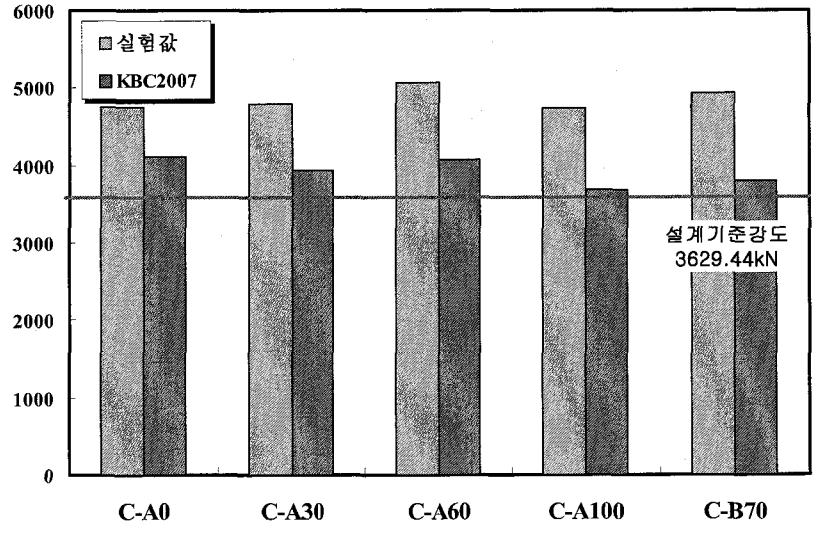

[그림 3.1.43] 하중-변위 관계

(다) 압축강도에 대한 현행 설계기준의 적용성 검토

<표 3.1.26>은 실험값과 설계기준강도 및 각각의 재료강도를 대입하여 KCI2007 기준식에 의해 계산된 값을 비교하여 나타내었다. <표 3.1.26>에서 나타난 바와 같이 모든 실험체에서 실험값이 재료강도로 계산된 값의 1.15~1.29의 값을 보여 순환잔골재 치환율에 관계없이 KCI2007 기준식을 만족하는 것으로 나타났다. 또한 설계기준강도에 의한 계산값에 대해서도 모든 실험체에서 1.30~1.39의 값을 보여 KCI2007을 만족하는 것으로 나타나, 순환잔골재를 사용한 철근콘크리트 기둥의 최대강도 및 강성에 순환잔골재 치환율의 영향이 적은 것으로 판단된다.

<표 3.1.26> 기둥 압축성능 실험 결과

| 실험체명 | fcu (N/㎟) | 실험 | | | | KCI2007 | | 비교 | | 최대응력/fcu |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 하중 (kN) | 변위 (㎜) | 응력 (N/㎟) | 변형률 (㎜/㎜) | 설계강도 (1) | 재료강도 (2) | 실험/(1) | 실험/(2) | |
| C-A0 | 31.51 | 4,758.9 | 1.258 | 29.74 | 2,097 | 3,629.4 | 4,113.1 | 1.31 | 1.15 | 0.94 |
| C-A30 | 29.88 | 4,800.1 | 1.188 | 30.00 | 1,979 | | 3,938.3 | 1.32 | 1.21 | 1.00 |
| C-A60 | 31.04 | 5,055.5 | 0.995 | 31.59 | 1,658 | | 4,062.7 | 1.39 | 1.24 | 1.01 |
| C-A100 | 27.4 | 4,726.9 | 1.065 | 29.54 | 1,775 | | 3,672.3 | 1.30 | 1.28 | 1.07 |
| C-A70 | 28.66 | 4,927.7 | 1.225 | 30.79 | 2,041 | | 3,807.5 | 1.35 | 1.29 | 1.07 |




[그림 3.1.44] 실험결과비교

(4) 소결

본 연구에서는 순환잔골재 및 재생잔골재의 치환율이 철근콘크리트 기둥의 압축성능에 미치는 영향을 평가하기 위한 실험을 실시하였으며, 이를 KCI-07의 기준식과 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 순환잔골재 치환율에 관계없이 모든 실험체에서 최대하중까지 균열발생없이 안정된 거동을 보이며, 이후 철근항복에 따른 내력저하 및 변위증가 등 유사한 파괴양상을 나타내었다. 또한 순환잔골재를 사용한 콘크리트 기둥에서도 최대강도의 차이는 대략 6% 이내로 순환잔골재의 치환율에 따른 강도차이는 거의 나타나지 않았다.

(나) 실물모형 기둥의 압축실험결과로부터 순환골재 치환율에 관계없이 실험값이 현행 기준식의 재료강도 및 설계강도로 계산된 값을 모두 초과하는 것으로 나타나, 순환잔골재 콘크리트의 압축성능은 KCI2007 기준식을 만족하는 것으로 나타났다.

## 마. 레미콘 배합에 의한 순환골재 콘크리트 실물모형 구조부재의 전단성능 평가

(1) 서론

(가) 연구배경

순환골재를 이용한 구조부재의 활용에 관한 연구는 신성우, 윤현도, 이경희, 주봉철 등에 의해 순환골재 콘크리트 보의 파괴특성, 전단강도 등 구조성능에 관한 연구가 진행되었다. 그러나 재생골재의 구조성능평가를 위한 기존연구에서 사용된 골재의 흡수율은 약 6~8%의 재생골재를 사용하였기 때문에 현행 순환골재 품질기준에서 규정하고 있는 구조부재로 활용 가능한 콘크리트용 순환골재의 품질조건에 부합되지 않으며, 대부분 실험실에서 소량의 배합을 통한 축소모형 실험체로 제작되어 실 구조부재에서 발생할 수 있는 다양한 변수를 고려하지 못하고 있다.

따라서 순환골재의 실용화 및 실 구조부재에 적용하기 위해서는 현행 「순환골재 품질기준」을 만족하는 골재와 현장조건과 동일한 레미콘에 의해 생산된 순환골재 콘크리트를 사용하여 실규모 구조부재의 성능실험이 수행되어야 한다. 아울러 이를 통하여 순환골재 콘크리트 사용시 구조부재에서 발생 가능한 성능저하 현상을 평가하고 이를 콘크리트 구조설계기준에 반영할 수 있는 연구가 필요하다.

(나) 연구 목적

본 절에서는 순환잔골재를 사용한 콘크리트 부재의 전단거동을 가장 불리한 조건으로 검토하기 위하여 전단보강근이 없는 부재를 대상으로 순환잔골재의 치환율에 따른 구조실험을 실시하였다. 또한 순환잔골재에 비하여 골재 품질이 낮은 재생잔골재를 사용한 콘크리트 부재의 구조실험을 통하여 골재 품질이 구조성능에 미치는 영향을 파악하고자 하였다. 아울러 실험결과를 현행 구조설계기준과 비교·검토함으로써 순환잔골재 콘크리트를 사용한 콘크리트 부재의 구조설계기준을 정립하기 위한 기초자료를 구축하고자 한다.

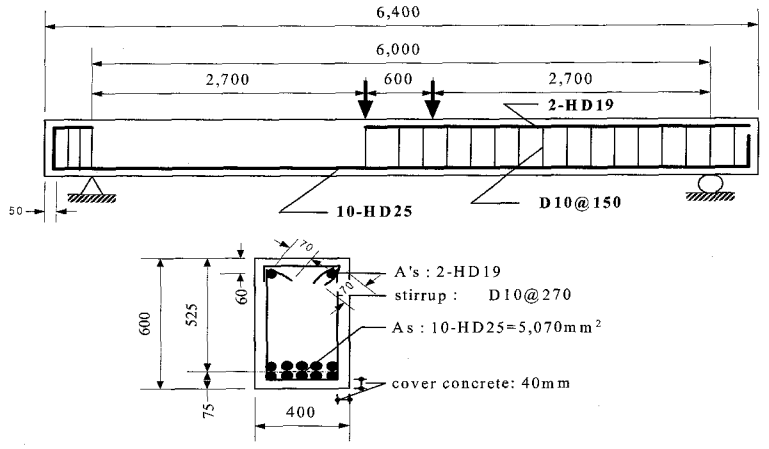
(2) 실험

(가) 실험체 계획

본 연구에서는 순환잔골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단파괴시 순환골재의 치환율 및 전단보강효과에 따른 거동특성을 실험적으로 규명하기 위하여 순환잔골재 치환율(0, 30, 60, 100%), 재생잔골재 치환율(70%)을 변수로 하여 실물모형 실험체를 총 5개 제작하였다. 실물모형 실험체는 단면 400×600mm, 전단스팬은 2700mm로 제작하였다. 전단보강되지 않은 실험체는 실험구간에서 전단파괴를 유도하기 위하여 비 실험경간에 전단보강근(D10@150)을 배근하였다. 실험체의 인장주근은 10-HD25이며, 압축철근은 3-HD19를 배근하였다.

<표 3.1.27> 전단 실험체 일람

| 실험체명 | 단 면 b×d (mm) | 길 이 $l_n$ (㎜) | 전단 경간비 a/d | 설계기준 압축강도 $f_{ck}$ (MPa) | 인장철근비 $\rho_w$ | 순환잔골재 치환율 (%) | 재생잔골재 치환율 (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| BSN-A0 | 400×525 | 6,000 | 5 | 27 | 0.0241 (10-HD25) | 0 | - |
| BSN-A30 | | | | | | 30 | |
| BSN-A60 | | | | | | 60 | |
| BSN-A100 | | | | | | 100 | |
| BSN-B70 | | | | | | - | 70 |




[그림 3.1.45] 실험체의 형상 및 제원

(나) 재료계획

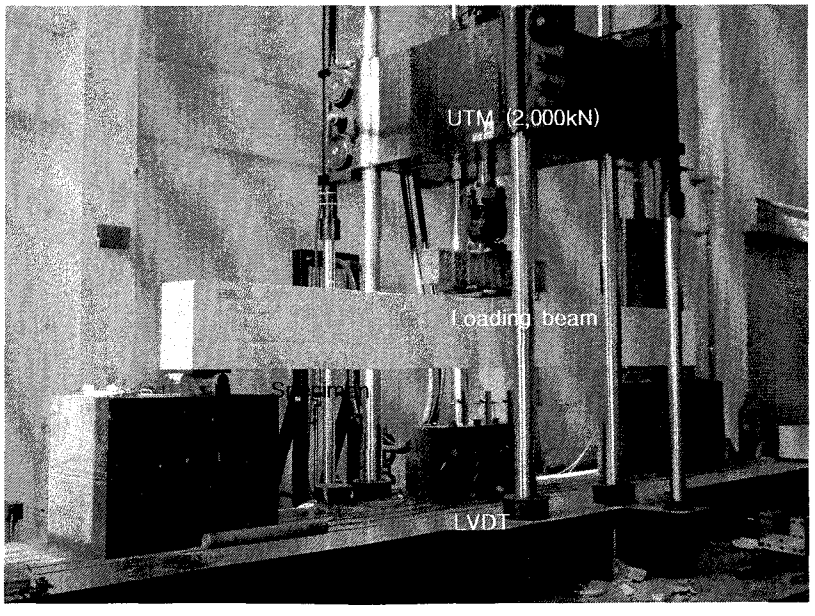
본 연구에서 사용된 콘크리트는 설계기준 압축강도 27MPa를 기준으로 배합설계를 하였으며 재료시험결과는 <표 3.1.28>에 나타난 바와 같으며, 주철근은 HD19와 HD25를 사용하였으며, 전단철근으로 HD10을 사용하였다.

<표 3.1.28> 콘크리트의 강도특성

| 순환잔골재치환율 (%) | 재생잔골재치환율 (%) | 28일 압축강도 $f_{cu}$ (MPa) | 탄성계수 $E_c$ (GPa) | 쪼갬강도 $f_{sp}$ (MPa) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | - | 31.51 | 21.27 | 2.58 |
| 30 | | 29.88 | 23.07 | 2.65 |
| 60 | | 31.04 | 23.55 | 2.75 |
| 100 | | 27.40 | 20.85 | 2.62 |
| - | 70 | 28.66 | 20.86 | 2.68 |

(다) 가력 및 측정계획

본 연구에서는 순환잔골재 및 재생잔골재의 치환율에 따른 철근콘크리트 보의 전단성능을 실험적으로 규명하기 위하여 [그림 3.1.46]과 같이 2,000kN 용량의 만능재료시험기(UTM)를 사용하여 4점 가력하였다. 수직 및 가력점에서의 처짐량을 측정하기 위하여 보의 중앙부, 가력점 하부에 변위계(LVDT)를 설치하였으며 실험체에서 사인장 균열 발생 및 파괴시점을 파악하기 위하여 양단 지점과 가력점 사이에 다이얼 게이지(Dial gauge)를 설치하여 전단변형각을 측정하였다. 주근과 콘크리트의 변형률을 측정하기 위하여 철근 및 콘크리트 변형률 게이지를 필요한 부위에 부착하였다.

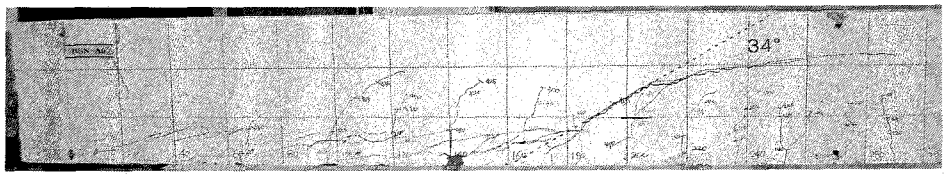



[그림 3.1.46] 실험체 설치상황

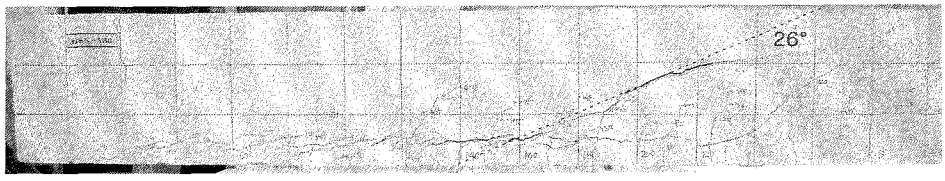
(3) 실험결과 및 분석

(가) 균열 및 파괴양상

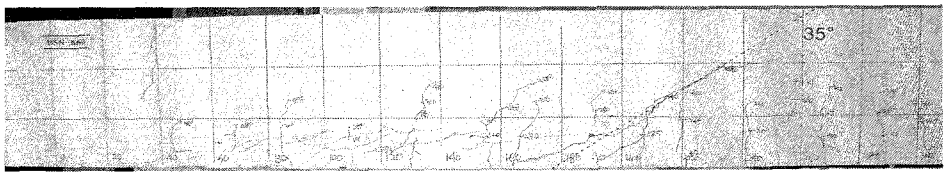
[그림 3.1.47]은 순환잔골재와 재생잔골재의 치환율에 따른 전단실험체의 최종 파괴양상을 각각 비교하여 나타낸 것이다. 최종파괴양상은 순환잔골재 치환율에 관계없이 대체로 유사하게 나타났다. 그러나 순환잔골재 100% 치환한 실험체와 재생잔골재 70% 치환한 실험체는 그림에서와 같이 전단파괴시 사인장 균열폭이 증가하는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 1,2차년 순환굵은골재 콘크리트를 사용한 전단실험에서도 동일하게 나타난 경향으로 최소 전단보강근의 배근으로 균열폭을 제어할 수 있으며 안정적 파괴양상을 유도할 수 있는 것으로 나타났다.



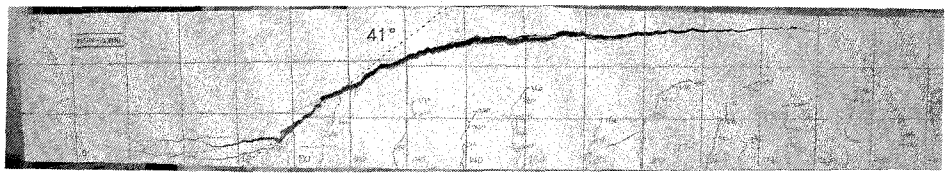

(a) BSN-A0 실험체



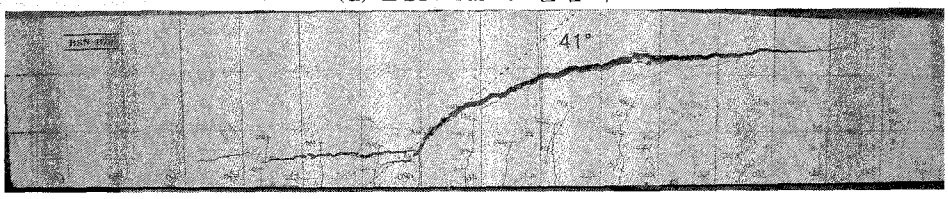

(b) BSN-A30 실험체




(c) BSN-A60 실험체




(d) BSN-A100 실험체

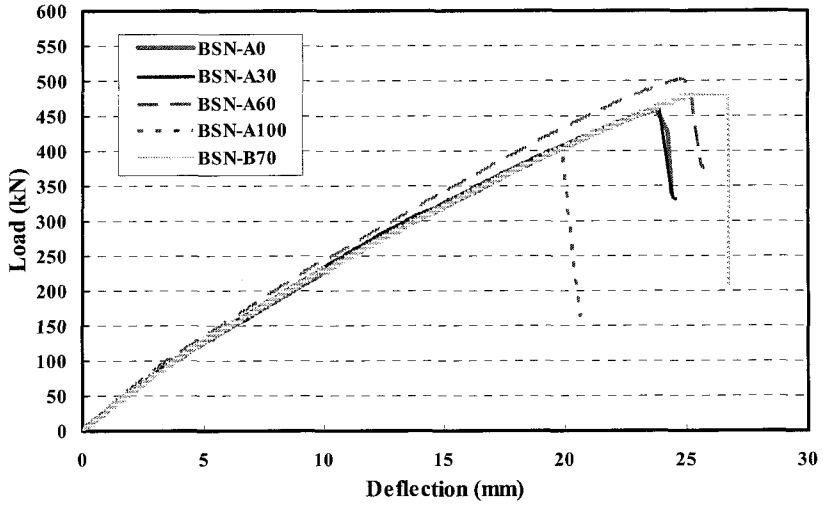



(e) BSN-B70 실험체

[그림 3.1.47] 실험체의 파괴양상

(나) 하중-처짐관계

[그림 3.1.48]은 순환잔골재 및 재생잔골재 치환율에 따른 전단실험체의 하중-변위 관계곡선을 각각 비교하여 나타낸 것이며, 실험결과 나타난 값을 정리하여 <표 3.1.29>에 나타내었다. 그림 및 표에 나타낸 바와 같이 순환잔골재 치환율 100%를 제외한 순환골재 콘크리트 실험체는 천연골재 콘크리트 실험체와 동등 이상의 전단 내력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.




[그림 3.1.48] 사용골재에 따른 하중-처짐관계

<표 3.1.29> 실물모형 전단실험결과

| Specimen | Initial crack | | | Inclined crack | | | Ultimate | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\delta_i$ (mm) | $V_i$ (kN) | $K_i$ (kN/㎜) | $\delta_{cr}$ (mm) | $V_{cr}$ (kN) | $K_{cr}$ (kN/㎜) | $\delta_u$ (mm) | $V_u$ (kN) | $K_u$ (kN/㎜) |
| BSN-A0 | 1.42 | 40.56 | 28.56 | 21.80 | 432.63 | 19.84 | 23.8 | 457.56 | 19.22 |
| BSN-A30 | 1.6 | 46.19 | 28.87 | 21.88 | 436.25 | 19.93 | 23.78 | 459.45 | 19.32 |
| BSN-A60 | 1.86 | 56.26 | 30.25 | 23.04 | 481.25 | 20.88 | 24.68 | 501.13 | 20.30 |
| BSN-A100 | 0.94 | 26.15 | 27.82 | 17.04 | 361.28 | 21.20 | 19.81 | 404.92 | 20.40 |
| BSN-B70 | 0.84 | 23.56 | 28.40 | 23.14 | 451.58 | 19.51 | 25.42 | 480.07 | 18.88 |

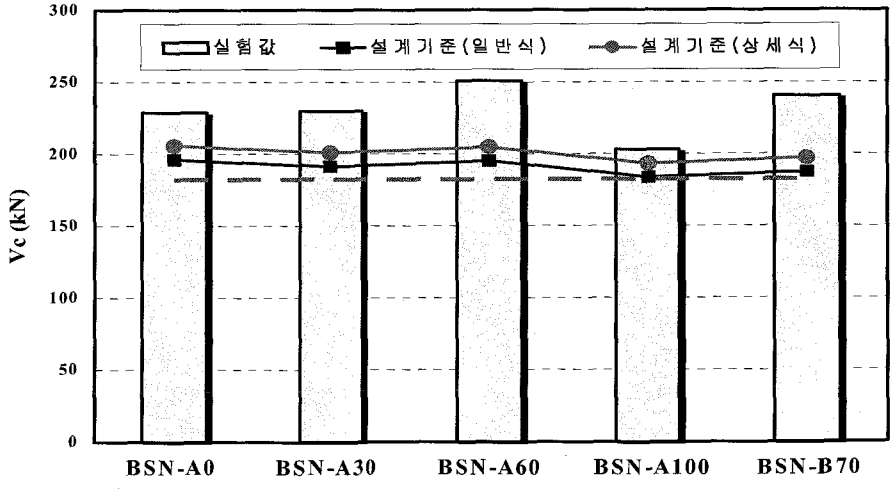
(다) 전단강도에 대한 현행 설계기준의 적용성 검토

본 절에서는 천연골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단강도 기준식 및 제안식에 대한 순환골재콘크리트 보의 적용가능성을 분석하고자 하였다. 현행 KCI 2007 기준식에 설계압축강도 및 재료강도를 대입하여 계산한 값을 실험값과 비교하여 나타내면 [그림 3.1.49]와 같다. 그림에서 막대그래프는 실험체의 실험값을 나타내고 있으며, 꺽은 선 그래프는 식(1) 및 식(2)의 규준식에 재료압축강도를 입력하여 계산된 규준값, 수평방향 빨간색 점선은 식(1)에 설계압축강도를 대입하여 계산된 규준값이다.

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f_{ck}}\, b_w d \text{ [kN]} \tag{1}$$

$$V_c = \left(0.16\sqrt{f_{ck}} + 17.6\rho_w \frac{V_u d}{M_u}\right) b_w d \text{ [kN]} \tag{2}$$

그림에서 보는 바와 같이, 설계압축강도를 기준으로 하여 계산된 기준값과 실제의 재료압축강도를 기준으로 계산한 기준값 모두 안전측으로 예측하고 있으며, 전단강도가 저하된 순환잔골재 100% 치환 실험체도 기준값을 10% 이상 상회하는 것으로 나타났다.




[그림 3.1.49] 전단강도 실험값과 기준값의 비교

(4) 소 결

본 연구에서는 순환잔골재의 치환율이 철근콘크리트 보의 전단성능에 미치는 영향을 실험적으로 평가하고자 순환잔골재와 재생잔골재의 치환율을 변수로 실물모형 실험을 실시하였으며, 실험결과를 기준식과 비교·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(가) 전단보강되지 않은 실험체의 최종파괴양상은 순환잔골재 100%와 재생잔골재 70%를 치환한 실험체에서 사인장 균열폭이 증가하는 것으로 나타났지만, 선행연구로부터 최소전단보강근에 의해 균열폭의 제어가 가능하며, 안정적 파괴양상을 유도할 수 있는 것으로 확인되었다.

(나) 순환잔골재 치환율 100%를 제외한 순환골재 콘크리트 실험체는 천연골재 콘크리트 실험체와 동등 이상의 전단내력을 확보하고 있는 것으로 나타났다.

(다) 각 실험체에서의 최대내력을 현행 설계기준식에 의한 계산값과 비교한 결과, 순환잔골재 치환율이나 재생잔골재의 치환율에 관계없이 모두 전단내력에 대한 현행 설계기준을 만족하는 것으로 나타났다.

## 2. 유류오염 건설잔토의 적정처리 및 재활용기술 개발 연구

### 가. 유류오염 건설잔토 정화시스템 개선 및 현장적용성 평가

(1) 유류오염 건설잔토 정화시스템 개선 및 보완

가열방법은 통제된 환경에서 토양을 일정온도로 가열하여 토양에 흡착된 오염물질을 휘발 및 탈착시키는 지상처리기술로서 오염지역의 굴착된 오염토양을 열탈착 장치에 투입하여 처리하는 방법이며, 열적 처리는 직접 연소에 의한 열처리(소각)와 산소가 없는 혐기성 상태에서 열을 가해 유기물질을 분해하는 열처리(열분해)의 두 가지 형태로 구분되며, 다시 열분해 형태는 오염물질을 제거하기 위한 운전 온도에 의해 고온열탈착법(400~800℃)과 저온열탈착법(약 400℃ 이하)으로 구분된다.

열탈착법은 보통 유기물 성분을 분해하지 않고 오염물질을 열을 이용하여 토양으로부터 분리하지만 시스템의 온도와 특정유기물 존재에 따라 가스상의 2차 생성물을 발생시키므로 일부 사전 또는 사후 공정이 필요하나 휘발유, 항공유, 중유, 경유, 난방유 및 윤활유를 포함하는 석유계 화합물의 농도를 감소시키는데 효과가 있다.

세척방법은 적절한 세척제를 사용하여 골재입자에 결합되어 있는 오염물질을 표면장력을 약화시킴으로써 유류로 오염된 골재로부터 유류를 분리시키는 물리·화학적 처리 방법의 일종이며, 골재에 오염된 유류성분을 제거하기 위한 세척기술은 NAPLs(non-aqueous phase liquids)로 오염된 골재를 적절한 계면활성제를 사용하여 골재입자에 결합되어 있는 유해유기물질의 표면장력을 약화시키는 방법으로 계면활성제 CMC(critical micelle concent ration)값 이상의 농도에서 유기오염물질이 미셀(micelle)구조 내부로 분배되는 용해화(solubilization)과정과 골재내 NAPLs가 계면활성제에 의해 계면장력이 감소하여 이동성이 생기는 이동화(mobilization)과정을 기초로 하여 오염물질의 제거가 이루어진다.

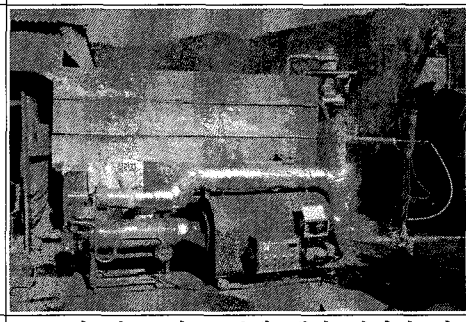
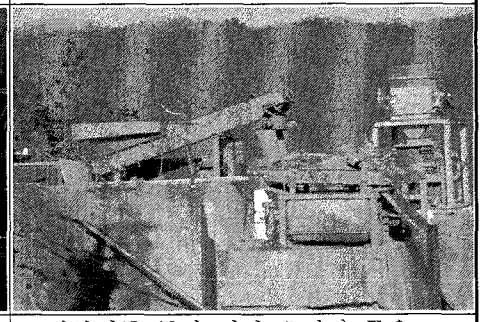
또한, 골재에 오염된 유류를 분리하여 제거하기 위해서는 계면활성제의 선정은 경제성과 처리 효율성 면에서 매우 중요한 요소 중의 하나로 판단되며, 미셀의 기름과 같이 소수성을 띄는 이물질을 미셀 내부에 용해시키는 성질을 갖고 있으며, 이는 골재를 세척시 계면활성제의 가장 중요한 요인이라 할 수 있다.

본 연구에서는 사용된 계면활성제는 친환경적이며, 독성이 거의 없고 음이온활성

제와 혼용시 여러 가지 상승효과를 나타내며, 기포성 및 기포안전성 우수, 내경수성과 lime soap dispersing ability가 좋다. 또한, 단백질을 변성시키지 않는 장점과 더불어 자연계에 다량으로 존재하는 당을 원료로 하고 있으며, 생분해성과 안전성이 우수, 비교적 거품이 일어나면서 화학적 안정 등의 특징을 갖고 있는 비이온 계면활성제인 APG(Alkyl Poly Glucosides)를 선정하였다.

따라서, 인위적으로 유류오염 시킨 건설잔토를 APG 계면활성제를 사용하여 세척효율에 대한 유효성을 검토하기 위하여 생물학적 처리방법을 제외한, 물리적 정화방법(세척방법)과 열적처리방법(저온가열방식)에 대하여 대표적인 정화방법에 대하여 선정한 후 정화장치를 제작하였다.

<표 3.1.30> 유류오염 건설잔토 정화처리기술 선정

| 구 분 | 열적처리방법(저온가열방법) | 물리적방법(세척방법) |
|---|---|---|
| 유류오염건설잔토 정화처리기술 |  |  |
| 특징 | · 토질 및 오염도 등에 대한 변화가 비교적 적고 처리시간이 비교적 빠름.<br>· 함수율이 높은 경우 정화시간이 길어짐. | · 세척제를 통한 정화 효과가 좋음.<br>· 물을 사용한 정화방법의 경우 별도의 용수처리비용 발생 |
| 비고 | · 기존의 건설폐기물 중간처리업체 또는 오염건설잔토의 발생현장 등에 대한 적용이 용이한 열적처리방법(저온가열방식)과 물리적방법(세척방법)으로 선정. | |

(2) 유류오염 건설잔토 정화시스템 개선

(가) 다이옥신 관련 제반 규정 검토

정화시스템의 개선을 위하여 2차년도에 제조된 정화방법 중 유류오염 건설잔토를 가열처리 과정에서 발생할 수 있는 2차오염 물질인 다이옥신(배기가스)의 배출허용기준을 검토하였다.

2008년 이전 폐기물관리법을 적용하였으며, 2008년 이후 잔류성유기오염물질관리법을 적용하고 있다. 또한, 배기가스로 배출되는 다이옥신 배출허용기준은 다음과

같으며, 감염성폐기물 소각시설 및 시간당 처리능력이 2톤 이상인 생활폐기물 소각시설은 제외한다.

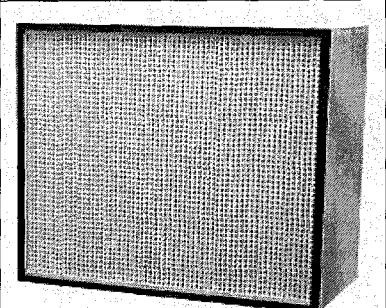
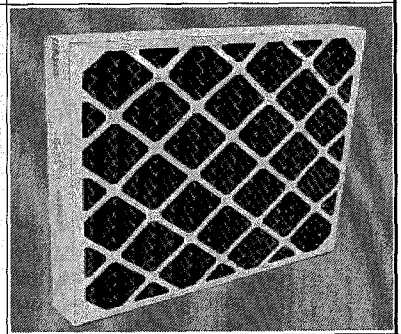
<표 3.1.31> 다이옥신 배출허용기준 (단위: ng-TEQ/Sm³)

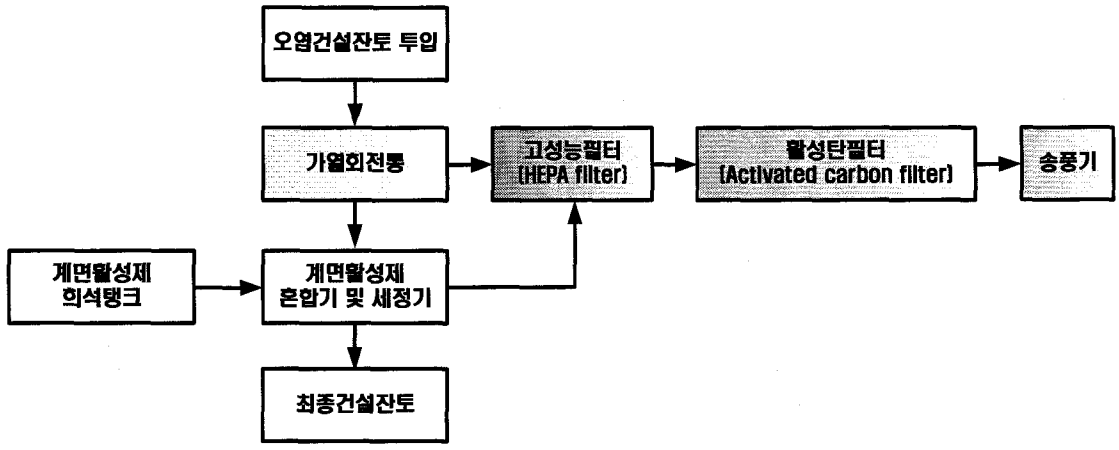
| 구분 | 신설시설 | 기존시설 |
|---|---|---|
| 시간당 처리능력이 4톤 이상인 경우 | 0.1 | 1 |
| 시간당 처리능력이 4톤 미만 2톤 이상인 경우 | 1 | 5 |
| 시간당 처리능력이 2톤 미만 25킬로그램 이상인 경우 | 5 | 10 |

(나) 다이옥신 정화처리시스템 적용

본 연구에 개선된 정화처리장치(안)는 [그림 3.1.50]에 나타냈으며, 유류오염 건설잔토를 이물질 및 5㎜이상의 골재를 제거한 후 배출구의 내부온도가 약 300℃정도의 회전통 내에서 가열시켜 오염된 건설잔토의 유류를 1차적으로 제거 후 2차적으로 세척시설로 이동되고 냉각수 분사 후 적정온도 조건에서 계면활성제를 첨가하여 석유성분을 완전히 세척하여 유류오염 건설잔토를 정화처리 한다. 또한, 가열처리 과정에서 다이옥신류 등이 발생할 수 있지만 2단계의 여과필터를 적용하여 다이옥신류 등에 의한 2차오염을 방지하였다.

<표 3.1.32> 2차오염(다이옥신)방지시스템

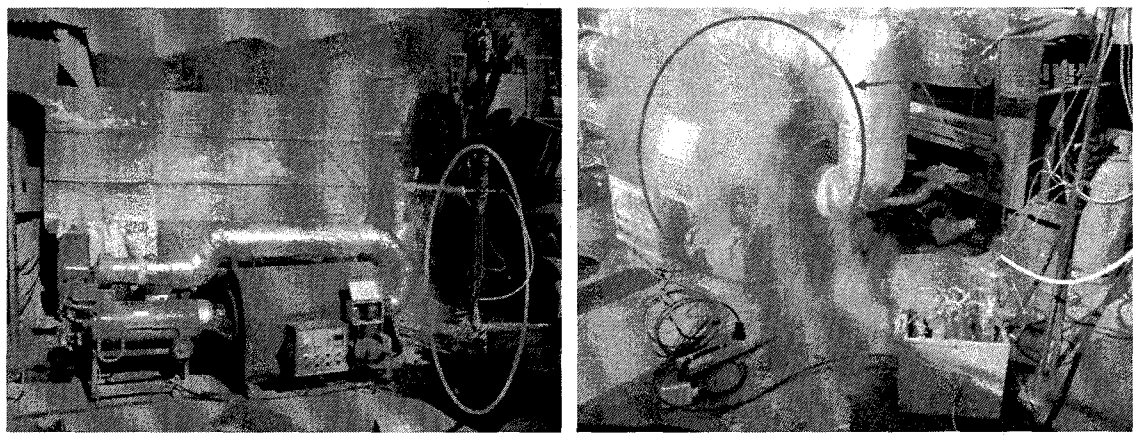
| 구 분 | 고성능필터 (HEPA Filter) | 활성탄필터 (Activated Carbon Filter) |
|---|---|---|
| 여과필터 |  |  |
| 특징 | · 0.3㎛ 미립자에 대해 99.97%이상의 포집율을 가진 필터 | · 0.0002~0.005㎛ 유기용제 및 냄새제거 |



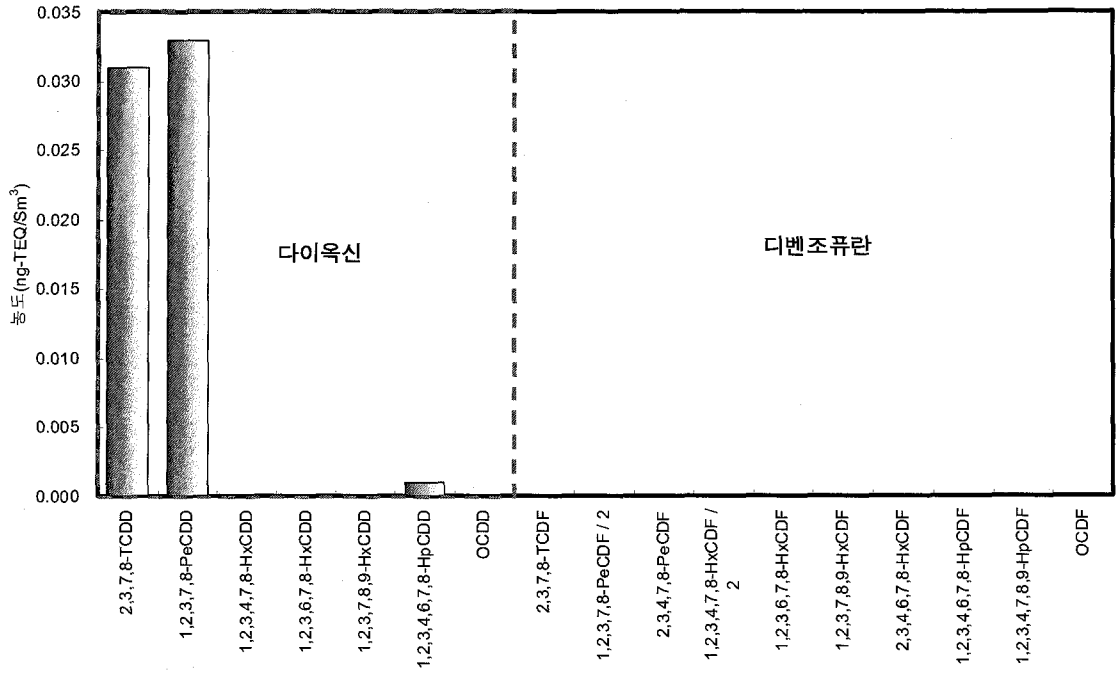

[그림 3.1.50] 오염 건설잔토 정화처리 공정(안)

(다) 다이옥신 측정

다이옥신 채취시간은 2시간 이상 [그림 3.1.51]과 같이 채취하였다. 측정결과 0.07 ng-TEQ/Sm³ 발생하였으며, 잔류성 유기오염물질 관리법의 배출허용기준에 만족하였다.



[그림 3.1.51] 저온가열처리 중 다이옥신 발생




[그림 3.1.52] 다이옥신 분석결과

(3) 실 험

(가) 실험개요

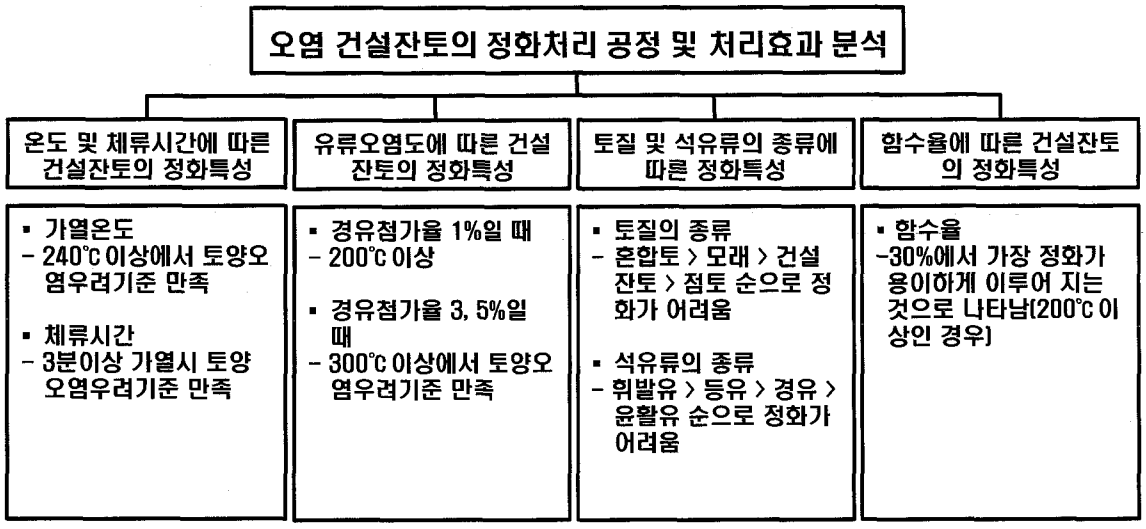
현재 정부 및 학계는 비교적 재활용이 용이한 건설폐재류를 중심으로 재활용하기 위하여 많은 노력을 기울여 왔으나, 주로 폐콘크리트, 아스콘, 폐벽돌 등을 처리하여 얻어지는 순환골재 등에 대하여 한정되어 이루어져 왔다. 현재 국내에서 발생되는 건설폐기물은 129,572톤/일이며, 전체 폐기물의 약 50%를 차지하고 있다. 건설폐기물 중 토사가 차지하는 양은 6,657톤/일로서 5.1%에 달하며 대부분 다른 건설공사에 운반되어 활용되고 있으나, 재활용 되지 못하는 약 27%(1,843톤/일)의 오염된 건설잔토는 지정폐기물로서 매립되고 있는 실정이며, 주된 발생원인은 주유소, 저유소 등의 매립되어 있는 지하 구조물을 해체 시 발생되고 있다. 오염된 건설잔토는 외부로부터 차단되어 있는 건설현장의 특성으로 인해 실질적으로 그 사용처를 정확히 파악할 수 없으며, 오염된 건설잔토는 대부분 되메우기 작업 등의 매립형태로 처리되고 있는 실정이다. 특히, 건설 산업의 지역과 용도의 구분 없이 폭넓게 이루어지고 있어 공사 시점에서부터 관리 할 수 있는 건설잔토의 오염에 대한 대책과 이미 오염

된 건설잔토에 대한 처리 방안이 요구된다.

본 연구에서는 유류로부터 오염된 건설잔토를 재활용하기 위해 정화특성을 검토·분석하고 유류성분의 오염율에 따른 특성을 검토함으로써 유류로부터 오염된 건설잔토의 재활용을 위한 방안을 제시하여 관로공사용 기초되메우기 등으로 활용하고자 한다.

(나) 실험계획

2차년도 연구개발 결과 가열방법에 대한 정화특성은 [그림 3.1.53]과 같이 나타났으며, 현장 적용의 가능 여부를 판단하기 위하여 가열방법, 세척방법, 가열 및 세척 방법을 병용한 정화특성을 검토하였다.




[그림 3.1.53] 가열방법의 정화특성 검토결과

따라서, 본 연구에서는 건설폐기물중간처리업체로 반입되는 건설잔토 중 발화점이 높은 경유를 첨가하여 오염도 측정을 위한 시료를 먼저 제조하고, Pilot(정화설비)를 이용하여 세척 전·후와 오염율, 정화시간, 석유류에 따라 토양환경보전법의 토양오염 공정시험방법에 의하여 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌)와 TPH(석유계총탄화수소)를 비교·분석하였으며, 유류오염 건설잔토의 정화특성을 검토 후 실용화 방안을 위한 기초적 자료가 될 수 있도록 하였다. 실험인자 및 측정항목은 <표 3.1.33>와 같다.

<표 3.1.33> 실험인자 및 측정항목

| 구 분 | | 실험인자 | | | | | | 측정항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 토질 | 유류 | 가열온도(℃) | 정화시간(분) | 유류첨가율(%) | 계면활성제 첨가율(%) | |
| 가열방법의 정화특성 실험 | | 건설잔토 | 경유 | 300 | 5 | 5 | - | BTEX, TPH |
| 세척방법의 정화특성 실험 | 계면활성제첨가율에 따른 정화특성 | | | - | 30 | | 0<br>0.3<br>1<br>5<br>10 | |
| | 세척시간에 따른 정화특성 | | | | 10<br>30<br>60 | | 0.3 | |
| | 유류오염율에 따른 정화특성 | | | | 30 | 1<br>3<br>5 | | |
| | 석유류에 따른 정화특성 | | 휘발유 | | | 5 | | |
| | | | 등유 | | | | | |
| | | | 경유 | | | | | |
| | | | 윤활유 | | | | | |
| 가열방법 및 세척방법을 병용한 정화특성 실험 | | | 경유 | 300 | 가열1분, 세척10분 | | | |
| | | | | | 가열3분, 세척10분 | | | |

(다) 사용재료 및 정화설비

사용재료 및 정화설비는 <표 3.34>와 같다.

<표 3.1.34> 사용재료 및 정화설비

| 사용재료 | 정화설비 | |
|---|---|---|
| | 저온가열장치(Pilot) | 세척장치(Pilot) |
| · 건설잔토(5㎜이하 잔골재)<br>· 휘발유, 등유, 경유, 윤활유 | · 가열온도: 300℃<br>· 정화시간: 1~5분 | · 정화시간: 10~60분 |

(라) 실험방법

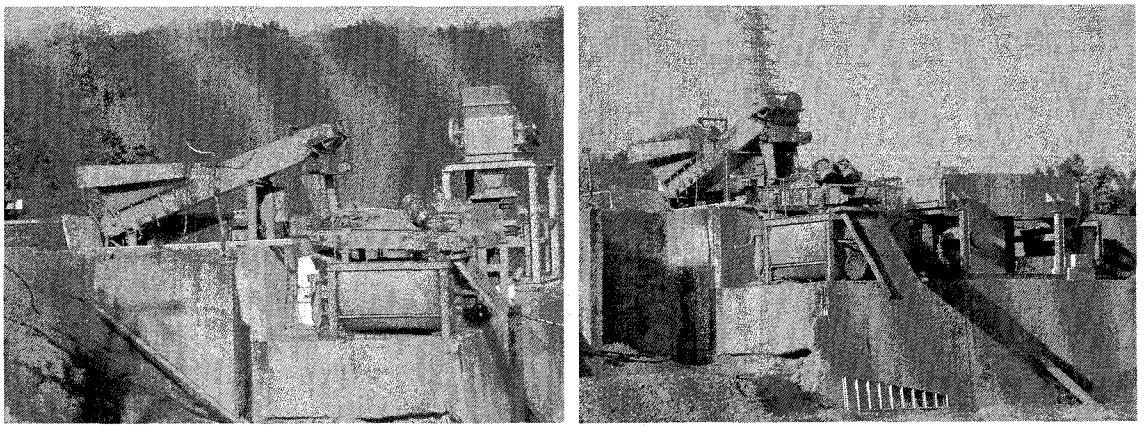
2차년도 연구에서 가열방법을 이용하여 도출한 최적조건은 가열온도 300℃, 정화

시간 5분으로 나타났다. 또한, 세척방법은 계면활성제 원액기준으로 첨가하여 정화시간, 오염도, 석유류에 따라 수처리 하였으며, 가열 및 세척방법을 병용하여 정화특성을 검토하였다.

① 정화방법

본 실험에서 사용된 정화방법은 가열방법 길이 1,500㎜, 직경 500㎜의 가열로 내부에 나선형 블레이드(높이 50㎜, 간격 100㎜)를 설치하고 내부의 온도와 오염된 건설잔토의 유지시간을 조절하기 위해서 열을 가하는 버너의 온도조절 장치와 가열로의 회전속도를 조절 할 수 있는 인버터를 설치하였으며, 순환식 열풍기를 이용하여 Pilot을 제작하였다.

또한, 세척방법은 독성이 낮고 높은 생분해도를 가지고 있는 비이온 계면활성제 alkyl polyglucoside(trade name:APG)를 이용하여 수처리 하였으며, 가열 및 세척방법을 병용한 방법은 가열처리 후 세척처리를 하였다.



[그림 3.1.54] 유류오염 건설잔토 세척정화 장치(Pilot)

② 정화시간

현장적용성 평가에 사용된 가열방법 1, 3, 5분, 세척방법 10, 30, 60분으로 유지할 수 있게 하였으며, 가열 및 세척방법을 병용한 방법은 경제성을 고려하여 유류오염 건설잔토의 처리효과 분석 결과(2차년도 연구개발결과) 정화수준에 만족한 가열온도 300℃에서 1분, 3분으로 하였다.

③ 시료제조

본 실험에서의 시료는 건설폐기물 중간처리 업체에서 발생하는 건설잔토에 일반 시중에서 유통되고 있는 경유를 1, 3, 5%(중량비)로 첨가하여 균일하게 혼합 하였으며, 시료를 10일 이상 현장에서 보관하였다. 또한, 발화점이 높은 석유계 화합물질(휘발유, 등유, 경유, 윤활유)을 각각 5%로 첨가하였으며, Pilot을 이용하여 정화 특성을 검토하였다.

(4) 실험결과 및 고찰

본 실험의 가열방법, 세척방법, 가열 및 세척방법을 병용한 유류오염 건설잔토의 정화특성을 분석한 결과 <표 3.1.35>과 같다.

<표 3.1.35> BTEX 및 TPH 분석결과

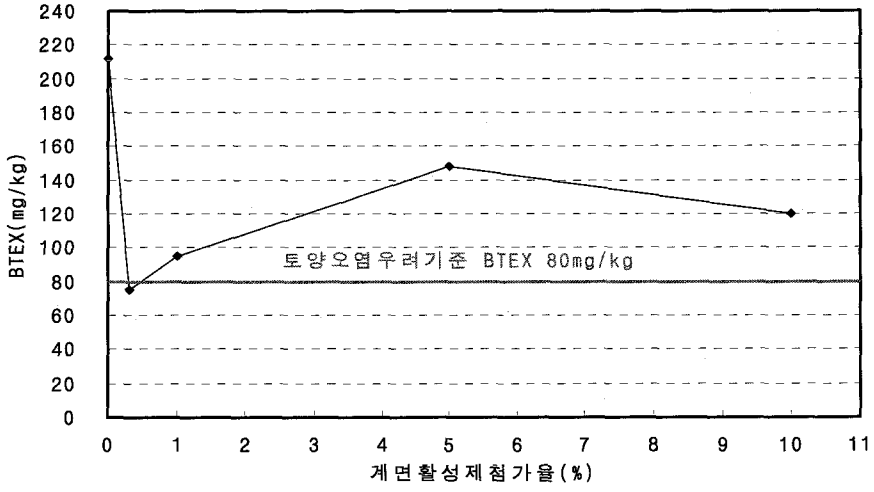
| 구 분 | | 시료명 | | | | | | | 분석결과 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 토질 | 유류 | | 가열 온도 (℃) | 정화 시간 (분) | 유류 첨가율 (%) | 계면활성제 첨가율 (%) | BTEX (mg/kg) | TPH (mg/kg) |
| 가열방법의 정화특성 실험 | | 건설 잔토 | 경유 | | 300 | 5 | 5 | - | 42 | 1,813 |
| 세척 방법 의 정화 특성 실험 | 계면활성 제첨가율 에 따른 정화특성 | | | | - | 30 | | 0 | 212 | 17,673 |
| | | | | | | | | 0.3 | 75 | 1,985 |
| | | | | | | | | 1 | 95 | 2,316 |
| | | | | | | | | 5 | 148 | 6,158 |
| | | | | | | | | 10 | 120 | 4,867 |
| | 세척시간 에 따른 정화특성 | | | | | 10 | | 0.3 | 120 | 7,058 |
| | | | | | | 30 | | | 75 | 1,985 |
| | | | | | | 60 | | | 20 | 1,670 |
| | 유류오염 율에 따른 정화특성 | | | | | 30 | 1 | 정화전 | 142 | 9,264 |
| | | | | | | | | 정화후 | 23 | 1,917 |
| | | | | | | | 3 | 정화전 | 564 | 27,852 |
| | | | | | | | | 정화후 | 49 | 1,967 |
| | | | | | | | 5 | 정화전 | 724 | 49,081 |
| | | | | | | | | 정화후 | 75 | 1,985 |
| | 석유류에 따른 정화특성 | | 휘발유 | 정화전 | | | 5 | | 12.666 | 2,216 |
| | | | | 정화후 | | | | | 7 | 565 |
| | | | 등유 | 정화전 | | | | | 1,437 | 48,916 |
| | | | | 정화후 | | | | | 14 | 1,198 |
| | | | 경유 | 정화전 | | | | | 724 | 49,081 |
| | | | | 정화후 | | | | | 75 | 1,985 |
| | | | 윤활유 | 정화전 | | | | | 865 | 46,783 |
| | | | | 정화후 | | | | | 287 | 23,938 |
| 가열방법 및 세척방법을 병용한 정화특성 실험 | | | 경유 | | 300 | 가열1분, 세척10분 | | | 27 | 1,738 |
| | | | | | | 가열3분, 세척10분 | | | 14 | 841 |

(가) 유류오염 건설잔토의 세척정화 특성 검토

① 계면활성제 첨가율 따른 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 분석

계면활성제 첨가율에 따른 BTEX의 농도는 [그림 3.1.55]와 같다. 유류오염된 건설잔토의 BTEX의 농도는 724mg/kg로 나타났으며, 계면활성제 첨가율이 증가함에 따라 75~212mg/kg로 나타났다.

또한, BTEX 제거율은 71~90% 정화되었으며, 계면활성제 첨가율에 따라 0.3%에서 가장 BTEX 제거율이 높게 나타났다. 이는 계면활성제로 1차 세척한 결과에 의해서 나타난 것으로 계면활성제에 의해 용해 시 적절한 농도로 미셀(micelle)이 형성되어 골재의 공극에서 잔존하여 제거되었으며, 계면활성제 첨가율 5%에서 동적평형을 이루고 있으나 BTEX 제거가 이루어지는 것으로 나타났다. 또한, 수처리시 2차 세척을 해준다면 효율은 매우 향상될 것으로 사료되며, 1차 세척시 계면활성제의 첨가율을 0.3% 정도로 한다면 세척에 있어 경제적이며, 효율적인 효과가 있을 것으로 판단된다.

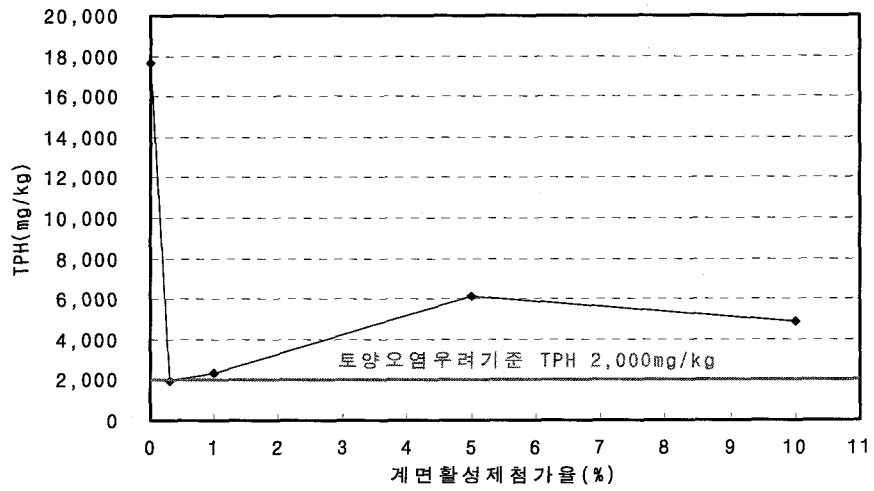



[그림 3.1.55] 계면활성제 첨가율에 따른 BTEX(mg/kg) 농도

② 계면활성제 첨가율에 따른 TPH(석유계총탄화수소) 분석

계면활성제 첨가율에 따른 TPH의 농도는 [그림 3.156]과 같다. 유류오염된 건설잔토의 TPH의 농도는 49,081mg/kg로 나타났으며, 계면활성제가 증가함에 따른 TPH의 농도는 1,985~17,673mg/kg로 나타났다.

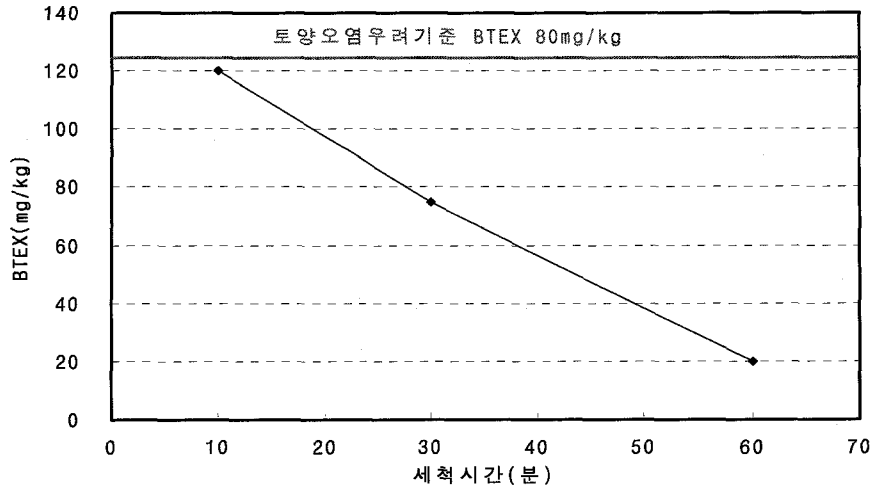
TPH 제거율은 64~96% 정화되었으며, 계면활성제 첨가율에 따라 0.3%에서 가장 TPH 제거율이 좋은 것으로 나타났다. 이는 유류오염 건설잔토에 적절한 계면활성제를 첨가하여 골재입자에 결합되어 있는 유해유기물질의 표면장력을 약화시켜 계면활성제의 CMC(critical micelle concent ration)값 이상의 농도에서 유기 오염물질이 미셀(micelle)구조 내부로 분배되는 용해화(solubilization)과정과 NAPLs(non-aqueous phase liquids)가 계면활성제에 의해 계면장력이 감소하여 이동성이 생기는 이동화(mobilization)과정으로 제거된 것으로 판단된다.




[그림 3.1.56] 계면활성제 첨가율에 따른 TPH(mg/kg) 농도

③ 세척시간에 따른 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 분석

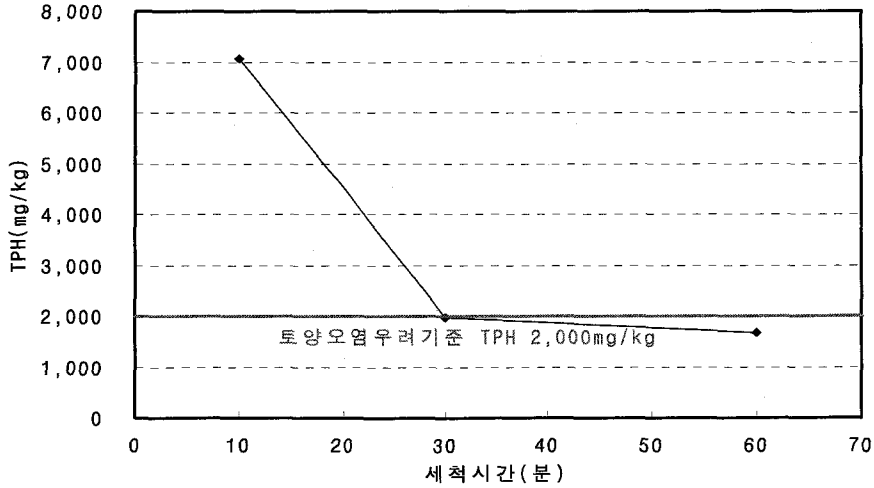
세척시간에 따른 BTEX의 농도는 [그림 3.1.57]과 같다. 세척시간이 증가함에 따라 10분일 때 120mg/kg, 30분일 때 75mg/kg, 60분일 때 20mg/kg으로 나타났으며, BTEX 제거율은 83~94% 정화되었다. 이는 세척시간의 증가로 인해 골재입자 표면과 골재내 공극에 잔존해 있는 BTEX를 분리시킨 것으로 사료된다.




[그림 3.1.57] 세척시간에 따른 BTEX(mg/kg) 농도

④ 세척시간에 따른 TPH(석유계총탄화수소) 분석

세척시간에 따른 TPH의 농도는 [그림 3.1.58]과 같다. 세척시간이 증가함에 따라 10분일 때 7,058mg/kg, 30분일 때 1,985mg/kg, 60분일 때 1,670mg/kg으로 나타났으며, TPH 제거율은 86~97% 정화되었다. 이는 계면활성제에 의해 용해된 TPH가 건설잔토의 공극사이로 많이 존재하는 것으로 사료된다.

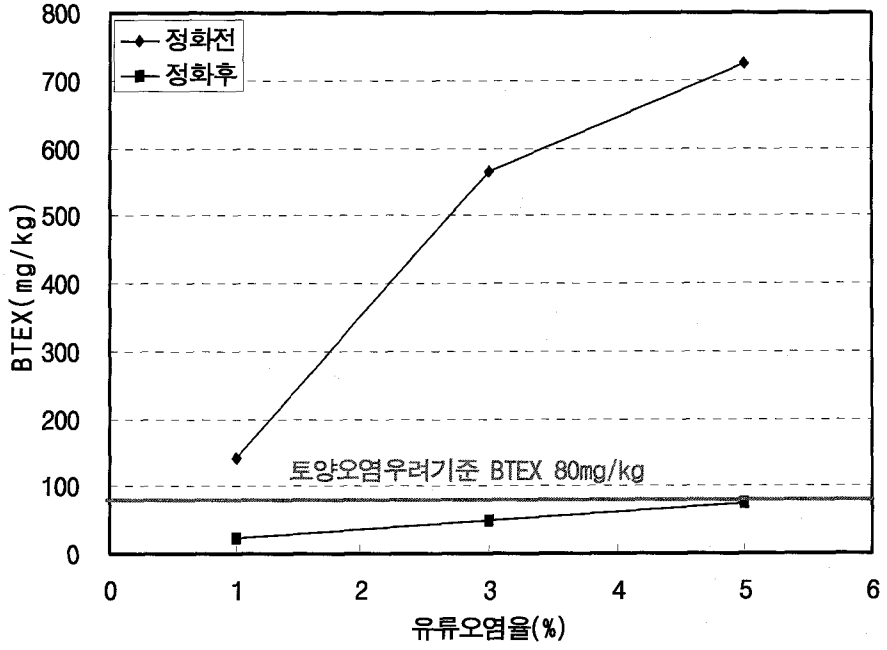



[그림 3.1.58] 세척시간에 따른 TPH(mg/kg) 농도

⑤ 유류오염율(경유)에 따른 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 분석

유류오염율에 따른 BTEX의 농도는 [그림 3.1.59]와 같다. 정화 전 유류오염율에

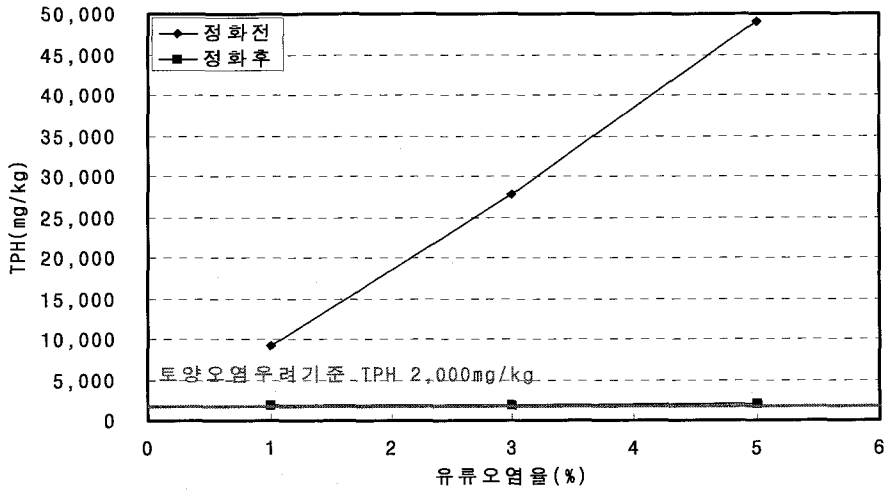
따른 BTEX의 농도는 1%일 때 142mg/kg, 3%일 때 564mg/kg, 5%일 때 724mg/kg으로 나타났으며, 정화 후 유류오염율에 따른 BTEX의 농도는 1%일 때 23mg/kg, 3%일 때 49mg/kg, 5%일 때 75mg/kg으로 나타났다. 또한, 유류오염율의 증가함에 따른 BTEX 농도는 84% 정화되었으며, 이는 경유에 대한 BTEX의 함유율이 낮아 정화의 수준이 증가한 것으로 사료된다.




[그림 3.1.59] 유류오염율에 따른 BTEX(mg/kg) 농도

⑥ 유류오염율(경유)에 따른 TPH(석유계총탄화수소) 분석

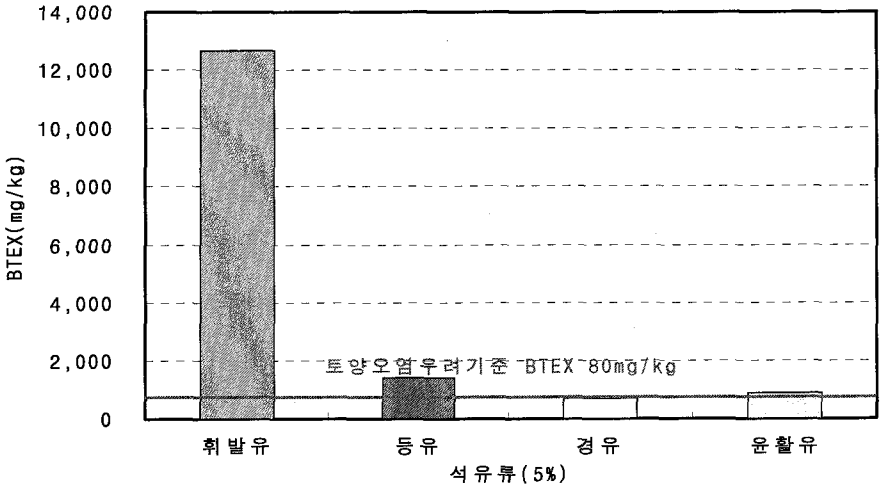
유류오염율에 따른 TPH의 농도는 [그림 3.1.60]과 같다. 정화 전 유류오염율에 따른 TPH의 농도는 1%일 때 9,264mg/kg, 3%일 때 27,852mg/kg, 5%일 때 49,081mg/kg으로 나타났으며, 정화 후 유류오염율에 따른 TPH의 농도는 1%일 때 1,917mg/kg, 3%일 때 1,967mg/kg, 5%일 때 1,985mg/kg으로 나타났다. 또한, 유류오염율의 증가함에 따른 TPH 농도는 79% 이상 정화되었으며, 이는 경유에 대한 TPH의 함유율이 높아 정화의 수준이 낮은 것으로 사료된다.



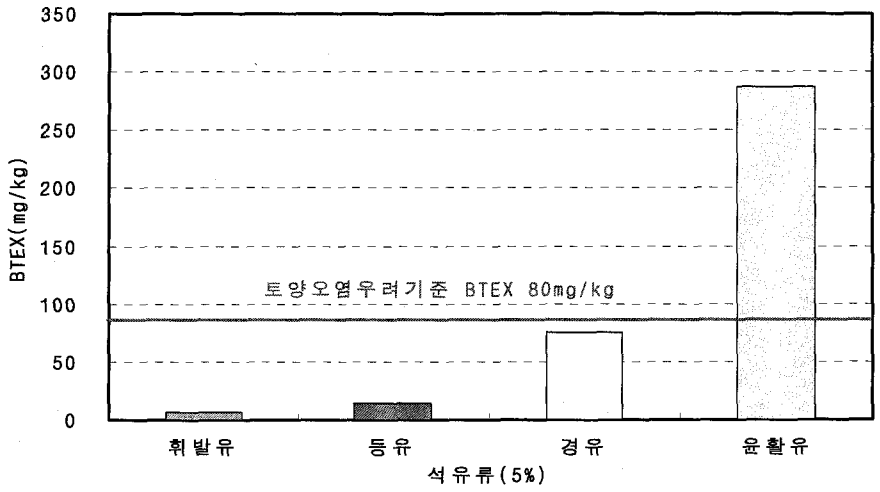

[그림 3.1.60] 유류오염율에 따른 TPH(mg/kg) 농도

⑦ 석유류의 종류에 따른 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 분석

석유류의 종류에 따른 BTEX의 농도는 [그림 3.1.61], [그림 3.1.62]와 같다. 정화전 BTEX 농도는 휘발유 12,666mg/kg, 등유 1,437mg/kg, 경유 724mg/kg, 윤활유 865mg/kg으로 나타났으며, 정화 후 휘발유 7mg/kg, 등유 14mg/kg, 경유 75mg/kg, 윤활유 287mg/kg으로 나타났다. 또한, BTEX 제거율은 휘발유 99%, 등유 99%, 경유 99%, 윤활유 67% 정화되었으며, 윤활유가 정화 수준이 낮게 나타났다. 이는 골재내에 공극사이에 점성이 강한 윤활유가 잔존하여 표면장력을 약화시키지 못한 것으로 사료된다.



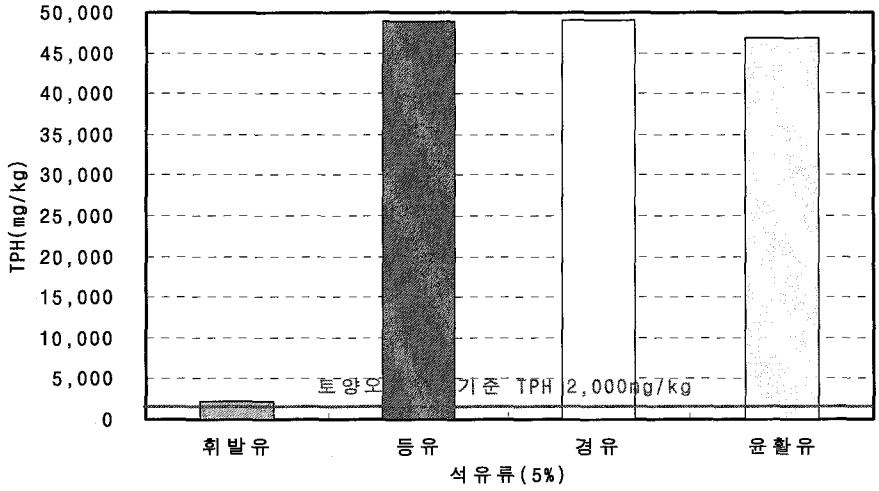

[그림 3.1.61] 석유류에 따른 BTEX(mg/kg) 농도(정화전)



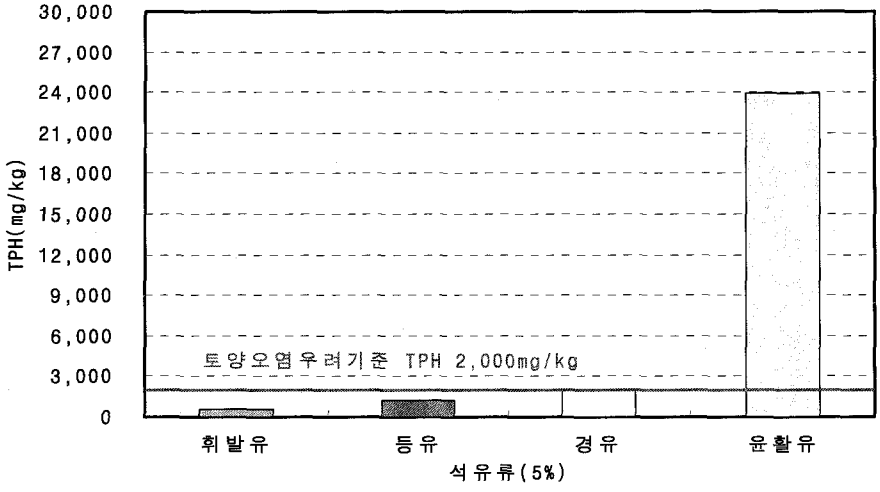

[그림 3.1.62] 석유류에 따른 BTEX(mg/kg) 농도(정화후)

⑧ 석유류의 종류에 따른 TPH(석유계총탄화수소) 분석

석유류의 종류에 따른 TPH의 농도는 [그림 3.1.63], [그림 3.1.64]와 같다. 정화 전 TPH 농도는 휘발유 2,216mg/kg, 등유 48,916mg/kg, 경유 49,081mg/kg, 윤활유 46,783mg/kg으로 나타났으며, 정화 후 휘발유 565mg/kg, 등유 1,198mg/kg, 경유 1,985mg/kg, 윤활유 2,3938mg/kg으로 나타났다. 또한, TPH 제거율은 휘발유 75%, 등유 98%, 경유 96%, 윤활유 49% 정화되었으며, 윤활유가 정화 수준이 낮게 나타났다. 이는 골재입자에 결합되어 있는 윤활유의 점성이 표면장력을 약화시켜지 못하고 계면활성제의 CMC(critical micelle concent ration)값 이상의 농도에서 유기 오염물질이 미셀(micelle)구조 내부로 분배되는 용해화(solubilization)과정과 NAPLs(non-aqueous phase liquids)가 계면활성제에 의해 계면장력의 이동화(mobilization)과정에서 효율이 감소한 것으로 사료된다.




[그림 3.1.63] 석유류에 따른 TPH(mg/kg) 농도(정화전)




[그림 3.1.64] 석유류에 따른 TPH(mg/kg) 농도(정화후)

⑨ 소 결

㉠ 계면활성제가 증가함에 따라 BTEX 및 TPH 농도는 다소 감소되었으며, 건설잔토의 골재내 공극사이에 유류가 잔존해 있는 것으로 사료되며, 재차 물로 세척을 해준다면 효율은 매우 향상될 것으로 판단된다.

㉡ 계면활성제 첨가율에 따른 BTEX 및 TPH 농도는 각각 71%이상, 64%이상 정화되었으며, 계면활성제 첨가율 0.3%정도 한다면 오염 건설잔토의 세척에 있어 매우 경제적이고 90%이상의 효율적인 효과가 있을 것으로

판단된다.

㉣ 세척시간이 증가함에 따라 BTEX 및 TPH 농도는 감소되었으며, 30분 이상에서 토양오염우려기준에 만족하였다.

㉤ 세척시간에 따른 BTEX 및 TPH 농도는 80%이상 정화되었으며, 재차 물로 세척을 해준다면 효율은 매우 향상될 것으로 판단된다.

㉥ 정화 전 유류오염율(경유)이 증가함에 따라 BTEX 및 TPH 농도는 증가되었으며, 5%일 때 정화 수준이 낮게 나타났다.

㉦ 유류오염율(경유)에 따른 BTEX 및 TPH 농도는 79%이상 정화되었으며, 재차 물로 세척을 해준다면 효율은 매우 향상될 것으로 판단된다.

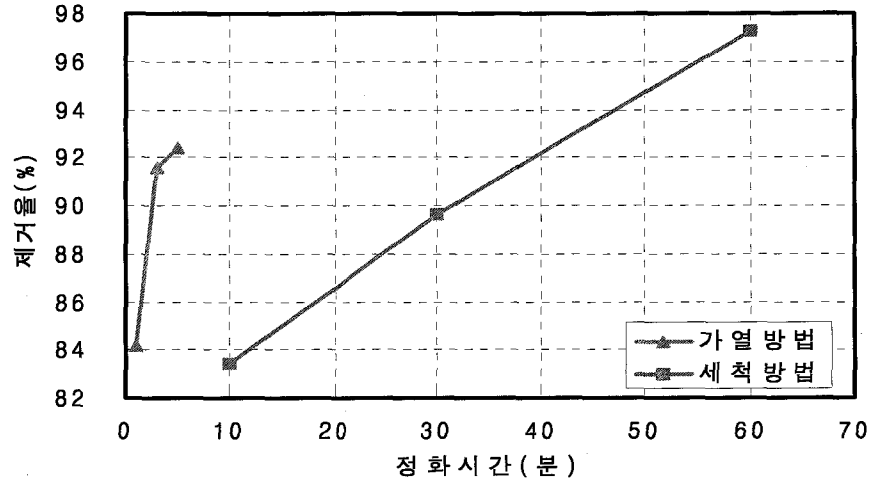
㉧ 석유류의 종류에 따른 BTEX 및 TPH 농도는 윤활유가 40%이상으로 정화 수준이 낮게 나타났으며, TPH 성분이 낮은 휘발유의 정화 수준은 높게 나타났다.

㉨ 석유류의 종류에 따른 BTEX 및 TPH 농도는 40~99% 정화 수준으로 나타났으며, 윤활유가 40%이상으로 정화 수준이 낮게 나타났으며, TPH 성분이 낮은 휘발유의 정화 수준은 높게 나타났다.

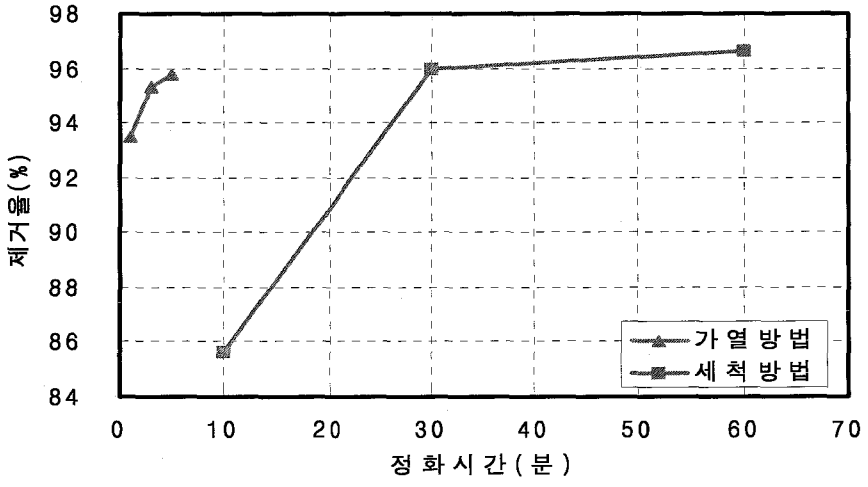
(나) 유류오염 건설잔토의 정화방법별 특성 검토

① 정화시간에 따른 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 및 TPH(석유계총탄화수소) 분석

정화시간에 따른 BTEX 및 TPH 제거율은 [그림 3.1.65], [그림 3.1.66]과 같다. 정화시간에 따른 BTEX 농도는 가열방법 84~92%, 세척방법 83~97% 제거되었으며, TPH 농도는 가열방법 93~96%, 세척방법 86~97% 제거되었다. 단시간 내에 BTEX의 제거 효율은 세척방법이 효과적이며, TPH의 제거는 가열방법이 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 정화시간에 따라 경제적인 문제가 발생에 할 것으로 사료되며, 정화시간이 길어질수록 TPH의 제거는 세척방법이 효과적일 것으로 사료된다.



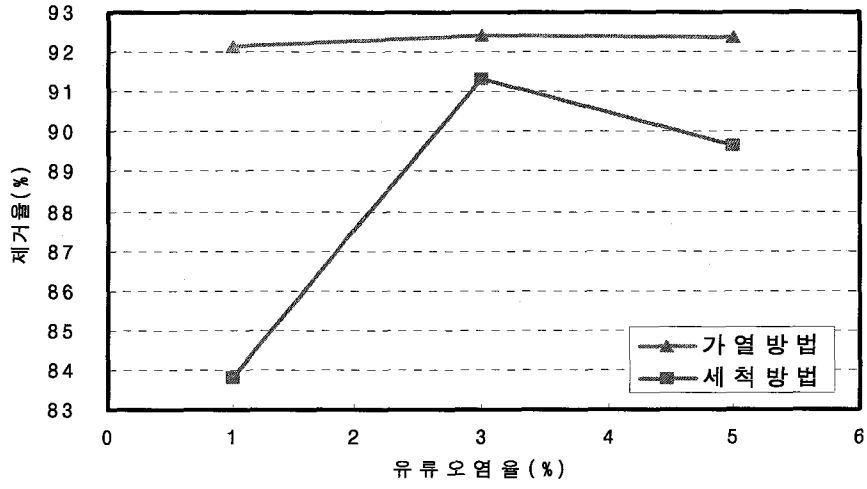

[그림 3.1.65] 정화시간에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율



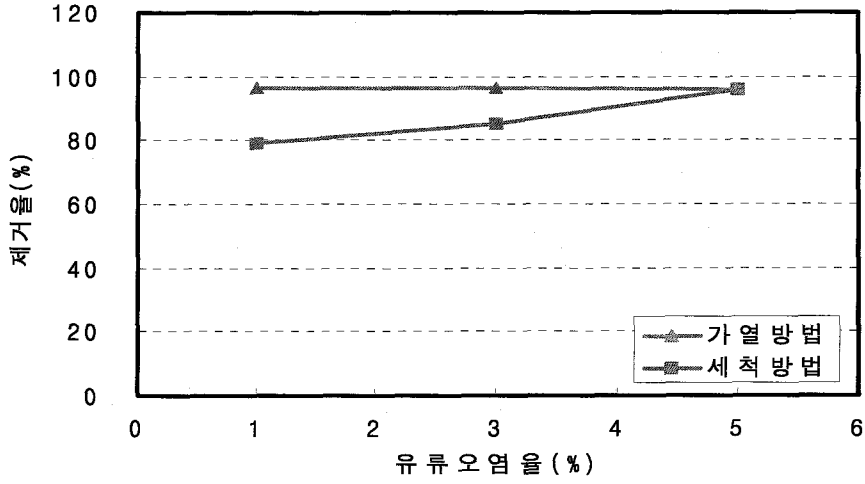

[그림 3.1.66] 정화시간에 따른 TPH(mg/kg) 제거율

② 유류오염율(경유)에 따른 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 및 TPH(석유계 총탄화수소) 분석

유류오염율에 따른 BTEX 및 TPH 제거율은 [그림 3.1.67], [그림 3.1.68]과 같다. 유류오염율에 따른 BTEX 농도는 가열방법 92~97%, 세척방법 84~92% 제거되었으며, TPH 농도는 가열방법 96~97%, 세척방법 79~96% 제거되었다. BTEX 및 TPH의 제거 효율은 가열방법이 효과적으로 나타났으며, 이는 단시간 내에 유류오염율의 범위에 대한 한계가 있었으며, 가열방법과 세척방법의 TPH 경우 유류오염율 5% 이상부터 유사한 제거율을 나타내고 있다.



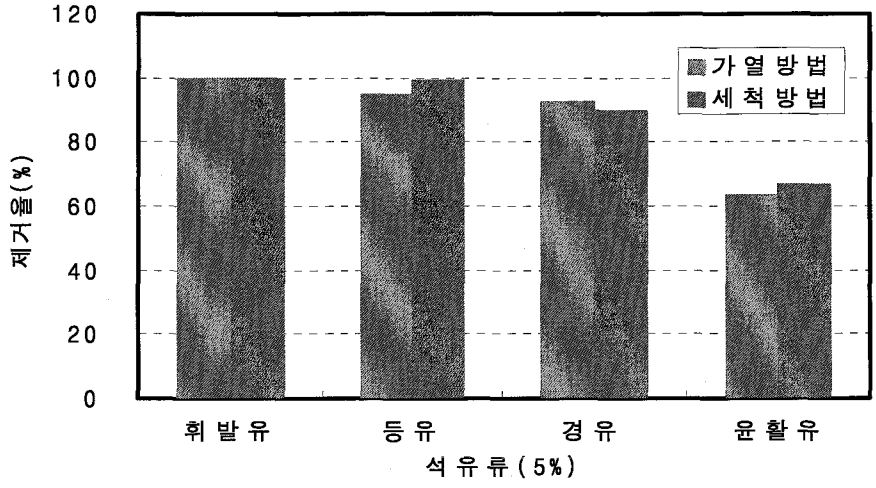

[그림 3.1.67] 유류오염율에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율



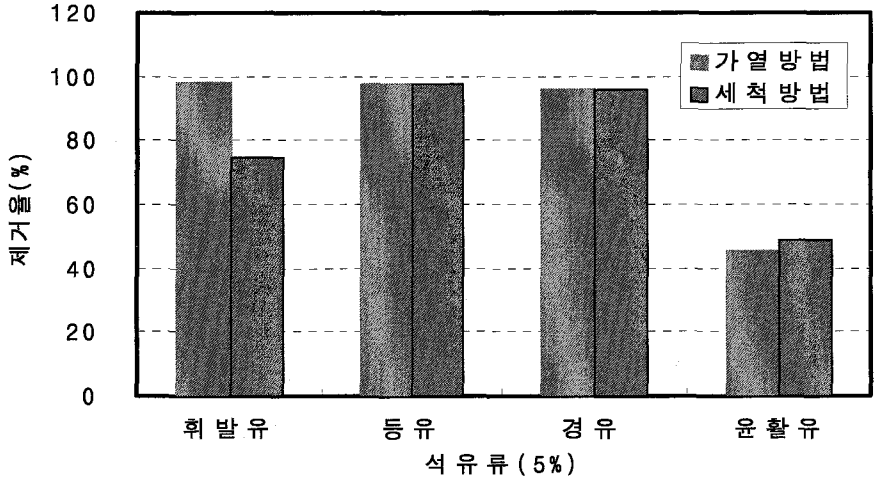

[그림 3.1.68] 유류오염율에 따른 TPH(mg/kg) 제거율

③ 석유류의 종류에 따른 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 및 TPH(석유계총 탄화수소) 분석

석유류의 종류에 따른 BTEX 및 TPH 제거율은 [그림 3.1.69], [그림 3.1.70]과 같다. BTEX 농도는 가열방법 64%이상, 세척방법 67%이상 제거되었으며, TPH 농도는 가열방법 46%이상, 세척방법 49%이상 제거되었다. 또한, BTEX 및 TPH의 제거효율은 가열방법과 세척방법이 유사하게 나타났으며, 세척방법의 TPH 제거는 휘발유의 경우 발화점이 낮은 유류의 특성에 기인한 것으로 사료된다.




[그림 3.1.69] 석유류의 종류에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율



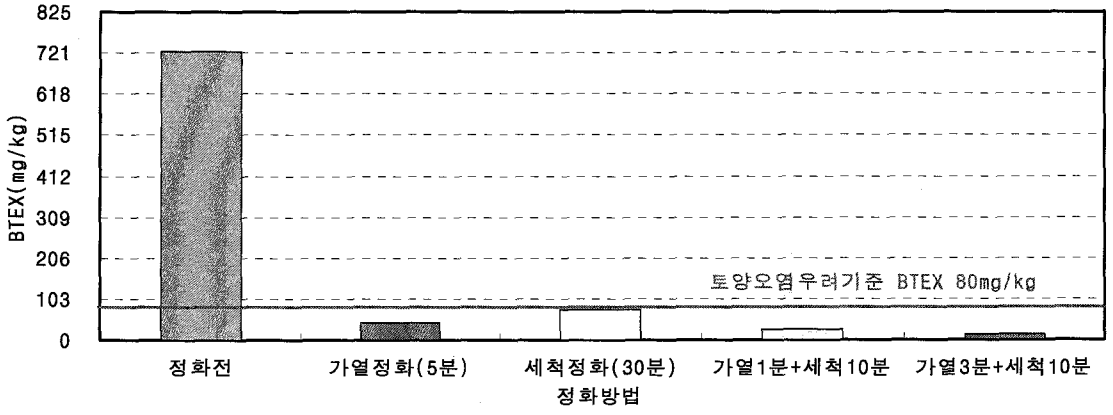

[그림 3.1.70] 석유류의 종류에 따른 TPH(mg/kg) 제거율

④ 가열방법 및 세척방법을 병용한 BTEX(벤젠, 톨루엔, 에틸벤젠, 크실렌) 및 TPH(석유계총탄화수소) 분석

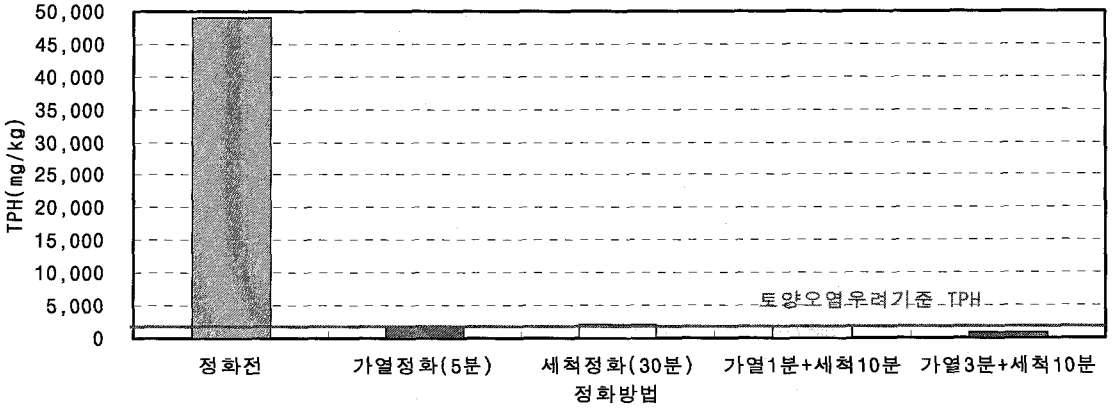
가열방법 및 세척방법을 병용한 BTEX 및 TPH 제거율은 [그림 3.1.71], [그림 3.1.72]와 같다. BTEX 농도는 가열방법 94%, 세척방법 90%, 가열1분+세척10분 96%, 가열3분+세척10분 98% 제거되었으며, TPH 농도는 가열방법, 세척방법, 가열1분+세척10분, 가열3분+세척10분 각각 96%이상 제거되었다.

현장에서 BTEX 및 TPH를 가열3분+세척10분의 정화방법을 적용하면 경제적이

며, 효율적인 효과가 있을 것으로 사료된다.




[그림 3.1.71] 정화방법에 따른 BTEX(mg/kg) 제거율




[그림 3.1.72] 정화방법에 따른 TPH(mg/kg) 제거율

⑤ 소 결

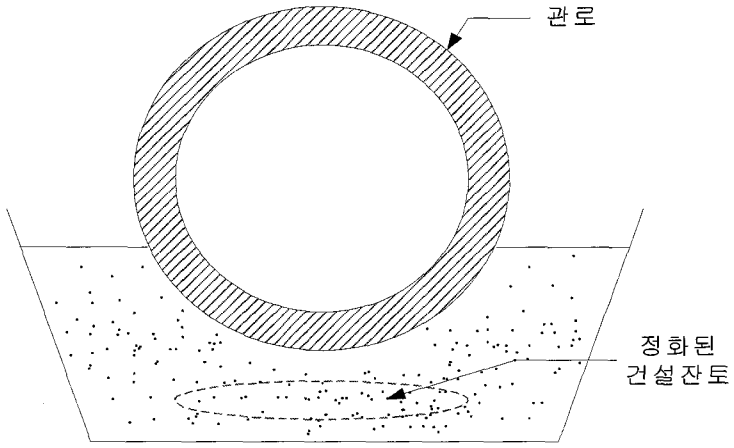
㉠ 정화방법에 따른 BTEX 및 TPH의 제거 효율은 가열3분+세척10분이 98%로 가장 효과적인 것으로 나타났으며, 토양오염우려기준에 만족하였다.

㉡ 정화방법에 따라 정화시간을 효과적으로 조절하여 경제적으로 효율이 있을 것으로 판단된다.

## 나. 정화된 건설잔토의 관로공사용 골재 등 용도별 적용성 평가 및 분석

(1) 순환골재 의무사용 건설공사의 범위 확대

환경부는 순환골재 의무사용 범위 확대를 위하여 건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률 시행령 제5조 4항이 개정(2007. 12. 시행)됨에 따라 건설공사 범위에 순환골재를 의무적으로 사용하여야 하는 하수도법 제2조 6항에 따른 하수관거의 설치공사를 추가하였으며, 순환골재 품질기준 대한 검토를 통해 적용이 가능할 것으로 판단된다.




[그림 3.1.73] 관로공사 기초되메우기 활용

(2) 건설잔토 물리적 성질 및 입도 검토

(가) 실험개요

관로공사용 되메우기 등으로 활용하기 위해 천연골재(모래)의 품질과 기존의 실험결과를 고려하여 가열방법(가열:300℃, 정화시간:5분), 세척처리방법(세척:30분, 계면활성제 첨가율:0.3%), 가열방법(가열:300℃, 정화시간:3분)+세척처리방법(세척:10분, 계면활성제 첨가율:0.3%) 등의 방법으로 잔골재의 품질를 검토하였다. 실험인자 및 방법은 <표 3.1.36>과 같다.

<표 3.1.36> 실험인자 및 방법

| 실험항목 | | 천연골재(모래) | 가열방법의 건설잔토 | 세척방법의 건설잔토 | 가열방법 및 세척방법을 병용한 건설잔토 |
|---|---|---|---|---|---|
| 밀도(%) | | KS F 2504 | KS F 2504 | KS F 2504 | KS F 2504 |
| 흡수율(%) | | KS F 2504 | KS F 2504 | KS F 2504 | KS F 2504 |
| 점토덩어리(%) | | KS F 2512 | KS F 2512 | KS F 2512 | KS F 2512 |
| 이물질 함유량(%) | 유 기 | KS F 2576 | KS F 2576 | KS F 2576 | KS F 2576 |
| | 무 기 | KS F 2576 | KS F 2576 | KS F 2576 | KS F 2576 |
| 입자모양판정실적률(%) | | KS F 2527 | KS F 2527 | KS F 2527 | KS F 2527 |
| 입 도(%) | | KS F 2502 | KS F 2502 | KS F 2502 | KS F 2502 |

(나) 실험결과 및 고찰

본 실험의 물리적 성질 및 입도 실험결과는 <표 3.1.37>과 같다.

<표 3.1.37> 물리적 성질 및 입도 실험결과

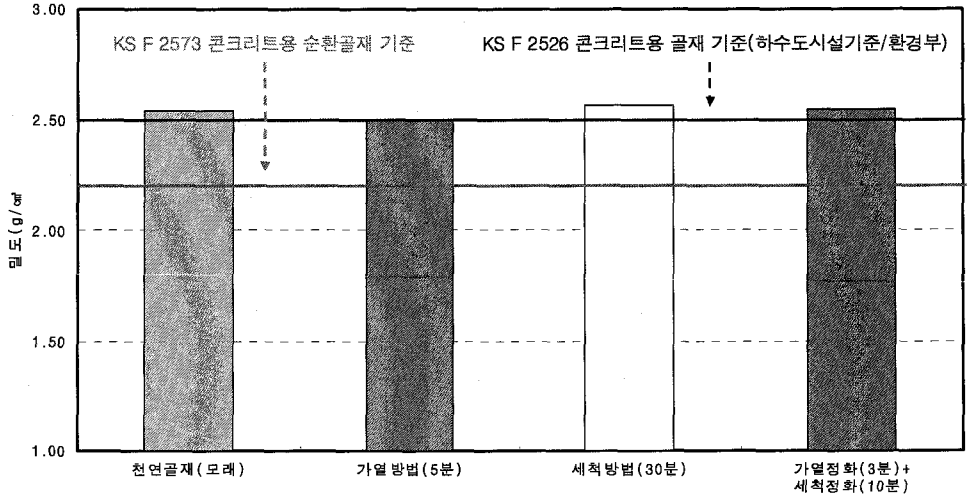
| 구분 | | 천연골재(모래) | 가열방법의 건설잔토 | 세척방법의 건설잔토 | 가열방법 및 세척방법을 병용한 건설잔토 |
|---|---|---|---|---|---|
| 밀도(%) | | 2.54 | 2.50 | 2.56 | 2.55 |
| 흡수율(%) | | 1.28 | 1.62 | 0.97 | 1.24 |
| 점토덩어리(%) | | 0.18 | 0.57 | 0.09 | 0.14 |
| 이물질 함유량(%) | 유 기 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 무 기 | 0.17 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 입자모양판정실적률(%) | | 54.53 | 55.40 | 54.10 | 54.31 |

① 밀도

정화방법별 골재에 따른 밀도는 [그림 3.1.74]와 같다. 천연골재 2.54g/㎤, 가열정화골재 2.50g/㎤, 세척정화골재 2.56g/㎤, 가열+세척정화골재 2.55g/㎤로 나타났으며, 모든 수준에서 KS 기준에 만족하는 것으로 나타났다.

가열정화골재, 천연골재, 가열+세척정화골재, 세척정화골재 순으로 높게 나타났다. 이는 가열정화골재 입자의 미세구조에 온도변화로 인한 영향이 없는 것으로 사료되며, 천연골재는 수분을 함유하고 있으나 이로 인한 미세구조에 영향이 없는 것으로 사료된다. 또한, 가열+세척정화골재는 가열정화 시 미세구조에 유류성분을 1차적으

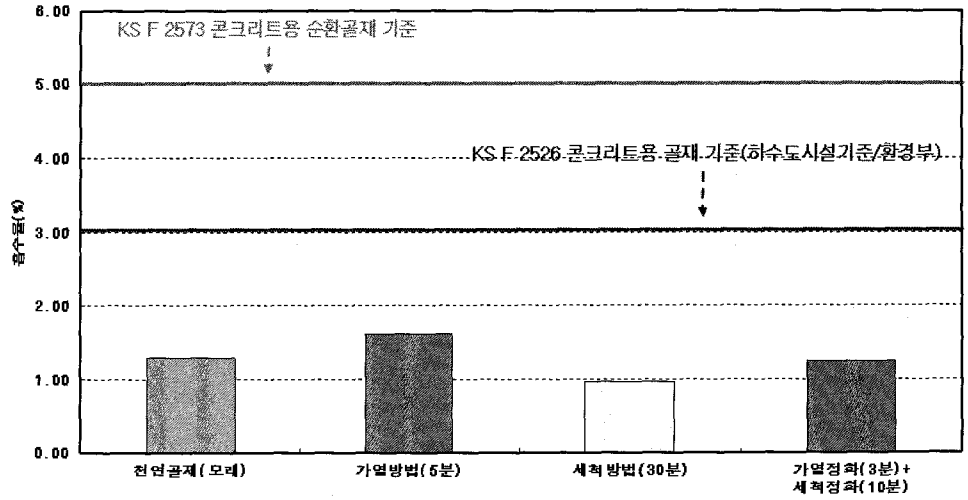
로 분리시키고 2차정화인 세척으로 골재입자의 미세구조에 계면활성제로 인한 계면장력으로 유류성분이 제거 된 것으로 사료되며, 세척정화골재는 세척 시 골재에 흡수되는 수분과 표면장력에 의한 제거로 미세구조에 밀도가 높아진 것으로 사료된다.




[그림 3.1.74] 정화방법별 골재에 따른 밀도(g/㎤)

② 흡수율

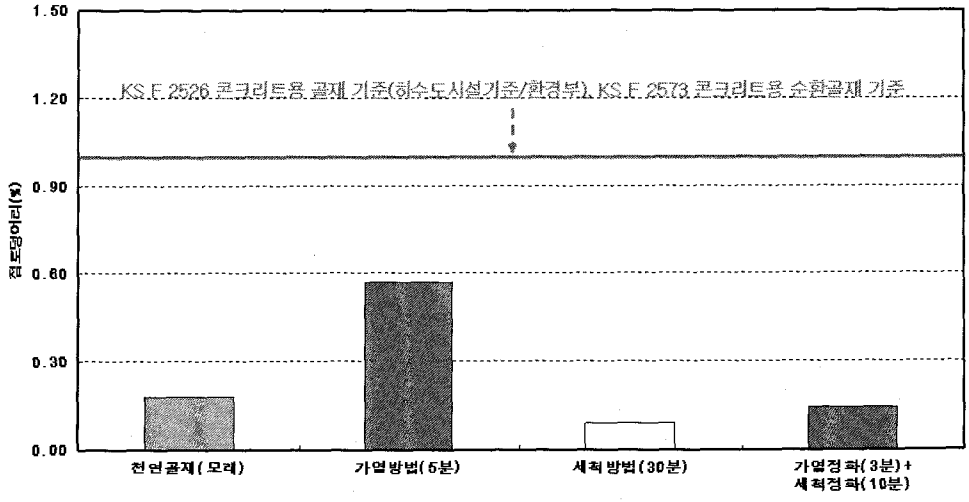
정화방법별 골재에 따른 흡수율은 [그림 3.1.75]와 같다. 천연골재 1.28%, 가열정화골재 1.62%, 세척정화골재 0.97%, 가열+세척정화골재 1.24%로 나타났으며, 가열정화골재, 가열+세척정화골재, 천연골재, 세척정화골재 순으로 높게 나타났다. 이는 골재의 미세구조와 공극으로 인한 것으로 사료되며, KS 기준에 만족하였다.




[그림 3.1.75] 정화방법별 골재에 따른 흡수율(%)

③ 점토덩어리

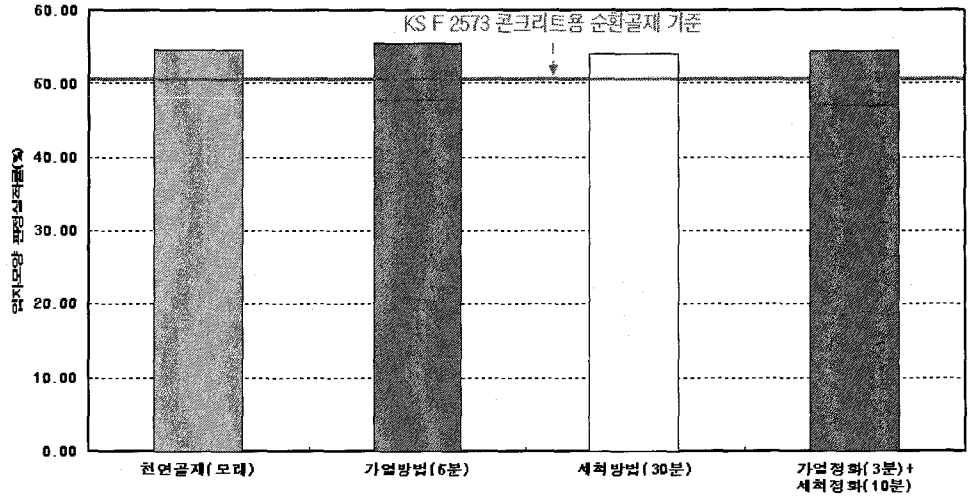
정화방법별 골재에 따른 점토덩어리는 [그림 3.1.76]과 같다. 천연골재 0.18%, 가열정화골재 0.57%, 세척정화골재 0.09%, 가열+세척정화골재 0.14%로 나타났으며, 가열정화골재, 천연골재, 가열+세척정화골재, 세척정화골재 순으로 높게 나타났다. 이는 온도변화와 계면효과로 골재 간에 장력이 생긴 것으로 사료되며, KS 기준에 만족하였다.




[그림 3.1.76] 정화방법별 골재에 따른 점토덩어리(%)

④ 이물질함유량 및 입자모양 판정실적률

정화방법별 골재에 따른 유기·무기이물질함유량은 [그림 3.1.77]과 같다. 모든 수준에서 0%로 나타났으며, KS 기준에 만족하였다. 또한, 입자모양 판정실적률은 천연골재 54.53%, 가열정화골재 55.40 %, 세척정화골재 54.10%, 가열+세척정화골재 54.31%로 나타났으며, 입자모양 판정실적률은 가열정화골재, 천연골재, 가열+세척정화골재, 세척정화골재 순으로 높게 나타났으며, KS 기준에 만족하였다.



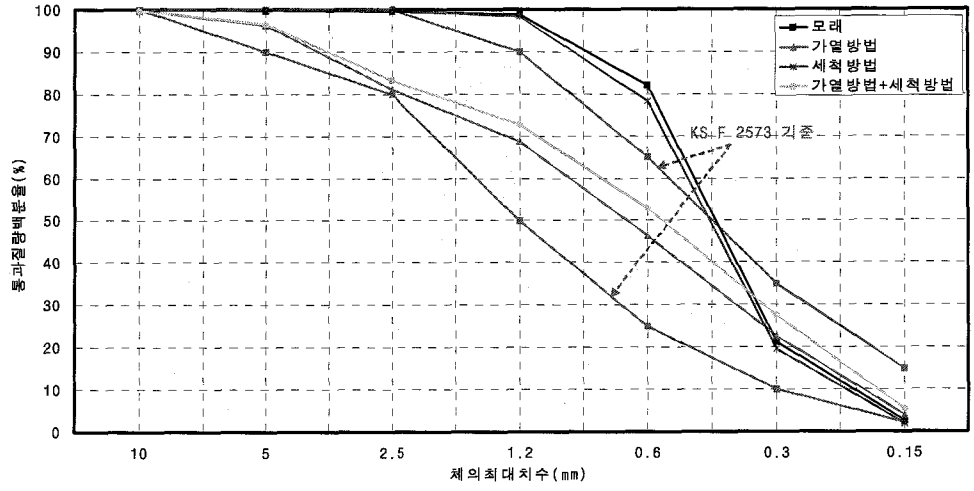

[그림 3.1.77] 정화방법별 골재에 따른 입자모양 판정실적률(%)

⑤ 입도

정화방법별 골재에 따른 입도는 <표 3.1.38>, [그림 3.1.78]과 같다. 천연골재 2~100%, 가열정화골재 4~100%, 세척정화골재 2~100%, 가열+세척정화골재 5~100%로 나타났으며, 가열정화골재, 가열+세척정화골재에서 KS 기준에 만족하였다.

<표 3.1.38> 입도 실험결과

| 체를 통과하는 질량 백분율(%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 체의 호칭 치수(㎜) / 구분 | 10 | 5 | 2.5 | 1.2 | 0.6 | 0.3 | 0.15 |
| KS F 2526 콘크리트용 골재 (하수도시설기준/환경부) 기준 | 100 | 95~100 | 80~100 | 50~85 | 25~60 | 10~30 | 2~10 |
| KS F 2573 콘크리트용 순환골재 기준 | 100 | 90~100 | 80~100 | 50~90 | 25~65 | 10~35 | 2~15 |
| 천연골재(모래) | 100 | 100 | 100 | 99 | 82 | 21 | 2 |
| 가열방법의 건설잔토 | 100 | 96 | 81 | 69 | 46 | 23 | 4 |
| 세척방법의 건설잔토 | 100 | 100 | 100 | 98 | 78 | 20 | 2 |
| 가열방법 및 세척방법을 병용한 건설잔토 | 100 | 97 | 83 | 73 | 53 | 27 | 5 |




[그림 3.1.78] 정화방법별 골재에 따른 입도(%)/KS F 2573 콘크리트용 순환골재 기준 적용

⑥ 소 결

㉠ 정화방법별 골재에 따른 절대건조밀도, 흡수율, 점토덩어리는 세척정화가 높게 나타났다.

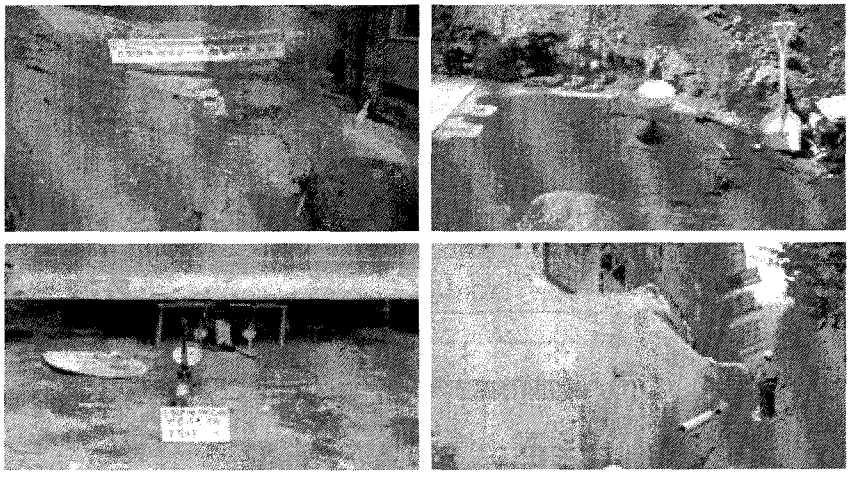
㉡ 정화방법별 골재에 따른 유기·무기이물질은 N·P로 나타났으며, 입자모양 판정실적률에서는 가열방법이 높게 나타났다.

㉣ 정화방법별 골재에 따른 물리적 성질은 모든 수준에서 KS 기준에 만족하였으며, 입도는 가열정화골재와 가열+세척정화골재에서 품질기준에 만족하는 것으로 나타났다.

(3) 건설잔토 관거공사 시범적용 및 내구성 평가

(가) 실험개요

관로공사용 되메우기 등으로 활용하기 위해서 건설잔토를 현장에서 적용하여 내구성 평가를 통한 재활용 여부 검토하기 위하여 길이 52m(약 9본), 폭 0.5m, 높이 0.2m로 구획(약 5.2㎥)하여 건설잔토를 관로공사 기초 되메우기에 포설을 실시하고 건설잔토의 내구성 실험을 실시하였다. 실험인자 및 방법은 <표 3.1.39>과 같다.



[그림 3.1.79] 내구성 실험

<표 3.1.39> 실험인자 및 방법

| 실험항목 | 모 래 | 건설잔토 | 모래:건설잔토=1:1 (혼합골재) |
|---|---|---|---|
| 다짐 | KS F 2312 | KS F 2312 | KS F 2312 |
| 현장밀도 | KS F 2311 | KS F 2311 | KS F 2311 |
| 평판재하 | KS F 2310 | KS F 2310 | KS F 2310 |
| 함수비 | KS F 2306 | KS F 2306 | KS F 2306 |
| 직접전단 | KS F 2343 | KS F 2343 | KS F 2343 |
| 입도 | KS F 2302 | KS F 2302 | KS F 2302 |

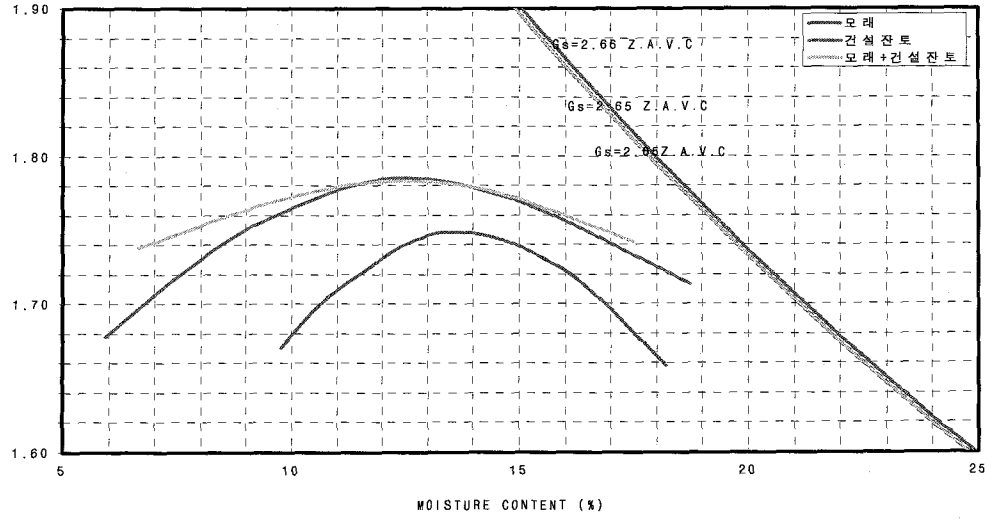
(나) 실험 결과 및 고찰

① 다짐

골재에 따른 다짐은 <표 3.1.40>, [그림 3.1.80]과 같다. 모래 최대건조밀도 1.749t/㎥, 함수비 13.4%, 건설잔토 최대건조밀도 1.785t/㎥, 함수비 12.3%, 혼합골재 최대건조밀도 1.783t/㎥, 함수비 11.9% 0%로 각각 비중범위내 만족하였으며, 골재에 따른 다짐은 비중이 높은 모래, 건설잔토, 혼합토 순으로 높게 나타났다.

<표 3.1.40> 다짐 실험결과

| 구분 | rdmax(t/㎥) | O.M.C(%) |
|---|---|---|
| 모 래 | 1.671 | 9.8 |
| | 1.710 | 11.0 |
| | 1.749 | 13.4 |
| | 1.724 | 15.9 |
| | 1.659 | 18.2 |
| 건설잔토 | 1.678 | 5.9 |
| | 1.726 | 7.8 |
| | 1.759 | 9.6 |
| | 1.785 | 12.3 |
| | 1.767 | 15.2 |
| | 1.714 | 18.7 |
| 모래:건설잔토=1:1 (혼합골재) | 1.738 | 6.7 |
| | 1.767 | 9.3 |
| | 1.783 | 11.9 |
| | 1.777 | 14.4 |
| | 1.742 | 17.5 |



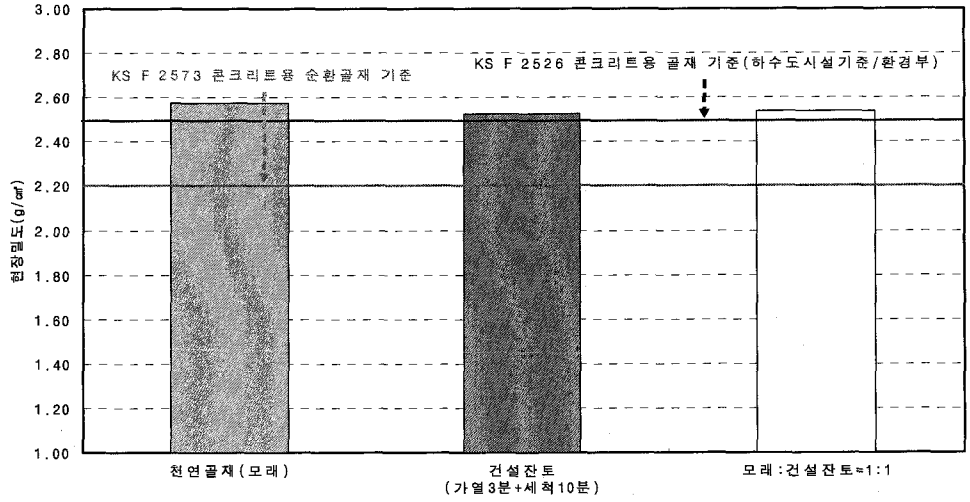

[그림 3.1.80] 골재에 따른 다짐

② 현장밀도

골재에 따른 현장밀도는 <표 3.1.41>, [그림 3.1.81]과 같다. 모래 2.58g/㎤, 건설잔토 2.53g/㎤, 혼합골재 2.54g/㎤로 나타났으며, 골재에 따른 현장밀도는 모래, 건설잔토, 혼합토 순으로 KS 기준에 만족하였다.

<표 3.1.41> 현장밀도 실험결과

| 구분 | 현장밀도(g/㎤) |
|---|---|
| 모 래 | 2.58 |
| 건설잔토 | 2.53 |
| 모래:건설잔토=1:1<br>(혼합골재) | 2.54 |



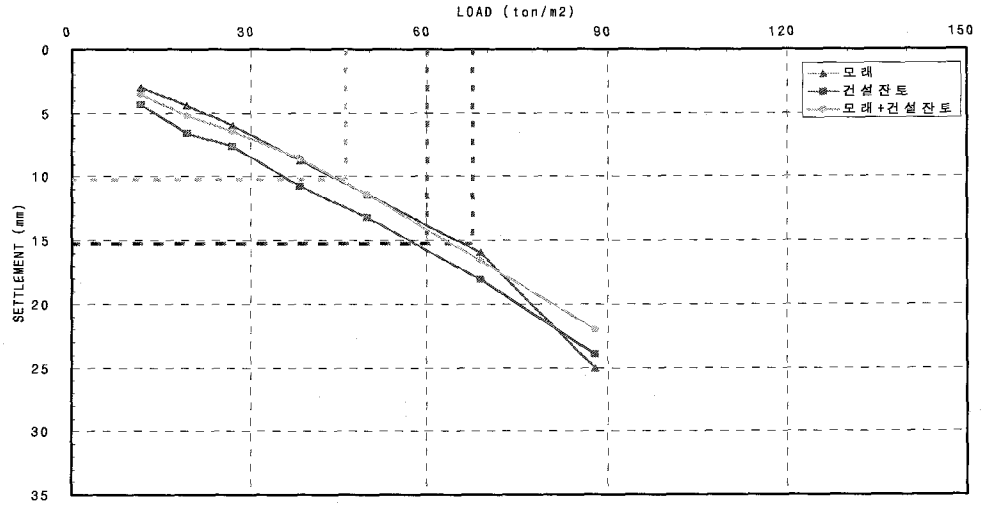

[그림 3.1.81] 골재에 따른 현장밀도(g/㎤)

③ 평판재하

골재에 따른 평판재하는 <표 3.1.42>, [그림 3.1.82]와 같다. 모래 항복하중 65.8tonf/㎡일 때 침하량 14.4㎜, 건설잔토 항복하중 60.0tonf/㎡일 때 침하량 15.3㎜, 혼합골재 항복하중 44.5tonf/㎡일 때 침하량 9.9㎜로 나타났으며, 골재에 따른 평판재하는 모래, 건설잔토, 혼합토 순으로 침하량이 낮게 나타났다. 이는 동적평형인 상태이나 골재간에 결합되어 있는 유해유기물질의 표면장력을 약화시켜 골재의 미세구조에 공극이 증가한 것으로 사료된다.

<표 3.1.42> 평판재하 실험결과

| 구분 | 항복하중 (tonf/㎡) | 극한하중 (tonf/㎡) | 허용지지력 (tonf/㎡) | 침하량 (mm) | K30 (tonf/㎡/m) | K75 (tonf/㎡/m) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 모 래 | 65.8 | 98.6 | 32.9 | 14.4 | 45,908 | 20,867 |
| 건설잔토 | 60.0 | 90.0 | 30.0 | 15.3 | 39,345 | 17,884 |
| 모래:건설잔토=1:1 (혼합골재) | 44.5 | 66.8 | 22.3 | 9.9 | 44,945 | 20,429 |



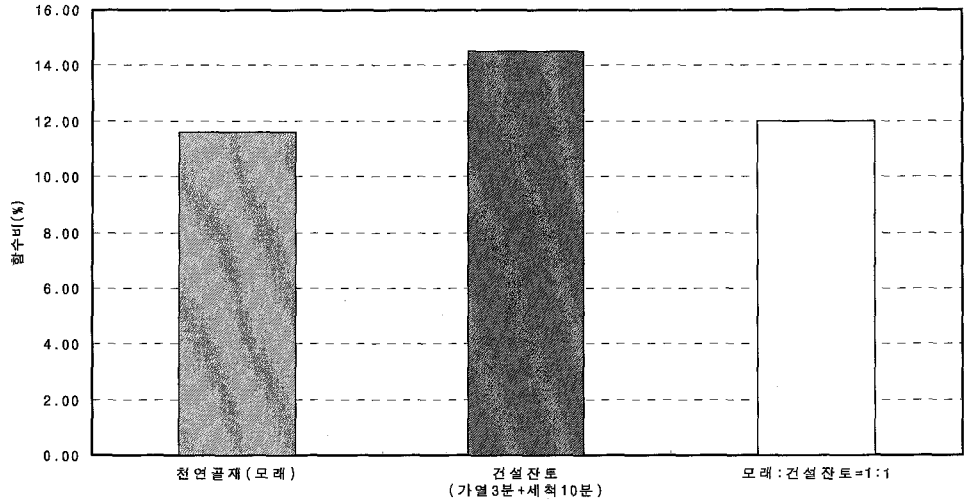

[그림 3.1.82] 골재에 따른 평판재하

④ 함수비

골재에 따른 함수비는 <표 3.1.43>, [그림 3.1.83]과 같다. 모래 11.60%, 건설잔토 14.50%, 혼합골재 12.00%로 나타났으며, 골재에 따른 함수비는 건설잔토, 모래, 혼합토 순으로 높게 나타났다. 이는 골재 입자의 공극이 증가하여 함수비가 증가한 것으로 사료된다.

<표 3.1.43> 함수비 실험결과

| 구분 | 함수비(%) |
|---|---|
| 모 래 | 11.60 |
| 건설잔토 | 14.50 |
| 모래:건설잔토=1:1 (혼합골재) | 12.00 |



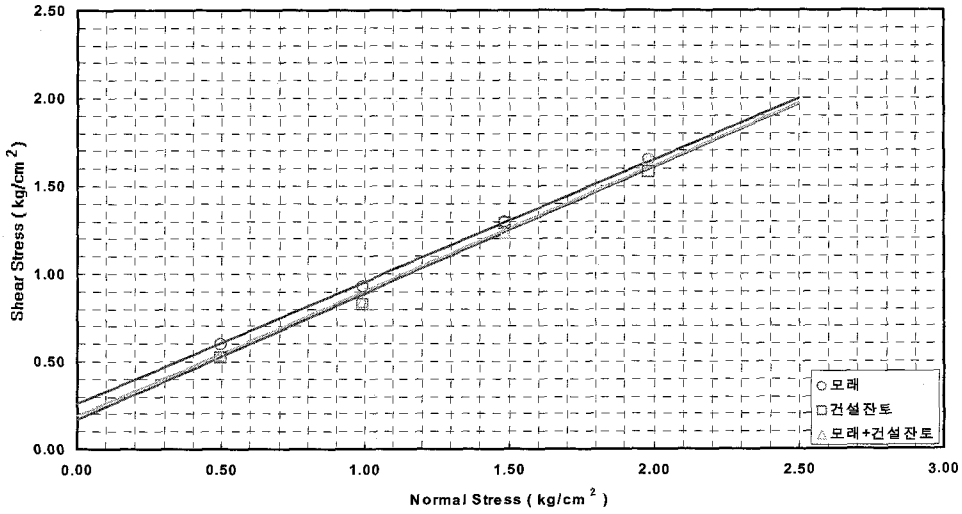

[그림 3.1.83] 골재에 따른 함수비(%)

⑤ 직접전단

골재에 따른 직접전단은 <표 3.1.44>, [그림 3.1.84]과 같다. 모래 0.26kg/㎠, 건설잔토 0.17kg/㎠, 혼합골재 0.19kg/㎠로 나타났으며, 골재에 따른 직접전단은 모래, 혼합토, 건설잔토 순으로 높게 나타났다. 이는 천연골재의 특성으로 기인한 것으로 사료된다.

<표 3.1.44> 직접전단 실험결과

| 구분 | 접착력(kg/㎠) | 내부마찰력(deg) |
|---|---|---|
| 모 래 | 0.26 | 34.9 |
| 건설잔토 | 0.17 | 35.7 |
| 모래:건설잔토=1:1 (혼합골재) | 0.19 | 35.5 |



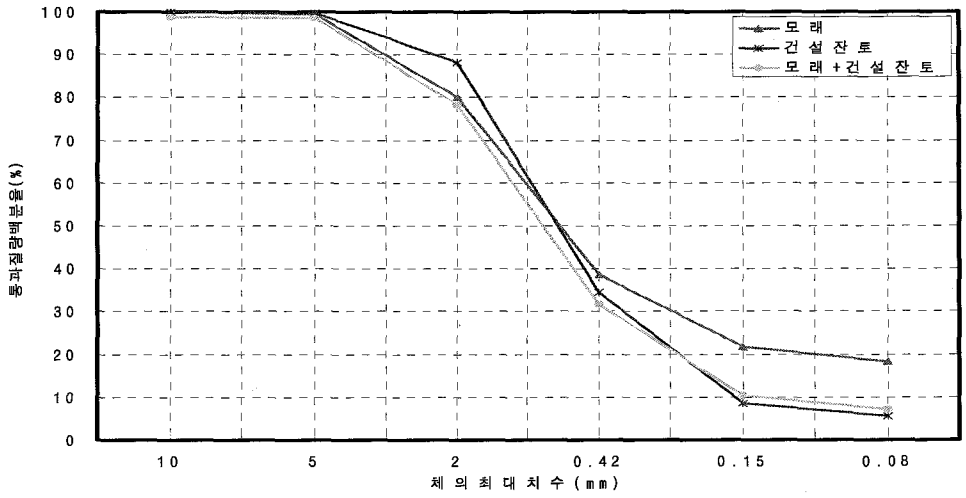

[그림 3.1.84] 골재에 따른 직접전단

⑥ 입도

골재에 따른 입도는 <표 3.1.45>, [그림 3.1.85]와 같다. 모래 18~100%, 건설잔토 6~100%, 혼합골재 7~99%로 나타났으며, 모든 수준에서 유사하게 나타났다.

<표 3.1.45> 입도 실험결과

| 체를 통과하는 질량 백분율(%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 체의 호칭 치수(㎜) / 구분 | 10 | 5 | 2 | 0.42 | 0.15 | 0.08 |
| 모 래 | 100 | 100 | 80 | 39 | 22 | 18 |
| 건설잔토 | 100 | 100 | 88 | 35 | 9 | 6 |
| 모래:건설잔토=1:1 (혼합골재) | 99 | 99 | 78 | 32 | 11 | 7 |




[그림 3.1.85] 골재에 따른 직접전단

⑦ 소 결

㉠ 골재에 따른 내구성은 모래가 높게 나타났으며, 함수비는 건설잔토, 입도는 혼합토가 높게 나타났다.

㉡ 골재에 따른 내구성 검토 결과 모래의 성질에 비하여 건설잔토, 혼합토와 유사하게 나타났으며, 관로공사용 되메우기 등으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

## 다. 결 론

본 연구에서는 유류오염 건설잔토의 현장적용성 평가 및 정화된 건설잔토의 관로공사용 골재 등 용도별 적용성 평가를 위한 실험을 실시하였으며, 이에 대한 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 유류오염 건설잔토를 세척정화시 화학적 재료의 과다한 첨가로 인한 재료비용의 증가로 비효율적인 관리를 계면활성제 0.3% 정도 첨가하므로 효율적인 관리와 재료비용을 감소시켜 경제적인 측면에서 효과적일 것으로 판단된다.

(2) 세척시간 10분일 때 토양오염우려기준을 초과하였으며, 30분이상일 때 토양오염우려기준에 만족하였다.

(3) 유류오염율(경유) 5% 이내에서 세척방법의 처리효과결과 토양오염우려기준에 만족하였다.

(4) 세척방법의 석유류는 휘발유, 등유, 경유 순으로 토양오염우려기준에 만족하였다.

(5) 정화방법에 따른 정화시간은 세척방법 보다 가열방법이 효과적으로 나타났으며, 경제적인 것으로 판단된다.

(6) 정화방법에 따른 유류오염도는 세척방법 보다 가열방법이 효과적으로 나타났다.

(7) 정화방법에 따른 석유류는 가열방법 보다 세척방법이 효과적으로 나타났으며, 토양오염우려기준에 만족하였다.

(8) 정화방법을 병용한 정화(가열3분+세척10분)는 토양오염우려기준에 만족하였으며, 현장적용시 효과적일 것으로 판단된다.

(9) 정화방법별 골재에 따른 밀도, 흡수율, 점토덩어리는 세척정화가 높게 나타났다.

(10) 정화방법별 골재에 따른 유기·무기이물질은 N·P로 나타났으며, 입자모양 판정실적률에서는 가열방법이 높게 나타났다.

(11) 정화방법별 골재에 따른 물리적 성질은 모든 수준에서 KS 기준에 만족하였으며, 입도는 가열정화골재와 가열+세척정화골재에서 품질기준에 만족하는 것으로 나타났으며, 건설현장에 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

(12) 골재에 따른 내구성 검토 결과 모래의 성질에 비하여 건설잔토, 혼합토와 유사하게 나타났으며, 관로공사용 되메우기 등으로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

# 3. 건설 폐유리를 재활용한 유리타일 및 유리블록 개발 연구

## 가. 폐유리 타일의 물리적 성능 보완

(1) 개요

2차년도 연구결과는 1차년도 연구 결과로서 재처리된 건설 폐유리를 활용하여, 폐유리 타일을 제조하였으며, 폐유리 타일을 제조하기 위한 최적 제조 배합과 최적 제조 조건을 도출하였으며, 상기의 조건으로 제조된 폐유리 타일의 물리적 특성을 검토하였으며, 그 결과를 <표 3.1.46>에 나타내었다.

<표 3.1.46> 2차년도 연구성과

| 구분 | 배합비(wt%) | | 계 | Water (wt%) |
|---|---|---|---|---|
| | 폐유리 원료 (조분 : 미분) | 점토 | | |
| 최적 제조 배합 | 60 ~ 70 (1:1 ~ 2:1) | 30 ~ 40 | 100 | 10 |
| 최적 제조 조건 | 성형압력 (ton) | 소성온도 (℃) | 소성시간 (hrs) | |
| | 25± 3 | 850± 50 | 4± 1 | |
| 시험결과 | 꺾임파괴하중 (N/㎝) | | 흡수율 (%) | |
| | 320 이상 확보 (340± 20) | | 2.0% 이내 확보 (1.6± 0.5) | |

3차년도에서는 2차년도에 제조된 폐유리 타일의 치수 안정성을 확보하기 위하여, 승온속도에 따른 폐유리 타일의 치수 안정성을 고찰하였으며, 꺾임파괴하중 및 흡수율의 기본적인 물리적 특성도 함께 검토하였다.

상기 폐유리 타일 물리적 성능의 목표는 ,GR L 2007, 재활용 유리 타일의 기준을 인용하여 설정하였으며, 그 기준을 <표 3.1.47>에 나타내었다.

<표 3.1.47> 폐유리 타일의 목표 성능

| 구분 | 꺾임파괴하중 (N/㎠) | 흡수율 (%) | 치수안정성 (㎜) |
|---|---|---|---|
| 목표 | 12.0 이상 | 4.0 이하 | ± 0.8 이하 |

(2) 폐유리 타일의 치수안정성

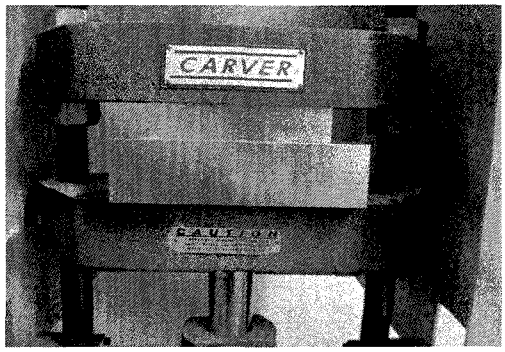
(가) 시험 방법

제조된 폐유리 타일의 치수 안정성을 확보하기 위하여, 승온속도에 따른 폐유리 타일의 치수 안정성을 고찰하기 위한 시험 요소를 다음 <표 3.1.48>에 나타내었다.

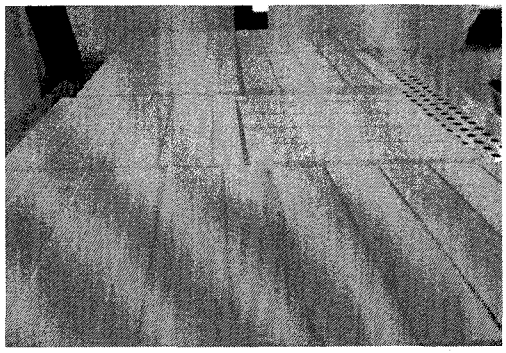
<표 3.1.48> 시험 요소

| 성형압력 (ton) | 소성온도 (℃) | 소성시간 (hrs) | 승온속도 (℃/min) |
|---|---|---|---|
| 25± 3 | 850± 50 | 4± 1 | 5<br>10<br>15<br>20 |

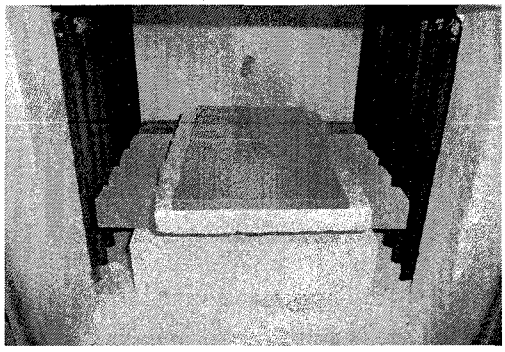
폐유리 타일은 성형압력 25ton으로 142 × 142 × 15㎜로 성형하였으며, 건조기에서 105℃로 24시간 동안 건조하였다. 소성온도는 850℃, 소성시간은 4시간으로 폐유리 타일을 제조하였다. 폐유리 타일 제조 공정을 [그림 3.86]에 나타내었다.



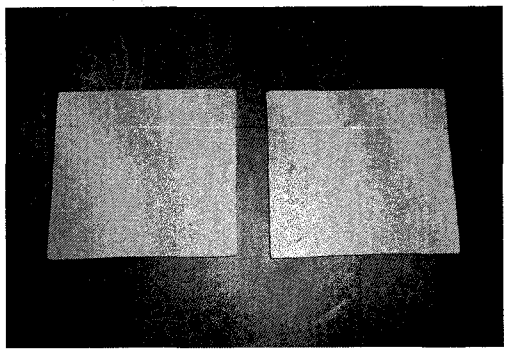

(a) 폐유리 타일 성형



(b) 성형된 폐유리 타일



(c) 폐유리 타일 소성



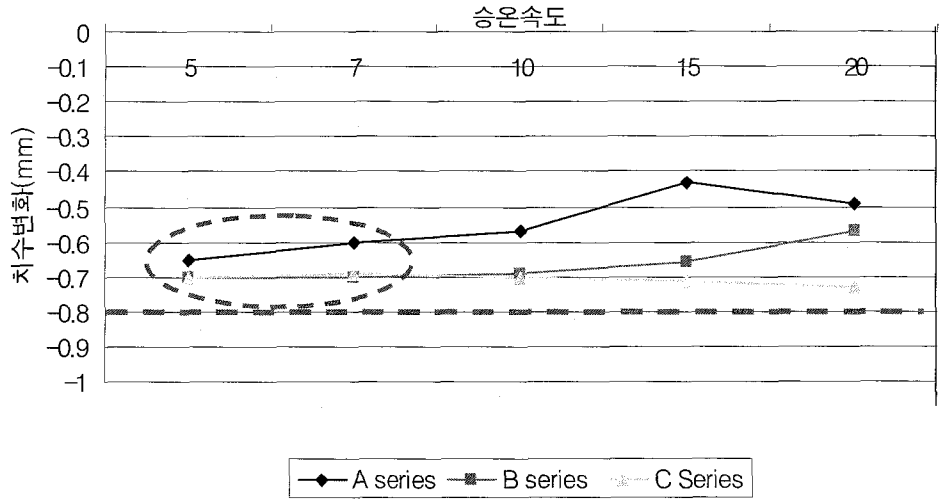
(d) 소성된 폐유리 타일

[그림 3.1.86] 폐유리 타일 제조 공정

(나) 시험 결과

상기의 조건으로 승온속도에 따른 폐유리 타일의 치수 변화를 검토한 결과를 [그림 3.1.87]에 나타내었다. 승온속도가 10℃/min 이상일 경우, 치수변화는 -0.6㎜ 이내로 비교적 안정적인 수치를 나타내었으나, 흡수율 및 꺾임파괴하중이 목표치를 만족하지 못하는 결과를 나타내었다. 승온속도가 10℃/min 이상일 경우는 승온속도가 증가함에 따라 폐유리 원료의 전이온도인 600℃ 이상에서 머무는 시간이 줄어들어 충분한 소성이 일어나지 않기 때문인 것으로 판단되며, 향후 시제품의 실제 라인 적용 생산 시 전이온도의 범위에서 유지 시간을 다소 주어지는 것이 폐유리 타일의 치수 변화를 안정화시키는 역할을 할 수 있을 것으로 판단된다.

승온속도가 10℃/min 이하일 경우, 흡수율 및 꺾임파괴하중이 목표치를 만족하면서도 치수변화가 -0.7 ~ -0.6㎜의 범위로 목표치인 ± 0.8㎜를 만족하는 결과를 나타내었다.

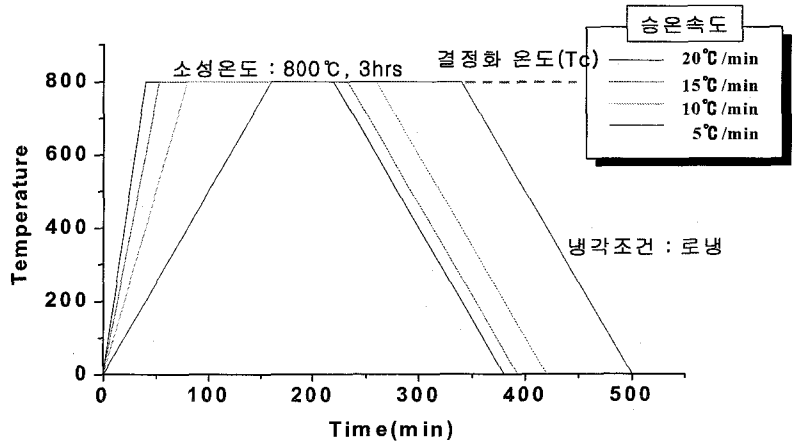



[그림 3.1.87] 폐유리타일의 승온속도에 따른 치수변화

(3) 폐유리 타일의 승온속도에 따른 영향 검토

(가) 시험 방법

폐유리 타일의 승온속도에 따른 꺾임파괴하중과 흡수율과의 상관관계를 분석하기 위하여 [그림 3.1.88]과 같은 조건으로 폐유리 타일을 소성하였으며, 폐유리 타일의 성형, 건조, 소성 방법은 상기의 조건과 같은 방법으로 실시하였다.

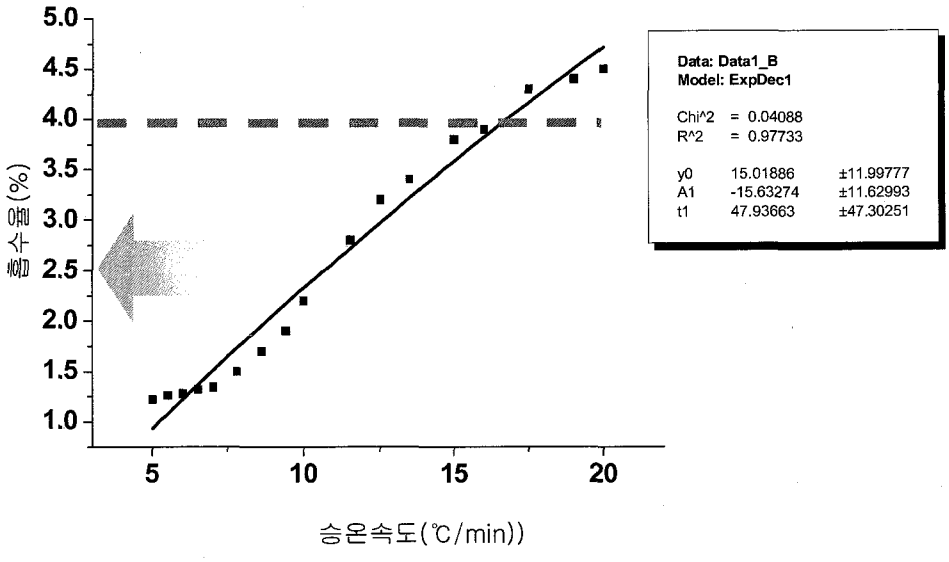



[그림 3.1.88] 폐유리 타일의 소성 조건

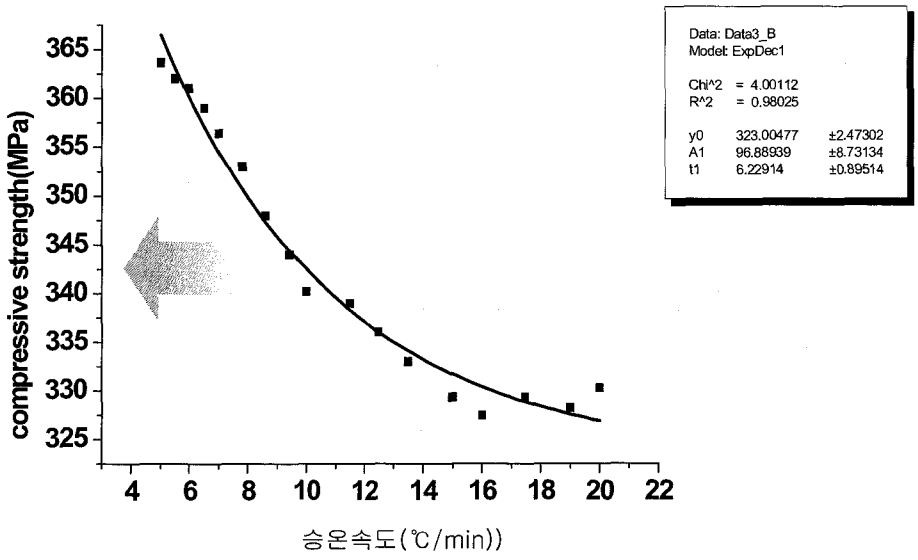
(나) 시험 결과

승온속도에 따른 폐유리 타일의 흡수율과 꺾임파괴하중과의 상관관계를 분석한 결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 흡수율의 경우 승온속도가 낮을수록 흡수율이 감소하였으며, 꺾임파괴하중의 경우 승온속도가 낮을수록 강도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

또한, 승온속도와 흡수율 및 꺾임파괴하중과의 상관관계는 $R^2$이 0.96이상으로 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 이는 승온속도가 증가함에 따라 폐유리 원료의 전이온도인 600℃ 이상에서 머무는 시간이 줄어들어 충분한 소성이 일어나지 않기 때문인 것으로 판단된다.




[그림 3.1.89] 승온속도와 폐유리 타일의 흡수율과의 상관관계




[그림 3.1.90] 승온속도와 폐유리 타일의 꺾임파괴하중과의 상관관계

(4) 소결

(가) 승온속도에 따른 폐유리 타일의 치수변화를 검토한 결과, 승온속도가 10℃/min 이하일 경우, 흡수율 및 꺾임파괴하중이 목표치를 만족하면서도 치수변화가 -0.7 ~ -0.6㎜의 범위로 목표치인 ± 0.8㎜를 만족하는 결과를 나타내었다.

(나) 승온속도에 따른 폐유리 타일의 흡수율과 꺾임파괴하중과의 상관관계를 분석한 결과, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 흡수율의 경우 승온속도가 낮을수록 흡수율이 감소하였으며, 꺾임파괴하중의 경우 승온속도가 낮을수록 강도가 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

(다) 승온속도와 흡수율 및 꺾임파괴하중과의 상관관계는 R2이 0.96이상으로 높은 상관관계를 나타내고 있으며, 이는 승온속도가 증가함에 따라 폐유리 원료의 전이온도인 600℃ 이상에서 머무는 시간이 줄어들어 충분한 소성이 일어나지 않기 때문인 것으로 판단된다.

## 가. 블록 제조 이론

(1) 소결이론

초기 소결에서 넥크 성장 속도식은 다음의 일반적 형태로 나타낸다.

$$(x/r)n = (K/rm)t$$

즉, 넥크의 상대크기 x/r는 시간 t의 1/n승에 비례하고 입자크기 r의 m/n승에 반비례해서 커지게 된다. 이 식에 나타나는 n 및 m값은 소결기구가 무엇이냐에 따라 다른데, 보고된 값들의 범위와 가장 합당하다고 인정받는 값을 정리하면 <표 3.49>와 같다.

<표 3.1.49> 소결 이론 모델

| Sintering Mechanism (Mass Path) | Range | | Plausible Values | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | n | m | n | m | K |
| 1. Evaporation-Condensation (Surface-Vapor-Neck) | 3-7 | 2-4 | 3 | 2 | $\frac{3\sqrt{\pi\gamma}M^{3/2}P}{\sqrt{2}d^2(RT)^{3/2}}$ |
| 2. Surface Diffusion (Surface-Surface-Neck) | 3-7 | 2-4 | 7 | 4 | $\frac{28\delta\gamma\Omega D_1}{kT}$ |
| 3. Lattice Diffusion I (Surface-Lattice-Neck) | 4-5 | 2-3 | 5 | 3 | $\frac{40\pi\gamma\Omega D_1}{kT}$ |
| 4. Viscous Flow (All Parts) | 2 | 1 | 2 | 1 | $\frac{3\gamma}{2\eta}$ |
| 5. Lattice Diffusion II (GB-Lattice-Neck) | 4-5 | 3 | 4 | 3 | $\frac{32\gamma\Omega D_1}{kT}$ |
| 6. Grain Boundary Diffusion (GB-GB-Neck) | 6 | 4 | 6 | 4 | $\frac{96w\gamma\Omega D_{gb}}{kT}$ |

상기의 소결 이론 모델을 토대로 폐유리 타일 및 폐유리 블록의 소결 이론을 고려해보면, 폐유리의 융액의 형성에 의한 경화메카니즘을 가질 것으로 예상되며, 이러한 점성 유동 기구에 의한 소결 기구에 대한 설명은 다음과 같다.

점성유동에 의한 소결 기구는 비교적 간단하고 그 실험이 쉬워, 여러 소결기구들 중에서 가장 먼저 확립이 되었다. 점성유동이란 유리와 같이 비정질인 물질이 가역과 함께 표면장력의 작용으로 물질이동이 일어나는 것을 말한다. 이 점성유동 소결기구 Frenkel(1945)이 처음 체계적으로 제안하였고, Mackenzie와 Shutleworth(1949)가 보완하였으며, Kuczynski와 Zaplatynskyj(1949) 및 Kingery와 Berg가 실험적으로 재확인하였다. 이 기구에 의해 소결을 일으키는 재료의 가장 좋은 예는 유리인 것으로 표현하고 있다.

Frenkel은 두 개의 구형 액상(Newton 형)이 점성유동에 의해 하나로 합쳐지는 모델을 대상으로 그 소결 속도식을 유도되었다. 위의 모델에서 점성유동에 의해 소결이 진행되면 표면적과 전체 표면 에너지가 감소되어, 이 감소된 량만큼의 에너지가 방출되게 된다. 이 방출된 에너지는 두 구를 서로 가까이 이동하는 데 필요한 에너지로 사용되게 된다. 따라서, 표면 에너지의 감속 속도와 물질이동을 위한 에너지 소모 속도를 같다고 생각할 수가 있고, 이에 의해 우리가 원하는 소결 속도식을 유도할 수가 있다. 점성유동에 의한 소결 수축식과 넥크 반경의 성장 속도식은 다음과 같이 시간에 직선적으로 비례함을 알 수 있다. 따라서 폐유리 타일과 폐유리 블록 모두 소결 시간에 대한 인자를 고려사항에 포함할 예정이다.

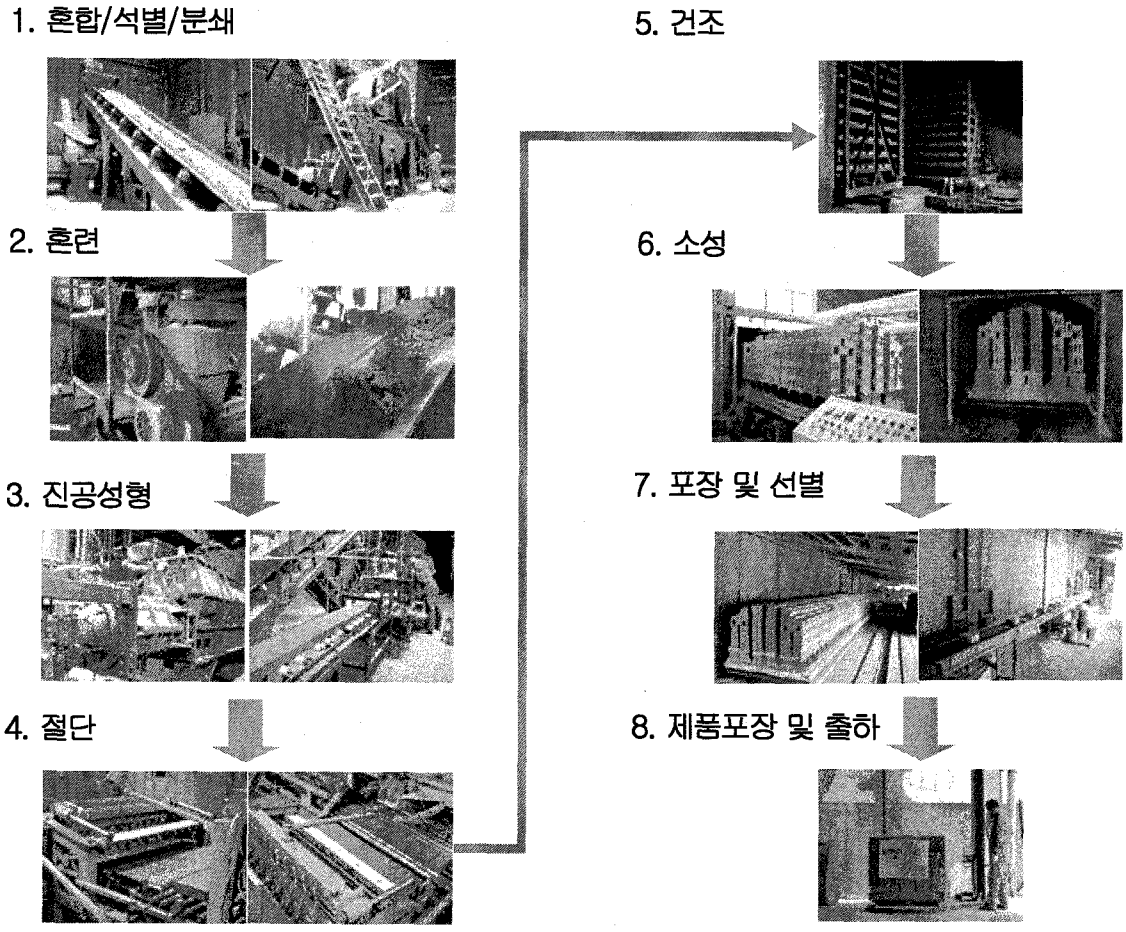
$$\Delta L / L_0 = (3\gamma/4\eta r)t$$

$$(x/r)^2 = (r\sin\Theta)^2/r^2 = \Theta^2 = (3\gamma/2\eta r)t$$

여기서, $\tau$는 전단응력(shear stress), $\eta$는 점도(viscosity), 그리고 $\gamma$는 전단 스트레인율(shear strain)이다.

(2) 점토 블록 제조 이론

일반적인 점토 블록은 원료입고, 배합, 혼련, 분쇄, 숙성, 성형, 건조, 적재, 소성, 포장, 출하의 과정을 거쳐, 최종적으로 제품의 형태로 배출되고 있다. 일반적인 점토 블록 제조 방법을 기본으로하여 폐유리 블록을 제조하기 위한 실험 방법에 반영하였다. 일반적인 점토 블록 제조방법 및 세부 제조 공정을 [그림 3.1.91] 및 <표 3.1.50>에 나타내었다.




[그림 3.1.91] 일반적인 점토블록 제조 방법

<표 3.1.50> 폐유리 블록 제조 방법

| 공정도 | | | |
|---|---|---|---|
| W사 제조공정도 | 제조조건 | 폐유리 블록 제조 실험 공정 | 제조 실험 |
| 원료입고 | - 백토, 황토, 가소제 | 원료입고 | - 폐유리 미분, 조분<br>- 백토<br>- 가소제<br>(알콜, 글리세린, 유산) |
| 배합 | - 더블샤프트 혼합기 | 배합 | |
| 혼련 | - 원료중의 골재 미립화 | 혼련 | - 몰탈 혼합기 혼합 |
| 분쇄 | - 25 ~ 35℃ 숙성<br>; 수분의 분산 | 숙성 | - 항온항습기(20℃, 80%R.H.) |
| 숙성 | | 성형 | - 진공토련기<br>(실린더 : 3HP, 5HP)<br>- 압축성형프레스 |
| 성형 | - 압출, 가압, 주입 성형 | 건조 | - 건조기(60℃) |
| 건조 | - 건조시스템 : 급건조방지<br>(항률건조구간 설정) | 소성 | |
| 적재 | | 물성시험 | - 전기로 : 600 ~ 900℃<br>- 소성시간 : 3 ~ 6hrs<br>- 물리성능 시험<br>; 압축강도, 수축율, 열충격, 치수 및 허용차 |
| 소성 | - 가스소성로 : 1100 ~ 1200℃<br>- 소성시간 : 26hrs 이상<br>- 팔레트 | | |
| 포장 | | | |
| 출하 | | | |

## 다. 폐유리 블록의 원재료 분석

(1) 개요

폐유리 블록의 제조시 소성 조건의 설정 및 기초적인 물성 파악을 위하여, 원재료인 건설 폐유리와 백토의 화학조성 및 열적특성을 분석하였다. 화학조성은 XRF로 성분분석을 실시하였고, 결정성 분석은 XRD로 시행하였다. 성형 시 함량에 따른 혼

합성능 비교시 기초자료인 입자의 형상은 SEM으로 관찰하였으며, 소성 조건의 설정을 위한 열적 특성은 TG/DTA로 측정하였다.

(2) 원재료 특성

(가) 화학조성 분석

폐유리 블록의 원재료인 건설 폐유리와 백토의 화학조성 및 결정성을 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

건설 폐유리는 주성분이 $SiO_2$, CaO, $Na_2O$로서 각각 72.9, 14.9, 6.9wt%를 차지하고 있으며, 건설 폐유리의 대부분인 판유리의 조성과 유사하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 건설 폐유리의 이물질 함량은 슬러지, 금속류, 유기물이 각각 0.42, 0.25, 0.04wt%인 것을 사용하였으며, 비중은 2.52를 나타내었다.

백토의 경우 주성분이 $SiO_2$, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$가 각각 54.9, 36.1, 3.33 wt%로 전형적인 점토질 광물의 함량을 나타내고 있으며, 불순물의 함량이 그리 높이 않은 것을 확인할 수 있었다. 비중은 2.58을 나타내었으며, 그 함량을 <표 3.1.51>에 나타내었다.

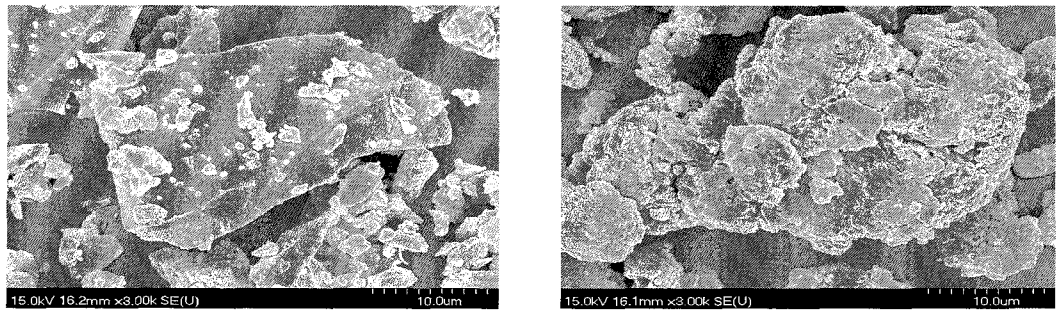
<표 3.1.51> 원재료의 화학 조성

| 구분 | 화학성분(wt%) | | | | | | | 이물질 함량(wt%) | | | 비중 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | CaO | $Na_2O$ | $K_2O$ | $Al_2O_3$ | MgO | $Fe_2O_3$ | 슬러지 | 금속류 | 유기물 | |
| 건설 폐유리 (판유리) | 72.9 | 14.9 | 6.90 | 0.56 | 1.09 | 2.79 | 0.22 | 0.42 | 0.25 | 0.04 | 2.52 |
| 백토 | 54.9 | 0.34 | - | 0.54 | 36.1 | 0.04 | 3.33 | - | - | - | 2.58 |

(나) 입자 형상

폐유리 미분의 경우, 입자의 형상은 다각형이며, 모서리의 예리한 부분이 남아있으며, 미세기공이 없이, 매끄러운 표면을 나타내는 것으로 관찰되었다.

백토의 경우, 다공성이며, 입자의 형상은 특이한 모양이 없이 다양한 형태로 존재하며, 불규칙한 표면을 나타내는 것으로 관찰되어 일반적이 점토와 특이점을 발견할 수 없었다.



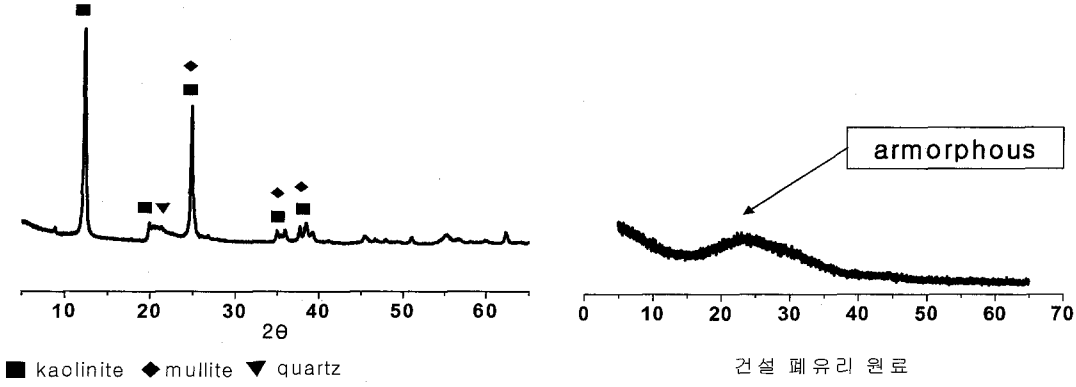

(a) 폐유리 미분 (b) 백토

[그림 3.1.92] 폐유리 블록 원재료의 SEM 사진

(다) 결정성 분석

건설 폐유리의 경우, 유리의 대표적인 회절 형식인 완만한 곡선의 비정질 형태의 peak를 나타내고 있다.

백토의 경우, 일반적인 점토의 peak 형태를 나타내고 있으며, 주성분이 카올린, 뮬라이트, 쿼츠로 이루어진 것을 확인하였다.



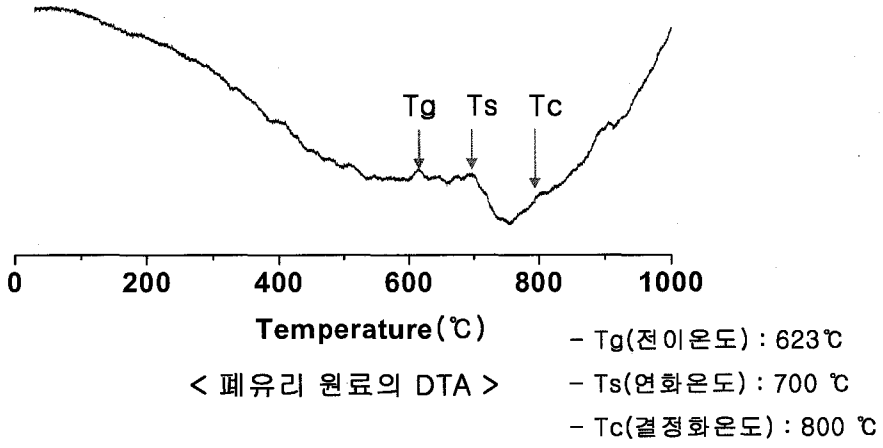

[그림 3.1.93] 블록 원재료의 XRD patterns

(라) 열적 특성 분석

일반적인 유리의 경우, 열변화에 따라 전이, 연화, 결정화의 과정을 거쳐 최종적으로 용융하게 되어, 완전히 혼합되게 되며, 건설 폐유리의 경우도 상기와 같은 열적 변화를 수반할 것으로 판단되어 열분석(DTA)을 실시한 결과, 다음과 같은 DTA

curves를 얻을 수 있었다.

그림에서 보이듯이 623, 700, 800℃에서 유리의 열적 특성을 나타내는 전이온도, 연화온도 및 결정화온도의 peak를 나타내고 있다. 이러한 열적 특성을 바탕으로 폐유리 블록의 소성 조건을 구성하였다.




[그림 3.1.94] 폐유리 원료의 DTA curves

## 라. 폐유리 블록의 최적 조성 및 제조 조건 도출

(1) 개요

3차년도 연구 내용의 일환으로, 1차년도의 연구 결과물인 재처리된 건설 폐유리를 활용하여 폐유리 블록을 제조하기 위하여, 소성하기 전단계인 배토의 성형과 제조에 대하여 검토하였으며, 유리 함량에 따른 가소성의 저하를 보완하기 위하여, 가소제의 종류에 따른 가소성 향상 방법에 대하여도 고찰하였다.

폐유리 블록의 최적 조성 및 최적 제조 조건을 도출하기 위하여 폐유리 미분, 조분, 점토, 혼합수의 함량에 따른 조성 실험과 성형압력, 소성조건에 따른 실험을 실시하였다.

(2) 실험방법

(가) 배토의 제조

폐유리 블록을 성형하기 위한 배토의 제조는 배합, 혼련, 숙성, 성형, 건조의 단계를 거쳐 시행하였으며, 그 세부사항을 <표 3.1.52>에 나타내었다. 또한 폐유리 함량에 따른 가소성의 평가를 위해 <표 3.1.53>와 같은 조건으로 배토를 제조하였다.

<표 3.1.52> 배토의 제조 방법

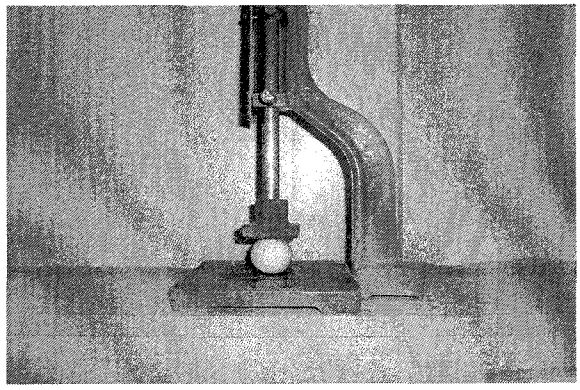
| 제조 공정도 | 세부사항 |
|---|---|
| 배합 | - 폐유리, 백토, 물<br>- 가소제의 첨가(glycerin, alcohol, lactic acid) |
| 혼련 | - 몰탈혼합기, 140rpm, 5min |
| 숙성 | - 항온항습기, 20℃, 80% R.H., 24hrs |
| 성형 | - 압출성형(진공토련기)<br>- 압축성형(유압식프레스) |
| 건조 | - 건조기, 105℃, 24hrs |
| 물성시험 | - 가소성의 측정 : stringer-emery 시험 |

<표 3.1.53> 배토의 시험 인자

| 구분 | 시험인자 |
|---|---|
| 함수율 | 20 ~ 30wt% |
| 폐유리함량 | 0 ~ 80wt% |
| 가소제의 종류 | 알코올, 글리세린, 유산 |

(나) 가소성의 측정

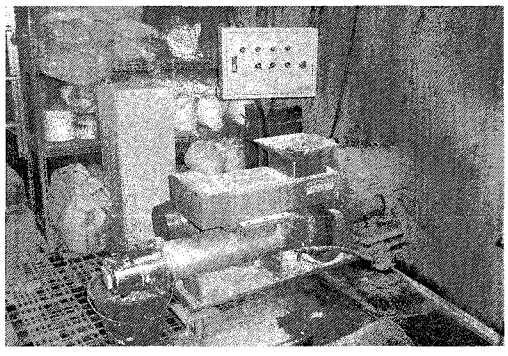
폐유리 블록 배토의 가소성을 측정하기 위한 방법으로는 stringer-emery 시험법을 활용하였다. stringer-emery 시험법은 [그림 3.1.95]에서 보이는 바와 같이 2㎝의 성구를 제작하여, 성구가 갈라질 때까지 압축하중을 주고, 그 때의 압축하중을 가소성치로 구하는 방법이다.



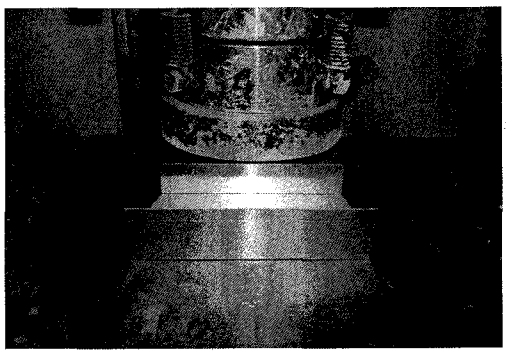
[그림 3.1.95] stringer-emery 시험법

(다) 배토의 성형

배토의 성형은 압출성형 방식과 압축성형 방식으로 성형하였으며, [그림 3.1.96]에 나타내었다.



(a) 압출성형 - 진공토련기



(b) 압축성형 - 프레스

[그림 3.1.96] 배토의 성형

(3) 실험결과

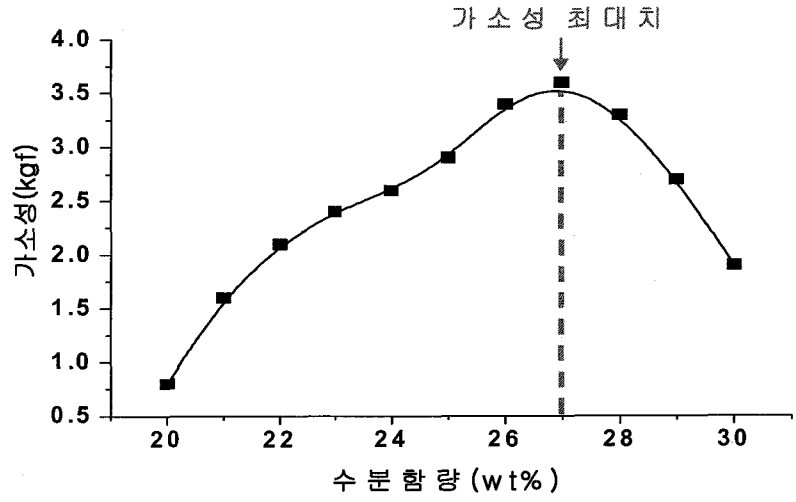
(가) 폐유리 블록 배토의 물리적 성능

① 수분함량에 따른 배토의 가소성

수분 함량에 따른 배토의 가소성치를 살펴보면, 수분 함량이 증가할수록 가소성이 증가하는 것을 나타내고 있으며, 수분 함량 27%에서 최대의 가소성치를 나타내고 점점 감소하는 것으로 나타났다.

<표 3.1.54> 수분함량에 따른 배토의 가소성

| 구 분 | 수분 함량 (%) | 시험결과 | 비고 |
|---|---|---|---|
| | | 가소성* (kgf) | |
| 1 | 20 | 0.8 | |
| 2 | 21 | 1.6 | |
| 3 | 22 | 2.1 | |
| 4 | 23 | 2.4 | |
| 5 | 24 | 2.6 | |
| 6 | 25 | 2.9 | |
| 7 | 26 | 3.4 | |
| 8 | 27 | 3.6 | 최대치 |
| 9 | 28 | 3.3 | |
| 10 | 29 | 2.7 | |
| 11 | 30 | 1.9 | |



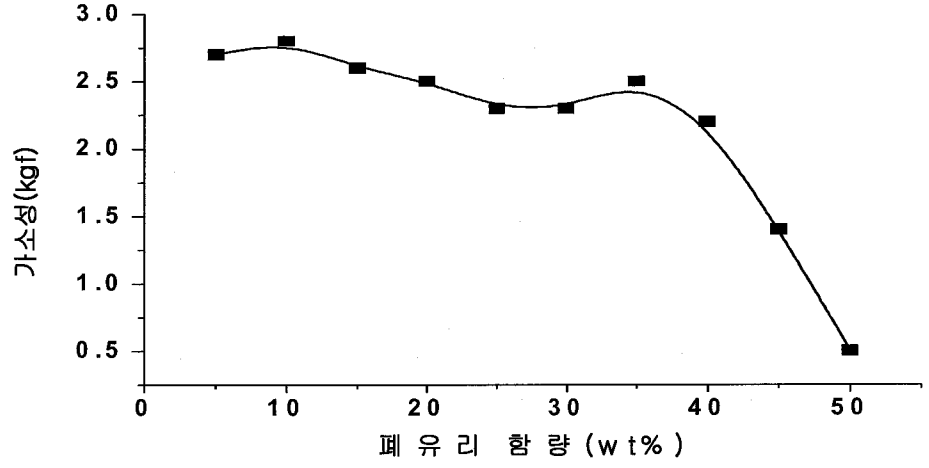

[그림 3.1.97] 수분함량에 따른 배토의 가소성

② 폐유리 함량에 따른 배토의 가소성

폐유리 혼입시 배토의 가소성은 폐유리의 함량이 증가함에 따라 점점 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 폐유리 함량이 40wt%를 넘어가면 급격하게 가소성이 저하하여 성구를 제작하는 것이 불가능한 것으로 나타났다. 이렇게 급격한 가소성의 저하는 폐유리 함량의 증가에 따라 수분에 의해 가소성을 발휘하는 백토의 비율이 낮아져서 발생하는 현상으로 판단된다.

<표 3.1.55> 폐유리 함량에 따른 배토의 가소성

| 구 분 | 폐유리 함량 (%) | 시험결과 | 비고 |
|---|---|---|---|
| | | 가소성* (kgf) | |
| 1 | 5 | 2.7 | |
| 2 | 10 | 2.8 | |
| 3 | 15 | 2.6 | |
| 4 | 20 | 2.5 | |
| 5 | 25 | 2.3 | |
| 6 | 30 | 2.3 | |
| 7 | 35 | 2.5 | |
| 8 | 40 | 2.2 | |
| 9 | 45 | 1.4 | |
| 10 | 50 | 0.5 | |
| 11 | 55 | - | 성형 |
| 12 | 60 | - | |
| 13 | 65 | - | 불가능 |
| 14 | 70 | - | |
| 15 | 75 | - | |
| 16 | 80 | - | |




[그림 3.1.98] 폐유리 함량에 따른 배토의 가소성

③ 가소제의 종류에 따른 배토의 가소성

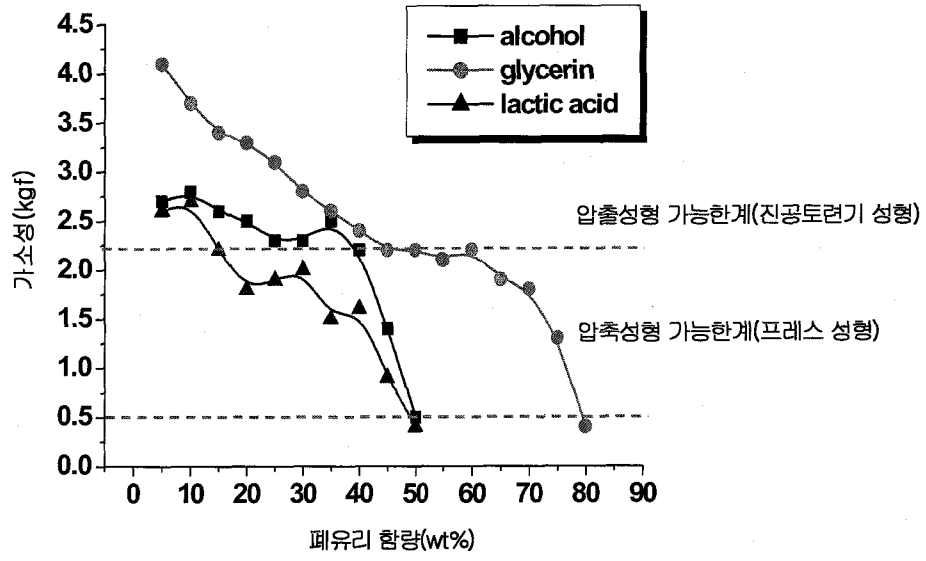
폐유리의 함량을 증가시킴에 따라 배토의 가소성이 저하하게 되면, 진공토련기에 의한 연속 생산이 불가능하게 되어, 배토의 가소성을 향상시킬 필요가 있으며, 이러한 가소제로서 알코올, 글리세린, 유산 등이 있으며, 이들 세가지 종류의 가소제를 첨가하여 배토의 가소성을 평가한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

알코올과 유산을 첨가한 경우는 가소성이 다소 증가하기는 하였으나, 폐유리의 함

량을 40wt% 이상 증량시키기에는 한계가 있었다. 또한 글리세린의 경우에도 폐유리의 함량을 65wt% 이상 증량시키는 것은 가능했으나, 압출성형을 위한 최소한의 가소성을 확보하고 있어 안정적인 배토의 제조를 하기에는 부족한 가소성치를 나타내었다.

<표 3.1.56> 가소제의 종류에 따른 배토의 가소성

| 구 분 | 폐유리 함량 (%) | 시험결과 - 가소성*(kgf) | | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 알코올 2% | 글리세린 2% | 유산 2% | |
| 1 | 5 | 2.7 | 4.1 | 2.6 | |
| 2 | 10 | 2.8 | 3.7 | 2.7 | |
| 3 | 15 | 2.6 | 3.4 | 2.2 | |
| 4 | 20 | 2.5 | 3.3 | 1.8 | |
| 5 | 25 | 2.3 | 3.1 | 1.9 | |
| 6 | 30 | 2.3 | 2.8 | 2.0 | |
| 7 | 35 | 2.5 | 2.6 | 1.5 | |
| 8 | 40 | 2.2 | 2.4 | 1.6 | 가소성 2.4kgf 이하 성형 불가능 |
| 9 | 45 | 1.4 | 2.2 | 0.9 | |
| 10 | 50 | 0.5 | 2.2 | 0.4 | |
| 11 | 55 | - | 2.1 | - | |
| 12 | 60 | - | 2.2 | - | |
| 13 | 65 | - | 1.9 | - | |
| 14 | 70 | - | 1.8 | - | |
| 15 | 75 | - | 1.3 | - | |
| 16 | 80 | - | 0.4 | - | |




[그림 3.1.99] 가소제의 종류에 따른 배토의 가소성

(4) 소결

(가) 수분 함량에 따른 배토의 가소성치를 살펴보면, 수분 함량이 증가할수록 가소성이 증가하는 것을 나타내고 있으며, 수분 함량 27%에서 최대의 가소성치를 나타내고 점점 감소하는 것으로 나타났다.

(나) 폐유리 혼입시 배토의 가소성은 폐유리의 함량이 증가함에 따라 점점 감소하는 경향을 나타내고 있으며, 폐유리 함량이 40wt%를 넘어가면 급격하게 가소성이 저하하여 성구를 제작하는 것이 불가능한 것으로 나타났다. 이렇게 급격한 가소성의 저하는 폐유리 함량의 증가에 따라 수분에 의해 가소성을 발휘하는 백토의 비율이 낮아져서 발생하는 현상으로 판단된다.

(다) 알코올과 유산을 첨가한 경우는 가소성이 다소 증가하기는 하였으나, 폐유리의 함량을 40wt% 이상 증량시키기에는 한계가 있었다. 또한 글리세린의 경우에도 폐유리의 함량을 65wt% 이상 증량시키는 것은 가능했으나, 압출성형을 위한 최소한의 가소성을 확보하고 있어 안정적인 배토의 제조를 하기에는 부족한 가소성치를 나타내었다.

## 마. 폐유리 블록의 물리적 성능 확보

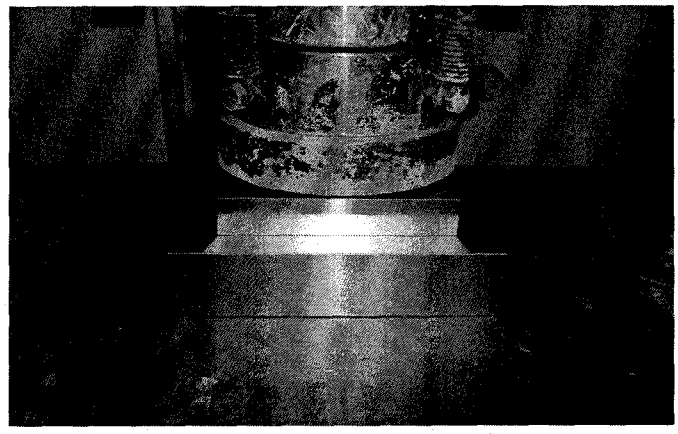
(1) 개요

앞선 가소성 실험결과를 토대로 하여, 폐유리 블록의 제조 배합을 도출하였으며, 도출된 폐유리 블록 배합을 화용하여, 소성온도, 소성시간, 소둔시간 등의 소성스케쥴을 조정하여 소성 실험을 실시하고, 폐유리 블록의 기본적인 물성인 흡수율, 압축강도, 치수안정성을 평가하여 최적의 제조 조건을 도출하고자 하였다.

(2) 실험방법

(가) 블록의 성형

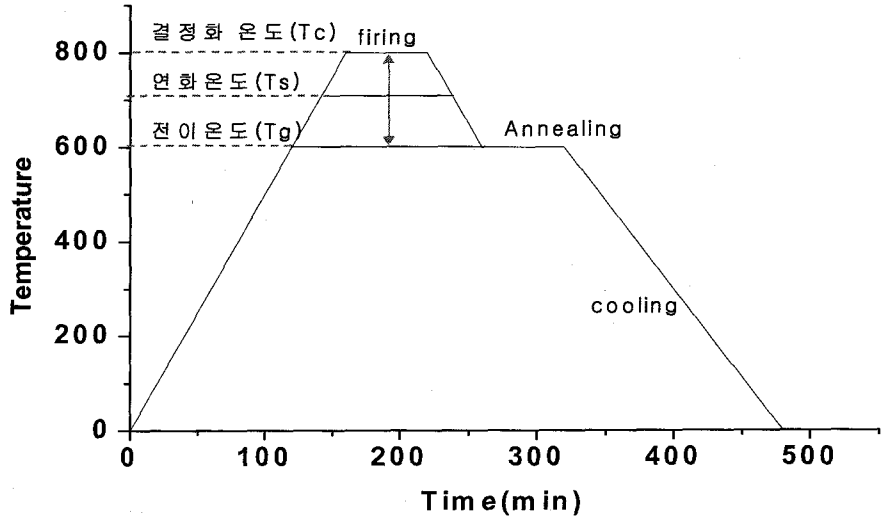
블록의 성형은 압축성형 방식으로 성형하였으며, [그림 3.1.100]에 나타내었다.



[그림 3.1.100] 블록의 성형 - 압축성형 프레스

(나) 블록의 소성

블록의 소성은 승온속도 5℃/min, 소성온도 600 ~ 900℃, 소성시간 3 ~ 6hrs, 소둔온도를 600℃로 설정하여 전기로에서 소성하였으며, 그 조건을 [그림 3.1.101]에 나타내었다.




[그림 3.1.101] 폐유리 블록 소성 조건

(3) 실험결과

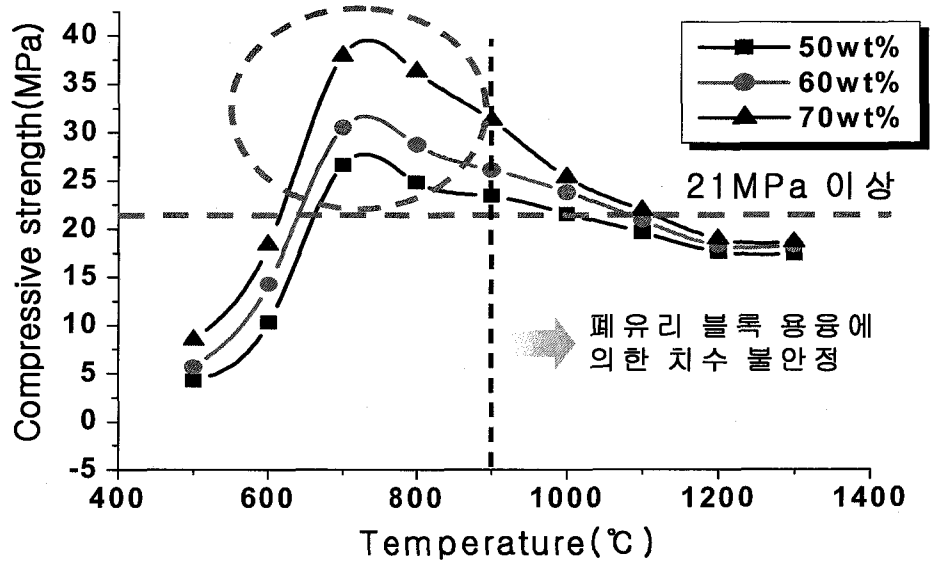
(가) 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 압축강도

폐유리 함량과 소성온도에 따른 폐유리 블록의 압축강도를 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

폐유리 함량이 증가할수록 압축강도 상승하는 것을 나타내고 있으며, 소성온도 800℃까지는 압축강도가 35MPa 이상으로 증가하고 있으나, 800℃를 기점으로 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 결정화 온도인 800℃ 부근에서 결정화에 의한 소결 정도가 증진되어 나타나는 현상으로 생각되며, 결정화 온도를 넘어선 이후는 시험체의 외관이 자중에 의해 정방형의 형태를 유지하지 못하는 것에 의해 강도가 감소하는 것으로 판단된다. 또한, 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 함량이 증가할수록 압축강도가 향상되는 것도 폐유리의 함량이 증가할수록 소결 정도가 향상되는 같은 현상으로 판단된다.

<표 3.1.57> 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 압축강도

| 소성온도 (℃) | 폐유리함량에 따른 압축강도(Mpa) | | |
|---|---|---|---|
| | 50wt% | 60wt% | 70wt% |
| 500 | 2.3 | 2.9 | 4.4 |
| 600 | 4.3 | 5.7 | 8.5 |
| 700 | 10.3 | 14.3 | 18.4 |
| 800 | 26.6 | 30.5 | 37.9 |
| 900 | 24.8 | 28.7 | 36.2 |
| 1000 | 23.4 | 26.1 | 31.2 |
| 1100 | 21.6 | 23.8 | 25.4 |
| 1200 | 17.6 | 20.8 | 21.9 |
| 1300 | 17.4 | 18.3 | 19.0 |




[그림 3.1.102] 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 압축강도

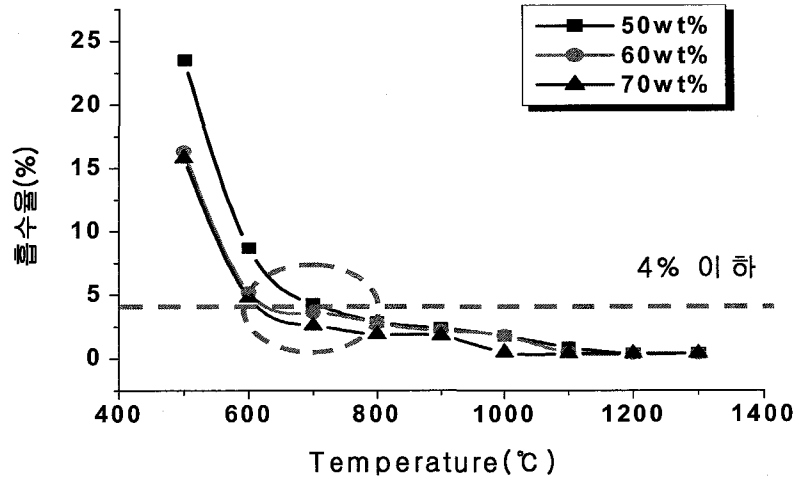
(나) 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 흡수율

폐유리 함량과 소성온도에 따른 폐유리 블록의 흡수율을 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

폐유리 함량이 증가할수록 흡수율이 감소하는 것을 나타내고 있으며, 소성온도 700℃부터 흡수율이 4% 이하로 감소하고 있다. 이는 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 전이 온도인 600℃ 부근에서 폐유리 원료의 융액의 형성에 의한 소결 정도가 증진되어 나타나는 현상으로 판단된다. 또한 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 함량이 증가할수록 흡수율이 향상되는 것도 폐유리의 함량이 증가할수록 소결 정도가 향상되는 같은 현상으로 판단된다.

<표 3.1.58> 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 흡수율

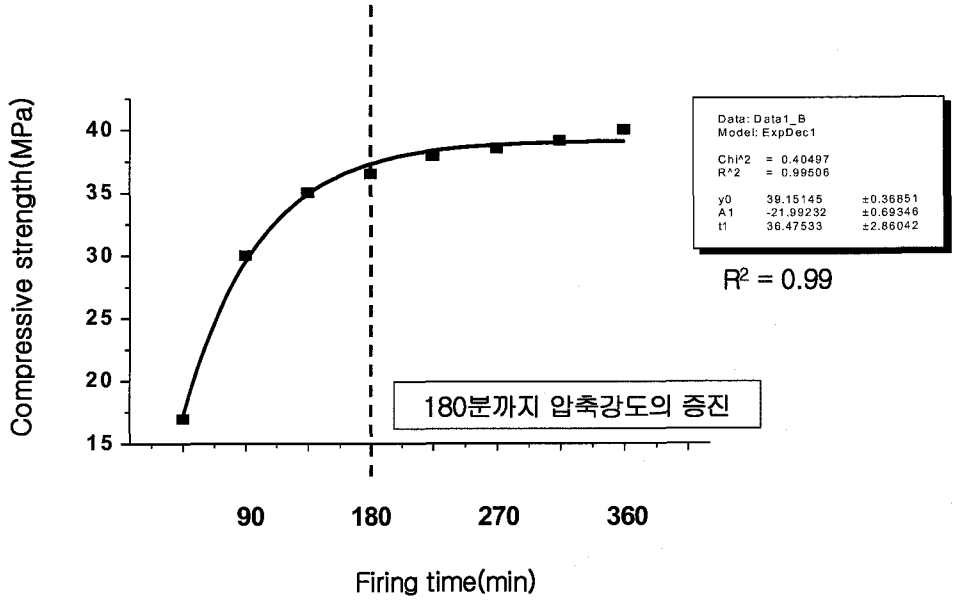
| 소성온도 (℃) | 폐유리 함량에 따른 흡수율(%) | | |
|---|---|---|---|
| | 50NT% | 60NT% | 70NT% |
| 500 | 23.5 | 16.3 | 15.8 |
| 600 | 8.7 | 5.2 | 4.8 |
| 700 | 4.3 | 3.6 | 2.6 |
| 800 | 2.9 | 2.8 | 1.9 |
| 900 | 2.4 | 2.2 | 1.8 |
| 1000 | 1.8 | 1.8 | 0.5 |
| 1100 | 0.9 | 0.5 | 0.4 |
| 1200 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |
| 1300 | 0.4 | 0.4 | 0.4 |




[그림 3.1.103] 폐유리 함량 및 소성온도에 따른 폐유리 블록의 흡수율

(다) 폐유리 블록의 소성시간과 압축강도와의 상관관계

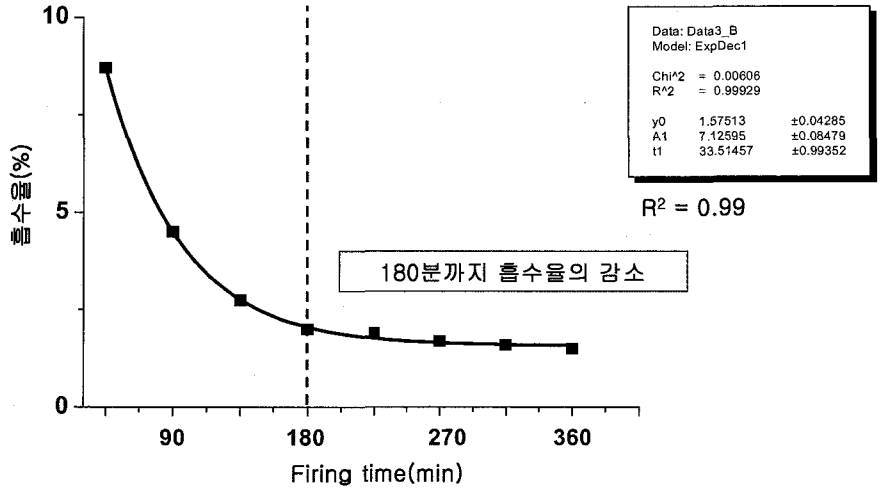
폐유리 블록의 소성시간 180분까지의 압축강도와 상관관계는 앞선 절에서 나타낸 Freinkel의 소결 속도 식에서 언급한 바와 같이, 소결의 정도를 나타내는 압축강도가 소성시간에 비례하여 증가하는 것으로 나타나, 점성 유동에 의한 소결 기구를 갖는 것으로 확인되었다. 180분 이후는 강도가 다소 증가하기는 하였으나 큰 변화는 없는 것으로 나타났으며, 이는 소성 시간이 길어지게 되면 시험 체의 외관이 자중에 의해 정방형의 형태를 유지하지 못하는 것에 의해 강도가 감소하는 것으로 판단된다. 또한, 소성 시간과의 상관관계가 $R^2$가 0.99로서 소성 시간이 압축강도에 지배하는 영향이 매우 큰 것으로 나타났으며, 그 결과를 [그림 3.1.104]에 나타내었다.




[그림 3.1.104] 폐유리 블록의 소성시간과 압축강도와의 상관관계

(라) 폐유리 블록의 소성시간과 흡수율과의 상관관계

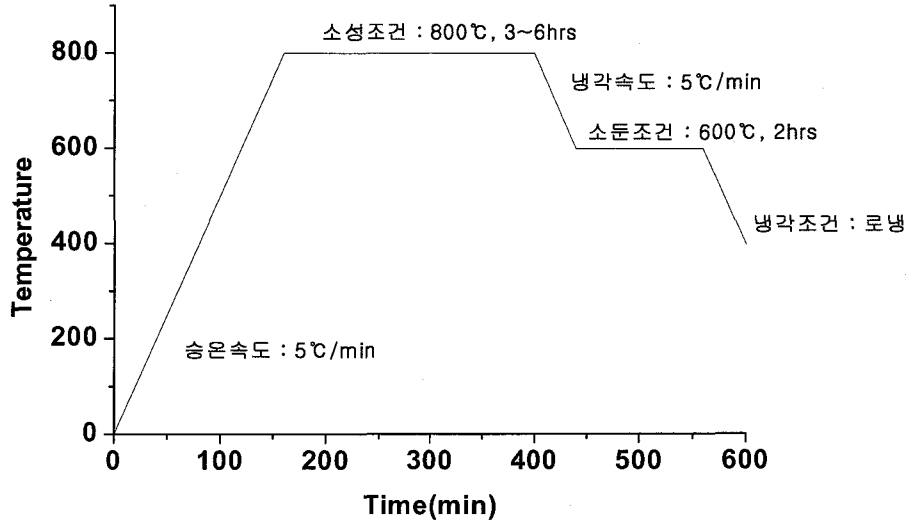
폐유리 블록의 소성시간 180분까지의 흡수율과 상관관계는 앞선 절에서 나타낸 Freinkel의 소결 속도 식에서 언급한 바와 같이, 소결의 정도를 나타내는 흡수율이 소성 시간에 비례하여 감소하는 것으로 나타나, 점성 유동에 의한 소결 기구를 갖는 것으로 확인되었다. 180분 이후는 흡수율이 다소 감소하기는 하였으나 거의 유사한 것으로 나타났으며, 이는 소성 시간이 길어지게 되면 시험제 내의 공극이 거의 메워진 것으로 판단된다. 또한, 소성 시간과의 상관관계가 R2가 0.99로서 흡수율에 소성 시간이 지배하는 영향이 매우 큰 것으로 나타났으며, 그 결과를 [그림 3.1.105]에 나타내었다.




[그림 3.1.105] 폐유리 블록의 소성시간과 흡수율과의 상관관계

(마) 최적 소성 조건

상기의 결과를 토대로 소성 조건을 승온속도 5℃/min, 소성조건 800℃, 소성시간 3~6hrs, 600℃까지의 냉각속도 5℃/min, 소둔조건 600℃, 2hrs, 냉각조건 로냉으로 설정하였으며, 그 모식도를 [그림 3.1.106]에 나타내었다.




[그림 3.1.106] 폐유리 블록의 최적 소성 조건

(바) 물리적 성능 비교 평가

폐유리 타일의 경우, 목표 제품인 일반적으로 유통되는 내장 타일 및 바닥 타일의 물성치와 비교평가 하면, 흡수율이 1.6% 이하로 비교제품 대비 84%, 꺾임파괴하중이 320N/㎝ 이상으로 비교제품 대비 146%로 향상된 것을 나타내고 있으며, 소성온도가 850± 50℃로 비교제품 대비 36% 저감되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 폐유리 타일이 제품을 상용화하기 위한 기본적인 물성은 일반적인 제품보다 우위에 있는 것으로 판단되며, 이를 <표 3.1.59>에 나타내었다.

<표 3.1.59> 폐유리 타일의 물리적 성능 비교 평가

| 구분 | 소성온도 | 흡수율 (%) | 꺾임파괴하중 (N/cm) |
|---|---|---|---|
| 내장 타일 | 1,150 ~ 1,250℃ | 10.0 ~ 15.0 | 130 ~ 160 |
| 바닥 타일 | 1,150 ~ 1,250℃ | 0.8 ~ 1.2 | 320 ~ 360 |
| 폐유리 타일 (일본) | 800 ~ 900℃ | 1.90 | 267 |
| 폐유리 타일 (시작품) | 850±50℃ | 1.60 이하 | 320 이상 |

폐유리 블록의 경우, 목표 제품인 일반적으로 유통되는 점토블록의 물성치와 비교분석하면, 흡수율이 2.0% 이하로 비교제품 대비 71%, 압축강도가 32MPa 이상으로 비교제품 대비 113% 향상되었고, 소성온도가 850± 50℃로 비교제품 대비 36% 저감된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 폐유리 블록이 제품을 상용화하기 위한 기본적인 물성은 일반적인 제품보다 우위에 있는 것으로 판단되며, 이를 <표 3.1.60>에 나타내었다.

<표 3.1.60> 폐유리 블록의 물리적 성능 비교 평가

| 구분 | 소성온도 | 흡수율 (%) | 압축강도 (MPa) |
|---|---|---|---|
| 점토블록 (바닥용) | 1,150 ~ 1,250℃ | 7 ~ 9 | 15 ~ 20 |
| 폐유리 블록 (일본) | 800 ~ 900℃ | 0.09 | 24.0 |
| 폐유리 블록 (시작품) | 850 ± 50℃ | 2.0 이하 | 32 이상 |

(4) 소결

(가) 폐유리 블록을 제조하기 위한 최적 조성 및 최적 제조 조건을 도출을 위해 시험한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(나) 폐유리 함량이 증가할수록 압축강도 상승하는 것을 나타내고 있으며, 소성온도 800℃까지는 압축강도가 35MPa 이상으로 증가하고 있으나, 800℃를 기점으로 압축강도가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 이는 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 결정화 온도인 800℃ 부근에서 결정화에 의한 소결 정도가 증진되어 나타나는 현상으로 생각되며, 결정화 온도를 넘어선 이후는 시험체의 외관이 자중에 의해 정방형의 형태를 유지하지 못하는 것에 의해 강도가 감소하는 것으로 판단된다. 또한 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 함량이 증가할수록 압축강도가 향상되는 것도 폐유리의 함량이 증가할수록 소결 정도가 향상되는 같은 현상으로 판단된다.

(다) 폐유리 함량이 증가할수록 흡수율이 감소하는 것을 나타내고 있으며, 소성온도 700℃부터 흡수율이 4% 이하로 감소하고 있다. 이는 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 전이 온도인 600℃ 부근에서 폐유리 원료의 융액의 형성에 의한 소결 정도가 증진되어 나타나는 현상으로 판단된다. 또한 폐유리 블록의 원재료인 폐유리의 함량이 증가할수록 흡수율이 향상되는 것도 폐유리의 함량이 증가할수록 소결 정도가 향상되는 같은 현상으로 판단된다.

(라) 폐유리 블록의 소성시간 180분까지의 압축강도와 상관관계는 앞선 절에서 나타낸 Frenkel의 소결 속도식에서 언급한 바와 같이, 소결의 정도를 나타내는 압축강도가 소성시간에 비례하여 증가하는 것으로 나타나, 점성 유동에 의한 소결 기구를 갖는 것으로 확인되었다. 180분 이후는 강도가 다소 증가하기는 하였으나 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 또한, 소성 시간과의 상관관계가 R2이 0.99로서 소성 시간이 압축강도에 지배하는 영향이 매우 큰 것으로 판단된다.

(마) 폐유리 블록의 소성시간 180분까지의 흡수율과 상관관계는 앞선 절에서 나타낸 Frenkel의 소결 속도식에서 언급한 바와 같이, 소결의 정도를 나타내는 흡수율이 소성 시간에 비례하여 감소하는 것으로 나타나, 점성 유동에 의한 소결 기구를 갖는 것으로 확인되었다. 180분 이후는 흡수율이 다

소 감소하기는 하였으나 거의 유사한 것으로 나타났으며, 이는 소성 시간이 길어지게 되면 시험체 내의 공극이 거의 메워진 것으로 판단된다. 또한, 소성 시간과의 상관관계가 R2이 0.99로서 흡수율에 소성 시간이 지배하는 영향이 매우 큰 것으로 판단된다.

- 최적 조성 확보

폐유리 미분 30~35wt% , 폐유리 조분 30~35wt%, 점토 30~35wt%, 혼합수 25~30wt%

- 최적 제조 조건 확보

성형압력 50~70kgf/㎠, 승온속도 5℃/min, 소성조건 800℃, 소성시간 3~6hrs, 600℃까지의 냉각속도 5℃/min, 소둔조건 600℃, 2hrs, 냉각조건 로냉

(바) 폐유리 타일의 경우, 목표 제품인 일반적으로 유통되는 내장 타일 및 바닥 타일의 물성치와 비교평가 하면, 흡수율이 1.6% 이하로 비교제품 대비 84%, 꺾임파괴하중이 320N/㎝ 이상으로 비교제품 대비 146%로 향상된 것을 나타내고 있으며, 소성온도가 850± 50℃로 비교제품 대비 36% 저감되는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 폐유리 타일이 제품을 상용화하기 위한 기본적인 물성은 일반적인 제품보다 우위에 있는 것으로 판단된다.

(사) 폐유리 블록의 경우, 목표 제품인 일반적으로 유통되는 점토블록의 물성치와 비교분석하면, 흡수율이 2.0% 이하로 비교제품 대비 71%, 압축강도가 32MPa 이상으로 비교제품 대비 113% 향상되었고, 소성온도가 850± 50℃로 비교제품 대비 36% 저감된 것으로 나타났다. 이러한 결과는 폐유리 블록이 제품을 상용화하기 위한 기본적인 물성은 일반적인 제품보다 우위에 있는 것으로 판단된다.

## 바. 폐유리 타일 및 블록의 상용화 기반 기술 확보

(1) 타일 시장 일반 현황

내외장 타일의 국내 시장규모는 2005년 기준으로 년간 1,700억원 수준이고, 시장주기는 현재 성숙기로서 연평균 성장률이 0.2%로서 IMF 이전 수준으로 회복된 것으로 나타났다. 타일의 주용 용도는 주로 공동주택의 마감재로 활용이 되며, 주요 적용처로는 수영장, 공동 화장실, 공동주택 발코니, 내장인테리어이다. 타일은 일반적으로 용도, 소지질, 유약의 유무에 의해 분류하고 있으며, 그 분류를 <표 3.1.61>에 나타내었다.

<표 3.1.61> 타일의 분류

| 구분 | 종류 |
|---|---|
| 용도에 따른 분류 | 내장타일, 외장타일, 바닥타일 |
| 소지질에 의한 분류 | 자기질, 석기질, 도기질 |
| 유약의 유무에 의한 분류 | 무유 타일, 시유 타일 |

(2) 블록 시장의 일반 현황

점토 블록의 국내 시장규모는 2005년 기준으로 년간 1,700억원 수준이고, 시장주기는 현재 쇠퇴기로서 연평균 성장률이 -0.73%로 나타났다. 블록의 주용 용도는 주로 바닥재 및 외벽 마감재로 활용이 되며, 주요 적용처로는 교육 시설, 종교 시설, 주거 건축물, 보차도용 바닥재이다. 점토 블록 산업의 특성으로는 비수기 때 제품을 생산 축적하여 성수기 때 판매하고 있으며, 제품에 대한 인식이 국외의 경우 내외장의 개념이 없이 벽체를 구성하는 가장 기본적 자재로 인식하여 꾸준한 수요발생과 안정적인 산업 발전이 되고 있으나, 국내의 경우 외장재라는 인식으로 내장용으로 사용하는 경우는 극히 제한적이며, 대부분의 주거 형태가 아파트이므로 주거 건축물의 적용에 한계가 있는 실정이다.

(3) 점토 블록의 시장 상황 여건

점토블록의 시장상황 여건은 국내 주요 업체인 W사, S사, G사가 시장의 70% 이상을 차지하고 있으며, 유류비 및 인건비 상승, 과다 출혈 경쟁에 의한 납품가 인하 등으로 인하여 제조 원가 이하의 시장가가 형성되는 이익구조의 영세성을 벗어나지 못하고 있는 실정이며, 그 개념도를 [그림 3.107]에 나타내었다.




[그림 3.1.107] 점토 블록의 시장 상황 여건

점토 블록의 제조원가와 폐유리 블록의 제조 원가를 분석해 보면, 점토 블록에 폐유리 원료를 50wt% 이상 혼용하여 사용하게 되면, 소성온도가 1,100 ~ 1,200℃의 범위에서 800℃까지 저하되게 된다. 이에 따라서 원재료비가 5 ~ 10%, 연료비가 25 ~ 35% 정도 절감할 수 있을 것으로 예상되며, 폐유리 블록의 경제성을 확보하는 것이 가능할 것으로 판단되며, 제조 원가 구조를 <표 3.1.62>에 나타내었다.

<표 3.1.62> 제조 원가 구조

| 구분 | | 점토블록 | 폐유리 블록 |
|---|---|---|---|
| 제조비 | 재료비 | 39원/ea(26%) | 20원/ea(16%) |
| | 연료비 | 45원/ea(30%) | 33원/ea(28%) |
| | 경비 | 66원/ea(44%) | 66원/ea(56%) |
| 판관비 | | 60원/ea(제조비의 40%) | 48원/ea(제조비의 40%) |
| 제조원가 | | 190 ~ 230원/ea | 150 ~ 190원/ea |
| 거래가 | | 200 ~ 240원/ea | |

(4) 타일 및 블록의 업체별 현황

내외장 타일 및 블록의 생산업체별 출하 현황, 인증 업체별 현황은 다음에 나타낸 표와 같다. 내장타일의 국내 총 생산량은 23백만㎡이고 바닥 타일의 국내 총 생산량은 22백만㎡로 유사하게 나타났으며, 대부분이 내수용으로 활용되고 있었다. 점토블록의 경우 주요 업체를 제외하고는 매출 규모가 50억원 미만으로 매우 영세한 것으로 나타났다. 재활용 인증의 경우 점토 블록의 재활용하는 규격은 대부분의 업체들이 갖고 있으나, 폐유리를 재활용하여 제품을 생산하는 규격을 보유하고 있는 업체는 없는 것으로 나타났다.

<표 3.1.63> 내장타일 생산업체별 출하 현황

(단위 : ㎡)

| 구 분 | 생산 | 출하 | |
|---|---|---|---|
| | | 내수 | 수출 |
| 극동요업(주) | 2,986,926 | 2,858,849 | 0 |
| 대동산업(주) | 3,609,038 | 3,605,897 | 0 |
| 대림요업(주) | 2,293,105 | 1,973,011 | 0 |
| (주)대보세라믹 | 2,612,600 | 2,343,736 | 0 |
| 동서산업(주) | 4,214,181 | 3,876,890 | 32,711 |
| 삼영산업(주) | 1,670,784 | 1,715,138 | 0 |
| (주)삼현 | 1,647,888 | 1,817,046 | 0 |
| 이화산업(주) | 2,532,021 | 2,479,102 | 0 |
| KT세라믹스 | 2,208,112 | 2,192,016 | 0 |
| 계 | 23,774,659 | 22,861,690 | 32,711 |

* 자료 : 2005년 대한 도자기타일공업 협동조합

<표 3.1.64> 바닥타일 생산업체별 출하 현황

(단위 : ㎡)

| 구 분 | 생산 | 출하 | |
|---|---|---|---|
| | | 내수 | 수출 |
| 극동요업(주) | 952,355 | 935,809 | 0 |
| 대동산업(주) | 3,327,278 | 2,417,122 | 0 |
| (주)대보세라믹 | 667,491 | 956,616 | 0 |
| 대림요업(주) | 1,935,936 | 1,579,548 | 0 |
| 동서산업(주) | 4,733,479 | 4,545,858 | 22,589 |
| 삼영산업(주)-1공장 | 90,291 | 199,882 | 0 |
| 삼영산업(주)-2공장 | 1,025,905 | 980,289 | 0 |
| (주)삼현 | 1,807,469 | 2,108,241 | 0 |
| 선경산업(주) | 1,095,079 | 964,285 | 0 |
| 성일요업(주) | 1,261,473 | 1,171,033 | 14,208 |
| 한보요업(주) | 2,455,340 | 2,106,790 | 0 |
| KT세라믹스 | 2,918,724 | 2,722,502 | 0 |
| 계 | 22,270,824 | 20,687,977 | 36,797 |

* 자료 : 2005년 대한 도자기타일공업 협동조합

<표 3.1.65> 주요 블록 업체별 현황

| 업체명 | 위 치 | | 사업 정보(2005년 기준) | | | | 인증 현황 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 본사 | 공 장 | 자본금 (백만원) | 매출액 (백만원) | 종업원 | 주요 사업 영역 | GR 인증 | 환경 마크 |
| ㈜삼한씨원 | 대구 | 경북 예천 | 2,500 | 17,086 | 85 | 관공서, 교육시설, 종교시설 조적용 | ● | - |
| ㈜공간세라믹 | 서울 | 안성, 상주 | 1,500 | 14,005 | 140 | 아파트 및 공원 바닥용 | ● | ● |
| 우성세라믹스공업㈜ | 서울 | 평택 | 2,500 | 9,630 | 81 | 조적용, 바닥용 | ● | - |
| ㈜중앙벽돌 | 화성 | 화성 | 700 (2002년) | 4,700 (2002년) | 56 (2002년) | 실내외 인테리어 | ● | - |
| 태화물산㈜ | 진천 | | 1,500 | 4,863 | 45 | | | |
| 이화요업㈜ | 안산 | | 800 | 4,572 | 82 | 각종 조적용 벽돌 및 바닥벽돌 | | |
| ㈜토우 | 당진 | | 1,450 | 4,226 | 44 | | | |
| ㈜한일세라믹 | 대전 | 논산, 청원 | 1,100 (2002년) | 3,580 (2002년) | 42 (2002년) | | ● | - |
| ㈜대평세라믹스산업 | 군산 | | 800 (2004년) | 3,378 (2004년) | 42 (2004년) | | ● | ● |
| ㈜쎄라그린 | 홍성 | 홍성 | 2,30 (2003년) | 1,776 (2003년) | 65 (2003년) | 초등학교 조적용 | ● | - |
| 선일 산업 | 대구 | 대구 | - | - | 30 | 아파트 및 공원 바닥용 | ● | - |

<표 3.1.66> GR F 4014, 재활용 점토 블록 인증 업체

| 업체명 | 발급일자 | 인증 내용 | 비고 |
|---|---|---|---|
| ㈜대평세라믹스산업 | 2001.09.21 | Fly ash 60~80% 사용, 가소제 적용 | NT마크획득 (2004.04) |
| 우성세라믹스공업㈜ | 2002.06.12 | Fly ash 사용 | - |
| ㈜쎄라그린 | 2003.03.19 | 중금속 함유 무기폐기물 | - |
| ㈜한일세라믹 | 2003.06.25 | 도자기 슬러지 이용 | - |
| ㈜삼한씨원 | 2004.12.17 | - | - |
| ㈜중앙벽돌 | 2005.03.03 | - | - |
| ㈜공간세라믹 | 2005.03.31 | - | - |
| 대도산업㈜ | 2005.06.29 | - | - |
| ㈜성광세라믹 | 2005.07.26 | - | - |

(5) 폐유리 타일 및 블록의 목표 제품과의 비교 평가

폐유리 타일의 목표 제품인 도기질 내장 타일과 물리적 성능, 가격 경쟁력 및 디자인을 비교 분석한 결과 물리적 성능과 가격 경쟁력에서는 우위에 있으나, 디자인이 제한되는 것으로 나타났다. 또한 물리적 성능의 경우 내장타일은 물론 외장타일의 물리적 성능도 모두 만족하여 다용도로서 활용이 가능할 것으로 판단되며, 세부사항을 <표 3.1.67>에 나타내었다.

폐유리 블록의 목표 제품인 점토 블록과 물리적 성능, 가격 경쟁력 및 디자인을 비교 분석한 결과 물리적 성능과 가격 경쟁력에서는 우위에 있으나, 디자인이 제한되는 것으로 나타났다. 또한 물리적 성능의 경우 보도용 점토 블록의 물리적 성능을 모두 만족하여 다용도로서 활용이 가능할 것으로 판단되며, 세부사항을 <표 3.1.68>에 나타내었다.

상기와 같은 장점에도 불구하고 폐유리 타일 및 블록 사업을 진행하는 데에는 해결해야만 하는 난제가 있다. 우선 타일 및 블록의 소성 온도가 저하되어, 소성로의

온도를 조절하는 것이 아닌 폐유리 타일 및 블록의 소성 온도 범위에서 운용할 수 있는 소성로를 신규로 설치해야하는 어려움이 있다. 국내 업체의 경우 주요 업체의 경우에도 년간 200억원의 매출을 올리고 있으며, 시장 상황이 쇠퇴기에 접어들고 있는 상황에서 40 ~ 50억원의 설비투자비를 추가적으로 투자한다는 것은 기존 점토블록 업체의 영세성으로 인해 제한적일 수 밖에 없는 상황이다. 또한, 인테리어 자재로서 미려한 색상을 위한 유약과 폐유리 타일 및 블록의 소성온도 범위가 일치한다는 것은 다양한 질감 및 색상 구현의 제한성이 있는 상황으로, 이의 개선을 위한 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

<표 3.1.67> 폐유리 타일과 목표 제품의 비교평가

| 구 분 | 내장타일(도기질) | 폐유리 타일 |
|---|---|---|
| 물리적 성능 | - 흡수율 : 10.0~15.0%<br>- 꺾임파괴하중 : 130~160N/㎝<br>- 소성온도 : 1,100~1,200℃ | - 흡수율 : 1.6% 이하<br>; 비교제품 대비 84% 향상<br>- 꺾임파괴하중 : 320N/㎝ 이상<br>; 비교제품 대비 146% 향상<br>- 소성온도 : 850± 50℃<br>; 비교제품 대비 36% 저감 |
| 가격 경쟁력 | - 내장타일 제조원가<br>; 7,500~25,000원/㎡<br>- 중국산 저가 제품의<br>국내 시장 잠식 | - 폐유리 타일 제조원가(추정)<br>; 5,500원/㎡<br>; 비교제품 대비 70% 수준<br>- 유리원료 사용에 따른<br>원재료비 5~10% 저감<br>- 초벌구이만으로 제품 완성<br>- 소성온도 저감에 따른<br>연료비 25~35% 저감 |
| 디 자 인 | - 유약의 사용을 통한<br>다양한 디자인 | - 유리질 질감에 의한 변별력 확보<br>- 디자인의 제한<br>- 폐유리 타일과 유약의<br>소성온도 범위 일치<br>- 미려한 색감 발현의 어려움 |
| 기 타 | | - 재활용 제품에 대한<br>부정적인 이미지 |

<표 3.1.68> 폐유리 블록과 목표 제품의 비교평가

| 구 분 | 점토블록(보도용) | 폐유리 블록 |
|---|---|---|
| 물리적 성능 | - 흡수율 : 7.0~9.0%<br>- 압축강도 : 15~20MPa<br>- 소성온도 : 1,100~1,200℃ | - 흡수율 : 2.0% 이하<br>; 비교제품 대비 71% 향상<br>- 압축강도 : 32MPa 이상<br>; 비교제품 대비 113% 향상<br>- 소성온도 : 850±50℃<br>; 비교제품 대비 36% 저감 |
| 가격 경쟁력 | - 점토블록 제조원가<br>; 10,000~40,000원/㎡<br>- 중량물로서 수입이 자유롭지 못함. | - 폐유리 블록 제조원가(추정)<br>; 8,500원/㎡<br>; 비교제품 대비 70% 수준<br>; 유리원료 사용에 따른 원재료비 5~10% 저감<br>; 소성온도 저감에 따른 연료비 25~35% 저감 |
| 디 자 인 | - 유약의 사용을 통한 다양한 디자인 | - 유리함량에 따른 가소성 제한<br>- 디자인의 제한<br>- 폐유리 블록과 유약의 소성온도 범위 일치<br>- 미려한 색상 발현의 어려움 |
| 기 타 | | - 재활용 제품에 대한 부정적인 이미지 |

# 제 2 절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구

## 1. 건설폐기물 표준정보처리시스템 운영

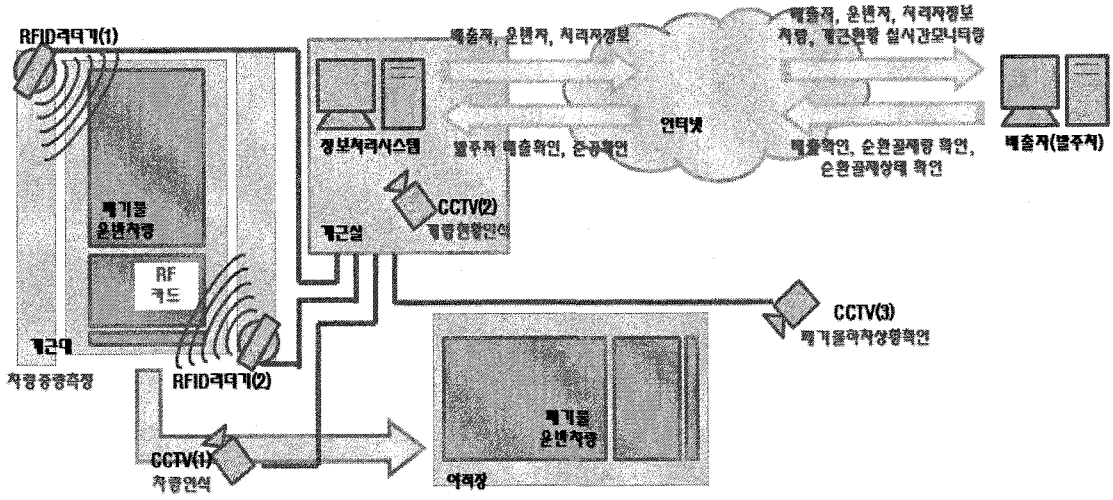
환경자원공사의 정보시스템 사용의 문제점은 정보시스템에서 요구하는 실시간 정보가 업체의 정보취합과정의 문제와 정보를 외부기관에 노출하는데 따른 부담감으로 업체의 자발적인 참여를 기대하기 어렵다. 하지만 순환골재의 생산. 유통. 사용 등 일련의 과장을 체계적으로 관리하는데 목적이 있는 환경자원공사 시스템을 업체가 손쉽게 사용할 수 있도록 지원할 수 있는 업체 개별 시스템구축으로 순환골재의 재활용률을 극대화 시킨다.

이것이 건설폐기물업계의 모든 업체에서 업무의 효율화로 인하여 업체가 자발적으로 사용할 수 있는 가장 현실성 있는 업계표준ERP 시스템 이며, 이는 설문조사, 업체방문, 담당공무원등의 의견등을 종합적으로 분석하여 문서표준화, 각각의 모듈별 시스템설계로 방향 설정 및 구축 하였다.

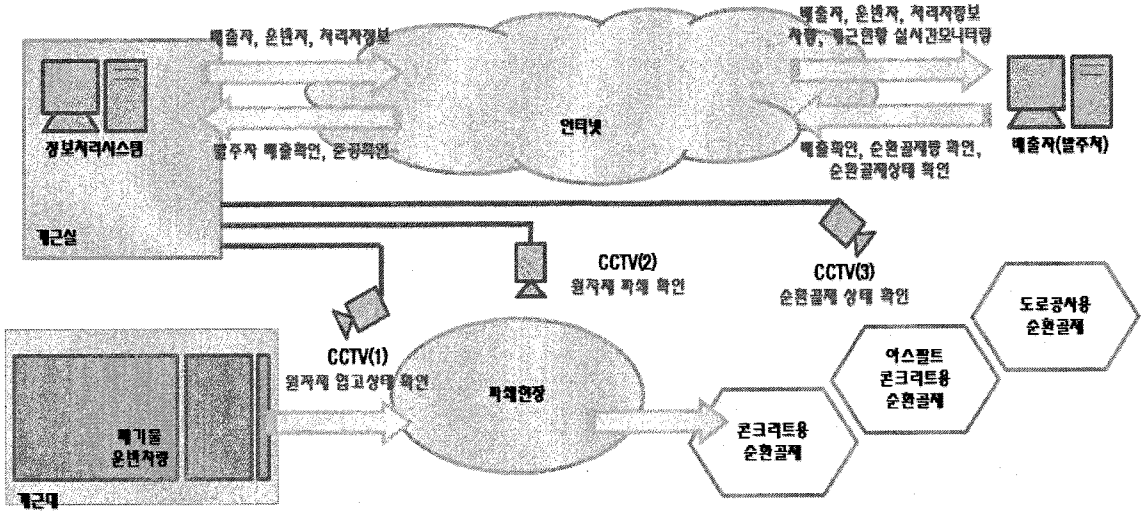
### 가. 환경자원공사의 시스템과 연계 가능한 시스템 구축

환경자원공사의 정보시스템은 순환골재의 생산. 유통. 사용의 일련의 과정을 체계적으로 관리하고 제도적인 지원을 강화하는데 목적이 있다.

그러나 관련업체들은 정보 노출의 우려와 정보화 수준의 차이로 현실적인 시스템 사용의 어려움이 연구 결과 나타나고 있다. 따라서 시스템 연계구성도에서 보는 바와 같이 본연구의 목적은 관련업계의 효율적인 업무처리와 경영의 효율성을 극대화함과 동시에 환경자원공사의 시스템과도 연계하여 순환골재의 재활용률을 극대화 할 수 있는 시스템 개발에 목적이 있다




[그림 3.2.1] 표준정보처리시스템 구성도




[그림 3.2.2] 순환골재 사후관리 시스템 구성도

## 나. 건설폐기물 관련업체 업무프로세스의 표준화문서 구축

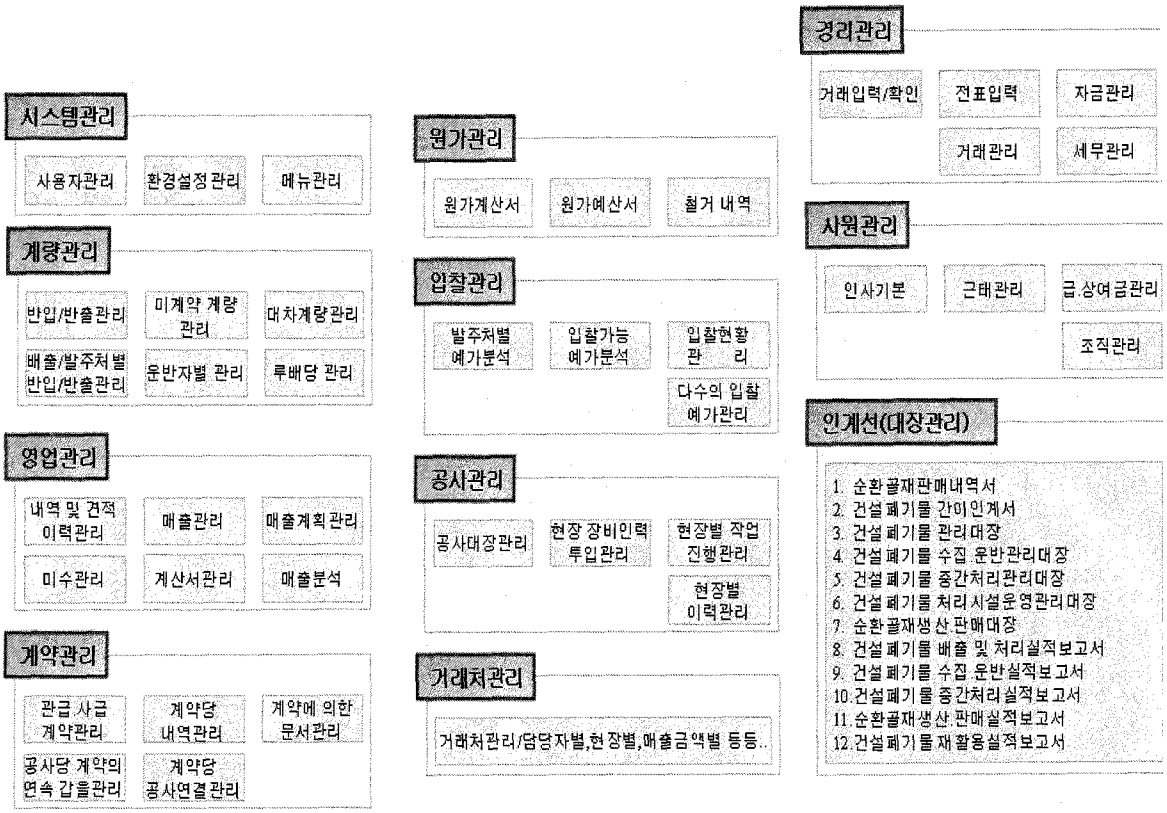
기존 표준화 되어 있는 별지서식에 의한 대장관련문서는 모든 업체들이 통일되어 사용하는 반면, 기타 업무는 각각 회사마다 다르게 사용하고 있어 담당자간, 혹은 기타 기관과의 업무협조시 많은 어려움을 겪고 있으며, 이것은 업체별 정보화 수준의 편차 때문에 발생되고 있다. 본 연구에서는 관련업계 종사자들 간의 업무 및 경영상의 효율성 제고와 타 기관들 간의 선택적 자료(정보)공유를 하기 위하여 1차년도 연구성과로 건설폐기물업계의 표준프로세스 정의와 모듈설계를 위한 문서

를 표준화 작업을 수행하였고, 1차년도 분석결과를 바탕으로 건설폐기물업계의 표준프로세스(ERP시스템) 정의와 각각의 모듈설계를 위한 표준문서를 종류별로 분류하여 표준 문서 정의하여, 2차년도에는 문서표준화를 시스템화로 구축하였다. 3차년도에는 구축한 시스템을 현장적용하여 운영하였다.

(1) 건설폐기물업계의 표준화를 통한 모듈설계

본 연구의 모듈설계는 계량관리/대장관리/영업관리가 연동되어 계산서/매출/미수금등 원가 관리가 동시에 처리 할 수 있으며, 출력되는 모든 서식은 회사의 업무에 맞게 수정하게 설계 되었다. 이러한 문서 및 보고서는 엑셀로 변환되어 원하는 분석 작료를 간편하게 작성할 수 있으며, 다양한 그래프 지원으로 효율적 의사결정을 위한 자료를 제공할 수 있게 설계하였다.

또한 경영자 보고서를 통하여 관리 책임자가 현 시점에서 현황을 쉽게 파악 할 수 있어 다양한 분석자료로 현 시점의 현황 및 미래에 대한 영업 계획 수립이 가능하도록 설계 및 구축을 하였다.




[그림 3.2.3] 모듈설계

## (2) 104종의 건설폐기물 관련업체의 문서표준화

### 기초관리 | 인사기록 기본 정보

**인 사 기 록 카 드**

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 성 | 한글: 한자: | | | 본 적 | | | |
| | 명 | 영문: | 성별 | | 현주소 | 주 소: | | |
| | 주민번호 | | 사번 | | | 연락처: | 핸드폰: | |
| | 입사일자 | | 퇴사일자 | | 재산 | 동 산: | 주거 | 대지: 평 / 건평: 평 |
| 입 사 구 분 | □수습 □특채 □추천 □계약 | | | | | 부동산: | | □자가 / □전세 / □월세 / □기타 |
| 입 사 추천인 | 성명: 관계: 직업: 전화: | | | | | 계 : | | □한옥 / □양옥 / □APT / □기타 |

| | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 신체 | 신장 | | 체중 | | 병력 | 학력 | . . . | 고등학교(졸업,중퇴,수료) | | |
| | 색맹/색약 | | 시력 | | 혈액형 | | . . . | 대학교 과 (졸업,중퇴,수료) | | 본교/분교 |
| | 취미 | | 특기 | | 종교 | | . . . | 대학교 과 (졸업,중퇴,수료) | | 본교/분교 |
| 병역 | □필/□미필/□면제 | 사유 | 군별 | 계급 | 병과 | 사항 | . . . | 대학교 과 (졸업,중퇴,수료) | | 본교/분교 |
| | 복무기간 ~ | | | 군번 | | | . . . | 대학교 과 (졸업,중퇴,수료) | | 본교/분교 |

| | 관계 | 성명 | 주민등록번호 | 학력 | 직업 |
|---|---|---|---|---|---|
| 가족관계 | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 신원보증 | | | | | |
| | | | | | |

| 시스템사용 | 아이디 | 패스워드 | 사용권한 | 날짜 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |

| 입사전경력 | 직장명 | 기간 | 직위 | 담당업무 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| 자격면허 | 자격/면허명 | 자격/면허번호 | 자격면허일자 | 발급기관 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

### 입찰관리 | 입찰현황관리표

**입 찰 현 황 표**

출력일 : 2006년 3월25일 기간 : 2006년 3월 12 ~ 2006년 5월 25

| 결재 | 담당 | 부장 | 이사 | 전무 | 사장 |
|---|---|---|---|---|---|
| | / | / | / | / | / |

| 금일입찰수 | 금일낙찰건수 | 금일낙찰금액 | 입찰누계건수/금액 |
|---|---|---|---|
| 10 | 1 | 234,567,900 | 23,234,568,300 / 10 |

| 마감일자 | 발주기관 | 공고명 | 공고번호 | 추출범위 | 예가수 | 예가변동 | 투찰율 | 금액 | | | 담당자 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | 기초금액 | 투찰(예정)금액/비율 | 결과 | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

입찰예정인 입찰건들을 발주처별 투찰관리를 할 수 있게하여 담당자 변동시에도 투찰율 조정 및 발주처별 선호투찰율 관리를하여 낙찰가능성을 높일수 있도록 발주기관 담당자별 입찰 관리를 할 있도록 한다.
/ 발주처구분 / 발주처명 / 대표자 / 전화번호 / 팩스 / 사업자등록번호 / 법인등록번호 / 예가범위 / 개수 / 투찰율 / 기호투찰번호 입력가능
공고번호 / 공고명 / 발주기관 / 마감일자 / 투찰예정일자 / 낙찰결과 / 등록일 /추출범위 / 예가수 / 예가변동 / 투찰율 / 기초금액 / 투찰가 산정방식 (난수/고정) / 투찰예가번호 /

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

### 공사관리 | 현장반입현황일계표의 19종

**현 장 별 반 입 작 업 일 계 표**

2006년 3월 1 일

현 장 : 26 개 | 반 입 량 : 12,243,275Kg / 234,678 m3

| 운 반 비 | 외주운반비 | 처리비 | 정산 |
|---|---|---|---|
| 26,200,700 | 20,200,700 | 234,567,900 | 234,568,300 |

| 결재 | 담당 | 과장 | 부장 | 이사 | 전무 | 사장 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | / | / | / | / | / | / |

| 발주처 | 현장명 | 착공일 | 준공일 | 총계약량 | 반입량누계 | 금일반입량 | 금액 | | | | 담당자 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | 운반비 | 외주운반비 | 처리비 | 정산금액 | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

- 일일 또는 기간별 공사현장별 작업현황 리스트
- 현장별 발주처 현장명 착공일 준공일 총계약량 지금까지 반입누계 금일반입량 금일청구예정운반비 금일미지급예정운반비 금일처리비 정산금액(처리비+운반비-외주운반비)
- 총계 금일청구예정운반비총계 , 금일미지급예정운반비총계 , 금일반입톤가금처리비총계 , 정산총계

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

## 대장관리 | 건설폐기물관리대장의 12종

[별지 제22호 서식] (앞 쪽)

### 건 설 폐 기 물 관 리 대 장

(건설폐기물의 종류 : ) (단위:톤)

| 발생내역 | | | | 자가처리 내역 | | | | | | | 위탁처리내역 | | | | | | 보관량 | 비고 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 연월일 | 성상 | 발생량 | 발생량 누계 | 연월일 | 처리량 | 처리방법 | 처리량 | 처리방법 | 처리량 | 처리량 누계 | 연월일 | 위탁처리량 | 운반자 | 처리자 | 처리방법 | 위탁처리량 누계 | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

364mm x 257mm (보존용지(2종) 70g/㎡)

(뒤 쪽)

## 생산관리 | 순환골재생산판매 현황의 2종

### 순환골재생산판매현황

| 결재 | 담당 | 부서장 | 전무 | 사장 |
|---|---|---|---|---|
| | / | / | / | / |

날짜 : 2006 년 3 월 15 일

| 날짜 | 골재규격 | 생산량 | 판매처 | 판매량 | 보관량 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

## 판매, 매립관리 | 거래처별 판매 및 반출 현황

## 거래처별판매 및 반출 현황

| 결재 | 담당 | 부서장 | 전무 | 사장 |
|---|---|---|---|---|
| | / | / | / | / |

날짜 : 2006 년 3 월 15 일

| 날짜 | 거래처 | 골재종류 | 판매량 | 금 액 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 운반비 | 판매비 |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |

## 경리관리 | 입출금 전표 외 21종

### ( 입.출 ) 금 전 표

| 결재 | 담당 | 부서장 | 전무 | 사장 |
|---|---|---|---|---|
| | / | / | / | / |

날짜 : 2006 년 3 월 15 일

| 계정과목 | | 입 금 처 | | 해당공사 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 적 요 | | | 금 액 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 합 계 | | | | | |

### ( 입.출 ) 금 전 표

| 결재 | 담당 | 부서장 | 전무 | 사장 |
|---|---|---|---|---|
| | / | / | / | / |

날짜 : 2006 년 3 월 15 일

| 계정과목 | | 입 금 처 | | 해당공사 | |
|---|---|---|---|---|---|
| 적 요 | | | 금 액 | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| 합 계 | | | | | |

## 기업관리 | 견적서(표지포함)외 10종

| 견적일자 | 견 적 서 | |
|---|---|---|
| 2005-01-25 | | 1 / 1 |

| 공급받는자 | 상 호 (법인명) | 서울시청 | 공급자 | 등록번호 | 120-86-50680 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 사업장 주 소 | 서울시 강남구 역삼동 726-4 제일빌딩 | | 상 호 (법인명) | (주)파란환경 | 성 명 | 새 파 란 |
| | 전화번호 | 02-563-3780 | | 사업장 주 소 | 서울시 강남구 삼성동 159-1 무역회관 3204 | | |
| | 합계금액 (VAT 포함) | | | 전 화 | 02-600-3050 | 팩 스 | 02-600-6000 |

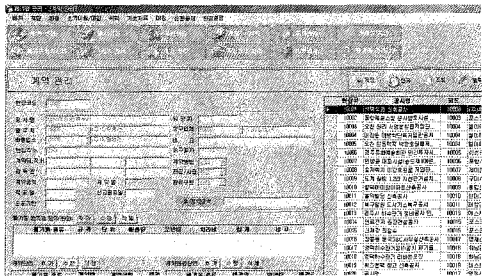
| 합 계 금 액 | 일금 | 원정(₩ ) |
|---|---|---|

| No | 품 목 | 규격 | 단위 | 수량 | 금액 | 세액 | 총액 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

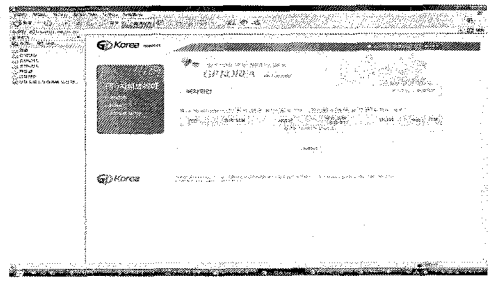
| 비 고 | * 부가가치세 별도임.<br><br>견적담당자<br>성 명 : 영업팀 박정훈 부장<br>전 화 : 02-582-3900<br>핸드폰번호 :016-228-3322(파워텔:0130-23209833)<br>e-mail : park11@inko.net |
|---|---|

## 다. 연구결과

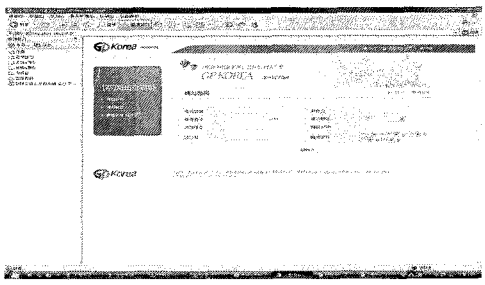
### (1) 모듈설계에 따른 시스템 구축



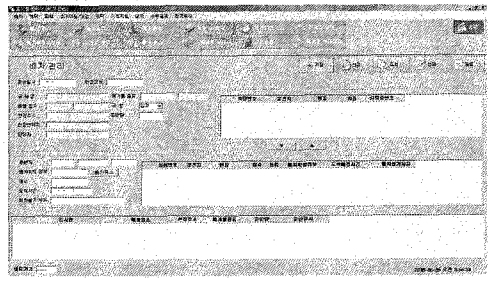
[그림 3.2.4] 계약관리



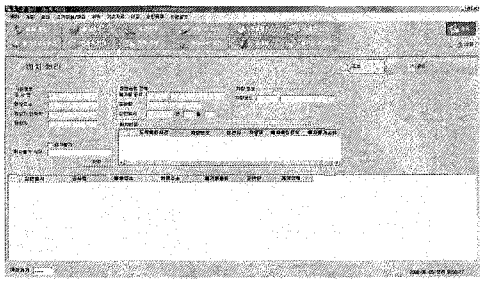
[그림 3.2.5] 배차현황



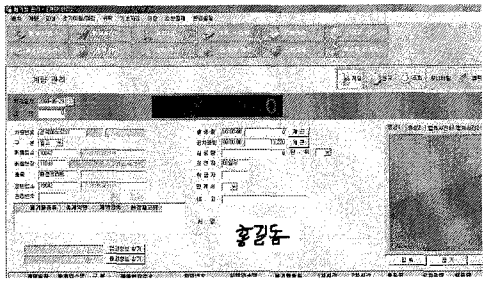
[그림 3.2.6] 배차등록



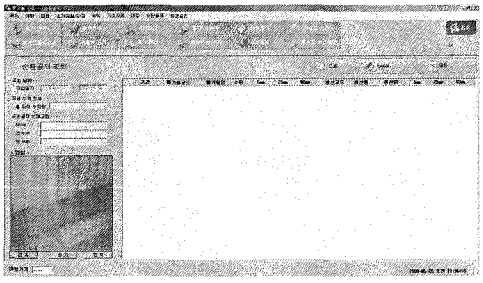
[그림 3.2.7] 배차관리



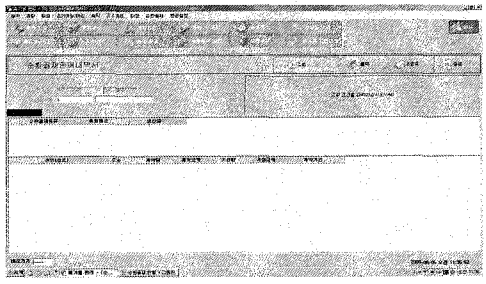
[그림 3.2.8] 배차처리



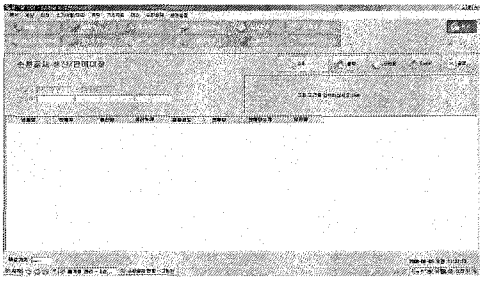
[그림 3.2.9] 계량관리



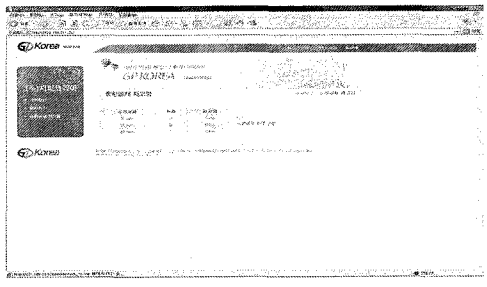
[그림 3.2.10] 순환골재 조회



[그림 3.2.11] 순환골재 판매내역서



[그림 3.2.12] 순환골재 생산/판매대장



[그림 3.2.13] 순환골재 재고량

건설폐기물업계의 표준화된 전사적인 정보처리 시스템을 구축할 수 있게 되었다. 표준화된 시스템으로 담당자 및 경영자 모두가 꼭 필요한 시스템으로 인식하고 있는바 건설폐기물 중간처리업체 이외에도 수집운반 그리고 최종처리 업체에서도 기술적인 부분을 이용하여 적용 가능한 시스템으로 활용된다.

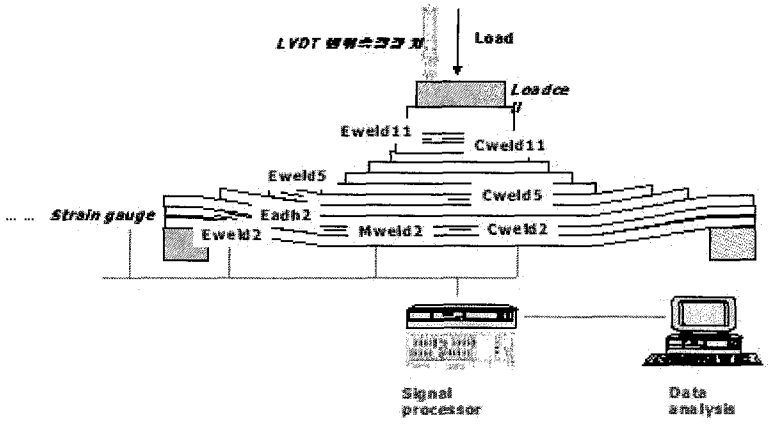
- 다양한 분석자료로 현 시점의 현황 및 미래에 대한 영업 계획 수립이 가능
- 모든 입력 및 조회 화면에서 반입처별로 현황을 한눈에 파악할 수 있으며, 다양한 품명 관라체계로 분류를 원활하게 적용하여 간편 입력이 가능
- 프로그램 사용자의 등록 및 개별 권한 관리로 철저한 통제 및 보안이 가능
- 프로그램 하나로 여러 수집운반회사를 일괄 관리 할 수 있음

## 2. 자체차량 계량시스템 운영

### 가. 기술개발 개요

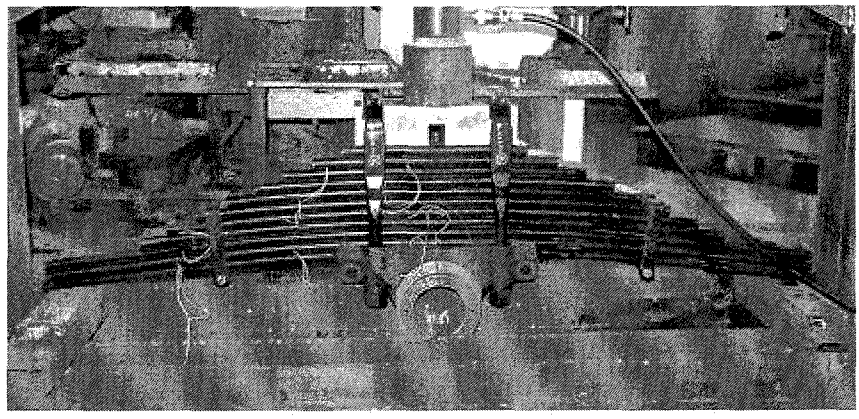
(1) 용도

도로 파손 방지를 위한 트럭 화물 과적재에 대한 정부의 규제 엄격하기에 화물 과적재시 벌금 및 관련자 구속 등으로 인해 화주 및 운전자의 경제적, 정신적 피해 과다하고, 현재 통용되고 있는 화물 계량기의 경우, 운반성, 위치성의 불리함으로 인해 원하는 시간 및 장소에서 편리하게 계측할 수 없는 상황이다.




[그림 3.2.14] 하중 측정 장치 개념도

이러한 상황에서 하중 적재와 동시에 적재하중을 쉽게 측정 및 파악의 필요성을 확인 하였으며, 또한 환경 물질 배출 규제 강화라는 측면에서 토목 공사와 건설 공사에서 배출되는 건설 폐기물에 대한 관리가 조만간 언급 되리라 판단된다. 이에 대비하여 관련된 폐기물들을 지정된 장소에 폐기하도록 감시 기능도 부여하여 폐기물 무단 방출을 통한 환경오염을 막는 기능도 가능하도록 하는 새로운 개념의 트럭하중 측정시스템(Truck Weight Measuring System)을 개발하고자 한다.



[그림 3.2.15] Lab. Scale 시험 측정 사진

(2) 주기능 및 성능

(가) 기본 원리

현가(Suspension)장치의 부품중 하나인 판 스프링(Leaf Spring)은 차량의 하중에 따라 변형하는 완충장치로서 다음과 같은 공식에 의해 움직인다.

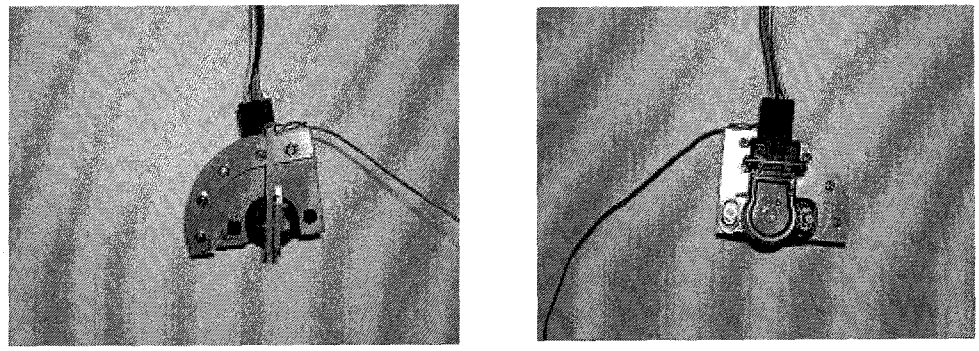
$$\sigma = k \bullet \varepsilon \quad ( \sigma : \text{하중}, \ k : \text{스프링 상수}, \varepsilon : \text{변위} )$$

이는 트럭의 차종에 따라 정확한 Calibration를 통해 판 스프링 상수값을 구하고, 판 스프링의 변위를 측정한다면 차량의 하중을 구할 수 있다. 특히 LAB SCALE 측정 및 실차 테스트한 결과 하중과 변위가 직선적으로 변하는 것을 위의 실험 결과 그래프로도 쉽게 알 수 있다.

(나) 센서 기본 구조

일반 로드셀이나 스트레인게이지로 변위를 측정할 수 있으나, 내구성 때문에 장시간 사용이 어렵다. 따라서 차량에 Self-Installed 상태에서 정지 상태나 운행 상태에서 사용이 가능한 내구성이 확보된 센서 적용이 필요하다.

따라서 본 신청자는 TPS(Throttle Position Sensor)센서를 사용하여 이를 해결하고자 한다. 즉 TPS는 자동차의 엑셀 페달의 위치에 따라 Throttle 개폐량을 감지하는 센서로써 이미 자동차에 쓰이고 있는 내구성은 검증된 센서이다. 이런 센서를 Leaf Spring 변위를 측정할 수 있는 위치에 놓이도록 Housing 설계하여 장착하고 이로부터 나오는 전기적 신호를 하중으로 변환시키면 가능하리라고 판단된다.



[그림 3.2.16] 센서 Prototype 조립품

## 나. 성능 평가

(1) 제품 성능 평가 과정

개발 과정에서 여러 차례의 성능평가와 성능 개선을 반복하여 제품의 성능 개선을 개선하는데 많은 노력을 기울였다.

<표 3.2.1> 성능개선을 위한 시험 항목

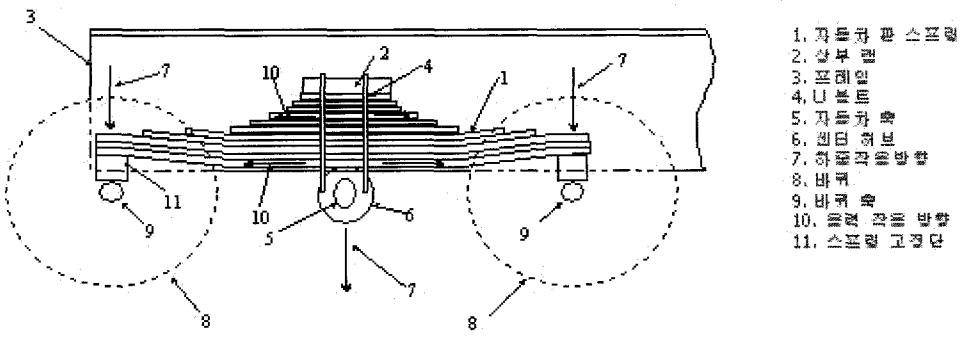
| No. | 항목 | 세부 내용 |
|---|---|---|
| 1 | 판스프링 특성 실험 | • 하중과 판스프링의 변위 관계 도출 |
| 2 | Prototype 센서 개발 | • LVDT를 이용한 하중 계측<br>• 적재 하중과 센서 변위 관계 도출<br>• 관련 특허 출원 |
| 3 | Field Test 및 Feed Back | • 3차에 걸친 Field Test 및 TWM 센서 개발<br>• 적재 하중과 센서 변위 관계 도출 |
| 4 | Wire-Type Prototype 센서 개발 | • TWM 센서 Upgrade<br>• 상용 PDA를 이용한 하중값 Display<br>• GPS를 이용한 트럭 위치 정보 획득<br>• 관련 특허 출원 |

위의 표에 나타난 바와 같이 크게 네차례의 성능 개선 평가 과정이 있었고 각 단계별로 수차례의 시험 과정이 있었다. 가장 우선적으로 수행한 시험은 제품의 근본적인 기능구현의 검증을 위해 자동차의 판스프링 특성 시험을 수행하였다. 이는 센서 기능의 타당성을 검증하기 위해 꼭 필요한 단계이다. 그리고 센서 구조 개선에 따라 각 단계별로 평가 시험을 실시하였고 그 결과에 따른 feedback을 다시 제품에 반영시켜 성능 개선을 위한 작업을 계속적으로 수행하였다.

계측 센서에 대한 개념 설계가 한차례 변경된 시기가 있었는데 이를 검증하기 위해 불가피하게 같은 내용의 시험을 여러 차례 중복 실시하게 되었다.

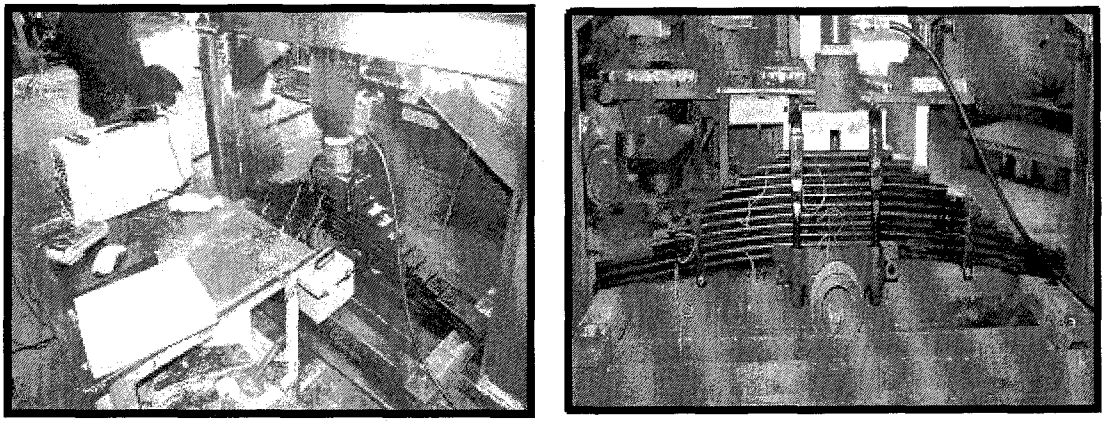
(2) 판스프링 특성 시험

자동차의 적재량을 계측하기 위한 자체 장착 센서 개발의 위해서는 자동차의 판스프링 구조를 우선적으로 파악해야 한다. 다음은 일반적으로 자동차에 사용되는 판스프링의 구조이다.

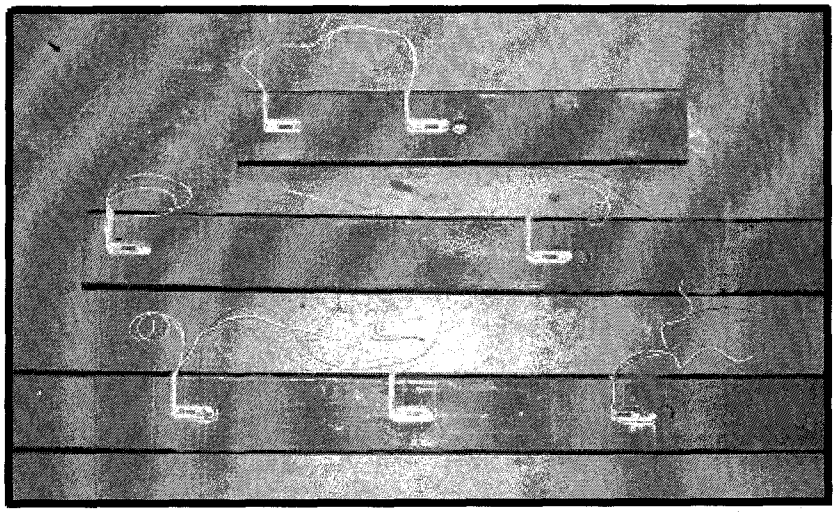



[그림 3.2.17] 판스프링 계략도

위의 그림은 판스프링 특성을 파악하기 위한 실험 장치의 계략도이다. 판스프링 변위를 측정하기 위해 총 8개의 strain gauge를 설치하고 판스프링에 하중을 가한 후 LVDT로 계측한 결과와 strain gauge의 측정 결과를 비교 평가하였다.



[그림 3.2.18] 판스프링 실험 장면

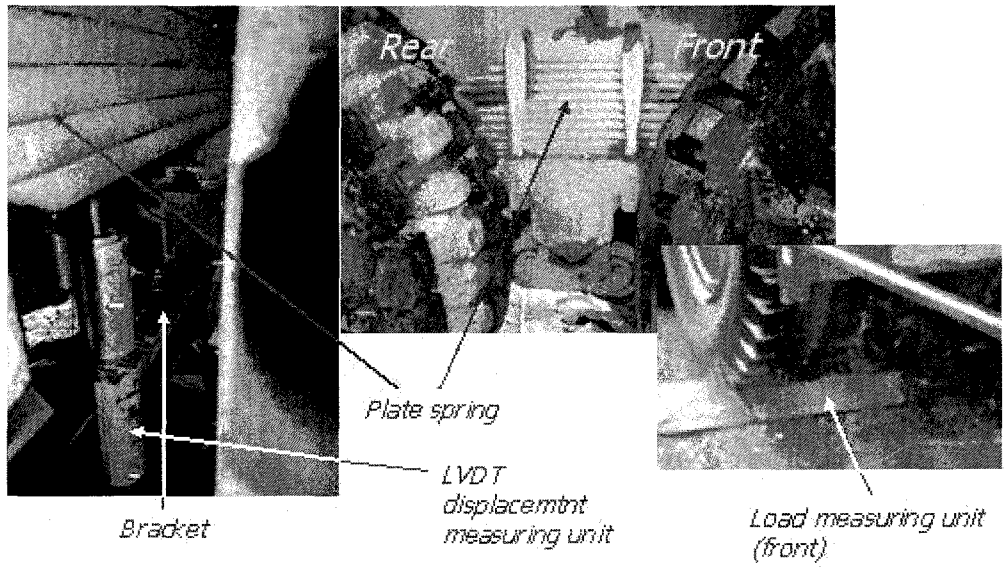


[그림 3.2.19] 판스프링 내부에 설치된 Strain gauge

(3) LVDT를 사용한 하중 계측 실험

실차의 적재량을 계측하기 위해 LVDT를 사용한 변위센서를 이용하여 하중 계측 실험을 수행하였다. 본 실험은 실차에 직접 적재물을 싣고 고정식 하중계와 LVDT를 이용하여 각각을 측정하고 이를 비교하여 LVDT에서 측정된 변위와 적재물 하중의 상관성을 도출하고자 하는 실험이다.

본 실험을 통해 미장착 판 스프링의 실험실적 테스트 결과 스트레인게이지, 로드셀 및 변위센서를 이용한 자체장착 중량 gauge에 의해 축하중을 측정할 수 있음을 확인하였다. 또한 스트레인게이지 및 로드셀의 경우 피로 수명의 한계로 인해 개발이 불가능함을 확인하였다. 스트레인게이지의 경우 ±1.4%의 변형률 진폭에서 피로수명은 약 105 cycle로써 장치의 수명은 길게 보아도 1~2개월을 넘기기는 힘들 것으로 판단된다. 변위측정장치의 경우, 실차 테스트 결과 바퀴가 안정한 수평 상태에 있을 때 하중-변위는 직선 관계를 가지며, 하중을 성공적으로 예측할 수 있음을 확인하였다.




[그림 3.2.20] 판 스프링의 변위를 측정하기 위한 실차 테스트

(가) Plate type(136~195 kg)이 Touch type(183~221 kg)에 비해 최대 약 1.6배 resolution이 증가하나 설치 부품의 상대적 복잡성이 단점임.

(나) 2축과 3축 바퀴가 수평을 이루지 못할 경우, 하중 증가에 따른 변형량 증가는 크게 변하지 않으나, 변위로부터 예측된 하중값이 기운 각도에 의존하기 때문에, 이 상태에서 하중 예측은 곤란함.

(다) 하중-변위 곡선이 직선에서 벗어나는 가장 큰 이유는 Leaf spring의 마찰력으로 인해 하중 감소 후에도 원래의 변위로 회복되지 않기 때문. 이에 대한 해결책이 시급함.

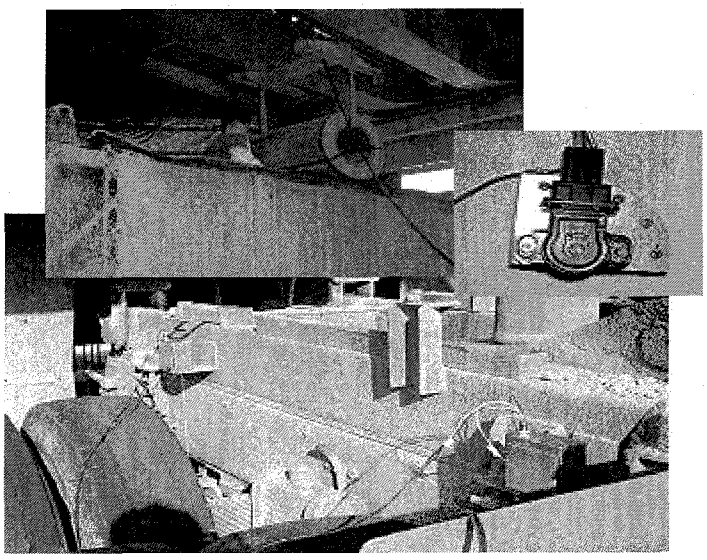
(라) 상기의 이유로 무적재 상태에서의 Leaf spring의 상태가 일정치 않기 때문에 무적재 상태에서 0 setting을 할 수는 없고(상대변위), 절대변위를 사용해야함.

(마) 측정범위는 1축 center의 경우 ~40mm/5ton, 2, 3축 edge의 경우 각각 5mm/6ton, 6~9mm/6ton 이다.

(바) 1축의 경우 두 바퀴중 1바퀴에 걸리는 하중으로부터 나머지 바퀴의 하중을, 2, 3축의 경우 Leaf spring의 front 또는 Rear의 한가지 하중으로부터 나머지 하중을 예측하는 것이 가능하다. 이때 resolution은 각각 ~46.2, ~83.3 및 ~76.4 kg 이다. Sensor 설치는 1축 1ea, 2, 3축 left 또는 right에 각각 1ea로 총 3개가 가능함.

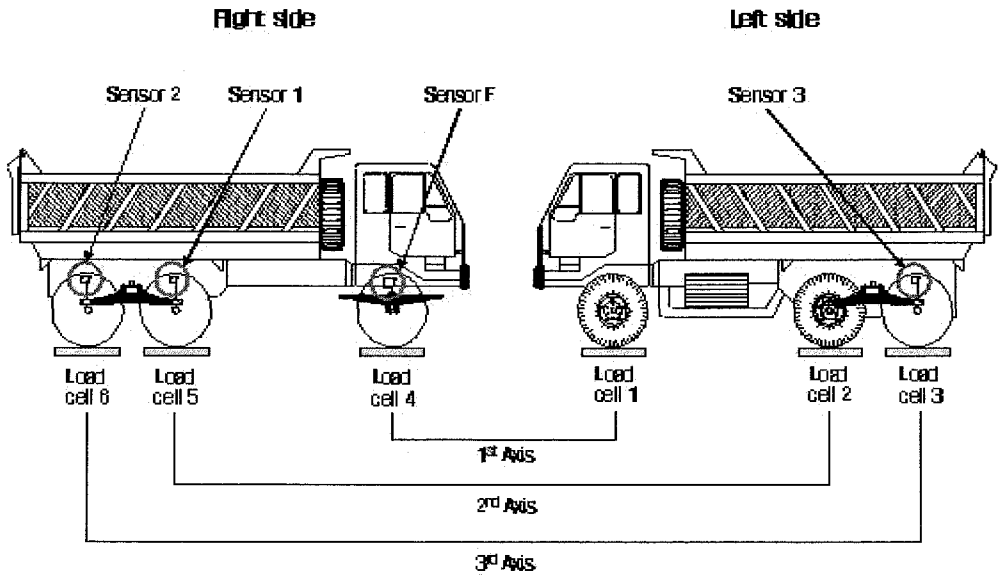
(4) TWMS를 사용한 하중 계측 실험

앞 서 LVDT를 사용한 계측 실험을 통해 변위센서를 통한 적재 하중의 계측 타당성을 검증하였다. 본 실험에서는 실제 사용될 TWMS를 사용하여 하중을 계측하기 위한 변위와 적재량과의 관계를 도출하고 이를 보정하여 TWMS를 사용한 하중 계측 실험을 실시하였다.



[그림 3.2.21] TWMS를 사용한 적재량 측정 실험

실험 방법은 강판 코일을 적재물로 사용하고 6개의 휴대용 고정식 하중계를 사용하여 차량의 총하중을 측정하고 4개의 TWMS를 사용하여 변위를 계측하였다. 이 두 결과에서 변위와 하중의 관계를 도출하였고 이를 사용하여 TWMS를 사용한 하중 계측을 수행하였다. 그리고 하중의 적재와 하차를 반복하면서 차량을 운행하여 하중의 변화 양상을 검토하였다.




[그림 3.2.22] 하중 계측을 위한 센서 장착 위치

실험을 통하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

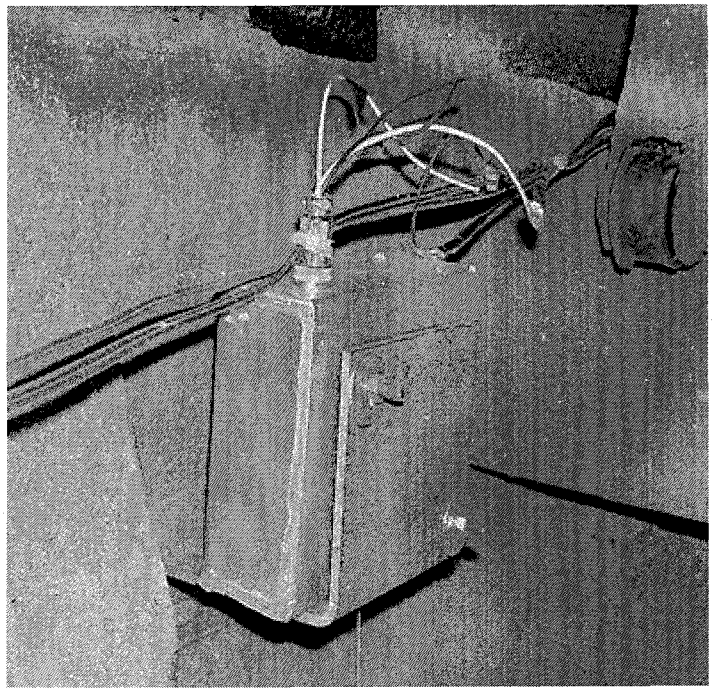
(가) 각 축별 하중 비율을 살펴보면, 하중이 작을 수록 1축의 비율이 높아지고 하중이 커질수록 2, 3축의 비율이 높아진다.
(나) 하중의 좌우측 분포를 살펴보면 좌우 편차는 크게 나타나지 않는다.
(다) 적재 하중과 변위와의 관계는 선형성을 나타낸다.
(라) 위치별 하중과 변위와의 관계는 선형성을 나타낸다.

## 다. 연구 개발 내용

(1) 하중 측정 센서

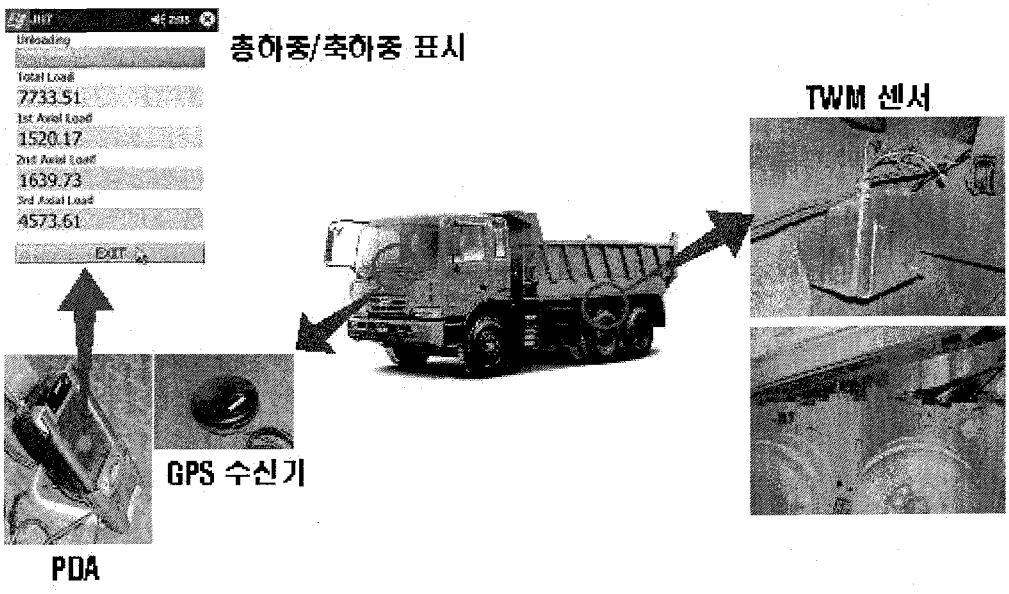
자체 장착식으로 장소에 관계 없이 적재 하중의 계측이 가능하고 변위 계측식이기 때문에 Load Cell을 사용하지 않아 장치에 무리가 가지 않는다. 또한 충분한 내구성을 갖는 자체 개발 센서를 사용하였고 운송 관리를 전산화 하여 운송 관련 데이터를 무선 송수신하고 DB화 하여 관리한다. 그리고 운송 관련 데이터를 자체 장착식으로 계측하여 이를 관리하는 시스템은 세계 최초로 개발된 것이다.

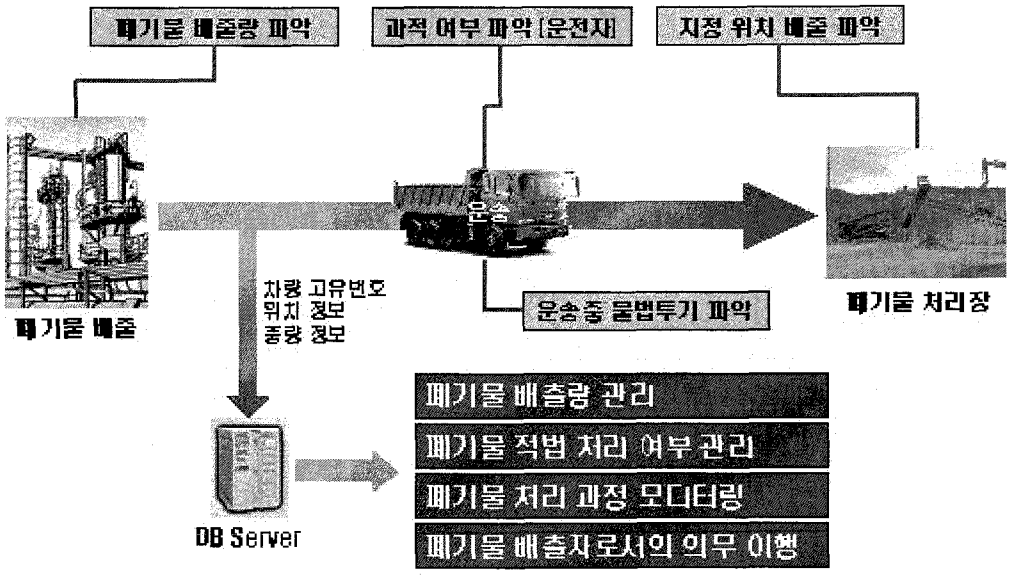
설치가 간편하고 다른 유사 제품에 비해 경제적 부담을 대폭 줄일 수 있고 내구성이 우수하여 사용자에게 최적의 사용 환경을 제공할 수 있다.



[그림 3.2.23] 자체 장착식 하중 측정 센서

(2) 계측시스템






(3) PDA를 사용한 Data display

(가) 데이터 초기화

차량에 장착한 센서들은 장착 초기에 모두 같은 값을 내보내지 않고 각 차량의 특성과 센서내의 가변저항의 조절에 따라 조금씩 차이가 있다. 이러한 미세한 차이를 적재 전에 알아내어 저장함으로서 근본적으로 오차를 대폭 수정할 수 있다.

(나) 프로그램 실행

이 단계는 데이터 저장 단계로써 프로그램 실행 시 날짜/시간, GPS 위성신호, 총 하중, 상대각도가 PDA에 저장된다.

(4) 기대성과

(가) 트럭 차주들의 안전 운행 및 과적에 대한 부담감을 덜어주고, 폐기물 관리를 통한 환경보호감시에 적극 응용이 가능해진다. 또한 도로 파손 및 교통사고 위험이 감소될 것이다.

(나) 본 기술이 개발되어 운영되면 차량 운행 중의 위치 및 하중 측정 데이터가 PDA에 의해 전송되어 별도의 시스템에서 관리할 수 있어 폐기물 불법투기를 쉽게 확인할 수 있고, 이를 홍보하여 예방할 수 있는 효과를 거둘 수 있다. 게다가 배출자가 이를 관리하여 배출한 폐기물이 처리 장소에 도달할 때까지 정상적인 운반을 유도할 수 있다.

## 라. 연구결과

(1) 자동차의 엑셀 페달의 위치에 따라 Throttle 개폐량을 감지하는 센서인 TPS(Throttle Position Sensor)을 Leaf Spring 변위를 측정할 수 있는 위치에 놓이도록 Housing 설계하여 장착하고 이로부터 나오는 전기적 신호를 하중으로 변환시켜 편리하게 계측할 수 있게 됨.

(2) 도로 파손 방지를 위한 트럭 화물 과적재에 대한 정부의 규제가 엄격하기에 화주 및 운전자의경제적, 정신적 피해가 과다하고, 현재 통용되고 있는 화물 계량기의 경우, 운반성, 위치성의 불리함의로 인해 원하는 시간 및 장소에서 편리하게 계측할 수가 없는 상황이었다. 이러한 상황에서 하중 적재와 동시에 적재하중을 쉽게 측정 및 파악하는 필요성을 느꼈기에, 이에 대비하여 관련된 폐기물들을 지정된 장소에 폐기하도록 감시 기능도 부여하여 폐기물 무단 방출을 통한 환경오염을 막는 기능도 가능하도록 하는 개발의 필요성이 절실해짐.

(3) 기존의 제품과 기술을 비교하면 다음과 같다.
운행 시 3개월 이하의 내구성이 10년 이상으로 늘어나고, 지정된 센서위치에 차량을 정차하여 측정하던 방법으로 제약 조건이 따르던 것이 Self-Installed방식을 사용하여 측정에 따른 편이성을 확보할 수가 있다. 게다가 정차시에만 측정이 가능하던 것이 정차 및 운행 중에도 측정이 가능하게 된다. 마지막으로 기존 제품이 고가의 설치비를 사용하는 고가용이었다면, 우리의 제품은 중저가 센서 사용을 사용함으로써 비용적인 절감을 덜 수 있게 된다. 적용 예로는, 저가용으로 일반인도 사용이 가능하게 되고, 과적 단속 전에 차주가 미리 측정을 통해 과적을 피할 수 있을뿐더러, 운행 중에 하중을 측정할 수 있기에 폐기물 무단 배출 방지 시스템으로 적용이 가능하게 된다.

(4) 과적 및 폐기물 불법 투기에 대한 손실을 산술적으로 나타내긴 힘들지만 파손된 도로의 복구비, 차량 수리 및 교체비, 과적 단속에 따른 벌금, 폐기물 불법 투기에 따른 벌금, 불법 투기된 폐기물의 재처리 비용 등 손실 비용을 최소화 할 수 있다.

## 3. 순환골재 사후관리시스템

### 가. 순환골재 품질인증 사후관리시스템 기술 개발의 개요

(1) 기술 개발의 개요

본 과제에서는 순환골재 처리과정에서 발생하는 분쟁을 사전에 없애고 또한 현장에서 전송된 순환골재 영상으로부터 순환골재 종류를 쉽게 식별하여 확인할 수 있는 시스템을 개발하고자 한다. 일반적으로 순환골재 영상은 외부 환경 변화에 민감하여 일반적인 영상처리 기술로는 많은 어려움이 있다. 이에 본 기술에서는 열화된 순환골재 영상을 분류하기에 적합한 영상으로 향상하는 영상 향상 기술, 실시간으로 분류할 수 있는 실시간 처리 기술 및 95%이상의 분류율을 나타내는 순환골재 온라인 실시간 확인 시스템을 개발하고자 한다.

(2) 기술개발의 필요성 및 중요성

현재 국내외 많은 산업 현장에서는 공장 자동화를 통하여 인건비 절감 및 효율적인 경영을 도모하고 있다. 컴퓨터 비젼 기술은 많은 산업 분야에서 자동화를 위하여 널리 이용되어 왔으며 향후 더욱더 다양한 분야에 이용될 전망이다. 현재 컴퓨터 비젼 기술이 많이 응용되고 있는 분야는 사람의 얼굴, 지문, 홍채 및 정맥 등의 생체 인식을 통한 감시 및 보안 시스템 분야와 다양한 산업 현장의 요구에 부합되는 공장 자동화 분야로 나눌 수 있다.

순환골재는 일반적으로 도로공사용, 아스팔트용, 아스팔트 콘크리트용 3종류로 분류된다. 이들 순환골재들은 각 용도에 따라 처리단가가 다르다. 이에 순환골재의 종류에 대하여 순환골재 공급자와 처리자간의 분쟁이 많이 발생하는 실정이다. 이를 개선하기 위해서는 순환골재 처리자가 폐기물 현장에서 직접 확인하는 것이 요구된다. 순환골재 종류 확인을 위해 처리자가 현장에 갈 경우 인건비에 대한 부담이 있으며, 특히 폐기물의 위치가 멀리 떨어진 경우에는 추가로 많은 비용이 소요된다. 또한 순환골재의 양은 매년 수십%이상 증가하고 있어 순환골재 온라인 실시간 확인 시스템에 대한 요구가 향후 더욱더 요구 될 것으로 판단된다. 그러나 현재 이러한 시도는 국내외적으로 초기 단계에 있으며, 순환골재 영상이 주위 환

경변화로 인하여 비교적 열화가 많이 되어 실시간 확인에 어려움이 있다.

현재 영상처리에 대한 기술력이 부족하여 많은 어려움을 겪고 있다. 이는 영상이 대부분 열화 되어 있어 단순한 영상 처리 기술이 아닌 산업 현장에 적용 가능한 주위 환경에 견고한 영상 분류 기술이 개발되어야 하므로, 더욱 어려움을 겪고 있다. 또한 산업현장에 적용하기 위해서는 실시간에 처리할 수 있는 분류 기술 개발이 절실히 요구된다. 이에 열악한 영상을 영상 향상시키고, 높은 인식률 및 실시간 처리가 가능한 분류 기술을 개발하기 위해서는 관련 전문가의 도움이 절실히 필요한 실정이다.

(3) 국내·외 관련 기술의 현황

현재 국내외에서 순환골재 처리 분야에서 영상처리 기술을 이용한 온라인 실시간 확인 시스템은 개발되지 않았다. 그러나 인건비 절감 및 분쟁해소를 통한 기업의 경쟁력 강화 측면에서는 향후 반드시 필요한 시스템이라 할 수 있다. 또한 국내·외 순환골재가 매년 급증하는 것을 감안 할 때 향후 순환골재 온라인 실시간 확인 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되리라 판단된다.

(4) 국내·외 시장규모

현재 순환골재 처리 시장은 기하급수적으로 늘어나고 있다. 이는 사회적으로 짧은 건물의 생애 주기와 관련이 깊다. 국내에서 1996년의 경우 건설폐기물이 28.4천 톤으로부터 시작하였다. 2000년에는 약 4배인 101.5천 톤으로 증가하였다. 그리고 2003년에는 145.4천 톤으로 증가하여 매년 20%의 증가를 나타내고 있다. 그리고 2005년의 경우 약 200천 톤을 배출하였다. 이를 기반으로 2010년까지의 폐기물 증가율을 추정해보면 보수적 계산하더라도 15% 이상 증가할 것으로 판단되어 2010년에는 400천 톤의 폐기물이 발생할 것으로 판단된다. 2010년 이후 폐기물 시장의 확대를 10%로 가정할 경우 2015년에는 그 물량이 644천 톤이 된다. 이것은 곧 순환골재로의 전환을 의미하게 되는 것이다.

현재 전 세계적으로도 건설 및 토목 공사가 활발히 진행되고 있으며 특히, 중국, 인도, 베트남 및 필리핀 등의 신흥시장 및 일본, 영국, 프랑스 미국 등의 선진국에서는 매년 건설 공사가 활발히 진행 중이다. 이에 기존의 건설 폐기물들이 이들 세계적으로 매년 15%의 가파른 증가를 나타내고 있으며, 이러한 추세는 향후 수 십

년간 더욱 증가할 것으로 판단되어 순환골재로의 전환은 불가피한 상황에 직면하게 되었다.

이에 본 과제에서 개발된 순환골재 온라인 실시간 확인 시스템은 향후 많은 순환골재 처리과정에서 인건비 절감 및 분쟁을 해소하여 관련 산업의 경쟁력을 강화할 수 있을 것으로 기대된다.

## 나. 순환골재 품질인증 사후관리시스템 기술개발의 목표

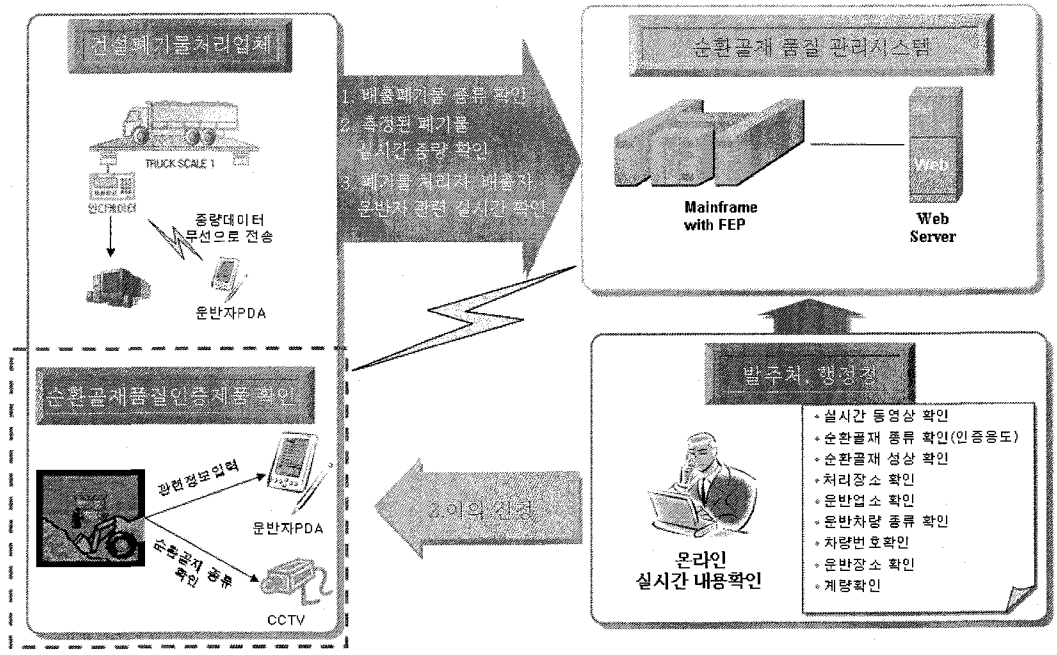
(1) 기술 개발목표

첫 번째로는 정성적 목표를 들 수가 있는데, 열화된 환경에서 획득한 순환골재 영상에서의 영상 향상 알고리즘을 개발하고, 실시간 처리 알고리즘을 개발한다. 그 후 순환골재 온라인 실시간 확인이 가능한 시스템을 개발하는 것이다.

두 번째로는 정량적 목표를 들 수가 있다. 3가지 순환골재 영상에 대한 영상 향상 및 실시간 분류율 95%이상의 알고리즘을 개발하는데 목적을 둔다.

(2) 개발내용 및 범위 (시스템 구성도, 구조 등은 그림으로 표현)

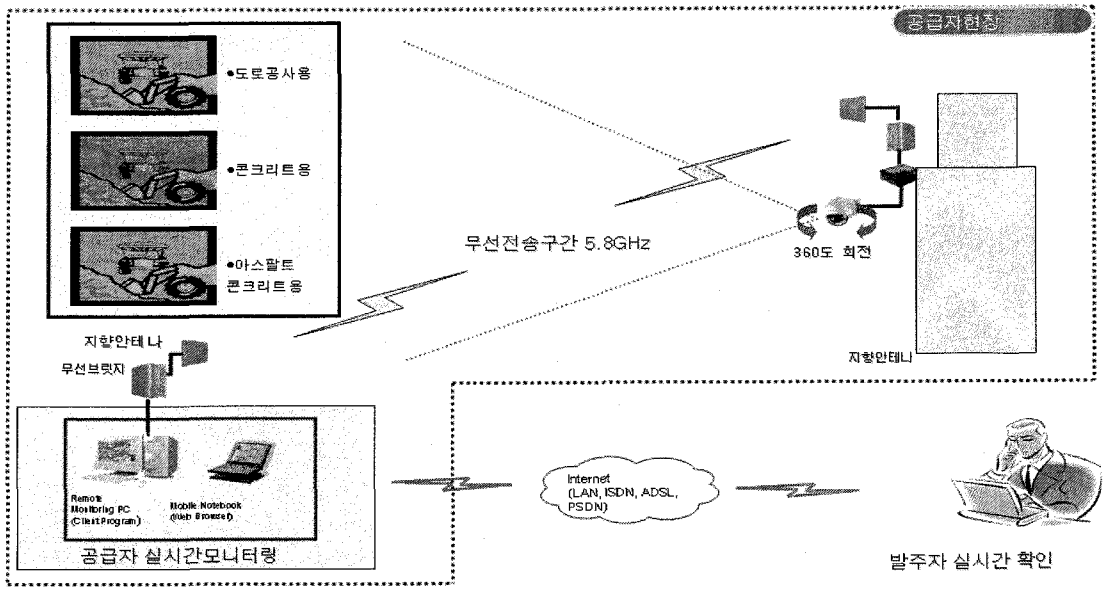
순환골재들은 빛의 반사, 촬영된 순환골재 영역(얼마나 순환골재들이 크게 촬영되었는가, 줌인 or 줌아웃), 순환골재들의 다양한 종류 등으로 인하여 일반적인 영상 처리 기법으로는 높은 분류율의 시스템을 구현하기가 어렵다. 본 시스템에서는 카메라를 순환골재 공급현장에 설치를 하여 촬영하므로 온라인으로 실시간 확인할 수 있도록 구현을 한다. 순환골재 품질인증 제품 사후관리시스템은 발주자와 배출자간의 상호 투명성을 확보할 수 있게 되어 실시간 확인을 통해 순환골재의 품질인증 상황이 명확하게 확인이 되는 범용적인 시스템으로의 전환을 꾀한다. 아래의 그림은 이것을 명확하게 나타내어 준다.




[그림 3.2.24] 순환골재 품질인증 사후관리시스템 구상도

## 나. 순환골재 품질인증 사후관리시스템 개발방법

본 과제에서는 크게 영상획득, 열화된 영상에 대한 전처리 과정 수행, 칼라 및 흑백의 질감 정보를 이용한 특징 추출 및 신경회로망 분류기를 이용한 분류 시스템 구현을 최종 목표로 한다.




[그림 3.2.25] 순환골재품질인증 사후관리시스템 모듈설계

(1) 영상획득

입력 파일 분석하고 Visual C++6.0 환경하에서 JPG파일을 입력하는 알고리즘 연구한다.

(2) 전처리 과정 수행

열화된 영상에 대해 효과적으로 적용할 수 있는 잡음 제거 기법 연구하고, 영상의 잡음 및 특징을 고려한 전처리 알고리즘 조사한다. 그리고 열화된 영상에 대한 영상 향상 알고리즘 개발

(3) 칼라 및 흑백의 질감 정보를 이용한 영상 분석

영상에서의 색상정보의 차이를 추출하는 알고리즘 연구하고, 실시간 흑백의 질감 정보를 추출하는 알고리즘 개발

(4) Visual C++을 이용한 실시간 소프트웨어 구현

실시간으로 처리할 수 있는 알고리즘 개발하여 알고리즘 검증을 한다.

## 다. 연구결과

본 연구에서 개발될 열화된 영상에서의 향상 알고리즘 및 순환골재 분류 기술은 특히 산업현장에서 비젼 시스템을 이용한 자동화 부분에서 다양하게 이용될 수 있는 고부가 가치의 기술이 될 것으로 판단된다. 그리고 향후 3차원 인식 시스템을 이용한 인식 기술에 적용하여 깊이 정보를 요하는 인식 분야에도 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

본 과제가 성공적으로 수행되면 이의 가장 큰 효과는 크게 2가지로 요약할 수 있다. 첫째, 순환골재 처리 업체에 개발한 내용을 직접 전수하면 이를 실무에 이용함으로써 지역 사회 발전에 크게 도움이 될 수 있다는 점이다. 둘째 순환골재 처리 뿐 아니라 기타 물류의 이동에 관한 비젼 시스템을 이용한 자동화가 필요한 분야에서 개발된 기술을 직접 이용 및 응용할 수 있어 많은 경제적·산업적 파급 이득을 얻을 수 있다.

차후 시스템의 보안 및 개선을 통해 순환골재 품질인증 사후관리시스템을 활성화 하는데 노력을 기울여야 할 것이다.

# 제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 아스팔트 콘크리트 포장의 재료 및 시공기술 개발

## 1. 연구개발추진 전략 및 방법

본 연구진은 통합, 검증, 진화, 개방이라는 전략적 범주를 수립하고 이에 맞는 내용을 체계적으로 연구해 나아갈 것이다.

첫째, 통합의 범주는 연구의 목표를 달성하기 위한 기초 자료를 통합하여 건설 폐기물 산업과 도로 건설 산업과의 상호 보완하여 연구가 원활한 진행을 위함이다. 기존 도로 포장의 장·단점을 고려하여 친환경적이며 경제성 있는 순환골재를 도로 구조물에 적용하여 새로운 기술 개발에 적합한 연구 내용을 도출한다. 그리고 국내의 순환골재 관련 전문가와 도로 산업 관련 전문가들 간의 긴밀한 협조를 통해 체계적이고 원만한 연구를 진행하도록 한다.

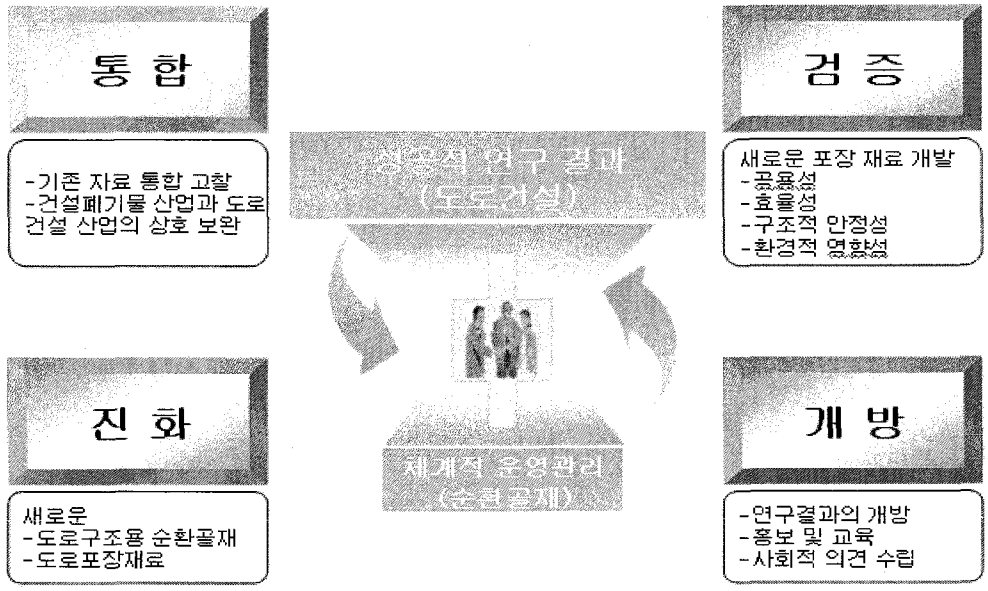
둘째, 검증의 범주는 순환골재를 적용한 도로 포장에 대한 정확한 기준으로 기존의 도로와 비교하였을 경우 어떠한 효과가 있는지에 대하여 정량적으로 제시하기 위함이다. 새로이 개발하는 순환골재를 사용한 아스팔트 기층 포장 재료에 대하여 공용성, 효율성, 구조적 안정성, 환경 영향성 등에 대하여 공학적 평가를 통해 이를 검증한다.

셋째, 진화의 범주는 기존의 것과 본 연구를 통해 얻어진 결과물이 차별성을갖도록 하기 위함이다. 새로운 도로 구조용 순환골재, 도로 포장 재료 등에 대하여 기 연구된 결과와 비교 분석을 통해 이를 제시하도록 한다.

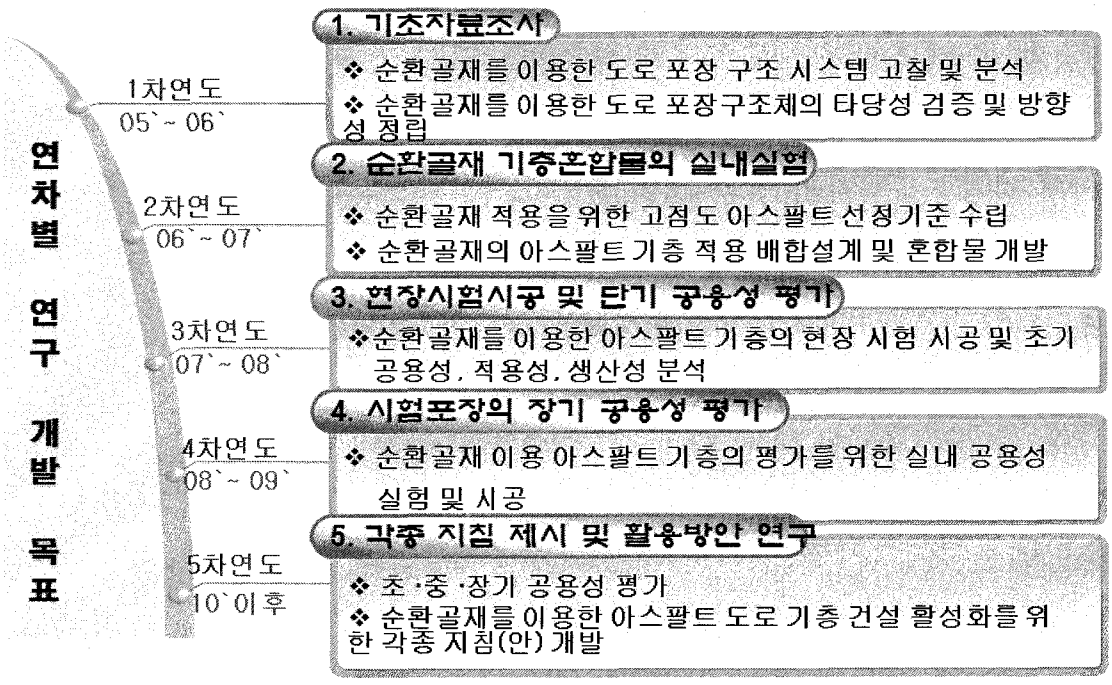
넷째, 개방의 범주는 본 연구 결과를 극대화시키고 순환골재에 대한 사회적 인식 전환과 함께 건설폐기물의 재활용 80%이상의 달성으로 도로 이용자로부터 인식을 전환시키기 위함이다. 연구 결과물을 모든 이들에게는 열람하도록 하며 지속적인 연구자, 관리자, 실무자들과의 대화를 통해 효율을 배가시킨다.

위와 같은 체계적인 추진 전략 하에 다음과 같은 연차별 연구 방법을 수행하여 순환골재를 사용한 아스팔트 기층 개발을 완성하도록 한다.

전체적인 연구 수행 방법은 〈그림 3.3.2〉 와 같다




[그림 3.3.1] 연구추진 전략




[그림 3.3.2] 연차별 연구 목표 흐름도

1차 연도에는 기초적인 문헌조사를 통해 순환골재를 적용한 아스팔트 기층의 타당성을 검증하여 연구 방향 정립을 이룬다.

2차 연도는 1차년도의 기초 자료를 바탕으로 순환골재를 이용한 아스팔트 혼합

물의 평가 및 실내 실험을 통한 포장 구조체의 타당성을 1차 검증하는 것이다.

3차 연도는 순환골재를 사용한 아스팔트 기층을 현장 시험시공에 적용하여 초기 공용성 평가 및 적용성 분석을 목표로 한다.

4차 연도는 순환골재 이용 아스팔트 기층의 평가를 위한 실내 공용성 실험 및 시공을 목표로 한다.

5차 연도는 그 동안 진행되어 온 연구 결과 및 Data 축적을 통해 투수성 아스팔트 포장의 설계 및 유지관리 매뉴얼을 작성하고, 이를 통해 신기술 보고서 작성 및 실용화, 활성화 방안을 마련하여 순환골재를 적용한 아스팔트 기층용 재료 개발과 실내 및 실외의 현장 보정 작업을 통해 시공(안) 및 지침서등이 본 연구과제의 결과물로 완성하게 된다.

## 2. 연구 내용

### 가. HWLS(HEART Wheel Load Simulator)를 통한 포장구조체의 거동 및 실내 공용성 분석

본 장에서는 건설폐기물을 재활용한 순환골재를 아스팔트 혼합물에 사용하기 위하여 기초물성 실험과 배합설계를 하여 현장 적용성을 높이기 위한 내용을 다루었다. 연구의 타당성을 높이기 위해 간접인장시험(Indirect Tension Test) 과 Kim-Test 를 추가로 진행하였다.

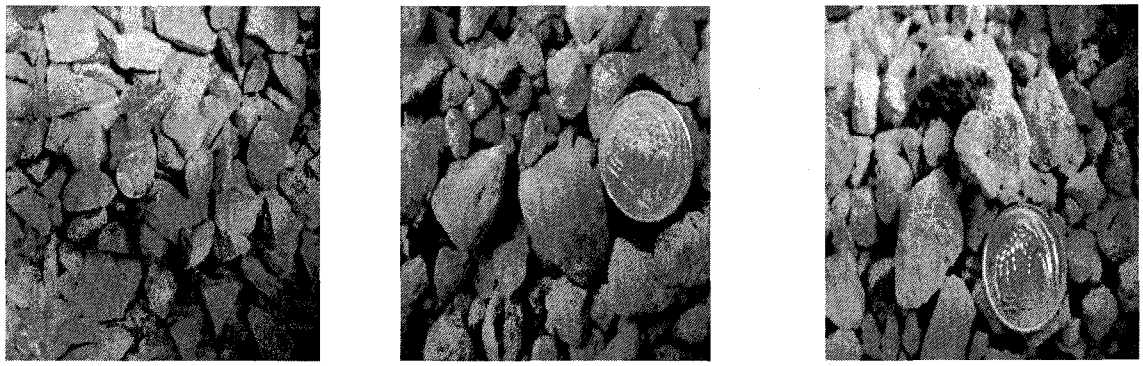
(1) 순환골재의 물리적 특성(기초물성실험)

폐콘크리트를 재활용한 순환골재를 사용한 아스팔트 기층 재료로 개발하기 위해 재료 기초 물성 실험을 통하여 국내·외 여건에 맞는 품질 기준을 확보하였다.

사용 골재의 물성 특성 중 흡수율에 중점을 두어 아스팔트 포장용 25mm 쇄석골재[그림 3.3.3]과 부착불순물(모르타르)이 적은 경기도 I사의 도로공사용 40mm 순환골재[그림 3.3.3], 부착불순물이 많아 흡수율이 다소 높을 것으로 예상되는 충남 D사의 도로공사용 40mm 순환골재[그림 3.3.3]를 선택하였다. I사의 골재는 순환골재, D사의 골재는 재생골재라 한다.

다음 [그림 3.3.3]은 본 실험을 위해 수집된 40mm 천연골재와 40mm 순환골재

의 모습이다.



[그림 3.3.3] 사용 골재 (천연골재, I사 순환골재, D사 재생골재)

(가) 순환골재를 사용한 아스팔트 기층을 위한 입도 선정

순환골재를 사용한 아스팔트 기층을 위한 입도를 선정하기 위해서 국내·외의 품질 기준을 살펴보았다. 순환골재를 사용한 아스팔트 기층은 국내·외적인 사례가 없는 관계로 아스팔트 혼합물 기층을 중심으로 영국, 미국, 프랑스의 기층용 입도와 국내 도로건설용 BB-3 을 살펴보았다. 각 나라의 기층용 골재 입도 분포를 다음 <표 3.2.1>에 나타내었다.

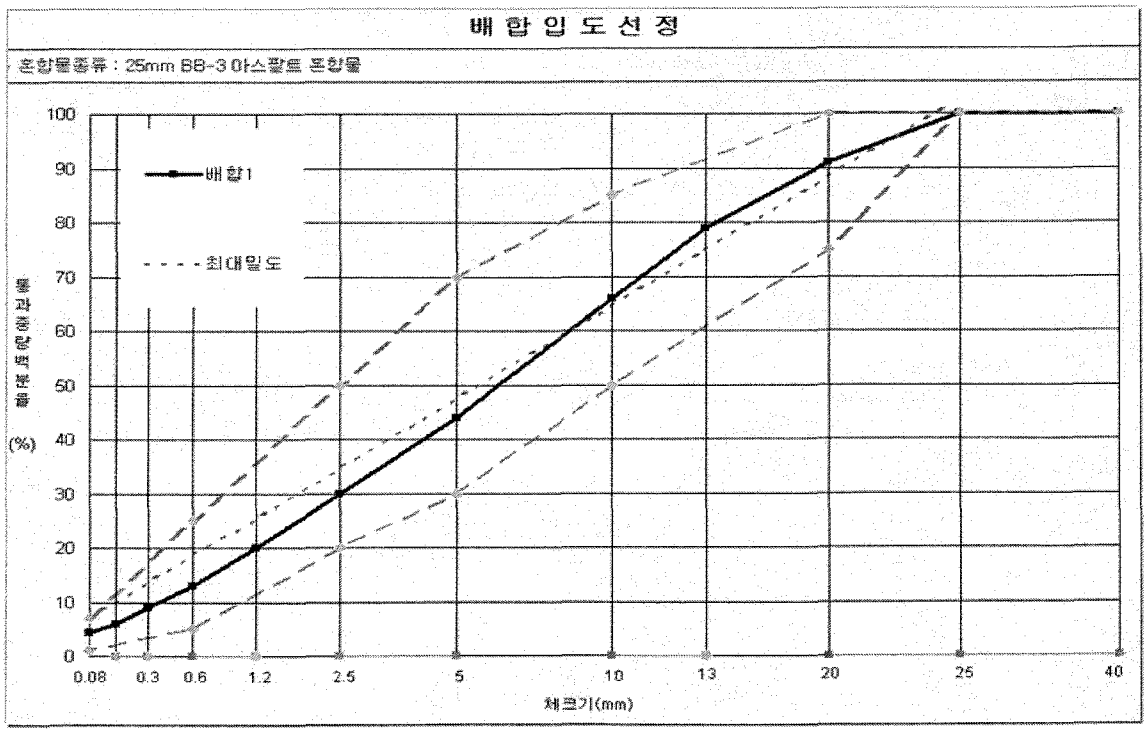
대부분의 입도가 국내 기층용(BB-3) 골재 입도 분포 범위 내에 포함되는 것으로 나타났다. 따라서 국내 입도의 범위에 포함되면 적용에 문제가 없는 것으로 사료되어 국내 도로공사 시방서 기준 입도(BB-3)를 기본적인 기준으로 선정하였다.

목표로 하는 골재의 입도를 얻기 위해서 일반적으로 사용되는 방법은 3내지 4종류의 입도가 다른 골재를 합성하는 것이다. 허나 실내 실험 시 명확한 기준을 만들기 위하여 본 연구에서는 골재를 단입도 별로 구분하여 입도에 알맞은 양을 계량하여 합성하였고, 정확한 비교를 위하여 천연골재와 순환골재는 같은 입도를 사용하였다.

다음 [그림 3.3.4]는 도로기층용 BB-3 의 국내 시방기준의 범위 안에 넣은 실험용 천연골재와 순환골재의 입도를 나타내었다.

<표 3.3.1> 각 나라의 기층용 입도 분포(강민규, 세종대, 2004)

| Percentage by weight passing each sieve | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 영국 Bitumen Macadams | | 미국 California AR-8000 | | 프랑스 EME | | 한국도로공사시방서 (BB-3) | |
| Sieve size | dense crushed rock basecourse | Sieve size | 기층통과중량 백분율(%) | Sieve size | Enrobe a module eleve | Sieve size | 기층통과중량 백분율(%) |
| 37.5mm | - | 37.5mm | - | 37.5mm | - | 40mm | - |
| 28mm | 100 | 28mm | 100 | 28mm | - | 25mm | 90~100 |
| 20mm | 95~100 | 20mm | 93~100 | 20mm | 100 | 19mm | 71~90 |
| 14mm | 65~85 | - | - | 14mm | 94 | 13mm | 56~80 |
| 10mm | 52~72 | 10mm | 60~73 | 10mm | 80 | 10mm | 45~72 |
| 6.3mm | 39~55 | 5mm | 37~52 | 6.3mm | 63.5 | | |
| 3.35mm | 32~46 | - | - | 3.35mm | 45 | 4.75mm | 29~59 |
| 2.36mm | - | - | - | 2.36mm | - | 2.36mm | 19~45 |
| 600㎛ | - | 0.62mm | 16~25 | - | - | 600㎛ | 7~25 |
| 300㎛ | 7~21 | - | - | - | - | 300㎛ | 5~17 |
| 212㎛ | - | - | - | 0.3mm | 13 | 212㎛ | 3~12 |
| 75㎛ | 2~9 | 0.075mm | 3~7 | 0.075mm | 7 | 75㎛ | 1~7 |

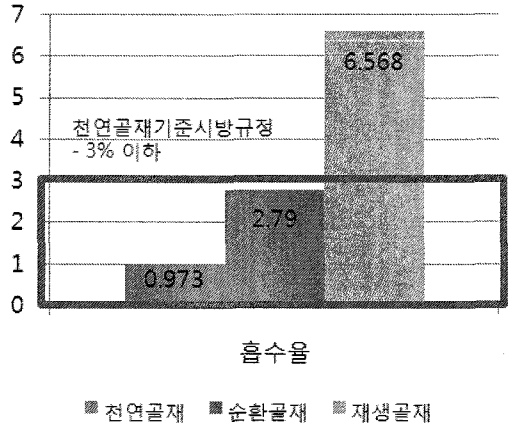


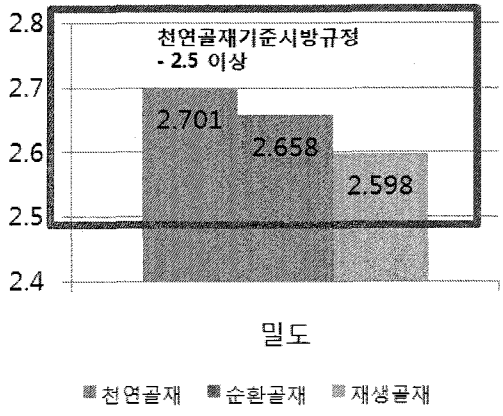

[그림 3.3.4] 실내 실험용 혼합 입도

(나) 비중 및 흡수율 시험

KS F 2503에 규정된 "굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법"과 KS F 2504에 규정된 "잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법"에 따랐다.

[그림 3.3.5]는 순환 굵은 골재와 순환 잔골재의 비중과 흡수율 실험 결과이다. 실험 입도별로 합성 후의 밀도와 흡수율로써 아스팔트 혼합물에 사용되는 골재의 입도와 같은 입도의 골재 물성치이다.



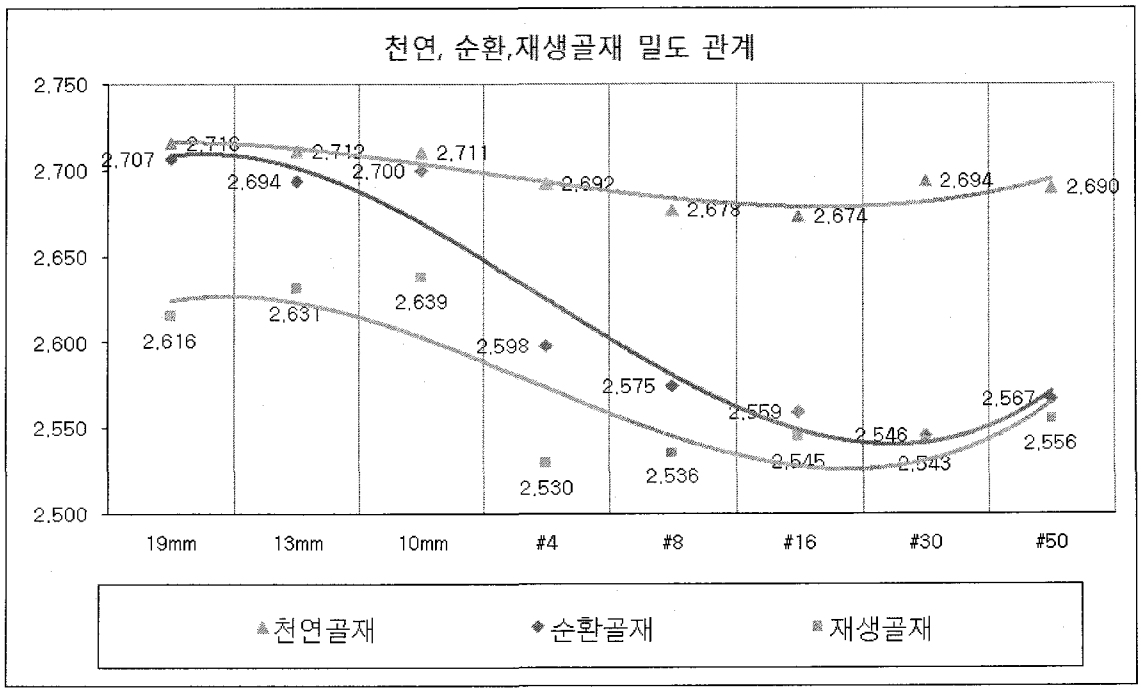




| | 합성입도 시 흡수율 | 합성입도 시 밀도 |
|---|---|---|
| 천연골재 | 0.973 | 2.701 |
| 순환골재 | 3.094 | 2.649 |
| 재생골재 | 6.568 | 2.598 |

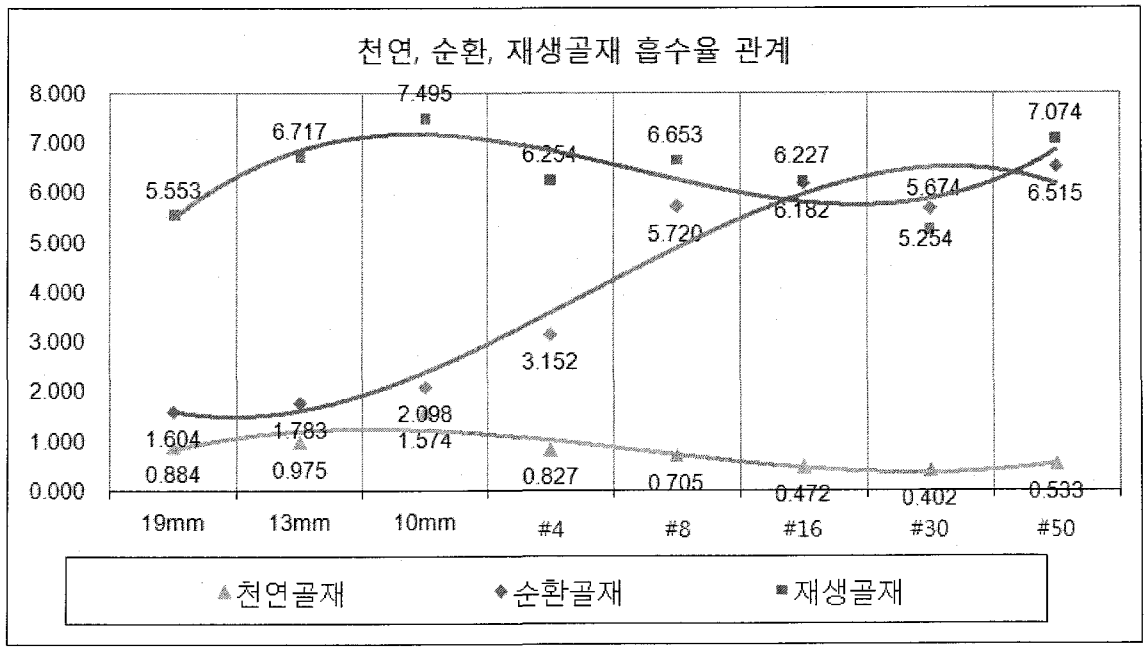
[그림 3.3.5] <KS F 2503 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법>,
<KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법>에 따른 밀도 및 흡수율 시험 결과

[그림 3.3.6]과 [그림 3.3.7]은 골재를 입도 별로 분류 했을 시의 밀도와 흡수율을 비교한 것이다.

밀도는 천연골재의 경우 거의 입자가 작아질수록 밀도가 작아지는 경향을 보이나 거의 일정한 값을 나타내었다. 순환골재와 재생골재의 경우 순환골재의 특성상 콘크리트가 파쇄 되어 잔골재에 함유되기 때문에 입자가 작아질수록 밀도가 현저히 낮아지는 것을 볼 수 있다. 재생골재의 경우 전체적으로 낮은 밀도 값을 보였다.




[그림 3.3.6] 천연골재와 순환골재, 재생골재의 단입도 별 밀도비교




[그림 3.3.7] 천연골재와 순환골재, 재생골재의 단입도 별 흡수율 비교

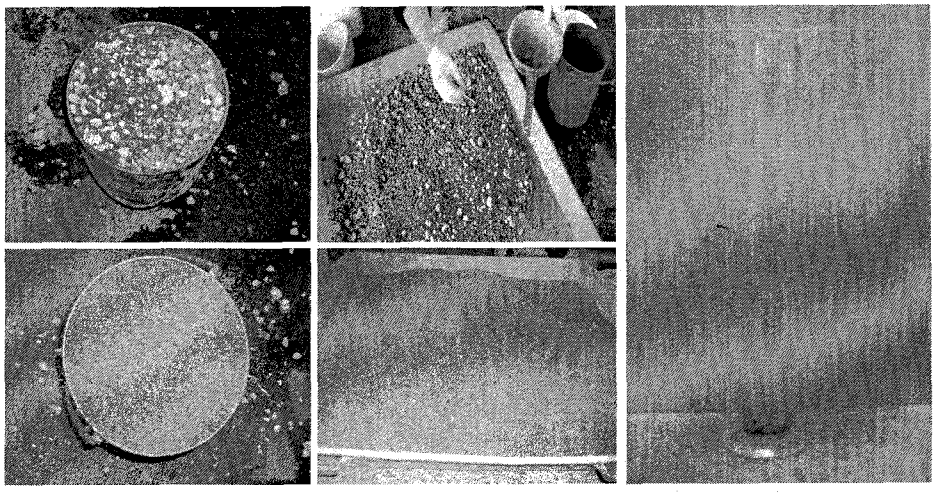
흡수율의 또한 밀도와 매우 흡사한 결과를 보였다. 천연골재는 전체적으로 낮은 적은 흡수율을 보였고, 순환골재의 경우 콘크리트가 파쇄 되어 작은 입자 내에 함

유되기 때문에 입자가 작아질수록 흡수율이 높아짐을 알 수 있었다. [그림 3.3.7]에서 볼 수 있듯이 순환골재는 일정한 변화 추이를 보였으나, 재생골재의 경우 흡수율 또한 어떠한 경향을 찾을 수 없었고, 매우 높은 흡수율을 나타내었다.

우리나라의 도로포장용 골재의 기준은 밀도는 2.5 g/㎤ 이상 흡수율은 3% 이하이다. 골재합성 시 밀도는 시방기준인 2.5 g/㎤ 이상의 값을 만족시키나 순환골재의 특성상 흡수율 기준인 3%이하는 만족시킬 수 없는 실정이다.

우리나라를 비롯하여 많은 나라에서 순환골재의 품질 기준 중에서 가장 중용한 것이 비중과 흡수율이다. 순환골재의 경우 골재 주위에 붙어있는 시멘트 페이스트의 영향으로 낮은 비중과 높은 흡수율을 보이고 있다. 또한 순환골재를 아스팔트 혼합물 재료로 사용할 경우 경제성이 떨어지므로 매우 중요하다. 그중 아스팔트 콘크리트 혼합물에서 흡수율에 따라 혼합되는 아스팔트의 양이 결정되기 때문에 경제성부분에 밀접한 연관이 있다. 허나 천연골재의 가격에 반도 미치지 못하는 순환골재의 가격을 고려한다면 경제성 부분에서도 타당하다고 생각한다.

(다) 이물질 함유량



[그림 3.3.8] 이물질 함유량 측정 모습(KS F 2576)

순환골재의 이물질 함유량 시험은 <KS F 2576 순환골재의 이물질 함유량 시험방법> 에 따라 실험하였다. 순환골재 내의 함유되어 있는 나무 조각, 천, 종이, 스티로폼, 고무, 플라스틱 등 기타 이물질의 함유량을 부피 기준으로 측정하였다. 우

선 순환골재와 이물질을 육안으로 선별한 후 각각의 이물질을 표면 건조 포화 상태로 만들어 수중에 침투시켜 부피를 측정하고 그 결과에 따라 <식 3.3.1> 로 유기이물질의 함유량(부피)을 구하고, <식 3.3.2> 로 무기이물질의 함유량(질량)을 구한다. [그림 3.3.9]는 일정량의 순환골재 내에서 이물질 선별 작업 모습과 선별된 이물질의 부피를 측정하는 모습이다.

실험 결과는 <표 3.3.2> 와 같다

$$\text{이물질함유량부피}(\%) = \frac{\text{이물질의부피}}{\text{순환골재전체의부피} + \text{이물질의부피}} \times 100 \qquad \text{<식 3.3.1>}$$

$$\text{이물질함유량질량}(\%) = \frac{\text{이물질의질량}(g)}{\text{시험용시룡의총질량}(g)} \times 100 \qquad \text{<식 3.3.2>}$$

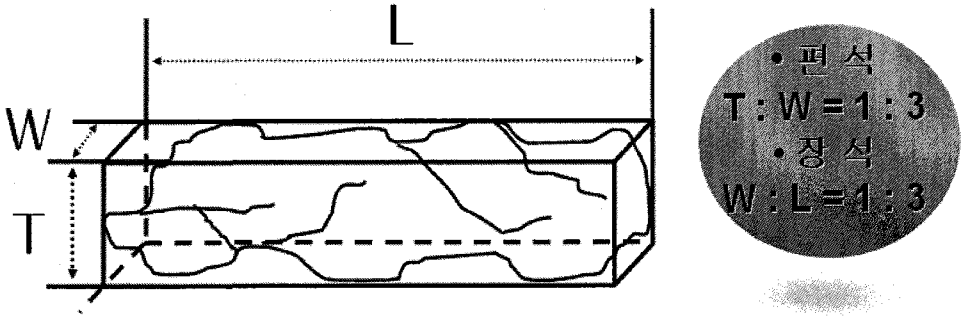
<표 3.3.2> 이물질 함유량 실험 결과

| 시험 항목 | | 기준 | 천연골재 | | 순환골재 | | 재생골재 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 굵은 | 잔 | 굵은 | 잔 | 굵은 | 잔 |
| 이물질 함유량 (KS F 2576) | 유기이물질 함유량 부피(%) | 1이하 | - | - | 0.08 | 0.02 | 0.03 | 0.44 |
| | 무기이물질 함유량 질량(%) | 5이하 | - | - | 0.59 | 0.09 | 0.43 | 0.78 |

(라) 편장석률(입형)

KS F 2575, ASTM D 4791에 규정된 편장석 함유량 시험을 실시하였다.

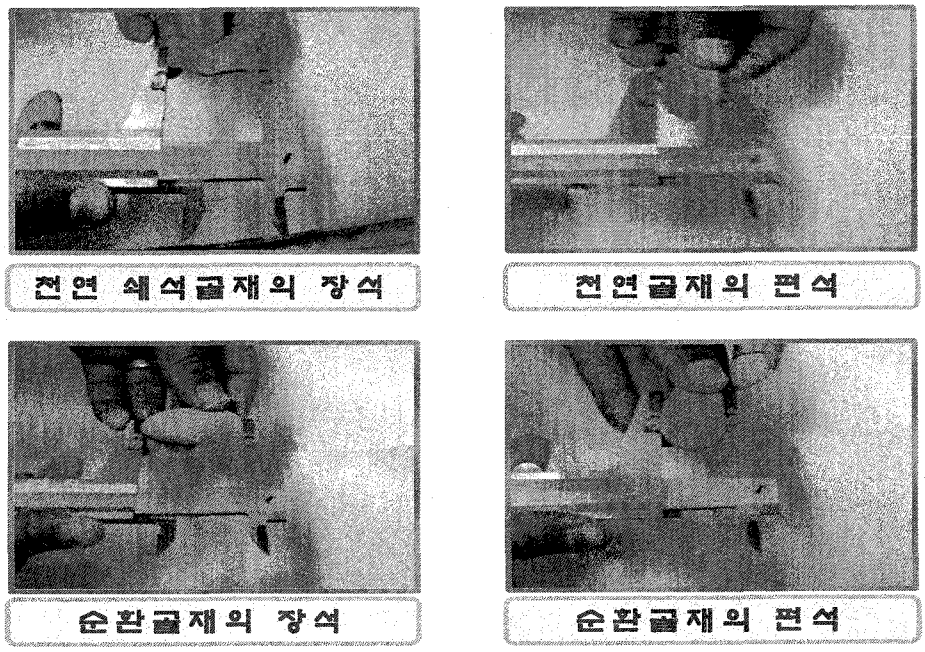
굵은 골재 중 편석과 장석을 편장석이라 통칭하며, 다음 [그림 3.3.9]와 같이 골재 입자의 두께에 대한 폭의 비 혹은 폭에 대한 길이의 비가 3배 이상인 것을 말한다. 즉, 편석은 두께에 대한 폭의 비가 3배 이상인 것을, 장석은 폭에 대한 길이의 비가 3배 이상인 것을 말한다. 그리고 편장석은 편석임과 동시에 장석임인 것을 말하는데, 이 3가지를 통칭하여 편장석이라 하고 그 합을 편장석량이라고 정의한다.




[그림 3.3.9] 편장석의 정의(KS F 2575)

도로 공사 표준 시방서상에서 아스팔트 콘크리트 포장일 경우 20%, 시멘트 콘크리트 포장일 경우 25%이하로 골재의 편장석 함유량을 규정하여 골재의 입형을 관리하고 있다.

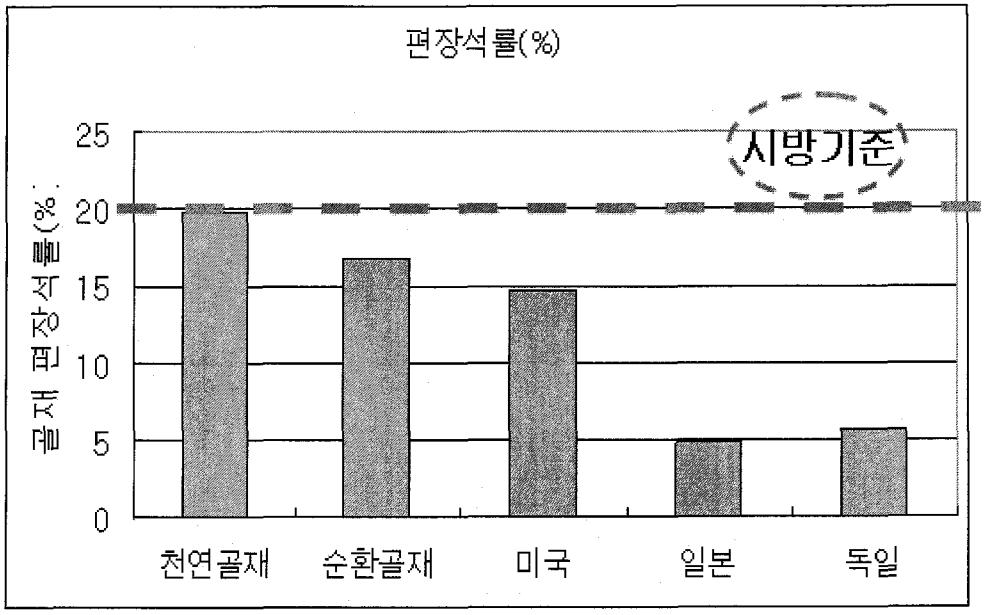
천연골재, 순환골재, 재생골재를 이용하여 다음 [그림 3.3.10]과 같이 편장석량을 구하였다. <식 3.3.3>으로 편장석률을 계산한다.




[그림 3.3.10] 편장석률 측정

$$\text{편장석률}(\%) = \frac{\text{편석으로분류된골재무게}(g) + \text{장석으로분류된골재무게}(g)}{\text{체에잔류한골재의무게}(g)} \quad \text{<식 3.2.3>}$$

[그림 3.3.11]은 <KS F 2575 굵은골재 중 편장석 함유량 시험방법> 에 제시되어 있는 방법에 따라 천연골재와 순환골재는 실측한 결과이고, 국외 3종은 한국기술교육대학교 김남호 교수팀의 실측치를 이용 상대 비교를 하였다.




[그림 3.3.11] 편장석률 시험 결과(두께 : 길이 = 1 : 3)
※ 미국, 일본, 독일은 한국기술산업대학교 김남호 교수팀의 실측자료

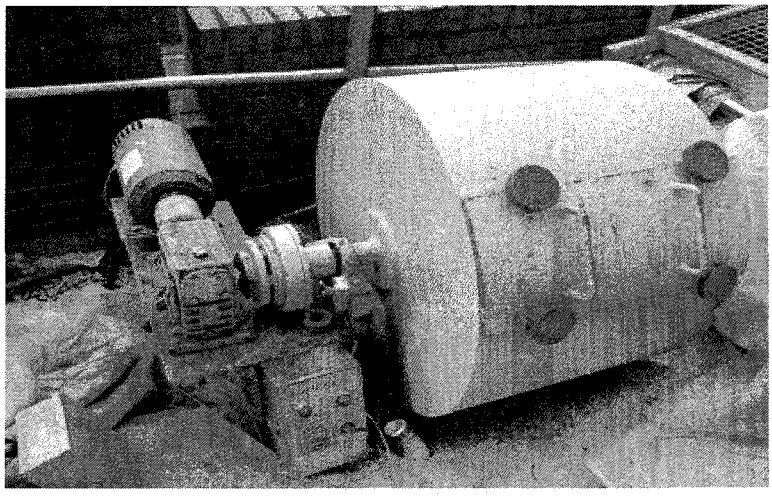
천연골재는 19.91%, 순환골재는 16.78%의 편장석률을 보이고, 미국의 골재가 14.62%정도, 일본과 독일의 골재는 각각 4.91%, 5.61%의 편장석률을 갖는 것으로 파악되었다.

이 값들은 국내의 기준으로 볼 경우 아스팔트 혼합물에서 20% 이내로 규정하고 있는 편장석함유량을 모두 만족하고 있다. 하지만 외국의 기준보다 많이 미흡한 것으로 판단되며 대조적이다.

입형 상의 문제가 발생 시 아스팔트 혼합물의 강성과 강도와 같은 물리적 성질이 나빠지고, 영구 변형이 발생할 가능성이 커진다. 또한 굵은 골재내의 편장석은 편장석이 아닌 골재에 비해 쉽게 부서지는 경향을 갖는다. 굵은 골재가 부서지면 입도가 변하고 이는 최적 배합을 변경하므로 주의를 요한다.

(마) 마모감량시험

골재의 내마모성을 확인하기 위하여 KS F 2508, ASRM C 131-51에 규정된 LA마모시험을 실시하였다. 골재의 마모 감량 실험은 수평 회전축의 강제 원통에 일정량의 굵은 골재와 쇠구슬을 함께 넣어 규정 횟수동안 회전 시킬 때 부서지거나 마모된 골재의 양과 초기 굵은 골재 무게의 비로 정의된다. - <식 3.3.4>. 기층은 B입도 기준으로 실험하였다. B입도는 입자 지름의 범위가 25~20mm 이고, 시료의 질량은 2500±10g, 시료의 전 질량은 5000±10g 이다. B입도를 기준으로 쇠구슬(전 질량 4580±25g) 11개를 30~33 회/분의 속도로 회전수 500회를 하여 천연골재와 순환골재의 기층용으로 상대 비교 평가를 하였다.



[그림 3.3.12] LA 마모시험기

<표 3.3.3>에서 볼 수 있듯이, 천연 골재와 순환 골재의 마모 감량 기준은 40% 이하 이다. LA 마모 실험결과 천연 골재는 21.88%가 나왔고, 순환골재는 18.8%, 재생골재는 36.8% 로 측정되었다.

$$\text{마모감량}(\%) = \frac{\text{초기시료무게} - 1.7mm\text{체에남는골재무게}}{\text{초기시료무게}} \times 100 \qquad \text{<식 3.3.4>}$$

순환골재 임에도 마모감량이 천연골재보다 적은 결과를 나타내었는데, 순환골재를 생산하는 공정 중, 골재의 취약한 부분이 골재로부터 떨어져 나간 것으로 사료된다.

<표 3.3.3> 각 재료의 LA 마모실험 결과

| 시험 항목 | 기준 | 천연골재 | 순환골재 | 재생골재 |
|---|---|---|---|---|
| 마모감량 (KS F 2508) | 40% 이하 | 21.88% | 19.90% | 36.8% |

(바) 골재 물성 평가 종합

<표 3.3.4> 순환 굵은 골재와 재생 굵은 골재 물성 비교

| 골재특성 | I사 순환 굵은 골재 | D사 재생 굵은 골재 |
|---|---|---|
| 겉보기밀도(Bulk S.G.) | 2.523 g/㎤ | 2.306 g/㎤ |
| 유효밀도(Effective S.G.) | 2.474 g/㎤ | 2.158 g/㎤ |
| 진밀도(Apparent S.G.) | 2.602 g/㎤ | 2.533 g/㎤ |
| 흡수율 | 1.977 % | 6.847 % |
| #200 통과율 | 0.2 % | 2.5 % |
| 마모감량 | 18.8 % | 36.8 % |
| 유기이물질함유량 | 0.02 % | 0.44 % |
| 무기이물질함유량 | 0.09 % | 0.78 % |

<표 3.3.5> I사와 D사의 순환 잔골재 물성

| 골재특성 | 순환골재 5mm 이하 | 순환골재 5mm 이하 |
|---|---|---|
| 겉보기밀도(Bulk S.G.) | 2.366 g/㎤ | 2.294 g/㎤ |
| 유효밀도(Effective S.G.) | 2.238 g/㎤ | 2.140 g/㎤ |
| 진밀도(Apparent S.G.) | 2.569 g/㎤ | 2.529 g/㎤ |
| 흡수율 | 5.743 % | 7.164 % |
| #200 통과율 | 0.7 % | 1.3 % |
| 안정성 | 9.5 % | 6.5 % |
| 점토덩어리 | 0.3 % | 0.63 % |
| 유기이물질함유량 | 0.08 % | 0.03 % |
| 무기이물질함유량 | 0.59 % | 0.43 |

(2) 순환골재의 환경적 용출 특성 분석

순환골재를 구성하고 있는 시멘트 및 콘크리트에는 미량이지만 중금속 성분이 내포되어 있다. 물론 이러한 성분들이 유해성은 이미 제조사의 각 종 실험에 의하여 그 무해성이 입증되었으며, 그에 대한 결과는 아래와 같이 요약할 수 있다.

<표 3.3.6> 폐 콘크리트 순환 골재의 화학 조성

| 구분 | $SiO_2$ | CaO | $Al_2O_3$ | $K_2O$ | $Fe_2O_3$ | $Na_2O$ | MgO | etc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 함량(%) | 67.4 | 13.8 | 9.8 | 2.8 | 2.2 | 2.0 | 1.0 | 1.0 |

<표 3.3.7> 폐 콘크리트 순환 골재의 용출 시험 결과

| 구분 | As | Cd | Cr | Cu | Pb | Ca | Fe |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기준치 (mg/L) | ≤1.5 | ≤0.3 | ≤1.5 | ≤3.0 | ≤3.0 | - | - |
| 결과 (mg/L) | N.D | N.D | N.D | N.D | 0.02 | 186.27 | 0.06 |

따라서, 본 연구에서는 이러한 화학적으로 안정한 순환 골재가 강우 시, 산성비, 노면 특성 등에 의해 pH 특성에 의해 중금속 용출이 발생하는지에 대해 중점적으로 분석하였다.

순환골재가 포함하고 있는 금속성분이 용해되지 않고 구성체에 잘 결합되어 있다면 이러한 성분들로 인한 환경 유해성은 무시할 수 있다. 하지만 순환 골재를 제조하는 과정에서 생산되는 작은 입경의 세골재 들은 넓은 반응 표면적을 지니고, 있으므로 보다 큰 구조체를 형성하고 있을 경우와는 달리 중금속 용출 확률이 높다고 가정할 수 있다. 이에 본 실험은 조건 변화에 따른 중금속 용출 특성에 대해서 환경적 안정성 여부에 대해 확인하고자 하였다.

(가) 조건 변화에 따른 환경적 용출 실험 분석

① 실험 방법

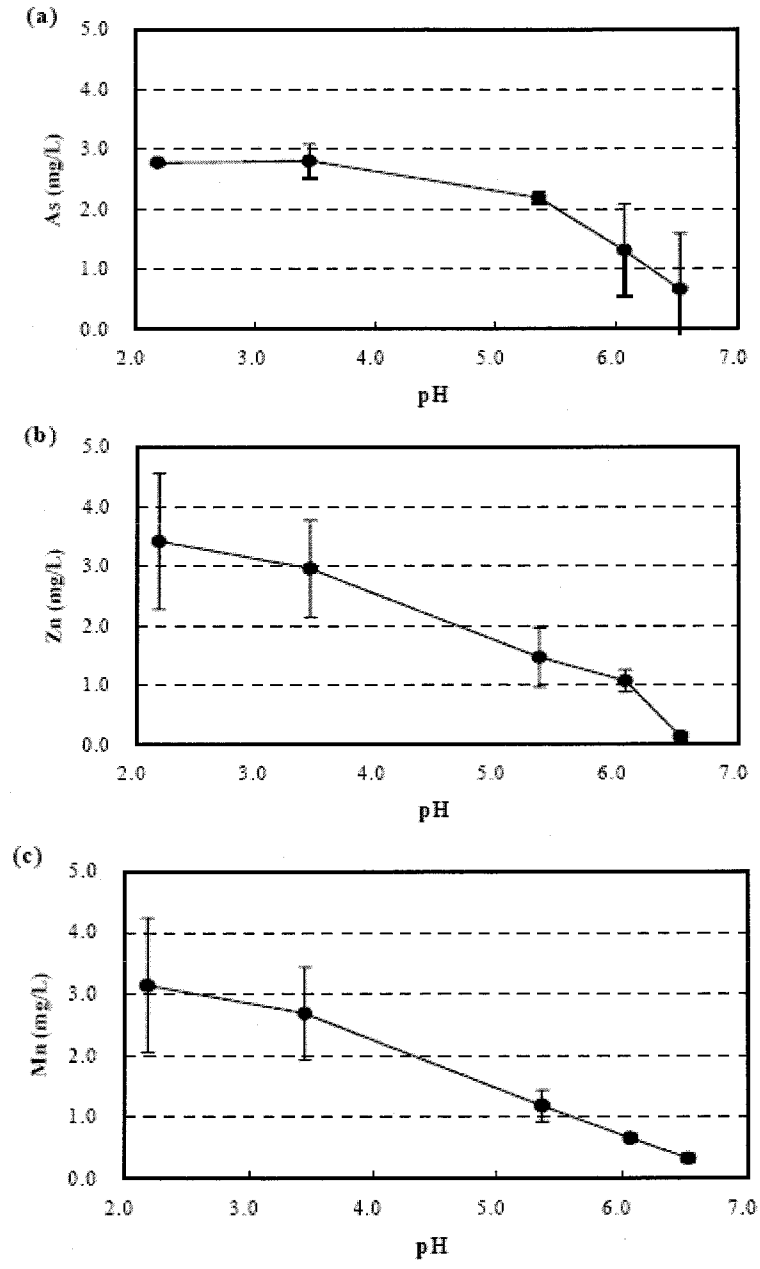
순환골재가 포함하고 있는 금속성분이 용해되지 않고 구성체에 잘 결합되어 있다면 이러한 성분들로 인한 환경 유해성은 무시할 수 있다. 하지만 순환 골재를 제조하는 과정에서 생산되는 작은 입경의 세골재 들은 넓은 반응 표면적을 지니고, 있으므로 보다 큰 구조체를 형성하고 있을 경우와는 달리 중금속 용출 확률이 높다고 가정할 수 있다. 이에 본 실험은 가장 작은 입경의 시료(A-3,B-3, C-3, 4.75 mm>D)에서 pH 조건에 따라 용출되는 중금속의 농도를 ICP분석을 통하여 측정하였고 금속이온 용출 정도를 확인하고자 하였다.

② 실험 결과

○ As-Zn-Mn-Cr-Pb-Cu

중금속 용출량 분석에서 중금속 이온의 종류에 따라 검출된 농도의 정도가 다름을 알 수 있는데, 이는 원재료(콘크리트 및 시멘트) 구성 성상에 의해 좌우됨을 알 수 있다. As-Zn-Mn-Cr-Pb-Cu와 같은 금속 이온들은 pH 조건에 따라 낮은 농도의 용출 정도를 보여주는 이온들이며, 이들 중에서 As-Zn-Mn의 용출 정도를 [그림 3.3.13] 에서 표시하고 있다.

이러한 그림을 살펴보면 Mn와 Zn의 경우 pH가 증가함에 따라 용출 농도가 비교적 선형적으로 감소하는 경향을 보여주고 있다. As는 독성이 가장 높은 금속성분중의 하나이며, 용출 농도가 상대적으로 적고 pH 증가에 반비례하여 감소하고 있다. Cr-Pb-Cu의 경우는 따로 그림에 표시하지 않았는데 그 이유는 동일한 pH조건에서 대부분 ICP-AES의 검출한계선(1 ppm) 미만의 극소량이 검출되었기 때문이다(Cr과 Pb의 경우에는 pH별로 극소량이 검출되는 경우도 있었으나 재현성이 없었음). 일반적으로 이러한 pH 의존적인 중금속 용출 경향은 각 금속이온의 pC-pH 조건에 따른 화학적 평형(equilibrium)에 의해 결정되어진다.



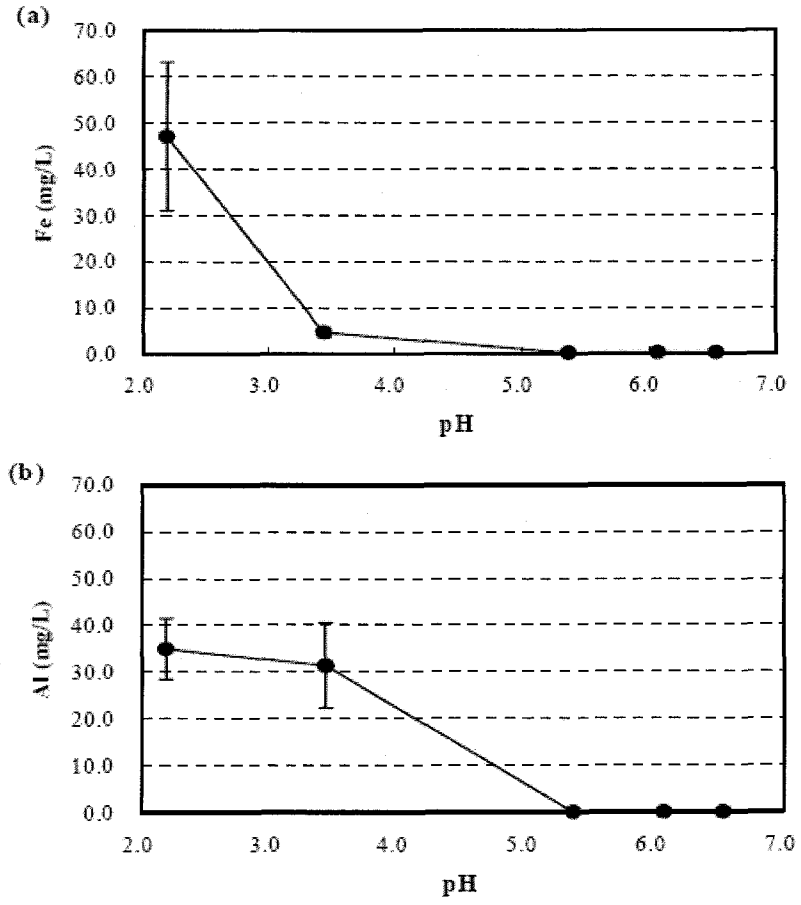

[그림 3.3.13] pH 조건에 따른 중금속 용출 특성
(a)As, (b)Zn, (c)Mn

ㅇ Fe-Al

앞에서 검토한 바와 같이 콘크리트의 주성분은 Si 와 Ca 이다. [그림 3.3.14] 에서 보이는 바와 같이 Fe 와 Al 은 pH 조건에 따라 용출량의 변화가 매우 크며, 낮은 pH에서 검출되는 양은 다른 금속이온에 비해 매우 크다. 하지만 Fe 의 경우 pH가 3.5 이상을 넘으면서 용출 농도가 급격히 감소하고 있으며, Al 의 경우도

pH가 4.5를 넘어서면서 용출량이 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다.

이러한 경향은 [그림 3.3.13]과 마찬가지로 일반적으로 낮은 pH 조건일 때 용해되어 검출되는 금속이온의 농도가 높고, pH가 증가할수록 용출량이 감소하는 경향과 일치한다.




[그림 3.3.14] pH 조건에 따른 중금속 용출 특성, (a)Fe, (b)Al

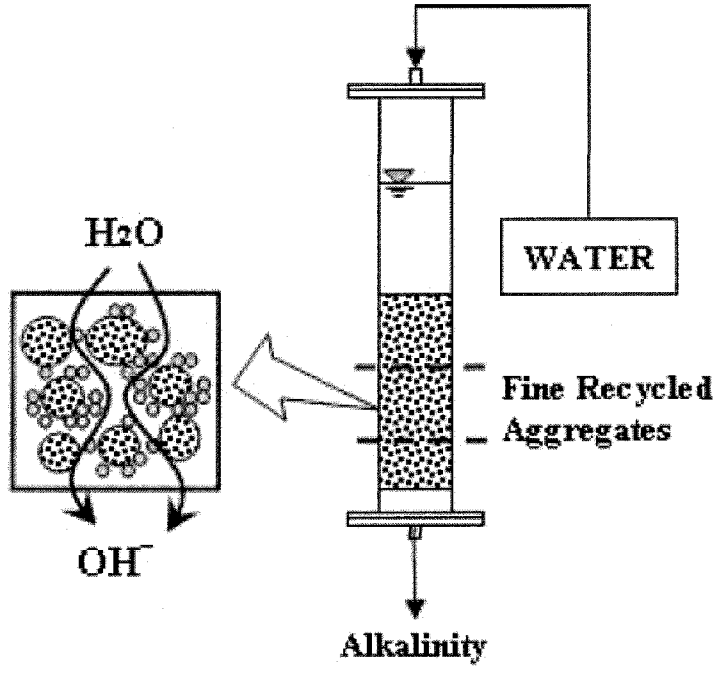
종합적으로 살펴보면 pH 6-7 범위에서는 금속별 용출량은 극히 미미한 값을 보여주고 있으며, 일반적으로 강우 시, 도로 노면 유출수의 pH가 5.61~7.77 로 나타났으며, 이를 바탕으로 보았을 때, 순환 골재에서 용출되는 중금속은 거의 확인할 수 없는 것으로 추정할 수 있으며, 환경적으로 안정한 것으로 확인 되었다.

(나) 동적 Column test를 통한 오염물질 거동 분석

앞서 실험한 결과와 같이 순환골재는 강우에 의해 중금속이 용출될 우려가 거의 없으며, 순환골재의 알칼리 성분에 의해 pH분석을 진행 하였다.

① 실험 방법

순환골재가 도로 기층재로 활용되는 경우, 강우 시, 일부 빗물이 도로 포장 면에 침투하여, 자연 배수 조건으로 순환 골재 충진 층으로 유출될 우려가 있으며, 이에 따라 자연 중력 배수식 조건에서 용출되는 알칼리 성분 양을 산정하기 위해 아래 그림 3. 과 같이 순환골재 충진 Columm 실험 장치 (직경 7cm / 길이 70cm)를 이용하여 충진 순환 골재 1500g에서 25%씩 저감시킨 4가지 충진 조건(1500g, 1125g, 750g, 375g) 하에서 실시하였다.



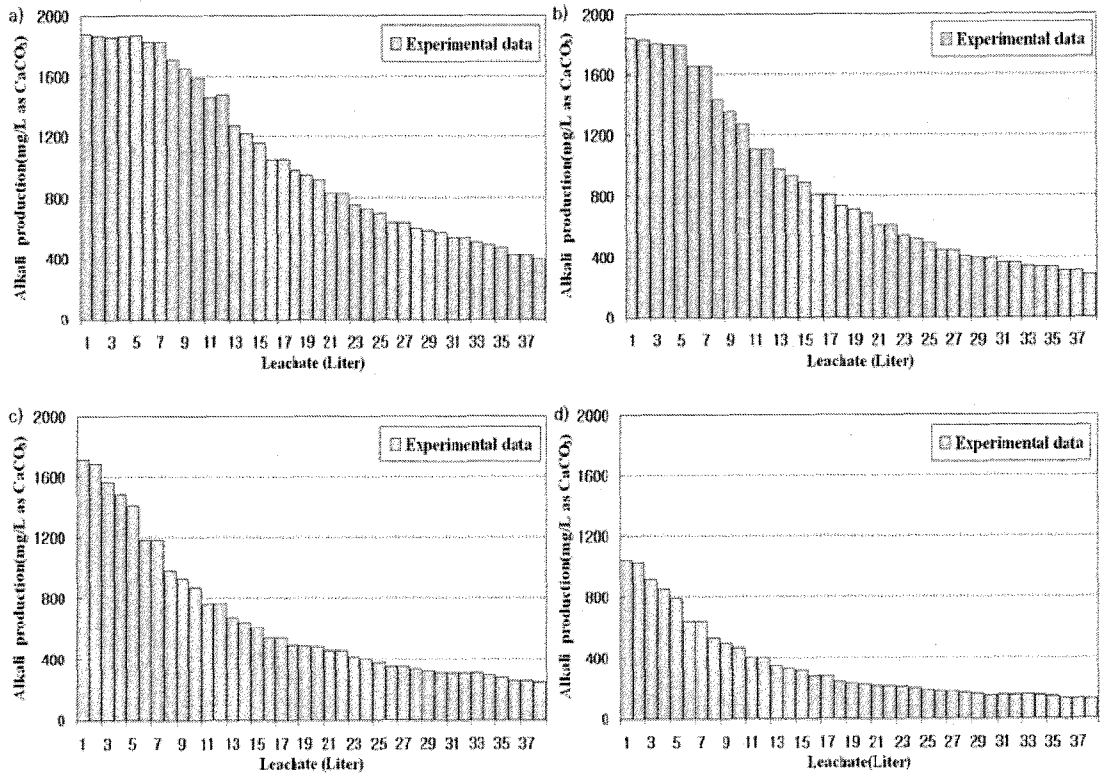

[그림 3.3.15] 순환 골재 충진 컬럼의 용출 실험 모식도

알칼리 용출 방식은 먼저 순환 잔골재를 100% 포화시킨 후 증류수 500ml를 하향류식으로 반복적으로 주입하는 방식으로 진행되었으며, 유입된 물이 완전히 배

수된 뒤에 다음 500ml를 주입하였다. 이때 충진 골재량에 따라 배수시간은 차이가 발생하였으며, 배수가 완료된 샘플의 알칼리도 분석은 앞에서 언급한 알칼리도 측정 방식에 준하였다.

② 실험 결과

순환 골재 충진 컬럼 방식으로 반복적으로 중력 배수된 용출수의 누적 총 알칼리도를 측정한 결과를 [그림 3.3.16]과 같은 거동을 확인할 수 있었다.




[그림 3.3.16] 순환골재 양에 따른 용출 알칼리도 (a) 1500g, (b)1125g, (c)750g, (d)375g

이를 살펴보면 모든 조건에서 초기 최대알칼리도 발생 이후 점차로 발생 알칼리 용출이 감소되다가 최종적으로는 알칼리 용출이 대부분 소진되는 평형기에 이르게 된다. 이때 누적 발생 총 알칼리도는 그림에서 평형기 지점 위의 면적으로 산정이 될 수 있다.

초기 최대 알칼리도 발생에서 80% 저감된 위치까지를 누적 발생 알칼리도 기준으로 설정하여 실험 조건별 누적 발생 총 알칼리도를 산정하였으며, 단위 순환 골

재량 대비 발생 총 알칼리도를 계산하여 <표 3.3.8> 에 나타내었다.

알칼리 용출 누적 총 알칼리도를 순환 골재량으로 나눈 순환 골재 단위 g당 발생 총 알칼리도를 순환 골재의 화학적 지표인 ANP unit (ppm as $CaCO_3$/g)으로 도출하였다. 다양한 투입 순환 골재량 대비 산정 알칼리도는 26.4~28.2 범위에 유사하게 분포됨을 확인할 수 있었다.

본 연구에서 산정된 순환 골재 알칼리도(평균27.3 ppm as $CaCO_3$/g)를 당량계산을 통해서 <식 3.3.5>을 참조하여 CaO 단위로 환산하면(Skousen Jeffrey 외, 1996),순환 골재 1g에서 CaO 15.3ppm이 발생한 것으로 추산할 수 있다. 이는 전체 순환 골재 조성에서 차지하는 CaO 성분 중 약 11%만이 용출된 것을 의미하며, 이는 환경영향에 크게 미치지 않는 수준인 것으로 확인 되었다.

$$Con.ofCaCo_3 \times \frac{Equivalentof\ CaO}{EquivalentofCaCO_3} = Con.of\,CaCo_3 \times 0.56 = Con.ofCaO \quad \text{<식 3.2.5>}$$

<표 3.3.8> 순환 골재의 양화 발생 총 알칼리도의 분석

| 순환 골재의 양 | 초기치 대비 80% 감소 시점까지의 누적 알칼리도 (ppm as $CaCO_3$) | 환산 알칼리도 ,단위 순환 골재량의 총 알칼리도 발생량 (ppm as $CaCO_3$) |
|---|---|---|
| 1500g | 40121 | 26.7 |
| 1125g | 29645 | 26.4 |
| 750g | 21120 | 28.2 |
| 375g | 10461 | 27.9 |

(3) 순환골재를 적용한 아스팔트 혼합물 배합 설계

기층에 천연골재를 대신하여 국내에서 생산되고 있는 순환골재를 이용한 아스팔트 기층을 개발하기 위하여 배합설계를 하고 이를 바탕으로 혼합물을 제작하여 재료의 구조적 평가와 공용성 평가를 실시하였다.

(가) 시험 재료

① 바인더

본 연구에서는 아스팔트 기준의 물리 역학적 및 구조적 특성에 큰 영향을 미치는 바인더에 대한 연구를 실시하였다. 바인더는 종래 AP-3(80-100)이 국내 시장의 주종을 이루고 있었던데 비해, 최근에는 혹서기 도로 파손 피해(소성변형)를 예방하기 위하여 고온에서의 포장성능이 상대적으로 우수하다고 평가되는 AP-5(PG 60-80)의 수요가 점증되고 있다.

따라서, 본 연구에서는 기층(BB-3)에도 적용되고 있는 AP-5(PG 64-22) 바인더를 사용하여 시험을 실시하였다.

② 골 재

골재는 아스팔트 혼합물의 내유동성과 관련하여 가장 큰 영향을 미치는 인자중 하나이다. 특히, 골재의 입도와 입형, 골재입자간의 각 이진 정도 등이 가장 큰 영향을 미친다고 할 수 있다.

본 연구에서는 앞 장에서 언급한 것 과 같이 천연골재를 경기도에 위치한 Y사의 아스팔트 플랜트에서 생산중인 아스팔트용 25mm 쇄석골재를 사용하였고 순환골재는 본 연구에서 명명한 경기도에 소재한 I사의 40mm 순환골재와 충남 D사의 40mm 재생골재를 사용하였다.

(나) 배합 설계

① 골재 치환

배합설계 시 25mm 이상의 골재는 같은 중량의 19 ~ 13mm 골재로 치환하여 배합설계 하는 시방규정(국토환경부)에 따라 <표 3.3.9>과 같이 치환하여 배합설계 하였다.

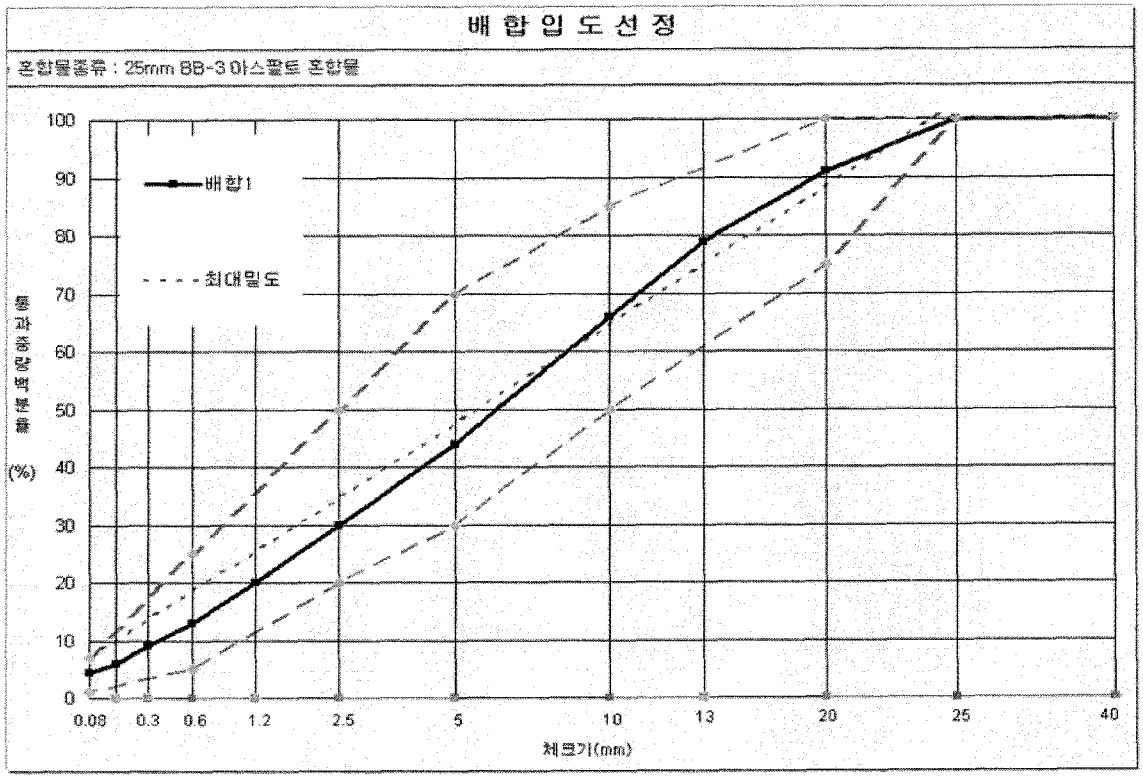
<표 3.3.9> 배합설계 골재 치환

| 골재치수 | 원 비율 | 치환비율 |
|---|---|---|
| 25mm | 9 | 0 |
| 19mm | 12 | 16 |
| 13mm | 13 | 18 |
| 10mm | 22 | 22 |
| #4 | 14 | 14 |
| #8 | 10 | 10 |
| #16 | 7 | 7 |
| #30 | 4 | 4 |
| #50 | 3 | 3 |
| #100 | 3 | 3 |
| 필러 | 3 | 3 |

② 배합입도

앞서 언급한 아스팔트 바인더(AP-5)와 최대입경 25mm 천연 쇄석골재와 순환골재, 재생골재를 사용했으며, 동일한 바인더를 사용하여 국내 시방기준에 대한 차이점을 비교 분석하기 위하여 혼합물에 대한 물성 및 공용성을 평가하였다.

배합입도는 [그림 3.3.17] 와 같이 결과 값의 타당성을 위해 골재 물성 평가 시와 동일한 입도곡선을 이용하여 합성하였고, 혼합물의 명칭은 천연, 순환, 재생으로 명명한다.




[그림 3.3.17] 실내 실험용 혼합 입도

■ 천연 (BB-3) : 최대 입경 25㎜ 천연 쇄석골재 + AP-5

■ 순환 (BB-3) : 최대 입경 25㎜ S등급 순환골재 + AP-5

■ 재생 (BB-3) : 최대 입경 25㎜ F등급 순환골재 + AP-5

③ OAC 추정

<식 3.3.6> 의 OAC 추정 식을 사용하여 최적 아스팔트 함량을 예측한 결과 천연등급의 혼합물은 OAC가 5.265 로 계산 되었으나 흡수율이 높은 순환골재를 사용하는 시료군은 아스팔트 함량이 더욱 높아질 것으로 예상된다.

$$Pb = 0.035a + 0.045b + Xc + F \qquad \text{<식 3.3.6>}$$

여기서,

Pb : 추정 아스팔트 비율

a : 2.5mm(No.8)에 남은 골재중량비

b : 2.5mm를 통과하고 0.075mm(No.200에 남은 골재 중량비

c : 0.075mm를 통과한 골재중량비

X : c - 11~15% 경우 0.15

c - 6~10% 경우 0.18

c - 5% 이하 경우 0.20

F : 0~2% 로서 자료가 없을 경우 0.7~1% 사용

* 사용 수치는 정수 사용

④ 배합표

기층의 공극률 규정인 4 ~ 5 % 를 만족하기 위하여 목표공극률을 5 % 로 하여 마샬배합설계를 이용하여 최적아스팔트 함량을 결정하기 위한 배합표는 <표 3.3.10>, <표 3.3.11>과 같다. 천연골재는 최적아스팔트 함량이 낮을 것으로 예상하여 4.5 ~ 6.5 ± 0.5 % 로 배합하였고, 순환골재와 재생골재는 최적아스팔트 함량이 높을 것으로 예상하여 천연골재보다 0.5 % 높게 시작하여 5.0 ~ 7.0 ± 0.5 % 로 배합하고 각 배합마다 3개씩을 배합하여 평균값을 취하였고, 배합비의 중앙값의 배합으로 이론최대밀도 시험을 하였다.

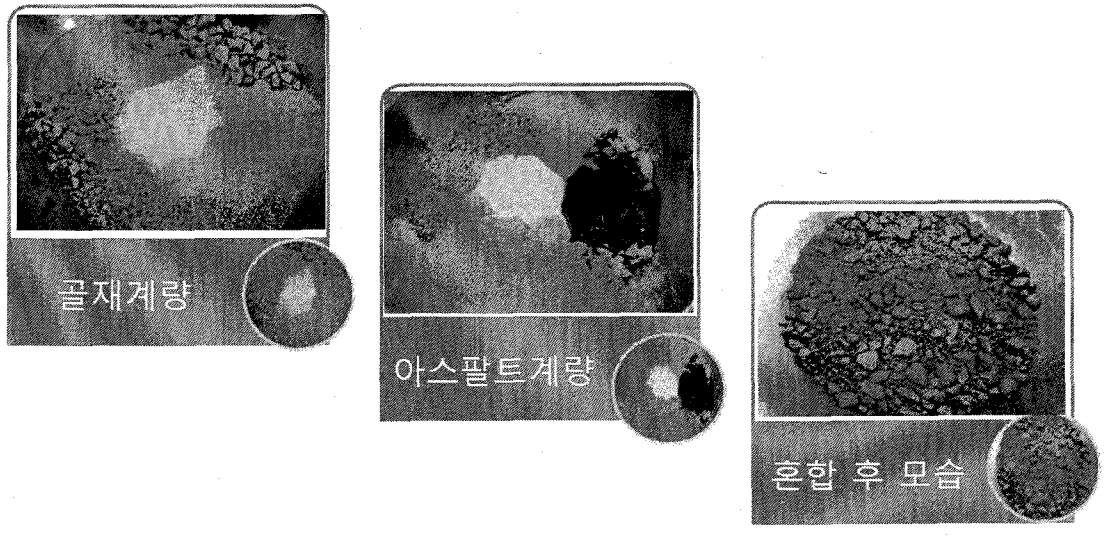
<표 3.3.10> 천연골재 배합표

| 배합비 (25mm) : BB-3 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| AC | 4.5% | 5.0% | 5.5% | 6.0% | 6.5% |
| 25mm | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19mm | 183.4 | 182.4 | 181.4 | 180.5 | 179.5 |
| 13mm | 206.3 | 205.2 | 204.1 | 203.0 | 202.0 |
| 10mm | 252.1 | 250.8 | 249.5 | 248.2 | 246.8 |
| #4 | 160.4 | 159.6 | 158.8 | 157.9 | 157.1 |
| #8 | 114.6 | 114.0 | 113.4 | 112.8 | 112.2 |
| #16 | 80.2 | 79.8 | 79.4 | 79.0 | 78.5 |
| #30 | 45.8 | 45.6 | 45.4 | 45.1 | 44.9 |
| #50 | 34.4 | 34.2 | 34.0 | 33.8 | 33.7 |
| #100 | 34.4 | 34.2 | 34.0 | 33.8 | 33.7 |
| 필러 | 34.4 | 34.2 | 34.0 | 33.8 | 33.7 |
| AC | 54.0 | 60.0 | 66.0 | 72.0 | 78.0 |
| Sum | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |

<표 3.3.11> 순환골재, 재생골재 배합표

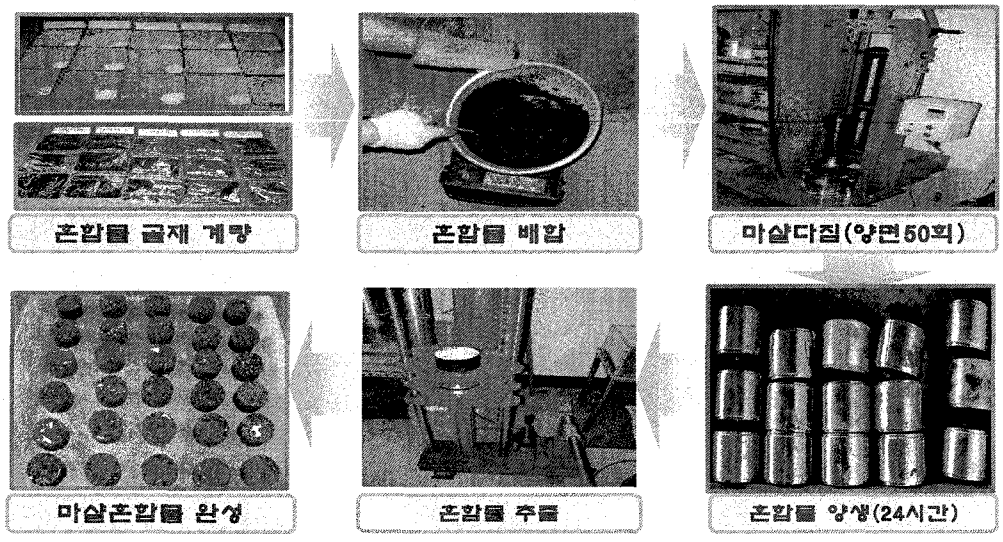
| 배합비 (25mm) : BB-3 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| AC | 5.0% | 5.5% | 6.0% | 6.5% | 7.0% |
| 25mm | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19mm | 182.4 | 181.4 | 180.5 | 179.5 | 178.6 |
| 13mm | 205.2 | 204.1 | 203.0 | 202.0 | 200.9 |
| 10mm | 250.8 | 249.5 | 248.2 | 246.8 | 245.5 |
| #4 | 159.6 | 158.8 | 157.9 | 157.1 | 156.2 |
| #8 | 114.0 | 113.4 | 112.8 | 112.2 | 111.6 |
| #16 | 79.8 | 79.4 | 79.0 | 78.5 | 78.1 |
| #30 | 45.6 | 45.4 | 45.1 | 44.9 | 44.6 |
| #50 | 34.2 | 34.0 | 33.8 | 33.7 | 33.5 |
| #100 | 34.2 | 34.0 | 33.8 | 33.7 | 33.5 |
| 필러 | 34.2 | 34.0 | 33.8 | 33.7 | 33.5 |
| AC | 60.0 | 66.0 | 72.0 | 78.0 | 84.0 |
| Sum | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 |

⑤ 시편 제작




[그림 3.3.18] 아스팔트 혼합물 제작 과정

[그림 3.3.18]은 아스팔트 혼합물을 제작하는 과정이다. 배합설계 시 원칙적으로 기계식 비빔으로 혼합을 해야 하나 1 배치 당 혼합물의 량(1,200g)이 작아 손 비빔으로 배합하였다. 아스팔트의 가열온도는 150~155℃, 골재의 가열온도는 160~170℃, 혼합물 배합온도는 148~154℃, 혼합물 다짐 온도를 136~140℃를 유지하였다.




[그림 3.3.19] 마샬 배합설계 시편 제작 과정

[그림 3.3.19]는 마샬 배합 설계를 위한 시편의 제작 과정이다. 마샬다짐기를 이용해 천연골재 및 순환골재 혼합물 모두 기층용으로 양면 75회 다짐을 실시해 시험시편을 제작하였다. 목표 공극률을 만족하는 최적 아스팔트 함량(Optimum Asphalt Content, 이하 OAC)을 결정하기 위하여 각 혼합물에 대하여 <표 3.3.10>, <표 3.3.11> 과 같이 바인더의 함량을 변화 시키면서 배합 당 바인더 함량 당 최소 3개씩, 시료군 당 이론최대밀도 3개씩, 총 54개 시편으로 배합설계를 실시하였다.

⑥ 이론최대밀도

아스팔트 혼합물의 이론 최대 밀도(KS F 2366, ASTM D 2041)는 다음 [그림 3.3.20]과 같은 실측을 통해 결정한다. 천연등급은 4.5%~6.5%까지 순환골재와 재생골재는 5.0%~7.0%까지 아스팔트 함량을 변화시키면서 제조된 혼합물에 대하여

이론최대밀도 시험을 수행하였다. <표 3.3.12> 와 같이 천연에서는 바인더 함량 5.32%에서 공극률 5%를 나타냈고, 순환은 5.80%에서, 재생은 6.93%에서 각각 공극률 5%를 나타내었다.

각 혼합물 및 바인더 함량에 따라 각각 3개의 시편을 사용하였으며 상이한 값을 제외한 값을 평균을 취하여 계산하였다.



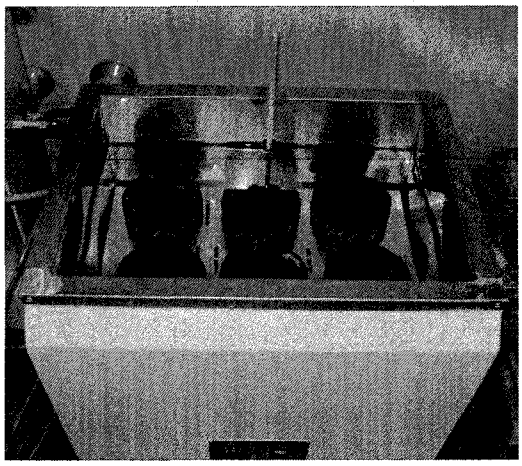

[그림 3.3.20] 이론최대밀도 측정 과정

<표 3.3.12> 바인더 함량에 따른 공극률 변화

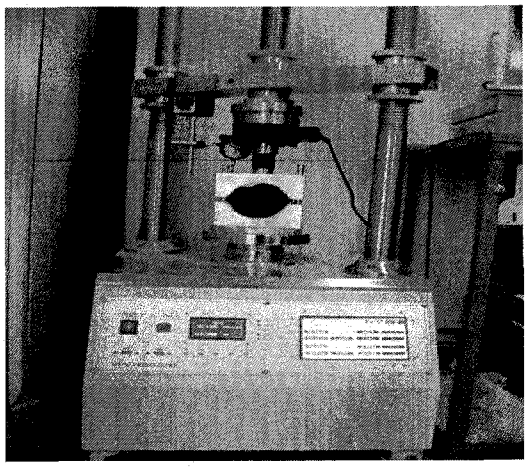
| 혼합물 종류 | 바인더 함량(%) | 이론 최대밀도 $G_{mm}$(%) | 겉보기 비중 $G_{mb}$(%) | Air Voids(%) $(1-\frac{G_{mb}}{G_{mm}})\times 100(\%$ |
|---|---|---|---|---|
| **천연골재** | 4.5 | 2.523 | 2.298 | 8.91 |
| | 5.0 | 2.504 | 2.333 | 6.81 |
| | 5.5 | 2.485 | 2.387 | 3.94 |
| | 6.0 | 2.467 | 2.394 | 2.96 |
| | 6.5 | 2.448 | 2.392 | 2.30 |
| | **5.32** | **2.492** | **2.367** | **5.00** |
| **순환골재** | 5 | 2.393 | 2.236 | 6.56 |
| | 5.5 | 2.376 | 2.247 | 5.44 |
| | 6 | 2.360 | 2.247 | 4.77 |
| | 6.5 | 2.344 | 2.287 | 2.44 |
| | 7.0 | 2.328 | 2.305 | 0.99 |
| | **5.80** | **2.367** | **2.249** | **5.00** |
| **재생골재** | 5 | 2.285 | 2.039 | 10.75 |
| | 5.5 | 2.270 | 2.049 | 9.74 |
| | 6 | 2.256 | 2.075 | 8.02 |
| | 6.5 | 2.242 | 2.094 | 6.61 |
| | 7.0 | 2.228 | 2.110 | 5.30 |
| | **6.93** | **2.230** | **2.119** | **5.00** |

⑦ 겉보기 밀도 및 마샬 안정도 시험

천연과 순환, 재생 혼합물 시편의 겉보기 밀도(KS F 2446, ASTM D 2726) 및 마샬안정도 시험(KS F 2377, AASHTO T 245, AS 2891.5)를 수행하였다. 다음 [그림 3.3.21], [그림 3.3.22]는은 실험 장비의 모습이다. 국내 아스팔트 시방서의 아스팔트 콘크리트 기층의 시방기준(BB-3)에 따라 각 혼합물의 특성을 평가 하였다.



[그림 3.3.21] 밀도측정(온도25℃)



[그림 3.3.22] 마샬안정도 시험기

공시체의 겉보기 밀도 시험 결과를 통해 아스팔트 혼합물의 공극률, VMA, 포화도를 계산 하였고, 마샬안정도 시험을 통해 시편의 안정도와 흐름값을 계산 하였다. 목표 공극률 5%의 아스팔트 함량의 혼합물의 특성치와 각 시료군의 특성치를 정리한 결과는 <표 3.3.13>, <표 3.3.14>, <표 3.3.15> 와 같다.

<표 3.3.13> 천연등급 시료군의 특성치

| 천연골재 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 아스팔트함량 / 특성치 | 4.5 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 |
| 높이 | 65.9 | 63.9 | 59.6 | 60.9 | 61.2 |
| 실측밀도 | 2.298 | 2.333 | 2.387 | 2.394 | 2.392 |
| 이론밀도 | 2.523 | 2.504 | 2.485 | 2.467 | 2.448 |
| AP 용적 | 10.04 | 11.33 | 12.75 | 13.94 | 15.1 |
| 공극률 | 8.91 | 6.81 | 3.94 | 2.96 | 2.3 |
| VMA | 19.21 | 18.4 | 16.96 | 17.17 | 17.66 |
| 포화도 | 53.63 | 63.01 | 76.74 | 82.78 | 86.96 |
| 안정도 | 869 | 1119 | 1390 | 1358 | 1381 |
| 흐름값 | 39 | 41 | 33 | 30 | 33 |

<표 3.3.14> 순환골재 시료군의 특성치

| 순환골재 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 아스팔트함량 / 특성치 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 |
| 높이 | 66.7 | 66.4 | 64.8 | 64.3 | 63.3 |
| 실측밀도 | 2.236 | 2.247 | 2.247 | 2.287 | 2.305 |
| 이론밀도 | 2.393 | 2.376 | 2.36 | 2.344 | 2.328 |
| AP 용적 | 10.85 | 12 | 13.09 | 14.43 | 15.67 |
| 공극률 | 6.56 | 5.44 | 4.77 | 2.44 | 0.99 |
| VMA | 16.06 | 16.09 | 16.52 | 15.51 | 15.29 |
| 포화도 | 59.18 | 66.18 | 71.1 | 84.26 | 93.53 |
| 안정도 | 1095 | 1204 | 1164 | 1277 | 1327 |
| 흐름값 | 33 | 31 | 33 | 33 | 33 |

<표 3.3.15> 재생골재 시료군의 특성치

| 재생골재 | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| 아스팔트함량 / 특성치 | 5 | 5.5 | 6 | 6.5 | 7 |
| 높이 | 72.8 | 71.2 | 70.9 | 70 | 69.6 |
| 실측밀도 | 2.039 | 2.049 | 2.075 | 2.094 | 2.11 |
| 이론밀도 | 2.285 | 2.27 | 2.256 | 2.242 | 2.228 |
| AP 용적 | 9.9 | 10.94 | 12.09 | 13.21 | 14.34 |
| 공극률 | 10.75 | 9.74 | 8.02 | 6.61 | 5.3 |
| VMA | 15.65 | 15.68 | 15.08 | 14.77 | 14.58 |
| 포화도 | 31.32 | 37.92 | 46.79 | 55.26 | 63.63 |
| 안정도 | 1656 | 1826 | 1880 | 1905 | 1810 |
| 흐름값 | 58 | 50 | 54 | 58 | 60 |

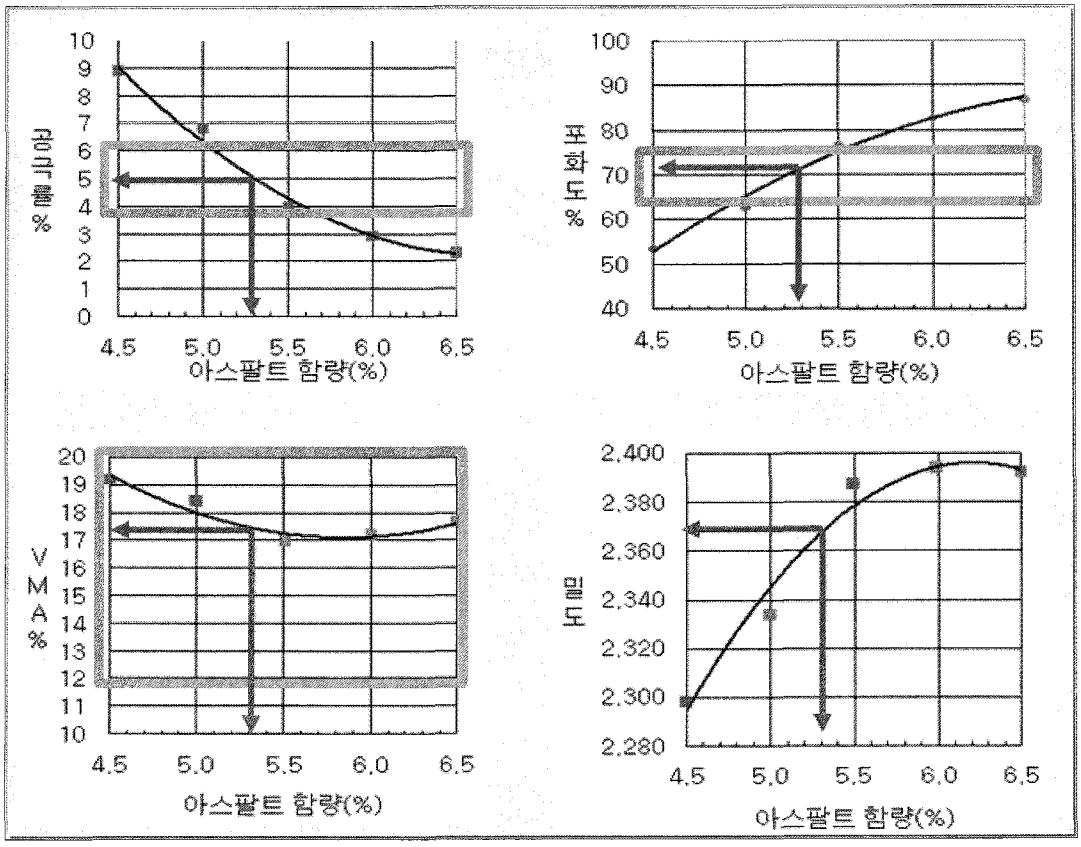
⑧ Optimum Asphalt Content(OAC)

각 시료군의 아스팔트 함량과 공극률, 포화도, VMA, 밀도의 관계를 나타내면 다음 [그림 3.3.23], [그림 3.2.23], [그림 3.2.24]와 같다. [그림 3.3.24]는 도로포장 시방기준과 각 시료군의 특성치를 비교한 것이다.

목표 공극률 5%의 아스팔트 함량에서의 각 시료군의 특성치를 시방기준과 비교

했을 때, 안정도는 천연, 순환, 재생 순으로 1295kg, 1189kg, 1849kg 으로 모두 만족하였고, VMA 또한 천연, 순환, 재생 순으로 17.5%, 16.4%, 14.2% 로 기준치인 12% 이상을 만족하였다.

흐름값은 천연, 순환, 재생 순으로 37, 32, 70 으로 천연등급과 S등급은 만족하였으나 F등급은 크게 벗어난 결과를 나타내었다. 포화도의 경우도 천연, 순환, 재생 순으로 71.5%, 69.1%, 63.9%로 재생골재만이 통과하지 못하였다.




[그림 3.3.23] 천연골재의 배합설계 그래프

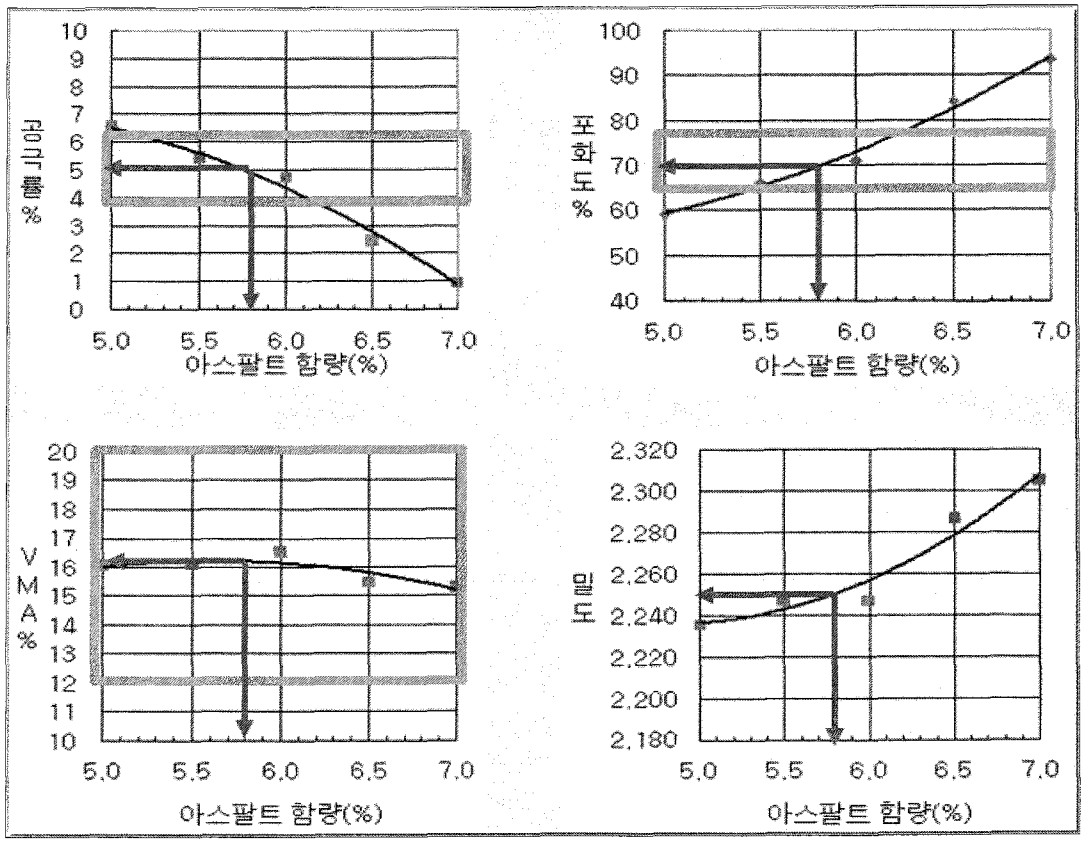
| 천연골재 | | |
|---|---|---|
| 구분 | 기준 | 시험결과 |
| OAC(%) | | 5.32 |
| 공극율(%) | 4~6 | 5.00 |
| 안정도(kg) | 500 | 1295 |
| 흐름값 | 10~40 | 37 |
| 포화도(%) | 65~75 | 71.5 |
| VMA(최소%) | 12 | 17.5 |
| 밀도(g/cm2) | | 2.367 |

| 순환골재 | | |
|---|---|---|
| 구분 | 기준 | 시험결과 |
| OAC(%) | | 5.80 |
| 공극율(%) | 4~6 | 5.00 |
| 안정도(kg) | 500 | 1189 |
| 흐름값 | 10~40 | 32 |
| 포화도(%) | 65~75 | 69.1 |
| VMA(최소%) | 12 | 16.4 |
| 밀도(g/cm2) | | 2.247 |

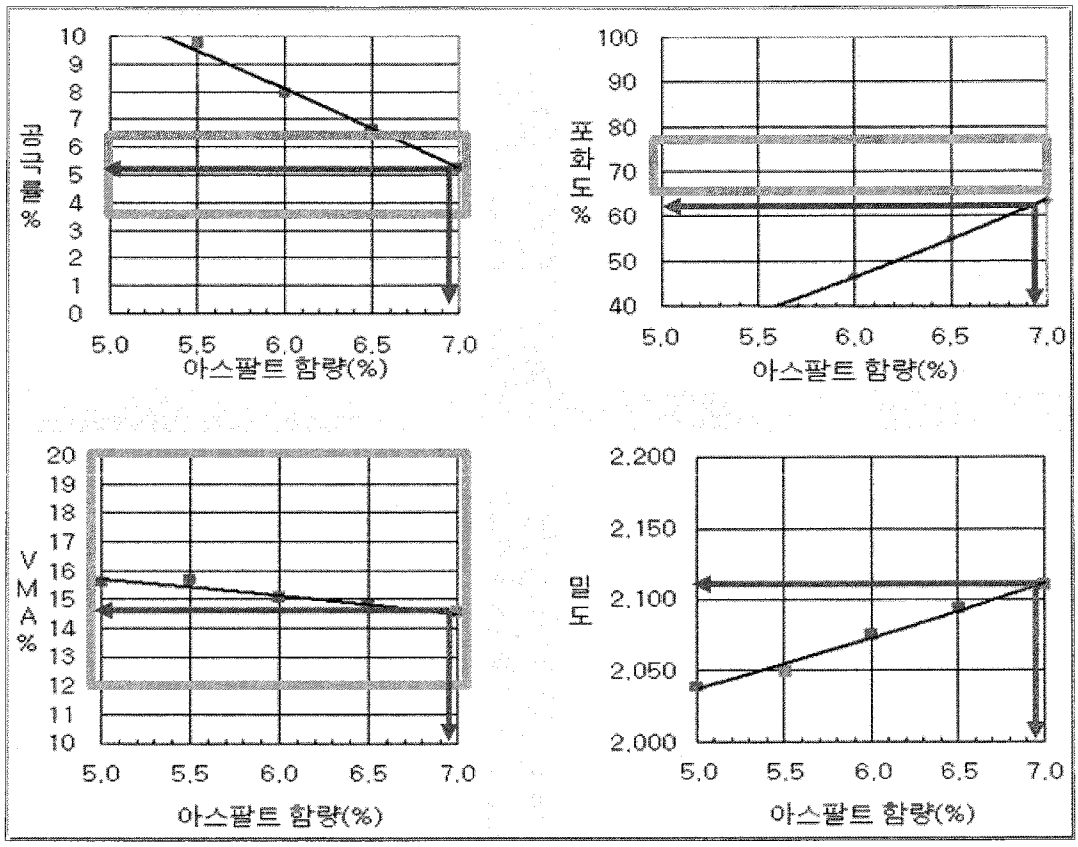
| 재생골재 | | |
|---|---|---|
| 구분 | 기준 | 시험결과 |
| OAC(%) | | 6.93 |
| 공극율(%) | 4~6 | 5.00 |
| 안정도(kg) | 500 | 1849 |
| 흐름값 | 10~40 | 70 |
| 포화도(%) | 65~75 | 63.9 |
| VMA(최소%) | 12 | 14.2 |
| 밀도(g/cm2) | | 2.118 |

[그림 3.3.24] 도로포장 시방기준과 시료군 특성치 비교

배합설계 시 시방기준치를 만족하지 못하면 골재의 입도를 바꾸어 다시 배합설계해야하나, 골재의 입도를 변화시키게 되면, 상대적인 비교 평가를 할 수 없기 때문에, 재생등급의 골재 입도를 변화시키지 않고, 나머지 실험을 진행하였다.




[그림 3.3.25] 순환골재의 배합설계 그래프




[그림 3.3.26] 재생골재의 배합설계 그래프

## 나. 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조 성능 및 공용성 평가

새로운 혼합물을 개발함에 있어 최종 목표는 실제 현장에 새로운 혼합물을 시공하였을 때 만족할 만한 공용성을 가지는 혼합물을 개발하는데 있다.

따라서, 현장 시험시공은 새로운 혼합물의 공용성을 평가하는데 있어 필수적인 과정이라 할 수 있다. 그러나 현장 시험시공의 경우 외부 환경조건이나 교통조건의 제약으로 시험시공을 실시하기가 어려우며, 공용성을 확인하기 위해서는 적어도 4년 내지 5년의 장기적인 시간이 필요한 단점이 있다.

실내시험을 통한 공용성 평가는 단기간에 가능하며, 시험조건을 동일하게 할 수 있는 장점이 있는 반면, 실제 현장의 교통 및 기후조건을 실내에서 완벽하게 모사할 수 없다는 문제점이 있다. 아스팔트 혼합물의 공용성을 평가하는데 있어 가장 기본적인 접근법으로는 실내시험을 통하여 다양한 종류의 혼합물에 대한 피로손

상과 소성변형 등에 대한 저항성 등을 비교 평가하고 현장시험시공을 통하여 실내 시험의 결과를 검증하는 것이 가장 일반적이다.

따라서, 본 연구에서는 도로 포장에 적용하기 위해 개발한 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물과 국내 기층에 주로 적용되었던 BB-3 입도용 기층 혼합물의 실내 시험을 통하여 균열저항, 고온영구변형저항 등의 구조적 평가와 공용성 평가를 하고자 한다.

(1) 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조 성능 I -동탄성계수 측정

(가) 시편 제작

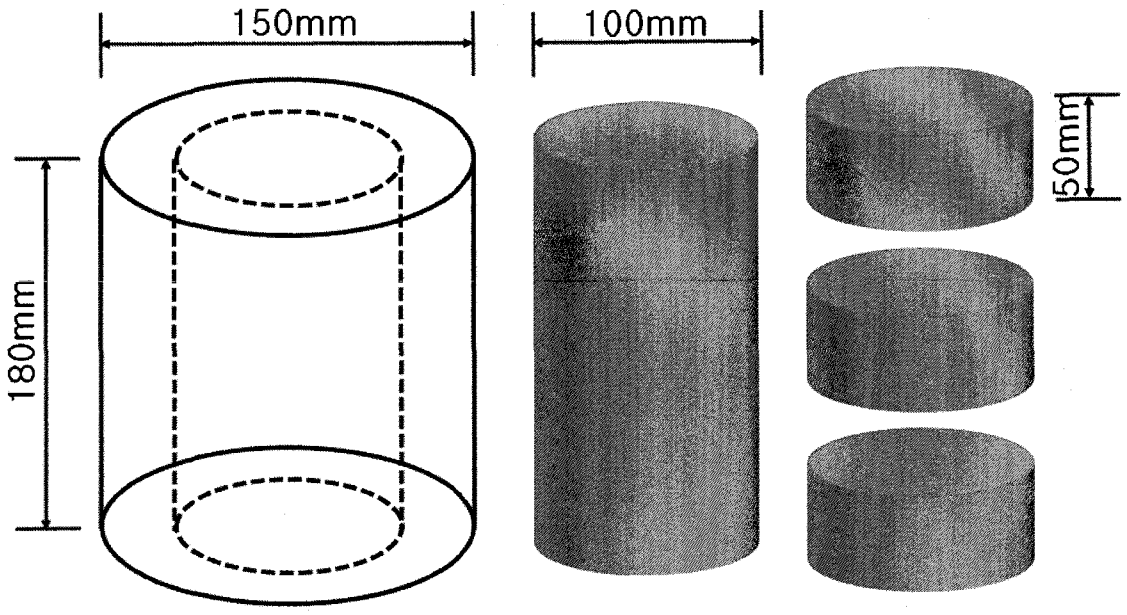
본 연구의 실내 구조적 평가를 위한 공시체 제작에 사용되는 모든 아스팔트 혼합물은 아스팔트 믹서를 사용한 기계식 비빔으로 혼합하였다.




[그림 3.3.27] 선회다짐기를 이용한 실험용 시편 제작 과정

구조 성능 평가에 사용될 시편은 다음 [그림 3.3.27]의 선회다짐기(SGC : Superpave Gyratory Compactor)를 사용하여 제작하였다. 규정은 <KS F 2377 선회다짐기를 이용한 아스팔트 혼합물의 다짐 방법 및 밀도 시험 방법> 을 따랐다. 다짐에는 수퍼페이브(Asphalt Institute 1995)에서 제안한 방식으로 다짐각은 1.25°, 압축응력은 600±18 kPa, 다짐속도는 분당 30회를 적용하였다.

시편은 [그림 3.3.28] 과 같이 직경 150mm, 높이 180mm의 시편을 제작하여 직경 100mm로 coring 한 후 양 끝단을 15mm cutting 후 다시 50mm 씩 cutting 하여 3개씩 제작하여 사용하였다.




[그림 3.3.28] 선회다짐기를 이용한 시편 상세도

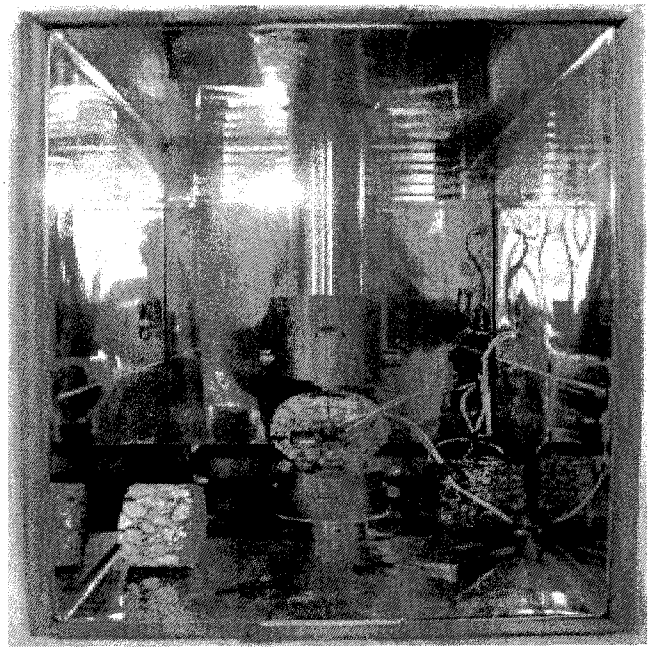
이때 선회다짐기로의 다진 시편의 공극률이 마샬배합설계로 제시한 최종 목표 공극률이 나타나지 않아 몇 번의 새로운 시편의 제작 후 목표 공극률 찾을 수 있었다. 또한 코어채취 후 공극률과 시험용인 10mm 커팅 후의 공극률 또한 차이가 나타는 것으로 목표 공극률 5%에 해당하는 시편을 최종 제작하여 시험을 실시하였다.

(나) 시험 방법

① 동탄성계수 측정 시험(Dynamic Modulus Test)

실내시험과 포장가속시험에 적용될 바인더와 입도의 적정성을 평가하기 위하여 동탄성계수 측정 시험(Dynamic Modulus Tests)을 수행한다. 시험에 사용된 장비는 Servo-Hydraulic Closed Loop 시스템의 장비로서 MTS사의 모델 810(10Ton)이다. 모든 시험은 간접인장방식에 의해 수행되었고, 시험시편을 장비에 거치한

광경은 [그림 3.3.29]와 같다. 그림에서 보는 바와 같이 시편의 상부 및 하부에 하중을 제하 할 수 있는 재하 장치는 LTPP(2001)에서 제안한 방식으로 제작하여 사용하였다.

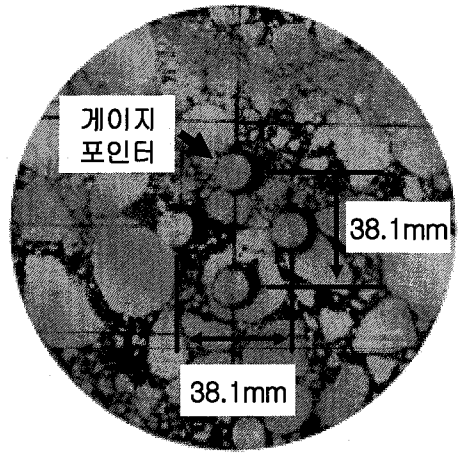


[그림 3.3.29] 시험 모습

시편에 발생되는 수평 및 수직 변위를 측정하기 위하여 미국 Epsilon Technology사에서 개발한 Strain 게이지 방식의 Extensometer를 시편의 앞과 뒤에 부착하여 변위를 측정하였다. 시험에 앞서 시편의 중심을 기준으로 [그림 3.3.30]에서 보는 바와 같이 수평과 연직선을 따라 게이지 길이 38.1㎜(1.5inch) 떨어진 위치에 게이지 부착을 위한 철제 포인터(point)를 에폭시를 사용하여 부착하였다. 철제 포인터 위에 수평 및 수직 Extensometer 1개 조씩을 설치하여 (포인터와 Extensometer는 자석 힘으로 고정됨) 변위를 측정하였다.

게이지 길이의 경우에는 이론적으로 길이가 짧을수록 바람직하나 골재의 입경을 고려해야하기 때문에 Buttlar and Roque(1994)는 25.4㎜를 제안하였고 Kim(2001)은 50.8㎜를 제안하였다. 게이지 길이 25.4㎜의 경우 최대입경 19㎜ 골재를 사용한 혼합물의 경우 시편의 중앙에 큰 골재가 분포할 경우 상대적으로 변위가 적게 발생할 우려가 있고 반대로 50.8㎜의 경우에는 시편의 단부에 응력집중

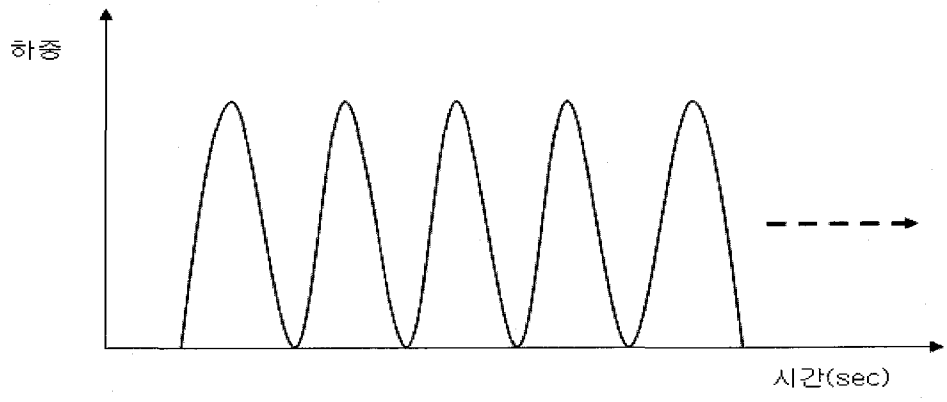
현상이 발생해 이를 완전히 벗어나기 힘든 것으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 25.4㎜와 50.8㎜의 중간인 38.1㎜의 게이지 길이를 적용하였다.




[그림 3.3.30] 게이지 포인터 설치(순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물)

시편의 앞면과 뒷면 각각으로부터 수평 및 수직 Extensometer 로부터 읽어 들이는 4개의 Voltage 신호를 하중 및 Stroke 변위의 신호와 함께 MTS DAQ 장비에 저장하였다.

동탄성계수 측정시험은 [그림 3.3.31] 에서 보는바와 같이 각 주기의 Haversine 파형의 하중을 재하 하여 실시하였다.




[그림 3.3.31] 동탄성계수 하중재하 형태

동탄성계수 시험은 3개의 다른 온도 및 4개의 하중주파수를 이용하여 <표

3.3.16>과 같은 시험온도, 하중조건 및 변형량을 적용하였다. 시험에서 이용된 응력상태에서 선형응력상태는 시료에 하중이 재하 되었을 경우 선형거동특성을 주로 평가하게 된다. 동탄성계수 측정시험은 비파괴시험이므로 고온에서의 특별한 상태가 아니면 같은 시편을 이용하여 일련의 시험을 순차적으로 수행한다. 시험은 저온에서 고온으로, 높은 하중파수에서 낮은 하중주파수의 형태로 변환하여 수행한다. 이러한 온도-하중주파수 변이시험은 시험 중 발생하는 시험시편의 손상을 최소할 수 있는 시험순서이다. 주어진 시험온도에서 하중주파수의 변환은 다음 단계의 하중주파수를 적용한 시험까지 약 1시간 이상의 휴지기 시간을 적용한 후 시험하였다.

<표 3.3.16> 동탄성계수 시험항목 및 시험조건

| 시험온도(℃) | 주파수 (Hz) | 한 Cycle당 진폭(με) | 누적 변형량(με) |
|---|---|---|---|
| 5, 15, 30 | 20, 10, 0.5, 0.1 | 40~50 | 120~150 |

② 동탄성계수의 산정방법

본 연구에서는 간접인장 방식에 의한 동탄성계수 측정 시험 수행 시 발생되는 데이터를 분석하기 위하여 National Instrument에서 개발한 Labview 프로그램을 사용하여 데이터 분석을 실시하였다.

동탄성계수는 반복응력을 반복변형률로 나누어 계산한다. 선형 탄성재료의 경우 D(t)=1/E(t)가 성립하므로 반복변형률은 <식 3.2.7>와 같이 제안하였다.

$$|E^*| = \frac{\sigma_x - \nu\sigma_y}{\varepsilon_x} \qquad \text{<식 3.3.7>}$$

시편의 표면 중심에 발생되는 수평 변형률은 다음 식 <식 3.2.8> 과 같고 수평 및 수직 응력은 <식 3.2.9>, <식 3.2.10> 과 같다(한국형 포장 설계법 개발 2003).

$$\varepsilon_x = H(t)\frac{C_1 + C_2\upsilon}{C_3 + C_4\upsilon} \times C_{BX} \qquad \text{<식 3.3.8>}$$

$$\sigma_x = \frac{2P}{\pi dt} \times C_{SX} \qquad \text{<식 3.3.9>}$$

$$\sigma_y = \frac{-6P}{\pi dt} \times C_{SY} \qquad \text{<식 3.3.10>}$$

여기서,

$$C_{BX} = 1.03 - 0.189\left(\frac{t}{d}\right) - 0.081(\upsilon) + 0.089\left(\frac{t}{d}\right)^2,$$

$$C_{SX} = 0.948 - 0.01114\left(\frac{t}{d}\right) - 0.2693(\upsilon) + 1.436\left(\frac{t}{d}\right)(\upsilon)$$

$$C_{SY} = 0.901 + 0.138(\upsilon) + 0.287\left(\frac{t}{d}\right) - 0.251(\upsilon)\left(\frac{t}{d}\right) - 0.264\left(\frac{t}{d}\right)^2$$

$$\upsilon(t) = -\frac{a_1 H(t) + b_1 V(t)}{a_2 H(t) + b_2 V(t)} \quad \left(0.20 \le \frac{t}{d} \le 0.65,\ 0.05 \le \upsilon \le 0.50\text{일 때}\right) \qquad \text{<식 3.3.11>}$$

여기서,

υ = 포아송비,
GL = gauge length ( 0.0381m for 0.1016m diameter ),
P = 연직하중 (KN),
t = 시편의 두께 (m),
d = 시편 직경 (m),
H(t) = 수평 변위 (m),
V(t) = 수직 변위 (m).

<표 3.3.17> 포아송비 계산을 위한 계수 값

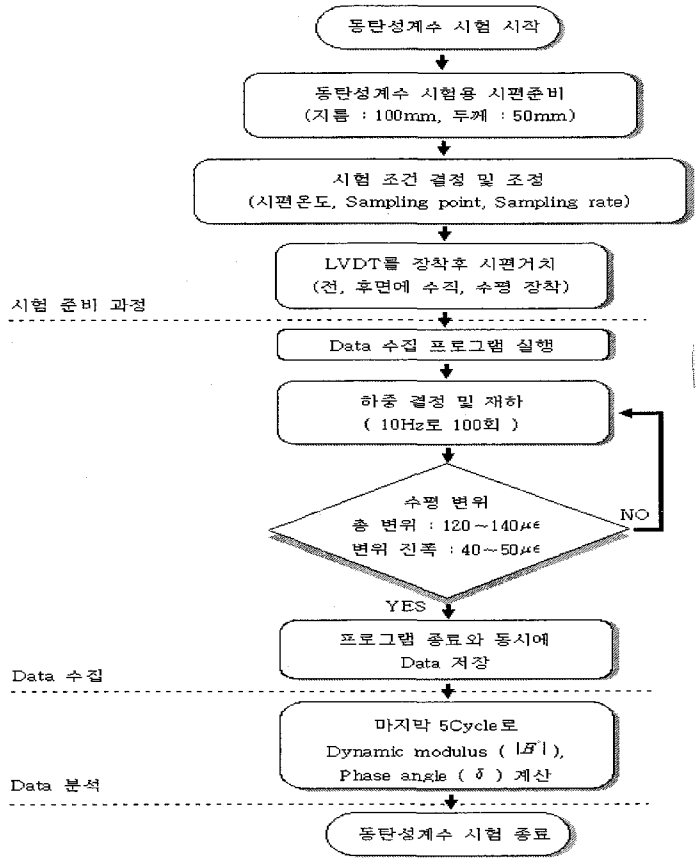
| 시편직경 (m) | 게이지 간격(m) | $a_1$ | $a_2$ | $b_1$ | $b_2$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.1016 | 0.0254 | 3.3853 | 1.0791 | 1.0000 | 3.1236 |
| 0.1016 | 0.0381 | 3.8487 | 1.1780 | 1.0000 | 3.2172 |
| 0.1016 | 0.0508 | 4.5720 | 1.3137 | 1.0000 | 3.3353 |
| 0.1524 | 0.0254 | 3.1689 | 1.0363 | 1.0000 | 3.0554 |
| 0.1524 | 0.0381 | 3.3631 | 1.0818 | 1.0000 | 3.0996 |
| 0.1524 | 0.0508 | 3.6486 | 1.1459 | 1.0000 | 3.1589 |

<표 3.3.18> 시편 중앙에서의 수평 변형률 계산을 위한 계수 값

| 시편직경 (m) | 게이지 간격 (m) | $C_1$ | $C_2$ | $C_3$ | $C_4$ |
|---|---|---|---|---|---|
| 0.1016 | 0.0254 | 12.6181 | 37.0507 | 0.2906 | 0.9077 |
| 0.1016 | 0.0381 | 12.6181 | 37.0507 | 0.3975 | 1.2788 |
| 0.1016 | 0.0508 | 12.6181 | 37.0507 | 0.4710 | 1.5708 |
| 0.1524 | 0.0254 | 8.4121 | 24.9981 | 0.2041 | 0.6235 |
| 0.1524 | 0.0381 | 8.4121 | 24.9981 | 0.2930 | 0.9081 |
| 0.1524 | 0.0508 | 8.4121 | 24.9981 | 0.3683 | 1.1635 |

③ 동탄성계수 측정 시험을 위한 데이터 수집 및 해석 프로그램

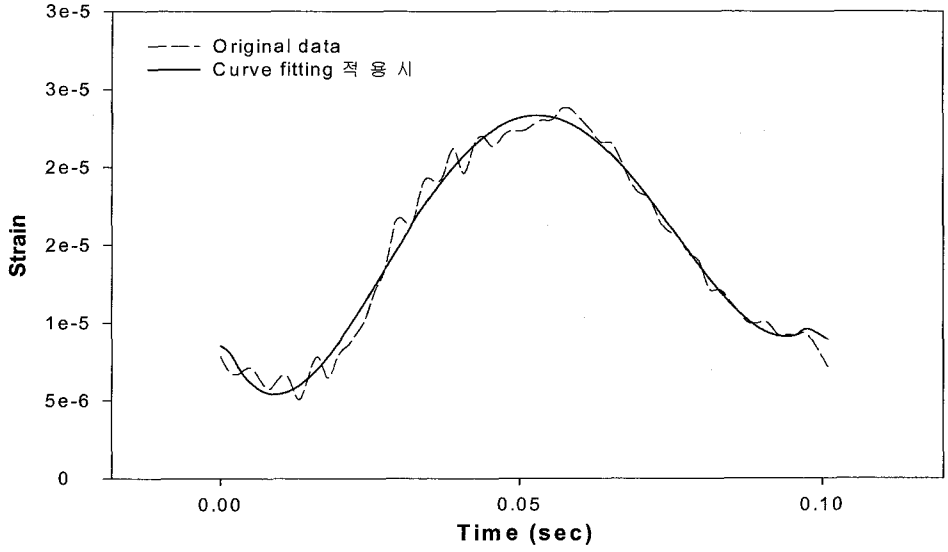
본 연구에서는 간접인장 방식에 의한 동탄성계수 측정 시험 수행 시 발생되는 데이터를 적절한 시간에 적절한 데이터 수집비율(sampling rate)로 저장하기 위하여 National Instrument에서 개발한 LabView 프로그램을 사용하여 데이터 수집 프로그램을 이용하였다. 동탄성계수 측정 시험의 경우 시험시작부터 데이터 수집과 해석의 전 과정을 순차적으로 나타내면 [그림 3.3.32]와 같다.




[그림 3.3.32] 동탄성계수 시험 및 해석 절차(세종대)

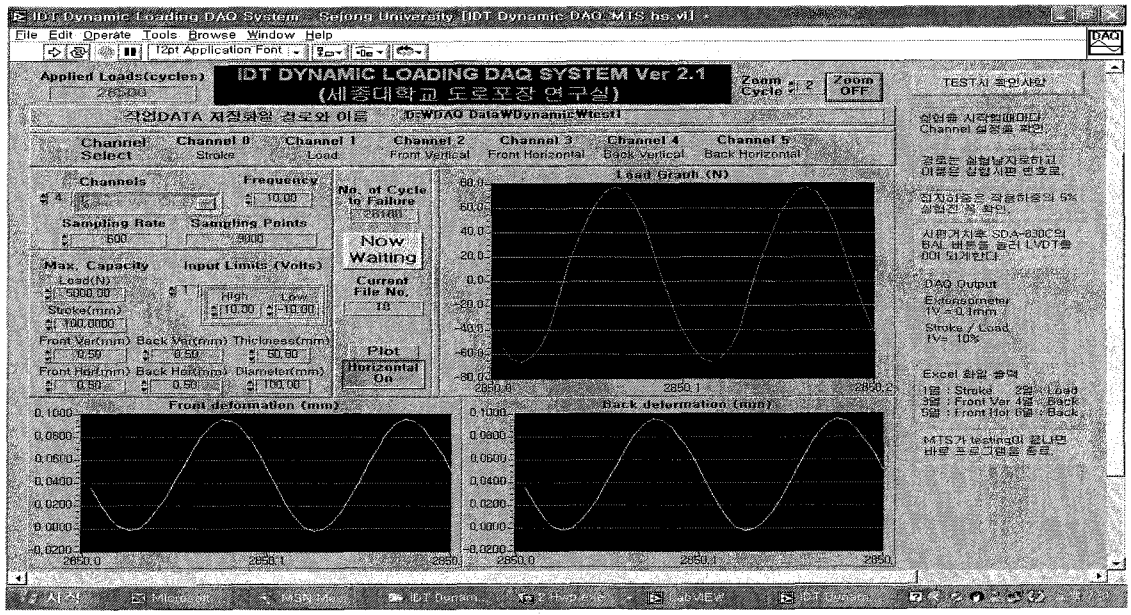
동탄성계수 시험에서 발생되는 변위는 위의 크리프시험과 같은 변화를 보이지만 이 시험은 각 사이클마다의 Peak점 변화를 체크하여야 하기 때문에 동일한 Sampling Rate(SR)가 필요하고 위상각의 정확도를 위해 600point/sec의 SR을 사용하여 데이터를 수집하였다.

동탄성계수를 계산하기 위해서는 응력과 변형률의 진폭을 정확히 산정하여야 하고 위상각을 계산하기 위해서는 응력과 변형률의 최고점의 시간을 정확히 산정하여야 하는데 [그림 3.3.33]의 예에서 보는바와 같이 변형률의 경우 노이즈가 상당히 존재하고 있기 때문에 단순히 프로그램 상에서 한 사이클의 데이터에서 최고 및 최저점을 찾아 이를 진폭과 지연시간으로 하게 되면 오차가 많이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 이러한 오차를 줄이기 위하여 커브 핏팅(curve fitting) 기법을 적용하여 노이즈의 영향을 최소화한 다음 동탄성계수와 위상각을 계산하였다.




[그림 3.3.33] 측정한 데이터와 커브 핏팅을 거친 후의 변형률 데이터 비교

동탄성계수와 위상각의 계산은 마지막 5 cycle 데이터의 평균값을 사용하였고, 이러한 전 과정을 자동으로 처리하기 위하여 [그림 3.3.34]와 같이 해석 프로그램을 이용하였다.




[그림 3.3.34] 동탄성계수 데이터의 해석 프로그램(세종대학교, 도로포장 연구실)

(다) 동탄성계수 측정 시험 결과 및 분석

천연등급과 S등급의 시편으로 동탄성계수 측정 시험을 수행하였다. 각 시편에 온도와 주기를 변화하여 시험을 수행하였으며, 하중주파수 및 결과측정범위를 <표 3.2.19> 에 나타내었다. 해석의 정확성을 위해서 Cycle당 600개 이상의 data point를 적용하였다.

<표 3.3.19> 하중주파수 및 결과측정범위

| 하중주파수(Hz) | 반복회수(Cycle) | 측정범위(Cycle) |
|---|---|---|
| 20 | 200 | 95~100 |
| 10 | 200 | 95~100 |
| 0.5 | 20 | 15~20 |
| 0.1 | 20 | 15~20 |

시험으로부터 결정되는 동탄성계수는 시험온도 및 하중의 조합에 따라 각각의 값을 얻을 수 있다. 이것을 시간-온도 중첩원리(Time-Temperature Superposition Principle)를 적용하여 마스터커브(Master Curve)를 작성할 수 있는데 마스터커브는 특정 아스팔트 혼합물의 하중과 온도와의 상관관계를 규명할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 하중주파수와 온도의 상관관계를 이용하는 Arrhenius방법을 적용하여 마스터커브를 작성하였다.

Arrhenius방법은 마스터커브를 만들기 위해서 하중시간에 따른 shift factor의 결정이 필요하다. reduced frequency(fr)를 이용하여 각각의 하중주파수(f)를 나누어 주면 되는데 <식 3.3.12> 은 reduced frequency를 나타낸 것이다. 여기서 a(T)는 주어진 온도로의 shift에 필요한 변환량을 의미한다.

$$f_r = \frac{f}{a(T)} \quad or \quad \log(F_r) = \log(f) - \log[a(T)] \qquad <식\ 3.3.12>$$

일반적으로 저온 및 상온에서의 아스팔트 혼합물의 하중 응답특성은 지수 함수형태를 이용하고, 고온에서의 특성 평가 시에는 다중함수를 이용한다. Pellinen(2001)

에 의해 제안된 새로운 방법은 seignioral function을 이용하여 마스터커브를 결정하는 것으로, 이 함수는 측정된 동탄성계수를 비선형 최소자승법을 이용하여 처리하며 기본 방정식은 <식 3.3.13> 와 같다.

$$\log(|E^*|) = \delta + \frac{\alpha}{1+\exp^{\beta+\gamma\log(t_r)}} \qquad \text{<식 3.3.13>}$$

여기서,

$\log(|E^*|)$ = 로그 함수 값의 동탄성계수

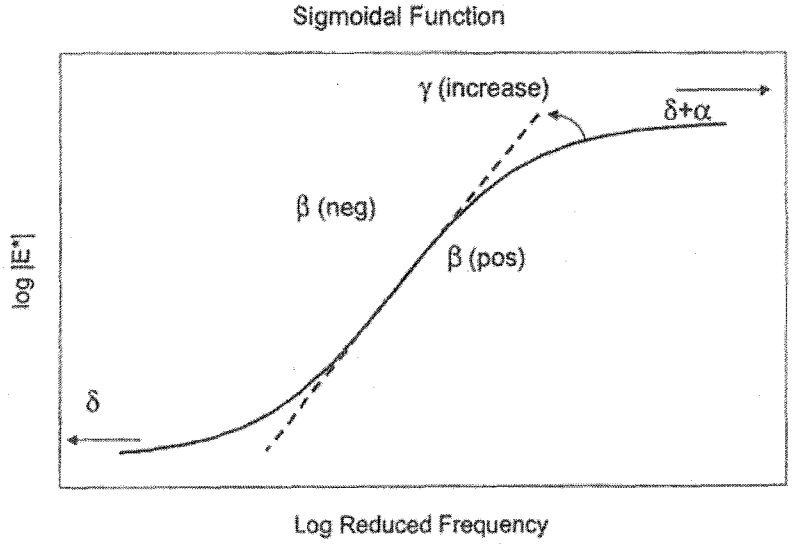
$\delta$ = minimum modulus (최소값)

$\alpha$ = range of possible value

$\beta$ & $\gamma$ = shape parameter

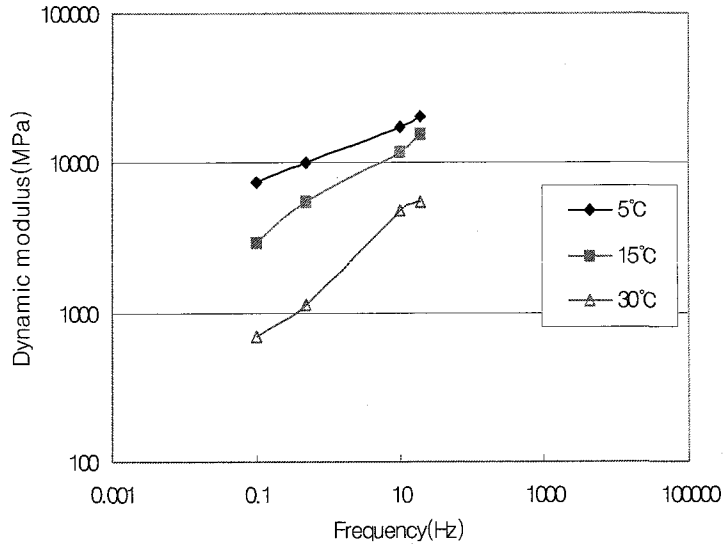
$t_r$ = reduced frequency (하중주파수)

[그림 3.3.35] 에서 나타난 것과 같이, $\gamma$ 는 함수값의 기울기를 의미하고, $\beta$ 는 수평방향의 분기점(turning point)을 의미한다.

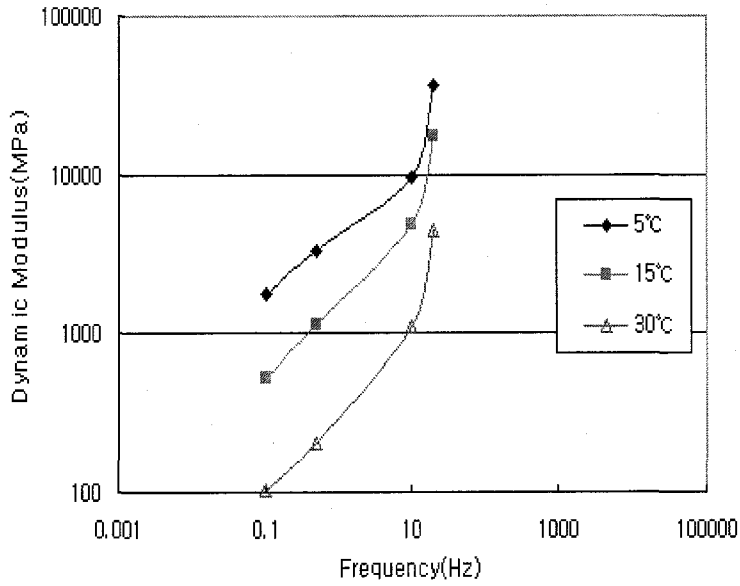



[그림 3.3.35] Shape parameter의 정의

앞에서 언급한 2종의 혼합물로 각 시편에 온도와 주기를 변화하여 시험을 수행하였으며, 각 온도 및 주기별 시험수행 결과의 평균치는 [그림 3.3.36], [그림 3.3.37]과 같다.

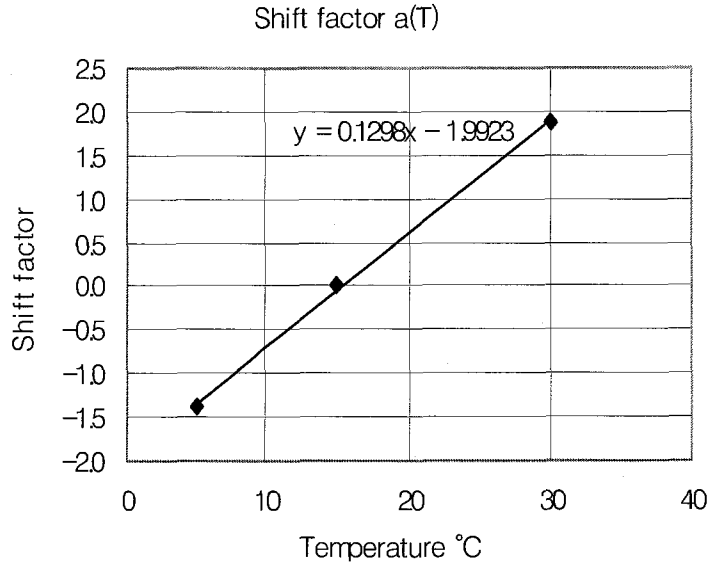



[그림 3.3.36] 동탄성계수 측정 시험 결과(천연골재)

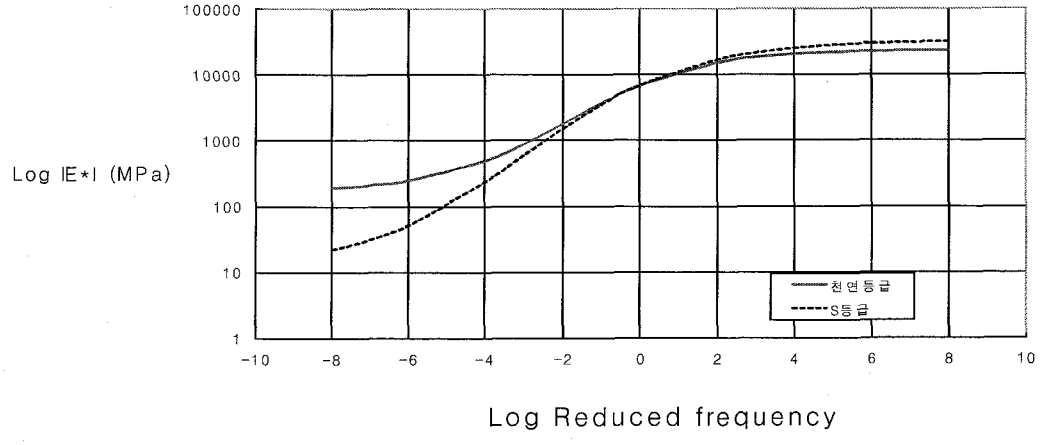



[그림 3.3.37] 동탄성계수 측정 시험 결과(순환골재)

동탄성계수 측정 시험을 수행한 각 혼합물을 이와 같은 과정을 통하여 [그림 3.3.38] 과 같이 Shift Factor를 산정하였다. 산정된 Shift Factor를 가지고 마스터 커브를 그리게 되고 각 온도와 하중주파수별로 동탄성계수를 구할 수 있다. 각 혼합물의 마스터커브를 비교하면 [그림 3.2.39]과 같다.




[그림 3.3.38] Shift Factor




[그림 3.3.39] Master Curve(Reference Temperature 15℃)

[그림 3.2.39] 에서 보는 바와 같이 하중주파수가 증가할수록 동탄성계수는 증가하였다. 일반 혼합물에 비해 새롭게 개발된 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물의 경우 5℃에서는 20~25%가 감소, 15℃에서는 비슷한 성향, 30℃에서는 10~15%가 증가함을 알 수 있었다. 이것은 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물이 상대적으로 저온에서의 온도 감온성은 큰 차이를 보이는 반면, 고온에서의 온도 감온성이 상대적으로 우수하다고 판단이 되어 진다. 각 혼합물의 동탄성계수 측정결과를 <표 3.3.20> 과 같이 비교하여 보면 본 연구에서 개발된 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물이 일반 혼합물에 비해 만족할 만한 수치를 보여주고 있으며 강도 측면에서 순환골재를 아스팔트 포장의 적용에 가능하다고 사료된다.

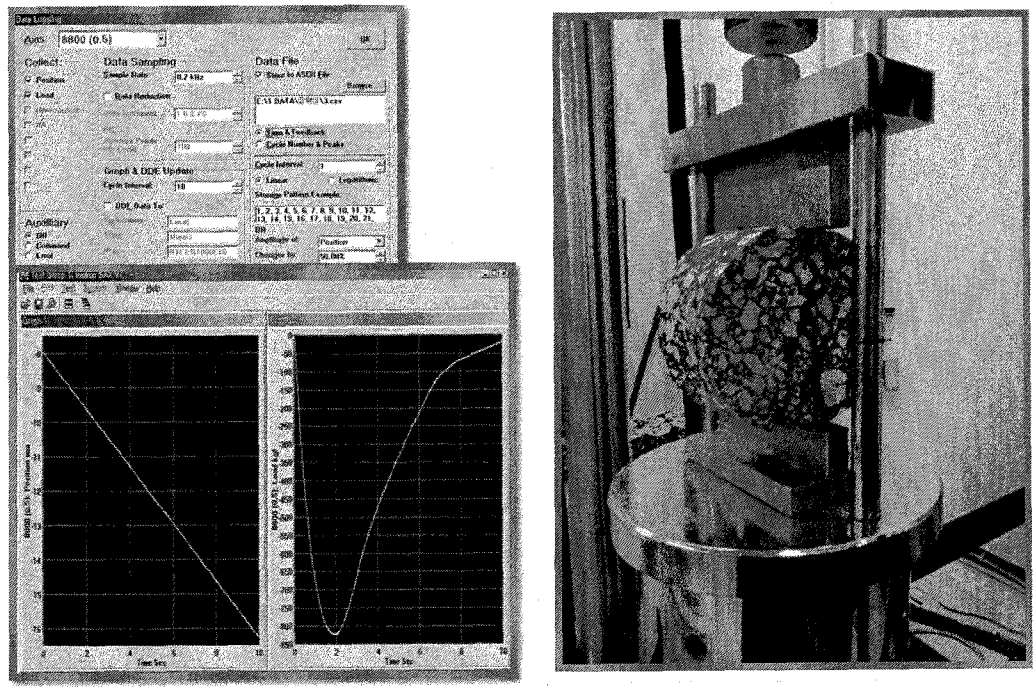
<표 3.3.20> 동탄성계수 측정값 비교

| 혼 합 물 | | 동탄성계수 (GPa) | |
|---|---|---|---|
| | | 1Hz | 5Hz |
| 천연골재 | 5℃ | 13.3 | 16.8 |
| | 15℃ | 7.1 | 10.3 |
| | 30℃ | 1.6 | 3.0 |
| 순환골재 | 5℃ | 10.5 | 12.2 |
| | 15℃ | 7.0 | 9.9 |
| | 30℃ | 2.1 | 3.2 |

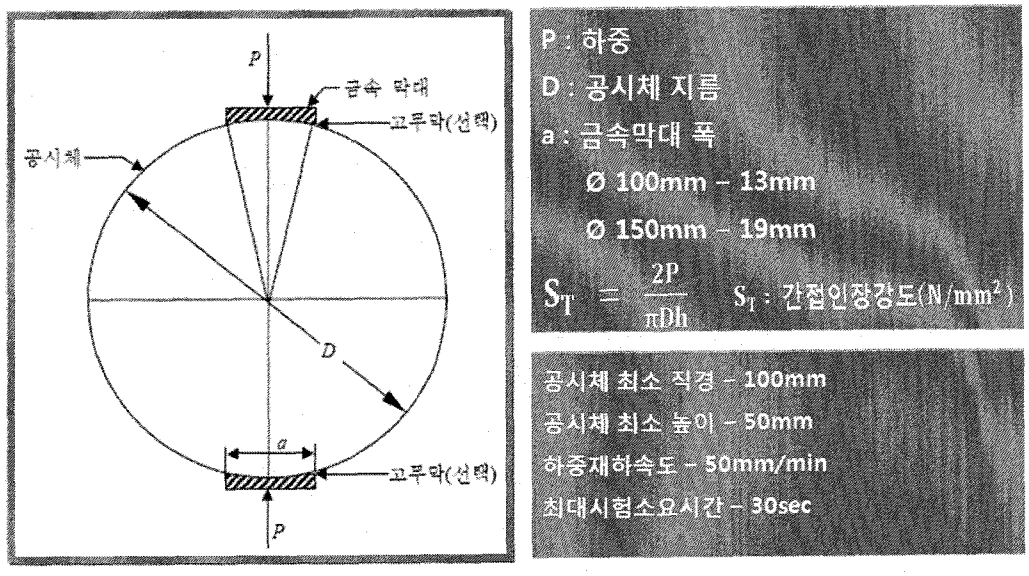
(2) 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조 성능 II- Indirect Tension Test

(가) Indirect Tension Test(KS F 2382 역청 혼합물의 간접 인장 강도 시험)

개요 및 준비 - 균열 저항 (추가)



[그림 3.3.40] 간접 인장 시험 모습

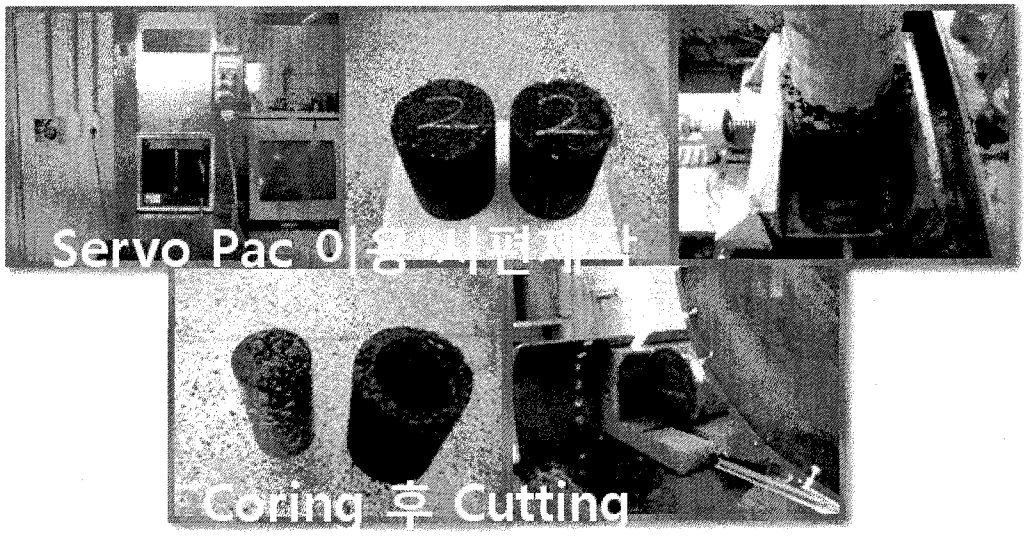



[그림 3.3.41] 간접 인장 강도 시험 개요

혼합물의 균열저항에 대한 타당성을 검증하기 위해서 KS F 2382 역청 혼합물의 간접 인장 강도 시험의 규정에 따라 시험을 진행하였다. 시편은 <표 3.3.21>의 배합으로 [그림 3.3.42]의 순서로 제작하였다.

<표 3.3.21> Indirect Tension Test 배합표

| 배합비 (25mm) : BB-3 | | | |
|---|---|---|---|
| | 천연골재 | 순환골재 | 재생골재 |
| AC | 5.3% | 5.8% | 6.9% |
| 25mm | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19mm | 1151.6 | 1085.2 | 1012.6 |
| 13mm | 1295.5 | 1220.8 | 1139.2 |
| 10mm | 1583.4 | 1492.1 | 1392.3 |
| #4 | 1007.6 | 949.5 | 886.0 |
| #8 | 719.7 | 678.2 | 632.9 |
| #16 | 503.8 | 474.8 | 443.0 |
| #30 | 287.9 | 271.3 | 253.2 |
| #50 | 215.9 | 203.5 | 189.9 |
| #100 | 215.9 | 203.5 | 189.9 |
| 필러 | 215.9 | 203.5 | 189.9 |
| AC | 402.8 | 417.6 | 471.2 |
| Sum | 7600 | 7200 | 6800 |




[그림 3.3.42] 시편 제작

시편 제작 후 시편 단면 비교 결과 [그림 3.3.43]에서 볼 수 있듯이 천연골재와 재생골재의 경우 골재가 모난 부분이 많이 있었으나 순환골재의 경우 골재 모난 부분이 적음을 알 수 있었다.

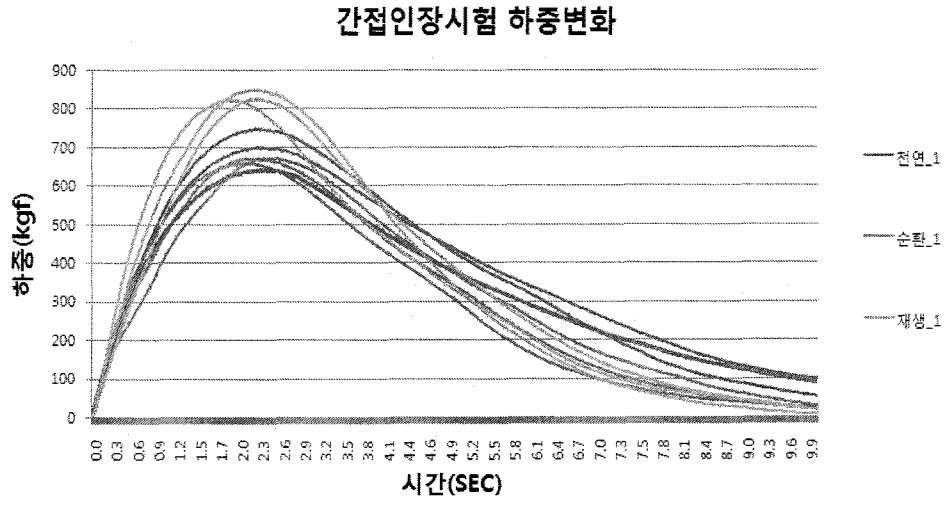



[그림 3.3.43] 시편 단면 모습

(나) Indirect Tension Test 결과

간접 인장 시험 재하 하중은 [그림 3.3.44] 의 그래프에서 볼 수 있듯이 재생골재 > 순환골재 > 천연골재 순으로 나타났고, 간접 인장 강도-변위의 결과는 [그림 3.3.45]에서 보이는 비와 같이 재생골재 > 천연골재 > 순환골재 순으로 나타났다.

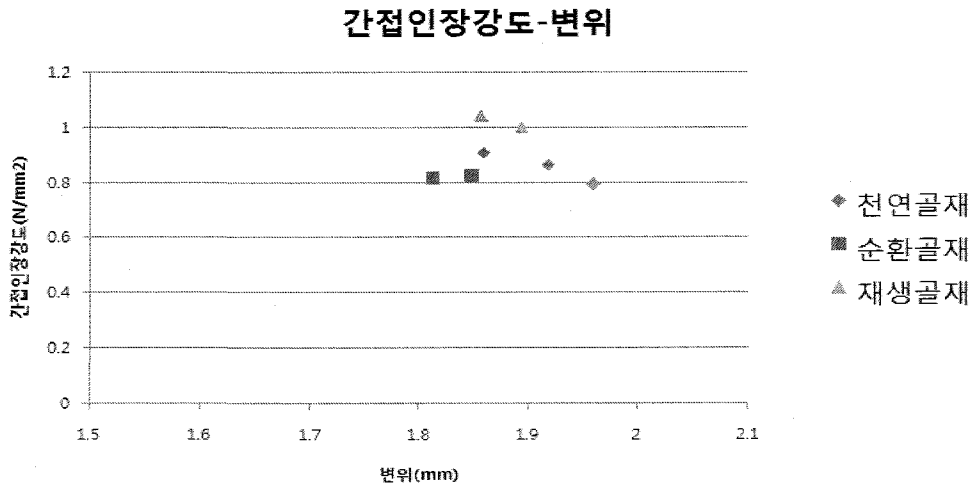
간접 인장 시험의 결과를 가지고 천연골재와 재생골재 순환골재를 상대 비교한 결과 순환골재와 재생골재 모두 기층재료로서의 사용에 무리가 없을 것으로 판단된다.



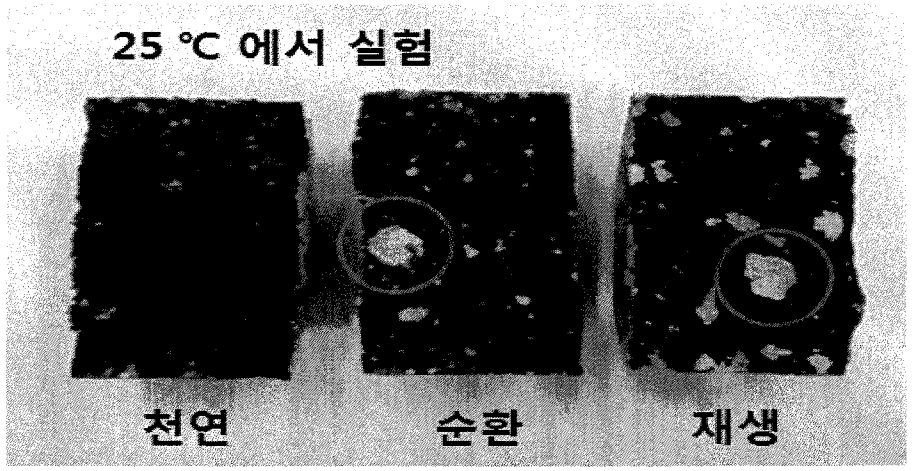

[그림 3.3.44] 간접 인장 시험 재하 하중 변화

그러나 시험 전 천연골재 시편의 강도가 가장 높을 것으로 예상하였으나 예상과정 반대의 결과가 도출되어 이에 의문을 가지고 시편의 파괴면을 비교하였다. [그림 3.3.46]에서 볼 수 있듯이 천연골재의 경우 아스팔트 부분이 파괴되었으나 천연골재보다 흡수율이 높은 순환골재의 경우 아스팔트 부분과 골재 부분이 파괴되어 골재가 깨진 부분이 발견되었고, 순환골재보다도 흡수율이 월등히 높은 재생골재의 경우 골재가 파괴되어 나타나는 부분이 순환골재보다 많은 부분을 차지하였다.

이에 본 연구진은 골재 표면의 부착 불순물 부분에 흡수된 아스팔트의 영향으로 혼합물의 강도가 증가된 것으로 추정하였다.




[그림 3.3.45] 간접인장강도 - 변위 그래프

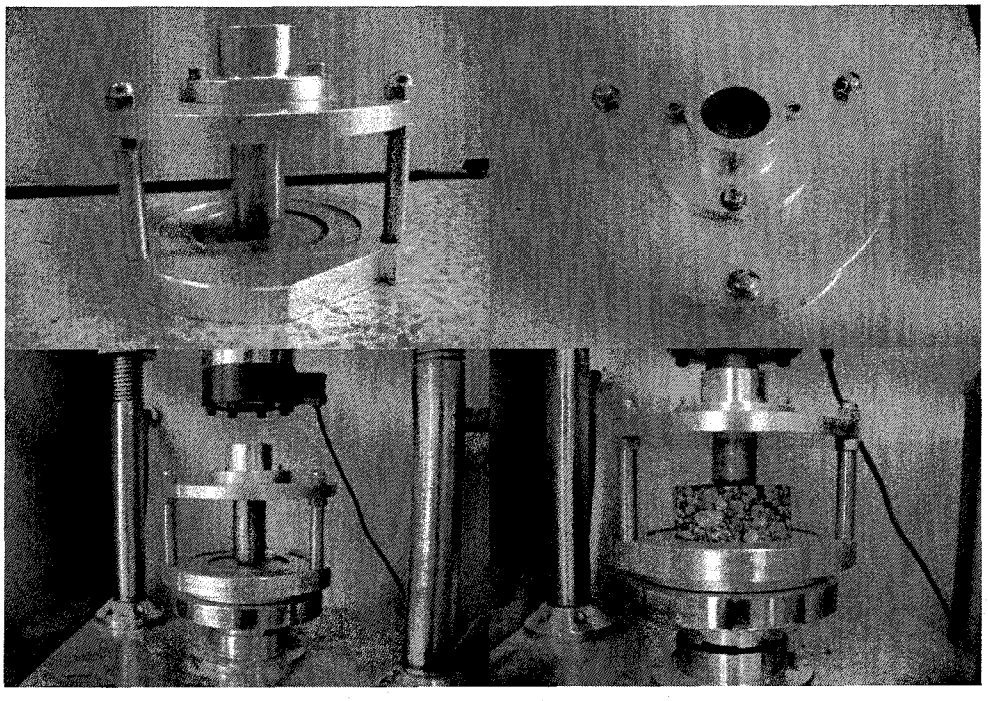



[그림 3.3.46] 간접인장강도 시험 후 시편 파괴 면

(3) 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조 성능 Ⅲ- KIM Test

(가) KIM Test 시험 개요 - 고온 영구 변형 저항(추가)

아스팔트 혼합물을 평가하는 방법 중 가장 널리 알려진 시험법은 마샬시험법이다. 하지만 마샬시험은 공시체의 제작 후 강도 시험 시 포장의 진행방향의 직각방향으로 시편을 시험하기 때문에 부적절하다는 평가를 받고 있다. 이에 강원대 김광우 교수팀이 개발한 "KIM Test" 라고 명명한 변형강도 시험을 채택하여 기층재료의 공용성을 평가하는 방법으로 사용하였다.



[그림 3.3.47] KIM Test 시험 모습

시험에 사용하는 지그는 [그림 3.3.47] 과 같이 시편 제작 방향과 시험방향이 일치하게 시험할 수 있는 형상으로 제작되어져있고, 시험 방법 또한 마샬시험법과 유사하다. 시험에 사용하는 시편의 크기와 시편을 준비하는 과정 또한 마샬시험법과 같다. 사용한 시편의 배합은 간접인장시험의 배합인 <표 3.3.21> 와 같고, 시험의 개요는 [그림 3.3.48] 과 같다.

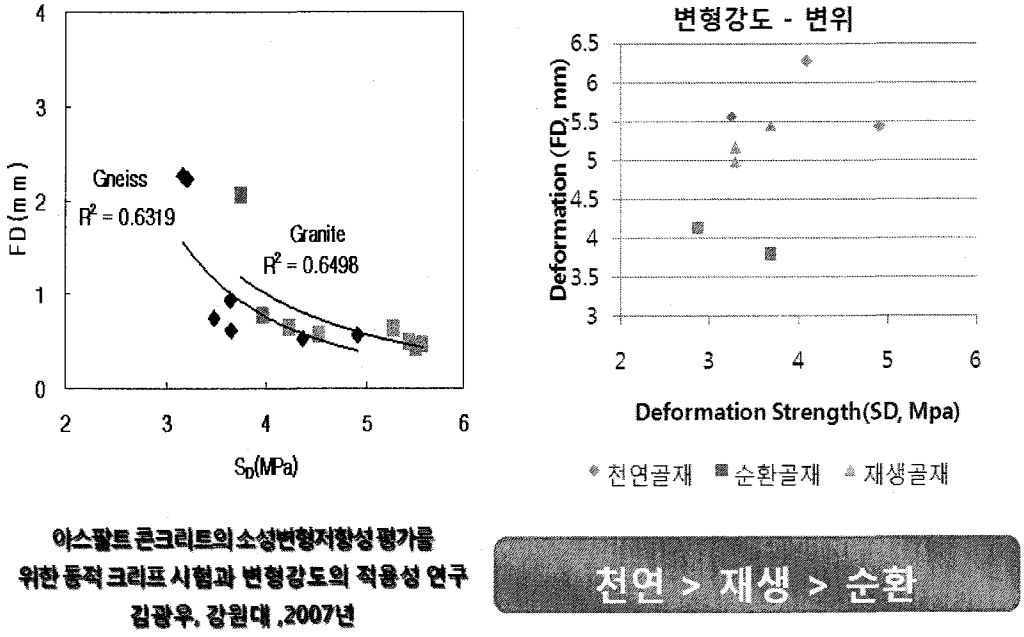
$$S_D = \frac{4P}{\pi(D-2(r-\sqrt{2ry-y^2}))^2}$$

- $S_D$ = 변형강도 (MPa),
- P = 최대하중(N),
- D= 하중봉의 직경(㎜),
- r = 하중봉의 원형절삭반경(㎜)
- y = 변형 값(㎜)

| 시험 조건 | |
|---|---|
| 시편 직경 | 100mm |
| 시편 높이 | 45mm 이상 |
| 시험온도 | 60℃ 에서 30분 |
| 시험 속도 | 30mm/min |

[그림 3.3.48] KIM Test 시험개요

(나) KIM Test 시험 결과




[그림 3.3.49] 기존 KIM Test 시험 결과와 순환골재 시험 결과

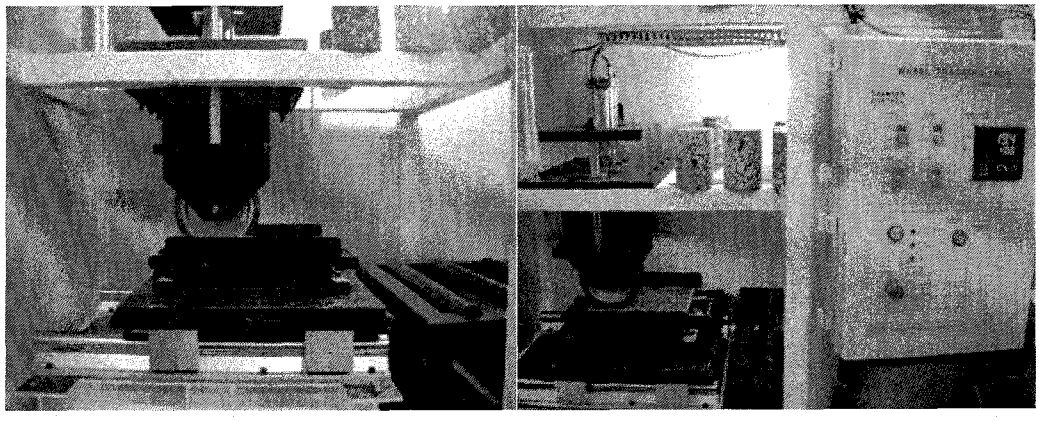
Kim test 후 상대비교 결과 [그림 3.3.49]에서 볼 수 있듯이 천연골재>재생골재>순환골재 순으로 나타났다. 하지만 적은 수의 시편을 가지고 시험한 결과 타

당성을 입증하기에는 부족함이 보인다.

(4) 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 공용성 평가 I - 기층재 Wheel Tracking Test

(가) Wheel Tracking Test 시험 개요 - 반복 교통하중을 통한 공용성 평가 (Rut Resistance)

아스팔트 콘크리트 포장 후 더운 여름 도로 위로 자동차가 이동할 때 영구소성변형이 주로 발생하게 된다. 이러한 현상을 바탕으로 역청 가열 혼합물의 공시체에 반복 차륜 하중을 가하여 영구소성변형에 대한 저항성을 비교적 짧은 시간에 평가하기 위하여 사용되고 있는 Wheel Tracking Test - <KS F 역청 혼합물의 Wheel Tracking 시험 방법>을 이용하여 평가하였다.



[그림 3.3.50] Wheel Tracking 시험 사진




[그림 3.3.51] Wheel Tracking 시편 제작

(나) Wheel Tracking Test 배합 및 시험조건

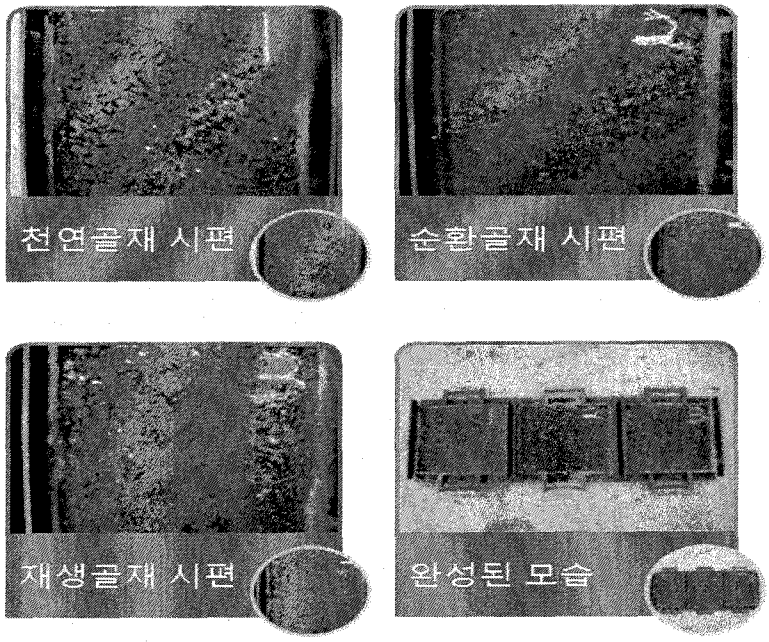
<KS F 역청 혼합물의 Wheel Tracking 시험 방법>의 규정에 따라 시험을 수행하였고, 사용한 시편의 배합은 <표 3.3.22> 와 같다. 시편 제작에 대한 규정과 시험조건은 <표 3.3.23>을 따랐다.

<표 3.3.22> Wheel Tracking Test 배합표

| 배합비 (25mm) : BB-3 | | | |
|---|---|---|---|
| | 천연골재 | 순환골재 | 재생골재 |
| AC | 5.3% | 5.8% | 6.9% |
| 25mm | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| 19mm | 1621.3 | 1529.8 | 1429.6 |
| 13mm | 1823.9 | 1721.0 | 1608.2 |
| 10mm | 2229.2 | 2103.5 | 1965.6 |
| #4 | 1418.6 | 1338.6 | 1250.9 |
| #8 | 1013.3 | 956.1 | 893.5 |
| #16 | 709.3 | 669.3 | 625.4 |
| #30 | 405.3 | 382.5 | 357.4 |
| #50 | 304.0 | 286.8 | 268.0 |
| #100 | 304.0 | 286.8 | 268.0 |
| 필러 | 304.0 | 286.8 | 268.0 |
| AC | 567.1 | 588.7 | 665.3 |
| Sum | 10700 | 10150 | 9600 |

<표 3.3.23> Wheel Tracking 시험조건

| 시험조건 (KS F 2374 역청 포장 혼합물의 휠 트래킹 시험 방법) | |
|---|---|
| 공 시 체 크 기 | 30×30×5 ㎤ |
| 공시체 최대 다짐하중 | 8820 N = 900kgf |
| 시 험 하 중 | 686±0 N = 70±1 kgf |
| 접 지 압 | 628±15kPa |
| 시 험 온 도(표면) | 60℃(5시간 전부터 가열) |
| 시 험 속 도 | 42±1회/분 |
| 시험차륜 주행거리 | 230±10㎜ |




[그림 3.3.52] 완성된 Wheel Tracking 시편 사진

(다) 사용 수식 - 변형 속도, 동적 안정도

$$\text{변형속도}(RD,\ mm/\min) = \frac{d_{60} - d_{45}}{15} \qquad \text{<식 3.3.14>}$$

$d_{45}$: 45분의 변형량
$d_{60}$: 60분의 변형량

$$\text{동적안정도}(DS,\ \text{회}/mm) = 42 \times \frac{t_2 - t_1}{d_2 - d_1} \times C \qquad \text{<식 3.3.15>}$$

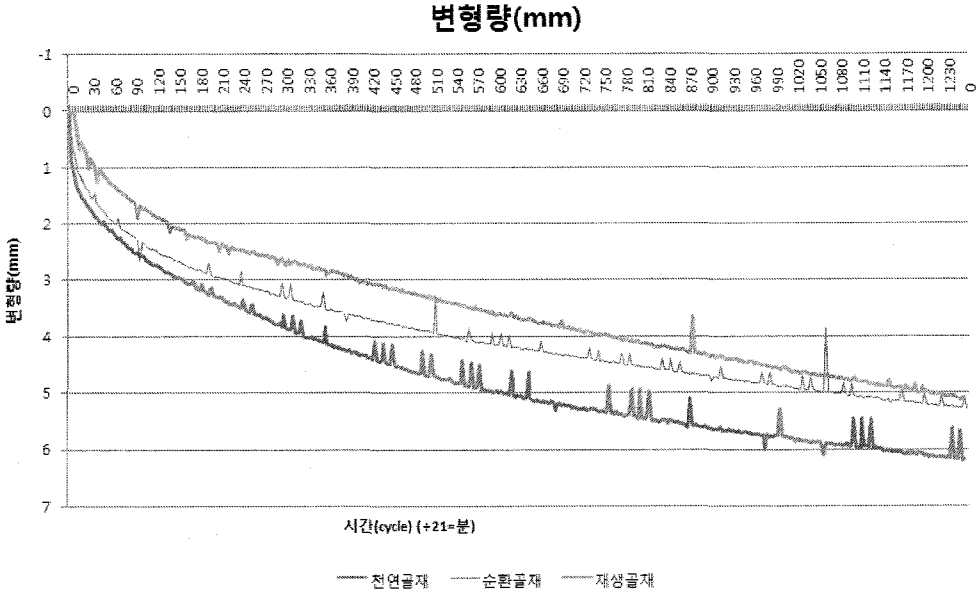
$DS$: 동적안정도(회/$mm$)
$d_1$: $t_1$(일반적으로 45분)에서의 변형량($mm$)
$d_2$: $t_2$(일반적으로 60분)에서의 변형량($mm$)
$C$: 크랭크에 의한 변속구동형 시험기사용 보정계수 = 1.0
크랭크방식 외의 경우 비교시험을 통해 보정계수산출

실험은 <KS F 2374 역청 포장 혼합물의 휠 트래킹 시험 방법> 의 규정을 따라 수행하였다.

변형속도를 계산한 수식은 <식 3.3.14> 과 같고, 동적안정도를 계산한 수식은 <식 3.3.15>와 같다.

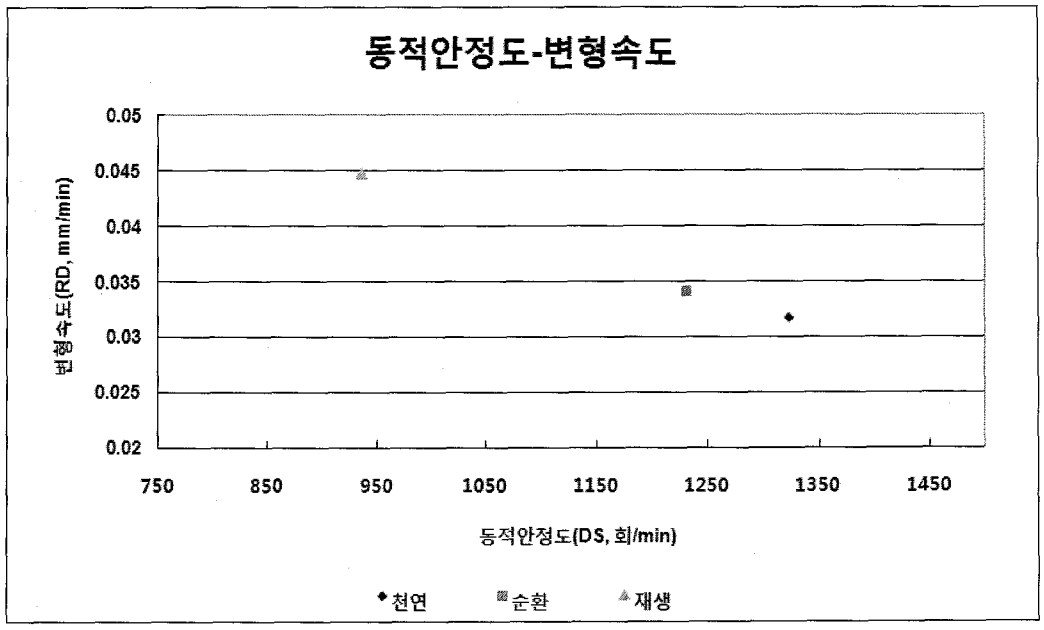
(라) Wheel Tracking Test 결과

시간에 따른 변형량을 비교한 결과 [그림 3.3.53] 과 같이 천연골재 > 순환골재 > 재생골재 순으로 나타났고, 동적안정도는 천연골재 > 순환골재 > 재생골재 순으로 측정되었다. 변형속도는 재생골재 > 순환골재 > 천연골재 순으로 측정되었다.




[그림 3.3.53] 시간 - 변형량 그래프

[그림 3.3.54] 에서 볼 수 있듯이 변형 속도와 동적안정도는 순환골재가 천연골재보다 낮은 평가를 받으나 총 변형량에서는 천연골재보다 순환골재가 천연골재보다 적은 변형량을 보였다.




[그림 3.3.54] 동적안정도 - 변형속도 그래프

(마) 실험 결과 및 분석

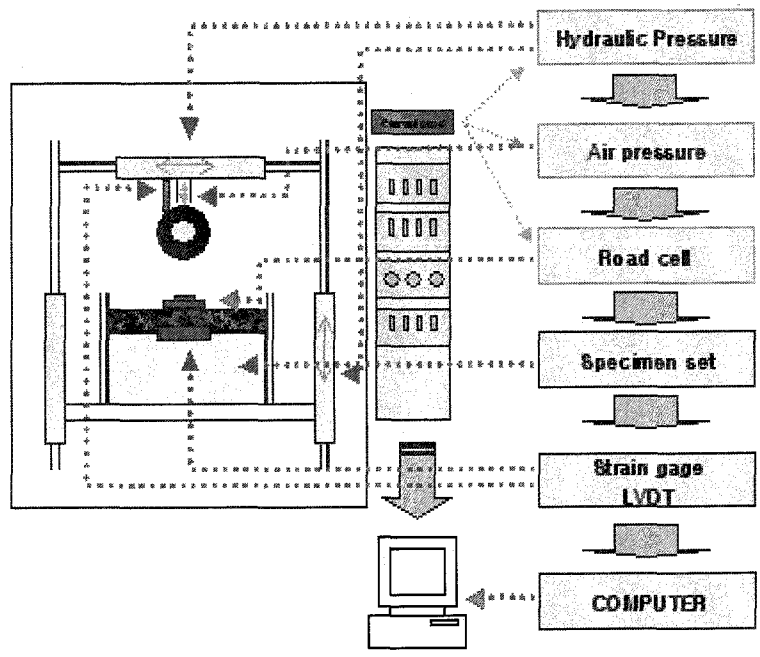
[그림 3.3.53]의 시간-변형량 그래프와, [그림 3.3.54]의 동적안정도-변형속도 그래프의 결과값을 비교해보면 순환골재와 재생골재가 천연골재보다 더 좋은 성능을 보이고 있다. 따라서 여름철 고온에서의 교통하중에 의한 영구소성변형에 대한 저항성부분에서는 사용이 가능에 적합한 재료라고 판단된다.

(5) 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 공용성 평가II - 포장체 모사 HWLS(HEART Wheel Load Simulator)

내유동성이 요구되는 도로의 역청 가열 혼합물의 배합설계 및 품질 관리 시 내유동성이 우수한 혼합물을 선정하기 위한 평가 방법으로 적용된다. 즉, 아스팔트 콘크리트 포장 후 더운 여름에 도로 위로 자동차가 이동할 때 소성변형이 주로 발생하므로, 이러한 현상을 바탕으로 역청 가열 혼합물의 공시체에 반복 차륜 하중을 가하여 소성변형에 대한 저항성을 실제와 비교적 근사하게 모사할 수 있는 HWLS를 이용하여 평가하였다.

(가) HWLS(HEART Wheel Load Simulator)의 실험계획

Wheel Tracking 장비는 현장 시험과는 달리 다양한 조건을 조절하며 효율적으로 결과를 얻어낼 수 있는 장점이 있어 다양한 형태로 개발되어 실내시험에 사용되고 있다. 다음 [그림 3.3.55]는 내부구조로서 작동원리를 보여주고 있다.




[그림 3.3.55] HWLS 개념도

(나) 단면 두께 설정(최적 단면 제시)

본 연구는 "순환골재의 적용한 아스팔트 기층의 개발"을 감안하여 각 층 모델을 통한 응력 및 변형으로부터 포장 구조체의 공용성 평가를 목적으로 하고 있다.

① 대표단면 결정

여기서 비교할 포장체의 데이터들은 건설교통부에서 발부한 "도로설계편람"과 "한국형 포장 설계법 개발과 포장성능 개선방안 연구(아스팔트 포장 설계법 개발)" 1차년도 보고서를 참고하였다. 그 내용은 국내에서 사용 중이 고속도로 중 아스팔트 포장 구조체의 표준 단면을 선정하여 구간의 각층의 두께를 다음 <표 3.3.24>와 같이 정리 하였다.

<표 3.3.24> 전국 고속도로의 표준 포장 두께

(단위 : cm)

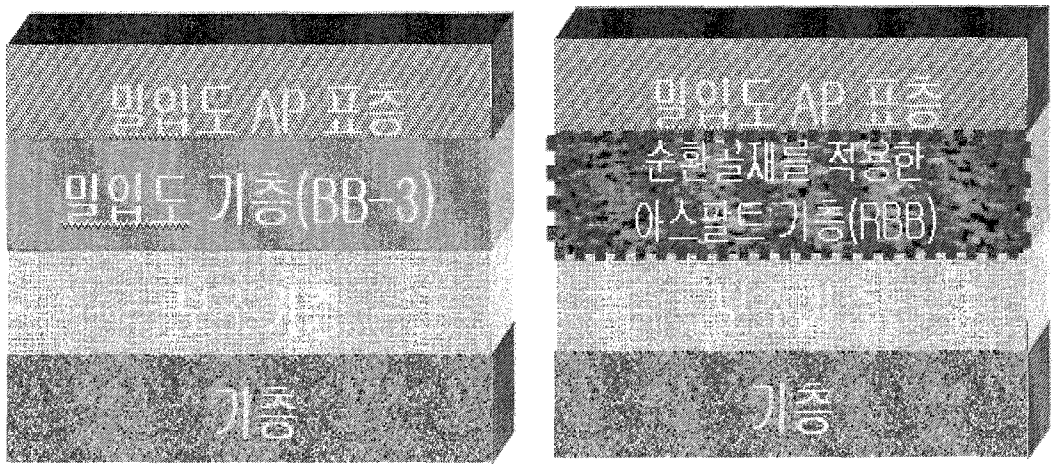
| 고속도로명 | | 아스팔트 표층(AC) | 아스팔트 기층(BB) | 보조기층 | 선택층 |
|---|---|---|---|---|---|
| 제 2 경인 | 서창-석수 | 10 | 30 | 40 | - |
| 중부선 | 남이-회덕 | 5 | 15 | 20 | 32.7-47.5 |
| 서해안 | 안산-안중 | 5 | 25 | 30-35 | 15-20 |
| 영동선 | 신갈-새말 | 5 | 15 | 30 | - |
| | 새말-옥계 | 4 | 10 | 20 | 41 |
| | 옥계-강릉 | 5 | 12 | 20 | 33 |
| 남해선 | 순천-주천 | 5 | 10 | 20 | - |
| | 주천-마산 | 5 | 15 | 25 | - |
| | 마산-부산 | 8 | 15 | 39 | - |
| | 냉정-구포 | 10 | 25 | 50 | - |
| 호남선 | 대전-전주 | 5 | 15 | 30 | - |
| | 전주-연화 | 5 | 15 | 22.5 | 15 |
| | 연화-순천 | 5 | 10 | 20 | 15 |
| 구마선 | 대구-화원 | 5 | 15 | 40 | - |
| | 화원-마산 | 5 | 19 | 40 | - |
| 동해선 | 묵호-강릉 | 5 | 12 | 20 | 13 |
| 평균 범위 | | 5~10 | 12~30 | 20~50 | 13~47.5 |

위의 표에서 보듯이 아스팔트 표층은 대부분이 5cm 두께로 설계가 되었으나 도로의 장/단기 공용에 따라 보수에 의해 덧씌우기 층을 포함하면 현재 사용 중인 도로는 이 보다 두껍다는 결론을 지을 수 있다. 본 연구에서는 기존 데이터를 기준으로 실내 실험을 감안하여 아스팔트 표층(AC)을 5cm로 선정하였고, 아스팔트 기층(BB)의 경우는 15cm로 결정하였다. 또한 보조기층의 경우는 15cm로 선정하고 노상층의 경우는 10cm로 선정하면서 포장 구조체를 공학적으로 분석을 하고자 하였다.

(다) 실험 단면의 구성 및 방법

① 실험 단면 구성

HWLS를 이용하여 공용성을 평가하기 위해 [그림 3.3.56]과 같이 천연골재과 순환골재 2가지의 실험단면을 선정하여 실시하였다. 단면별 노상토와 보조기층은 동일한 재료를 사용하였다. 일반적인 포장의 공용성을 평가하기 위한 천연등급 단면의 경우 밀입도 아스팔트와 Black Base로 단면을 구성하였다. 순환골재를 사용한 단면의 공용성을 평가하기 위한 S등급 단면의 경우 밀입도 아스팔트 표층과 순환골재를 사용한 아스팔트 기층(RBB_Recycled Black Base)을 타설하여 공용성을 평가하였다.




[그림 3.3.56] HWLS 공용성 평가를 위한 실험 단면 구성

HWLS 공용성 평가를 위한 실험 단면의 재료로 노상토와 보조기층은 한국도로공사 노상토, 보조기층 재료인 SB-2를 사용하였다.

밀입도 아스팔트의 입도는 한국도로공사 고속도로공사 전문시방서의 기준에 따라 표층은 WC-3, 기층은 BB-3의 입도분포를 사용하였으며 순환골재를 사용한 아스팔트 기층은 국내 상용을 목적으로 BB-3 입도분 내에 적용하였다. 아스팔트 바인더는 밀입도 표층과 Black Base, 순환골재를 사용한 아스팔트 기층(RBB) 경우 모두 국내 S사에서 판매되고 AP-5(PG 64-22)하였다.

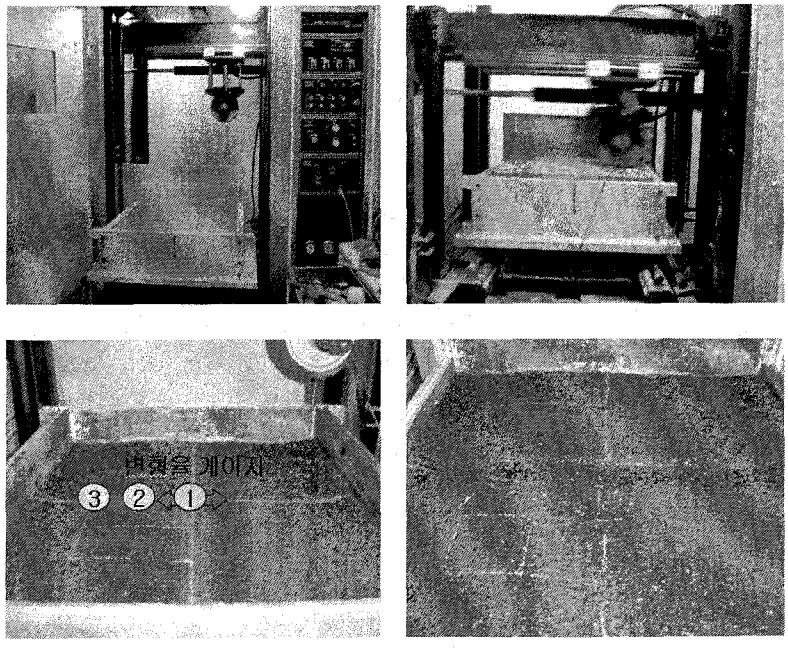
② 실험 방법

노상, 보조기층, 아스팔트 층의 다짐은 <표 3.3.25> 에 제시한 재하 하중, 재하 횟수, 재하 속도에 따라 실시하였다. [그림 3.3.57] 는 HWLS에서의 실험 과정을 나타낸 것이다.

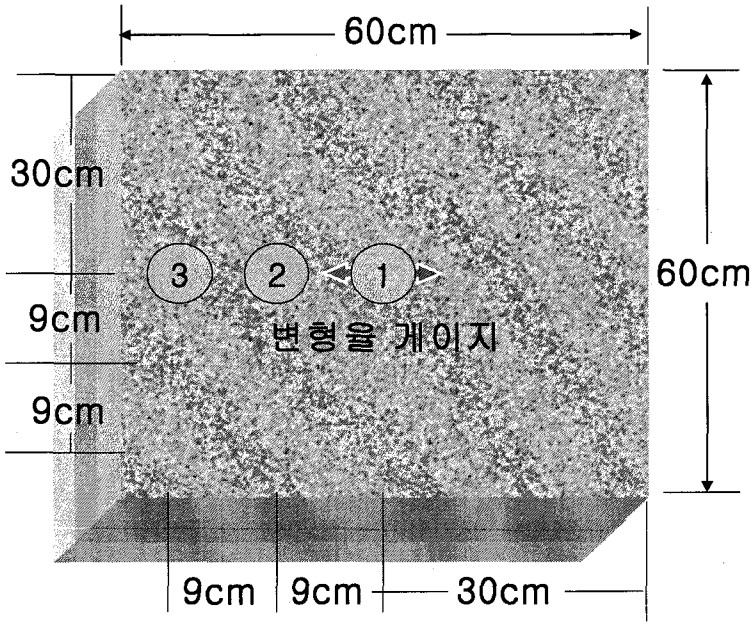
<표 3.3.25> HWLS에서의 층별 다짐 조건(백우현, 2001)

| | 재하 하중(kgf) | 재하 회수 | 재하 속도(㎞/h) |
|---|---|---|---|
| 노 상 | 600 | 30회 | 0.67(3단) |
| 보조기층 | 600 | 30회 | 0.67(3단) |
| CTB | 800 | 30회 | 0.67(3단) |
| 아스팔트층 | 800 | 20회 | 0.97(5단) |

본 실험에서는 도로 포장의 공용성 평가를 위해 반복 하중재하 회수에 따른 정적 하중재하 실험을 실시하여 표층 및 기층 변형률을 측정하여 포장 구조체에 대한 평가를 하였다. 정적 하중재하 실험 시 하중재하 위치는 [그림 3.3.58]과 같다. 실험의 상대 비교를 하기 위해 Chamber 내의 온도를 30℃로 고정하여 실험에 실행하였다.




[그림 3.3.57] HWLS에서의 공용성 평가 실험 모습
( a. 층별 재료의 타설 b. 층별 다짐 실시
c. 정적재하 하중재하 실험 d. 반복 하중재하 후 시편의 모습)




[그림 3.3.58] 정적 하중재하 및 변형률 게이지 위치

(라) 실험 결과 및 분석

본 실험을 통해 반복 재하하중에 의한 Rutting을 측정하였고 반복 하중재하 회수에 따른 정적하중을 재하 하여 표층 및 기층의 변형률을 측정하여 포장 구조체의 공용성을 실험 결과 값으로 비교·분석하였다.

① HWLS 실험 결과

공용성 평가를 위해 각 단면별로 반복하중 재하 회수에 따른 러팅을 측정하였다. 하중 조건 200kgf, 왕복 20,000회까지의 재하 회수에서 살펴보았다. 하중의 크기는 HWLS 고무 휠의 접지면적이 60×60mm이며 고무 휠 접지압이 5.56 kg/㎠로써, 우리나라의 도로 설계 및 해석에 주로 사용되고 있는 AASHTO 설계법의 바퀴 접지압이 5~6 kg/㎠임을 감안한 것이다.

측정 결과를 살펴보면, 천연골재 단면의 경우 Rutting 이 8.67mm($R^2$=0.9635) 가 발생하였고, 순환골재 단면은 10.74mm($R^2$=0.9749)의 Rutting 이 발생하였다.

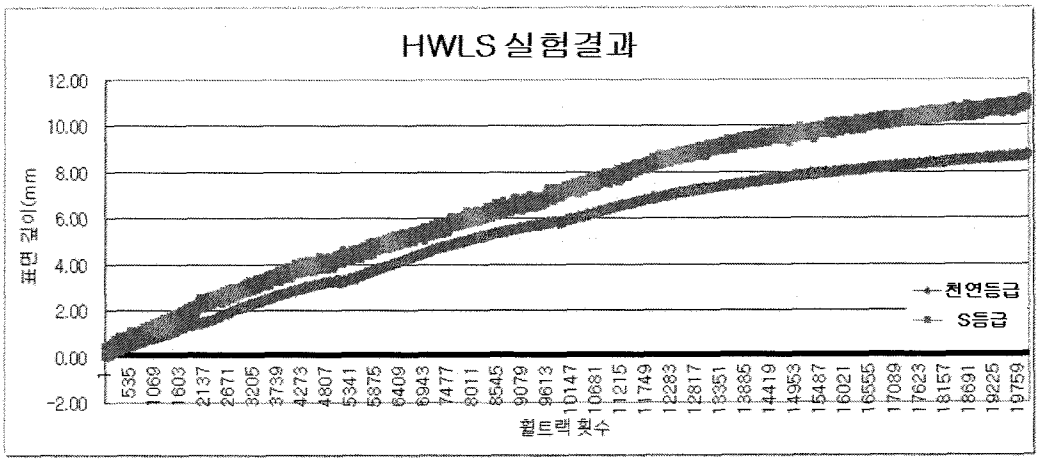
Rutting 에 대한 저항성만을 살펴본 결과 천연골재와 순환골재의 단면에서는 2mm의 깊이 차이로 차이점을 찾지 못하였다. 즉, 천연골재를 사용한 가열 아스팔트 기층과 순환골재를 사용한 아스팔트 기층은 구조적으로 안전하다고 판단이 된다.

[그림 3.3.59]는 천연골재 단면과 순환골재 단면의 Rutting 측정 결과를 나타낸 것이다.

이는 포장 Rutting 의 발생량이 상대적으로 오랜 시간동안 적은 양이 발생하는 것을 의미하고 있으며 천연골재와 순환골재의 수명 역시 양호 할 것으로 판단이 된다.

② 정적 하중재하 실험 결과

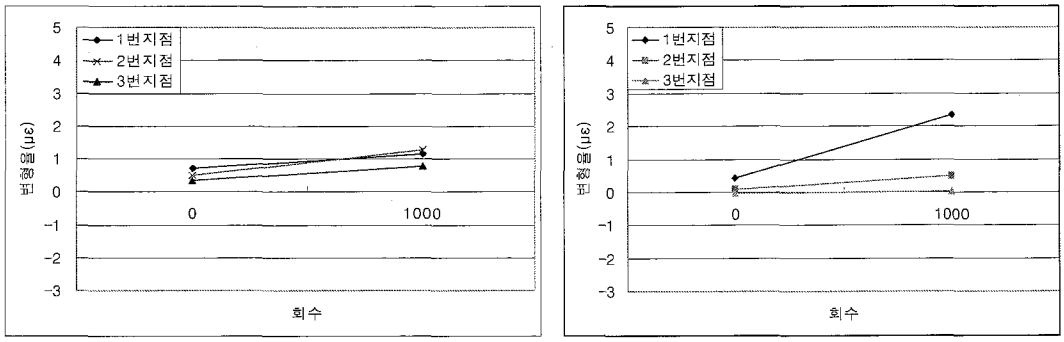
반복하중 재하 회수에 따른 정적재하 실험을 0회, 1000회에 실시하여 변화 경향을 살펴보았다. 이때, 반복 하중재하 회수 0, 1000회에 반복 하중재하를 잠시 정지하고 정적 하중재하 실험을 실시하였다. 이 역시 반복 하중재하 회수 0, 1000회에서 측정하였으며 하중의 크기는 200kgf로 조절하였다. 하중재하는 [그림 3.3.58]에 나타난 ①, ②, ③번 위치에 재하 하였다.




[그림 3.3.59] HWLS 실험 결과

각 단면별 초기 변형률은 천연등급과 S등급 두 단면이 비슷한 값을 나타내어 뚜렷한 경향은 찾을 수 없었다.

또한 반복재하 하중 1000회를 공용 후 측정하였을 때 초기값과 1000회에서의 값의 변형율의 변화는 약간 증가하는 추세를 나타내고 있다. 천연등급 기층에서의 변형률은 전반적으로 덜 민감하게 나타났으며 세 지점 간 변형율의 차이가 그리 크지 않았다. 반면, S등급 기층에서의 변형률은 반복 하중재하 횟수가 늘어날수록 변형율의 크기가 커지며 변형률 게이지와의 거리가 가까울수록 변형율의 변화도 커짐을 알 수 있다.




[그림 3.3.60] 정적 하중재하 실험 결과
(a. 천연등급에서의 변형률 b. S등급에서의 변형률)

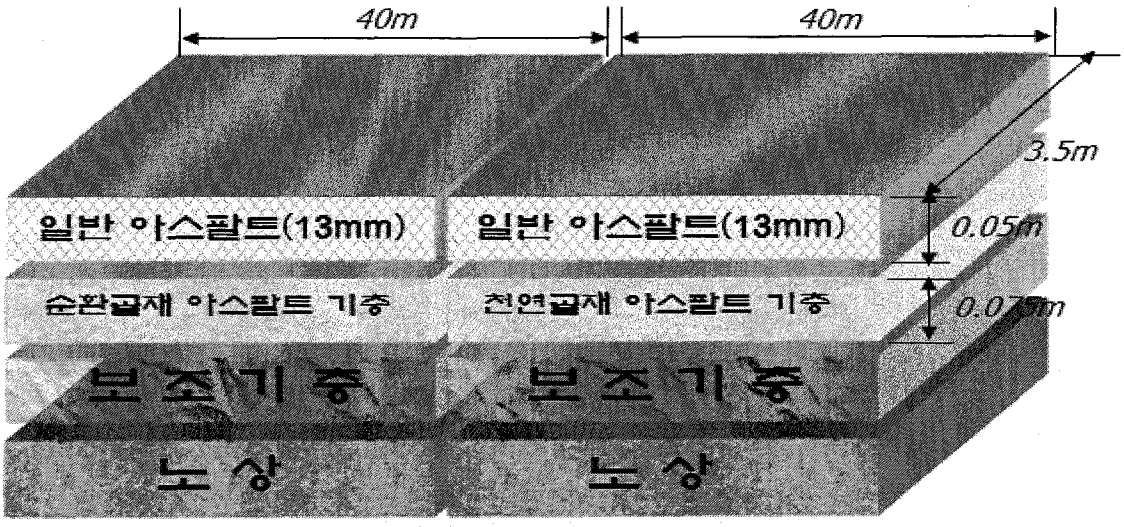
결론적으로 순환골재를 사용한 아스팔트 기층용 혼합물의 지지력에 미세한 압력이 가해지는 것을 찾을 수 있었으나 구조적으로 큰 문제가 발생 할 우려는 아닌 것으로 사료된다.

## 다. 현장 시험시공

(1) 현장 시험시공 목적 및 계획

본 연구의 현장 시험시공의 목적은 1, 2차 연도에 걸쳐 타당성과 실내 실험을 통해 나타난 결과를 실제 교통량이 존재하는 환경에서 순환골재를 사용한 아스팔트 포장의 구조적 안정성 및 기능성 검토(일일 교통량 25,000대 예상)를 위한 것이다. 다음 [그림 3.3.61]은 단면구성을 보여주고 있다.

천연골재과 순환골재의 객관적이고 공학적인 비교와 판단을 위해 동일구간에서 동일 크기로 선정하였고, 노상과 보조기층, 표층은 동일재료를 사용하였고, 기층재료 만을 변화시켜 현장시험시공을 하였다.




[그림 3.3.61] 현장시험 시공 단면

또한, 현장시험시공과 동시에 공용성 평가가 초기 및 중·장기로 나누어 평가하였다.

첫째, 시공과 동시에 재료 평가(기본 물성 평가)를 각 재료별(순환골재, 천연골재, 아스팔트 혼합물, 하부구조 등)로 확인하고, 시공 직후(교통 개방) 초기 공용성이 시작되므로 처짐량(FWD_도로공사, Portable FWD_중앙대&도로공사)과 정적재하로 구조적 및 공용성을 평가하고 코어 채취를 통해 재료적 물성 및 시공성을 평가한다.

둘째, 중·장기적인 공용성을 위해 지속적인 모니터링과 구조적 평가는 정기적인 평가가 이루어져 본 연구의 성공적인 결과를 도출 할 것으로 사료된다. 다음 <표 3.3.26>은 공용성 평가 계획을 보여 주고 있다.

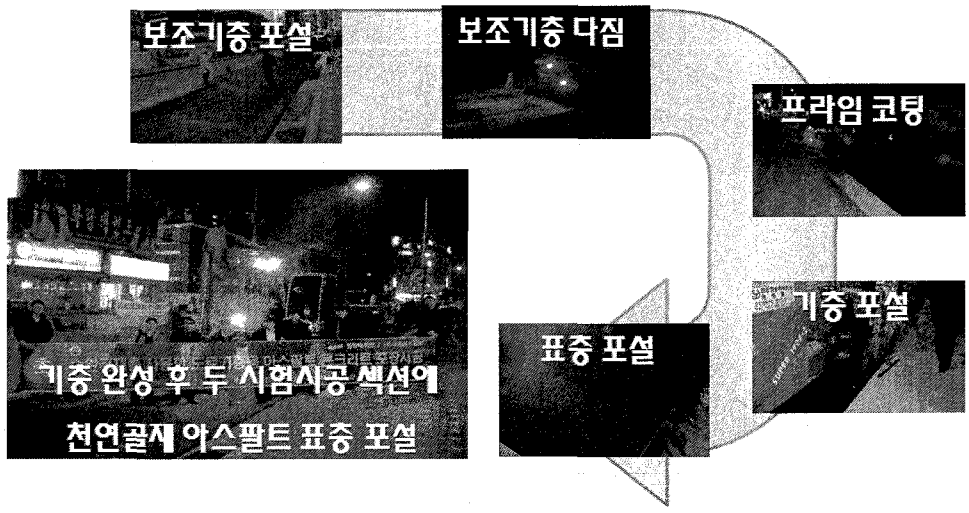
<표 3.3.26> 공용성 평가_중·장기적 평가

| 기간 \ 항목 | | 초기 (시공직후) | 6개월 | 1년 | 2년 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 구조적 평가 | FWD | ● | ● | ● | ● | 지지력 조사 |
| | 정적재하 | ● | ● | ● | ● | |
| | Core | ● | ● | ● | | 물성 평가 및 시공성 평가 |
| | 균열 육안관찰 | ● | ● | ● | ● | 육안조사 & 균열 MAP |

(2) 현장 시험시공 장소 선정 및 재료

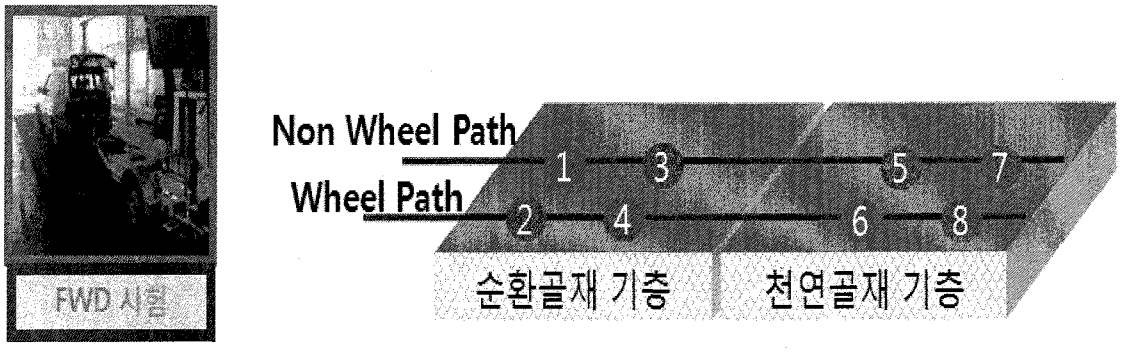
본 연구기관(중앙대학교)과 참여기업((주)유진컨스트택)은 신설 도로 건설 현장 중 연구 목적에 맞는 일 교통량 25,000대(예상) 현장을 조사하였다. 많은 현장 중 위치와 연구목적에 적합하고 현재 공용중인 서울시 중랑구 신내동에 위치를 선정하고, 2007년 11월 23일에 현장 시험 시공을 하였다.

[그림 3.3.61]에서 볼 수 있듯이 표층 5cm, 기층 7.5cm로 , 순환골재는 경기도 고양시의 I사, 플랜트는 경기도 안양시의 J사로 경절하고, 수행하였다.




[그림 3.3.62] 현장 시험 시공 모습

## 라. 시험시공구간의 초기 역학적 공용성 평가 - FWD 이용




[그림 3.3.63] FWD 시험 개요

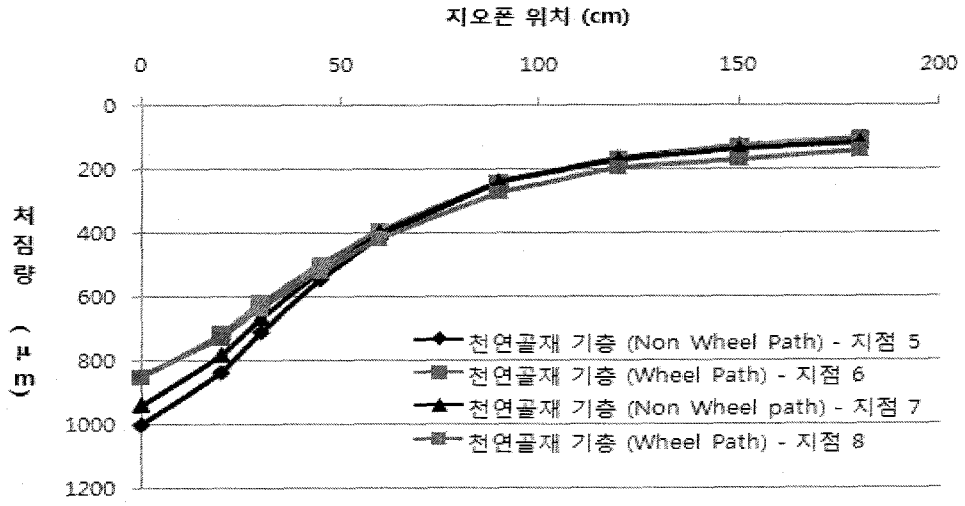
초기 포장체의 공용성을 평가하기 위하여 건설기술 연구원의 FWD(Falling Weight deflectometer) 장비를 이용하였다. 실험 구간은 순환골재 기층 구간 4지점과 천연골재 기층구간 4지점, 총 8지점을 평가하였다.

구간마다, Non Wheel Path 구간 2지점 Wheel Path 구간 2지점을 평가하여 서로 상대평가 하였다. 실험 지점은 [그림 3.3.63]과 같다.

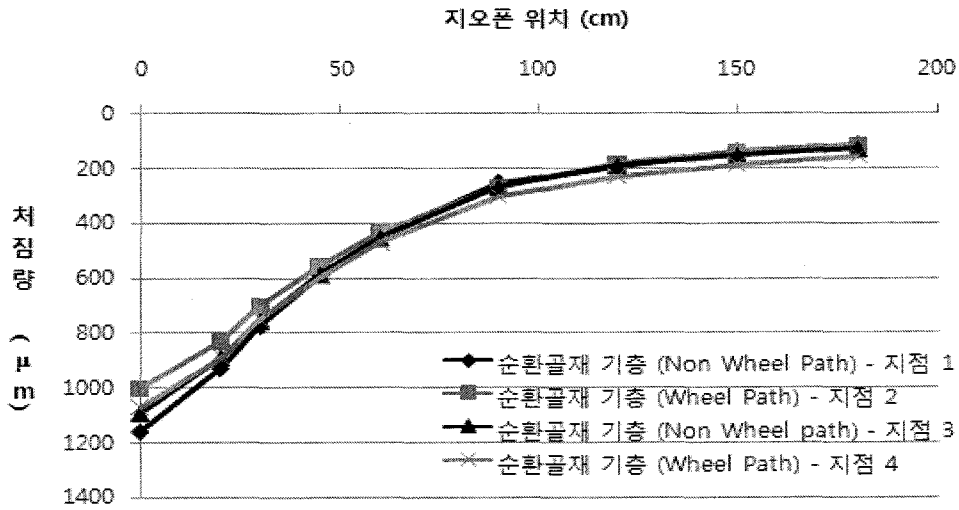
FWD 실험 전 육안조사로는 순환골재 기층과 천연골재 기층 모두 외관상으로는 아무런 차이가 없었고, 문제점도 발견되지 않았다.

FWD 실험 후 결과 순환골재 기층이 천연골재 기층보다 약 10% 처짐 차이 발생하였고, 두 개의 시험시공 섹션에서 모두 Wheel Path 의 처짐량이 Non Wheel Path 에서의 처짐량보다 평균 5% 정도 낮게 측정 되었다. 이는 현장 시험 시공 후 며칠간의 공용으로 교통하중이 가해져서 차이 발생한 것으로 판단된다.

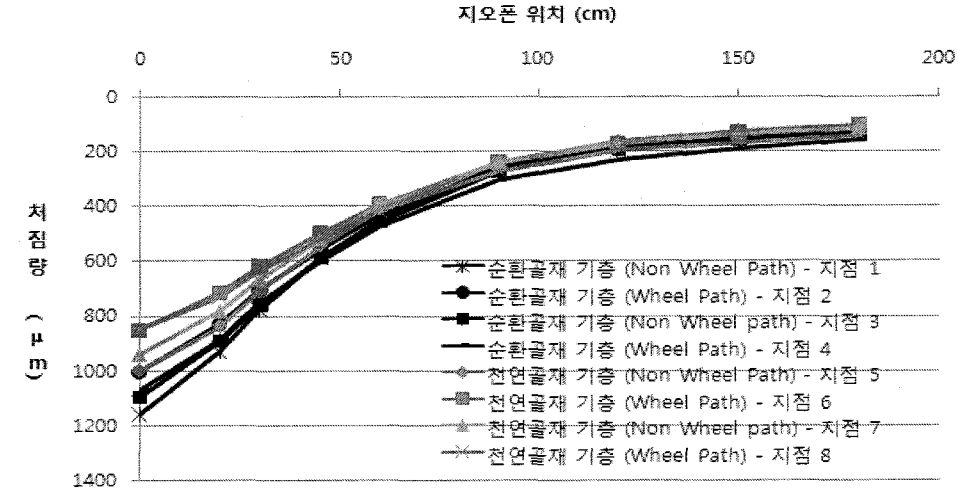
실험 결과 그래프는 [그림 3.3.64], [그림 3.3.65], [그림 3.3.66]과 같다. 순환골재 기층이 천연골재 기층보다 처짐량이 조금 더 발생하긴 하였으나, 실제 공용에 영향을 미치거나, 구조적, 공학적으로 문제가 되지 않았기 때문에, 순환골재를 기층 재료로 사용해도 무방하다고 판단된다.




[그림 3.3.64] 천연골재 기층 Wheel Path 와 Non Wheel Path 비교




[그림 3.3.65] 순환골재 기층 Wheel Path 와 Non Wheel Path 비교




[그림 3.3.66] FWD 결과 종합

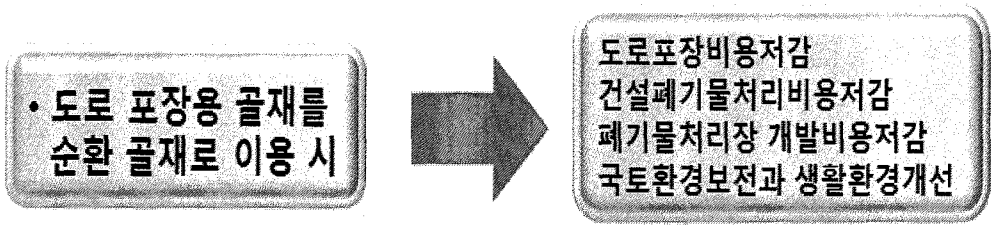
## 마. 천연골재와 순환골재, 재생골재의 경제성 평가

도로 포장용 재료뿐 만 아니라 건설 사업에 사용되는 모든 재료를 선택함에 있어 이 재료가 구조적으로 안정한지, 또한 공학적인 판단 후 타당한 재료인지, 여러 실험을 통하여서 현재 기준이 되는 시방규정과 방침에 적합한지 검토하는 것도 중요한 평가 기준이다. 하지만 아무리 구조적으로 안정되고, 공학적으로 타당하고, 시방규정과 방침을 통과한 재료 일지라도, 그 비용이 터무니없는 고가의 재료라면 좋은 재료라고 할 수 없을 것이다.

비용부분이라 함은 단순하게 그 재료의 시세만을 고려하는 것이 아니라 그 재

료를 사용함으로 소요되는 건설비용과, 그 재료를 선택하여서 그로 인해 비용이 절감되는 부분을 다져 봐야 한다.

우선 본 연구진이 연구한 순환골재를 도로 포장용인 고부가가치의 재료로 사용하게 되면, [그림 3.3.67]에서 볼 수 있듯이 첫째, 도로포장비용이 저감되고, 둘째, 건설폐기물을 재활용하여 재료로 사용하기 때문에 폐기물 처리비용이 저감 되고, 셋째, 건설폐기물을 단순하게 처리하던 폐기물 처리장을 개발해야 하는 부분의 비용이 저감되고, 넷째로, 천연재료의 사용의 수요가 줄어서 국토환경보전과 생활환경개선이라는 비용으로 따질 수 없는 많은 이점들이 있다.




[그림 3.3.67] 순환골재 이용 시 이점

많은 이점 중 가장 손쉽게 비교할 수 있는 재료비용 중 운반비를 제외한 골재 가격과 상치비용을 비교 해보면, <표 3.3.27>에서 볼 수 있듯이 천연골재는 1㎥ 당 15,000원 이고 순환골재는 1㎥ 당 8,000원 재생골재는 1㎥ 당 3,000원에 판매되고 있다. 하지만 아스팔트 콘크리트 제품의 특성상, 재료의 흡수율에 따라 필요 AP 함량이 달라지는데, 본연구진의 연구결과 천연골재는 5.3%, 순환골재는 5.8%, 재생골재는 6.9 %의 AP 최적 함량이 결정되었다.

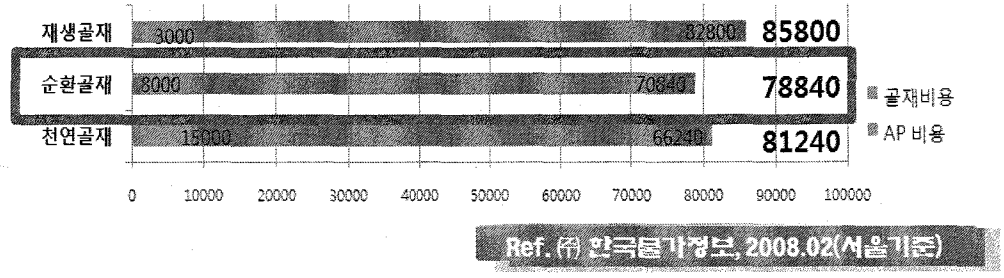
<표 3.3.27> 천연골재, 순환골재, 재생골재 비용 비교

| | 품명 | 단위 | 가격 | 소요 AP |
|---|---|---|---|---|
| 골재 (상차비 포함, 운반비 제외) | 천연골재 | ㎥ | 15,000원 | 144 kg |
| | 순환골재 | ㎥ | 8,000원 | 154 kg |
| | 재생골재 | ㎥ | 3,000원 | 180 kg |
| AP | | kg | 460원 | |

[그림 3.3.68]은 도로포장 1㎥ 에 소요되는 골재비용과 최적 AP 함량에 대한 비용을 계산한 결과이다. 계산한 결과 골재가 가장 저가였던 재생골재는 소요 AP 량이 높기 때문에 AP부분의 비용 때문에 다소 경제성이 모자란 재료라는 결론이 도출되었다.

하지만 천연골재와 순환골재를 비교해 본 결과 [그림 3.3.68]에서 볼 수 있듯이 천연골재는 1㎥ 당 소요 AP 가격이 66,240원, 순환골재는 1㎥ 당 소요 AP 가격이 70,840원으로 결정되었으나, 골재비용을 합하게 되면, 천연골재는 1㎥ 포장 시 81,240원, 순환골재는 78,840원으로 1㎥ 당 2,400원이 절감되었다. 예를 들어 일반국도 왕복 2차선을 포장하는데, 한 차선의 폭 4m로 양방향 8m, 두께 10cm 도로 연장 10km 라 할 때, 총 필요 아스팔트 콘크리트이 양은 8,000㎥ 가 된다.

천연골재로 포장할 경우, 649,920,000 원이 소비되고, 순환골재를 사용할 경우 630,720,000원이 소비되는데, 19,200,000 원이 저감되는 효과가 있다. 이는 극히 일부분에 불과하다. 위에서 말한 여러 이점들을 비용으로 환산한다면, 많은 비용을 저감하는 효과적이 재료라고 본연구진은 판단한다.




[그림 3.3.68] 천연골재, 순환골재, 재생골재 건설비용 비교

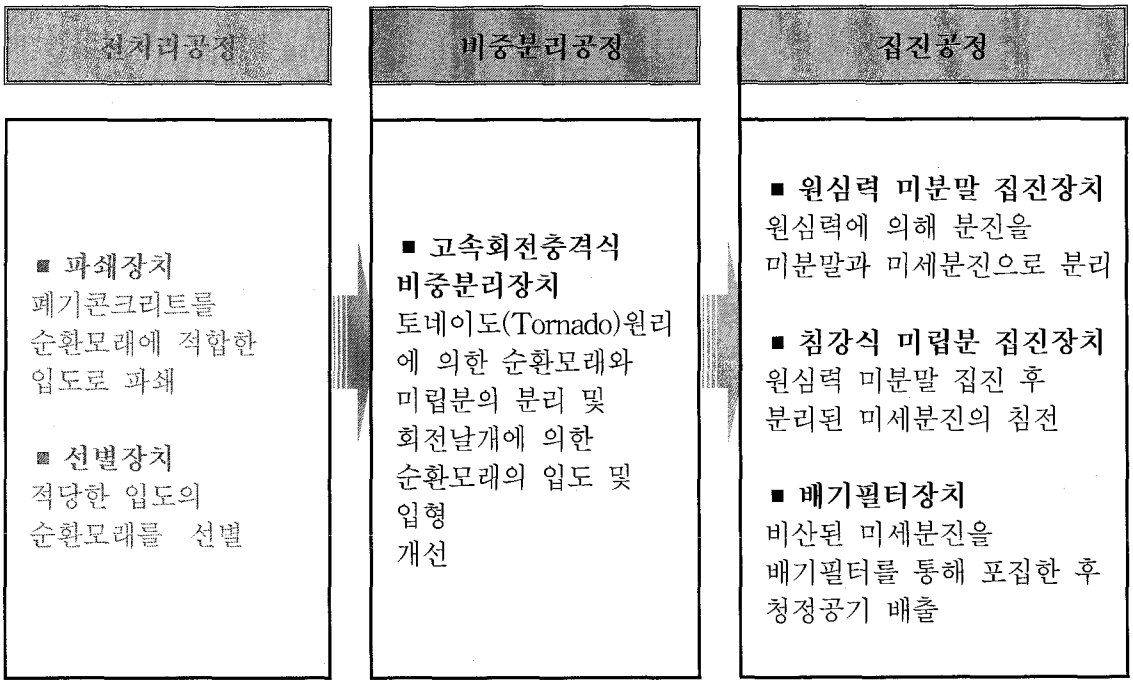
# 제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산시스템 개발

## 1. 입도개선을 위한 전처리 장치 및 공정개선

### 가. 전처리 공정의 개요

본 연구에서 개발한 전처리 공정 기술은 [그림 3.4.1]에서 보는 바와 같이 순환골재 생산시 투입된 폐기콘크리트 덩어리 및 순환 굵은 골재를 적당한 입도로 파쇄, 선별 후 미분말의 분리효율을 높이기 위한 공정으로써 파쇄장치, 선별장치 및 건조장치의 구성으로 투입된 폐기콘크리트를 5mm 이하의 입도로 파쇄하여 이물질과 입도가 큰 골재를 선별하는 역할을 한다.

본 연구에서 개발한 건식생산시스템 Ⅰ(직렬식, 천지환경, 전남 함평 소재)의 경우 임팩트 크러셔 1기, 트롬멜 스크린 1기로 구성되어 있으며, 건식생산시스템 Ⅱ(병렬식, 대형환경, 충남 논산 소재)의 경우 임팩트 크러셔 1기, 롤 크러셔 1기, 진동스크린 2기로 구성되어 있다.




[그림 3.4.1] 건식생산시스템의 공정 및 구성 장치

## 나. 전처리 공정 및 장치의 보완 및 개선

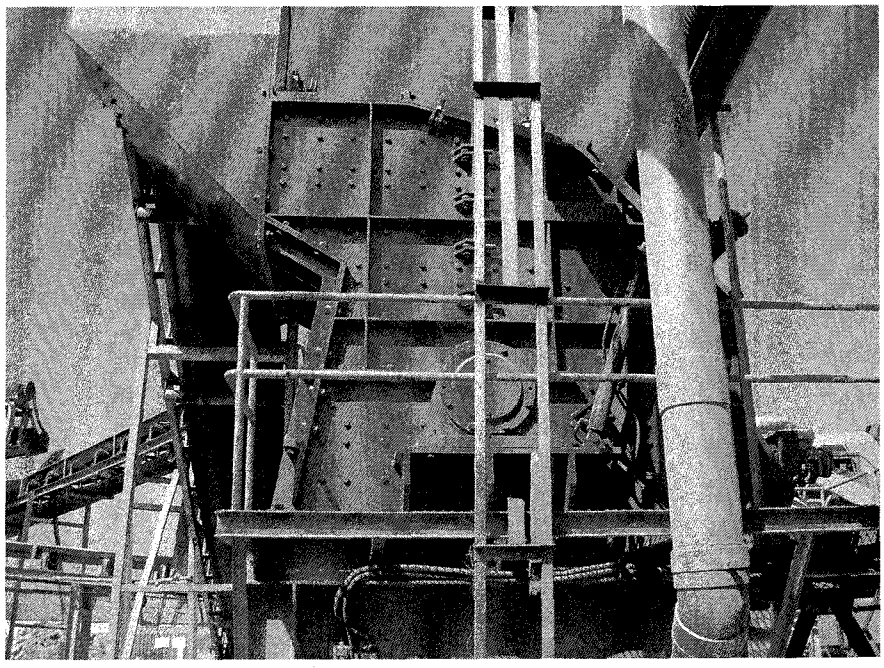
(1) 건식생산시스템 Ⅰ(직렬식) 전처리 공정의 구성장치

(가) 수평 임팩트 크러셔 (H.S. IMPACT CRUSHER)

수평 임팩트크러셔는 순환골재 생산시 1단계 및 2단계 크러싱을 위해 개선된 장치로써 고속으로 회전하는 원통에 장착한 충격날과 고정날이 원료입자에 220kw의 동력을 사용하여 강한 충격을 가해 골재 및 암석을 분쇄하는 장치로써 매초 수십 m의 속도로 고속회전하며 원통에 장치된 충격판에 의해시간당 100톤의 순환골재 생산이 가능하다.

현재 장치의 순환골재 생산현장에서 국내 보급현황은 17%로써 운전 중 기계의 진동이 적고, 구조가 간단하여 유지보수·설치 및 이동이 간편한 장점이 있다.

[사진 3.4.1]은 건식생산시스템 Ⅰ(직렬식, 천지환경)에 설치된 수평 임팩트 크러셔의 전경을 나타낸 것이다.

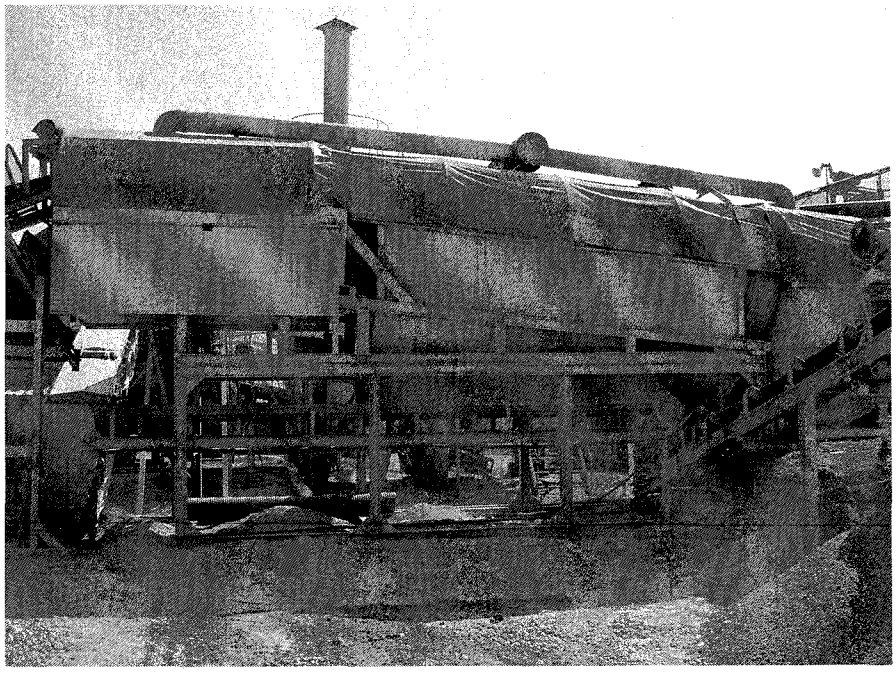


[사진 3.4.1] 수평 임팩트 크러셔의 전경(직렬식 건식생산시스템)

(다) 트롬멜 (Trommel) 스크린

트롬멜 선별장치는 순환골재 생산시 자력선별 공정을 거쳐 철근류, 토분, 불순물을 제거한 45mm 이하로 생산된 폐기콘크리트 원석을 2차 분류하여 토분 및 파쇄석분은 선별하는 우회공정으로 10mm~45mm의 골재인 건식이물질을 선별하는 장치로써 순환골재 생산시 현장 이동형과 현장 고정형으로 나뉘며 트롬멜 내의 스크린 입자의 크리 트롬멜 경사각, 회전수, 직경에 따라 생산량이 다르게 나타나며, 건설폐기물을 대상으로 하는 경우 대상물질에 포함된 성분의 종류와 크기 및 수분의 함량에 따라 분리 성능에 많은 차이를 나타내는데 트롬멜 원통 주위에 있는 많은 구멍을 토사들이 통과 중 막힘으로써 분리 성능이 떨어져 작업을 중단하여야 하기 때문에 작업성능이 떨어지는 단점이 있다.

[사진 3.4.2]는 건식생산시스템 I (직렬식, 천지환경)에 설치된 트롬멜 스크린의 전경을 나타낸 것이다.



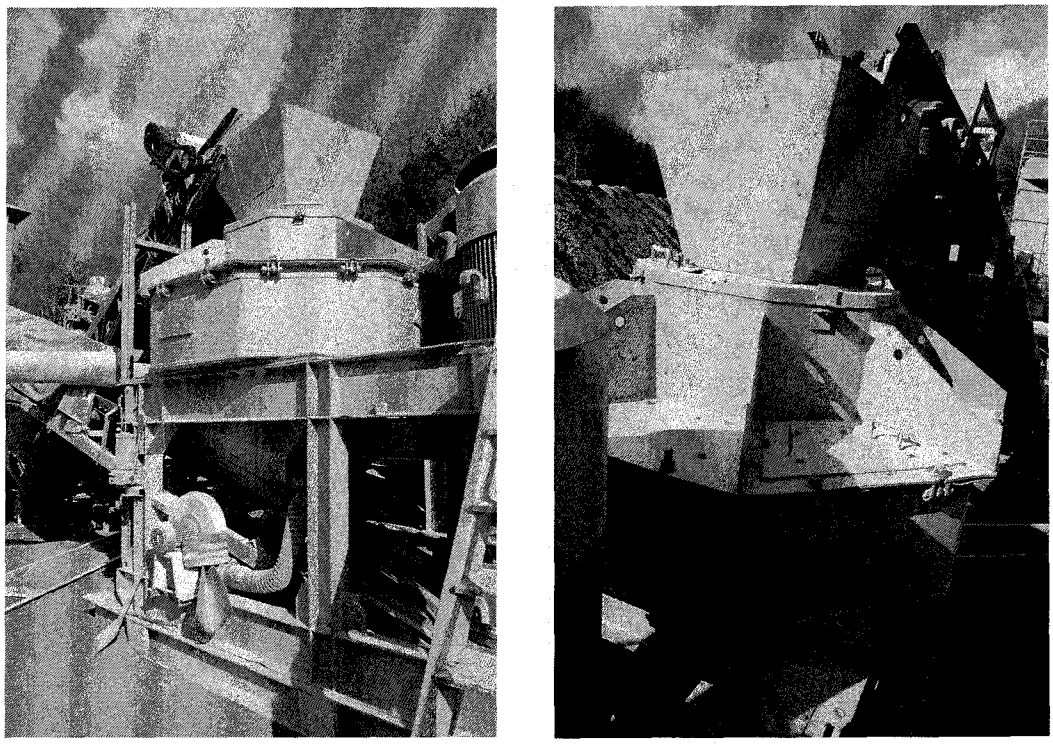
[사진 3.4.2] 트롬멜 스크린의 전경(직렬식 건식생산시스템)

(2) 건식생산시스템 Ⅱ(병렬식) 전처리 공정의 구성장치

(가) 수직임팩트 크러셔 (H.S. IMPACT CRUSHER)

수직 임팩트크러셔는 순환골재 생산 시 3단계 또는 4단계의 크러싱을 위해 개발되어 원심력을 이용하여 골재 및 암석을 파쇄하는 방식으로 일명 VSI 크러셔라고도 칭한다. 장치의 파쇄원리는 좁은 장치 내에 투입된 골재와 골재가 부딪혀 파쇄되는 원리로 시간당 100톤의 생산능력과 450kw의 동력을 사용하여 순환골재를 생산한다.

[사진 3.4.3]은 건식생산시스템 Ⅱ(병렬식, 대형환경)에 설치된 수직임팩트 크러셔의 전경을 나타낸 것이다.



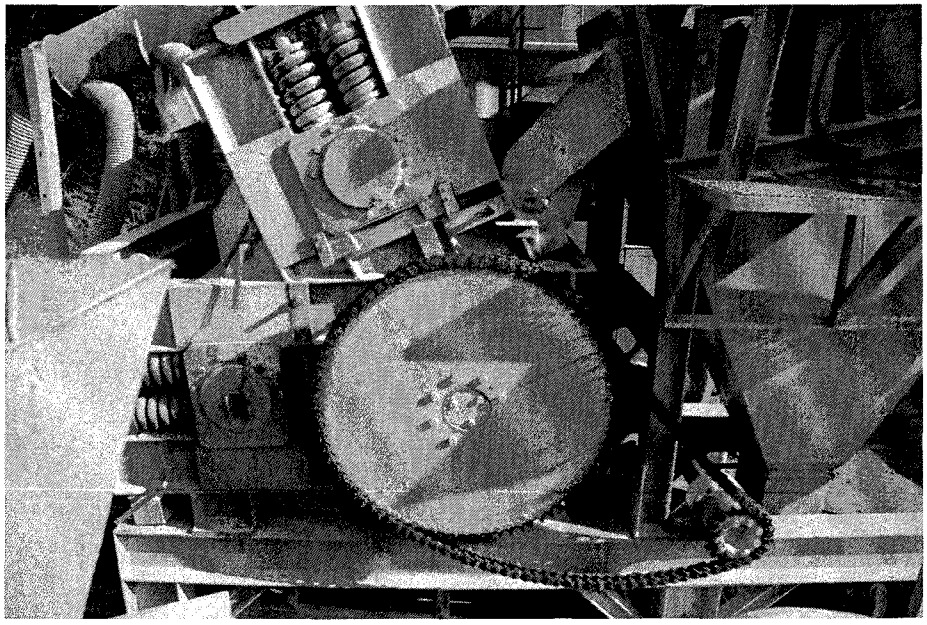
[사진 3.4.3] 수직 임팩트 크러셔의 전경(병렬식 건식생산시스템)

(나) 롤크러셔

롤크러셔는 더블롤 크러셔라고도 하며 1단계에서 파쇄한 골재 및 암석을 다시 잘게 부수기 위하여 사용하는 장치로써 롤의 둘레와 길이에 의해서 롤 크러셔의 크기가 구분되어 진다.

장치의 구성은 2개의 강철로 만들어진 원통 모양의 롤이 각각 다른 수평축에 고정되어 있으며 골재의 크기에 따라 롤 사이의 간격을 자유롭게 조절할 수 있으며, 롤은 나란히 설치되어 있으나 회전은 각각 반대방향으로 하여 그 사이에 암석을 물리게 하는 방식으로 암석은 롤 사이를 지나면서 압축력으로 암석을 잘게 파쇄되어 배출된다. 이러한 공정을 통하여 670kw 동력을 사용하여, 시간당 100톤의 10~20mm 크기의 포장용 골재생산이 가능하다.

[사진 3.4.4]는 건식생산시스템 II(병렬식, 대형환경)에 설치된 롤크러셔의 전경을 나타낸 것이다.



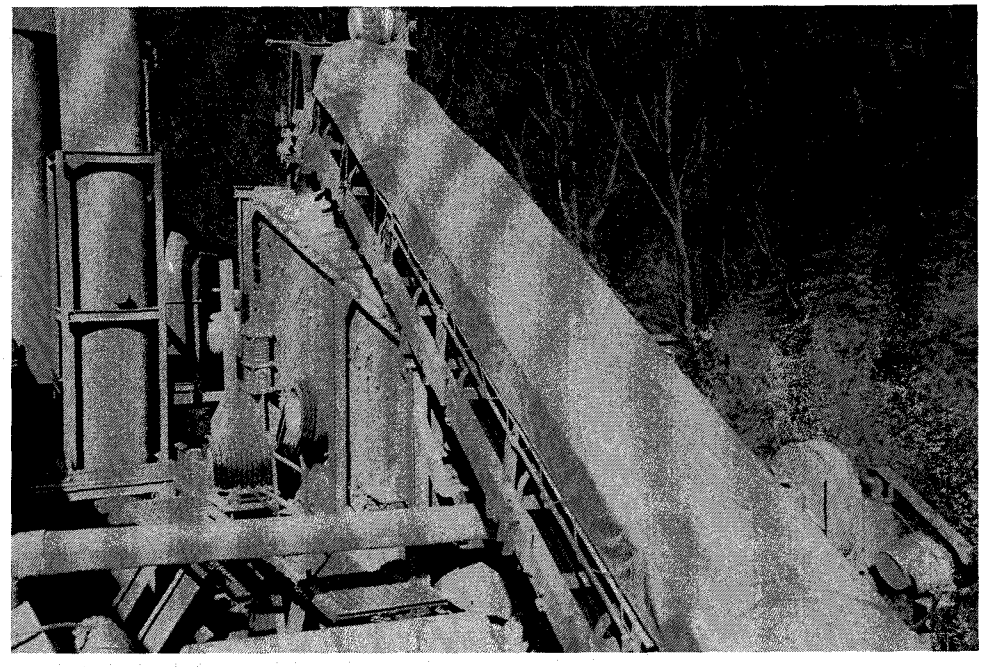
[사진 3.4.4] 롤크러셔의 전경(병렬식 건식생산시스템)

(다) 진동스크린

1차 파쇄기에서 파쇄된 건설폐기물을 선별적으로 스크린하여 (0~8mm) 및 순환 굵은골재(8~40mm)를 분리하여 1차 선별하는 공정장치로 스크린 되지 않은 40mm 이상의 골재는 2차 파쇄기로 이송되게 되며, 본 장치에 사용되는 스크린망은 타공망 또는 러버망을 사용하며 장치의 편심축 회전을 통하여 일반 이물질 및 부유물이 스크린에 끼는 것을 방지하는 효과를 지니고 있다.

또한 골재 선별 시 골재입자 특성에 맞는 진폭, 회전수에 조절이 가능하며, 22~70kw의 동력으로 시간당 150~700ton의 골재선별이 가능한 점이 특징이다.

[사진 3.4.5]는 건식생산시스템 Ⅱ(병렬식, 대형환경)에 설치된 진동스크린의 전경을 나타낸 것이다.

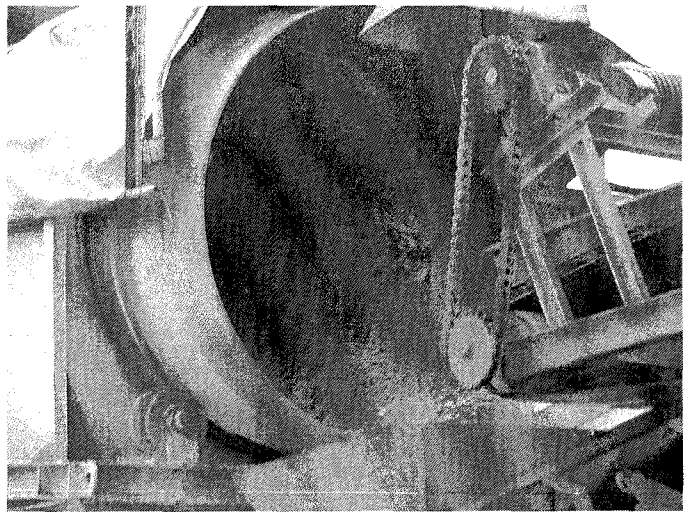


[사진 3.4.5] 진동스크린의 전경(병렬식 건식생산시스템)

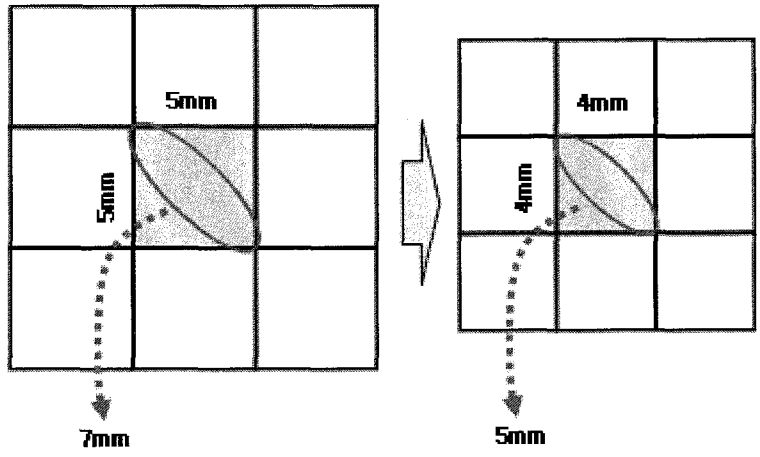
(3) 선별효율 향상을 위한 장치개선

(가) 직렬식 건식생산시스템

본 연구에서는 건식생산시스템의 I (직렬식, 천지환경)의 경우 [사진 3.4.6]과 같이 단순회전하고 있는 선별장치를 통과한 순환모래에서 최대입경이 5mm 이상인 순환모래가 다량으로 포함되는 문제가 발생하고 있어 선별효율 향상을 위해 [그림 3.4.2]에서 보는 바와 같이 선별장치의 체 크기를 5mm에서 4mm로 축소시킴으로서 최대입경이 5mm 이상 순환모래의 생산을 방지하여 입도를 개선하고자 하였다.

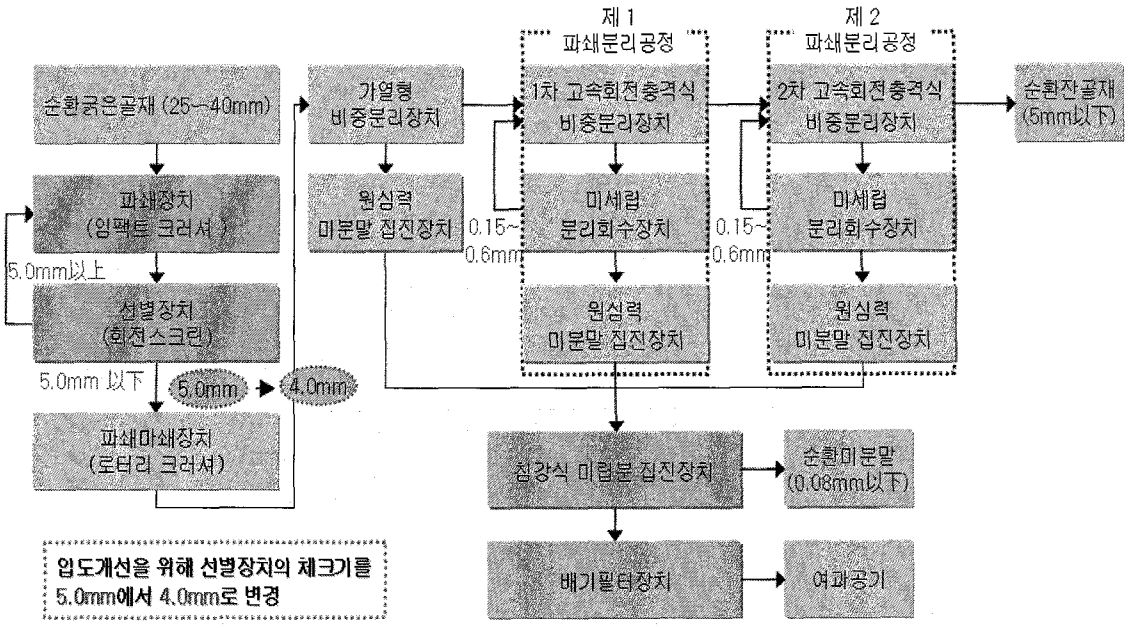


[사진 3.4.6] 순환모래의 선별(건식생산시스템 Ⅰ)




[그림 3.4.2] 선별장치의 개선 (건식생산시스템 Ⅰ)

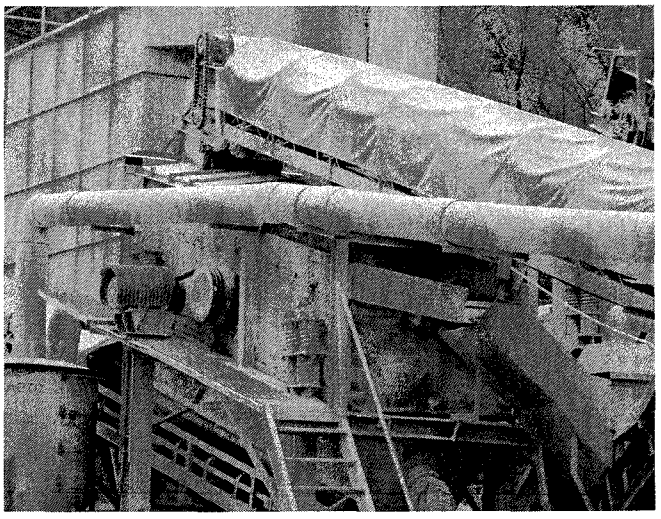
[그림 3.4.3]은 전처리 공정 가운데 선별장치가 개선된 건식생산시스템 Ⅰ의 공정 플로우를 나타낸 것이다.



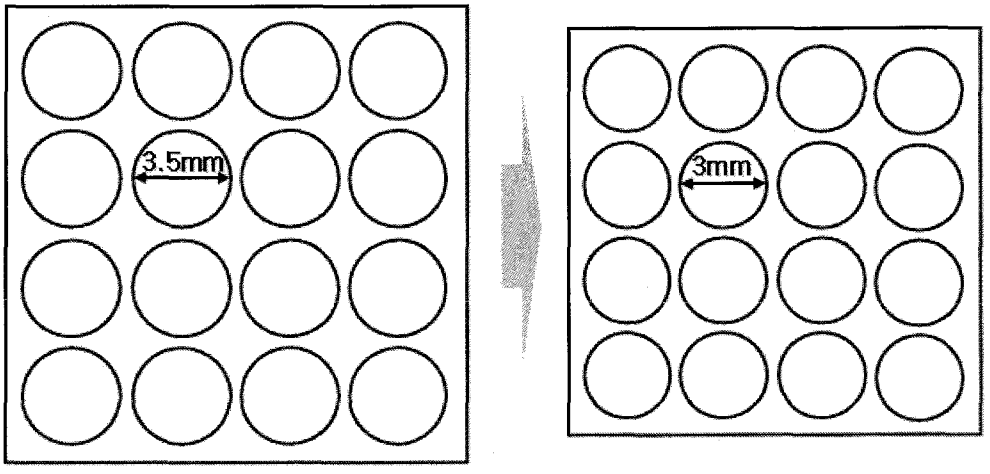

[그림 3.4.3] 개선된 건식생산시스템 Ⅰ의 공정 플로우

(나) 병렬식 건식생산시스템

본 연구에서는 전처리공정에서 선별효율 향상을 위해 건식생산시스템 Ⅱ(병렬식, 대형환경)의 경우 [사진 3.4.7]과 같은 1차 선별장치의 체 크기를 현재 [그림 3.4.4]에서 보는 바와 같이 3.5mm에서 3mm로 축소시켜 1차 파쇄되어 이송되는 순환모래의 양을 줄이고 2차 파쇄장치로 이송되는 순환모래의 양을 증대시켜 순환모래의 재파쇄율을 향상시킴으로서 부착모르타르 제거효율이 증대되어 최종 생산되는 순환모래의 품질 및 생산량을 개선할 수 있을 것으로 사료된다.

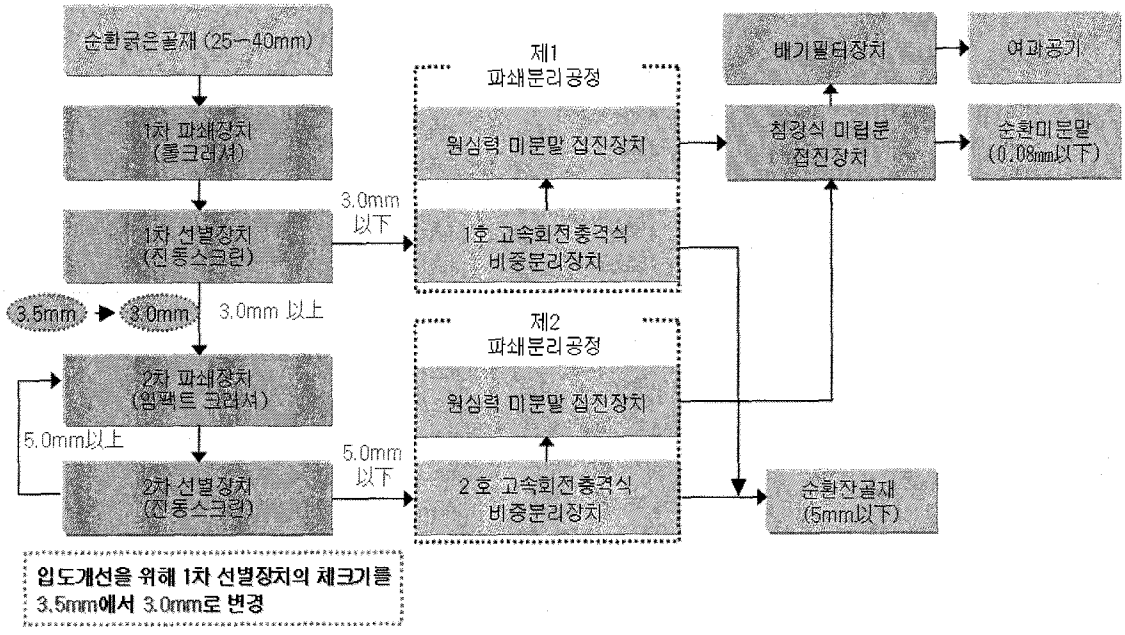


[사진 3.4.7] 순환모래의 선별(건식생산시스템 II)




[그림 3.4.4] 선별장치의 개선 (건식생산시스템 II)

[그림 3.4.5]는 전처리 공정 가운데 선별장치가 개선된 건식생산시스템 Ⅱ의 공정 플로우를 나타낸 것이다.




[그림 3.4.5] 개선된 건식생산시스템 Ⅱ의 공정 플로우

## 다. 전처리 공정의 경제성 및 생산성 평가

본 연구에서는 건식생산시스템 Ⅰ(직렬식, 천지환경) 및 Ⅱ(병렬식, 대형환경)의 전처리 공정을 구성하고 있는 파쇄 및 선별장치의 설치비용 및 소요면적 등의 초기비용과 건식생산시스템을 가동하기 위한 소요인력, 전력소비량 등과 같은 유지관리비용을 분석하여 비교·평가하였다.

<표 3.4.1> 및 <표 3.4.2>는 본 연구에서 개발한 건식생산시스템 Ⅰ의 초기비용 및 유지관리비용을 분석한 것이다.

<표 3.4.1> 건식생산시스템 Ⅰ의 초기비용 분석

(단위:천원)

| 품 명 | 규 격 | 단 위 | 수 량 | 제작설치비용 | 소요면적($m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 임팩트 크러셔 | AC10,250HP | 대 | 1 | 145,000 | 200 |
| 회전스크린 | ∅1600×5000 | 대 | 1 | 32,000 | |
| 합 계 | | | | 145,000 | |

<표 3.4.2> 건식생산시스템 Ⅰ의 유지관리비용 분석

(단위:천원)

| 소요인력 | 인원수 | 연급여 (단위 : 천원) | 전력소비량 |
|---|---|---|---|
| 운전원 | 1 | 20,400 | 임팩트 크러셔(190KW) + 트롬멜 스크린(7.5KW) = 197.5KW |
| 보조운전원 | 1 | 14,400 | |
| 로우더운전원 | 1 | 21,600 | |
| 합 계 | 3 | 34,800 | |

<표 3.4.3> 및 <표 3.4.4>는 본 연구에서 개발한 건식생산시스템 Ⅱ의 초기비용 및 유지관리비용을 분석한 것이다.

<표 3.4.3> 건식생산시스템 Ⅱ의 초기비용 분석

(단위:천원)

| 품 명 | 규 격 | 단 위 | 수 량 | 제작설치비용 | 소요면적($m^2$) |
|---|---|---|---|---|---|
| 롤 크러셔 | - | 대 | 1 | 100,000 | 300 |
| 임팩트 크러셔 | - | 대 | 1 | 100,000 | |
| 진동스크린 | HVS-1542 | 대 | 2 | 60,000 | |
| 합 계 | | | | 260,000 | |

<표 3.4.4> 건식생산시스템 Ⅱ의 유지관리비용 분석

(단위:천원)

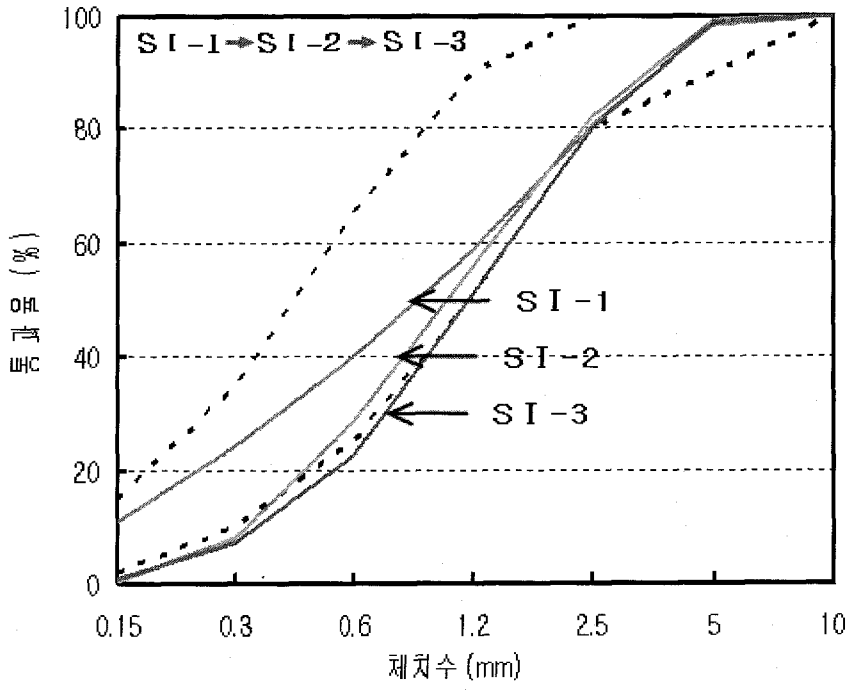
| 소요인력 | 인원수 | 연급여 (단위 : 천원) | 전력소비량 |
|---|---|---|---|
| 운전원 | 1 | 24,000 | 롤 크러셔(150KW) + 진동 스크린(15KW) + 임팩트 크러셔(160KW) + 진동 스크린(15KW) = 340KW |
| 보조운전원 | 1 | 20,400 | |
| 로우더운전원 | 1 | 21,600 | |
| 합 계 | 3 | 44,400 | |

## 2. 입형개선 및 분리효율 향상을 위한 건식비중분리장치 및 공정 보완과 고품질 순환모래의 품질평가

### 가. 입형개선 및 분리효율 향상을 위한 건식비중분리장치 및 공정 개선

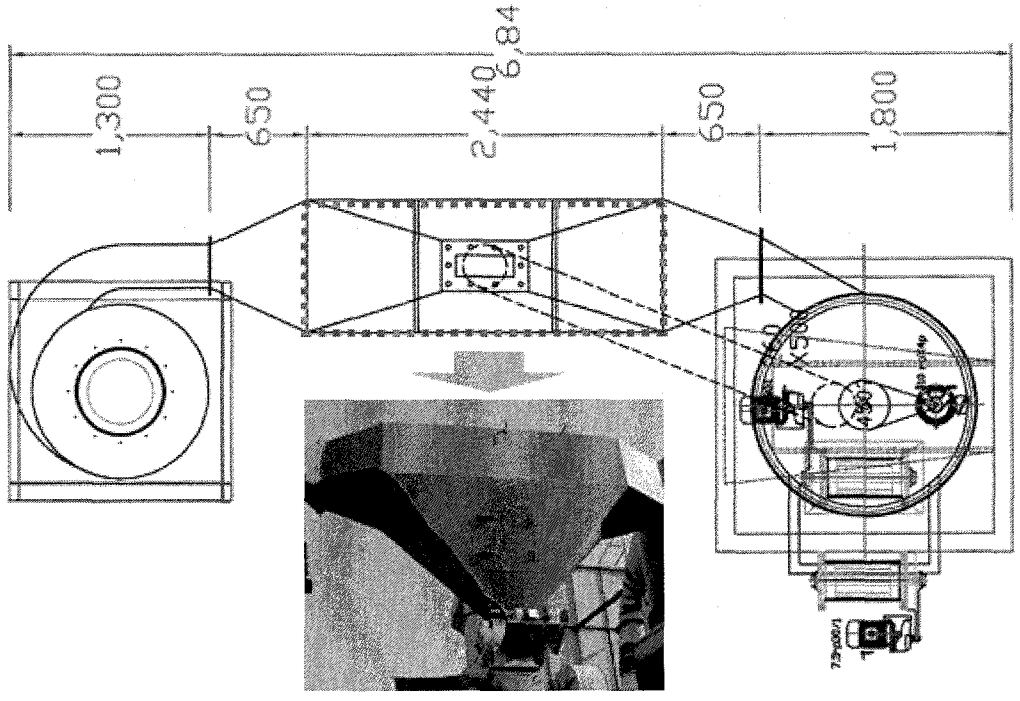
(1) 순환모래의 입도 및 입형개선을 위한 장치 및 공정개선

건식생산시스템 Ⅰ(직렬식, 천지환경)의 경우 가열형, 1차 및 2차 고속회전충격식 비중분리장치를 통해 생산된 순환모래 SⅠ-1, SⅠ-2 및 SⅠ-3 의 입도분포를 평가한 결과 [그림 3.4.6]에 나타낸 바와 같이 원심력 미분말 집진장치의 가동수 및 흡입력 등에 의해 순환모래 내에 0.3mm이하의 미립분과 2.5mm 이상의 모래가 다소 적은 것으로 나타나 표준입도분포를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

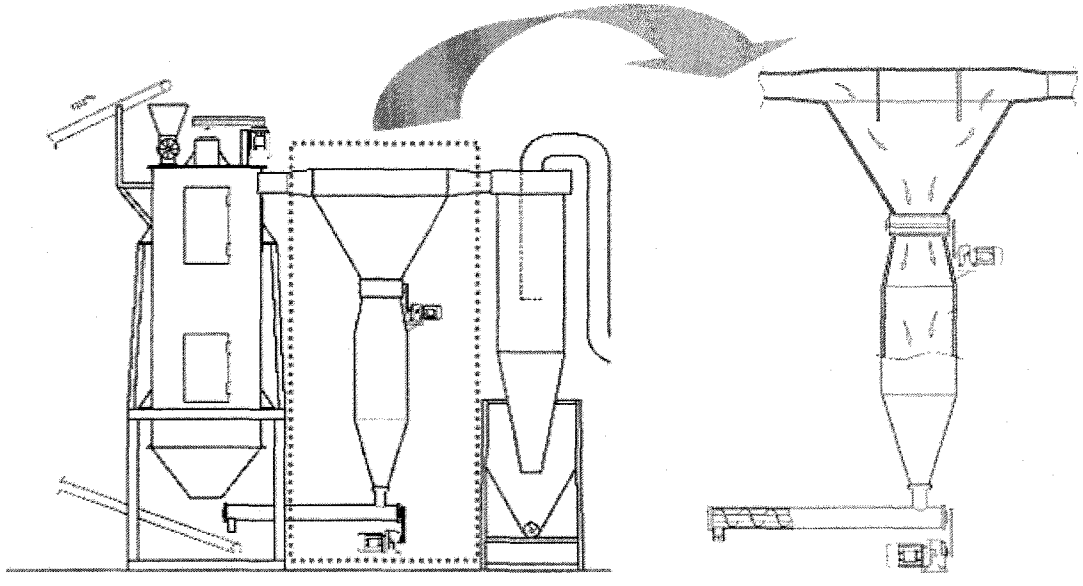



[그림 3.4.6] 순환모래의 표준입도분포곡선 (건식생산시스템 Ⅰ)

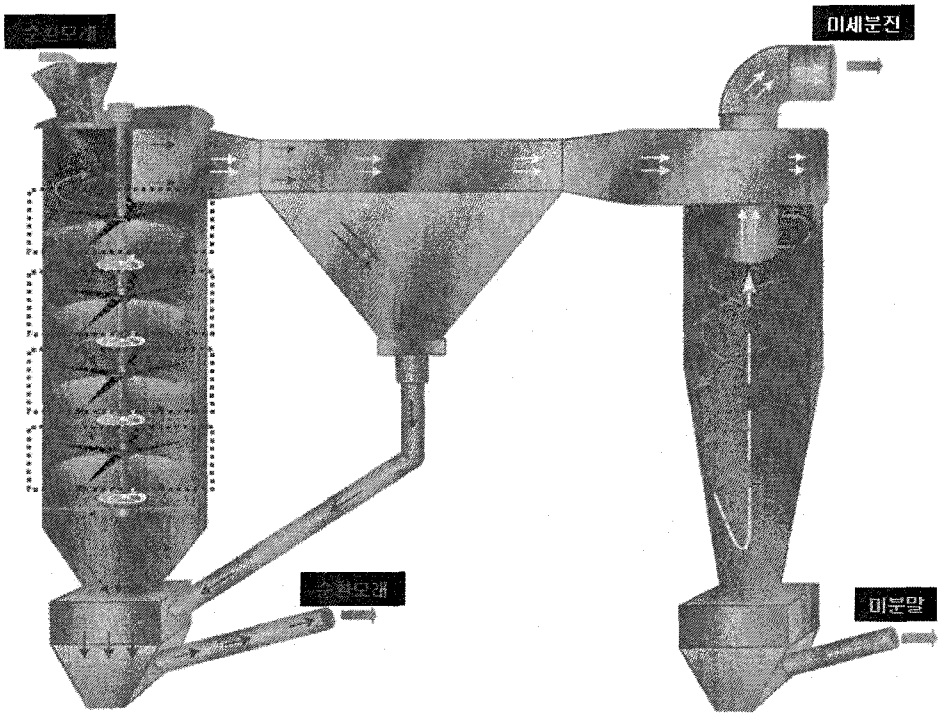
따라서 본 연구에서는 순환모래의 표준입도분포를 만족하기 위해 [그림 3.4.7 ~ 3.4.9]에 나타낸 바와 같이 고속회전충격식 비중분리장치와 원심력 미분말 집진장치 사이에 미세립 분리회수장치를 설계하였다.



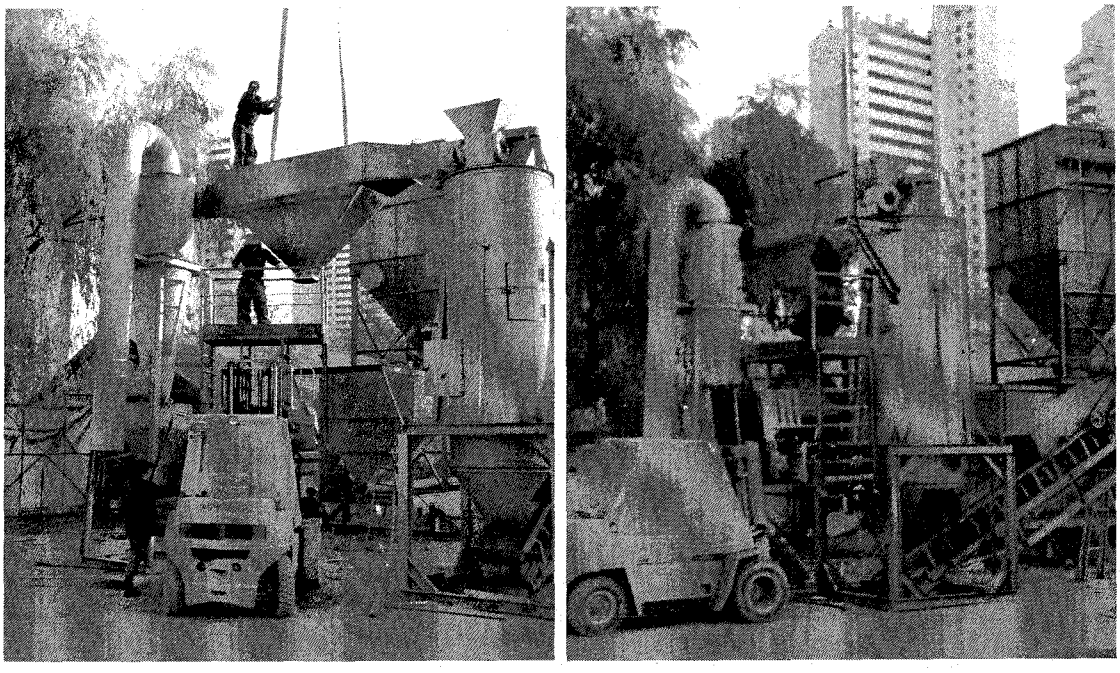

[그림 3.4.7] 미세립 분리회수장치의 평면도



[그림 3.4.8] 미세립 분리회수장치의 입면도



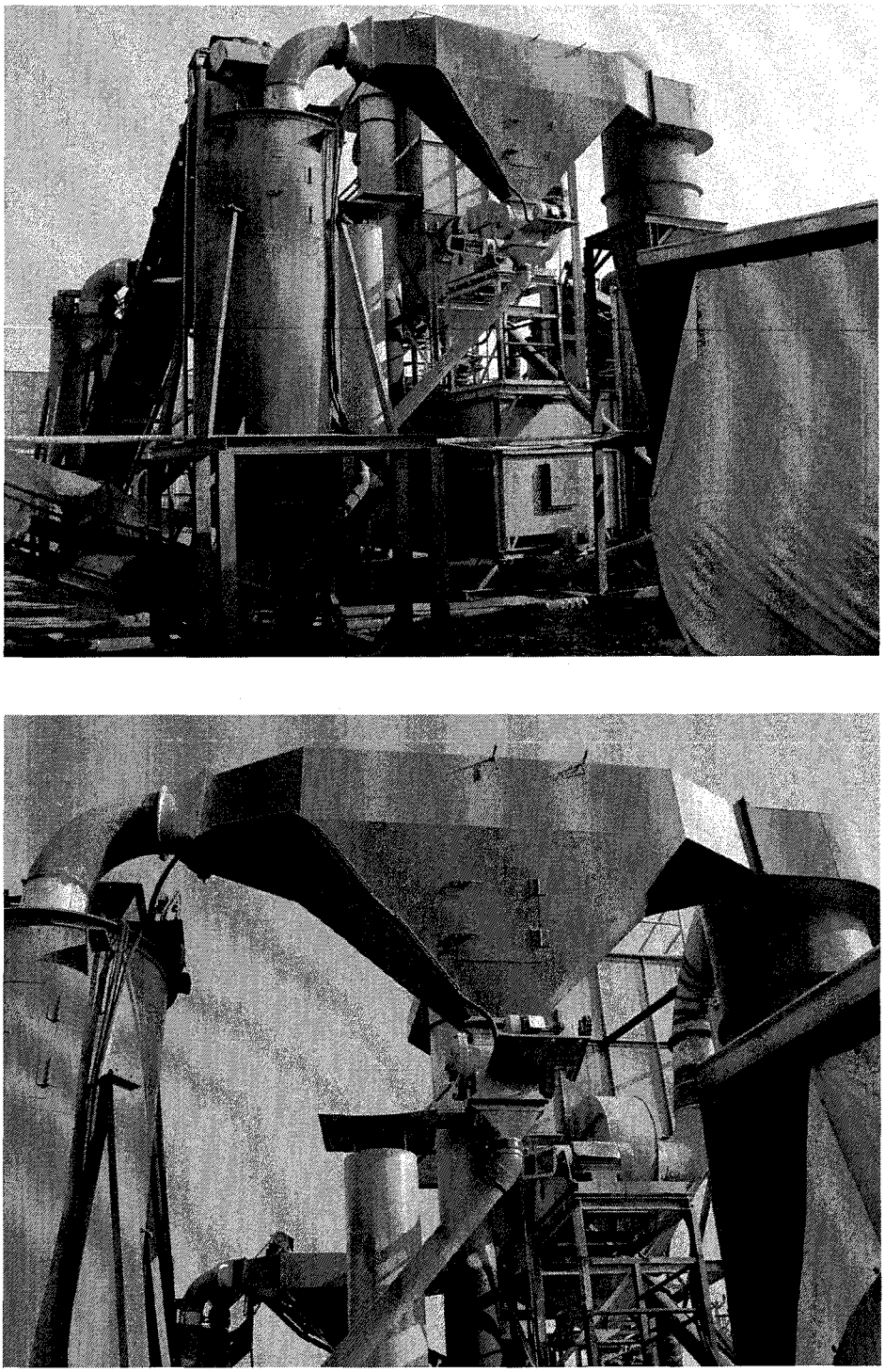

[그림 3.4.9] 미세립 분리장치에 의한 순환모래 및 미분말의 순환 개념도



[사진 3.4.8] 미세립 분리회수장치의 설치전경

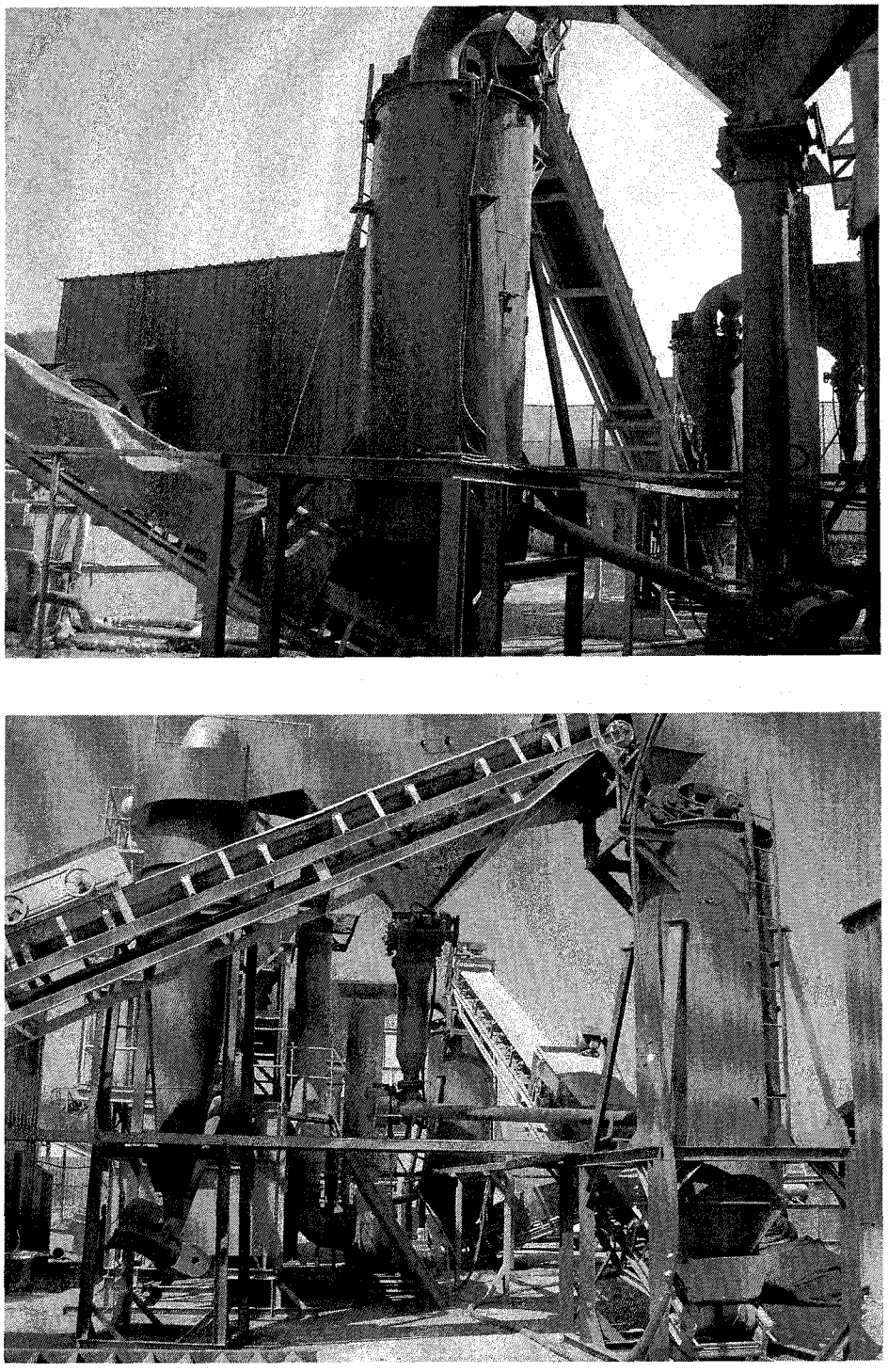
또한 미세립 분리회수장치를 설계하고 [사진 3.4.8]과 같이 성안이엔티(주) 공장(대전 중촌동 소재)에서 제작하여 성능을 평가하였다.

미세립 분리회수장치의 성능을 평가 한 후 [사진 3.4.9]와 같이 건식생산시스템 I에 현장적용하였으나 분리된 미세립분이 순환모래에 포함되지 않고 역류하는 현상이 발생하였다.



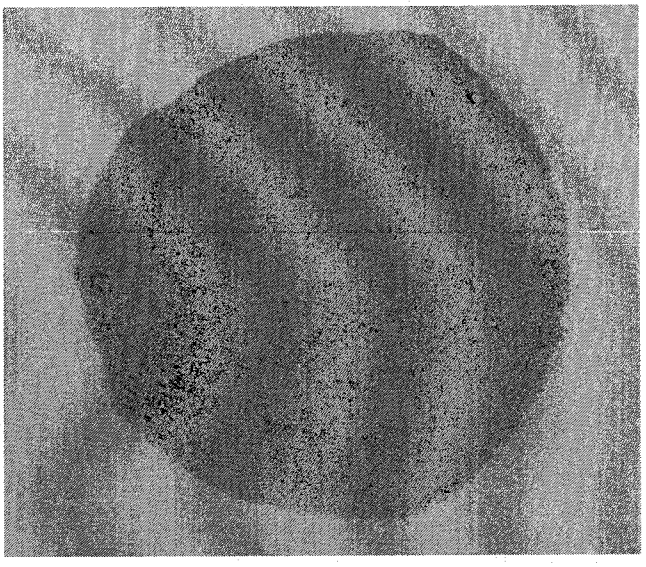
[사진 3.4.9] 미세립 분리회수장치의 현장설치 (1단계)

따라서 본 연구에서는 최종적으로 미세립 분리회수장치에서 분리회수된 미세립분을 안정적으로 순환모래에 포함시키기 위해 [사진 3.4.10]과 같이 미세립관 및 로터리 밸브를 설치하였다.

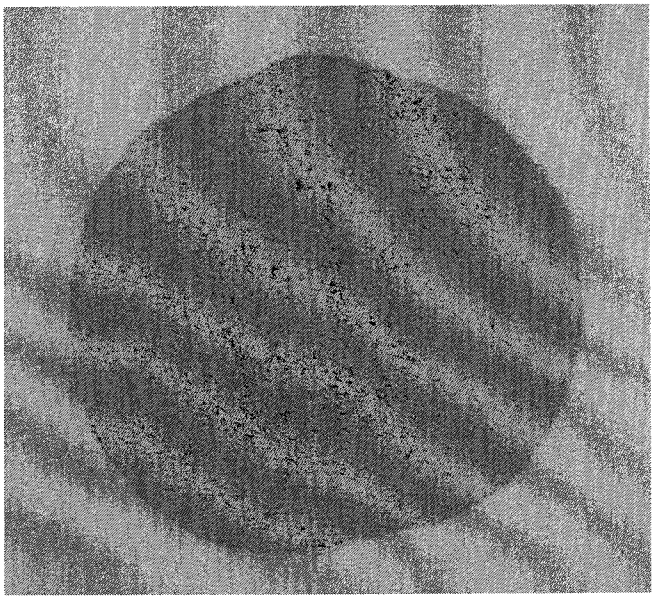


[사진 3.4.10] 미세립 분리회수장치의 현장설치 (2단계)

한편, [사진 3.4.11]은 미세립 분리회수장치에 의해 포집된 미세립분의 형상을 나타낸 것이며, [그림 3.4.10]은 생산된 1, 2차 미세립 분리회수장치를 통해 포집된 미세립분의 입도분포를 나타낸 것으로 0.3mm이하의 미세립분이 대부분을 차지하고 있어, 기존에 생산시스템의 문제점으로 지적되었던 0.3mm이하의 미세립분 부족문제를 해결함으로서 생산되는 순환모래의 입도개선이 가능할 것으로 사료된다.

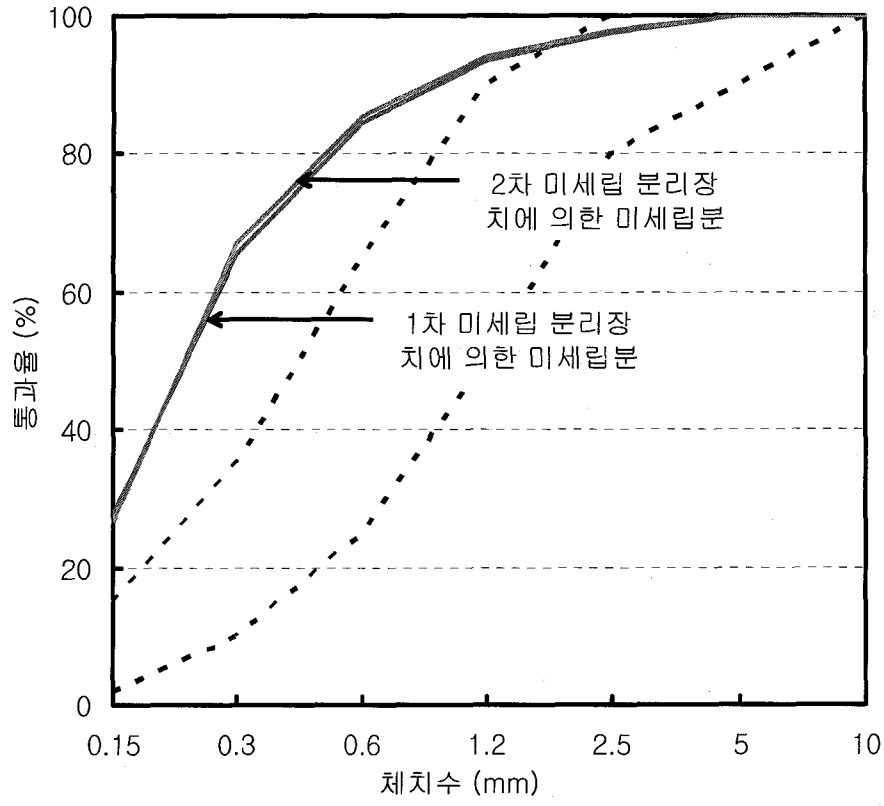


(a) 1차 미세립 분리회수장치에 의한 미세립분



(b) 2차 미세립 분리회수장치에 의한 미세립분

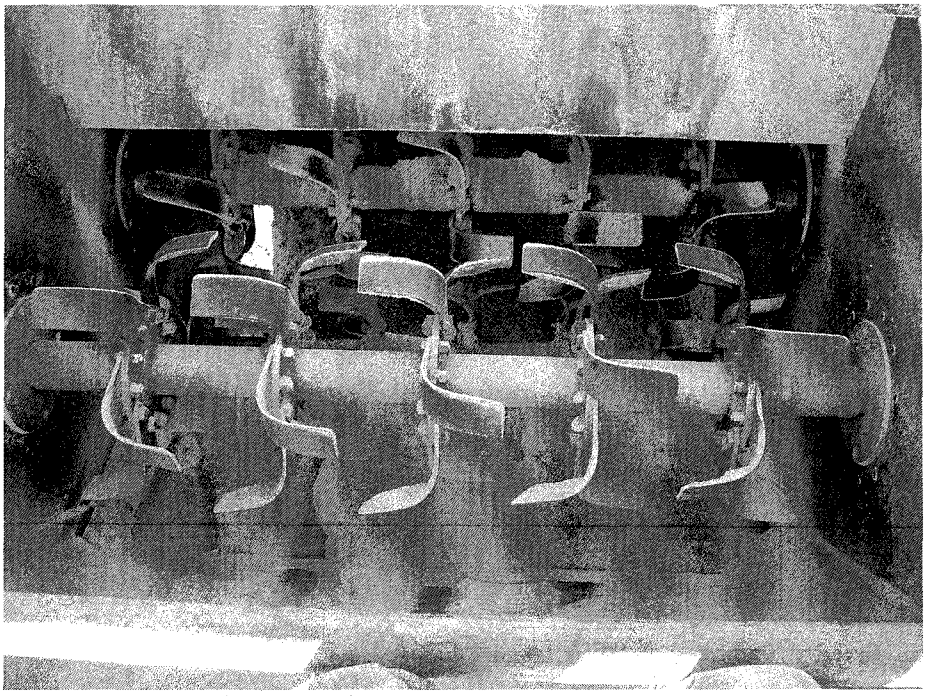
[사진 3.4.11] 미세립 분리회수장치에 의한 미세립분의 형상

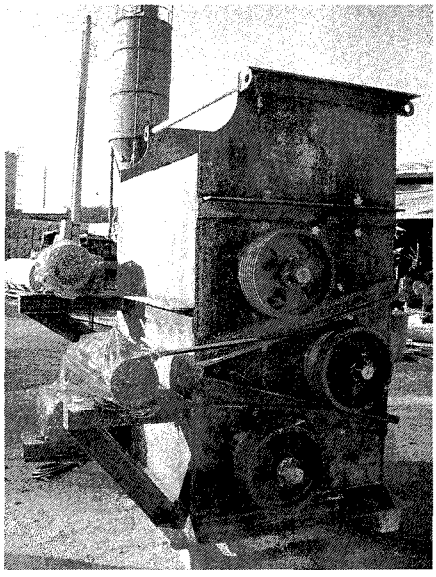


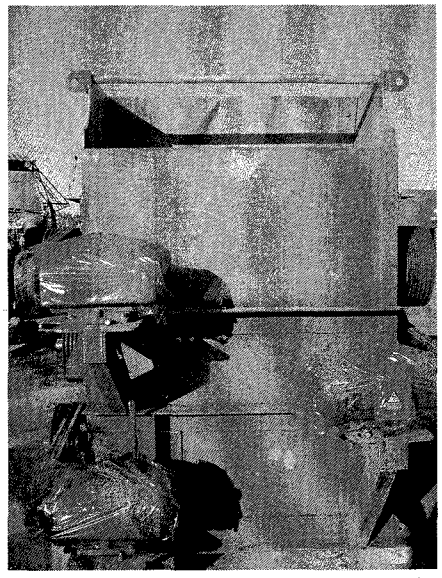

[그림 3.4.10] 미세립 분리회수장치에 의한 미세립분의 입도분포

(2) 순환모래의 부착모르타르 분리효율 향상을 위한 장치 및 공정 개선

본 연구에서 개발한 순환모래 건식생산시스템의 품질개선효과를 향상시키기 위해 순환모래에 부착된 모르타르를 제거하기 위해 [사진 3.4.12]와 같은 스크류를 이용한 파쇄마쇄장치를 제작하였다.

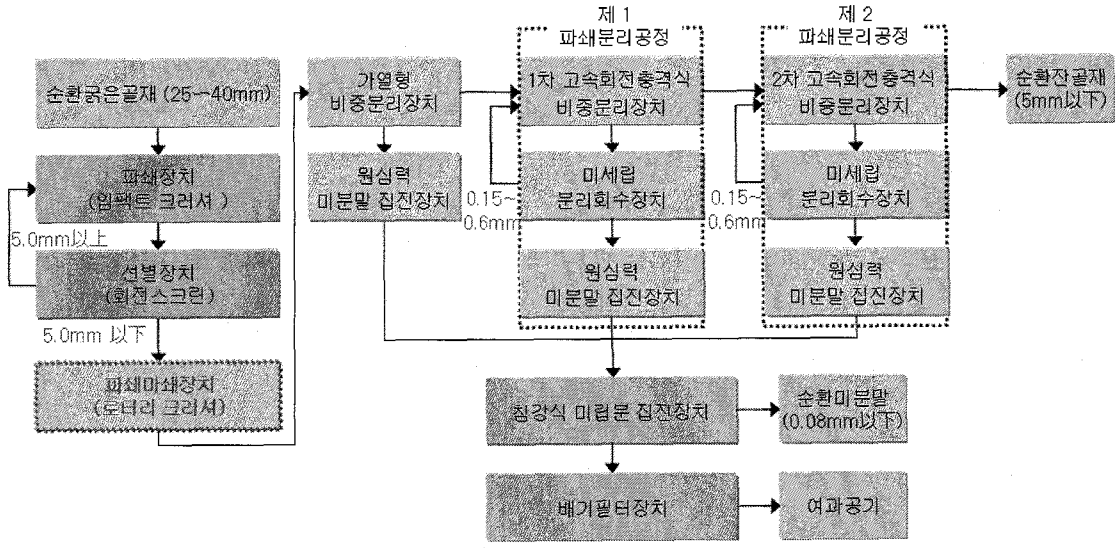




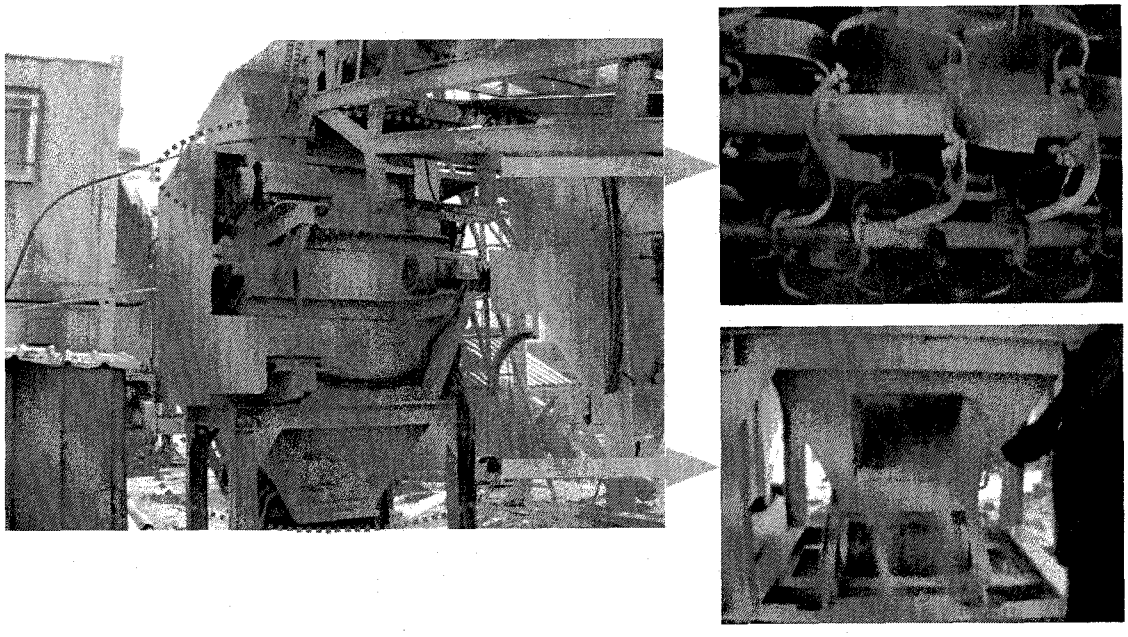


[사진 3.4.12] 파쇄마쇄장치(안)의 제작

또한 파쇄마쇄장치를 개선한 후 건식생산시스템 I(직렬식, 천지환경)에 [그림 3.4.11] 및 [사진 3.4.13]과 같이 추가설치하여 기존 임팩트 크러셔에 의한 1차파쇄에 의해 파쇄되고 선별장치를 통과한 순환모래에 2차 파쇄작용을 가함으로서 파쇄효율을 증가시켰다.



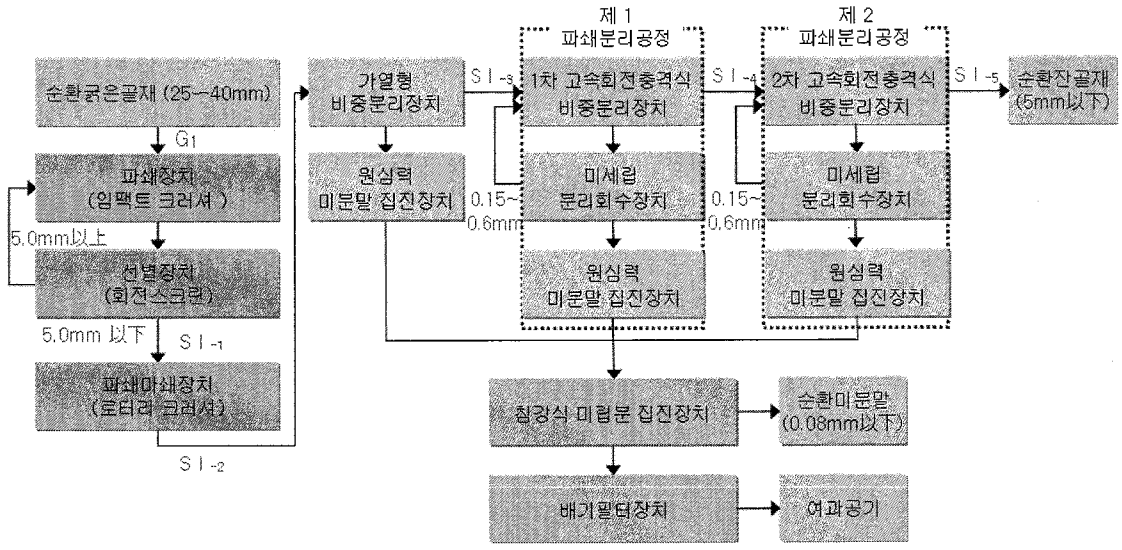

[그림 3.4.11] 파쇄마쇄장치의 설치



[사진 3.4.13] 파쇄마쇄장치의 전경

## 나. 개선된 비중분리공정에서 생산된 순환모래의 기초물성 평가

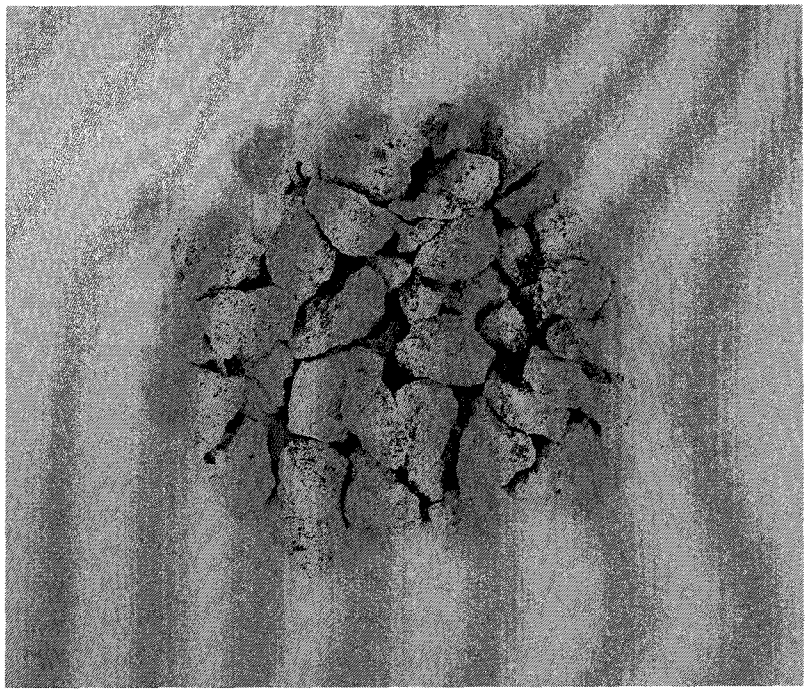
[그림 3.4.12]는 개선된 건식생산시스템 Ⅰ의 순환모래 채취공정을 나타낸 것이며, 이를 통해 생산된 순환모래의 형상은 [사진 3.4.14~16], 품질을 평가한 결과는 <표 3.4.5>, [그림 3.4.13 ~17]에 나타낸 바와 같다.



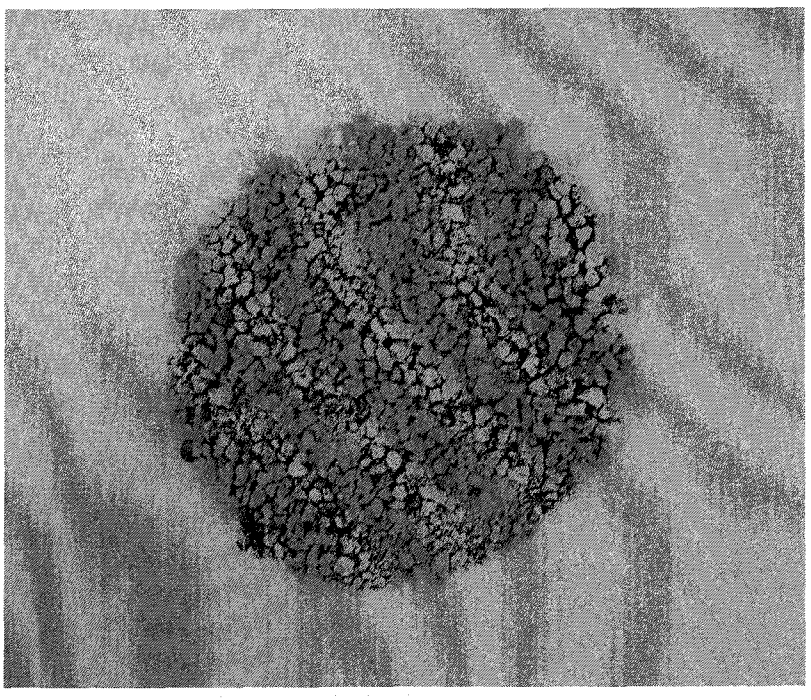

[그림 3.4.12] 순환모래 건식생산시스템 I 의 순환모래 채취공정

<표 3.4.5> 공정별 생산된 순환모래의 품질평가 결과

| 평가항목 | 건식생산시스템 I (직렬식) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 투입골재 $G_1$ | 순환모래 $SI-_1$[1] | 순환모래 $SI-_2$[2] | 순환모래 $SI-_3$[3] | 순환모래 $SI-_4$[4] | 순환모래 $SI-_5$[5] |
| 절대건조밀도 ($g/cm^3$) | 2.19 | 2.14 | 2.15 | 2.17 | 2.21 | 2.23 |
| 흡수율(%) | 6.78 | 7.52 | 7.38 | 6.34 | 5.45 | 4.72 |
| 입자모양판정 실적율(%) | - | 57.92 | 58.05 | 58.68 | 59.41 | 59.59 |
| 0.08mm 통과량(%) | - | 8.38 | 11.81 | 7.11 | 5.53 | 4.46 |

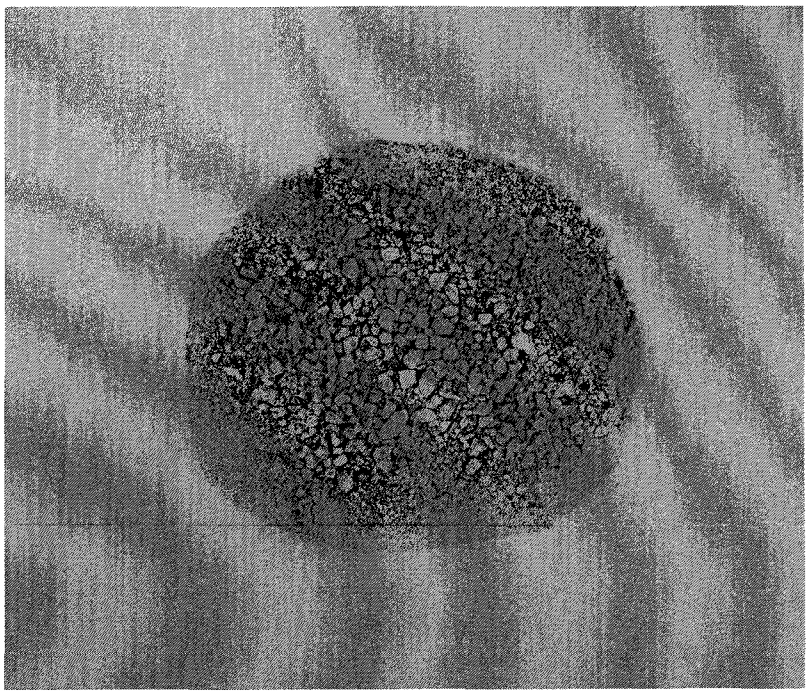


(a) 투입골재 ($G_1$)

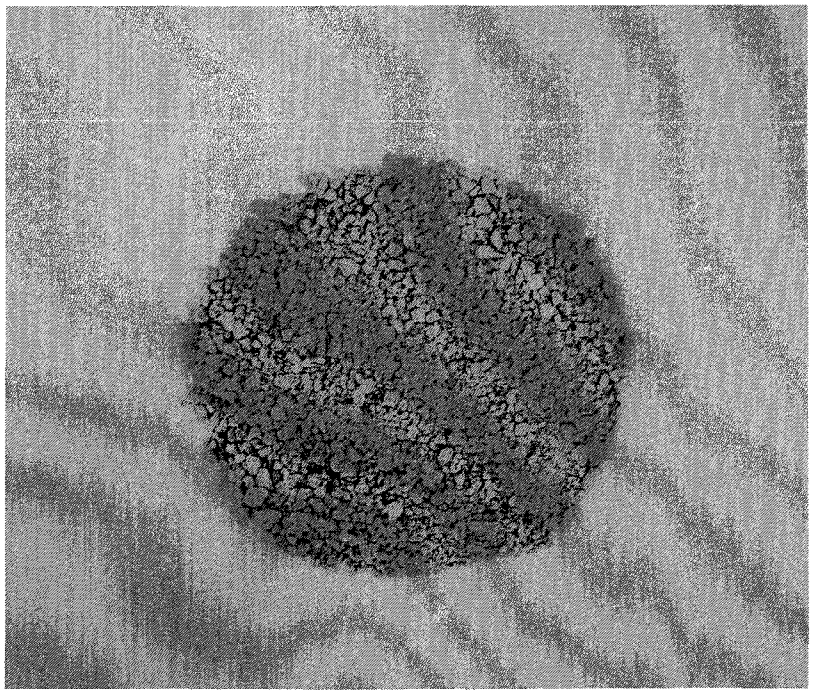


(b) 선별장치 통과 후 ($SI-_1$)

[사진 3.4.14] 생산된 순환모래의 형상(a)

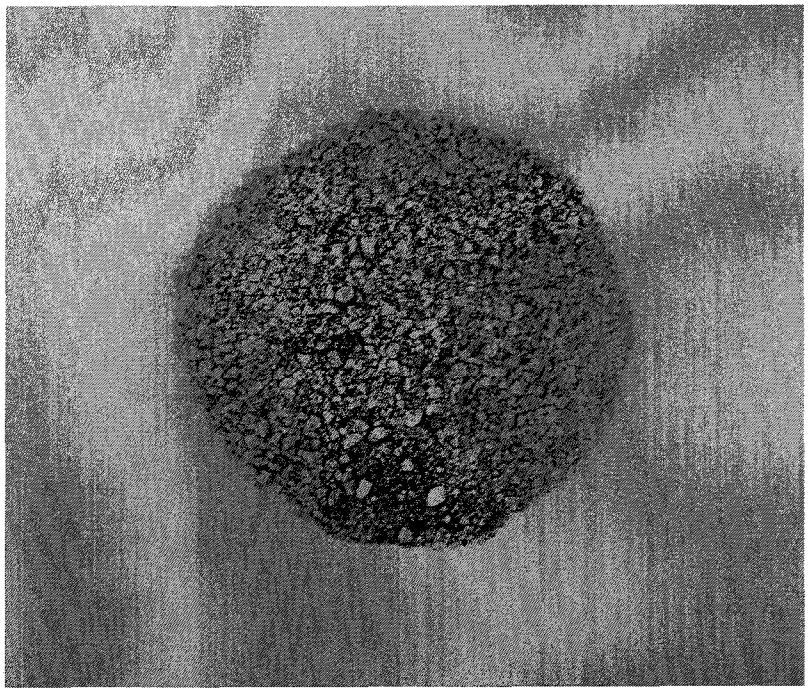


(c) 파쇄 · 마쇄장치 통과 후 ($S\,I-_2$)

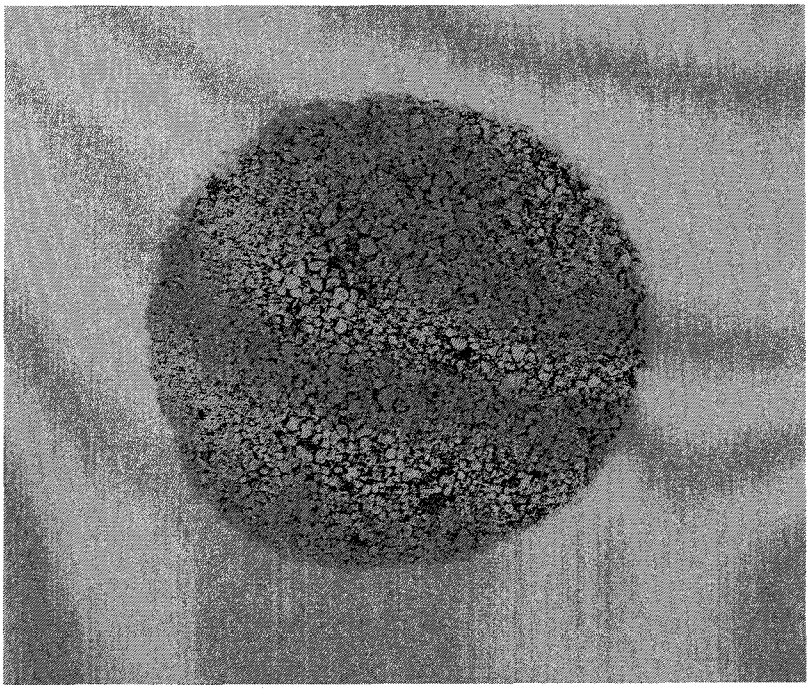


(d) 가열형 비중분리장치 통과 후 ($S\,I-_3$)

[사진 3.4.15] 생산된 순환모래의 형상(b)

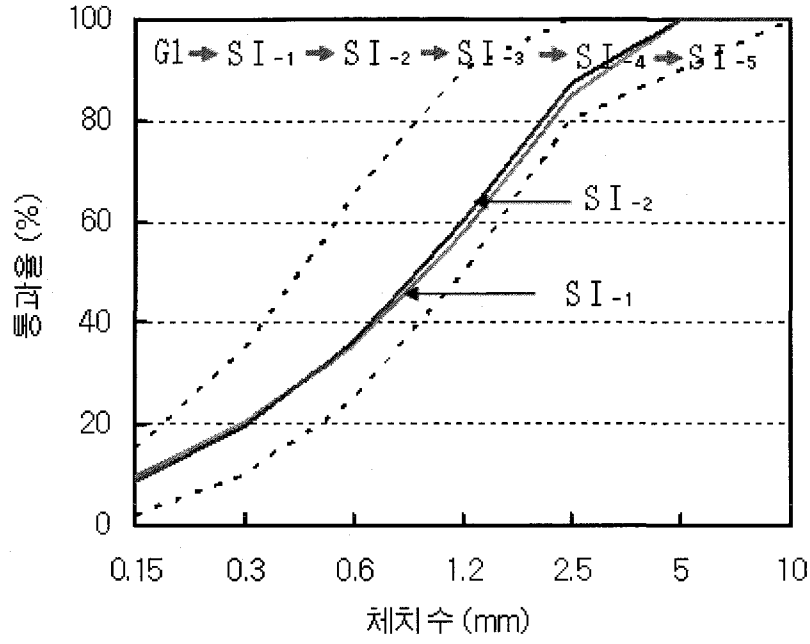


(e) 1차 고속회전충격식 비중분리장치 통과 후 (S I -4)

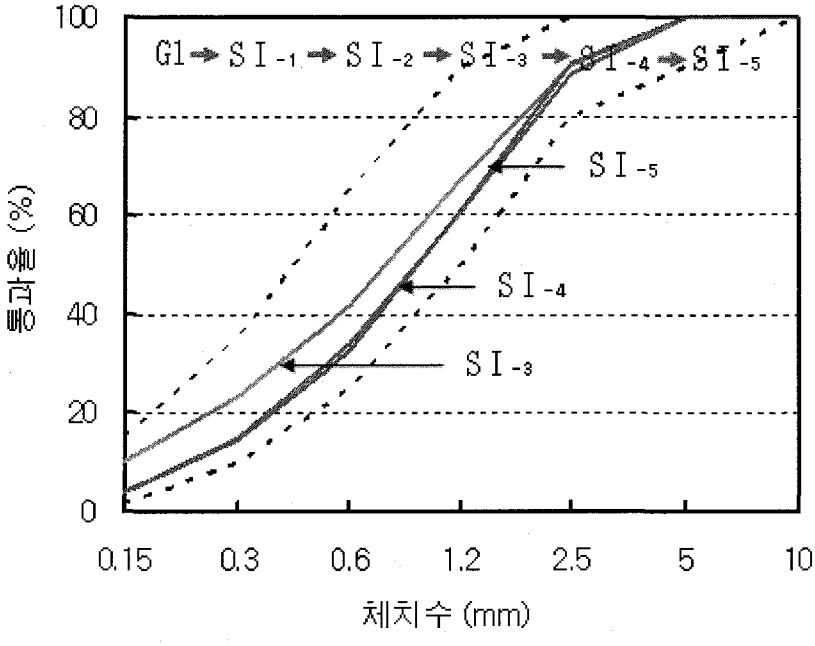


(f) 최종 생산된 순환모래 (S I -5)

[사진 3.4.16] 생산된 순환모래의 형상(c)




(a) 전처리 공정 통과 후




(b) 비중분리공정 통과 후

[그림 3.4.13] 공정별 생산된 순환모래의 입도분포

(1) 표준입도분포

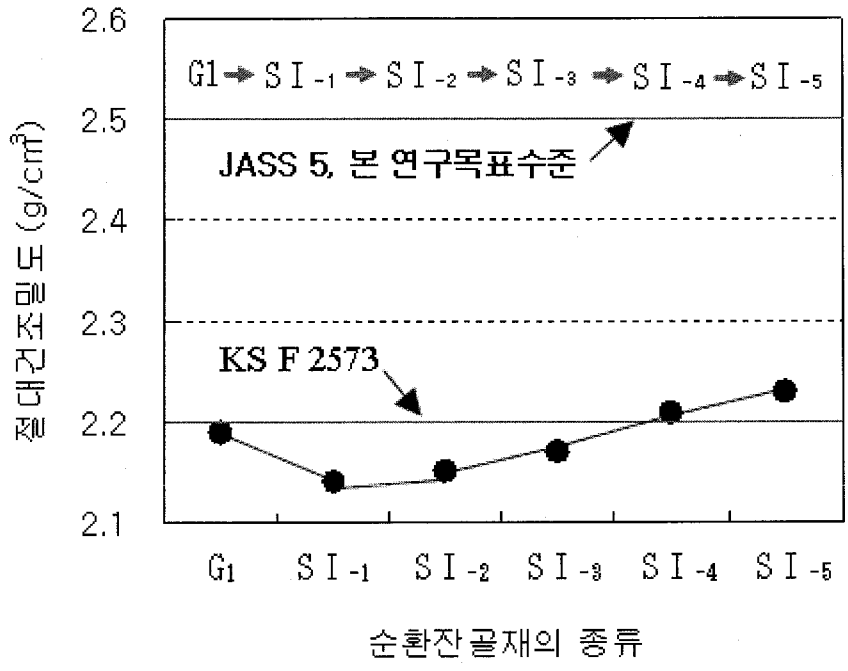
[그림 3.4.13]은 생산된 순환모래의 표준입도분포곡선을 나타낸 것으로 미세립 분리회수장치를 설치하기 전에는 원심력 미분말 집진장치의 가동수 및 흡입력 등에 의해 0.3mm이하의 미립분과 2.5mm 이상의 모래가 다소 적은 것으로 나타났으나 미세립 분리회수장치를 설치하여 미세리분을 분리회수함으로서 표준입도분포를 만족하는 것으로 나타났다.

(2) 절대건조밀도 및 흡수율

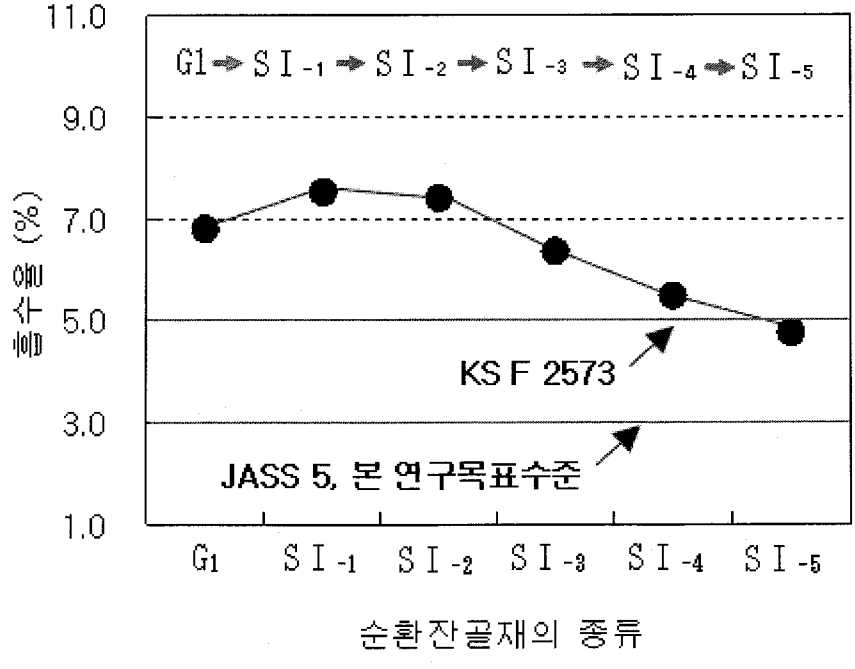
[그림 3.4.14 및 3.4.15]는 생산된 순환모래의 절대건조밀도와 흡수율을 나타낸 것으로 건식생산시스템 Ⅰ의 원골재, 선별장치, 파쇄·마쇄장치, 가열형비중분리장치, 1차 및 2차 고속회전충격식 비중분리장치를 통해 생산된 G1, SⅠ-1, SⅠ-2, SⅠ-3, SⅠ-4 및 SⅠ-5에서 생산된 순환모래의 절대건조밀도는 각각 2.19, 2.14, 2.15, 2.17, 2.21 및 2.23g/cm$^3$, 흡수율은 각각 6.78, 7.52, 7.38, 6.34, 5.45 및 4.72%로 최종 생산된 SⅠ-5의 경우 KS F 2573 「콘크리트용 순환골재」의 순환모래 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.

(3) 0.08mm체 통과량 및 입자모양판정실적률

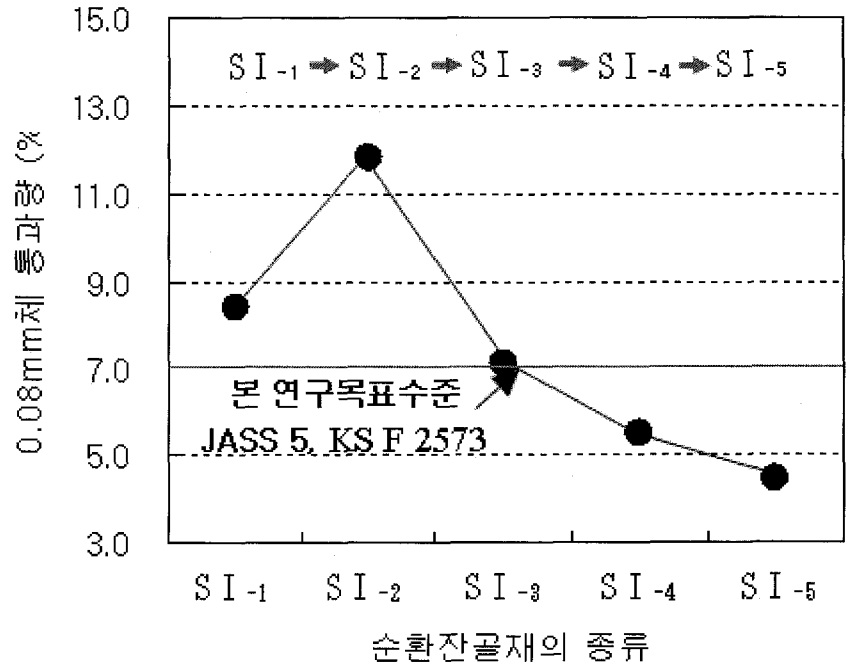
[그림 3.4.16 및 3.4.17]은 생산된 순환모래의 0.08mm체 통과량 및 입자모양판정실적률을 나타낸 것으로 건식생산시스템 Ⅰ의 선별장치, 파쇄·마쇄장치, 가열형비중분리장치, 1차 및 2차 고속회전충격식 비중분리장치를 통해 생산된 SⅠ-1, SⅠ-2, SⅠ-3, SⅠ-4 및 SⅠ-5에서 생산된 순환모래의 0.08mm체 통과량은 각각 8.38, 11.81, 7.11, 5.53 및 4.46%, 입자모양판정실적률은 각각 57.92, 58.05, 58.68, 59.41 및 59.59%로 최종 생산된 SⅠ-5의 경우 KS F 2573 「콘크리트용 순환골재」의 순환모래 품질기준을 만족하는 것으로 나타났다.



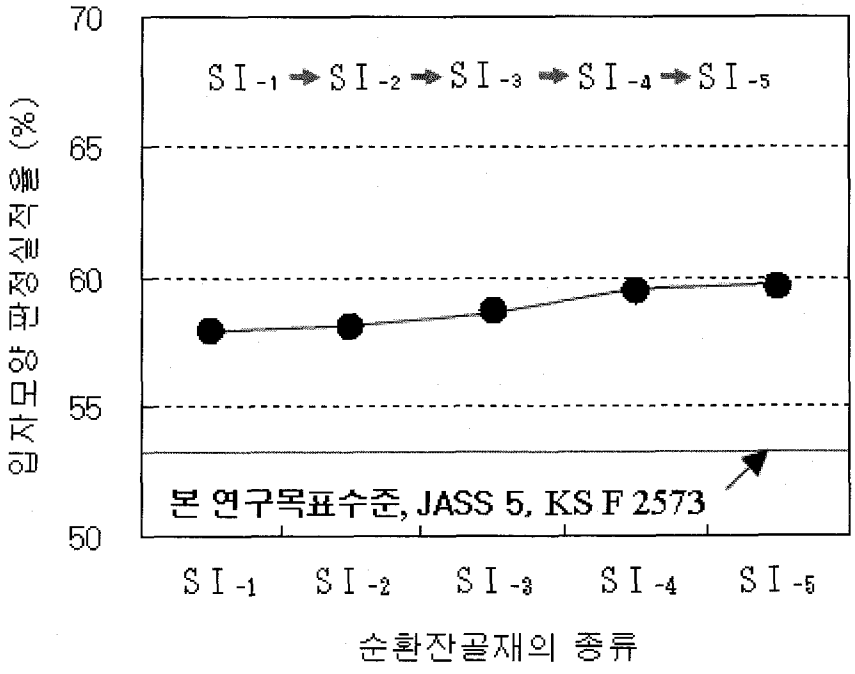

[그림 3.4.14] 공정별 생산된 순환모래의 절대건조밀도




[그림 3.4.15] 공정별 생산된 순환모래의 흡수율




[그림 3.4.16] 공정별 생산된 순환모래의 0.08mm체 통과량




[그림 3.4.17] 공정별 생산된 입자모양판정실적율

## 3. 미분말의 효율적 집진을 위한 집진장치 및 공정 개선

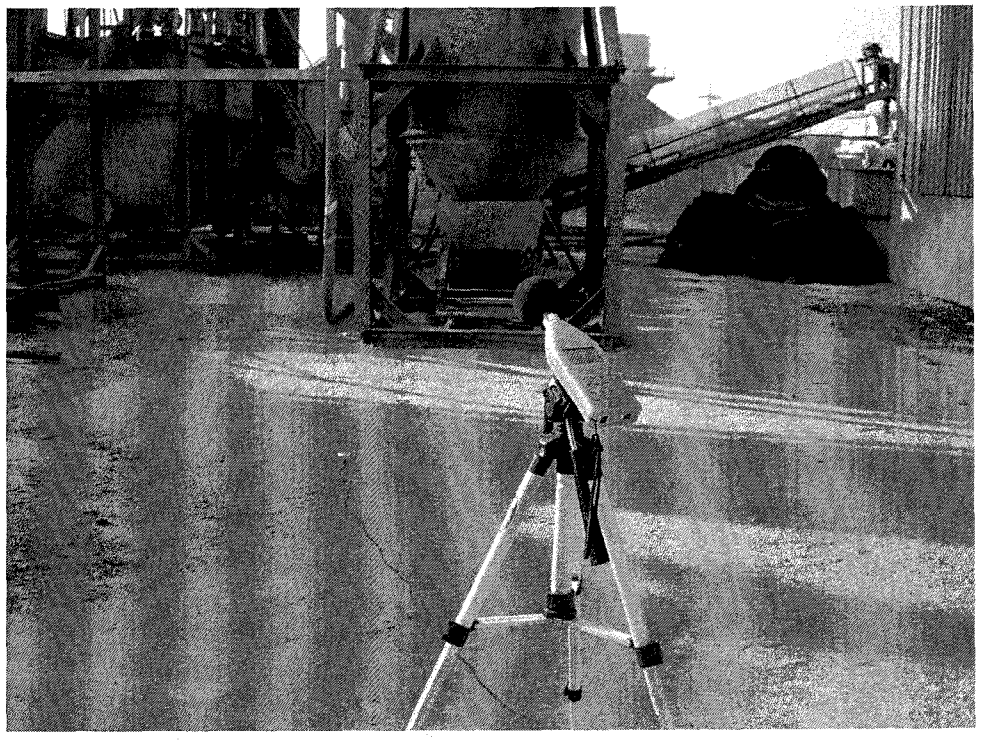
### 가. 1차 개발된 집진장치 · 공정의 문제점 및 개선방향 도출

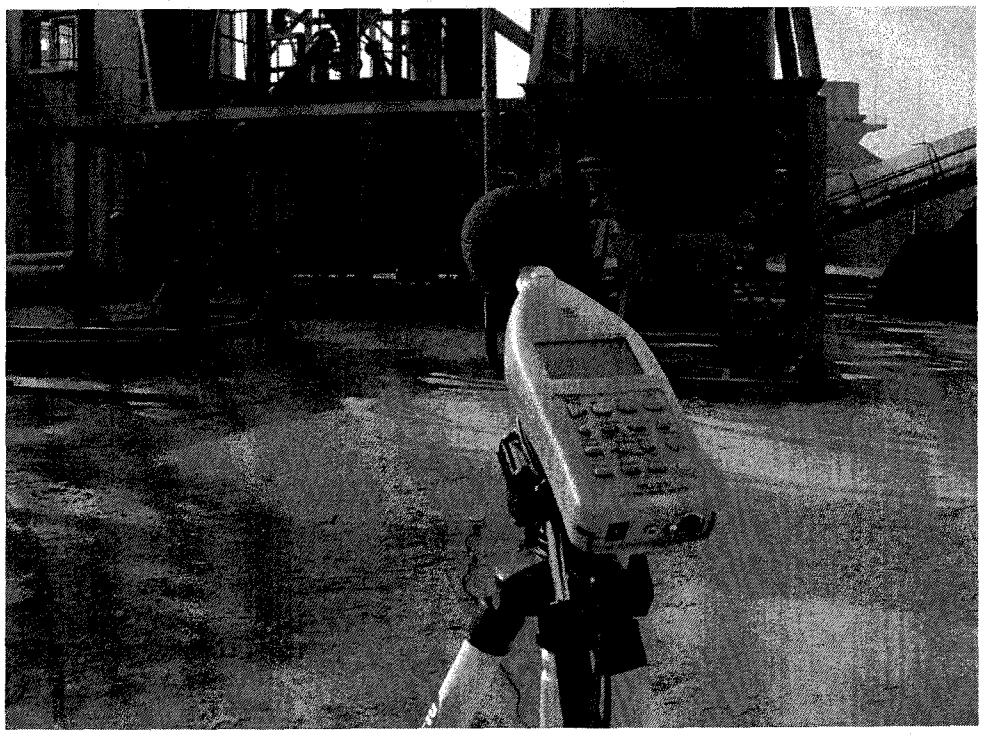
본 연구에서는 <표 3.4.6> 및 [사진 3.4.17~19]과 같이 순환모래를 생산하는 과정에서 폐콘크리트의 파쇄시에 발생하는 비산먼지, 소음 및 진동과 같은 환경부하저감성을 평가하였으며 그 결과는 <표 3.4.7> 및 [그림 3.4.18~20]에 나타낸 바와 같다.

<표 3.4.6> 환경부하저감성 측정방법 및 관련 기준

| 측정항목 | 측정방법 | 관련기준[1] |
|---|---|---|
| 소 음[2] (dB(A)) | ■ NL-21사용<br>■ 각 측정시간대의 등가소음도(샘플주기를 5초 이내로 결정하고 5분 이상 자동연산, 기록)의 산술평균값을 측정소음도로 함 | ■ 조석 (06:00 ~ 08:00, 18:00~22:00) : 60이하<br>■ 주간 (08:00 ~ 18:00) : 65이하<br>■ 심야 (22:00 ~ 06:00) : 55이하 |
| 진 동 (dB(V)) | ■ VM-52사용<br>■ 각 측정시간대의 L10(샘플주기를 5초 이내로 결정하고 5분 이상 자동연산, 기록한 80%범위의 상단치)를 측정진동레벨로 함. | ■ 주간 (06:00 ~ 22:00) : 70이하<br>■ 심야 (22:00 ~ 06:00) : 65이하 |
| 미 세 분 진[3] ($\mu$g/m3) | ■ PM-10사용<br>■ 대기 중에 부유하고 있는 10㎛ 이하의 입자상 물질을 일정시간 여과지위에 포집하여 베타선을 투과시켜 입자상물질의 중량농도를 연속적으로 측정 | ■ 연간평균치 50$\mu$g/m$^3$이하<br>■ 24시간평균치 100$\mu$g/m$^3$이하 |

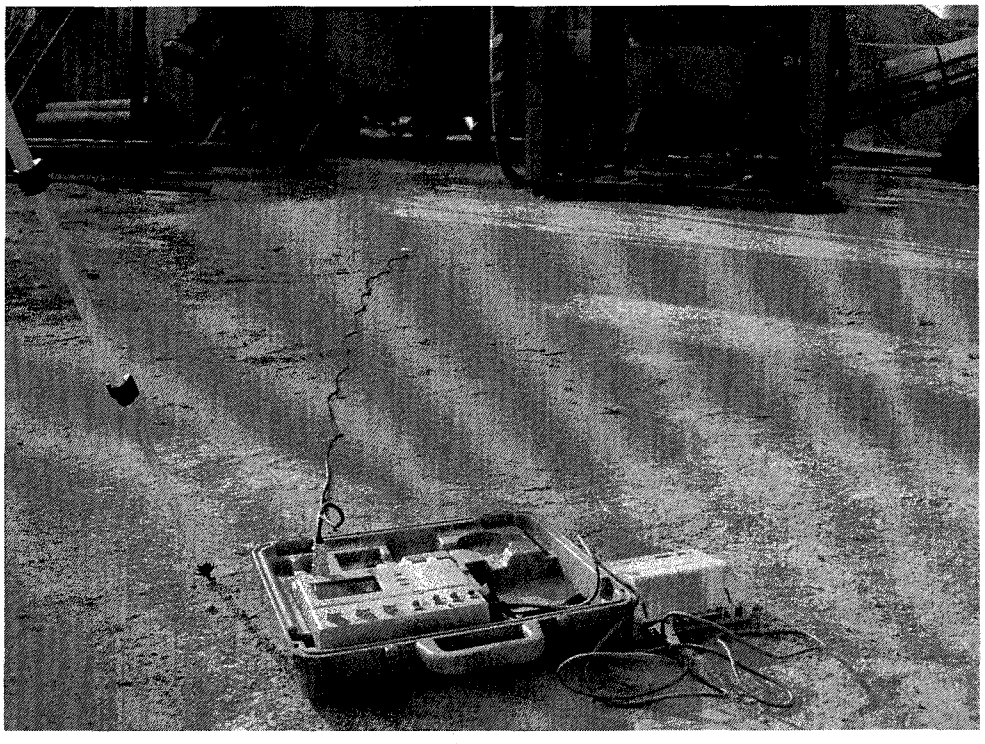
주 1) 부지경계선에서의 측정기준
2) 소음 · 진동규제법 제23조 및 동법 시행규칙 제29조의 2관련
3) 환경정책기본법 제2조 관련



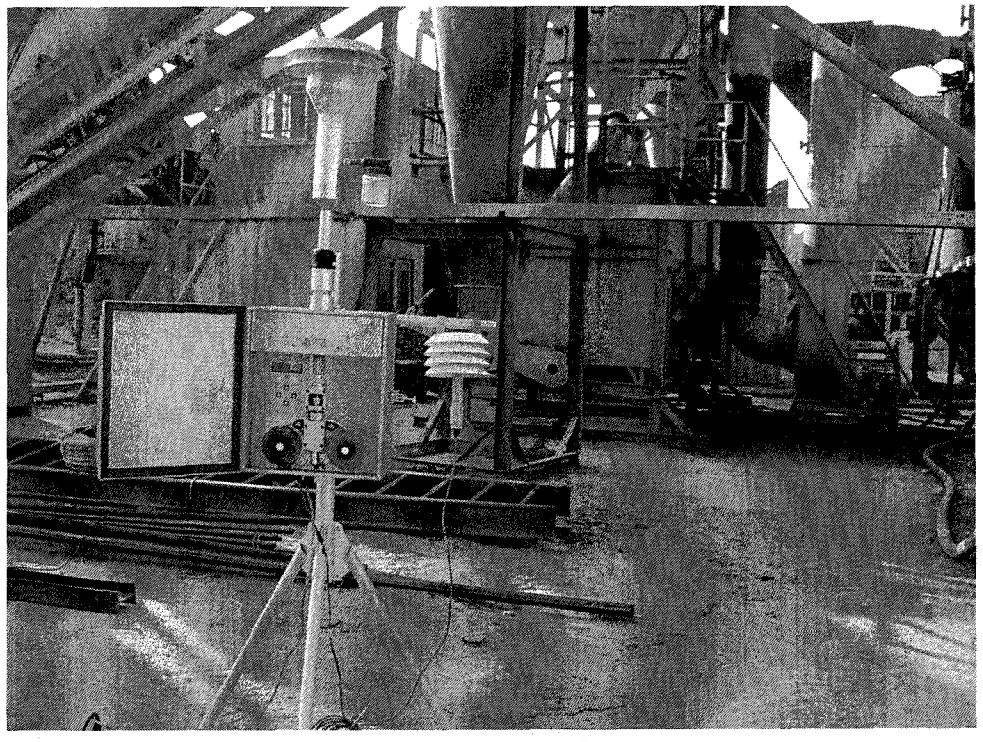


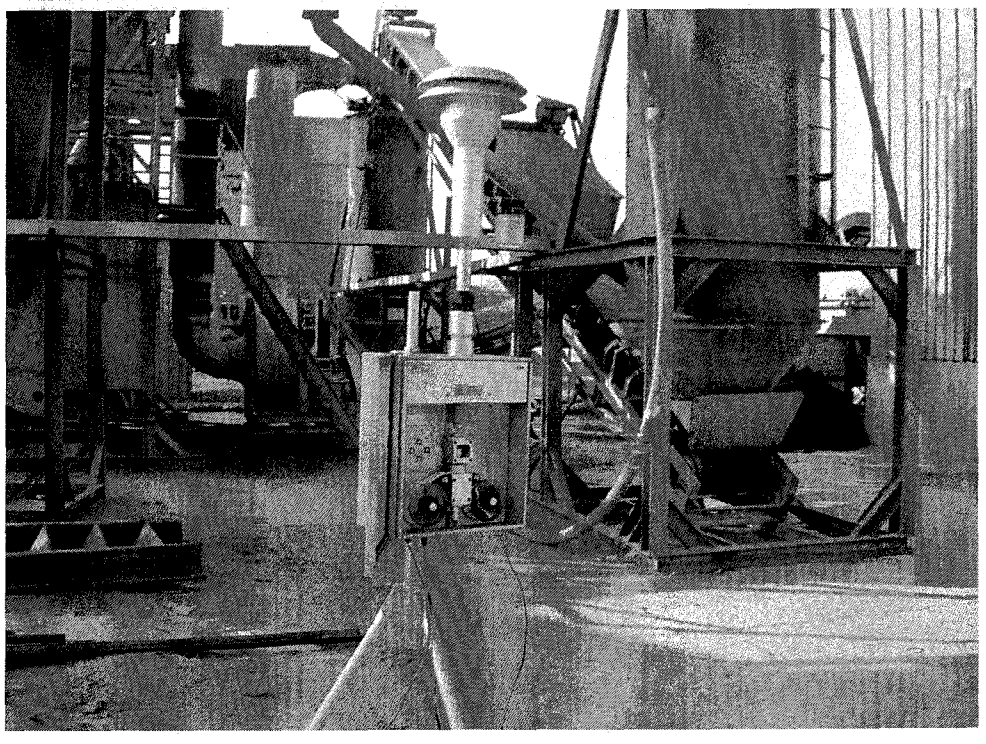
[사진 3.4.17] 소음 측정전경 (NL-21)





[사진 3.4.18] 진동 측정전경 (VM-52)

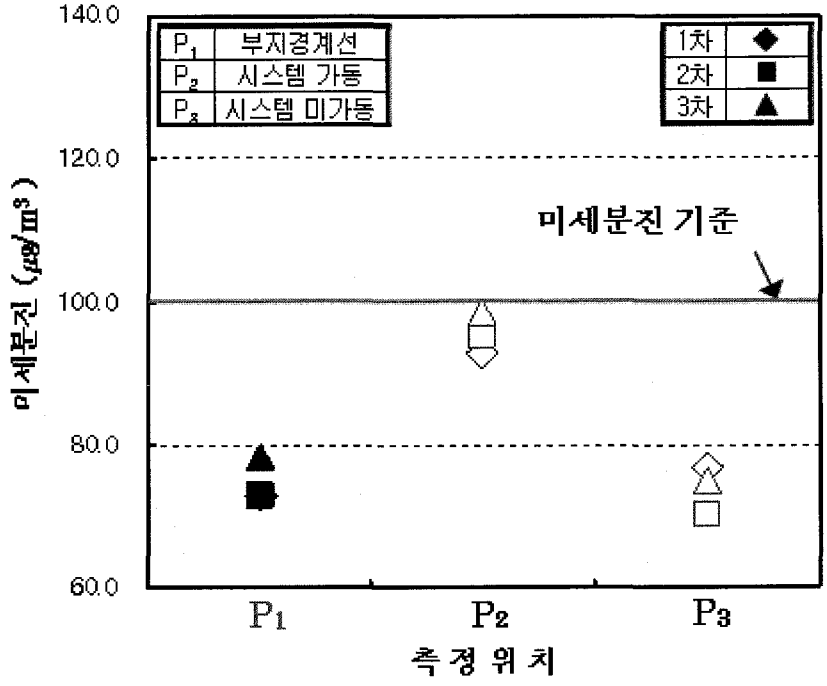




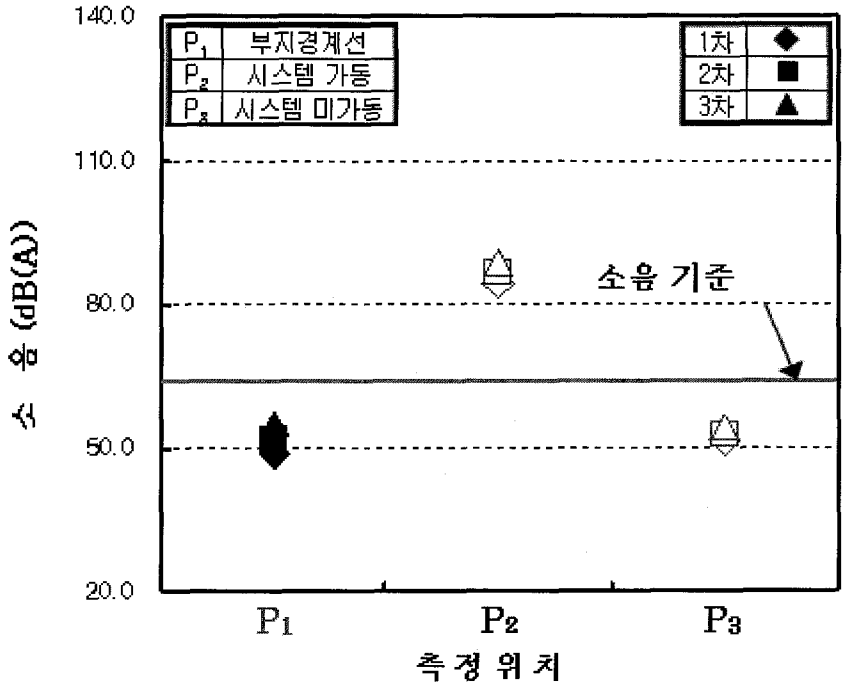
[사진 3.4.19] 미세분지 측정전경 (PM-10)

<표 3.4.7> 환경부하저감성 평가 결과

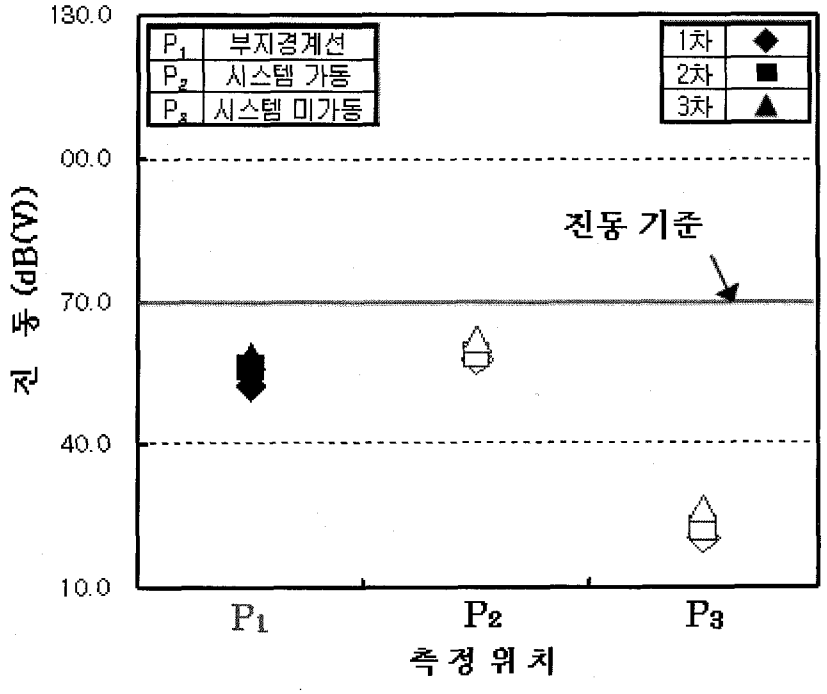
| 측정항목 / 측정위치 | 미세분진 ($\mu g/m^3$) | | | 소음 (dB(A)) | | | 진동 (dB(V)) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1차 | 2차 | 3차 | 1차 | 2차 | 3차 | 1차 | 2차 | 3차 |
| 부지경계선 ($P_1$) | 72.9 | 72.8 | 78.4 | 48.7 | 51.6 | 54.8 | 52.1 | 56.1 | 58.6 |
| 시스템 가동 ($P_2$) | 92.7 | 95.1 | 98.6 | 84.5 | 86.5 | 88.7 | 57.6 | 58.4 | 62.1 |
| 시스템 미가동 ($P_3$) | 76.8 | 70.2 | 75.0 | 51.4 | 52.5 | 54.3 | 20.3 | 22.0 | 26.4 |




[그림 3.4.18] 미세분진 측정결과




[그림 3.4.19] 소음 측정결과




[그림 3.4.20] 진동 측정결과

(1) 미세분진

[그림 3.4.18]은 본 건식생산시스템의 순환잔골재 생산과정에서의 미세분진 측정결과를 나타낸 것으로, 측정결과 시스템을 가동하지 않은 경우에도 작업장 환경의 영향을 받아70$\mu g/^3$이상으로 나타났으며, 부지경계선인 정문에서는 72.8~78.4$\mu g/m^3$로 나타나 환경기준(100$\mu g/m^3$이하)에 적합한 것으로 나타났다.

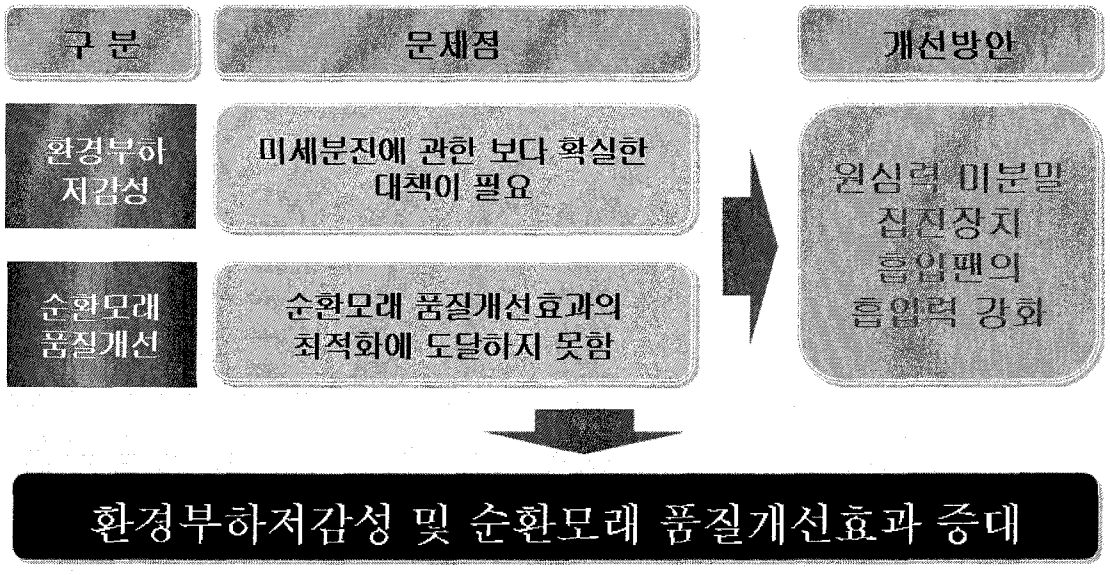
(2) 소음 및 진동

[그림 3.4.19] 및 [그림 3.4.20]은 본 건식생산시스템의 순환잔골재 생산과정에서의 소음 및 진동 측정결과를 나타낸 것으로, 환경부의 배출허용기준이 적용되는 부지경계선(P1), 시스템 미가동시(P2) 및 가동시(P3)에 측정하였다.

측정결과 건식생산시스템의 가동으로 인한 소음은 부지경계선상에서 48.7~54.8dB로 나타났으며, 진동은 52.1~58.6dB로 나타나 소음(65dB이하)·진동(70dB이하) 허용기준에 적합한 것으로 나타났다.

## 나. 미분말의 효율적 집진을 위한 집진장치 및 공정의 보완·개선

건식생산시스템의 환경부하저감성 평가 결과 환경기준법을 만족하지만 환경부하저감성 평가항목 가운데 미세분진에 대한 보다 확실한 대책이 필요한 것으로 나타났으며, 생산된 순환모래의 품질평가 결과 절건밀도 및 흡수율 등은 순환골재의 품질기준을 만족하지만 품질개선효과의 최적화에 도달하지 못하여 본 연구의 목표수준에는 미치지 못하는 것으로 나타나 [그림 3.4.21]과 같은 결과에 도달하여 향후 원심력 미분말 집진장치 흡입팬의 흡입력의 강화를 통해 미분말의 효율적 집진을 도모하고자 한다.



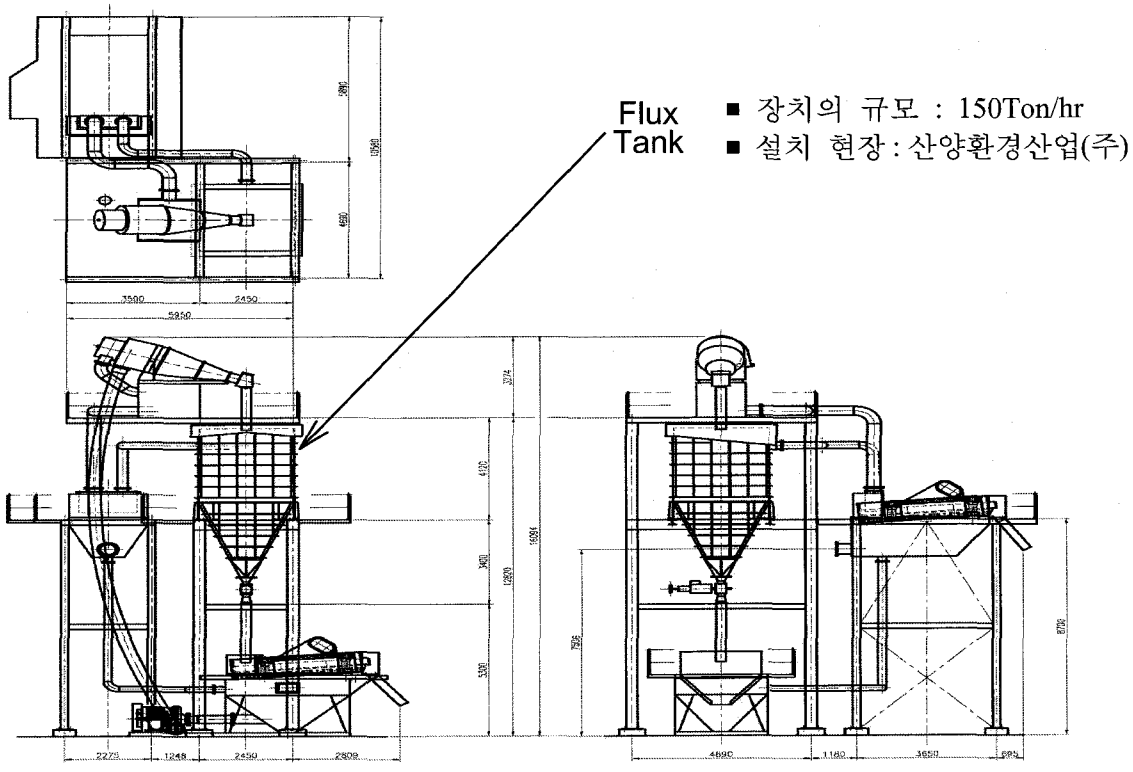

[그림 3.4.21] 환경부하저감성 및 순환모래 품질개선을 위한 개선방안

# 제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환 모래 이물질 제거장치 개발

## 1. 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계 및 제작

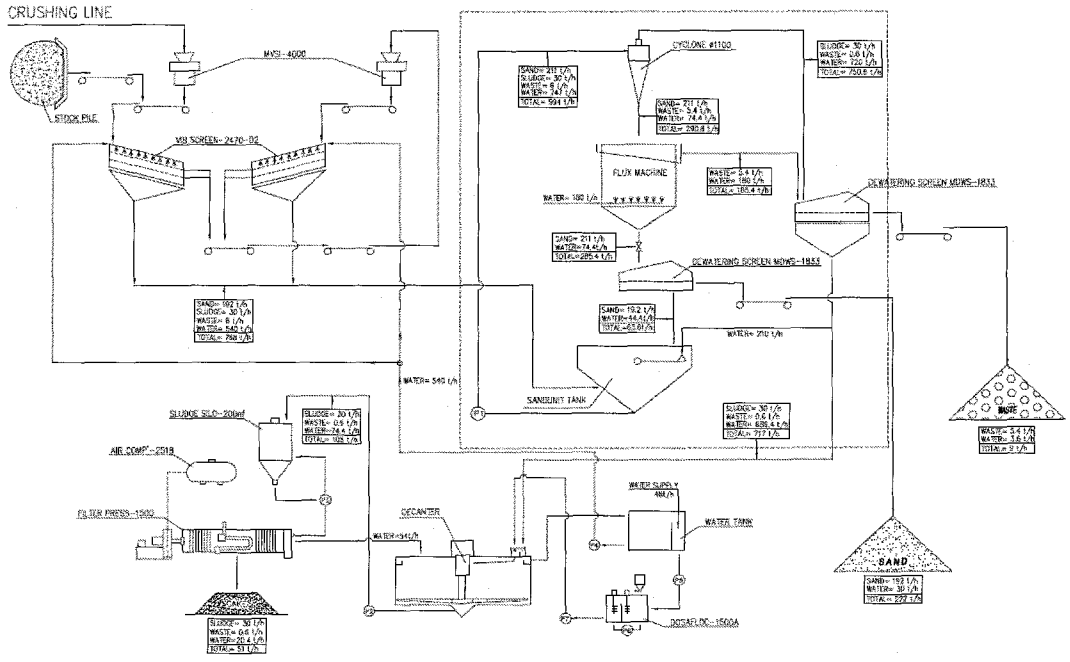
### 가. 상품화용 샌드플럭스 장치의 용량 및 공정 설계

본 연구의 최종 목표로 설정한 150Tom/hr의 생산량을 처리하기 위한 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계도는 [그림 3.5.1]과 같다.




[그림 3.5.1] 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계도(150Ton/hr)

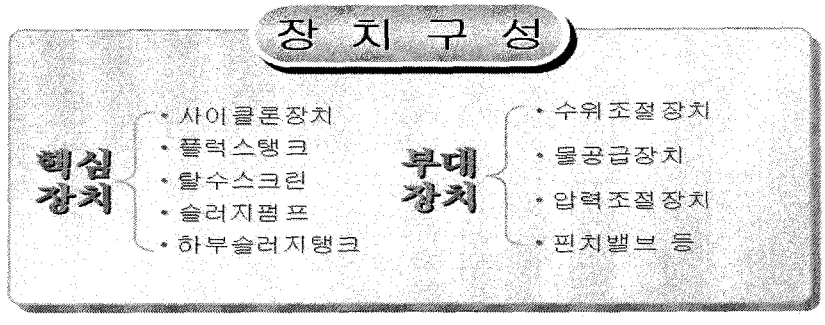
한편, 이를 위한 상품화용 샌드플럭스의 공정은 [그림 3.5.2]와 같다.




[그림 3.5.2] 상품화용 샌드플럭스 장치의 공정 설계도

## 나. 상품화용 샌드플럭스 장치의 세부설계 및 제작

상품화용 샌드플럭스 장치의 제작을 위해 핵심 장치인 하부슬러지 탱크, 플럭스 탱크, 탈수 스크린, 슬러지 펌프를 제작하였고, 수위조절 장치, 물공급 장치, 압력 조절 장치, 핀치밸브, 필터프레스 및 디칸터 등의 부대장치 및 수처리 시설은 4차년도에('08.09) 참여 기업의 설치 현장에서 조립하여 제작할 것이며, [그림 3.5.3]은 상품화용 샌드플럭스 장치의 장치 구성을 나타낸 것이다.




[그림 3.5.3] 상품화용 샌드플럭스의 장치구성

한편, 사진 1은 제작된 핵심장치를 나타낸 것이며, 그 내용은 다음과 같다.

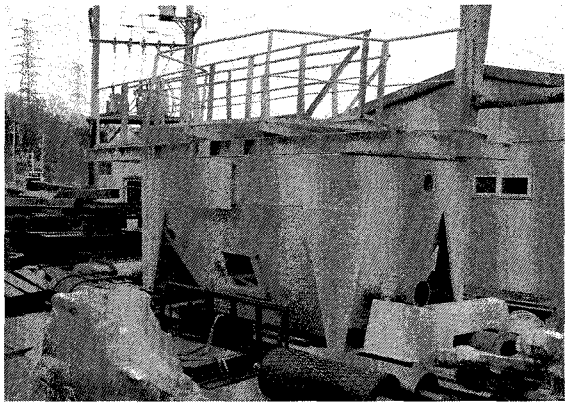
○ 하부슬러지탱크 : 진동스크린 상에서 분류되는 이물질이 포함된 순환골재와 세척수를 받아두는 장치

○ 슬러지 펌프 : 하부슬러지탱크에 모여진 순환골재, 이물질 및 세척수를 모아 사이클론으로 일정 압력을 유지하면서 이송시키는 장치

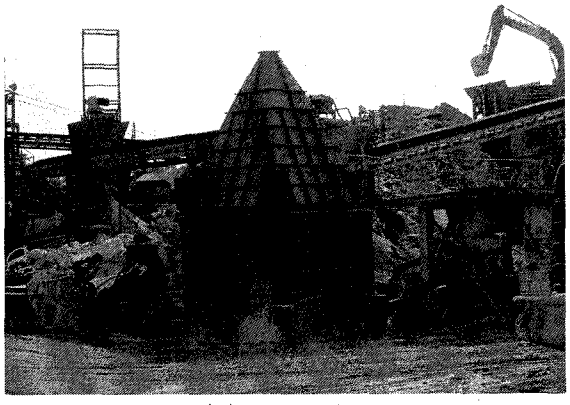
○ 사이클론 : 하부슬러지탱크에서 물과 순환모래가 슬러지펌프에 의해 이송되어 사이클론 내부의 와류현상에 의해 65μ 이하의 미립분 및 1차 이물질 선별

○ 플럭스탱크 : 사이클론의 언더플로우 노즐로부터 유입되는 물과 순환골재 및 이물질을 부력과 비중차를 이용하여 무거운 물질은 하단부로 배출시키며, 가벼운 물질은 탱크의 상부로 띄워서 배출시키는 장치

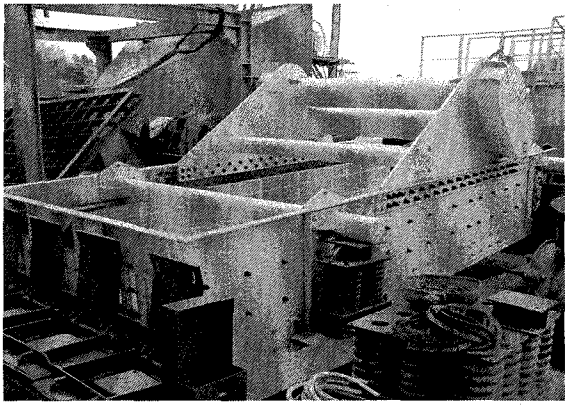
○ 탈수스크린 : 위쪽으로 5° 경사를 가지고 있어 최종 생산된 순환모래를 탈수하는 장치



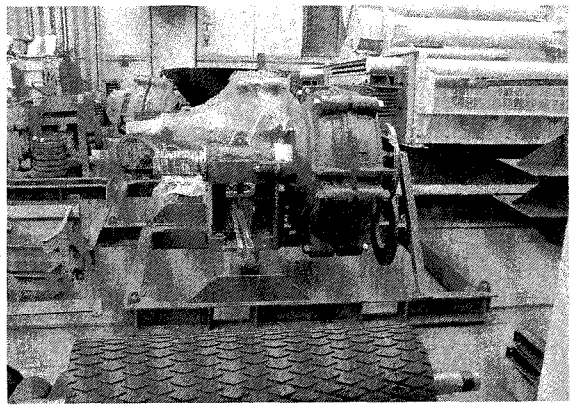
(a) 하부슬러지탱크



(b) 플럭스탱크



(c) 탈수스크린



(d) 슬러지 펌프

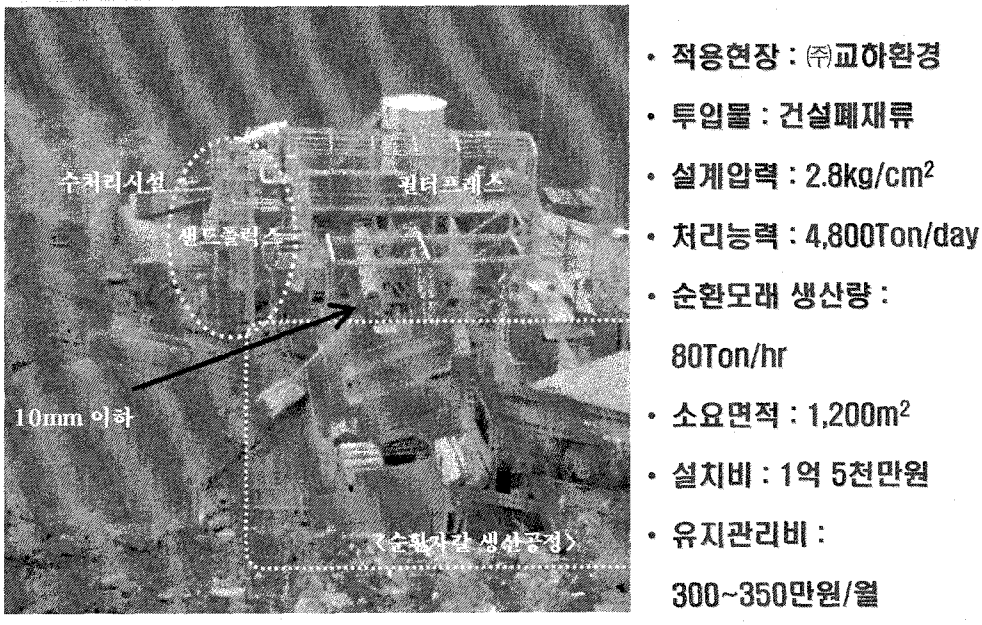
[사진 3.5.1] 상품화용 샌드플럭스 장치의 주요장치

## 2. 시작품 샌드플럭스 장치 운전조건 및 생산현황 파악

### 가. 시작품 샌드플럭스 장치의 운전조건 파악

본 연구에서 1차년도에 연구 개발한 시작품 시작품 샌드플럭스 장치의 운전조건을 파악한 결과 시작품 샌드플럭스의 플럭스 탱크 처리용량 및 성능을 고려하여 탱크 내부의 비중분급점을 2.7kg/cm$^2$에서 2.9kg/cm$^2$로 순환모래의 품질에 따라 조정하여 생산하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 2차년도에 운전조건별 순환모래의 기초물성 평가를 실시한 결과 플럭스 탱크 내부의 비중분급점이 3.2kg/cm$^2$ 일 때 각종 품질성능이 향상되는 것으로 나타났지만, 플럭스 탱크 내부의 압력, 용량 및 주요장치/주변장치의 문제점들로 인하여 비중분급점 3.0kg/cm$^2$ 이상 장시간 순환모래를 생산하는 데는 무리가 있는것을 확인할 수 있었다.

향후, 상품화용 샌드플럭스 장치는 이러한 문제점을 개선/보완 하여 높은 비중분급점에서도 품질이 향상된 순환모래를 생산할 수 있도록 반영할 계획이다.




- 적용현장 : ㈜교하환경
- 투입물 : 건설폐재류
- 설계압력 : 2.8kg/cm$^2$
- 처리능력 : 4,800Ton/day
- 순환모래 생산량 : 80Ton/hr
- 소요면적 : 1,200m$^2$
- 설치비 : 1억 5천만원
- 유지관리비 : 300~350만원/월

[그림 3.5.4] 시작품 샌드플럭스 장치를 적용한 현장 플랜트

### 나. 시작품 샌드플럭스 장치의 생산현황 파악

시작품 샌드플럭스 장치의 생산현황을 파악한 결과, 다량의 이물질이 포함된 건설폐재류가 투입되었고, 순환모래 생산라인에는 10mm이하의 순환모래가 투입되고 있었다. 또한 시작품 샌드플럭스 장치의 1일 생산능력은 4,800Ton으로 조사되었고, 최종 생산된 순환모래의 생산량은 시간당 약 80Ton/hr 정도의 생산을 할수 있는 것으로 확인되으며, [그림 3.5.4]는 시작품 샌드플럭스 전경 및 장치의 운전조건 및 생산현황을 나타낸 것이다.

## 3. 시작품 샌드플럭스에서 생산된 순환모래의 품질검증

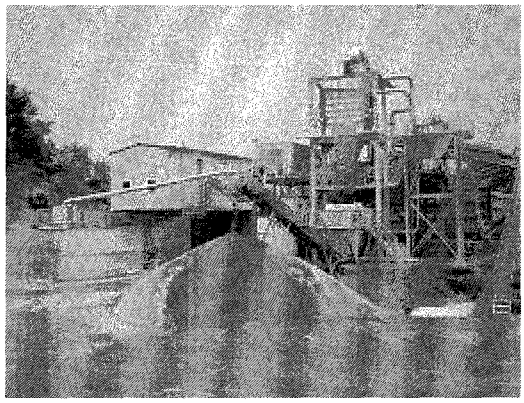
### 가. 시작품 샌드플럭스 장치에서 생산된 순환모래의 기초물성 평가

(1) 순환모래 기초물성 평가를 위한 실험계획

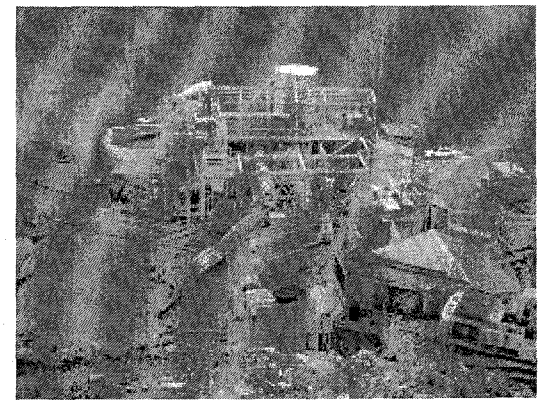
건설폐기물의 발생 현장여건 및 환경조건 등을 고려해 볼 때, 본 연구의 시작품에 대한 명확한 성능평가를 위하여 7차에 걸친 지속적인 품질평가를 통해 정량적인 데이터의 분석을 통하여 시작품의 성능 검증하여 향후 문제점을 파악한 후 개선방향 등을 도출함으로서 상품화를 위한 샌드플럭스 장치의 제작에 반영할 계획이다.

(가) 순환모래의 Sample 채취

- 대　　상 : (주)교하환경 - 1차년도 시제품 현장적용 업체
- 위　　치 : 경기도 파주시 교하읍 하지석리 438-1 (대표이사 : 유진열)
- 샌드플럭스 장치를 거치기 전후의 순환모래 Sample 채취



[사진 3.5.2] Sand Flux System의 전경



[사진 3.5.3] 전체 생산시설 전경

(2) 실험계획 및 방법

<표 3.5.1>는 순환모래의 기초물성평가를 위한 대상시료의 종류를 나타낸 것이며, <표 3.5.2>은 본 연구의 시작품이 설치된 건설폐기물 중간처리업체의 제조시스템에서 토분이 다량 함유된 8 ~ 15 mm의 Under Size 혼합형 건설폐기물을 주원료로 하여 샌드플럭스 장치를 거치기 전의 순환모래(RS-Ⅱ), 샌드플럭스 장치를 거친 순환모래(RS-Ⅳ)를 Sample을 각각 채취하여 순환모래에 대한 기초물성평가를 하기 위한 실험계획을 나타낸 것이다. 대상시료에 대한 품질평가 방법은 KS기준에 준하여 실시하였으며, [그림 3.5.5.]는 건설폐기물 중간처리업체의 생산공정도를나타낸 것이고, [사진 3.5.4]는 대상시료의 Sample 채취 위치 및 시료의 외형을 나타낸 것이다.

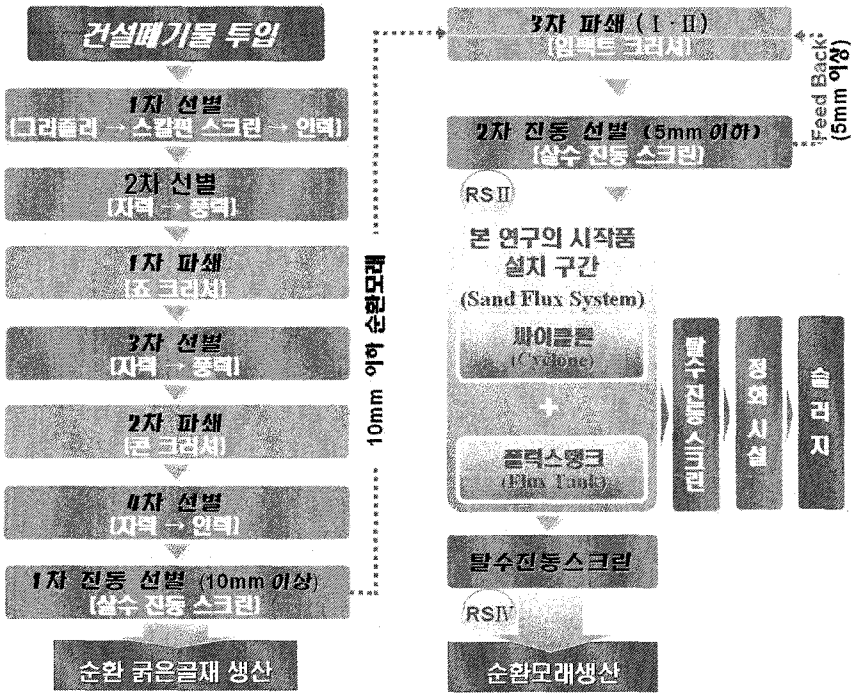
<표 3.5.1> 기초물성 평가를 위한 대상시료의 종류

| Type | 대상시료의 종류 | 비고 |
|---|---|---|
| RS-Ⅱ | 저품질 순환모래 | (주)교하환경 |
| RS-Ⅳ | 고품질 순환모래 | |

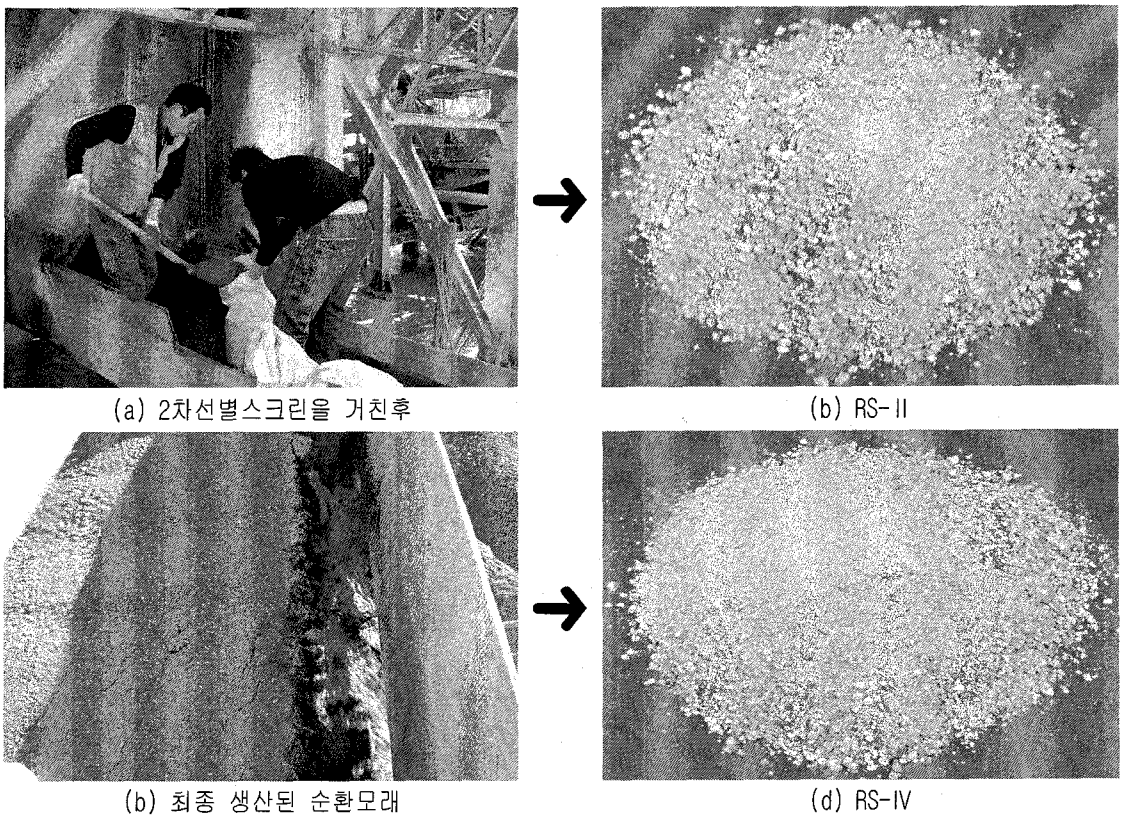
주1) RS - Ⅱ : 샌드플럭스 장치를 거치기 전의 순환모래　RS - Ⅳ : 샌드플럭스 장치를 거친 순환모래

<표 3.5.2> 순환모래의 실험항목 및 시험방법

| 품질실험항목 | 품질시험방법 |
|---|---|
| ① 절대건조밀도 (g/cm$^3$) | • KS F 2504 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험방법 |
| ② 흡수율 (%) | |
| ③ 0.08mm체 통과량 (%) | • KS F 2511 골재에 포함된 잔입자 (0.08mm체를 통과하는) 시험방법 |
| ④ 점토덩어리량 (%) | • KS F 2512 골재중에 함유되어 있는 점토덩어리량의 시험방법 |
| ⑤ 유기이물질함유량 (%) | • KS F 2576 순환골재의 이물질 함유량 시험방법 |




[그림 3.5.5] 건설폐기물 중간처리업체의 순환모래의 생산공정도



(a) 2차선별스크린을 거친후 (b) RS-II

(b) 최종 생산된 순환모래 (d) RS-IV

[사진 3.5.4] 대상시료의 채취 장소 및 외형

(3) 실험결과 및 고찰

본 연구의 시작품 샌드플럭스 장치에 대한 성능을 평가하기 위해 총 7차에 걸쳐 실시한 순환모래의 품질평가 결과는 <표 3.5.3>에 나타낸 바와 같다.

<표 3.5.3> 순환모래의 기초물성평가 결과표

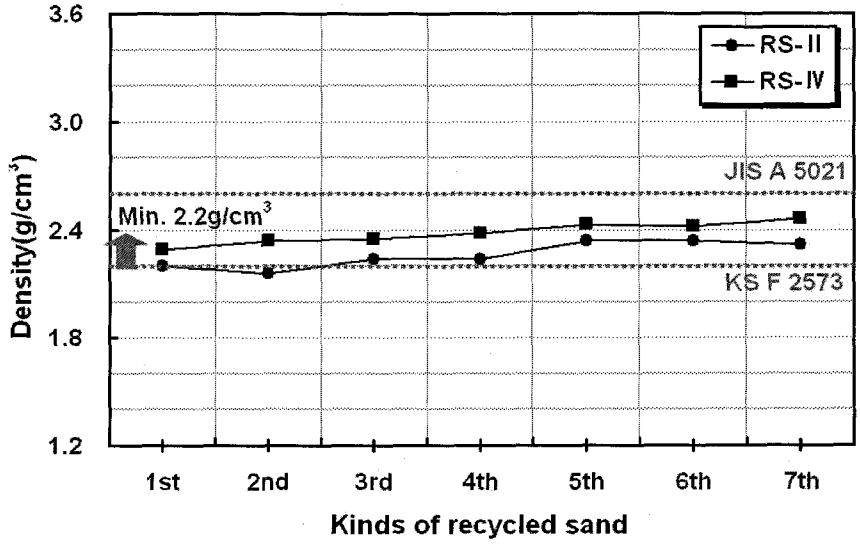
| 각 일정별 | 품질평가항목 및 대상시료의 종류 | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 절건밀도 ($g/cm^3$) | | 흡수율(%) | | 0.08mm체 통과량(%) | | 점토 덩어리량(%) | | 유기이물질 함유량(%) | |
| | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ |
| 제1차 | 2.20 | 2.29 | 6.41 | 4.11 | 8.57 | 1.02 | 21.32 | 1.13 | 0.17 | 0 |
| 제2차 | 2.16 | 2.34 | 6.50 | 4.01 | 13.80 | 0.30 | 18.70 | 0.70 | 0.30 | 0 |
| 제3차 | 2.24 | 2.35 | 6.00 | 4.04 | 8.30 | 0.40 | 6.00 | 0.80 | 0.73 | 0.10 |
| 제4차 | 2.24 | 2.38 | 8.51 | 4.30 | 3.88 | 1.43 | 30.30 | 1.91 | 3.00 | 0.36 |
| 제5차 | 2.34 | 2.43 | 5.70 | 4.60 | 4.35 | 1.71 | 12.34 | 0.34 | 1.99 | 0.08 |
| 제6차 | 2.34 | 2.42 | 5.64 | 5.12 | 5.12 | 0.30 | 28.28 | 0.34 | 1.29 | 0.07 |
| 제7차 | 2.43 | 2.49 | 5.20 | 4.70 | 28.74 | 0.42 | 33.66 | 0.12 | 0.18 | 0 |
| 목표성능 (KS F 2573) | 2.2 이상 | | 5.0 이하 | | 7.0 이하 | | 1.0 이하 | | 1.0 이하 | |

참고) 제1차 순환모래 품질평가 : 순수 폐콘크리트를 원재료로하여 생산된 순환모래
제2차~7차 순환모래 품질평가 : 혼합형 건설폐기물을 원재료로하여 생산된 순환모래

(가) 절건밀도

[그림 3.5.6]은 시작품 샌드플럭스 장치 통과전후의 절건밀도 시험결과를 나타낸 것으로, RS-Ⅱ의 경우 2.16 ~ 2.43 $g/cm^3$의 범위를 나타내어 2차 살수진동 스크린(5mm)에 의해 원래료에 포함된 비교적 부피가 큰 각종 이물질 및 일부 미립분의 제거로 인한 것으로 판단된다.

한편, 최종 생산된 순환모래(RS-Ⅳ)의 경우 2.30 ~ 2.49 $g/cm^3$의 범위를 나타내어 샌드플럭스 장치에 포함된 사이클론(Cyclone) 내부의 세척수에 의한 사이펀작용(Siphonage)에 의해 65μ이상의 비교적 순수한 순환모래는 원추모양의 벽을 따라 원심 분리되어 플럭스탱크(Flux Tank)로 침적되며, 점토, 미사, 황토 및 각종 미세한 이물질 등과 같은 65μ이하의 미분을 함유한 세척수는 오버플로우노즐을 따라 탈수스크린을 거치면서 제거되고, 플럭스탱크(Flux Tank) 내부의 부력 부가수단에 의해 순환모래에 포함된 각종 미세 이물질과 미립분 그리고 순환모래에 부착되어 있는 일부 시멘트 모르타르의 제거로 인해 투입되는 원재료(RS-Ⅱ)의 열악한 품질에도 불구하고 최종생산된 순환모래(RS-Ⅳ)는 2.30~ 2.49 $g/cm^3$ 의 품질수준의 범위를 나타나 RS-Ⅳ는 RS-Ⅱ 대비 2.5~6.0%의 품질개선 효과를 보였다.



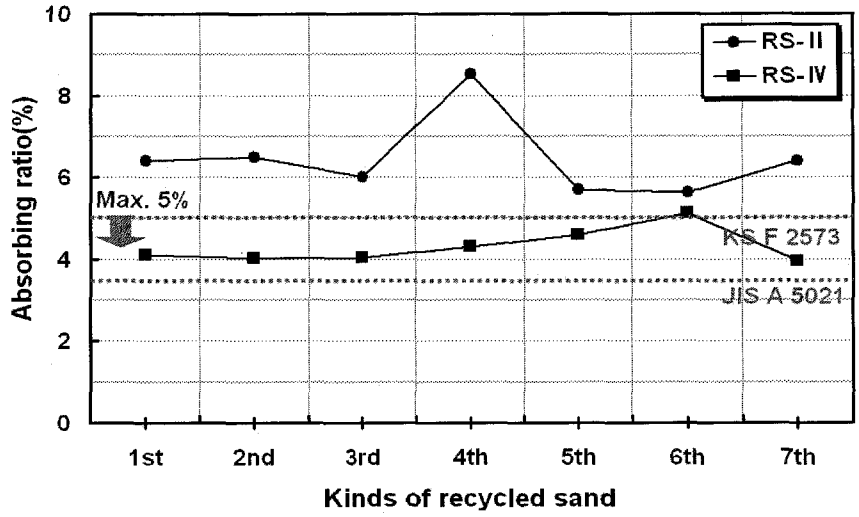

[그림 3.5.6] 절건밀도의 변화

그러나, 국내의 순환모래 품질기준인 KS F 2573의 기준치 2.2 g/cm$^3$ 이상를 만족하는 것으로 나타났으나, 국외 기준인 고품질 H급 (JIS A 5021 ; 2.5 g/cm$^3$ 이상)에는 만족하지 못하는 것으로 나타나 천연모래와 동등하게 일반 콘크리트용 모래로 사용하기에는 부적합한 것으로 사료된다.

(나) 흡수율

[그림 3.5.7]은 대상시료의 흡수율 시험결과를 나타낸 것으로, RS-Ⅱ의 경우 5.20~8.51%의 범위를 보이고 있으며, RS-Ⅳ의 경우 4.01~5.12%의 범위를 나타내어9~50%의 개선효과를 보이고 있다. 이러한 경향은 상기에서 서술한 바와 같이 샌드플럭스 장치를 거치면서 원재료에 포함된 미립분과 각종 이물질 및 순환모래에 부착된 일부 시멘트 페이스트 등의 제거로 인해 흡수율이 개선되는 것으로 판단된다.

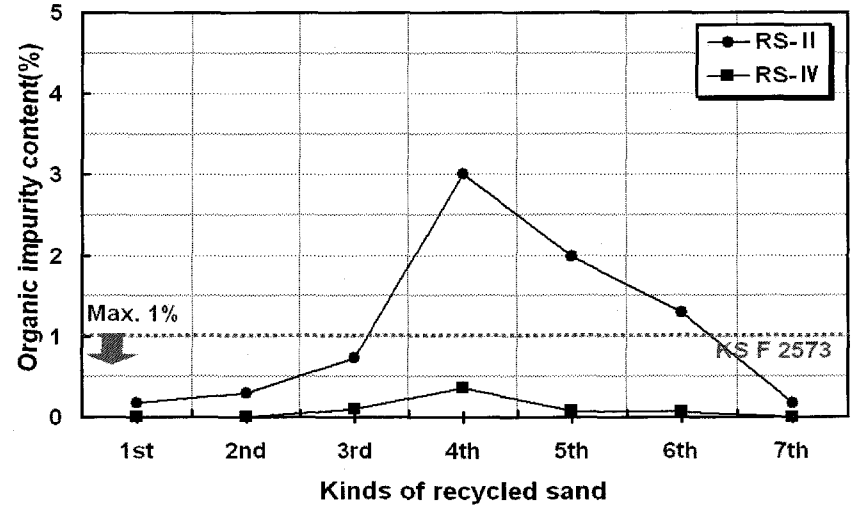
그러나, 국내의 순환모래 품질기준인 KS F 2573의 기준치 (5.0 % 이하)를 대부분 만족하는 것으로 나타났으나, 국외 기준인 고품질 H급 (JIS A 5021 ; 3.5 % 이하)에는 만족하지 못하는 것으로 나타나 천연모래와 동등하게 일반 콘크리트용 모래로 사용하기에는 부적합한 것으로 사료된다.



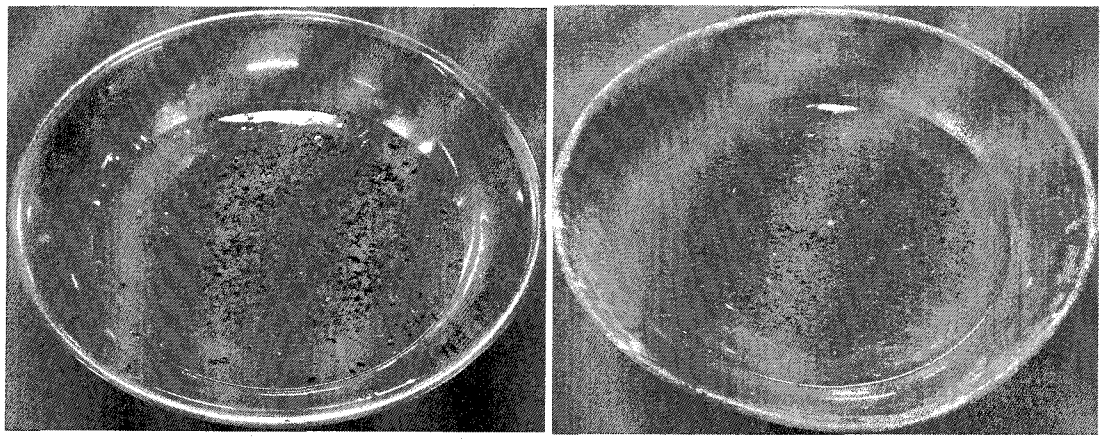

[그림 3.5.7] 흡수율의 변화

(다) 유기이물질 함유량

[그림 3.5.8]은 본 연구의 시작품 샌드플럭스 장치에 대한 유기이물질함유량을 평가한 결과를 나타낸 것이며, RS-Ⅱ의 경우 0.17~1.91%의 범위를 보이고 있고, RS-Ⅳ의 경우 대부분 유기이물질이 제거된 0~0.36%의 범위를 나타내어 RS-Ⅱ 대비 RS-Ⅳ는 88% 이상 높은 품질개선 효과가 보여 미세립한 유기이물질의 제거 효과의 증대로 품질이 크게 개선되는 것으로 확인할 수 있었다. 이러한 경향은 상기에서 서술한 바와 같이 샌드플럭스 장치를 거치면서 원재료에 포함된 각종 이물질 등의 제거로 인해 유기이물질 함유량이 개선되는 것으로 판단되며, 국내외 품질기준(1%이하)에 모두 만족하는 것으로 나타났다

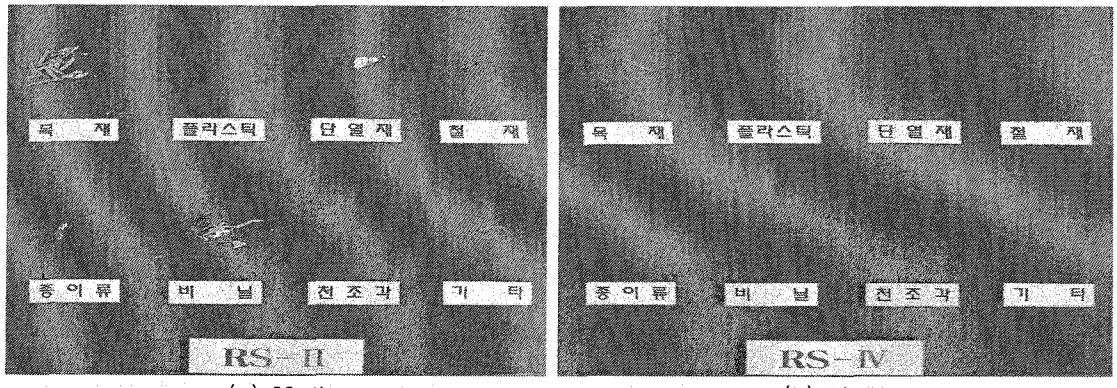



[그림 3.5.8] 유기이물질함유량의 변화



(a) RS-II (b) RS-IV

[사진 3.5.5] 대표적인 대상시료의 부유된 유기이물질의 변화

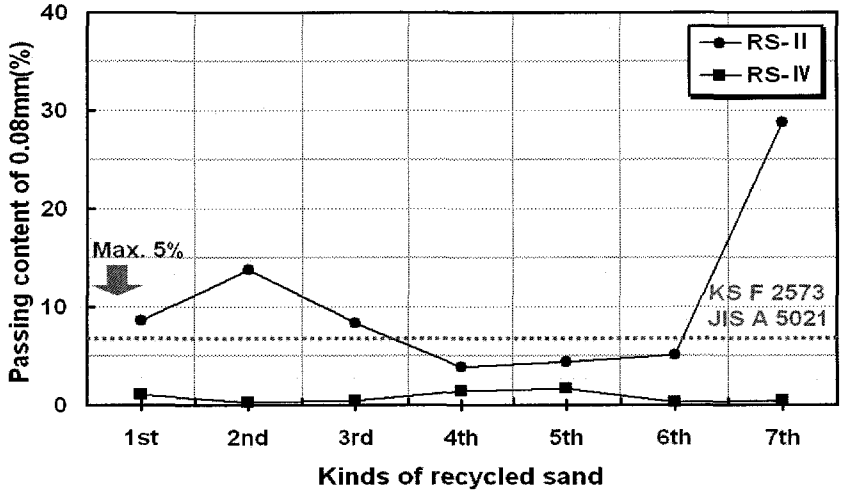



(a) RS-II (b) RS-IV

[사진 3.5.6] 대표적인 대상시료의 유기 이물질 분리(육안선별법)

(라) 점토덩어리량

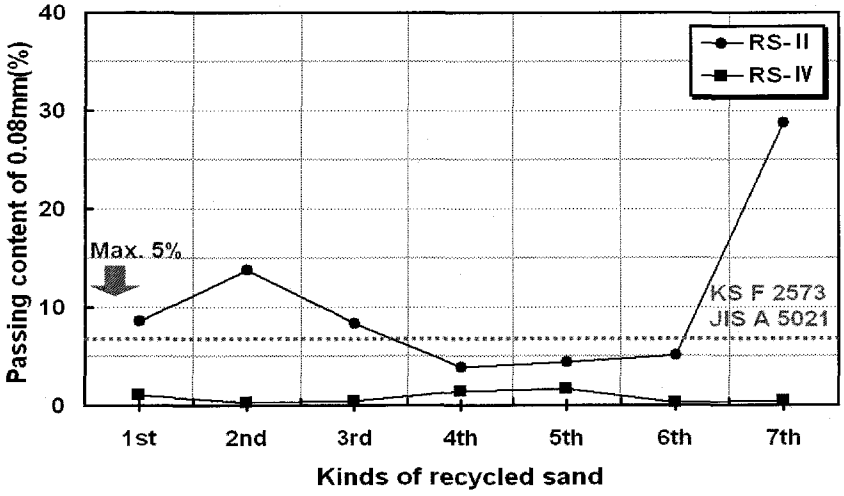
[그림 3.5.9]는 시작품 샌드플럭스 장치 통과전후의 점토덩어리량을 평가한 결과를 나타낸 것이며, 최종 생산된 RS-Ⅳ의 경우 0.12~1.91%의 범위를 보여 국내외 기준(1.0%이하)에 대부분 만족하는 것으로 나타나 투입되는 원재료에 포함된 점토덩어리량에 관계없이 점토덩어리 제거 효과가 크나 나타났다. 이러한 경향은 상기에서 서술한 바와 같이 65μ이상의 비교적 순수한 순환모래는 원추모양의 벽을 따라 원심 분리되고, 점토, 미사, 황토 및 각종 미세한 이물질 등과 같은 65μ이하의 미분을 제거되어 점토덩어리량이 개선되는 것으로 판단된다.




[그림 3.5.9] 점토덩어리량의 변화

(마) 0.08mm체 통과량

[그림 3.5.10]은 시작품 샌드플럭스 장치 통과 전후의 0.08mm체 통과량을 평가한 결과를 나타낸 것이며, 최종 생산된 RS-Ⅳ의 경우 0.30~1.71%의 범위를 보여 국내외 기준(7.0%이하)에 모두 만족하는 것으로 나타나 RS-Ⅳ는 투입되는 RS-Ⅱ 대비 60%이상의 품질갠선 효과를 나타내었다.




[그림 3.5.10] 0.08mm체 통과량의 변화

## 나. 시작품 샌드플럭스 장치에서 생산된 순환모래의 모르타르 품질특성 평가

(1) 실험계획 및 방법

본 연구에서는 1차년도 시작품 적용 현장인 교하환경(주)의 제조시스템 중 순환모래를 RS-Ⅱ, RS-Ⅵ를 Sample 채취하여 순환모래의 기초 물리적 성질을 실험·실증적으로 분석하고, 순환모래 치환율에 따라 목표 유동성(150±5mm)을 만족하는 범위에서 모르타르를 제조하여 굳지않은 성상 및 굳은 성상 등을 비교·분석함으로서 문제점을 파악하고, 순환모래의 활용성을 촉진시키기 위한 기초자료로 활용할 계획이다.

(가) 실험계획

순환모래의 종류에 따른 모르타르의 유동특성 및 경화성상을 비교/검토하기 위한 실험계획은 표 11과 같다. 즉, W/C비 40% 및 50%의 2수준과, 순환모래 RS-Ⅱ, RS-Ⅳ의 2종류, 천연모래에 대한 순환모래 치환율 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준으로 설정하였으며, 천연모래를 사용한 모르타르의 유동성을 기준치로 하여 순환모래를 사용한 모르타르의 배합수량을 실험에 의해 조정하였고, 실험방법은 KS 기준에 준하여 실험을 실시하였다.

<표 3.5.4> 모르타르 품질평가를 위한 실험계획 및 배합

| W/C (%) | 골재 치환율 (vol.%) | 질량배합 ($kg/m^3$) | | | | | SP (%) | 평가항목 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | W | C | NS | RS-Ⅱ | RS-Ⅵ | | |
| 40 | 0<br>25<br>50<br>75<br>100 | 175 | 438 | 1772 | 0 | 0 | 0.3 | ※ 굳지않은 성상<br>· 배합수량<br>· 테이블플로우<br>· 공기량<br><br>※ 굳은 성상<br>· 압축강도(재령 3, 7 및 28일) |
| | | | | 1329 | 414 | 424 | | |
| | | | | 886 | 828 | 849 | | |
| | | | | 443 | 1242 | 1273 | | |
| | | | | 0 | 1656 | 1697 | | |
| 50 | | 185 | 370 | 182 | 0 | 0 | 0.1 | |
| | | | | 1352 | 421 | 432 | | |
| | | | | 998 | 933 | 956 | | |
| | | | | 451 | 1263 | 1294 | | |
| | | | | 0 | 1684 | 1726 | | |

<표 3.5.5> 순환모래의 모르타르 품질평가 평가항목 및 시험방법

| 평가항목 | 시험방법 |
|---|---|
| ① 테이블플로우 (mm) | • KS L 5111 시멘트 시험용 플로 테이블 |
| ② 공기량 (%) | • KS F 2421 압력법에 의한 공기함유량 시험방법 |
| ③ 압축강도 (MPa) | • KS L 5105 시멘트 모르타르의 압축강도 시험방법 |

(2) 모르타르 품질특성 평가결과

<표 3.5.6>은 W/C비 종류에 따른 순환모래를 사용한 모르타르의 굳지않은 성상 및 굳은 성상의 품질평가 결과를 나타낸 것이다.

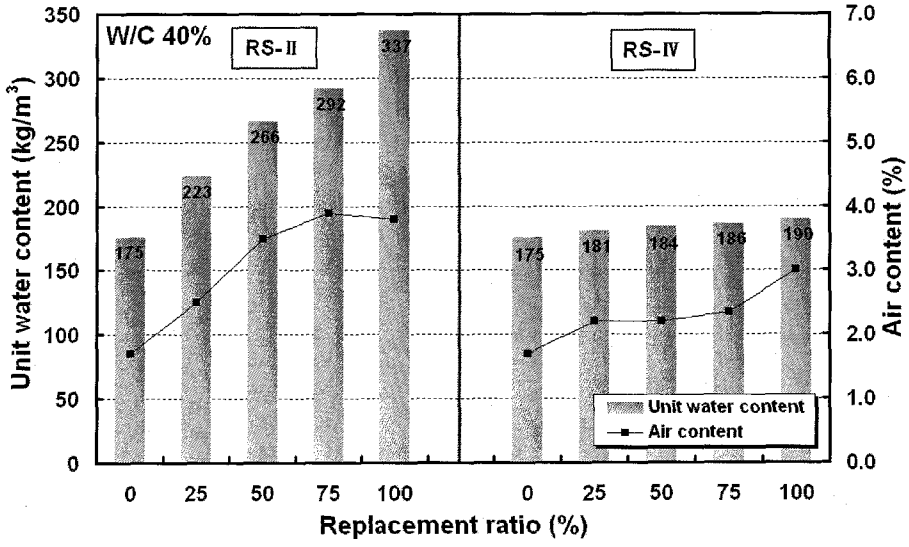
<표 3.5.6> 순환모래의 모르타르 품질평가 결과표

| 대상시료의 품질시험항목 | | 순환모래 치환율 (%) | W/C 40% | | W/C 50% | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ |
| 테이블플로우(mm) (150± 5mm) | | 0 | 147 | 153 | 149 | 149 |
| | | 25 | 150 | 155 | 150 | 150 |
| | | 50 | 148 | 155 | 150 | 150 |
| | | 75 | 147 | 146 | 145 | 145 |
| | | 100 | 147 | 147 | 153 | 153 |
| 공기량(%) | | 0 | 1.7 | 1.7 | 1.0 | 1.0 |
| | | 25 | 2.5 | 2.2 | 3.1 | 1.5 |
| | | 50 | 3.5 | 2.2 | 3.9 | 1.9 |
| | | 75 | 3.9 | 2.35 | 4.0 | 3.0 |
| | | 100 | 3.8 | 3.0 | 4.2 | 4.0 |
| 단위수량(kg/m3) | | 0 | 175 | 175 | 185 | 185 |
| | | 25 | 223 | 181 | 220 | 190 |
| | | 50 | 266 | 184 | 256 | 191 |
| | | 75 | 292 | 186 | 296 | 192 |
| | | 100 | 337 | 190 | 330 | 200 |
| 압축강도 (MPa) | 3일 | 0 | 44.9 | 44.9 | 25.8 | 25.8 |
| | | 25 | 24.9 | 37.3 | 17.6 | 23.5 |
| | | 50 | 17.7 | 35.8 | 13.0 | 23.8 |
| | | 75 | 14.6 | 34.2 | 9.7 | 21.4 |
| | | 100 | 9.9 | 29.3 | 7.3 | 21.4 |
| | 7일 | 0 | 51.9 | 51.9 | 31.8 | 31.8 |
| | | 25 | 30.0 | 45.0 | 23.5 | 29.1 |
| | | 50 | 22.8 | 43.7 | 17.8 | 29.0 |
| | | 75 | 17.9 | 42.6 | 13.6 | 27.4 |
| | | 100 | 13.4 | 37.1 | 8.1 | 27.4 |
| | 28일 | 0 | 60.6 | 60.6 | 42.3 | 42.3 |
| | | 25 | 36.7 | 57.7 | 28.6 | 38.7 |
| | | 50 | 27.7 | 53.2 | 22.4 | 38.1 |
| | | 75 | 23.6 | 49.8 | 17.2 | 35.1 |
| | | 100 | 18.8 | 44.1 | 14.8 | 32.5 |

(가) 모르타르의 유동특성

[그림 3.5.11]은 W/C 40%의 목표 테이블플로우(150±5mm)를 만족시키기 위한 배합수량의 변화 및 공기량의 변화를 나타낸 것이며, RS-Ⅱ를 사용한 경우에는 순환모래의 치환율이 증가할수록 동일 유동성을 만족시키기 위한 배합수량이 크게 증가되는 것으로 나타났고, 순환모래를 100% 사용하였을 경우 약 162kg/m$^3$의 배합수량이 크게 증가되었으며, 이와 더불어 공기량도 동시에 증가되는 경향을 나타내었다.

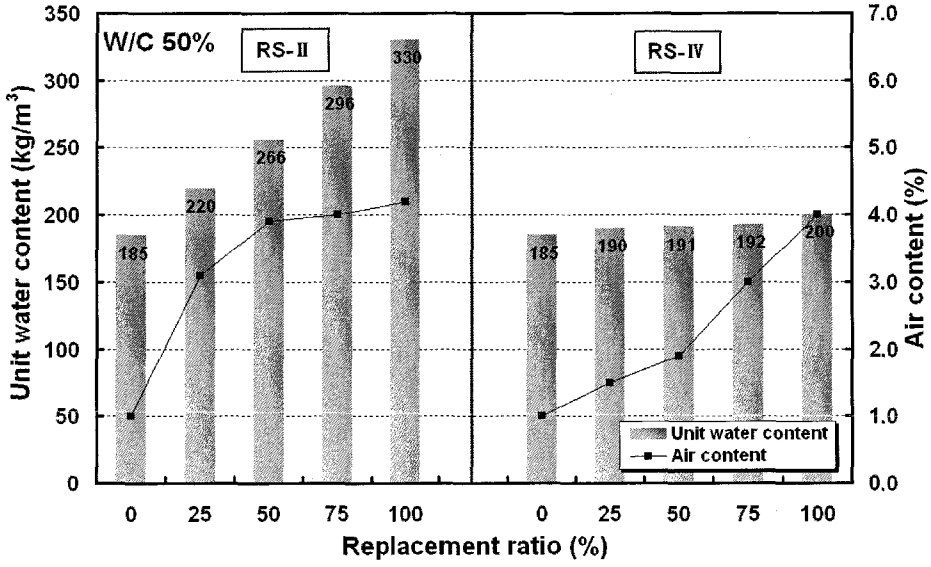
한편, RS-Ⅳ를 사용한 경우에는 순환모래 치환율에 따라 동일 유동성을 만족시키기 위한 배합수량의 변화 역시 순환모래의 치환율이 증가할수록 다소 증가 하였으며, 치환율 100%의 모르타르는 약 15kg/m$^3$의 배합수량이 추가되어 본 연구의 장치를 거치면서 원재료에 포함되어 있는 이물질과 미립분 및 토분을 제거해 줌으로 인한 것으로 판단된다.




[그림 3.5.11] 모르타르의 유동특성의 변화(W/C 40%)

[그림 3.5.12]는 W/C 50%의 목표 테이블플로우(150±5mm)를 만족시키기 위한 배합수량의 변화 및 공기량의 변화를 나타낸 것이며, 상기에서 서술한 바와 같이 RS-Ⅱ를 사용한 경우에는 순환모래의 치환율이 증가할수록 동일 유동성을 만족시키기 위한 배합수량이 크게 증가되는 것으로 나타났고, 본 연구장치를 거친 RS-Ⅳ를 사용한 경우에는 순환모래의 치환율에 따라 동일 유동성을 만족시키기 위한

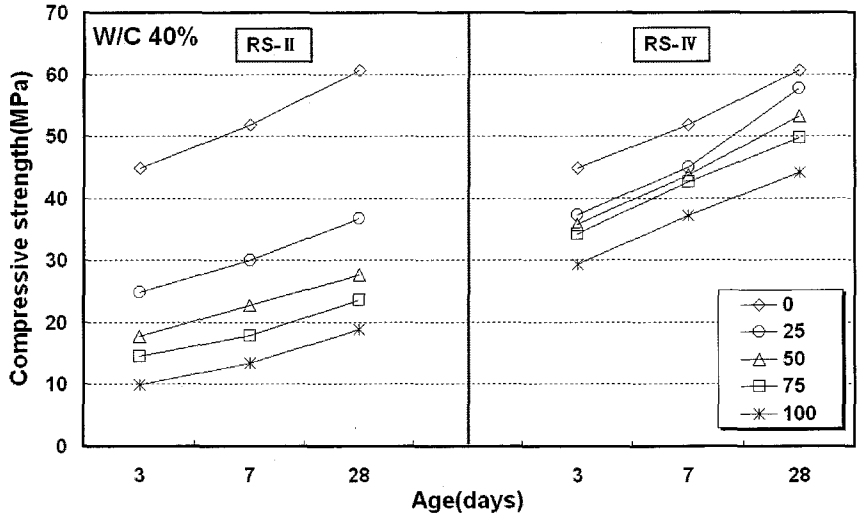
배합수량의 변화가 거의 없는 것으로 나타났다.




[그림 3.5.12] 모르타르의 유동특성의 변화(W/C 50%)

(나) 모르타르의 압축강도 특성

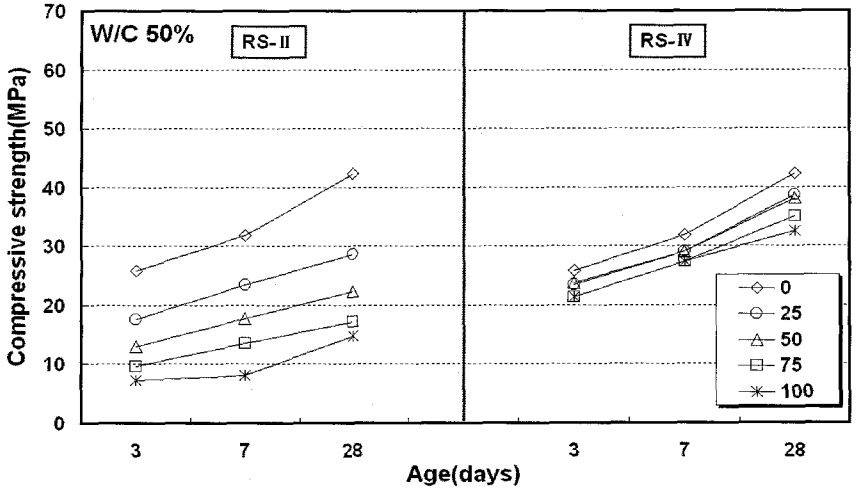
[그림 3.5.13]은 W/C 40%의 순환모래 치환율별 소요 재령에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이다.




[그림 3.5.13] 모르타르의 압축강도의 변화(W/C 40%)

RS-Ⅱ를 사용한 압축강도의 경우 순환모래 치환율에 따른 압축강도의 변화는 18.8~36.7MPa의 범위를 보이고 있으며, 최종 생산된 순환모래 RS-Ⅳ를 사용한 경우 44.1~57.9MPa의 범위를 나타냈다. 또한, RS-Ⅳ는 RS-Ⅱ에 비해 높은 압축강도 발현성을 나타냄과 동시에 치환율이 증가할수록 압축강도는 저하 하는 경향을 나타냈다. 이는 치환율이 증가할수록 순환모래의 표면에 부착되어 있던 모르타르 및 페이스트와 각종 이물질 등이 포함되어 모르타르의 압축강도 저하한 것으로 판단된다.

[그림 3.5.14]는 W/C 50%의 순환모래 치환율별 소요재령에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이며, RS-Ⅱ를 사용한 압축강도의 경우 순환모래 치환율에 따라 14.8~28.6MPa의 범위를 보이고 있고, 최종 생산된 순환모래 RS-Ⅳ의 경우 32.5~38.7MPa의 범위를 나타내었고, RS-Ⅱ 대비 약 26% 이상 품질개선 효과를 나타내어 본 연구장치의 성능이 매우 우수한 것으로 판단된다.




[그림 3.5.14] 모르타르의 압축강도의 변화(W/C 50%)

## 다. 시작품 샌드플럭스 장치에서 생산된 순환모래의 콘크리트 품질특성 평가

(1) 실험계획 및 방법

본 연구에서는 1차년도 시작품 적용 현장인 교하환경(주)의 제조시스템 중 순환모래를 RS-Ⅱ, RS-Ⅵ를 Sample 채취하여 순환모래의 기초 물리적 성질을 실험·실증적으로 분석하고, 순환모래의 치환율에 따라 목표 유동성(150±20mm)을 만족하는 범위에서 콘크리트를 제조하여 굳지않은 성상 및 굳은 성상 등을 비교·분석함으로서 문제점을 파악하고, 순환모래의 활용성을 촉진시키기 위한 기초자료로 활용할 계획이다.

(가) 실험계획

본 연구에서 순환모래 종류에 따른 콘크리트의 굳지않은 성상 및 굳은 성상을 비교/검토하기 위한 실험 계획은 <표 3.5.7>과 같다. 즉, W/C비 50%, 잔골재율 48%, 단위수량 185kg/m$^3$으로 각각 설정하였고, 목표 유동성(150±20mm) 및 공기량(3.0±1.5%)을 만족하기 위하여 최소한의 SP제 및 AE제를 사용하였으며, 각각의 품질시험 방법은 KS 기준에 준하여 실시하였다.

<표 3.5.7> 콘크리트 품질평가를 위한 실험계획 및 배합

<table>
<tr><th rowspan="2">종 류</th><th rowspan="2">W/C (%)</th><th rowspan="2">S/a (%)</th><th rowspan="2">W (kg/m$^3$)</th><th colspan="5">Unit Weight (kg/m$^3$)</th><th rowspan="2">SP (%)</th><th rowspan="2">AE (%)</th></tr>
<tr><th>C</th><th>S</th><th>RS-Ⅱ</th><th>RS-Ⅵ</th><th>G</th></tr>
<tr><td>NS</td><td rowspan="4">50</td><td rowspan="4">48</td><td rowspan="4">185</td><td rowspan="4">370</td><td rowspan="3">865</td><td rowspan="4">808</td><td rowspan="3">828</td><td rowspan="4">955</td><td rowspan="4">0.25</td><td rowspan="4">0.5</td></tr>
<tr><td>RS-Ⅱ</td></tr>
<tr><td>RS-Ⅵ</td></tr>
<tr><td>NS(50%)+RS-Ⅵ(50%)</td><td>432</td><td>414</td></tr>
<tr><td>평가 항목</td><td colspan="10">※ 굳지않은 성상<br>· 배합수량<br>· 슬럼프(150±20mm)<br>· 공기량<br>※ 굳은 성상<br>· 압축강도(재령 3, 7 및 28일)<br>· 소성수축</td></tr>
</table>

<표 3.5.8> 순환모래의 실험항목 및 실험방법

| 품질실험항목 | 품질실험방법 |
|---|---|
| ① 슬럼프 (mm) (150±20mm) | • KS F 2402 굳지 않은 콘크리트의 슬럼프 시험방법 |
| ② 공기량 (%) (3.0±1.5%) | • KS F 2421 굳지 않은 콘크리트의 압력법에 의한 공기함유량 시험방법 |
| ③ 압축강도 (MPa) | • KS F 2405 콘크리트의 압축강도 시험방법 |
| ④ 소성수축(mm) | • 제작 후, 40± 3℃에서 24시간 양생 후 육안관찰 |

(2) 콘크리트 품질특성 평가결과

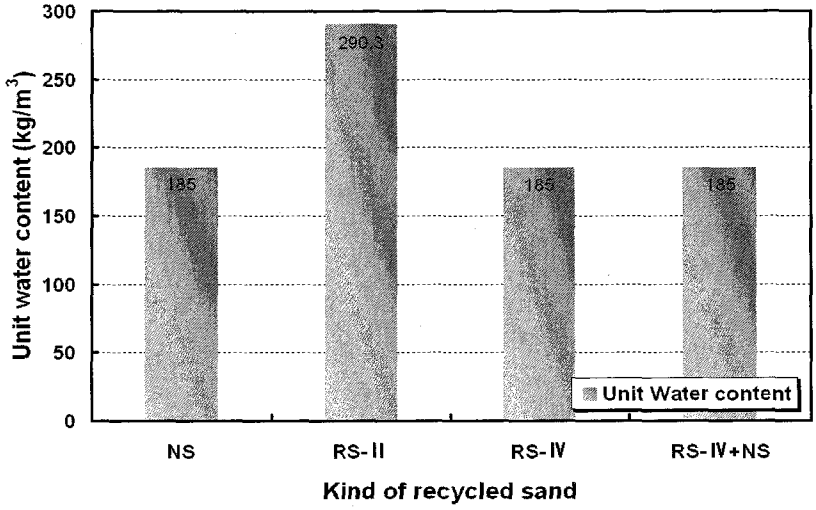
<표 3.5.9>는 순환모래를 사용한 콘크리트의 목표 유동성 및 공기량을 모두 만족하는 범위에서 각각의 굳지않은 성상 및 굳은 성상의 품질평가 결과를 나타낸 것이다.

<표 3.5.9> 콘크리트 품질평가 결과

| 대상시료의 품질시험항목 | | NS | RS-Ⅱ | RS-Ⅳ | NS+RS-Ⅳ | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ① 슬럼프(mm) | | 135 | 150 | 145 | 160 | |
| ② 공기량(%) | | 1.7 | 2.5 | 3.5 | 3.9 | |
| ③ 압축강도 (MPa) | 3일 | 20.42 | 7.51 | 18.57 | 19.21 | |
| | 7일 | 27.65 | 11.07 | 26.72 | 27.28 | |
| | 28일 | 42.01 | 19.03 | 36.08 | 38.51 | |
| ④ 소성수축 | 균열길이 (mm) | 0 | 370 | 220.5 | 41.5 | Temp. 40± 3℃ 24시간 건조 후 육안관찰 |
| | 균열 폭(mm) | 0 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | |

(가) 콘크리트의 단위수량

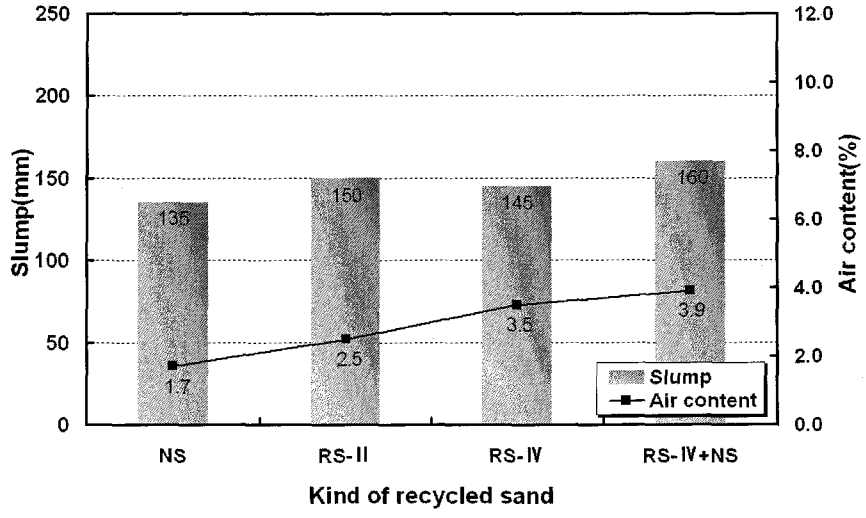
[그림 3.5.15]는 순환모래 종류에 따른 슬럼프 값(150±20mm) 및 공기량(3.0±1.5%)의 범위를 만족하기 위한 콘크리트의 단위수량 변화는 나타낸 것이며, RS-Ⅱ의 경우 목표 유동성을 만족하기 위해 105.3kg/$m^3$의 높은 단위수량 첨가해야만 목표 유동성을 확보할 수 있었다. 한편, RS-Ⅳ 및 RS-Ⅳ+NS를 사용한 콘크리트는 천연모래인 NS와 동일한 단위수량을 첨가하여도 목표 유동성을 확수할 수 있는 것으로 나타났다.




[그림 3.5.15] 콘크리트의 단위수량의 변화

(나) 콘크리트의 유동특성

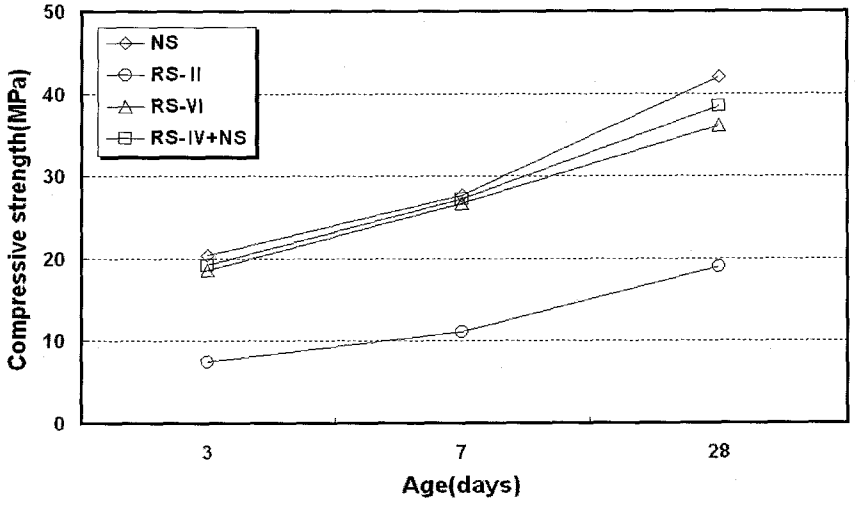
[그림 3.5.16]은 순환모래 종류에 따른 유동특성을 나타낸 것이고, 본 연구에서 슬럼프 값을 150±20mm로 고정한 상태에서 콘크리트의 유동성을 측정하였으며, 공기량의 경우 투입되는 RS-Ⅱ에 비해 최종 생산된 RS-Ⅳ가 공기량이 높게 나타났다. 이는 본 연구장치를 거치면서 RS-Ⅱ에 포함되어 있는 이물질과 미립분 및 토분을 제거해 줌으로 인한 것으로 판단되며, 약 1.7~3.9%의 범위를 나타내었다.




[그림 3.5.16] 콘크리트의 유동특성의 변화

(다) 콘크리트의 강도특성

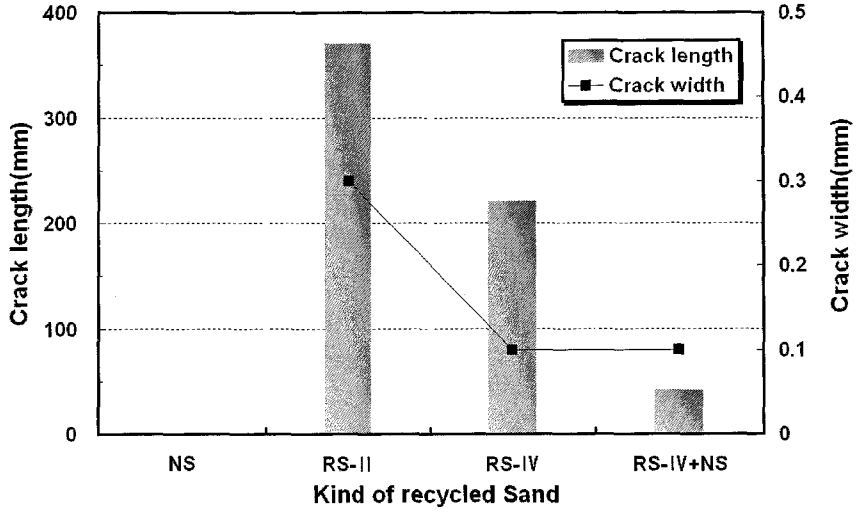
[그림 3.5.17]은 소요 재령에 따른 순환모래를 사용한 콘크리트의 압축강도 측정 결과를 나타낸 것이며, 골재 종류에 따른 재령 28일 압축강도의 변화는 NS(42.01MPa) > RS-Ⅳ+NS(38.51MPa) > RS-Ⅳ(36.08MPa) > RS-Ⅱ(19.03MPa)순으로 증가하는 경향을 나타내었다. 한편, RS-Ⅱ의 열악한 품질에도 불구하고 RS-Ⅳ는 높은 압축강도 발현 성상을 나타내었으며, 최종 생산된 순환모래(RS-Ⅳ) 및 혼합모래(RS-Ⅳ-NS)의 경우 천연모래와 거의 유사한 압축강도 발현성상을 나타내어 상기에서 서술한 바와 같이 본 연구장치를 거치면서 순환모래의 품질성능이 향상 되었지 때문으로 판단된다.



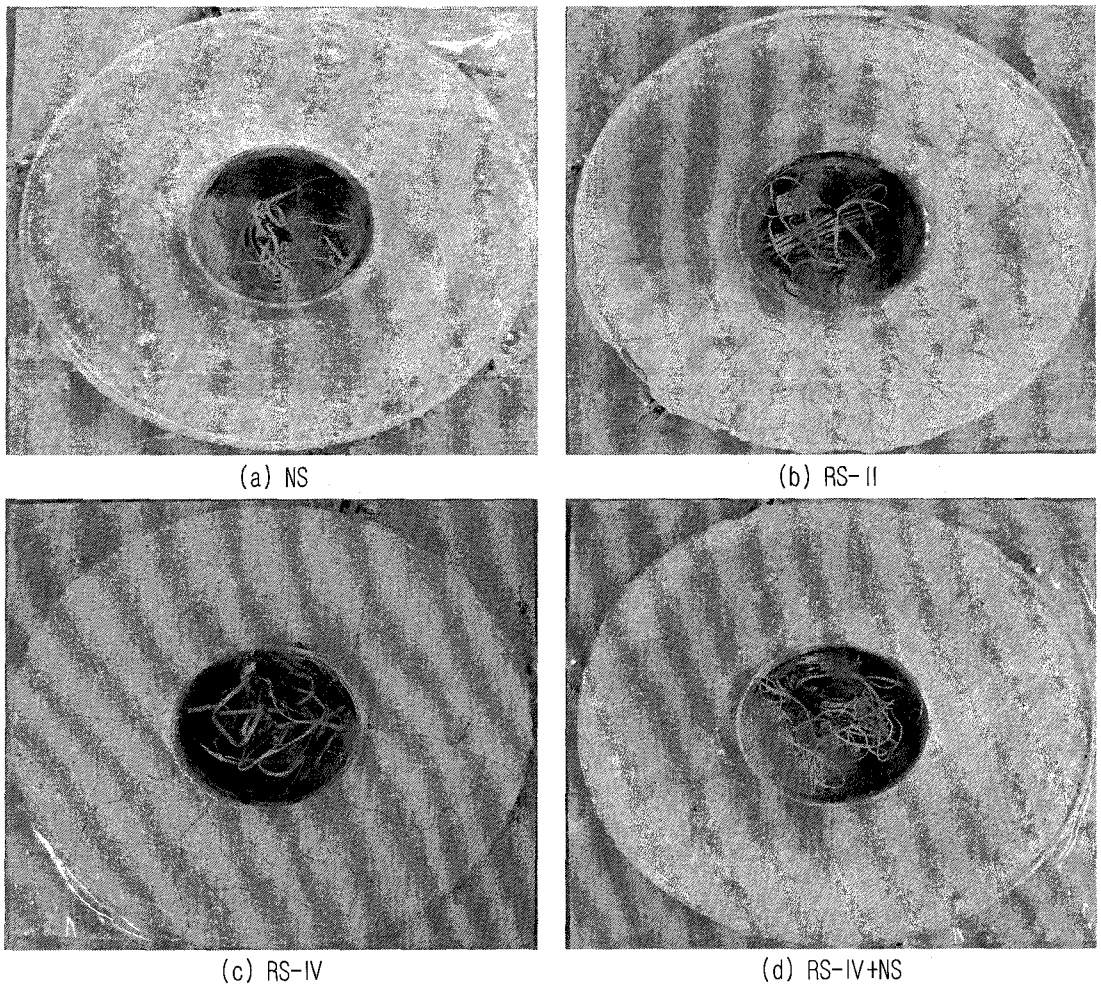

[그림 3.5.17] 콘크리트의 압축강도의 변화

(라) 콘크리트의 수축특성

[그림 3.5.18]은 순환모래의 종류에 따른 콘크리트의 소성수축 변화를 나타낸 것이며 골재 종류에 따른 소성수축 시험 결과 균열 길이는 RS-Ⅱ(370mm) > RS-Ⅳ (220.5mm) > RS-Ⅳ+NS(41.5mm > NS(0mm)의 순으로 증가하는 경향을 나타냈다. 또한, 순환모래 종류에 따른 균열 폭은 RS-Ⅱ (0.3mm) > RS-Ⅳ (0.1mm) = RS-Ⅳ + NS (0.1mm > NS (0mm) 순으로 나타내어 본 연구장치를 통과하면서 순환모래에 포함되어 있는 각종 이물질과 미립분 및 토분 등을 제거해 줌으로 균열발생량이 줄어드는 것으로 판단되며, 사진 5는 순환모래 종류에 따른 콘크리트의 소성수축 시험체의 외형을 나타낸 것이다.




[그림 3.5.18] 콘크리트의 소성수축의 변화




[사진 3.5.7] 소성수축 실험결과

## 4. 연구 결과

비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환모래 이물질 제거장치를 개발하기 위한 3차년도 연구개발 결과를 정리하면 아래와 같다.

(1) 시작품 샌드플럭스 장치의 운전조건 및 생산현황을 파악한 결과, 시작품 샌드플럭스의 플럭스탱크 처리용량 및 성능을 고려하여 탱크 내부의 압력을 2.7kg/cm$^2$에서 2.9kg/cm$^2$로 순환모래의 품질에 따라 조정하여 생산하는 것을 확인할 수 있었다. 또한, 2차년도에 운전조건별 순환모래의 기초물성 평가를 실시한 결과 플럭스탱크 내부의 비중분급점이 3.2kg/cm$^2$ 일때 각종 품질성능이 향상되는 것으로 나타났지만, 탱크 내부의 압력 및 장치의 과부하를 고려하여 비중준급점이 3.0kg/cm$^2$ 이상 장시간 순환모래의 생산에는 무리가 있는 것을 확인할 수 있었다.

(2) 시작품 샌드플럭스 장치에서 생산된 순환모래의 기초물성을 평가한 결과, 샌드플럭스를 거치기 전의 순환모래(RS-Ⅱ)에 비하여 본 연구에서 개발한 샌드플럭스 장치를 거친 순환모래(RS-Ⅳ)의 품질이 크게 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 특히, 유기이물질 제거효율에 있어 샌드플럭스 장치(사이클론+플럭스탱크)를 통해 최종 생산된 순환모래 (RS Ⅳ)의 경우 미세립한 유기이물질 및 미세립분의 제거 효과의 증대로 품질이 크게 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

(3) 또한, 순환모래의 모르타르 및 콘크리트품질특성 평가를 실시한 결과, 샌드플럭스 장치를 거치기 전의 순환모래(RS-Ⅱ)의 경우 목표 유동성을 만족하기 위해서는 배합수량을 상당히 증가시켜야만 하였고, 샌드플러스 장치를 거친 순환모래(RS-Ⅳ)는 천연모래(NS)와 유사한 수준을 보였으며, 압축강도 발현성상을 알아본 결과 역시 샌드플럭스 장치를 거친 순환모래(RS-Ⅳ)는 천연모래와 유사한 수준을 보였다.

(4) 상기의 각종 품질평가 결과를 바탕으로 본 연구에서 개발한 시작품 샌드플럭스 장치의 성능을 검증할 수 있었으며, 향후 4차년도에는 상품화용 샌드플럭스 장치의 현장적용을 통해 제품화를 위한 샌드플럭스 장치의 최적 설계에 적용할 계획이다.

# 제 6 절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발

## 1. 토분 이물질 제거장치 1차 시제품 성능 보완

### 가. 송풍장치 및 자연풍 적용성 연구

(1) 1차 시제품 시운전 결과 분석

(가) 송풍장치에서 발생하는 풍력에 의한 과도한 미세먼지 발생 및 이물질 분리 효율 저하 문제점 발생

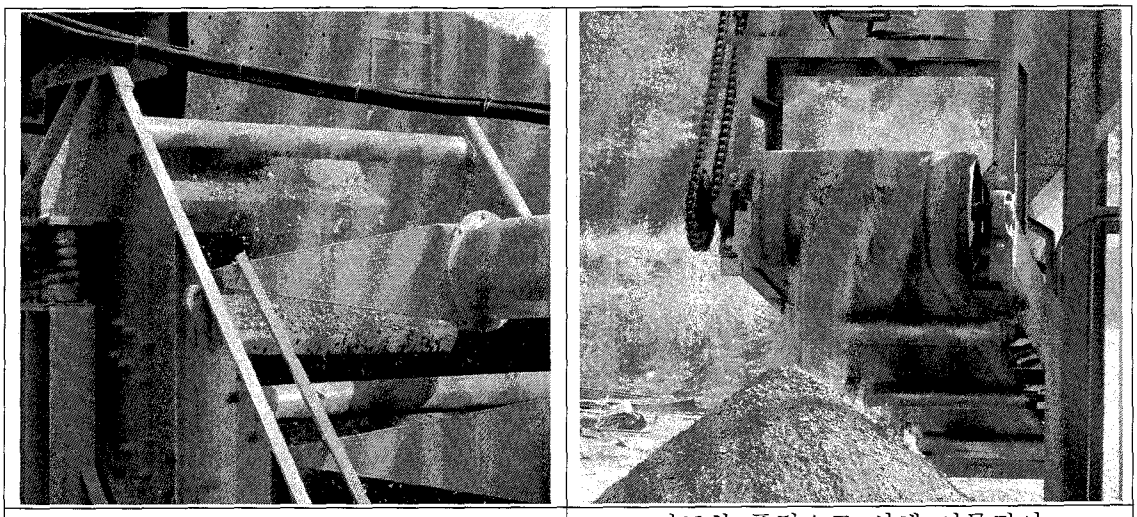
- 에어노즐 각 단에서의 풍력을 고려해야 함
- scale-up 되었을 때의 분리 메커니즘을 고려할 필요가 있음

(나) 송풍장치의 용량 및 일부 설계 변경 가능 여부

- 상용화하기 위해서는 처리 용량을 크게 할 필요가 있음

(다) 자연풍 적용 가능성 여부

- 무동력 장치를 사용하는 방법이 있음
- 자연풍 발생의 불규칙함, 풍력의 재연성, 풍향 등 많은 문제점이 있음
- 현실적으로 적용하기가 어려움



| 과도한 풍력으로 인한 미세먼지 발생 | 과도한 풍력으로 인해 이물질이 효과적으로 분리되지 않음 |
|---|---|

[그림 3.6.1] 1차 시제품 시운전 시 나타난 문제점

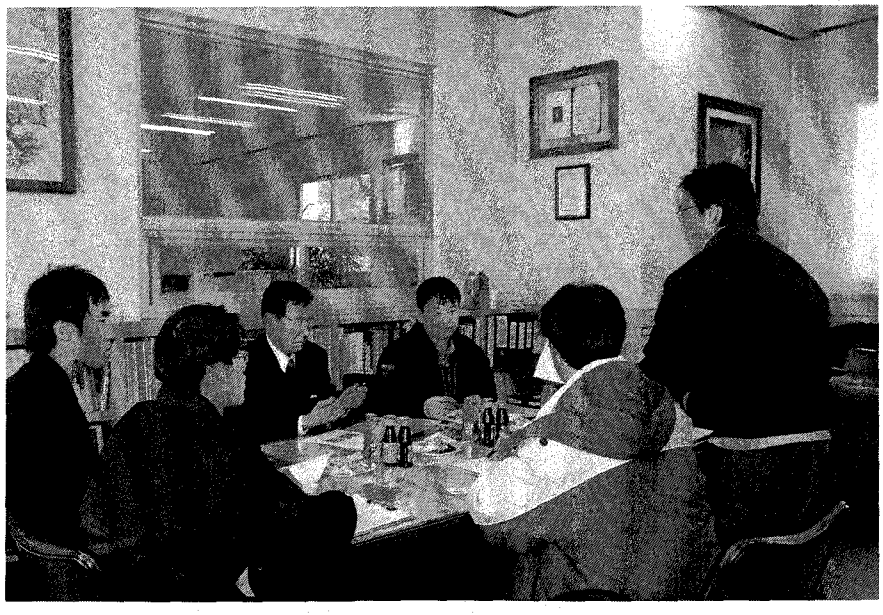
(2) 성능 보완을 위한 자문회의 개최

① 개최 목적 - 1차 시제품 보완을 위한 송풍장치 연구

② 일　　시 - 2007년 12월 05일, 오후 2시

③ 장　　소 - (주)거산기계 기업부설연구소

④ 자문 위원 - 동력사송풍기 채상진 대표이사 외 1명



[그림 3.6.2] 자문회의 개최 사진

(3) 기술자문 내용

① 1차 시제품 분리·선별 효율 향상을 위해 송풍기 규격 조절 필요

② 자연풍 적용 가능성 - 무동력 벤츄레이션 장착 가능 하나, 현장 적용에는 어려움

③ 미세먼지 해결 방안 모색 - 싸이클론 및 집진기 설치

(4) 자문회의 결과

① 송풍장치의 구조는 기존의 것이 가장 적합한 것으로 판단

② 미세먼지 발생 및 이물질 분리효율 저하 문제

⇒ 집진기 및 싸이클론을 설치하여 미세먼지 및 이물질 해결 방안 모색

③ 송풍장치의 용량 등을 조절하여 분리효율 향상

(4) 송풍장치 설계

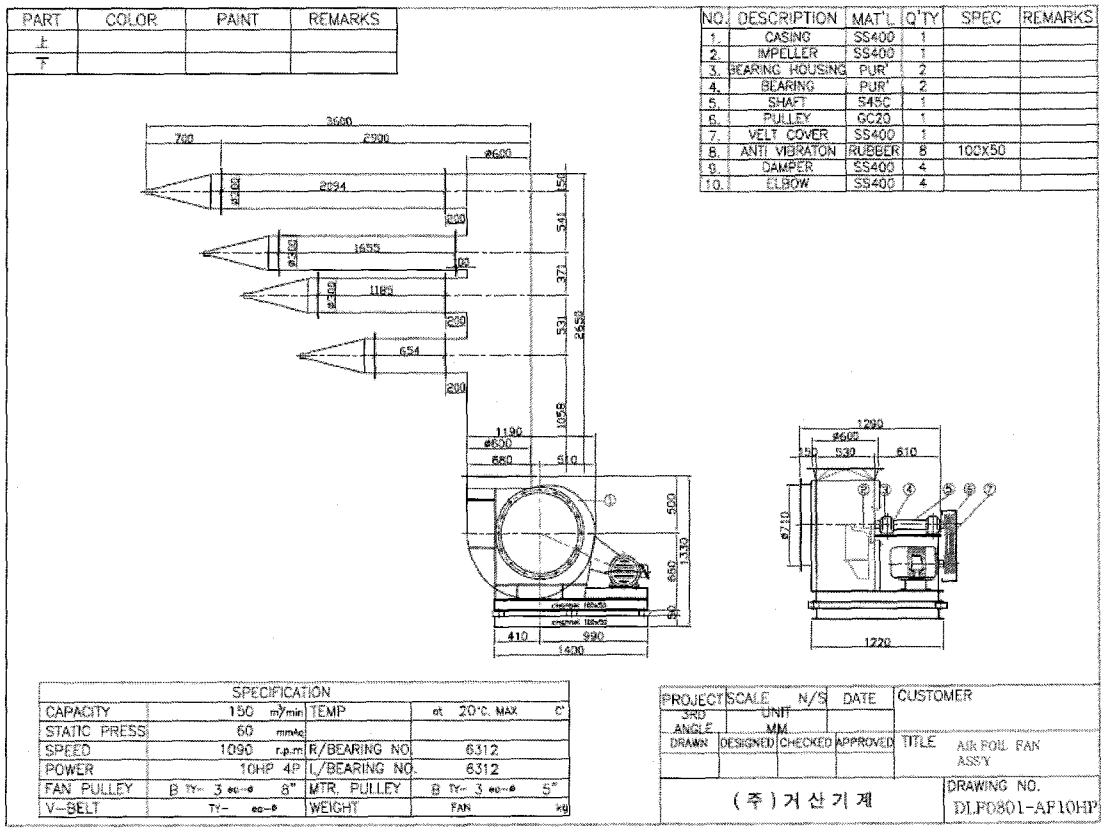
① 기술자문 내용을 토대로 개선된 송풍장치 설계

② 1차 시제품에서 발생된 문제점을 보완하여 설계 - <표 3.6.1> 참조

③ 내부 공정회의 등을 거쳐 보완된 송풍장치 최종 확정 및 제작

<표 3.6.1> 기존 송풍장치와 개선된 송풍장치의 규격 비교

| | 기존 송풍장치 | 개선 송풍장치 |
|---|---|---|
| Capacity | 230 $m^3$/min | 150 $m^3$/min |
| Static Press | 100 mmAq | 60 mmAq |
| Speed | 1600 rpm | 1090 rpm |
| Power | 15HP 4P | 10HP 4P |




[그림 3.6.3] 성능 보완된 송풍장치 설계도면

## 나. 소음 및 미세먼지에 대한 관련 법규 검토

(1) 소음진동 관련법 검토

(가) 소음진동규제법 시행규칙 제20조 中 소음진동 규제 지역 검토

(나) 배출시설이 설치되지 아니한 공장에서 발생하는 소음 진동

(다) 생활소음, 진동이 발생하는 공장, 사업장 또는 공사장의 부지 경계선으로부터 직선거리 300미터 이내에 주택(사람이 살지 아니하는 폐가는 제외한다), 운동, 휴양시설 등이 있는 지역

(라) 공장, 공사장을 제외한 사업장에서 발생하는 소음 진동

(마) 생활소음 규제 기준 - <표 3.6.2> 참조

<표 3.6.2> 생활소음 규제 기준

(단위 : dB)

| 대 상 지 역 | 시간대별 / 소음원 | | 아침, 저녁 (05:00~07:00, 18:00~22:00) | 주간 (07:00~18:00) | 야간 (22:00~05:00) |
|---|---|---|---|---|---|
| 주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역에 있는 학교·병원·공공도서관 | 확성기 | 옥외설치 | 70 이하 | 80 이하 | 60 이하 |
| | | 옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우 | 50 이하 | 55 이하 | 45 이하 |
| | 공장 | | 50 이하 | 55 이하 | 45 이하 |
| | 사업장 | 동일 건물 | 45 이하 | 50 이하 | 40 이하 |
| | | 기타 | 50 이하 | 55 이하 | 45 이하 |
| | 공 사 장 | | 65 이하 | 70 이하 | 55 이하 |
| 그 밖의 지역 | 확성기 | 옥외설치 | 70 이하 | 80 이하 | 60 이하 |
| | | 옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우 | 60 이하 | 65 이하 | 55 이하 |
| | 공장 | | 60 이하 | 65 이하 | 55 이하 |
| | 사업장 | 동일 건물 | 50 이하 | 55 이하 | 45 이하 |
| | | 기타 | 60 이하 | **65 이하** | 55 이하 |
| | 공 사 장 | | 70 이하 | 75 이하 | 55 이하 |

(2) 미세먼지 환경기준 (환경정책기본법 시행령 제2조 관련)

| | |
|---|---|
| 미세먼지 | 연간 평균치 : 50㎍/㎥ 이하 ; 24시간 평균치 : 100 ㎍/㎥ 이하 |

(3) 비산먼지 배출허용 기준 (대기환경보전법 시행규칙 제15조 관련)

| | |
|---|---|
| 비산먼지 | 모든 배출시설 0.5㎎/S㎥ 이하 |

## 다. 진동 플레이트와 고정 데크의 비교 분석

(1) 고정 플레이트 적용 시 나타난 문제점 검토

(가) 이물질 분리 효율 저하 문제
(나) 연속적인 진동에 의한 부품의 내구성 문제
(다) 부품 교체의 용이성 문제

(2) 진동 플레이트 설계 및 제작

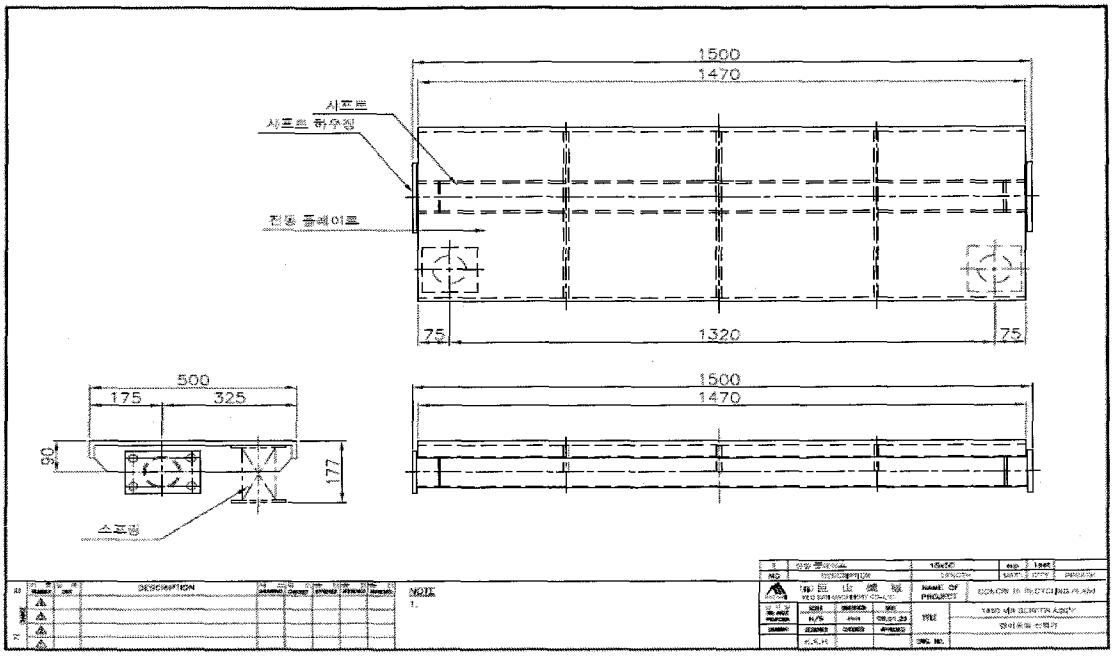
(가) 진동 플레이트 설계
(나) 2차 시제품 제작 시 진동 플레이트를 설치하여 고정 데크와 비교 분석
(다) 시제품에서 생산된 샘플을 분석하여 이물질 제거 효율 확인 및 플레이트 최적화

(3) 진동 플레이트 와 고정 데크의 이물질 제거 효율 비교

(가) 2차 시제품에서 생산된 토분의 이물질 함유량 분석
(나) 1차 시제품의 분석 결과와 비교 검토
(다) 고정 데크를 사용하였을 경우보다 이물질 제거율이 약 7.5% 향상

<표 3.6.3> 고정데크 및 진동플레이트 사용에 따른 이물질 제거율 비교

| | 이물질함유량 | | 제거율 [%] | 비 고 |
|---|---|---|---|---|
| | 처리 전 [%] | 처리 후 [%] | | |
| 1차 시제품 | 2.3 | 0.8 | 65.2 | 고정데크 사용 |
| **2차 시제품** | **1.1** | **0.3** | **72.7** | **진동플레이트 사용** |




[그림 3.6.4] 진동 플레이트 설계도면

## 2. 시제품에서 생산된 토분의 활용용도 연구

### 가. 순환골재 품질기준 검토

(1) 개 요

(가) 2003년 12월 제정된 "건설폐기물의재활용촉진에관한법률" 제35조에 근거하여 2005년 8월 순환골재의 용도별 품질기준을 정함

(나) 성토 및 복토용 사용 지양 ⇒ 순환골재의 고부가가치 활용 유도

(다) 순환골재를 용도별로 크게 12가지로 구분하여 품질기준 마련

(2) 주요 용도별 품질기준

(가) 도로보조기층용

- 상부에서 전달되는 교통하중을 분산시켜 노상에 전달하는 역할
- 입도분포, 소성지수, 수정CBR, 유·무기이물질 함유량 등 측정

(나) 콘크리트용

- 폐콘크리트의 파쇄·처리 등을 통하여 생산된 순환골재 중 콘크리트용으로

사용 가능한 순환골재의 품질 규정

- 입도, 밀도, 흡수율, 안정성, 유·무기이물질 함유량 등 측정
- 콘크리트용 순환골재 사용 시 천연골재와 혼합사용해야 함

(다) 동상방지층 및 차단층용

- 한랭지역에서 노상층의 동결 방지를 위해 사용
- 입도, 수정CBR, 이물질 함유량 등 측정

(라) 노상용

- 포장층의 기초지반으로 도로노면에 작용하는 모든 하중을 지지하는 부분
- 골재최대치수, 소성지수, 수정CBR, 유기이물질 함유량 등 측정

(마) 노체용

- 노상면 하부에 시공되는 흙쌓기 부분
- 수정CBR, 유기이물질 함유량 측정

(3) 결 론

(가) 순환골재 품질기준 中 이물질 제거장치로 처리한 토분의 사용이 가능한 용도별 품질기준 검토

(나) 송풍장치 등 시제품의 성능이 보완될 경우 '성토 및 복토용'뿐만 아니라 도로보조기층용, 노상, 노체용 등으로 사용이 가능할 수 있음을 확인

## 나. 토분의 고부가가치 활용 목표 설정

(1) 1차 시제품에서 생산된 토분의 분석 결과 요약

(가) 1차 시제품에서 생산된 토분을 한국건설시험연구소에 분석 의뢰함

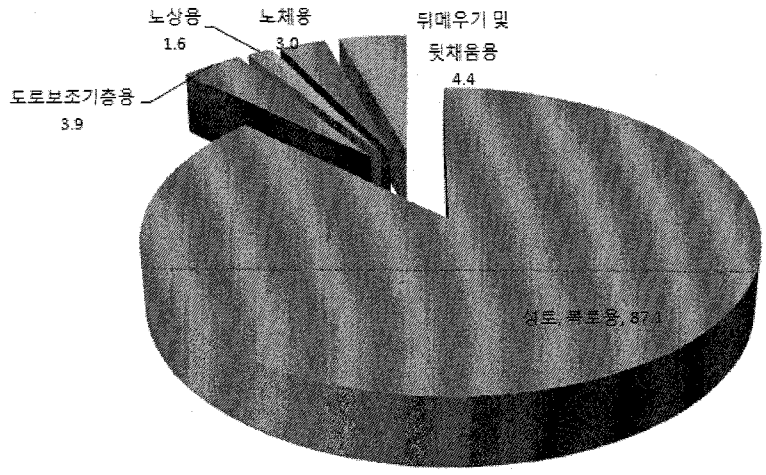
(나) 1차 시제품으로 처리한 토분의 유기이물질 함유량은 평균 0.8 정도인 것으로 나타남. ⇒ 순환골재 품질기준 中 '성토, 복토용'에 만족

(다) 1차 시제품의 성능 보완을 통하여 생산된 토분의 고부가가치 활용 기대

(2) 재생 토분 활용 목표 설정

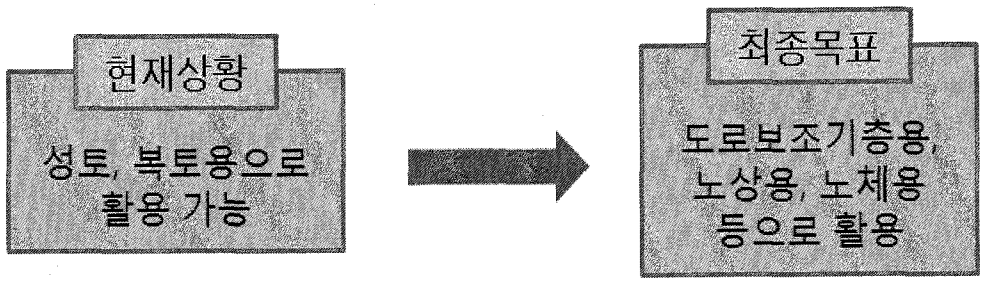
(가) 순환골재의 재활용 현황

- 생산되는 순환골재의 87.1%가 성토 및 복토용으로 재활용되고 있음
- 순환골재의 고부가가치 활용 필요




[그림 3.6.5] 순환골재 용도별 재활용 현황 (2005년도 건설폐기물 재활용통계조사보고서, 환경부)

(나) 재생 토분의 활용 목표




(다) 경제성 평가

- 재생토분을 성토, 복토용으로 판매했을 경우와 도로보조기층, 동상방지층용 등으로 판매했을 경우의 이익 비교 - <표 3.6.4> 참조
- 월 6,000톤의 토분 생산 가정 (300톤/일 × 20일)
- 가격정보 : 건설폐기물정보관리시스템(http://www.cwms.or.kr)참조

<표 3.6.4> 순환골재 용도별 판매에 따른 판매금액 비교

| | 성토, 복토용 | 도로보조기층용 | 동상방지층용 |
|---|---|---|---|
| 판매량 [톤/월] | 6,000 | | |
| 단 가 [원/톤] | 1,000 | 4,000 | 3,000 |
| 판매금액 [천원/월] | 6,000 | 24,000 | 18,000 |
| 판매금액 [천원/년] | 72,000 | 288,000 | 216,000 |
| 판매금액비교 | 100% | 400% | 300% |

## 다. 2차 시제품에서 생산된 토분의 분석

(1) 샘플 분석 의뢰

(가) 의뢰 기관 : 한국건자재시험연구원

(나) 의뢰 샘플 : 이물질 제거장치 처리 전, 이물질 제거장치 처리 후 (이물질 포함), 이물질 제거장치 처리 후(이물질 제거)

(다) 분석 항목 : 도로보조기층 재료용 순환골재 품질 기준에 해당하는 항목

(2) 이물질 제거장치 처리 전·후 결과 비교 - <표 3.6.5> 참조

(가) 이물질 함유량 및 입도 분포를 제외한 다른 분석 항목에서는 결과가 거의 비슷하게 나타남

⇒ 이물질 제거장치의 주목적이 이물질 제거 및 선별이기 때문

(나) 이물질 제거장치 처리 후 이물질 함유량은 처리 전에 비해 많이 감소한 것으로 나타남

<표 3.6.5> 샘플 분석 결과 (한국건자재시험연구원)

| 항 목 | | 처리 전 | 처리 후 | | 순환골재 용도별 품질기준 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 이물질 포함 | **이물질 제거** | 도로보조 기층용 | 동상 방지층용 | 노상용 |
| 마모율(%) | | 42.1 | 46.2 | **38.3** | 50 이하 | | |
| 모래당량(%) | | 38 | 36 | **41** | 25 이상 | 20 이상 | |
| 수정CBR(%) | | 53.5 | 51.0 | **56.0** | 30 이상 | 10 이상 | 10 이상 |
| 소성지수 | | N.P | N.P | **N.P** | 6 이하 | 10 이하 | 10 이하 |
| 액성한계(%) | | N.P | N.P | **N.P** | 25 이하 | | |
| **이물질 함유량 (%)** | **유기 이물질** | **1.1** | **1.4** | **0.3** | **1.0 이하** | **1.0 이하** | **1.0 이하** |
| | **무기 이물질** | **1.8** | **0.8** | **1.1** | **5.0 이하** | **5.0 이하** | |
| 입도 (%) (통과질량 백분율) | 50mm | 100 | 100 | **100** | 100 | | |
| | 40mm | 100 | 100 | **100** | 80~100 | | |
| | 20mm | 100 | 100 | **100** | 55~100 | | |
| | 5mm | 62 | 97 | **48** | 30~70 | | 25~100 |
| | 2.5mm | 41 | 77 | **26** | 20~55 | | |
| | 0.4mm | 13 | 19 | **10** | 5~30 | | |
| | 0.08mm | 3 | 5 | **2** | 2~10 | | 0~25 |

(3) 순환골재 용도별 품질기준 적합성 검토

(가) 분석 결과를 도로보조기층용, 동상방지층용, 노상용 등 순환골재 품질기준과 비교 검토.

(나) 이물질 제거장치로 처리 한 샘플은 동상방지층용 및 노상용 품질기준에 적합한 것으로 나타남.

(다) 도로보조기층용 품질기준의 경우 적합한 것으로 나타났으나, 보다 많은 샘플의 분석 결과가 필요할 것으로 판단됨.

## 3. 성능 보완된 2차 시제품 제작 및 성능 평가

### 가. 2차 시제품의 제작

(1) 이물질 제거장치가 포함된 플랜트 공정도 확정

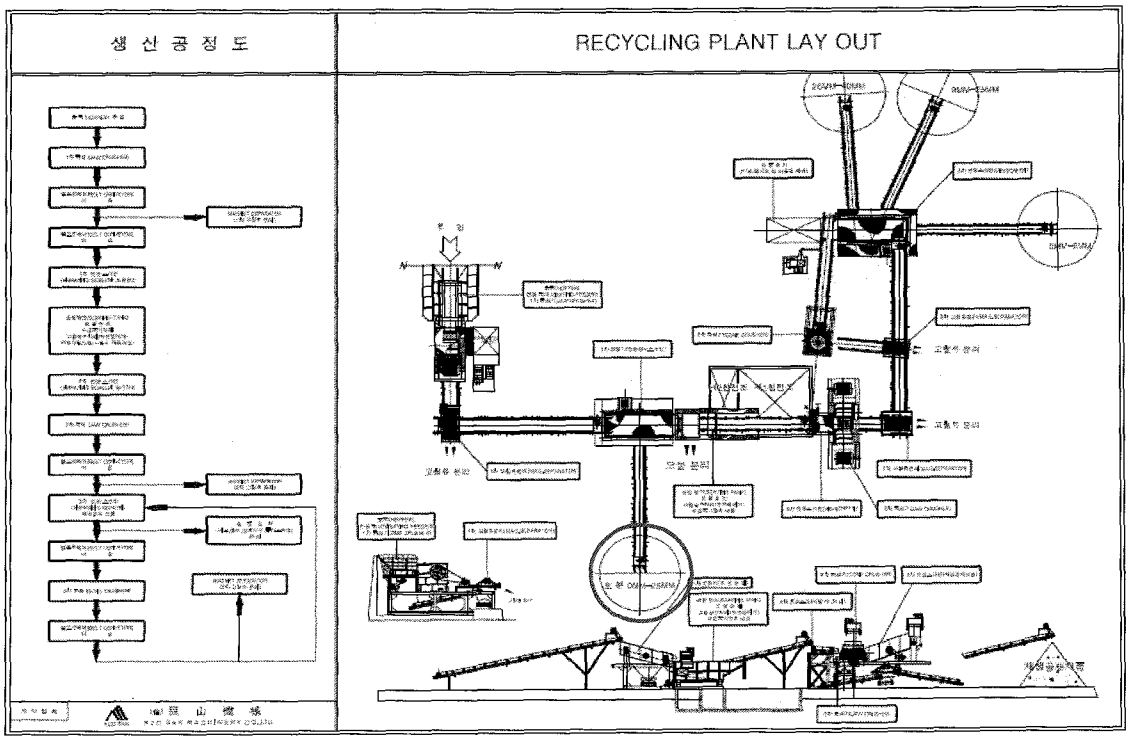
(가) 처리순서

투입 → 호퍼, 피더 → 죠 크라셔 → 고철류 분리 → 1차 선별기를 거쳐 25mm 이하 토분 분리

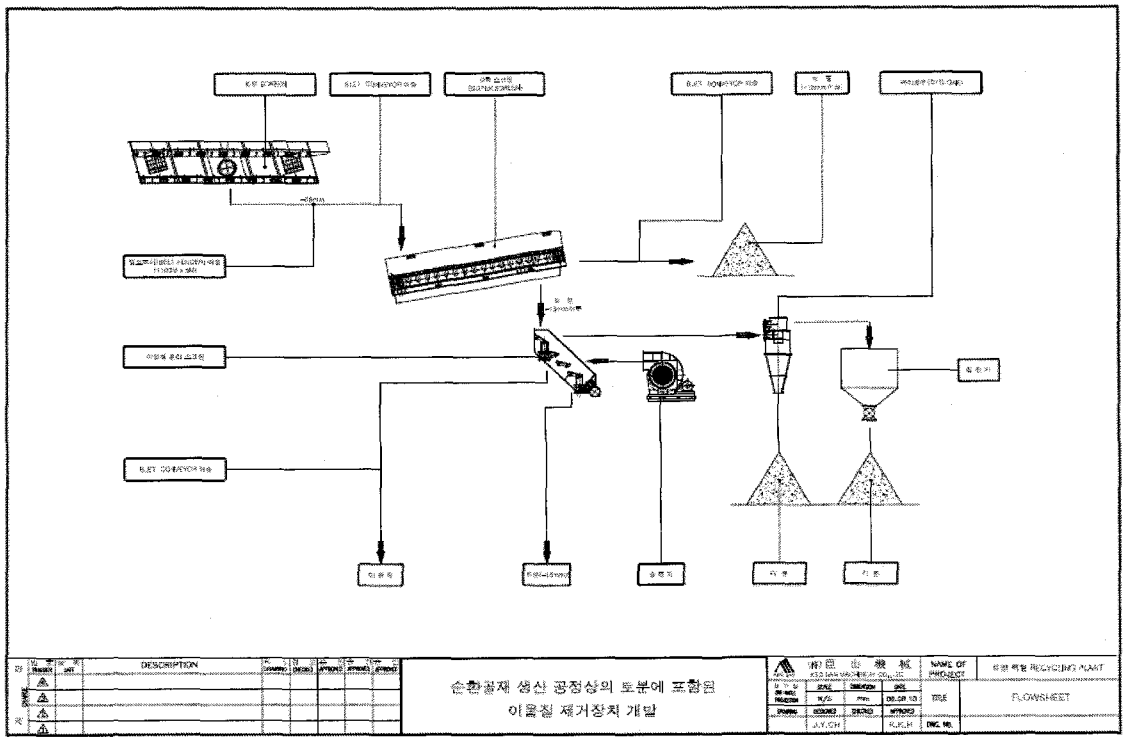
(나) 전처리장치(수퍼스크린)를 통하여 제품 분리 (15mm 이상)

(다) 15mm 이하의 토분은 이물질 제거장치를 통하여 이물질 및 미분 제거

(라) 전처리장치 및 이물질 제거장치를 통하여 생산된 토분 제품화




[그림 3.6.6] 리사이클링 플랜트 공정도 (빨간색 원으로 표시한 것이 처리 목적 물질)




[그림 3.6.7] 이물질 제거장치에 의한 토분의 처리 공정

(2) 2차 시제품 제작

(가) 2차 시제품의 전체 구조를 확정하여 이에 따른 시제품 제작

(나) 참여기업인 (주)거산기계 및 관련업체에 시제품 제작 의뢰

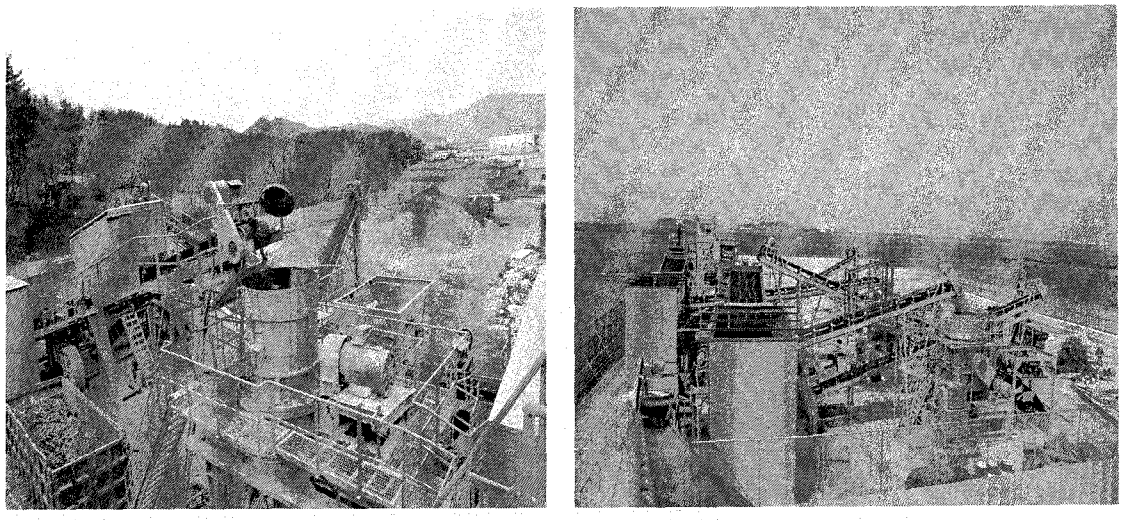
## 나. 2차 시제품의 성능 평가

(1) 2차 시제품 설치 장소 검토

(가) 2차 시제품을 설치하여 성능 평가를 하기 위해서는 건설폐기물 재활용 플랜트가 필요함.

(나) 주관기업인 (주)거산기계에서 제작 및 출고된 건설폐기물 재활용 플랜트 설치 현장 또는 설치 후 기 가동 중인 현장을 방문함.

(다) 2차 시제품 설치 및 시연회 가능 여부를 확인하였음.

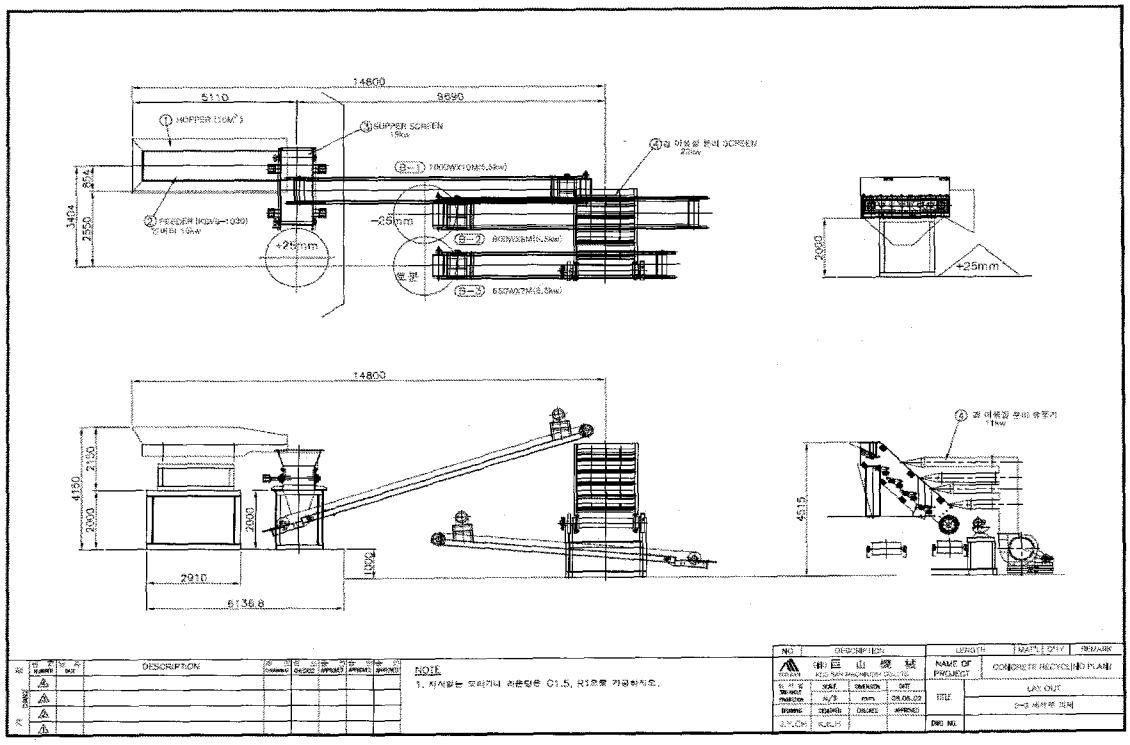


[그림 3.6.8] 2차 시제품 설치 가능 장소 검토

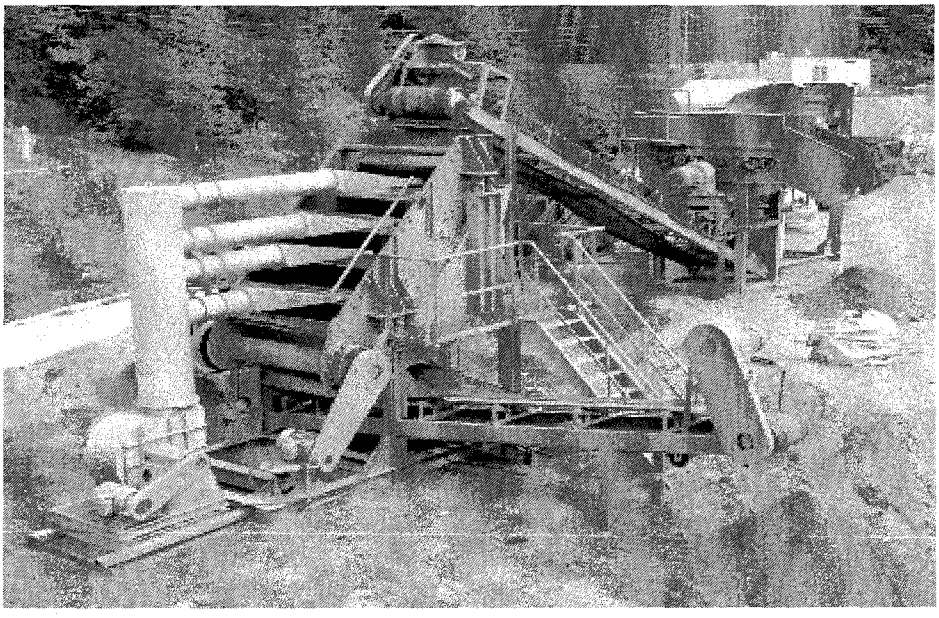
(2) 2차 시제품 설치 및 시연회 개최

(가) 2차 시제품 설치를 위한 장소 확보 여부, 제작기관과의 거리 등을 종합적으로 검토하여 시제품 설치 장소를 최종 확정

⇒ 경상남도 진주시에 소재한 동건환경(주) 에 설치




[그림 3.6.9] 2차 시제품 설치를 위한 도면



[그림 3.6.10] 동건환경(주) 현장 내에 설치된 2차 시제품

(나) 제작된 시제품을 설치하고, 성능 평가를 위한 시연회 개최

○ 일시 : 2008년 05월 23일, 금요일, 오후 14:00

○ 장소 : 동건환경(주)

○ 참석인원 : 이도헌 연구단장, 송하영 2세부 책임자 등 13명




[그림 3.6.11] 2차 시제품 시연회 개최 사진

(3) 2차 시제품 성능 평가

(가) 2차 시제품에서 생산된 샘플을 공인 기관에 분석 의뢰

(나) 분석 결과를 토대로 2차 시제품에 대한 성능 평가

(다) 1차 시제품에 비해 이물질 제거 효율이 약 7.5% 향상되었음을 확인

(라) 2차 시제품에서 생산된 토분은 동상방지층용 및 노상용 순환골재 품질기준에 적합한 것으로 나타남

(마) 도로보조기층용 품질기준에 적합한 것으로 나타났으나, 좀 더 많은 분석이 있어야 할 것으로 판단됨.

# 제 7 절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 이론적 고찰

### 가. 고형화/ 안정화 공정

고형화/ 안정화는 석회나 시멘트 화학에 기초를 두고 있다. 폭넓게 사용되지는 않지만 유기계 공정도 장차 특수 목적으로 고려되고 있다. 유해폐기물을 고형화/ 안정화 하기 위한 유기안정화 공정의 폭넓은 이용은 고에너지 소비 및 핵 산업, 첨가제, 전처리 Site고려 등 특수 적용에 따라 고가로 인하여 장애가 되고 있다.

(1) 무기성 고형화/안정화

(가) Cement Base 고형화/ 안정화

시멘트계 고형화/안정화는 유해폐기물을 포틀란트 시멘트와 혼합처리하는 것이며 시멘트 반응을 하기위해 적당한 수화반응이 필요하다. 폐기물이 시멘트 구조체내에 섞여서 어떤 경우는 폐기물과 시멘트 구조내에서 유해 폐기물의 이동을 줄이기 위해 물리-화학적 변화를 받을 수 있다.

이 반응에서 대표적으로 금속 수산화물이 생성되며 다른 이온 일때보다 용해도를 감소시킨다. 이 공정을 향상시키기 위해서 시멘트에 Fly ash, 규산소다, 벤토나이트나 소량의 특수 약품을 첨가 하기도 한다. 이렇게 생성한 최종 생성물은 결합된 고화체로 과립, 흙과 같은 물질을 생성한다. 시멘트계 고형화/안정화는 Cd, Cr, Pb, Ni, Zn 같은 여러 금속이온이 포함된 도금슬러지 폐기물에 적용된다. 시멘트는 PCB, 폐유, Oil Sludge 등이 포함된 복합폐기물에도 사용되고 염화비닐, 염화에틸렌, 수지 등에도 사용되며 고형화/안정화 플라스틱, 석물, 유화물, 그 외 여러 다른 물질에도 광범위하게 사용된다.

(나) 포졸란계 고형화/안정화

포졸란은 석회와 결합하여 반응하는 물질을 이용하는 것으로 규산, 규산알미늄 등이 이용된다. 시멘트 반응 이외에 시멘트, 석회, 물과 반응하여 시멘트 같은 결합물질을 만든다.

봉쇄기구는 포졸란 구조내에 오염물질이 물리적으로 고착하는 것이다. 일반적으로 포졸란은 Fly Ash, 경석, 석회 킬른다스트, Blast Furnace Slag 등으로 석회계 물질과는 다르고 반응은 시멘트계 보다는 늦다.

Oil Sludge, 금속 슬러지, 폐산, 크레오소토를 포함한 폐기물을 포졸란으로 고형화/안정화 한 예가 있다.

(2) 유기계 고형화/안정화

(가) 열가소성 플라스틱 고형화/안정화

열가소성 플라스틱을 이용한 고형화/안정화는 폐기물이 Encapsulation 물질과 화학적으로 반응하지 않는 Microencapsulation 공정이다. 아스팔트나 폴리에틸렌 같은 열가소성 물질은 폐기물 고형화, 안정화 덩어리를 만드는데 이용된다. 아스팔트 결합제는 건조 폐기물과 혼합하기 전에 가열하거나 Cold Mix로 이용하여 이 경우 폐기물 입자와 주위에 있는 수분을 제거하기 위해 압축하기도 한다.

역청탄은 기름, 가솔린에 오염된 토양을 고형화/안정화 하기위해서 상업화하고 있으며 이 경우 탄화수소로 오염된 흙은 역청탄과 섞어 도로포장에 쓰는 경우도 있다. 이렇게 고형화한 것의 강도는 역청탄을 섞은 탄화수소와 밀도, 골재량에 따라 다르다. 열가소성 플라스틱의 Encapsulation은 도금슬러지, 페인팅, 정유슬러지, 소각재, Dust, 방사성 폐기물에 적용하고 있다.

(나) Macroencapsulation

Macroencapsulation은 드럼을 이용하여 Packing하는 기술임 폐기물을 고형화/안정화 하고 드럼내에 Macroencapsulation한다.

한 때는 우수한 강도 유지와 쇼크에 강하기 때문에 이 드럼에 액상폐기물로 저장 할 수 있다고 믿은 적도 있었다. 액체의 유출은 이렇게 처리함으로써 효과적으로 방지 할 수 있고 이 기술은 1979년 Lubowitz와 Wiles가 연구하여 오염방지 폴리머 개발로 발전했으며 그 후 1987년 Bondico가 발전시켰다. 공해방지 폴리머가 Macroencapsulation에 적당한 것은 저준위 핵 폐기물, 도금 슬러지, 석탄가스세정 슬러지 등이다. 그 외에도 고도로 농축된 폐기물, 소각회

PCB, Dioxin 등이 적용된다.

이 공해방지 폴리머 공정은 석회나 시멘트와 같이 슬러지를 화학적으로 고형화/안정화 한다. 이러한 물질은 폴리부타디엔이 이용되며 120~200℃에서 가소화 한 후 경화시킨다. 이 기본 공정은 고형화/안정화한 폐기물을 드럼에 채우고 뚜껑을 용접하는 것이다.

(다) 유기 Polymerization 고형화/안정화

유기 Polymerization 고형화/안정화는 폐기물의 유해물질을 이용하지 않도록 만든다. 요소-포름알데히드는 이 목적으로 가장 많이 사용된다. 유기 고분자는 방사성 폐기물처리에 이미 사용되고 있으며 이 기술은 유기염소, 페놀, 페인트 슬러지, 시안화물, 비소 등의 유해폐기물에 제한적으로 사용되고 있다. Polymerization은 탈황 슬러지, 도금 슬러지, Ni/Cd 밧데리 폐기물, 탈수 건조된 염소계 폐기물 처리에 적합하다.

(라) 친유기 개실 점토에 의한 고형화/안정화

이 기술은 유기 폐기물을 흡착 결합하는 목적에서 기대된다. 최근 Gibbons가 제시한 이 유기 결합제는 유기 폐기물을 잘 흡착하여 결합시킨다. 이 공정은 소각과 비교하더라도 가격적으로 효과적이며 시멘트 같은 물질과 혼합 사용할 수 있고 유,무기 폐기물에 적용하기도 한다.

## 나. 고형화/ 안정화 기술 기초

고형화/안정화는 유해폐기물과 유해폐기물 Sites의 처리를 위해서 잘알려진 기술이다. 복원 기술로서 고형화/안정화를 선택하는 기술적 이유는

- 폐기물의 취급특성과 물리적 특성개선(Sludge를 Solid로)
- 표면적 감소에 의한 오염물의 유실과 이동성 감소
- 화학적 변화에 의해 처리폐기물에서 오염물의 용해도 감소
- 공정 슬러지에 대한 기술은 잘 알려져 있으나 Soils 이나 Debris(부스러기)에 대해서는 확립되지 않았다.

- 물리적, 생물학적 소각기술로 처리된 유해폐기물의 처리잔사는 고형화/안정화로 더 처리 가능하다.
- 굴착에 의한 현장 고형화/안정화 처리는 여러 경우에 유용한 관리 기술이다.
- 유해폐기물 처리와 처리기술 서로는 경제적으로 맞지 않는다.

따라서 고형화/안정화는 중요한 기술적 장점을 갖고 있다. 복원 기술로 고형화/안정화를 선택한 것은 환경규제로 최근 개발이 뒷받침하고 있다. 고형화/안정화 공정은 목적도 다소 달리 사용 될 수 있다.

안정화는 화학적 상태 변화나 물리적 포착에 의한 폐기물의 화학적 반응성과 용해도를 줄이는 것이고 고형화는 폐기물을 취급이 쉬운 고체나, 용출성을 줄여서 흘러내리지 않도록 전환하는 기술이다. 이 두 가지 복합 공정을 Waste Fixation 또는 Encapsulation으로 알려져 있다. 폐기물의 고형화는 저준위 방사성 폐기물의 처리에 폭 넓게 이용되고 있으며 이 경우 폐기물은 소량의 물로써 고체를 만드는 것이 요구된다. 보통 방사성 폐기물 처리에 사용되는 공정은 액상 폐기물이나 과립상 이온교환수지 폐기물을 시멘트나 결합제를 이용하여 고체상 구조내에 함체시키는 것이다. 이렇게 한 침투성이 적은 폐기물 블록은 오염물질의 유출이 일어 날 수 있는 표면을 최소화 한다. 유해폐기물의 처리를 위하여 불변하는 고체를 만들기는 어려우나 흡수제를 가하여 유리수가 없는 폐기물의 고화체를 만드는 것이다.

폐기물 안정화는 방사성 폐기물 처리에 이용된 적이 있으며 불활성이고 특정 방사성 핵 종을 유지 보존하는 질 좋은 흡수제의 선택, pH조절, 지하수로의 용출 방지를 위한 산화, 환원 조건, 생분해 유기 고분자 흡착재보다도 지오라이트를 이용하는 공정이 사용된다.

유해폐기물에 있어서 일반적으로 용출시험에 통과하면 처리대상에서 제외 된다. 유해폐기물을 처리하기 위해서는 오염물 용출방지, 중화, 산화/환원, 물리적 포착, 화학적 안정화 등의 목적으로 고화제의 결합제가 필요하다. 바인더로는 폐기물의 안정화를 위해 포틀랜트 시멘트에 알카리제를 첨가하거나 용해성이 크거나 바인더로 불안정 한 것은 소수성 재료 즉, 아스팔트나 폴리에틸렌 등으로 Encapsulation 한다. 비 관리 지역의 폐기물 처리는 고가의 시스템이 필요하고 폐기물량과 질의 변화로 폭 넓은 조건에서 효과적인 시스템이 요구된다. 일반적

으로 포졸란/ 시멘트계 시스템이 효과적이고 흡수제는 점토, 흙, Fly Ash, Kiln Dust가 첨가 된다.

(1) Sorption

안정화/고형화에 고려되는 대부분의 폐기물은 Quids 혹은 Sludge(semisolids)이다. 액상 폐기물의 유출과 폐기물의 특성 처리기술을 향상시키기 위해서는 흡착제가 일반적으로 폐기물에 첨가된다. Sorbent는 폐기물과 화학적으로 상호작용 하거나 폐기물의 액상 부분에 의해 wetting되어 모세관 액체(capillary liquid)로 보존한다. 폐기물에 사용되는 가장 일반적인 Sorbents는 soil을 포함하여 Bottom Ash, Fly Ash, Cement와 Lime 공정의 Kiln Dust를 들 수 있다. 일반적으로 Sorbent 물질의 선택은 화학물질의 효과, 비용, 매장에 적합한 고형생성물에 필요한 양 등과 관련이 있다.

<표 3.7.1>은 선택된 폐기물 용출액에 대한 자연산 Sorbents의 화학 물질 결합 특징을 종합해 놓았다. <표 3.7.2>의 Sorbents가 특별한 내용물과 결합하는 특징, 폐기물 pH는 Sorption/폐기물 상호작용에 강하게 영향을 미치고 pH조절이 Sortion 공정에서 중요 한 부분이다. 인공물질도 sorbents로 많이 사용될 수 있으나 비용이 높은 것이 문제가 된다. <표 3.7.3>은 유해물질에 많이 사용되는 합성 흡착물질을 나열하고 있다. 흡착제 선택에 있어서 중요한 기술적 고려 사항은,

- Free Liquid 가 없는 것을 만족시키는 양
- 폐기물과 Sorbent의 적합성(어울림, 조화)혹은 반응성
- Sorbent로 도입 될 수 있는 오염의 수준과 특성
- 특정한 오염물질에 대한 Sorbents의 화학적 결합 특성

폐기물에서 모든 액체를 흡수 하는데 필요한 흡수제의 양은 액상의 성질, 폐기물의 원래 고형물의 함량, Sorbents의 수분 함량, 반응 동안 액체를 소요하는 화학반응의 유용성에 달려있다. Sorbents의 저장과 Aging에 의한 수분함량의 변화 같이 Sorbents에서 높은 정도의 변수가 있다. Sorbent: Waste의 비율을 일정하게 하는 것이 중요하다. Fly Ash와 Kiln Dust를 사용하는 경우 Soil, Fly

Ash 혹은 Kiln Dust 비율은 1: 1에서 2.5: 1 이면 된다. 이상적인 Sorbent는 불활성, 비분해성, 비반응성 물질이며 일부 Sorbent는 불활성이나 때로 원하지 않은 반응이 일어 날 수 있으며 <표 3.7.4>에 나열되어 있다.

<표 3.7.1> 천연광물의 물리/화학적 특성

| Sorbent | Bulk density (kg/m3) | Cation exchange capacity (meq/100gms) | Anion exchange capacity (meq/100gms) | Slurry pH | Mayor mineral species present |
|---|---|---|---|---|---|
| Fly ash, acidic | 1187 | -- | -- | 4-5 | Amorphous silicates, hematite, quartz, mullite, free carbon |
| Fly ash, basic | 1187 | -- | -- | 9-10 | Calcite, amorphous silicates, quartz, hematite, mullite, free carbon |
| Kiln dust | 641-890 | -- | -- | 9-11 | Cacite, quartz, lime(CaO) anhydrite |
| Lime stone screenings | -- | -- | -- | 6-7 | calcite, dolomite |
| Clay minerals (soils) | 1519 | | | -- | Various (e.g.. illite) |
| Kaolinite | | 5-15 | 6-20 | | Can be relatively pure kaolinite |
| Vermiculite | | 100-500 | 4 | -- | Can be relatively pure |
| Bentomite | | 100-120 | -- | -- | Smectite, quarz, illite, gypusm, feldspar, kaolinite, calcite |
| Zeolite | 1543 | 100-300 | -- | -- | Zeolite (e.g.. heulondite, laumonite, stibite, chabazite, etc.) |

<표 3.7.2> 화학성분에 따른 물리적 영향 인자

| contaminant | Neutral waste (calcium fluoride) | Basic waste (metal finishing sludge) | Acidic waste (petroleum sludge) |
|---|---|---|---|
| Ca | Zeolite (5054)<br>Kaolinite (857) | Illite (1280)<br>Zeolite (1240)<br>Kaolinite (733) | Zeolite (1390)<br>Illite (721)<br>Kaolinite (10.5) |
| Cu | Zeolite (8.2)<br>Kaolinite (6.7)<br>Acidic F.A (2.1) | Zeolite (85)<br>Kalinite (24)<br>Acidic F.A (13) | Zeolite (5.2)<br>Acidic F.A (2.4)<br>Kaolinite (0) |
| Mg | Basic F.A (155) | Zeolite (1328)<br>Illite (1122)<br>Basic F.A (176) | Zeolite (746)<br>Illite (110)<br>Basic F.A (1.7) |
| Zn | | | Zeolite (10.8)<br>Vermiculate (4.5)<br>Basic F.A (1.7) |
| Ni | | Zeolite (13.5)<br>Illite (5.1)<br>Acidic F.A (3.8) | |
| F | Illite (175)<br>Kaolinite (132)<br>Acidic F.A. (102) | Kaolinite (2.6)<br>Illite (2.2) | Illite (9.3)<br>Acidic F.A. (8.7)<br>Kolinite (3.5) |
| Total CN- | | | Illite (9.3)<br>Vermiculate (7.6)<br>Acidic F.A (2.7) |
| COD | Acidic F.A (690)<br>Illite (108) | Illite (1744)<br>Acidic F.A (1080)<br>Vermiculate (244) | Vermiculate (6654)<br>Illite (4807)<br>Acidic F.A (3818) |

*( )는 Sorbent Capacity (μ g/g). F.A = fly ash

<표 3.7.3> 유해물질 안정화에 적용되는 화합물

| Sorbent | Waste treated effectively |
|---|---|
| Activated alumina | Sorb fluoride in neutral wastes |
| Activated carbon | Sorb dissolved organics |
| Hazorb (Diamond Shamrock Corp.) | Sorb water and organics |
| Locksorb (Radecca Corp, Austin, TX.) | Oil emulsion |
| limbiber beads | Inert spirits-type liquids(cyclohexane) |

<표 3.7.4> 화합물의 불활성 반응

| Sorbent | Waste type | Reaction |
|---|---|---|
| Acidic sorbent | Metal hydroxide | Solublize metal |
| Acidic sorbent | Cyanide | Release hydrogen cyanide |
| Acidic sorbent | Sulfide | Release hydrogen sulfide |
| Alkaline sorbent | Ammonium compounds | Release ammonia gas |
| Alkaline Sorbent (with carbonates such as calcite or dolomite) | Acide waste | Release carbon dioxide, which can cause frothing |
| Crbonaceous Sorbent (carbon, cellulose) | Oily waste | May create pyrophoric waste |
| Siliceous sorbent (soil, fly ash) | Hydrofluoric acid | May produce soluble fluorosilcates |

(2) Lime / Fly ash 포졸란 처리 공정

포졸란 물질은 수화된 Lime과 섞었을 때 Solid mass를 형성하는 것이다. 자연산 포졸란 물질(pozzolana)은 용암으로 구성되거나 수화된 규산으로 구성되고, 이 자연산 시멘트로서 옛날 로마 사람들이 수로를 만들었었다. 인공 Pozzolana는 분말의 Coal furnaces에서 나온 Blast-furnace slag, Ground brick, 약간의 Fly ashes 등 이다. 모든 Pozzolana의 공통된 특징은 lime과 반응 할 규산과 그리고 적합한 수준의 산화 알루미늄의 존재이다. 포틀란트 시멘트는 칼슘, 실리카, 알루미늄, lime stone과 clay의 소성로내 연소성의 결과로 생긴 철의 산화물의 분말 혼합물이란 점에서 Pozzolana와 다르다. Lime과 Pozzolan을 이용한 고형화/안정화는 Fly ash(혹은 다른 Pozzolan materials)를 혼합해서 반죽을 만드는 것을 요한다. 수화된 Lime(Calcium Hydroxide)은 waste-fly ash 혼합물과 섞이며 강한 Pozzolan을 만드는데 20~30% lime이 필요하다. 그 결과의 축축한 물질이 표준시험시스템(ANSI/ASIM C-311-77) 과 표준 시스템(ASIM C618-80)이 포졸란 물질에 사용되고 Fly ash에는 ASIM 1973이 사용된다. 표준은 화학조성(%$SiO_2$, %$SiO_3$ 와 수분함량)과 물리적 특성(경도, lime과 포졸란 반응성, 특이적 중력)에 근거를 두고 있다. 역청 석탄 Fly ash(Type F) 혹은

Sub-bituminous 석탄 Fly ash(Type C)에 맞는 Fly ash를 사용함으로써 알맞은 포졸란 반응이 보장 될 수 있다. Type C, Flyash는 포졸란 일뿐만아니라 자경성으로 충분한 lime을 가지고 있다.

(3) 포졸란/ 포틀란트 시멘트 공정

포졸란트 시멘트를 결합제로서 처리하는 공정이 많다. 포졸란 산물(미세분말, 비결성, 반응성 실리카) 이 포틀란트 시멘트에 첨가되어 Free calcium hydroxide와 반응하게 되어 콘크리트 같은 생산물의 강도와 화학적 내성을 증가 시킨다. 폐기물 고형화에 있어서 포졸란 물질(Fly ash 같은)이 종종 흡수제로 사용된다.

폐기물 처리공정에서 대부분 포졸란은 폐기물에 의해 비 활성화 된다. 포틀란트 시멘트와 포졸란으로 부터의 Free silica 사이에 일어나는 반응은 생성물에 강도와 내성을 부여한다. 두 물질과의 반응에 기초한 폐기물 고형화 시스템은 다양하다. 이것은 용해성 Silicates, 수화된 실리카겔, 벤토나이트, Illite 혹은 Attapulgite 같은 Clay를 포함한 다양한 물질의 사용에 기여한다. 포틀란트 시멘트에 첨가되는 첨가물들은 다양한 특징[9]을 가지고 있다

## 다. 시멘트계 유해폐기물의 고형화

(1) 시멘트의 수화반응

시멘트는 일정한 비율의 석회석과 점토를 고온에서 소성시켜서 생성한 Clinker를 파쇄한 후 응결지연재인 석고를 혼합하여 만든다. 시멘트의 주 성분은 CaO, $SiO_2$, $Al_2O_3$, $Fe_2O_3$ 등의 산화물로서 이들은 4가지의 주된 시멘트화합물을 만들게 된다. 표 3.4.1~2는 시멘트를 구성하는 화합물과 산화물에 대한 조성을 나타내고 있다.

시멘트는 물과 반응하여 수화작용을 통해서 응결하게 되는데, 주된 수화작용은 다음과 같다.

---

9) 1. Sodium Silicate 혹은 Pottassium silicate와 같은 낮은 강도 콘크리트 형성
2. 액체를 흡수하고 특별한 음이온이나 양이온과 결합하는 선택된 Clay
3. 섞이지 않은 유기 액체를 혼합 할 수 있게 에멀젼화제나 계면활성제
4. 특수한 폐기물과 선택적 결합하는 흡수제 예로써 탄소, 실리케이트, 제올라이트, 셀룰로오스
5. pH와 반응온도를 높이는 lime(CaO) 등

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (1)$$
(tricalcium silicate) (cacium silicate hydrate gel)

$$2(3CaO \cdot SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (2)$$
(tricalcium silicate) (cacium silicate hydrate gel)

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 10H_2O + CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O \quad (3)$$
(tricalcium aluminate) (calcium monosulfate aluminate)

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 10H_2O + Ca(OH)_2 \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot Ca(OH)_2 + 12H_2O \quad (4)$$
(tricalcium aluminate) (tricalcium aluminate hydrate)

$$3CaO \cdot Al_2O_3 + 10H_2O + 3CaSO_4 \cdot 2H_2O \rightarrow 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O \quad (5)$$
(tricalcium aluminate) (ettrigite)

Dicalcium silicate
$$+ H_2O \rightarrow \text{Tobermorite gel}$$
Ticalcium siliate $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$

수화반응은 5~30℃에서 약 28일 동안 대부분 일어나지만 계속 진행되어 1년동안 95~98%에 이르고 고형화 기술 기본은 폐기물, 시멘트, 주변환경이며 시멘트 메트릭 내로 확산이 일어나는 것이다. 이러한 시멘트 메트릭은 산성비나 해수로 인해 고화체에 함유한 중금속이 용출 될 가능성이 있고 폐기물중의 Cu, Cr, Cd, Zn, Ni, Fe 등의 금속이온이 존재 할 경우 시멘트 수화반응을 지연시켜 반응저해로 압축강도를 저하하는 경우가 있다.

<표 3.7.5> 포틀랜트 시멘트 화학조성

| Chemical Name | Chemical Formula | Notation | wt. % |
|---|---|---|---|
| Tricalcium silicate | $3CaO.SiO_2$ | C3S | 50 |
| Dicalcium silicate | $2CaO.SiO_2$ | C2S | 25 |
| Tricalcium aluminate | $3CaO.Al2O_3$ | C3A | 12 |
| Tetracalcium aluminoferrite | $4CaO.Al_2O_3.Fe2O_2$ | C4AF | 8 |
| Calcium sulfate dihydrate(gypsum) | $CaSO_4.2H_2O$ | CSH2 | 3.5 |

시멘트계 고형화/안정화는 Cr, Cd, Cu, Pb, As, Hg 같은 유해중금속이 포함된 무기성 오니류에 적합하다. 그 밖의 다양한 용도로 적용이 가능하며, 건설오니와 같은 발생성상이 다양한 특징을 가지는 오니류 등에 광범위하게 사용된다.

수화반응은 5~30℃에서 약 28일 동안 대부분 일어나지만 계속 진행되어 1년 동안 95~98%에 이르고 고형화 기술 기본은 폐기물, 시멘트 주변환경이며 시멘트 매트릭스 내로 확산이 일어나는 것이다.

이 때 주목해야 할 것은 C3S와 C2S의 수화반응시 소석회가 생성함으로써 PH가 높아진다. 시멘트가 경화함에 따라 나타나는 초기강도의 경우 Tricalcium silicate가 대부분을 차지하지만 28일 이후에는 Dicalcium과 Tricalcium silicate가 거의 반반씩 강도에 기여를 하고 있다.

시멘트의 초기 급속응결을 방지하기 위해 사용된 석고는 Tricalcium Aluminate와 반응하여 불용성의 Calcium sulfoaluminate를 형성하는데 이는 통상 ettringitefk 부른다.

Ettringite는 sulfate의 공급이 충분할 때 생성되는 안정된 수화물이며 C3A가 전부 수화되기전에 sulfate가 모두 소모되면 sulfate가 덜 들어가는 다른 calciium sulfoaluminate hydrate를 만들며 이것을 간단히 monosulfoaluminate라 부른다. 이것에 다시 sulfate 이온이 공급되면 monsulfoaluminate는 ettringite로 바뀌게 된다.

<표 3.7.6> 포틀랜트 시멘트 산화기

| Oxide | Short. Notation | Common Name | wt. % |
|---|---|---|---|
| CaO | C | lime | 63 |
| $SiO_2$ | S | silica | 22 |
| $Al_2O_3$ | A | alumina | 6 |
| $Fe_2O_3$ | F | Ferric oxide | 2.5 |
| MgO | M | magnesia | 2.6 |
| $K_2O$ | K | alkalis | 0.6 |
| $Na_2O$ | N | " | |
| $SO_3$ | S | sulfur trioxide | 0.3 |
| $CO_2$ | C | carbon dioxide | 2.0 |
| $H_2O$ | H | water | |

Ettringite 결정이 생기면 체적이 팽창되며 아직 경화되지 않는 시멘트 풀인 경우는 ettringite가 차지 할 공간을 만들 수 있지만, 이미 경화된 경우에는 ettringite에 의한 결정화 압력(crystal growth pressure)이 생겨서 주위의 시멘트 고화체에 팽창력을 가하게 됨으로써 균열을 일으키게 된다.

(2) 폐기물에서의 시멘트 수화반응

고화대상 유해폐기물에는 다양한 종류의 무기염과 유기물질이 존재하여 시멘트의 수화에 영향을 미친다. 이러한 화학물질의 시멘트 수화반응에 미치는 영향은 $F^-$, $PO_4^{3-}$, 수산화물로 침전 가능한 물질 등을 제외한 대부분의 무기성 염류는 수화반응을 촉진 시킨다고 한다. 가장 널리 사용되는 수화촉진제는 염화칼슘이나 수화반응 촉진기작에 대해서는 잘 알려져 있지 않다.

화학물질이 수화반응을 저해하는 원인은 첫째, 시멘트 입자 표면에 침전물을 형성하여 물과 시멘트의 접촉을 방해하는 물질로, 석고를 예로 들수 있다. 이는 앞에서 설명한 바와 같으며 중금속의 수산화 침전물과 그 밖의 무기성 침전물도 시멘트 입자 표면에 부착되어 저해현상을 일으키는 것으로 보고되어 있다. 둘째는 대부분의 유기물에 해당하는 것으로 이는 시멘트 표면에 흡착되어 수화반응을 지연시

키는 것으로 알려져 있다. 또한 중금속 이온은 시멘트 수화반응에 관여하여 chemical fixation을 일으키거나 수화반응으로 생긴 matrix내의 공극에 갇혀서 (cncapsulation) 주위와 격리된다.

(3) 시멘트 고형화의 용출 영향인자

중금속 슬러지의 이동을 차단하기 위해서는 일반적으로 시멘트를 사용한 고형화 방법을 채택하게 된다. 시멘트 입자가 물과 수화반응을 일으키면, 중금속 이온이 시멘트의 수화반응에 관여하여 chemical fixation을 일으키거나 수화반응에 의하여 생긴 고화체 내의 공극에 갇히는 encapsulation 에 의하여 주위 환경과의 접촉이 차단되게 된다. 시멘트 고화체는 투수계수가 낮아서 주위에 침투하는 물과의 접촉면적을 줄여주고 덩어리를 이루므로 취급을 용이하게 한다.

중금속이 시멘트 고화체내에 갇히게 되는 것은 시멘트의 수화반응에 의해 일어나는 작용이므로 효율적인 중금속 처리, 유해폐기물의 안정화를 위해서는 시멘트 수화반응에 영향을 주는 인자들이 직접 중금속 용출에 관여하게 된다. 중금속 용출에 영향을 미치는 물리적 성질로는 물/시멘트 비, 슬러지/시멘트 비, 양생기간, 공극의 크기, 압축강도, 기타 고화제로서의 첨가물질 등을 들 수 있다. 이 들은 서로가 연관되는 성질들이므로 별개로 다루기가 어려운 성질들인데 1차적인 영향인자로서는 물/시멘트 비, 슬러지/시멘트 비, 양생기간, 고화제로서의 첨가물질을 들 수 있고, 2차적인 물리적 성질로서 공극의 크기, 투수계수, 압축강도 등의 성질을 거론할 수 있다.

또한 시멘트 고형화에 관련된 화학적 영향인자는 고화응결과 경하저해, 촉진, 지연시키거나 고화체의 강도, 투수도, 용출특성에 영향을 주는 인자는 복잡 다양하며 오일, 그리스는 고화체의 강도저하를 가져오고 NaOH, $Na_2SO_4$는 낮은 농도에서 강도를 증가하나 높은 농도에서는 오히려 강도를 약화하여 염소계 탄화수소는 별 영향이 없다. 고농도의 아연이나 페놀은 고화재료에 관계없이 강도를 저해하며 미국 EPA는 고화체의 최적 강도를 50psi(3.5kg/$cm^2$)으로 권장하고 있다.

## 라. 재활용의 경제성 평가

(1) 재활용 수익

폐기물의 재활용에 따른 경제적 이익을 회수되어진 폐기물의 단위량당 재활용 수익[10]으로 정의하면 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$\text{재활용수익} = \frac{\text{재생품의판매수입}(P) - \text{재생품의제조경비}(C)}{\text{원료폐기물의회수량}(H)}$$

재활용 수익이(-)가 되어도 재활용 사업이 성립되는 경우가 있다. 그것은 회수되어진 폐기물을 재활용 이외의 방법으로 처리, 처분할 때와 경비가 재활용에 의한 적자보다도 어떤 폐기물이 현재는 매립 처분되고 있지만 자래는 매립처분 비용이 상승되어 매립보다 재활용하는 것이 비용이 적게 드는 경우와 플라스틱 원료인 석유가격이 폭등하여 폐플라스틱을 재활용하는 경우가 이에 해당될 것이다. 또한 재활용 사업을 시작할 시기는 재활용 수익이 (+)이었더라도 그 재생제품이 출고되어 공급이 수요를 초과하게 되면 재생품의 가격이 떨어져 채산성이 맞지 않게 되는 것도 고려될 수 있다. 특히 요즈음과 같은 재활용이 붐을 이루고 있는 때에는 폐기물의 회수 시스템과 재생기술의 개발에는 많은 노력을 하고 있지만 실제 재생제품 판매에는 국가나 국민 모두가 별로 관심을 두고 있지 않는 것을 자주 접하게 된다.

천연원료로 만들어진 제품에 비해서 그 질이 떨어지는 재생제품의 판매를 시장경제의 원리에 따르게 한다면 사람들의 재생제품 구매의욕은 줄게 되고 따라서 재활용의 사업의용이 상실되므로 폐기물의 재활용을 시장경제에만 맡길 수는 없을 것이다.

그러나 일단 재활용을 사업으로서 추진하기 위해서는 제일먼저 앞서 제시한 식에서 계산되는 재활용 수익을 (+)로 하고자 하는 노력이 필요하다. 이대 먼저 고려될 수 있는 것이 재생제품과 판매수입의 증가 즉, 재생품 단가의 상승에 있다. 재

10) (P) = 재생품량(R) × 재생품 판매단가
(C) = 회수수송단가 × (H)
+ 재생처리단가(고정비용+변동비용) × (R)
+ 재생품 판매영업비
+ 잔재물처리단가 × [(H)-(R)]

생제품의 질을 향상시키고자 하는 노력과 함께 재생제품이 가공제품인 경우에 될 수 있는 한 부가가치가 높은 제품을 만들려고 하겠지만 거기에는 커다란 한계가 존재한다. 다라서 보다 중요한 것은 재생제품의 시장을 확대해서 그 수요를 증가시켜 제품의 가격을 조금이라도 높게 유지되도록 하는데 있다. 이때에 재활용 사업자의 노력은 당연할 뿐만 아니라 소비자의 재생제품에 대한 이해와 행정의 지원도 함께 이루어져 사업자, 소비자, 행정이 삼위일체가 되는 운동이 이루어져야 한다.

두 번째로 필요한 것은 재생제품의 제조비용을 낮추는 것이다. 이를 위해서는 기술적인 노력에 의해 최적 제조 공정과 조작조건을 선택함과 함께 최종적으로 남게 되는 잔재 폐기물의 양을 줄여서 경비를 삭감하는 노력도 빠뜨려서는 안 될 것이다.

그러나 이와 같은 많은 노력에도 불구하고 재활용 수익의 (-)를 보충할 수 없는 경우가 많다. 이러한 경우에도 재활용의 사업화가 필요하다고 판단되는 경우에는 이(-)부분을 누구(국가 또는 자치제 등)인가가 어떤 형태로든지 간에 부담할 수 없다면 사업은 성립되지 않는다.

(2) 재활용의 최적수준

재활용의 활동은 사회적 이용자(Social User)에 의해서 실시되고 있는 경우가 많으며 계획단계에서 경제성이 고려되지 않는 경우도 적지 않다. 아울러 재활용 활동은 수익성에 대한 기준만으로 평가될 수 없고 자원의 보전과 환경오염의 감소 등의 사회적 편익에 대한 관점에서 평가되어야 한다. 그것은 사회적인 관점에서 최적인 재활용 활동의 수준을 정하는 것이 의미가 있다는 것이다.

자원이 부족하게 되면 그 가격은 상승하고 자원에 대한 수요를 필수적 수요와 사치적 수요로 구별함과 함께 폐기물 재활용에 따른 자원재생의 인센티브를 제공하게 된다. 그러나 그것은 동시에 그자원의 공급을 확대하기 위한 탐사활동이나 생산활동으로의 인센티브도 되는 것이다. 아직 어떤 나라의 어떤 물질의 재활용 수준을 정량적으로 표현하는 것이 쉽지는 않지만 일정한 지표에 기준해서 재활용 수준의 국제비교를 해보면 석유위기 이후에 천연자원의 가격이 상승하였지만 그에 따라 재활용률이 상승되게 되었다고 할 수는 없다.

어떠한 비용도 들이지 않고서 재활용 활동을 기대할 수 없고 어딘가에 재활용 활동에 의한 추가적 편익을 초과하는 점이 있다고 한다면 이점을 경제학자는 실행 가능한재활용 활동의 최적수준이라고 한다. 그러나 여기 문제가 되는 것[11]을 동시에

만족되지 않으면 안 된다는 것이다. 이들 조건들이 만족될 때 천연자원을 이용하는 비용보다 폐기물에서 재자원화한 재생자원을 이용하는 비용이 더 싸게 되며 그 가격차가 어느 정도 장기적으로 지속되게 되면 재활용 활동은 확실히 활성화 될 것 이다.

그러나 이와 같은 천연자원과 재생자원의 가격차에 의존하는 재활용 관계의 사기업(私企業)의 경우에는 재활용 활동에 따른 사회적 비용과 사회적 편익에 대해서는 무시하게 될 것이다. 재활용 활동의 사회적 편익에는 자원수명의 연장, 환경오염 감소, 매립지 수요의 감소, 폐기물 처리· 처분비용의 감소, 자원수입량의 삭감에 따른 무역수지의 개선, 실업률이 높은 경우에는 고용창출사업으로서의 고용효과 등이 고려될 수 있다. 반면에 재활용 활동의 사회적 비용은 재활용 공정으로 부터의 환경오염 등이 있을 것이다.

(3) 경제적 인센티브(유도에 의한 폐기물 처리)

폐기물 처리문제는 양적으로 급속히 증가하고 질적으로도 다양화되어 처리·처분비용이 급등하여 지방재정을 압박하기도 한다. 따라서 앞으로는 도시 폐기물을 그대로 매립하는 것은 물론이고 소각잔재의 매립을 위한 용지의 확보도 극히 어려워져서 최종 처분대상 폐기물의 양을 최소한으로 억제하는 감량화가 반드시 이루어져야 할 것이다.

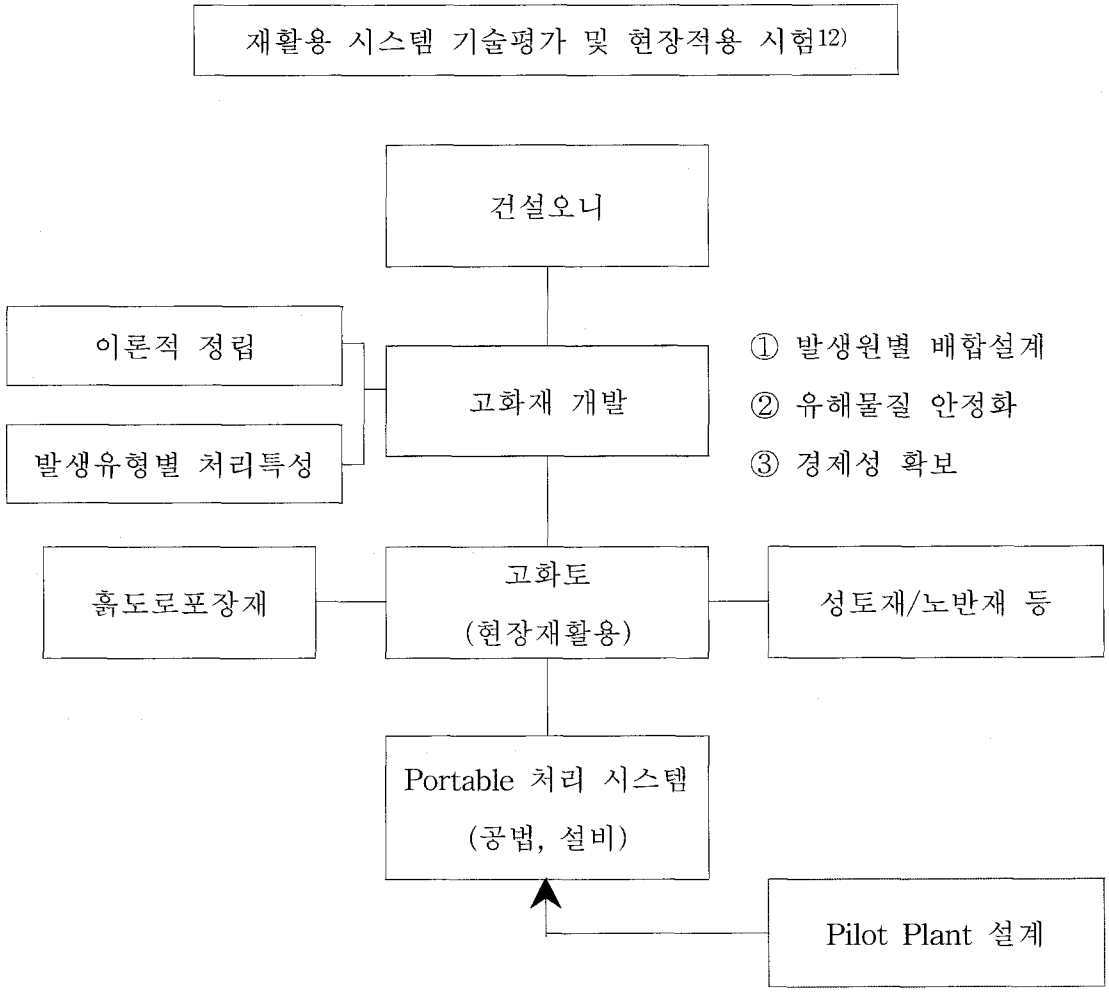
한편 폐기물 양의 증대, 처리 곤란한 물질의 증가 등에 따라 처리비용의 증가를 초래하고 있는 일반 상품의 그 제조과정에까지 검토를 하여야 하며, 그를 위해서 폐기물의 발생 가능성을 적게 하는 시책, 억제하는 시책으로서 처리·처분비용까지 포함한 총체적인 비용부담에 의해 소비자가 상품을 선택할 수 있는 가격표시와 사회 전체적으로 최적 천연자원 소비구조에 대한 검토가 이루어져야 할 것이다.

---

11) 1. 많은 폐기물이 대량 발생하고 있을 것,
2. 폐기물중에 유용한 것이 존재하고 있을 것,
3. 폐기물을 재자원화 하기 위한 기술이 있어야 할 것,
4. 재생품의 수요가 있을 것

## 2. 연구개발 이해를 위한 연구흐름도

### 가. 3차년 연구개발 흐름도




### 나. 건설오니 활용방안 경제성 분석 및 3차년 핵심연구분야 선정

건설오니 현장재활용 고형화 처리기술, 건설오니를 활용한 고화재 개발, 건설오니를 활용한 콘크리트 2차제품 개발의 활용방안 중 가장 효율적인 재활용 방안을 선정하여 집중적인 연구 추진

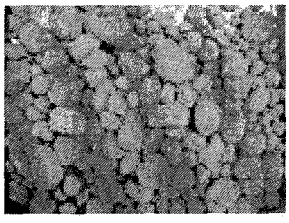
○ 재활용 처리기술의 주요 항목인 처리비용, 운송비, 재생품의 부가가치 창출 정도를 비교하여 가장 현실적인 처리방안 도출

12) • 연구목표 달성을 위한 연구방법의 체계화 진행
• 활용방안에 따른 재활용 기술 연구방향의 설정
• 기초배합설계 및 공법/시스템 구성안 도출을 통한 최적의 재활용 시스템 제시

<표 3.7.7> 활용방안별 경제성 평가[1)]

(원/톤)

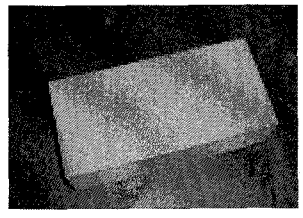
| 구 분 | | 고형화 처리기술 | 고화재 제조기술 | 콘크리트 2차제품 |
|---|---|---|---|---|
| **재생품 판매비용** | | **15,000** | **120,000** | **80,000** |
| 제조 경비 | 동력비 (95원/kW) | 1,070 | 7,125 | 4,750 |
| | 유류비 (747원/ℓ) | - | 31,374 | - |
| | 인건비 (100,000원/인) | 2,500 | 3,906 | 3,906 |
| | 원재료비 | 9,000 | 108,000 | 62,000 |
| | 잡자재비 | - | - | 2,500 |
| | 소 계 | 12,570 | 150,405 | 73,156 |
| 운송비 | 13,850원/톤 (50㎞) | 현장재활용 | 17,744 | 17,744 |
| **합 계** | | **12,570** | **168,149** | **90,900** |
| 1일 처리량 | 8시간/1일 | 120톤 | 96톤 | 15톤 |
| 처리 비중 (wt%) | 건설오니 : 재생품 | 96 : 100 | 10 : 100 | 8 : 100 |
| 부가 가치 | 건설오니(원/kg) | 15.7 | 1,500 | 1,000 |
| 품질 관리 | 재생품 품질관리 | 양호 | 신중 | 신중 |
| 처리 플랜트 | 형식 | 이동식 | 고정식 | 고정식 |
| | 투자비 | 底 | 高 | 中 |



고형화



고화재



콘크리트 2차제품

[그림 3.7.1] 건설오니 재활용 처리기술

건설오니 재활용 기술개발의 2차년 연구내용 중에 포함되어 있는 고부가가치 재활용 기술로서 건설오니의 고화재 원료화 기술, 건설오니를 활용한 콘크리트 2차제품 개발은 고유가 및 원재료비 상승에 따라 2차년 분석 자료에 비하여 상당부분

경제성이 떨어지는 것으로 분석되었다.

연구의 집중과 면밀한 경제성 분석 결과 제조 및 운송비용, 1일 처리량, 처리비중의 중요한 평가항목에서 '건설오니 고형화 처리기술'이 가장 재활용 기술개발 사업화 타당성이 높은 것으로 평가되었고, 건설폐기물 재활용 기술 사업화의 관건은 운송에 따른 경비절감이 매우 중요한 항목으로 고형화 처리기술 외는 발생현장에서 처리 현장까지의 운송이 불가피함으로 부가가치는 높다하더라도 경제성이 낮을 수 밖에 없는 구조로 되어있다.

따라서 3차년 연구는 1, 2차년 연구실적을 기반으로 핵심 재활용 기술개발을 선정, 전략적 연구추진 요구되어 평가근거에 기초하여 가장 효율적인 기술개발 내용인 '고화재를 활용한 건설오니 고형화 처리기술' 즉 고화토를 활용한 흙도로포장재료 활용 및 현장재활용을 위한 고화토 처리시스템 개발로 3차년 연구방향을 선정하였다.

## 3. 건설오니 고화토의 품질구분 및 적용용도 표준에 관한 시험

### 가. 발생현황에 따른 건설오니 물리적 특성 및 토성분류

건설폐재류 중간처리공정에서 발생되는 건설오니 및 각종 공법별로 배출되는 오니류의 물리 화학적 특성과 토성분류를 통한 적정 고화재의 선정과 현장재활용 기술의 최적화를 유도하고자 하였다.

<표 3.7.8> 건설오니의 화학성분 및 토성분석

| 공법 | Ig loss | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | $K_2O$ | MgO | $Na_2O$ | $SO_3$ | 함수율 (%) | pH |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 비중 | 함수비 | 액성 한계 (%) | 소성 한계 (%) | 소성 지수 | 최대 날지름 (mm) | 10번체 통과율 (%) | 40번체 통과율 (%) | 200번체 통과율 (%) | 통일 분류 | 습윤 단위 중량비 |
| 프리볼링 | 7.6 | 55.2 | 25.9 | 2.9 | 11.1 | 3.4 | 1.5 | - | - | 45.3 | 12.4 |
| | 2.57 | 82.8 | 53.5 | 21.2 | 20.8 | 5.0 | 100 | 95.4 | 93.1 | CL | 1.59 |
| 올케이싱 | 7.3 | 52.8 | 31.2 | 3.5 | 8.0 | 1.8 | 0.4 | 1.1 | 1.2 | 39.5 | 12.5 |
| | 2.59 | 65.3 | 53.1 | 23.4 | 19.8 | 4.7 | 100 | 97.1 | 95.3 | CL | 1.74 |
| 리버스 | 8.3 | 65.1 | 15.9 | 4.0 | 5.9 | 2.5 | 2.4 | 2.4 | 1.8 | 43.2 | 12.1 |
| | 2.71 | 76.1 | 47.8 | 31.2 | 20.1 | 3.9 | 100 | 98.2 | 94.5 | CH | 1.60 |
| 어스드릴 | 4.2 | 58.9 | 28.5 | 2.3 | 4.1 | 3.2 | 2.0 | 0.7 | 1.5 | 48.0 | 11.9 |
| | 2.53 | 92.3 | 55.5 | 24.8 | 17.7 | 4.0 | 100 | 94.6 | 91.8 | CL | 1.52 |
| 크람셸 | 12.6 | 56.1 | 27.9 | 3.8 | 4.7 | 2.4 | 2.8 | 1.8 | 0.5 | 39.9 | 12.8 |
| | 2.72 | 66.4 | 43.2 | 27.6 | 19.3 | 4.4 | 100 | 97.5 | 93.6 | CH | 1.67 |
| BW | 10.7 | 59.5 | 27.4 | 1.9 | 5.8 | 1.6 | 1.2 | 1.2 | 1.4 | 40.9 | 11.3 |
| | 2.59 | 69.2 | 45.6 | 23.5 | 19.9 | 4.8 | 100 | 95.6 | 91.0 | MH | 1.60 |
| 니수가압 쉴드 | 9.8 | 58.8 | 31.0 | 2.5 | 3.9 | - | 1.4 | 1.7 | 0.7 | 51.6 | 9.6 |
| | 2.65 | 106.6 | 47.9 | 29.2 | 20.1 | 3.9 | 100 | 97.1 | 93.9 | CH | 1.59 |
| 오니쉴드 | 6.0 | 59.8 | 31.1 | 4.3 | 3.0 | 1.1 | 0.7 | - | - | 46.3 | 9.4 |
| | 2.68 | 86.2 | 51.0 | 25.6 | 16.7 | 3.4 | 100 | 97.7 | 94.1 | CL | 1.58 |
| 폐콘크리트 슬러지 | 12.4 | 53.2 | 25.9 | 2.9 | 11.1 | 3.4 | 1.5 | 1.6 | 0.4 | 35.6 | 11.8 |
| | 2.74 | 55.2 | 53.7 | 27.8 | 17.0 | 4.5 | 100 | 97.6 | 93.7 | CL | 1.63 |

* 서로 다른 3개씩의 시료를 채집하여 잘 혼합하고 가능한 균질한 시료에 대해서 3회 분석 평균값

샘플링한 건설오니 특성 분석결과는 다음과 같다

- 고형화 배합설계의 기초자료로 활용
- 건설오니 중에는 일부의 소석회가 $Ca(OH)_2$가 $Ca^{++} + 2OH^-$로서 존재
- 일부의 수산화마그네슘이 $Mg(OH)_2$ 가 $Mg^{++} + 2OH^-$로서 존재
- 소석회 또는 소석회와 수산화마그네슘만을 포함한 경우의 pH값은 약 12.5까지 나오는데, 가성소다 및 가성카리를 미량 함유하기 때문에 pH값이 12.8를 나타냄

## 나. 건설오니 고화토의 품질구분과 적용용도 표준에 관한 시험

건설오니의 고화토의 콘크리트지수와 일축압축강도 및 CBR값의 관계를 실내 실험에 의해 조사했다.

실험에 사용한 건설오니는 니수가압실드공법 현장에 있어서 발생한 흙탕물을 현장 내에서 탈수처리 한 탈수케익이다. 건설오니의 토질성상은 표  에서 가리킨다. 이것은 균일하게 혼합하여, 일부는 물을 더해서 함수비 조정을 하고 3종류의 시험토(함수비 70, 102, 155)로 했다. 이들 시험토에 시멘트계 고화재를 첨가, 혼합해서 3일간 양생 후, 9.5mm체에 통과시켜 응어리진 것을 풀었다. 응어리진 것을 푼 시험토를 공시체 제작방법으로 굳히기를 하고, 콘크리트지수시험, 일축압축강도시험 및 CBR시험을 했다. 시험은 굳힌 직후와 굳히고 나서 7일, 28일 경과 후 실시하였다. 역시 공시체 제작시의 다지기 조건은 각 시험에 의해 다르지만 굳히기의 에너지는 거의 동일했다.

<표 3.7.9> 시험조건

| | |
|---|---|
| 시료의 함수비 | 70, 102, 155% |
| 고화재의 종류 | 일반연약토용 시멘트계 고화재 |
| 고화재의 첨가량 | 45 ~ 85kg/m³ |

<표 3.7.10> 건설오니 토질성상

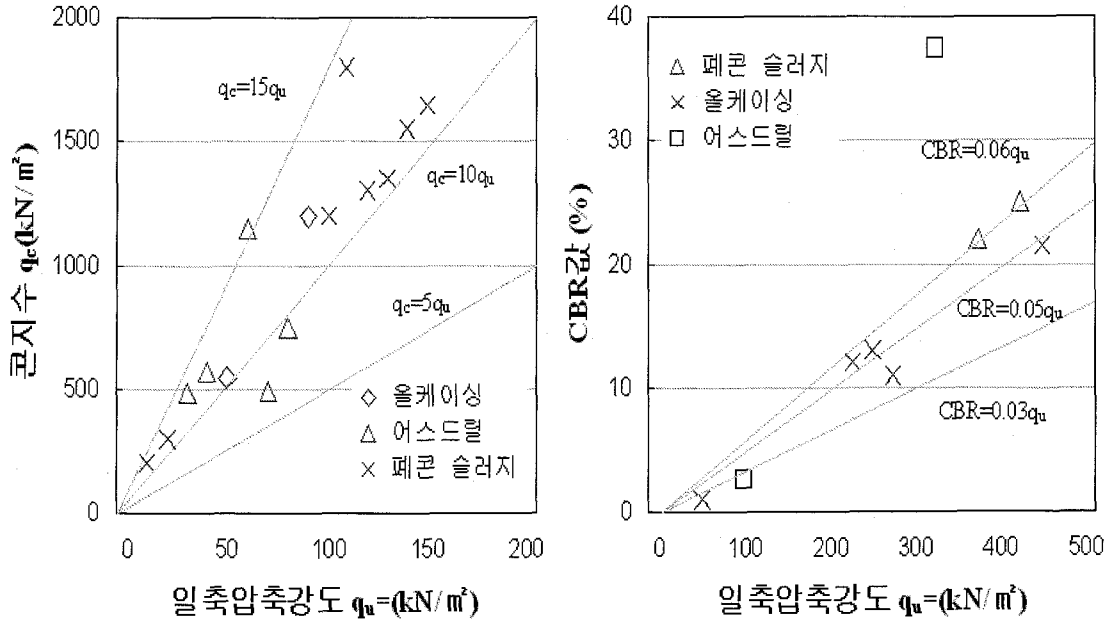
| 항 목 | 시험결과 |
|---|---|
| 시 료 토 | 니수가압실드공법 오니 탈수케익 |
| 흙입자의 밀도 | 2.699 |
| 함수비 (%) | 70.0 |
| 액성한계 (%) | 86.7 |
| 소성한계 (%) | 51.5 |
| 소성지수 | 35.2 |
| 사분 (%) | 4 |
| 실트분 (%) | 57 |
| 점토분 (%) | 39 |
| 강열감량 (%) | 9.3 |
| 토성분류 | MH |




[그림 3.7.2] 건설오니 시료토의 상태

<표 3.7.11> 공시체 제작조건

| 시험항목 | 몰드 | | 래머 | | 다짐 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 내경 (cm) | 높이 (cm) | 질량 (kg) | 낙하높이 (cm) | 층수 | 1층당 회수 |
| 일축압축강도 | 5.0 | 10.0 | 1.5 | 20 | 4 | 1층 10회<br>2, 3층 20회<br>4층 40회 |
| 콘지수 | 10.0 | 12.7 | 2.5 | 30 | 3 | 25회 |
| CBR시험 | 15.0 | 12.5 | 2.5 | 30 | 3 | 55회 |



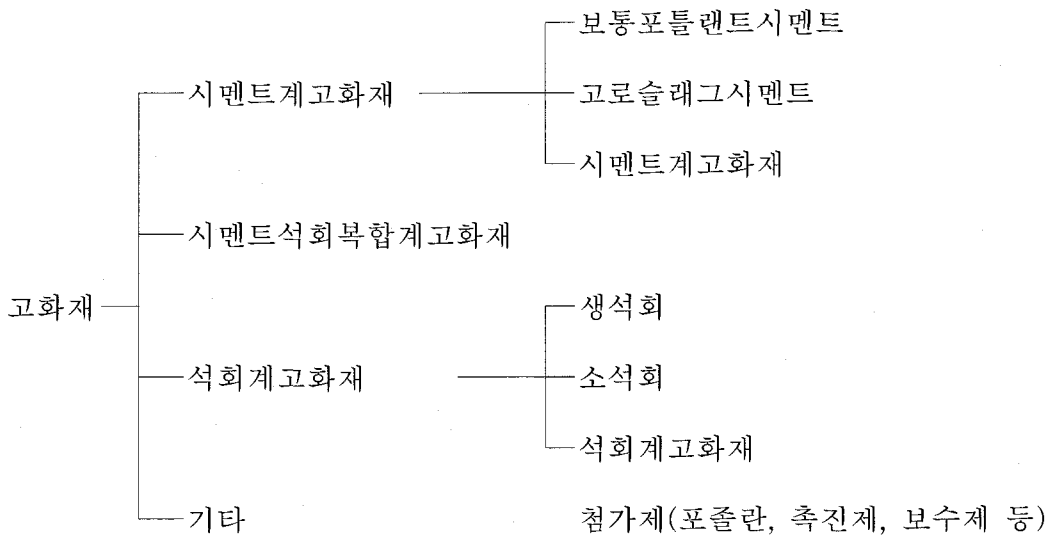

[그림 3.7.3] 발생유형별 건설오니 고화토의 물리적 특성관계

일축압축강도와 콘크리트지수의 관계를 그림 4.2.2 에서 가리킨다. 양지의 사이에는 $q_c$ = 10~15$q_u$ 관계가 있다. 단 함수율이 155%로 굳히기 직후의 케이스만의 전체의 경향과는 약간 다르다. 일축압축강도와 CBR값의 관계는 CBR = 0.03~0.06$q_u$의 관계가 얻어진다. CBR값의 콘크리트지수 관계에 대해서는 양자를 직접 대비할 수 있는 데이터가 2개 밖에 없기 때문에 일축압축강도와 콘크리트지수의 관계 및 일축압축강도와 CBR값의 관계에서 CBR값과 콘크리트지수의 관계로 고치면 $q_c$ =200~400CBR관계로 짐작된다.

## 다. 각종 고화재의 고화특성

안정처리를 위한 고체화재료로서는 시멘트, 석회 등외에 이들을 주요재료로 한 시멘트계의 고체화 재료 및 석회계의 고체화재료가 있다. 더욱이 양자의 기능을 맞춘 시멘트·석회계복합계의 고체화 재료도 있다 주된 고체화재료의 분류를 <표 3.7.12>에서 가리킨다.

<표 3.7.12> 주요 고화재의 분류




이들 고체화재료의 고체화 특성은 그 종류와 건설오니의 토질특성에 의해 크게 다르다. 각종 고체화 재료의 고체화 특성은 다음과 같다.

(1) 시멘트계고화재

안정처리용의 시멘트로서는 보통포틀랜트시멘트, 고로슬래그시멘트가 많이 사용된다. 이들 시멘트를 고체화재료로 사용하는 경우의 대상토질은 사질토가 주이며, 고함수 건설오니, 고유기질토 등의 특수토에 시멘트계의 고체화재료가 이용된다.

시멘트의 고체화 재료로는 일반연약토용 외, 고함수 유기질토용, 헤드로용 등이 있고 높은 알루미나질의 특수한 크링커를 사용, 성분 및 입도의 조정, 반응촉진제의 첨가 등에 의해 시멘트 수화물 특히 에트링자이트의 생성을 촉진하고 연약토 종류를 효과적으로 안정화 것이다. 이 때문에 종종 연약토에 첨가한 경우에도 큰 강도가 얻어지고 보통 시멘트 등에서는 안정화가 곤란한 특수토로의 적용이 가능한 것이다. 또 요즘은 개량 후 단기간(수 십분 ~ 수 시간)에서 안정 처리하는 것을 목적으로 한 속경성 시멘트의 고체화재료와 혼합·교반 시 분진의 발생을 억제한 발진억제형 시멘트계의 고체화재료 등이 있으며 시멘트의 고체화재료의 주된 안정화 기구는 다음과 같다.

(가) 시멘트 수화물인 에트링자이트를 다량으로 생성한다. 에트링자이트는 건설오니의 함수율 저감과 동시에 흙과 흙사이에 침상결정이 성장하고 자유수 및 흙의 입자를 구속한다.

(나) 수산화칼슘 등에서 용출되는 Ca2+에 의해 오니 입자를 응집·단일화하며 장기 재령에서는 건설오니에 포함되어 있는 실리카, 알루미나성분이 소석회 성분과 반응해서 불용성 수화물(포졸란 반응) 생성하여 강도 향상시킨다.

(2) 석회계고화재

안정 처리에 사용되는 석회로서는 생석회 및 소석회가 있다. 일반적으로는 생석회가 자주 사용되고 대상토는 점성토가 주이다. 고함수, 고유기질토 등의 특수토에 사용되는 경우는 적다. 생석회의 주된 안정기구는 다음과 같다.

(가) 생석회는 오니 중의 물과 반응하여 소석회를 생성하며 이 발열반응에 의한 오니 함수율 저감시킨다.

(나) 시멘트계고화재와 유사한 특성을 나타내며, 각종 첨가제를 사용하여 수화물질 생성 촉진한다.

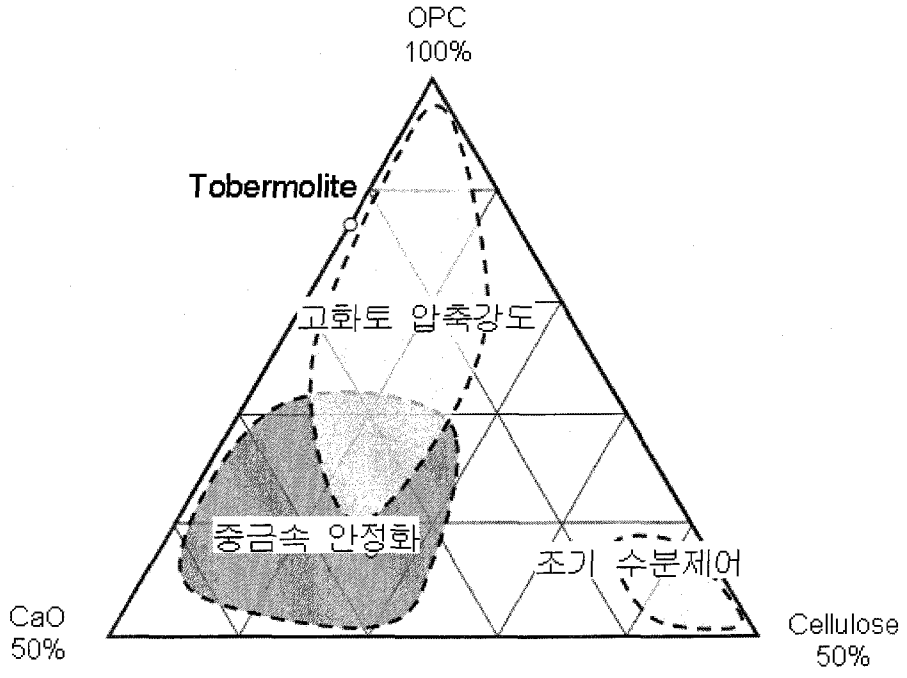
이 외에 시멘트계의 고체호재료와 같은 모양으로 각종 첨가제를 더한 석회계의 고체화 재료가 있다. 토질안정처리 효과와 더불어 에트링자이트 생성을 촉진 하는 것에 의해 특수토로의 적용성을 높인 것으로 대상토질에 따른 각종 배합설계가 있다.

(3) 그 외 고화재

그 외에 중성화고체화재료가 종종 개발되고 있지만 일반적으로 그 사용 빈도는 낮다. 여전히 안정처리와는 다르지만 고함수 건설오니의 소성화에 의한 조기 장외 반출을 위해서 고분자계의 토질개량제를 사용하는 경우가 있다. 고분자계의 토질개량제의 효과는 혼합 후 극히 단시간 (30초 ~ 1분)에 얻어지지만, 그 압축강도는 낮다.

<표 3.7.13> 고화재의 특성

| 구 분 | 시멘트계 고화재 | 석회계 고화재 | 중성화계 고화재 |
|---|---|---|---|
| 압축강도 | 상 | 중 | 하 |
| 조기 처리 | 하 | 중 | 상 |
| 제조비용 | 하 | 중 | 상 |
| 중금속 고형화 | 중 | 상 | 하 |
| 적용 비율(%) | 60 | 30 | 10 |




[그림 3.7.4] 건설오니 재활용 처리기술

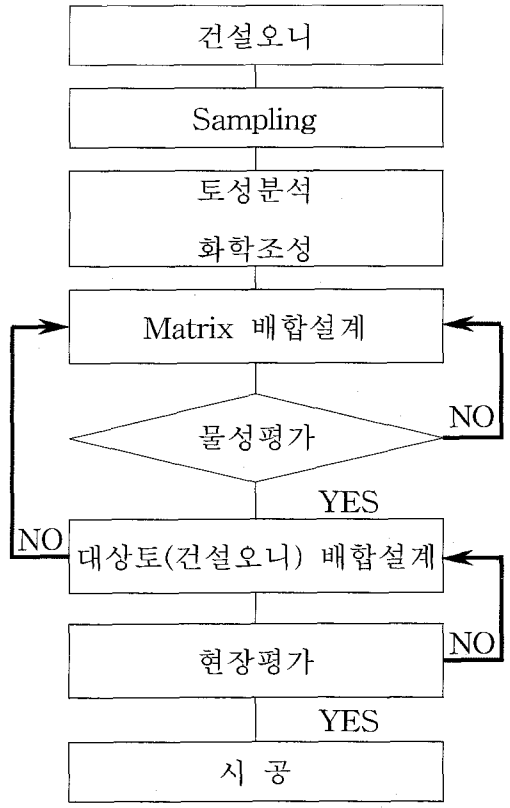
고화처리의 대상이 되는 건설오니 화학조성 및 토성분류에 기초하여 처리 고화재 사양 결정 되며, 벤토나이트, 플라이애쉬, 슬래그 미분말 및 각종 첨가제가 고화재 주요 원재료로 사용되며 기타 산업부산물 등을 활용하여 고화재 단가 하락과 부산물의 재활용 측면의 유리한 이점이 있다.

## 라. 건설오니 고형화 배합설계에 있어서의 유의점

(1) 고화재 배합설계 프로세스

건설오니는 발생원별 중금속 오염도, 특정 성분 과다 등의 다양한 특성을 가질 수 있다. 즉 샘플링한 건설오니의 특성분석은 고화재 배합설계 1차 기초자료로 활용되어지고 실질적인 배합설계의 완성은 1차 배합설계를 바탕으로 현장평가를 통한 세밀한 배합 조정이 절차를 거치게 된다.

<표 3.7.14> 건설오니의 화학성분 및 토성분석



이러한 프로세스는 고화재 배합설계의 대표적인 특징으로 샘플링한 원료의 대표성 한계와 더불어 현장 시공 시 발생할 수 있는 다양한 변수의 조건을 만족하기 위해선 현장배합시험평가를 통한 최종 배합설계 도출이 최적의 방안이다.

따라서 고화재 배합설계는 각 원재료에 대한 정량적 비율이 정해져 있는 것이 아니고 여러 피드백 과정에서 통한 현장평가 결과 수치에 의해 최종 배합설계가 완성되는 처방의 개념의 프로세스를 가짐.

(2) 현장과 실내의 강도율

일반적으로 실내배합시험에 비교해서 현장에서는 고체화 재료의 혼합상태가 나빠, 고화토의 강도가 낮아지는 경향이 있다. 특히 사용하는 혼합기계에 의해, 고체화재료의 혼합 상태가 크게 다르다. 이 때문에 사용하는 혼합기계의 성능을 고려해서 현장과 실내의 강도율을 설정하고 목표로 하는 굳히기의 방법, 양생과 임시두기 조건의 차이, 건설오니의 성상 흐트러짐 등 많은 요인이 현장과 실내의 강도차이로 연결된다. 따라서 현장과 실내의 강도율은 시험시공 등에 의해 미리 파악해 두는 것이 바람직하다.

□ 실내배합시험 및 안정처리공법의 선정

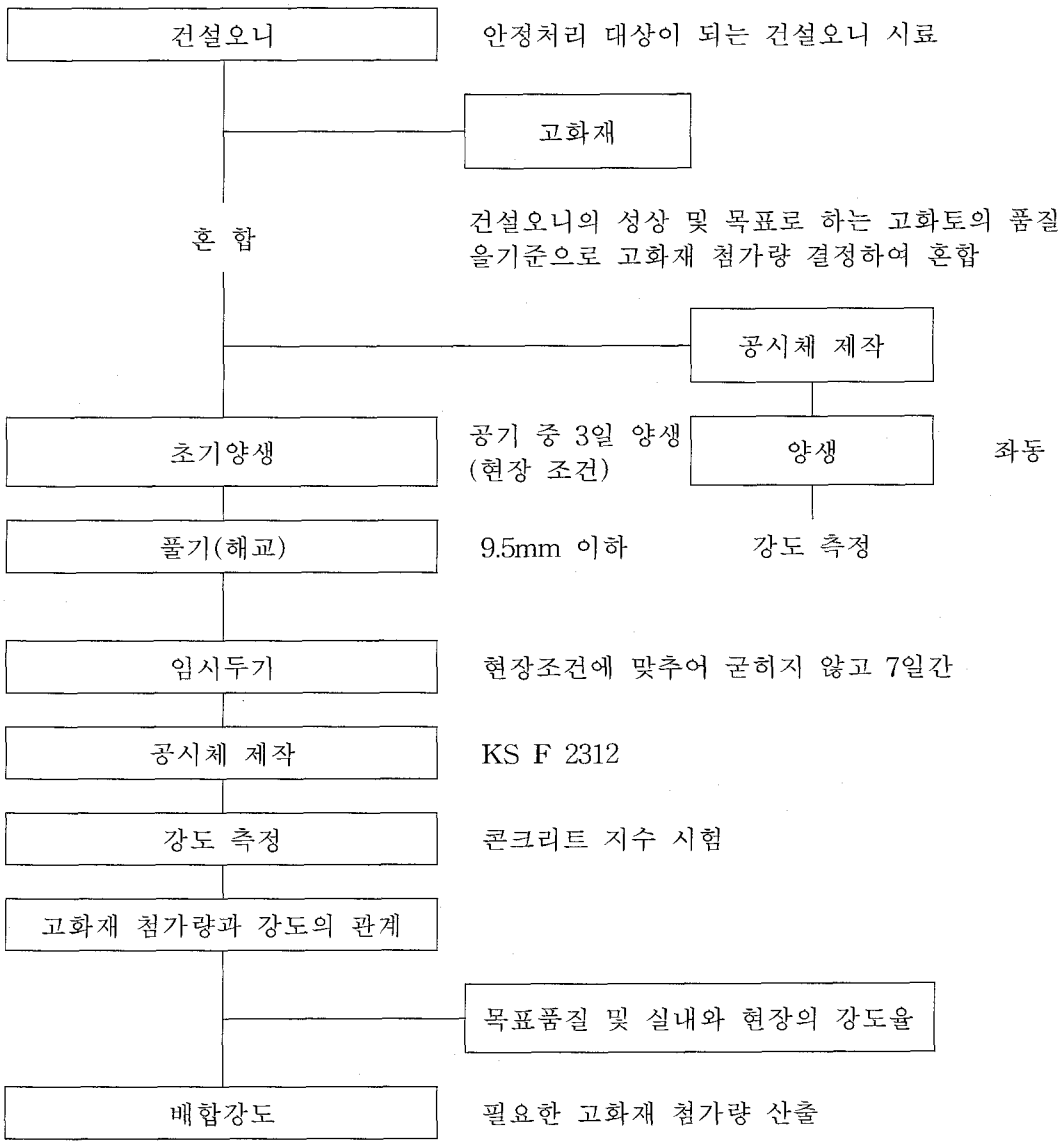
안정처리에 의한 건설오니의 이용공정에 있어서 고화토는 풀기와 굳히기가 행하여지고, 그 때 고화토의 강도 변화한다.

주된 안정처리공법의 선정에 있어서 발생장소의 조건, 건설오니의 처리량, 처리용지, 주변 환경조건 등을 고려해서 종합적으로 판단하여야 한다

<표 3.7.15> 배합시험 프로세스

| 고화재의 첨가방법 | 대상토 | 시공장비 | 현장과 실내의 강도비 |
|---|---|---|---|
| 분체 | 연약토 | 스티빌라이저 | 0.5 ~ 0.8 |
| | | 백호우 | 0.3 ~ 0.7 |
| | 헤드로 및 고함수 유기질토 | 크람셀<br>백호우 | 0.2 ~ 0.5 |
| 슬러리 | 연약토 | 스티빌라이저 | 0.5 ~ 0.8 |
| | | 백호우 | 0.4 ~ 0.7 |
| | 헤드로 및 고함수 유기질토 | 작업차량 | 0.3 ~ 0.7 |
| | | 크람셀<br>백호우 | 0.3 ~ 0.6 |

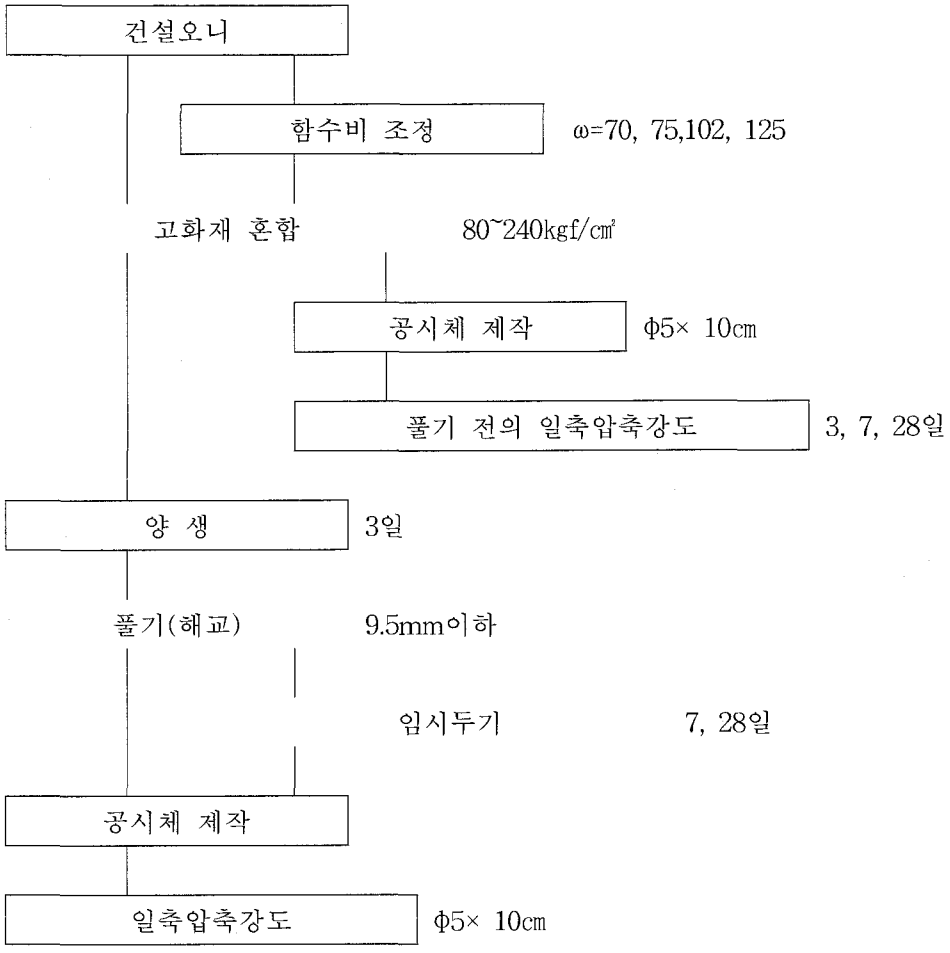
<표 3.7.16> 실내배합시험 프로세스 예




## 마. 고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도의 변화에 관한 실험

고화토는 그 이용과정에 있어서, 고형화 후 이용 현장에서 일단 형성된 고화토의 조직이 부서져 일축압축강도가 감소하는 경우가 있다. 본 실험에서는 리버스 공법에서 발생한 건설오니를 시멘트계 고화재로 개량한 후 함수비, 풀기, 임시두기 일수 등이 일축압축강도에 미치는 영향을 검토했다.

<표 3.7.17> 시험 프로세스



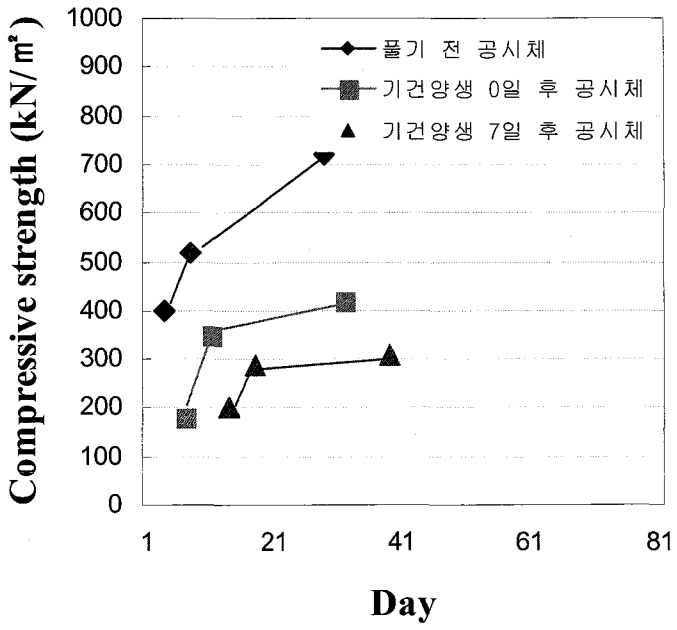

토성분류에 의한 특성은 표 4.2.11 와 같으며 이들 시료에 가술에 의해 함수비를 조정해서 시료토로 사용했다. 시료토에 일반연약토용 시멘트계의 고체화재료 및 석회계의 고체화재료를 첨가·혼합해서 공시체를 제작해 일정한 재령으로 일축압축강도시험을 했다. 또 고화토를 3일간 양생 후 9.5mm의 틀을 통과시켜 푼 뒤, 일정기간 임시두기를 해서 공시체를 제작 다시 양생 후 일축압축강도시험을 했다.

<표 3.7.18> 건설오니 토질시험결과

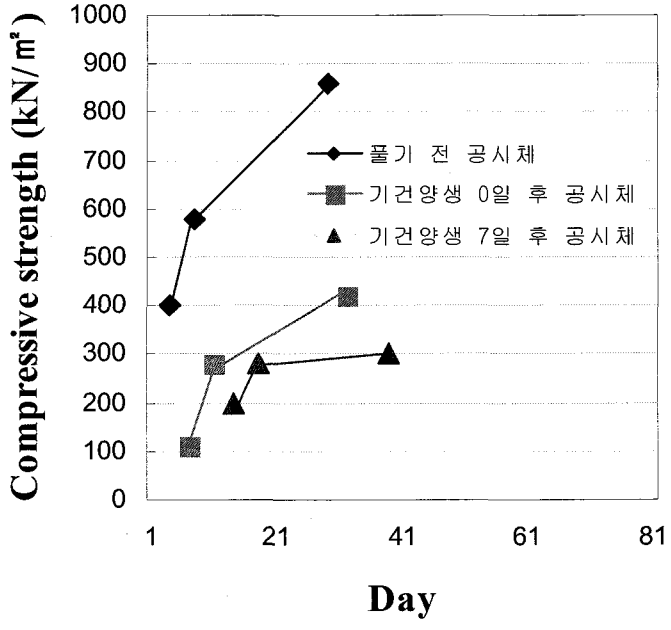
| 발생공종 | 니수가압 실드공법<br>탈수케익 | | | |
|---|---|---|---|---|
| 시료명 | 1 | 2 | 3 | 4 |
| 함수비(%) | 74 | 100 | 70 | 67 |
| 액성한계(%) | 92 | 107 | 87 | 74 |
| 소성한계(%) | 36 | 51 | 52 | 33 |
| 소성지수 | 56 | 56 | 35 | 41 |
| 자갈/모래성분(%) | 1 | 2 | 4 | 6 |
| 실트분(%) | 44 | 48 | 57 | 53 |
| 점토분(%) | 55 | 50 | 39 | 41 |
| 강열감량(%) | 8.0 | 11.7 | 9.3 | 7.8 |
| 토성분류 | 점토(CH) | | 실트(MH) | |

(1) 시멘트계 고체화재료에 의한 고화토의 강도변화

실험범위에서는 건설오니의 함수비가 높을수록, 풀기전의 고화토의 압축강도가 높을수록 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도의 저하비율은 커지는 경향을 보인다. 저하된 일축압축강도는 그 후의 양생에 의해 어느 정도 회복한다. 강도의 회복은 건설오니의 함수비가 낮고 고체화 재료의 첨가량이 많을수록, 또는 굳힐 때의 재령이 짧을수록 큰 경향을 보인다.

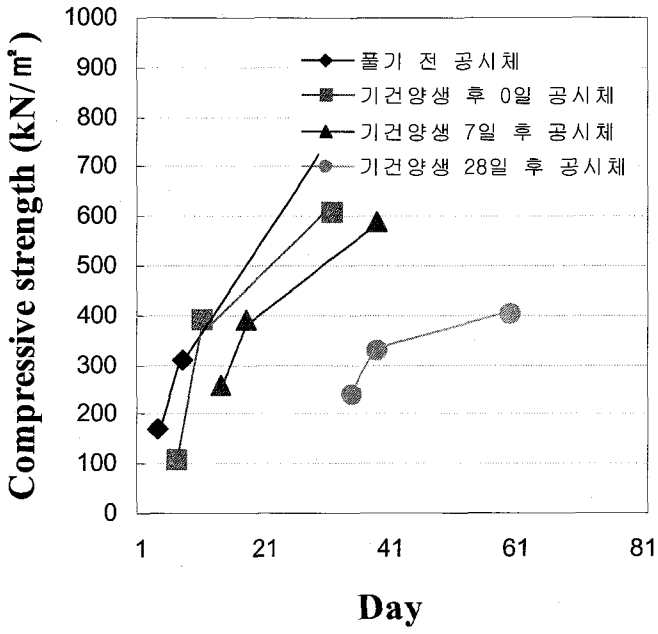



(ω = 76　　고화재 첨가량 : 100kg/m³)

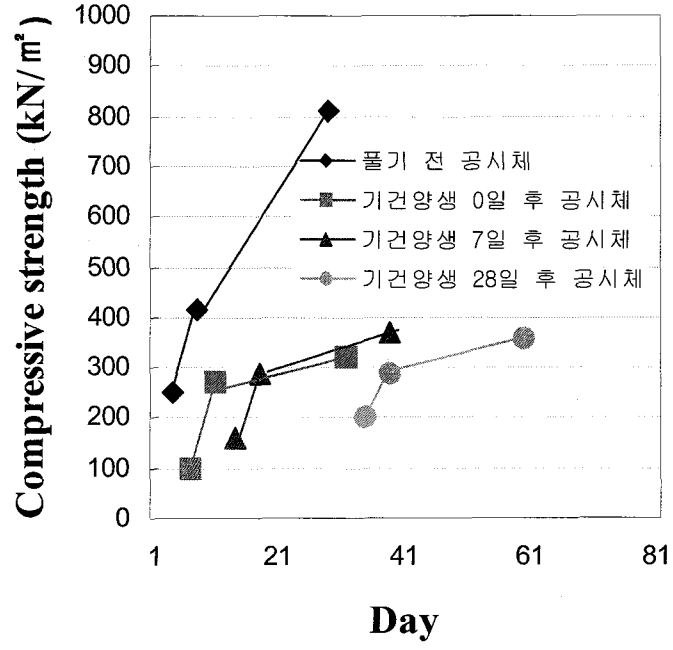



(ω = 125　　고화재 첨가량 : 140kg/m³)

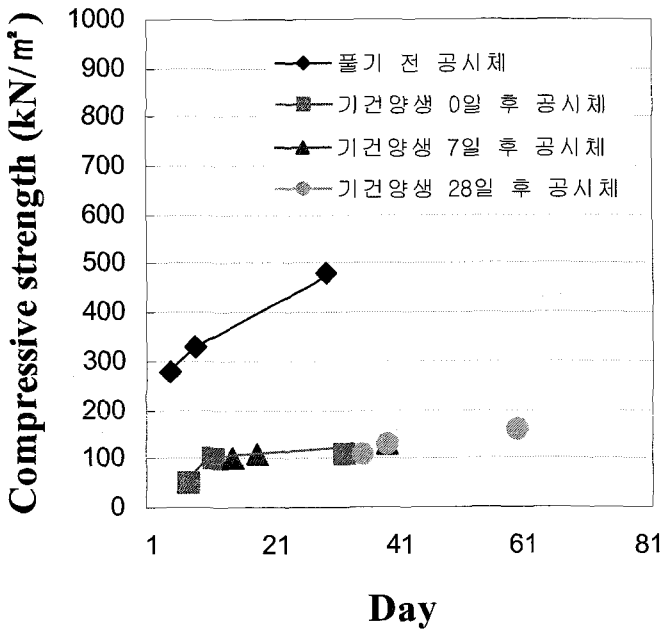
[그림 3.7.5] 점토(시료명.1, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화




(ω = 70　　고화재 첨가량 : 80kg/㎥)




(ω = 102　　고화재 첨가량 : 120kg/㎥)




(ω = 155　　고화재 첨가량 : 120kg/m³)

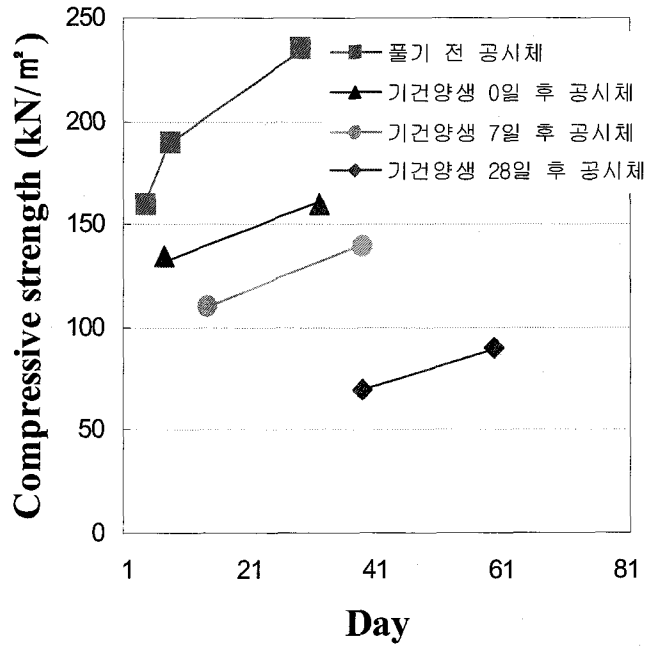
[그림 3.7.6] 실트(시료명.3, MH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화

(2) 석회계 고체화재료에 의한 고화토의 강도변화

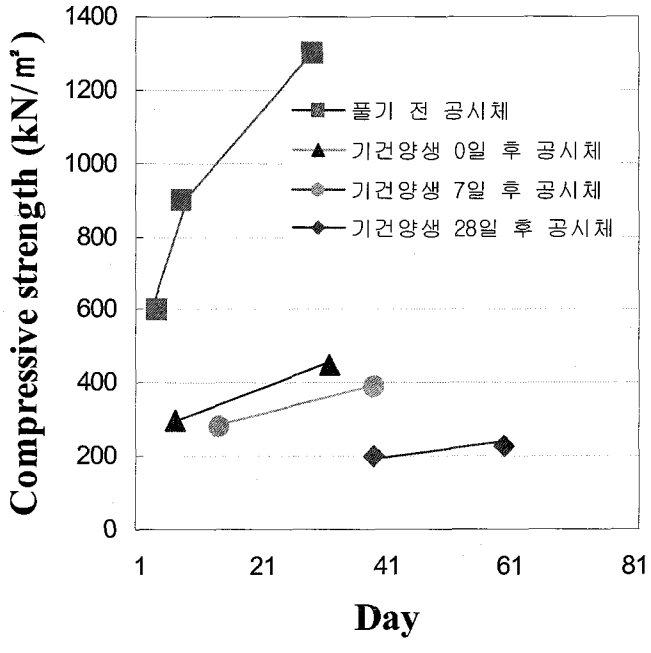
시멘트계의 고체화재료와 같은 모양으로, 풀기 전의 고화토의 강도가 클수록, 풀기에 의한 강도저하가 큰 경향을 나타낸다. 또 임시두기 일수에 의한 강도발현은 임시두기 일수가 긴 쪽이 낮아지는 경향이 있지만, 굳히기 후의 강도증가(재령 7일 ~ 28일)에 대해서는 임시두기 기간의 영향은 비교적 작았다.

1), 2)의 결과 모두 고화토를 푼 경우의 일축압축강도는 풀기 전 고화토의 강도가 클수록 풀기에 의한 강도저하가 큰 경향이 있다.

이것에 의해 고화토를 토질재료로서 풀어 이용하는 경우, 푼 후의 일축압축강도에서는 개량한 흙덩이의 강도를 판단할 수 없다는 것을 알았다. 따라서 처리토의 품질구분의 판단은 푼 다음 굳힌 흙의 콘크리트지수로 하는 것이 타당하다.

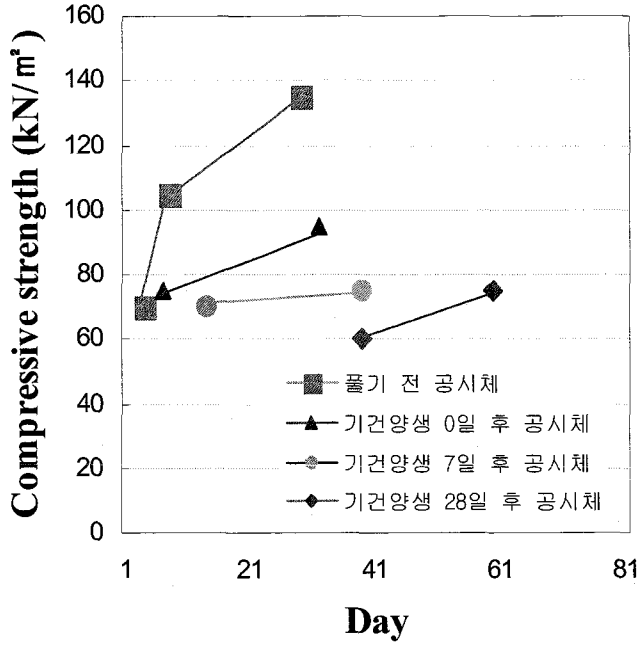



(ω = 100 고화재 첨가량 : 80kg/m³)

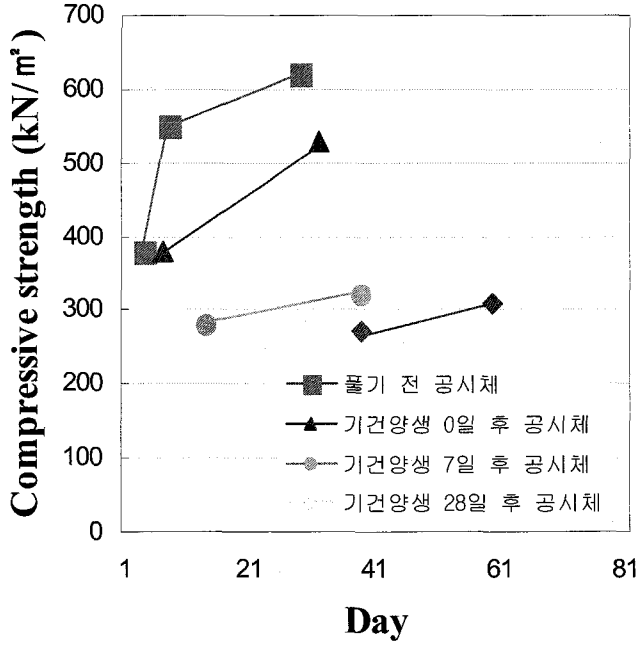



(ω = 100 고화재 첨가량 : 120kg/m³)

[그림 3.7.7] 점토(시료명.2, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화




(ω = 67 고화재 첨가량 : 30kg/m³)




(ω = 67 고화재 첨가량 : 60kg/m³)

[그림 3.7.8] 실트(시료명.4, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화

## 4. 건설오니를 활용한 흙도로포장재 기초시험 분석

### 가. 건설오니 흙도로포장재 활용 배합설계

시멘트계 혼화재를 이용하여 지반개량형 고화재의 물리적 특성을 확인하기 위하여 건설오니와 원재료[13]의 첨가량에 따른 특성변화를 관찰하기 위하여 다수의 배합설계를 진행하였다.

배합설계는 크게 3가지로 나눌 수 있다. 첫째, 건설오니(폐콘크리트 슬러지), 황토, 마사토를 치환하였을 시 특성변화 분석이 목적이다.

둘째는 친환경 도로포장재로 개발하고자 하는 고화재로써 포틀랜드 시멘트, 고로슬래그, 무수석고, CAS를 변화시켜 그 물성을 비교하고자 하였다

셋째, 일정량의 건설오니와 개발 고화재, 마사토, 황토를 혼합하여 친환경 토양포장재로써의 물성을 평가하였다.

<표 3.7.19> 개발고화재의 기초배합 시험

| Symbol | | Mixing rate (wt %) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | DGK | WS | 마사토 | HT | 투입수량 |
| 1-group | A-1 | 100 | - | - | - | 50% |
| | A-2 | 95 | 5 | | | |
| | A-3 | 90 | 10 | | | |
| | A-4 | 85 | 15 | | | |
| | A-5 | 80 | 20 | | | |
| 2-group | B-1 | 30 | 10 | 60 | - | 25% |
| | B-2 | 25 | | 65 | | |
| | B-3 | 20 | | 70 | | |
| | B-4 | 15 | | 75 | | |
| | B-5 | 10 | | 80 | | |
| 3-group | C-1 | 20 | 10 | 67 | 3 | |
| | C-2 | | | 66 | 4 | |
| | C-3 | | | 65 | 5 | |
| | C-4 | | | 64 | 6 | |

13) DGK : 표층 및 심층 연약지반개량형 시멘트계 고화재
WS : 폐콘크리트 슬러지
HT : 황토 조립분, CSA : 칼슘설포알루미네이트
OPC : 보통포틀랜트 시멘트, SL : 슬래그 미분말, GMC : 무수석고, BE : 벤토나이트

| Symbol | | Mixing rate (wt %) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | OPC | SL | GMC | BE | 투입수량 |
| 4-group | D-1 | 45 | 45 | 3 | 7 | 50% |
| | D-2 | 40 | | | | |
| | D-3 | 35 | | | | |
| | D-4 | 30 | | | | |
| | D-5 | 25 | | | | |
| 5-group | E-1 | 45 | 40 | 3 | 7 | |
| | E-2 | | 35 | | | |
| | E-3 | | 30 | | | |
| | E-4 | | 25 | | | |

| Symbol | | Mixing rate (wt %) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | OPC | SL | GMC | BE | 투입수량 |
| 6-group | F-1 | 45 | 40 | 4 | 7 | 50% |
| | F-2 | | | 5 | | |
| | F-3 | | | 6 | | |
| | F-4 | | | 7 | | |
| | F-5 | | | 8 | | |

| Symbol | | Mixing rate (wt %) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | OPC | SL | GMC | BE | CSA | 투입수량 |
| 7-group | G-1 | 45 | 40 | 5 | 7 | 1 | 50% |
| | G-2 | | | | | 2 | |
| | G-3 | | | | | 3 | |
| | G-4 | | | | | 4 | |

| Symbol | | Mixing rate (wt %) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | SS (G-3) | WS | 마사토 | HT | 투입수량 |
| 8-group | H-1 | 10 | 10 | 77 | 3 | 25% |
| | H-2 | 15 | | 71 | 4 | |
| | H-3 | 20 | | 65 | 5 | |
| | H-4 | 25 | | 59 | 6 | |

(1) 혼합 및 성형

<표 3.7.19>와 같은 배합비가 되도록 만든 혼합물에 각 혼합수를 첨가 시킨 후 Mortar 혼합기에서 KS L 5109에 규정한 방법에 따라 혼합하였다. 혼합이 끝난 slurry는 cubic mold(5× 5× 5㎝)와 길이 mold(4× 4× 16㎝)에 즉시 주입하여 각각 성형하였으며, 또한 직경 5㎝와 높이 10㎝의 원형 mold에 최적다짐으로 주입하였다.

(2) 양 생

성형이 끝난 mold를 18 ± 3℃로 유지하는 내부공간에 24시간 양생한 후 탈형한 경화체는 20 ± 3℃ 습윤 양생기에서 28일간 양생하였다. 상대습도가 100%가 되도록 일정하게 하였다.

(3) 투수계수

실내투수시험에는 정수위 투수시험과 변수위 투수시험이 있으며 전자는 투수계수가 비교적 큰 사질토에 적용되고 후자는 투수계수가 작은 점성토에 적용된다. 경화체는 변수위 투수계수시험기에서 KS F 2322에 규정한 방법에 따라 측정하였다.

(4) 일축압축강도

이 시험은 점성토의 일축압축강도와 예민비를 구하기 위하여 행한다. 흙의 일축압축 강도라 함은 축압을 받지 않는 공시체의 압축응력을 말하며 예민비라 함은 교란되지 않는 흙의 일축압축 강도와 함수량의 변화 없이 반죽하여 교란 시킨 것과 같은 흙의 일축 압축 강도를 말한다. 이 결과에서 점착력을 구하여 기초 지반의 지지력 계산 사면의 안정계산 등을 할 수 있다.

흙의 일축 압축 시험은 구속압을 받지 않는 상태에서 자립하는 시험체의 일축 압축 강도를 구하는 것이다. 주로 흐트러지지 않는 점성토를 대상으로 하지만, 반죽한 시료 또는 다진 흙, 사질토 등의 자립하는 시험체에도 준용할 수 있다.

시험체의 모양은 원기둥으로 한다. 그 지름은 보통 3.5cm 또는 5.0cm로 하고, 높이는 지름의 1.8~2.5배로 한다. 시험체의 치수는 시료의 상태에 따라 시료를 대표하는 시험을 할 수 있는 치수를 고른다. 또한, 흙의 종류와 시료의 상태에 따라서는 샘플링 튜브에서 꺼낸 시료를 지름 그대로 성형을 하여 시험체로 하여도 좋다.

(5) 열전도율

열전도율 시험은 KS F 9016에 따르며, 시험체를 표준판에 겹쳐서 각각의 온도차를 측정하고 그 비를 구하여 열전도율을 구하는 방법으로 표준판을 필요로 한다.

(6) 비중시험

흙의 비중이란 4℃에서의 증류수의 단위중량에 대한 흙 입자의 단위중량과의 비로 정의된다. 따라서 흙의 비중은 그 흙을 조성하는 광물질의 단위중량과 관계되므로, 철분과 같은 성분을 포함하고 있으면 비중의 값은 커진다.

흙 입자의 비중은 흙의 기본성질인 간극과 포화도를 아는데 필요할 뿐만 아니라 흙의 다짐의 정도와 유기질흙에 있어서 유기물함량을 구하는데 이용되며 이 때문에 흙 입자의 비중시험[14]을 한다.

흙 입자의 크기나 흙성분의 변화에 따른 비중의 변화변위는 좁기 때문에 이것으로 비교적 정확히 흙을 분류하거나 판별하는 데 사용하기는 어렵다.

(7) 염화물이온침투 저항성

이 규격(KS F 2711)은 콘크리트의 염소이온의 침투에 대한 저항성을 빠른 시간에 알아내기 위한 목적으로, 콘크리트의 전기 전도도를 결정하는 시험 방법에 대해 규정한다.

<표 3.7.20> 포장재의 염소이온 침투성

| 통과전하량 (C) | 염소이온 침투성 |
|---|---|
| >4000 | 매우 높음 |
| 2000 ~ 4000 | 보통 |
| 1000 ~ 2000 | 낮음 |
| 100 ~ 1000 | 매우 낮음 |
| <100 | 무시할 만함 |

14) $G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_{w(4℃)}} = \frac{W_s}{V_s \cdot \gamma_{w(4℃)}}$ , 무차원

여기서, $\gamma_s$ : 흙 입자의 단위중량

$\gamma_{w(4℃)}$ : 4℃에서의 증류수의 단위중량

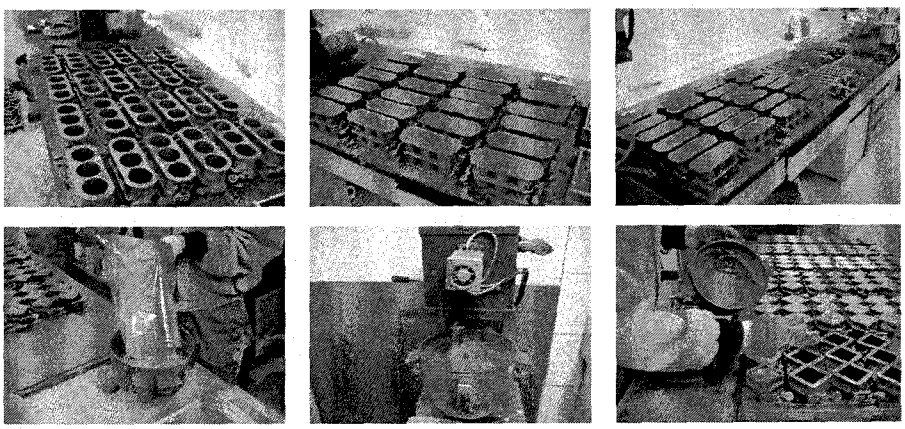
$W_s$ :흙 입자의 건조중량

$V_s$ : 흙 입자의 체적

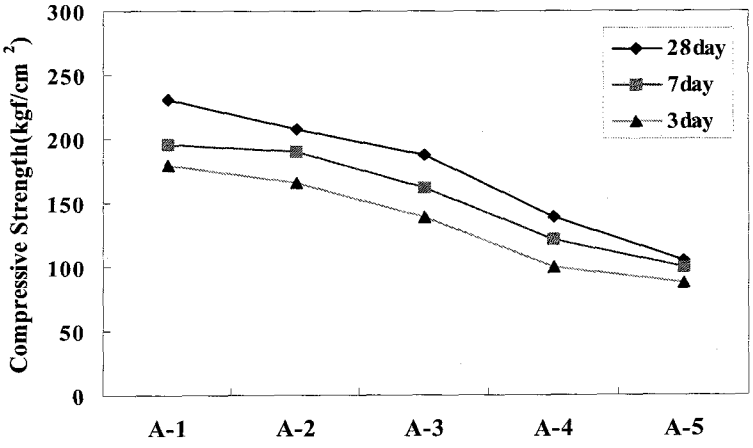
## 나. 흙도로포장재료로서 건설오니 활용 시험 결과

(1) 배합설계에 따른 일축압축강도의 변화

[그림 3.7.10]은 건설오니를 첨가함에 따른 비교 고화재의 강도변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 나타나는 바와 같이 건설오니를 첨가함에 따라 압축강도는 점차 하락함을 관찰할 수 있다.



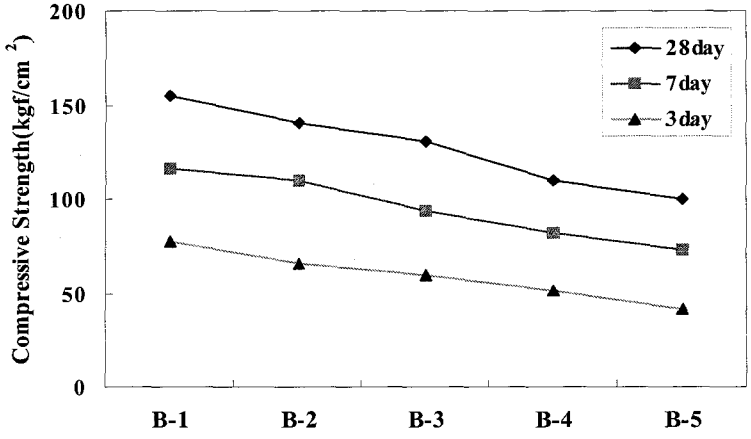
[그림 3.7.9] 실트(시료명.4, CH)고화토의 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도 변화




[그림 3.7.10] 고화재(DGK-180)의 건설오니 첨가시험에 따른 압축강도 변화

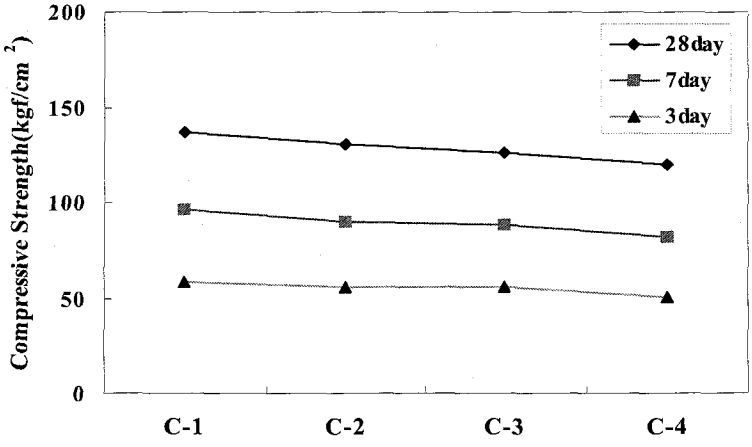
이는 시멘트 성분이 슬러지 같은 미분을 충분히 결합시켜 주지 못하기 때문이며, 이는 슬러지에 포함되어 있는 $Ca(OH)_2$의 잠재수경성을 자극하여 수화가 진행되었지만 슬러지가 가지고 있는 수화물이 대부분 수화가 진행된 상태로 불순물로 작용

하기 때문이다. 또한 건설오니 첨가량이 15% 이상(A-4)일 경우 28일 압축강도가 150kgf/cm$^2$ (약 15MPa)이하로 측정됨을 관찰할 수 있었다. 따라서 건설오니를 10% 정도 첨가하는 것이 적절할 것으로 사료된다.




[그림 3.7.11] 건설오니, 마사토 혼합에 따른 압축강도 변화

[그림 3.7.11]은 고화재에 건설오니, 마사토를 <표 3.7.19>의 비율과 같이 혼합하여 압축강도를 측정한 결과이다. 그림에서 보는 바와 같이 고화재의 양이 감소함에 따라 강도가 점차 하락하는 추세를 나타내고 있으며, 고화재의 양이 20% 미만일 경우 28일 강도가 120kgf/cm$^2$을(약 12 MPa)넘지 못하였다.

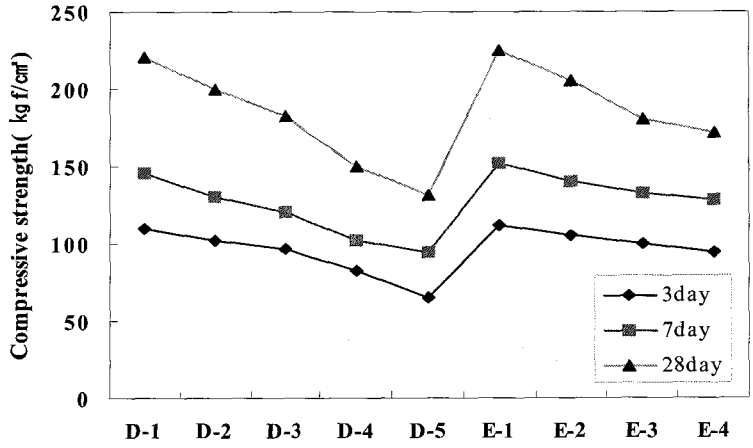



[그림 3.7.12] 고화재와 건설오니, 마사토, 황토 혼합시험에 따른 압축강도 변화

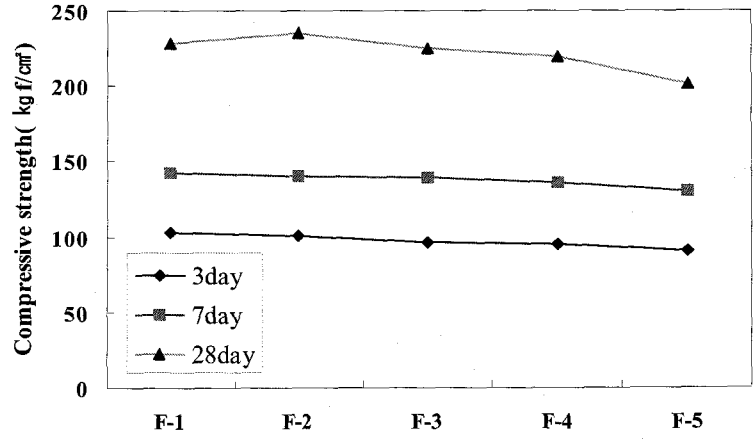
[그림 3.7.12]는 <표 3.7.19>와 같이 고화재와 건설오니의 양을 고정시킨 후 마사

토와 황토를 혼합하여 최적의 도로포장재 배합비를 도출하고자 하였다. 강도는 황토의 첨가량이 증가함에 따라 완만하게 낮아지는 추세를 나타내었으며, 황토를 6% 이상 대치하였을 경우 압축강도가 120kgf/cm$^2$을(약 12 MPa)넘지 못하였다. 따라서 황토는 5%정도 첨가하는 것이 적절할 것으로 사료된다.

[그림 3.7.13]은 <표 3.7.19>와 같이 개발 고화재의 배합비로 OPC와 SL의 첨가량 변화에 따른 압축강도 특성을 그래프로 나타낸 것이다. 시멘트와 슬래그 대체 비율이 증가할 경우 강도는 감소하고, 양생기간이 길어질수록 강도는 증가하였다. OPC의 경우 45%, SL의 경우 40% 첨가시 가장 강도가 높게 발현되었다.

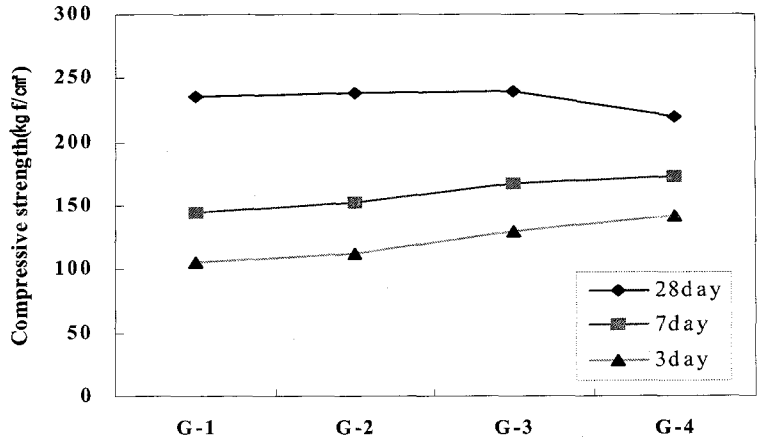



[그림 3.7.13] 개발 고화재의 OPC와 SL 변화에 따른 압축강도 시험 결과




[그림 3.7.14] 개발 고화재의 GMC 변화에 따른 압축강도 시험 결과

[그림 3.7.14]는 OPC와 SL을 고정시킨 후 GMC의 첨가량 변화에 따른 압축강도 변화를 나타낸 것이다. GMC의 첨가량이 증가할수록 초기강도는 점차 떨어지는 경향을 나타내었으나 28일 강도는 5% 첨가시 가장 높은 수치를 나타내었다. 이는 무수석고의 첨가로 인해 초기 수화반응이 느리게 진행되었기 때문이며, 에트링자이트 반응으로 인해 장기적인 강도는 증가하였으리라 사료된다.

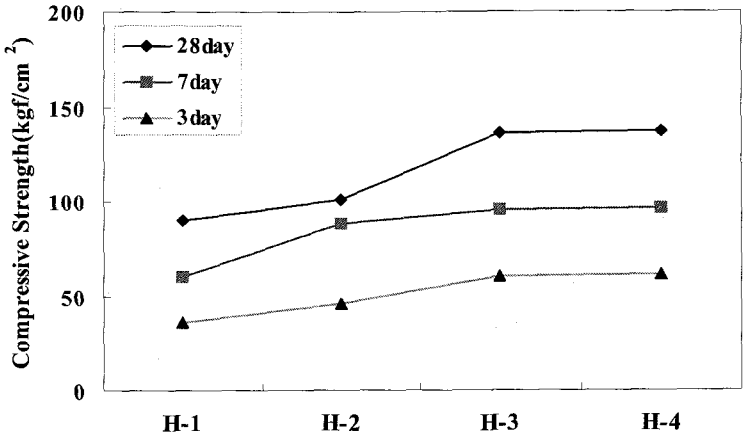



[그림 3.7.15] 개발 고화재의 CSA 변화에 따른 압축강도 시험 결과

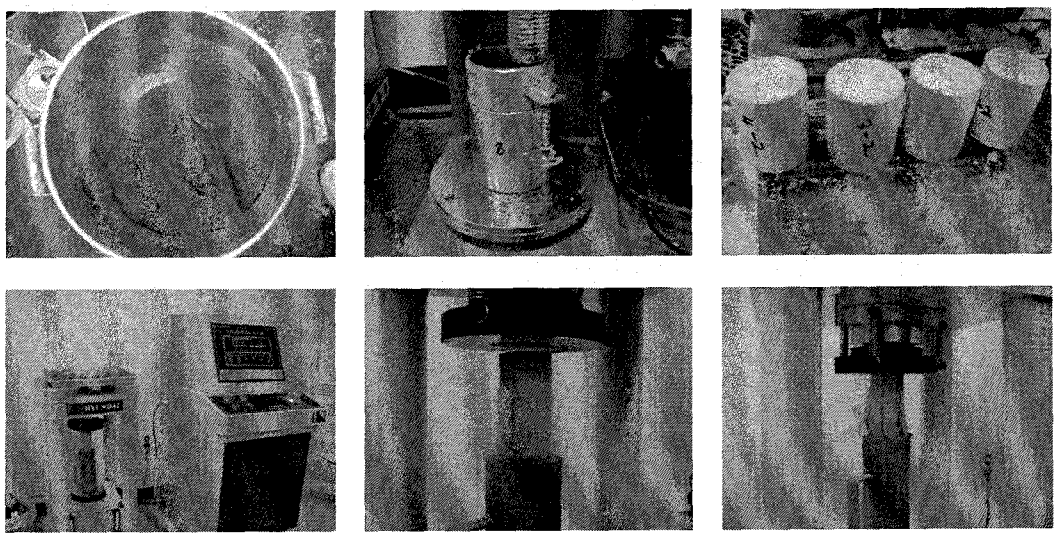
[그림 3.7.15]은 초기강도 증진을 위하여 CSA를 첨가하였을 경우 압축강도의 변화를 그래프로 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 CSA의 첨가량이 증가할수록 초기강도가 증가하는 것을 관찰할 수 있으나, 4% 첨가 시 장기재령 강도가 오히려 감소함을 알 수 있다. 따라서 CSA 첨가량은 3% 정도가 적절할 것으로 사료된다.

위에서 도출한 결론과 같이 G-3의 고화재 배합비는 당 연구과제의 1차년 목표치인 압축강도 12 MPa (약 120kgf/cm$^2$)을 충분히 만족시킬 수 있는 결과값을 도출할 수 있었다.

[그림 3.7.16]은 <표 3.7.19>와의 배합비에 기초하여 개발 고화재를 첨가한 친환경 토양포장재의 압축강도 시험결과를 나타낸 것이다. 본 시험은 KS F 2312의 흙의 다짐 시험 방법에 기초하여 A다짐으로 시험하여 그 결과값을 도출한 것이다. 건설오니는 10%로 고정하였으며 황토는 점차 그 첨가비율을 증가시켰다. 그림에서 보는바와 같이 고화재의 첨가량이 증가함에 따라 강도는 급격한 상승을 나타내다 25% 첨가 시 완만한 증가세를 나타내었다.

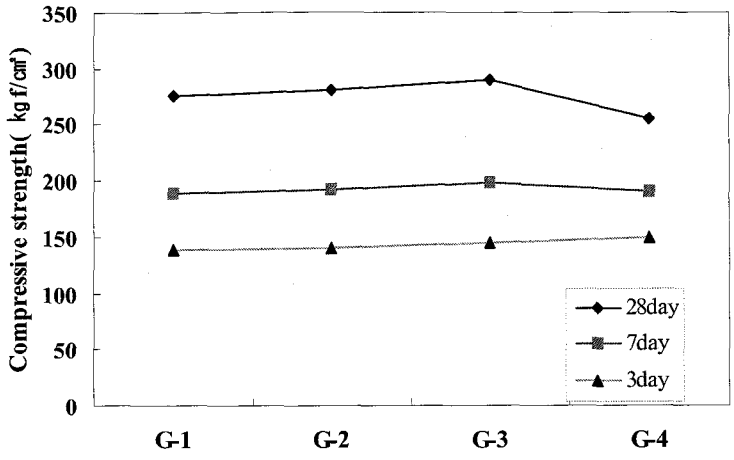



[그림 3.7.16] 흙도로포장재 압축강도 시험 결과



[그림 3.7.17] 친환경 토양포장재 다짐시험일축압축강도 시험

[그림 3.7.18]는 개발 고화재의 일축압축강도 특성을 나타낸 결과이다. 그림에서 보는바와 같이 CSA의 첨가량이 증가할수록 초기강도가 증가하는 것을 관찰할 수 있으나 4% 첨가시 장기재령 강도가 오히려 감소함을 알 수 있다. 이는 위 그림 4.3.8와 유사한 결과로 G-3의 배합비가 가장 그 물리적 특성이 우수한 것으로 사료된다. 또한 G-3의 고화재 배합비는 당 연구과제의 1차년 목표치인 일축압축강도 15 MPa (약 150kgf/cm$^2$)을 충분히 만족시킬 수 있는 결과값을 도출할 수 있었다.




[그림 3.7.18] 개발 고화재의 CSA 변화에 따른 일축압축강도 시험 결과

(2) 비중시험

흙의 비중이란 4℃에서의 증류수의 단위중량에 대한 흙 입자의 단위중량과의 비로 정의된다. 따라서 흙의 비중은 그 흙을 조성하는 광물질의 단위중량과 관계되므로, 철분과 같은 성분을 포함하고 있으면 비중의 값은 커진다.

비중은 당 연구에서 개발한 고화재의 배합비(G-3)에 건설폐기물(건설오니)를 10% 치환하여 그 결과치를 도출하였다. 시험결과 아래의 <표 3.7.21>에서 보는 바와 같이 목표치인 2.8 g/cm$^2$을 상회하는 값을 얻을 수 있었다.

<표 3.7.21> 개발 고화재의 비중 측정 시험 결과

| Sample | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| 비중 (g/cm$_2$) | 2.92 | 2.96 | 2.94 | 2.92 |

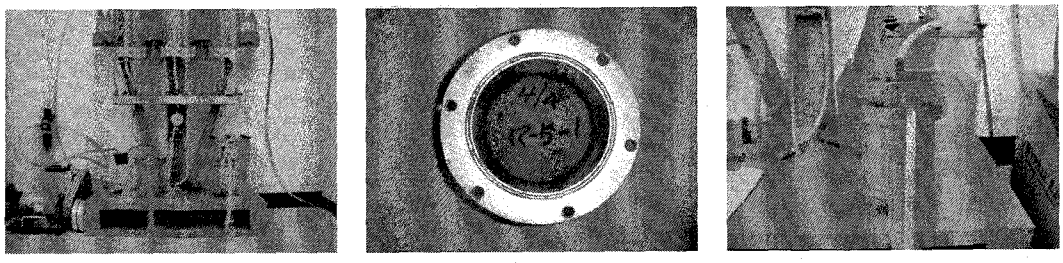
(3) 투수계수 특성

건설오니와 고화재, 마사토, 황토의 혼합량에 따른 투수계수를 KS F 2322규정에 따라 실시되었다. 공시체는 지름 100mm, 높이 50mm로 제작하여 온도 23± 1℃, 상대습도 96%를 유지시킬 수 있는 습윤양생기에서 1일간 양생시키고 탈형 후에 온도 23± 1℃의 수조에서 수중양생하면서 재령 28일에서 투수실험을 실시하였다.

평가기준은 28일 양생 후 $3.8X10^{-6}$cm/sec로서 H-4를 제외한 모든 배합비에서 기준을 만족하였다. 다만 고화재의 첨가량이 약 20% 이상이 되어야 요구 압축강도를 만족할 수 있으므로 H-3의 배합비가 가장 친환경 도로 포장재에 적합함을 알 수 있다.

<표 3.7.22> 친환경 토양포장재의 투수계수 측정 시험 결과

| Sample | H-1 | H-2 | H-3 | H-4 |
|---|---|---|---|---|
| 투수계수 (cm/sec) | $4.5\times 10^{-6}$ | $4.1\times 10^{-6}$ | $4.0\times 10^{-6}$ | $3.6\times 10^{-6}$ |



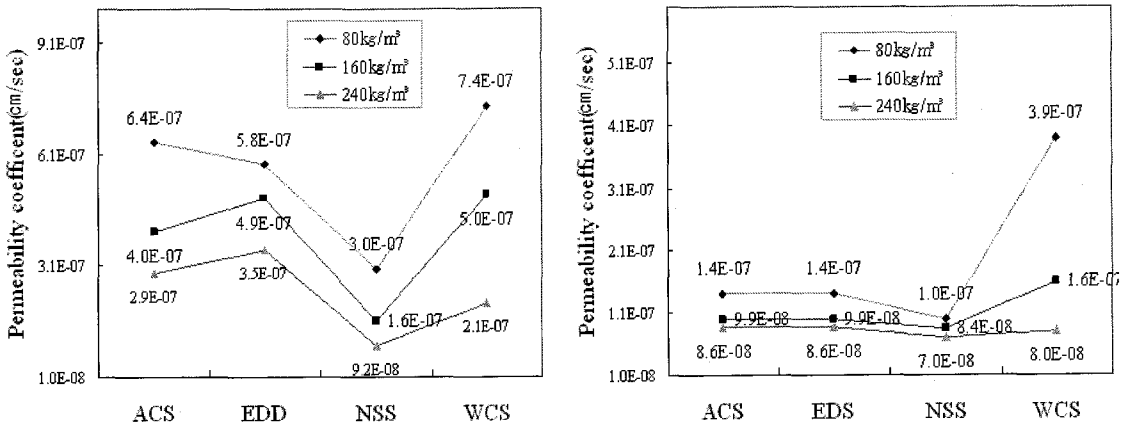
[그림 3.7.19] 친환경 토양포장재의 투수계수측정 시험

건설오니 토성분류에 따른 고화토의 투수성을 알아보기 위하여 발생원별 건설오니[15]의 고화재 첨가량과 재령에 따른 투수계수 측정하였다.

고화재 첨가량과 재령이 증가할수록 투수계수는 낮아지는 경향을 보이며, 굴착공사에서 발생한 ACS, EDD, NSS, WCS 에 비해 WCS는 투수계수가 높았다. 이것은 굴착공사 중 혼합하는 벤토나이트, 고분자 첨가제 등에 의한 팽윤성으로 투수계수가 낮은 것으로 판단되어진다.

고화전후 투수계수는 절반이하로 저하되고 초기 함수율이 낮은 고화토 일수록 투수계수가 낮아지는 경향을 보이는 것으로 분석된다.

15) ACS : 올케이싱 공법, EDS : 어스드릴 공법, NDD : 니수가압실드공법, WCS : 페콘크리트슬러지



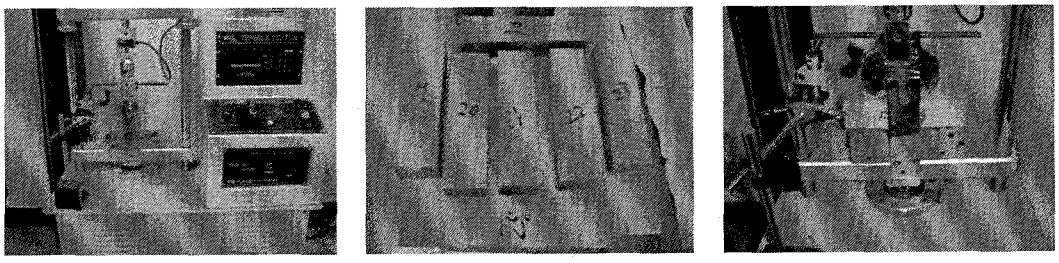

[그림 3.7.20] 건설오니 종류별 고화재 첨가량에 따른 투수계수

(4) 휨강도 시험

<표 3.7.23>은 친환경 토양포장재의 결합제인 개발 고화재의 휨강도 측정 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 개발 목표값인 4.0 MPa을 상회하는 값을 나타내었다.

<표 3.7.23> 개발 고화재의 휨강도 측정 시험 결과

| Sample | G-1 | G-2 | G-3 | G-4 |
|---|---|---|---|---|
| 휨강도 (MPa) | 8.2 | 8.6 | 8.9 | 8.4 |



[그림 3.7.21] 개발 고화재의 휨강도 측정 시험

(5) 열전도율

<표 3.7.24>는 친환경 토양포장재의 열전도율 시험 결과과로 일본의 KYOTO Electronics TC-31 시험장비를 이용하여 측정하였다. 점차적으로 고화재와 황토의 비율이 증가할수록 열전도율 값이 증가함을 알 수 있다. 이는 고화재와 황토의 미

분말이 고화체의 공극을 채워 공극율이 감소하여 열전도율이 상승하는 것으로 사료된다. H-1~3은 당 연구목표치인 0.50 W/mK를 만족하는 결과임을 알 수 있다.

<표 3.7.24> 친환경 토양포장재의 열전도율 시험 결과

| Sample | H-1 | H-2 | H-3 | H-4 |
|---|---|---|---|---|
| 열전도율 (W/mK) | 0.43 | 0.45 | 0.48 | 0.52 |

(6) 염화물 이온 침투 저항성

이 규격(KS F 2711)은 염소이온의 침투에 대한 저항성을 빠른 시간에 알아내기 위한 목적으로, 본 연구에서는 친환경 토양 포장재로써 그 특성이 우수한 H-3에 대하여 시험을 실시하였다. 아래 <표 3.7.25>에서 나타나는 바와 같이 친환경 토양 포장재는 6500 Coulomb으로 매우 높은 수치를 나타내었다. 이는 목표값인 6000 Coulomb을 상회하는 값으로 친환경 토양 포장재의 염소이온 침투저항성이 매우 우수함을 알 수 있었다.

<표 3.7.25> 염화물 이온 침투 저항시험 결과

| **통과전하량 (C)** | **염소이온 침투성** |
|---|---|
| >4000 | 매우 높음 |
| 2000 ~ 4000 | 보통 |
| 1000 ~ 2000 | 낮음 |
| 100 ~ 1000 | 매우 낮음 |
| <100 | 무시할 만함 |
| **6500** | **친환경 토양 포장재 (H-3)** |

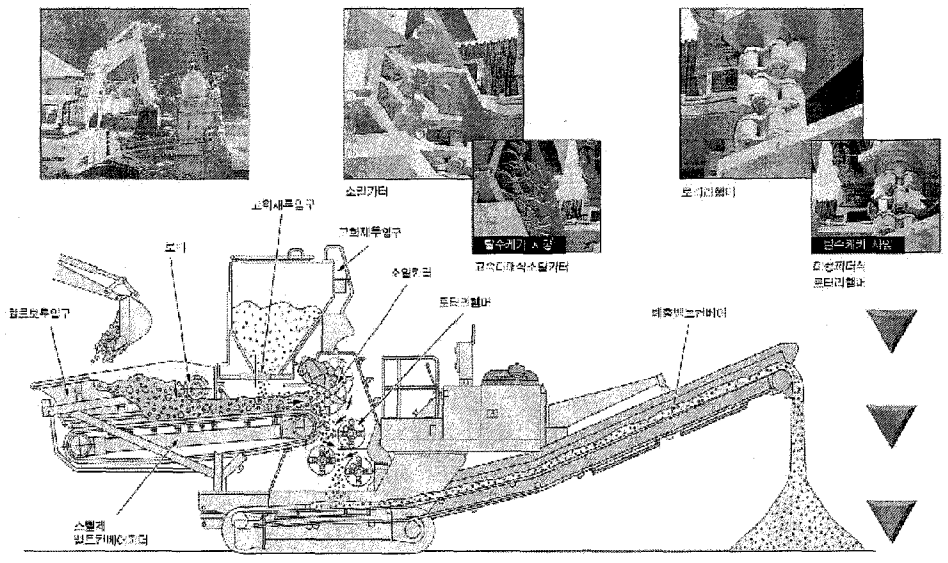
## 5. 건설오니 현장재활용 Pilot plant 설계

건설오니의 토성에 상관없이 광범위한 건설오니를 고품질 고화토로 만들 수 있는 처리 시스템이 필요로 하며 토질 개량 플랜트의 핵심요소로 컴팩트한 혼합 및 이송 설비 구조와 자주식 시스템으로 비용절감을 실현하고자 하였다.

크게 고화처리 장비는 자주식과 고정식으로 분류가 되며 앞서 언급한 바와 같이 본 고화토로서 건설오니를 재활용하고자 할 경우 운송에 따른 비용절감과 건설오니 발생특성을 고려한다면 자주식 플랜트가 사업성 확보에 유리할 것으로 판단된다.

현재 국내에서는 건설오니에 대한 이해가 상당히 미흡한 단계이며 이로 인해 건설오니의 자원으로서 가치 또한 아주 낮은 실정이다. 따라서 건설오니를 고화토로 처리하는 장비의 운영은 전무한 상태이다.

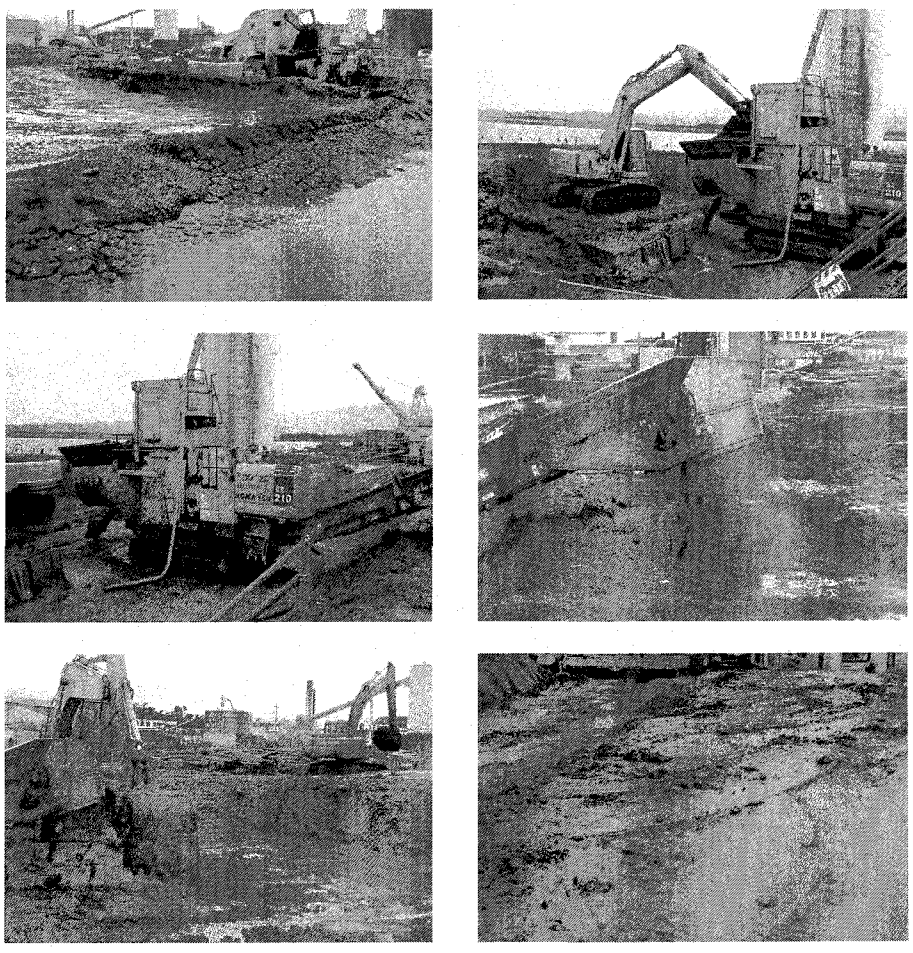
본 3차년 연구과제에서는 건설오니 현장재활용을 위한 처리 플랜트 설계의 접근방법으로 우선 국외에서 운영되고 있는 장비의 핵심적인 기술사항 검토, 처리규모 등을 분석하여 국내 실정에 맞는 장비의 개발을 유도하고자 하였다. 아직 국내에 미적용된 분야로서 pilot plant 설계를 진행함에 많은 기술적 해결과제가 남아있다.



[그림 3.7.22] 자주식 건설오니 고형화 처리 장비(일본. KOMATSU)

윗 그림은 일본에서 건설오니 및 고함수 토양의 안정화 처리에 사용되고 있는 장비로서 건설오니의 종류에 따라 고화재를 20 ~ 180kg/m³ 범위까지 정량으로 첨가가 조절가능하며 연속공정으로 작업의 효율성이 높다.

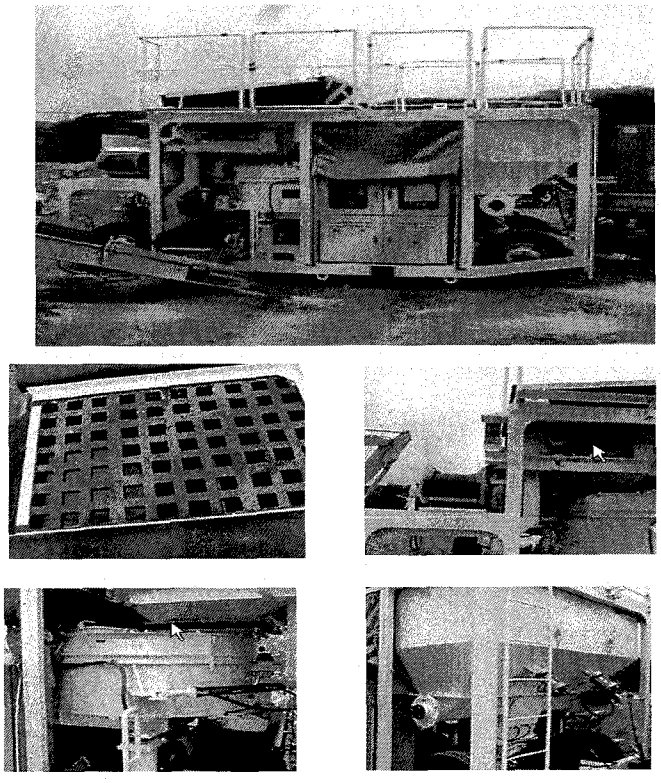
일본 松江市 항만 준설공사에서 준설토 고형화 처리공정에 사용되고 있는 상기와 유사한 장비의 운영실태를 분석하였다



[그림 3.7.23] 일본 松江市 항만 준설공사에서 준설토 고형화 처리공정

시간당 80㎥로 비교적 높은 처리용량을 가지고 있으며, 처리된 고화토는 3일간 기건양생한 후 외부로 반출하는 처리시스템을 가지고 있었다.

항만과 준설공사와 대규모 발생현장 외 소규모로 발생되어지는 현장에 적합한 용도로서 신속한 이동성을 위하여 일반 화물트럭에 적재가 가능한 장비의 크기 및 처리용량을 갖춘 실질적인 현장재활용 처리시스템 실현하고 있는 사례는 다음과 같다.



[그림 3.7.24] 자주식 건설오니 고형화 처리 장비(일본. ODESSA)

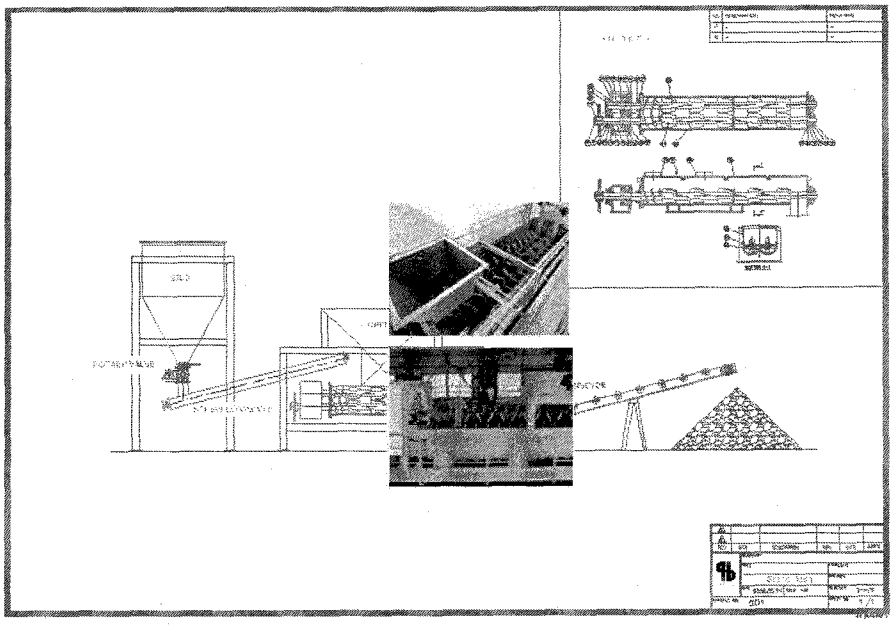
레일을 이용한 자주식 이동은 불가하지만 소규모 단위로 원료의 투입 및 혼합, 배출 공정이 일체형으로 이루어진 형태로서 Batch type 믹서에 로드셀에서 정량으로 개량한 건설오니와 고화재를 일정시간 혼합하여 벨트콘베어로 배출하는 시스템이다.

헤드로와 같은 소규모 건설오니가 발생되는 현장에서 적용되는 시스템으로 처리용량에 비하여 이동성 및 고화토의 품질을 일정하게 유지할 수 있는 장점이 있어 일본에서 대표적으로 활용되고 있다. 하지만 각 시와 현에서 주도적으로 관련법령의 제정하여 건설오니의 재활용을 유도하고 있지만 처리비용이 아직 소비자 기대치에 미치지 못하는 것 또한 사실이다. 따라서 처리장비 구매에 따른 초기 정부지원 및 개발자의 개선노력이 지속적으로 요구된다.

다음은 조립식 처리장비로서 일체형과 비교하여 작업방식은 유사하나 이동 시 해체 및 설치에 따른 애로사항이 발생할 수 있으며, 재활용 공정에 요구되는 공간이 일체형에 비하여 많다고 할 수 있다.

핵심기술은 혼합설비의 효율성이다. 연속공정으로 투입되는 원료를 로터 등을 이

용한 혼합/분쇄가 아닌 혼합 공정만으로 정밀한 혼합성능을 발휘할 수 있는 믹서의 개발이 우선되어야 한다. 다음은 본 연구에서 1차적으로 설계한 건설오니 고화토 생산을 위한 조립식처리장비로서 구성은 고화재 저장 및 배출을 위한 사이로와 이송과 배출 콘베어와 연속형 삼중 믹서로 수성되어 있다. 4차년에 보다 세밀한 설계를 바탕으로 Mock up 등을 실시하여 완성할 계획이다.



[그림 3.7.25] 건설오니 고형화 처리 장비 설계(안)

상기에서 소개된 두 공정에서의 핵심기술은 이동성과 건설오니와 고화재의 혼합 효율을 증대시킬수 있는 믹서의 성능이다

자주식안정처리공법은 일반 화물트럭에 상차하여 건설오니가 발생되어지는 곳에서 처리하고 타 지역으로 신속하게 이동하는 시스템으로 현장재활용 시스템으로 적합하나 처리량과 소형장비에 따른 혼합성능의 개선이 요구된다. 조립식은 자주식에 비해 처리량과 혼합의 정밀성이 우수하나 장치의 설치 및 이동의 제한이 불가피함으로 발생현장의 처리규모에 따른 선택적 적용 방법 강구되어져야 할 것이다.

## 6. 건설오니 고화토의 흙도로포장재 현장적용시험

건설오니(WCS) 및 고화재를 첨가한 고화토 포장재 시험시공을 통한 장기 내구성 및 시공성 검증을 위하여 2008년 2월 15일 진주에 위치한 (주)대동그린산업 공장동 외부 약 60㎡에 시험시공을 실시하였다

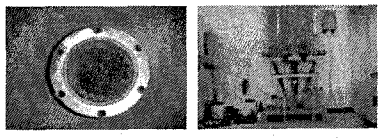
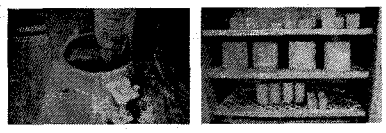
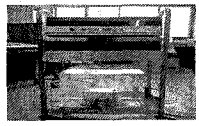
<표 3.7.26> 현장적용시험 세부내용

<table>
<tr><td>건설오니</td><td colspan="4">㈜성원이엔티, 폐콘크리트 슬러지 케익(WCS),</td><td>2/11</td></tr>
<tr><td>체가름</td><td colspan="4">진동체, 입자사이즈 : 5mm이하</td><td>해교(분쇄)</td></tr>
<tr><td>고화재</td><td colspan="4">표층고화처리 고화재<br><table><tr><td rowspan="2">응결시간</td><td rowspan="2">비카침시험</td><td>초결(분)</td><td>45 이하</td></tr><tr><td>종결(시간)</td><td>4 이상</td></tr><tr><td rowspan="3">압축강도<br>(N/㎟)</td><td>3일</td><td colspan="2">8.5 이상</td></tr><tr><td>7일</td><td colspan="2">17 이상</td></tr><tr><td>28일</td><td colspan="2">30 이상</td></tr></table></td><td>고강도<br>속경성<br>동절기<br>시공用</td></tr>
<tr><td>노반</td><td colspan="4">기존 토양층 활용, 1차 다짐</td><td>약 200mm</td></tr>
<tr><td>보조기층</td><td colspan="4">혼합쇄석 2차 다짐</td><td>약 150mm</td></tr>
<tr><td>혼합</td><td colspan="4">마사토(40mm), 고화재, 건설오니</td><td>팬타입 믹서</td></tr>
<tr><td>포장재</td><td colspan="4">약 230kg/㎡ 포설</td><td>약 100mm</td></tr>
</table>

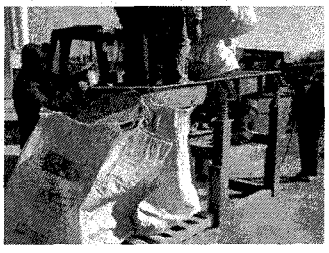
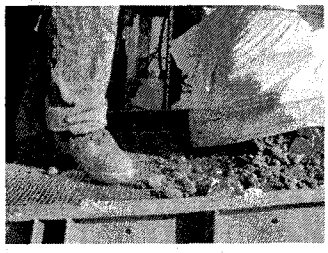
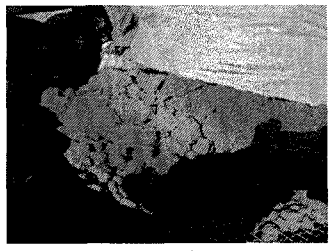
활용범위 굴삭/굴착오니의 벤토나이트에 의한 투수계수 하락으로 인한 배합설계 보완이 필요하며 이러한 특성을 살려 심층고화용 및 현장재활용 고화토 처리기술로 활용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

동절기 고강도 속경성 고화재 배합설계 따른 고화재 원재료비가 약 20% 상승하였지만 건설오니 첨가에 따른 원재료 사용절감으로 인하여 전체 비용은 유사하였다. 하지만 건설오니 발생 시점과 포장재 포설 시점 차이가 발생할 경우 장기 보관에 건설오니 적치 문제를 충분히 검토하여야 할 것이다.

<표 3.7.27> 평가항목에 따른 시험결과

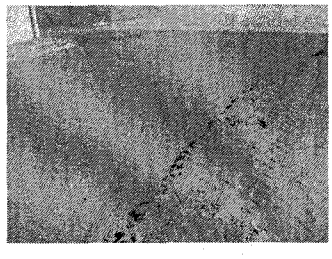
| 평가항목 | 목표치 | 시험결과 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 투수계수 (㎝/sec) | $2.2\times10^{-6}$ | $3.8\times10^{-6}$ 1) A 다짐방법 |  |
| 일축압축강도 (N/㎟) | 15 | 15 |  |
| 열전도율 (W/mK) | 0.5 | 0.431 |  |
| 비중 (g/㎤) | 2.5 | 2.3 | - |

건설오니 체가름(해리)

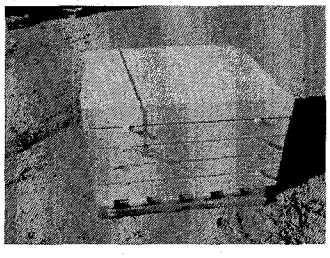
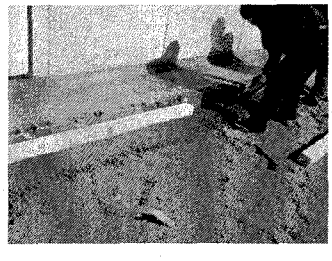
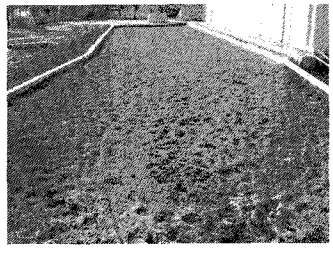




노반정리 및 1차 전압

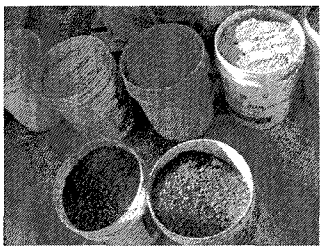




경계석

계량 및 혼합

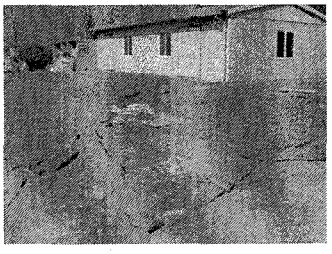

포설 및 2차 전압





최종 전압 및 보양





[그림 3.7.26] 고화토를 이용한 흙포장 시험시공

# 7. 결 론

○ 2차년 연구를 기반으로 건설오니의 효율적 재활용 기술개발을 위하여 3가지 활용방안별 경제성 분석을 통하여 사업화 달성을 위한 최적의 활용방안을 설정하였고 이에 따른 연구를 진행하여 이론적 배경을 바탕으로 평가항목에 준한 소기의 목적을 달성하였고 4차년 시범사업 추진을 위한 다양한 기술적 기틀을 마련하였다.

○ 천연원료로 만들어진 제품에 비해서 그 질이 떨어지는 재생제품의 판매를 시장경제의 원리에 따르게 한다면 사람들의 재생제품 구매의욕은 줄게 되고 따라서 재활용의 사업의용이 상실되므로 폐기물의 재활용을 시장경제에만 맡길 수는 없으며 일단 재활용을 사업으로서 추진하기 위해서는 제일먼저 재활용 수익을 (+)로 하고자 하는 노력이 필요하였다.

○ 건설오니의 발생현황에 따른 다양성을 제어하여 흙도로포장재료와 현장재활용 고화토의 최적배합설계 및 처리시스템을 일원화하여 연구함으로 보다 실용적 연구에 접근할 수 있는 계기를 마련하였다.

○ 현장적용평가 등 연구의 질을 향상하기 위한 연구활동을 진행하였으며 평가결과를 신속히 연구에 반영하여 기술의 검증 및 보완 단계를 거쳐 연구의 완성도를 높이고자 하였다.

○ 건설오니 발생유형별 특성은 원지반의 토양에 따라 그 물리/화학적 성질이 많은 차이가 있을 것으로 예상되었으나 일반토양과 유사한 화학조성과 유기물을 함량을 가지고 있었다, 토성분류는 점토, 실트질의 미세한 입자로 구성된 MH, CH로서 재활용의 긍정적 요소로 작용하며 함수비에 따른 제어기술이 가장 핵심적인 내용인 것으로 판단되었다

○ 3차년 연구 결과를 종합하면, 첫째 고함수 건설오니 흙도로포장재 재료로 활용

연구로서 고화재 원재료에 따른 물리적 성질을 평가하였으며, 주요 배합설계로 시멘트계, 석회계, 중성화계 고화재의 특성을 이용하여 함수율을 낮추고 강한 결합을 유도하여 일축압축강도 15N/㎟, 투수계수 $3.8\times10^{-6}$㎝/sec, 열전도율 0.431W/mK, 비중 2.3g/㎤ 이상의 안정성을 나타내었다.

○ 고화재 첨가량과 재령이 증가할수록 투수계수는 낮아지는 경향을 보이며, 굴착공사에서 발생한 ACS, EDD, NSS, WCS 에 비해 WCS는 투수계수가 높았다. 이것은 굴착공사 중 혼합하는 벤토나이트, 고분자 첨가제 등에 의한 것으로 판단되어지며 고화전후 투수계수는 절반이하로 저하되고 초기 함수율이 낮은 고화토 일수록 투수계수가 낮아지는 경향을 나타내었다.

○ 고화토의 강도변화 실험에서는 건설오니의 함수비가 높을수록, 풀기 전의 고화토의 압축강도가 높을수록 풀기·굳히기에 의한 일축압축강도의 저하비율은 커지는 경향을 보였다. 저하된 일축압축강도는 그 후의 양생에 의해 어느 정도 회복하고 강도의 회복은 건설오니의 함수비가 낮고 고체화 재료의 첨가량이 많을수록, 또는 굳힐 때의 재령이 짧을수록 큰 경향을 보인다.

○ 현장재활용 고화토 처리 시스템 연구는 아직 국내에서는 자주식 처리장치가 적용되지 않음으로 일본의 시스템을 분석하여 국내의 현실에 적합한 방안을 도출하고자 하였으며 사업화를 위한 실용성에 기초하여 pilot plant 설계하였다.

# 제 8 절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 폐콘크리트 미세립분을 이용한 미장용 모르터 제조기술 확립

### 가. 연구배경 및 목적

우리나라 경제성장에 따른 건설물량의 급증으로 국내의 골재자원이 급격히 감소되어 이미 강자갈이나 강모래는 거의 고갈상태에 이르렀으며, 이를 부순 자갈, 부순 모래 및 해사 등으로 충당하여 왔으나 이러한 골재자원마저도 환경규제강화로 생산이나 공급에 어려움이 가중되고 있다. 또한 최근 콘크리트 구조물의 철거 및 해체에 따라 발생하는 건설 폐기물량이 해마다 증가하고 있으며, 1960년대부터 고도의 경제성장기를 거치면서 도시화가 진행됨에 따라 많은 구조물이 건설되었고, 1990년을 전후로 하여 주택 200만호 건설 등 건설물량이 대폭 증가해 옴에 따라 현재 약 30년 정도 경과된 공동주택을 대상로 재건축이 이루어진다는 점을 고려하면, 앞으로 건설폐기물 발생량이 기하급수적으로 증가할 것으로 예상된다.

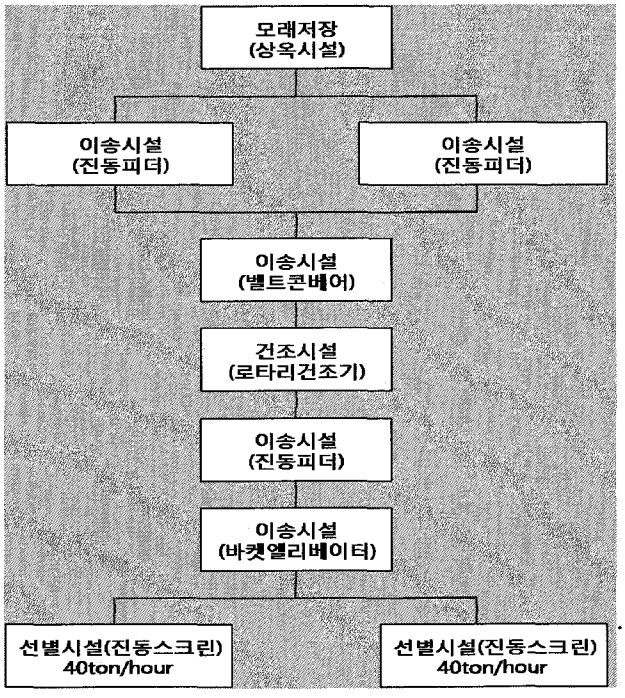
특히, 건설폐기물은 대부분(약 60%)이 폐콘크리트로서 이에 대한 효율적인 재활용 필요성이 증가함에 따라 폐콘크리트를 활용한 순환골재의 활용이 시급함에도 불구하고, 순환골재는 천연골재에 비해 밀도가 낮고 흡수율이 높아 콘크리트에 적용시 콘크리트의 내구성이 저하되며, 건조수축에 의한 균열이 발생이 상대적으로 높아 순환골재의 용도가 제한되어 있는 실정이다. 이에 따라 본 연구기관에서는 순환골재의 활용용도를 확대하여 건설폐기물의 재활용을 촉진하고자 일반 천연잔골재를 건조와 입도별로 분류하여 사용하는 건축용 건조모르터 중 미장용 모르터의 일반 골재의 일부를 순환잔골재로 대체한 후 기초물성을 검토하여 순환골재의 적용가능성을 확인한 바 있다.

당해연도 연구에서는 순환골재를 제조공정에 적용하기 위하여 기초물성 결과를 바탕으로 미장용 모르터를 생산하고 있는 한일시멘트에서 현재 가동 중인 건조모르터 제조공정을 기초로 하여 미장용 모르터 제조공정의 확립과 기존 Pilot plant 설비를 통해 제조된 미장용 모르터의 성능을 검토하였다.

## 나. 폐콘크리트 미세립분을 이용한 미장용 모르터의 제조공정 확립

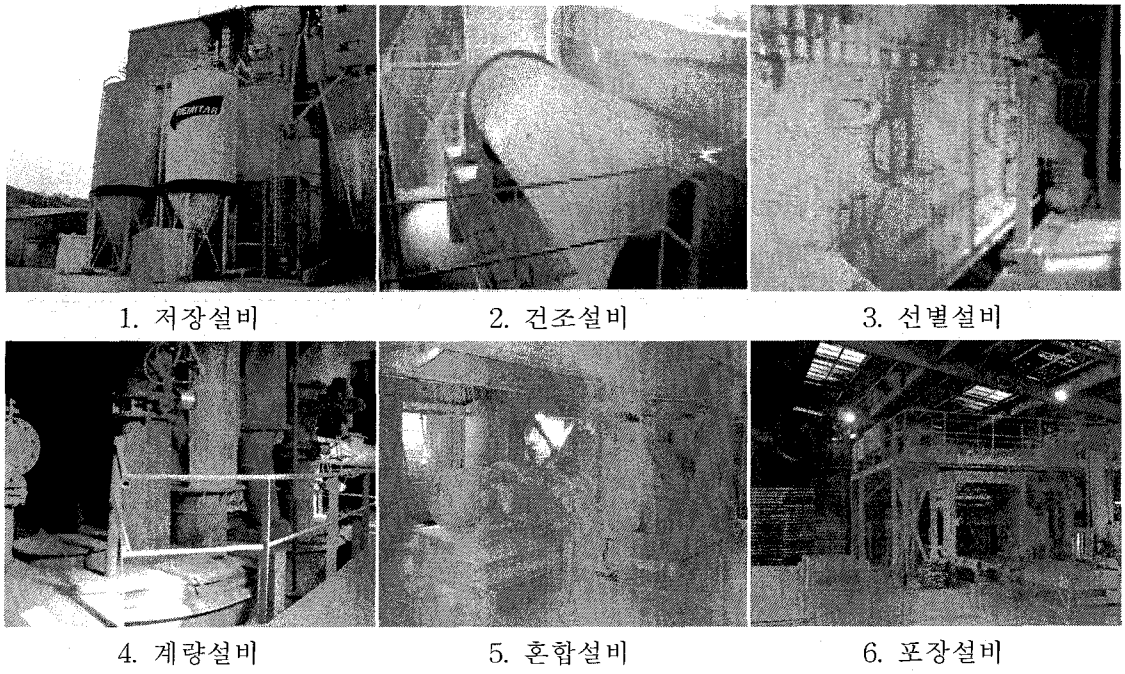
건조모르터는 1970년대 초반 독일의 석회산업에서 시작하여 현재는 유럽전역에 보편화, 대중화되어 사용되고 있다. 미국에서도 1982년 도입된 이래 세계 각국으로의 사용이 확산되고 있는 실정이며, 유럽의 경우는 시멘트계 보다는 석고나 석회계의 모르터가 많이 사용되고 있다. 건조모르터를 제조하기 위해서는 시멘트, 잔골재, 혼합재 및 화학 혼화제를 용도에 따라 적절히 배합하여야 하며, 국내에서의 시멘트와 잔골재는 KS L 5201 및 KS F 2527의 규격에 적합하여야 한다. 국내에서는 90년대 들어서 건조모르터 시공이 일반화되기 시작하였으며, 최근에는 고성능 혼화재의 사용에 따라 사용량은 증가하고 있는 추세이다.

건조모르터 사용 시의 장점은 현장배합시의 모래를 체로 치고 시멘트와 손비빔하는 공정이 필요 없어 인건비가 절감되며, 공기가 단축될 수 있으며, 도심지 공사인 경우 협소한 작업공간에서도 손쉽게 작업할 수 있다는 장점이 있다. 건조모르터 제조공정은 잔골재가 로타리 건조기를 통과하여 건조과정을 거치고 건조된 잔골재는 여러 규격의 체를 통해 입경별로 선별 후 저장된다. 이때 제품의 종류에 따라 시멘트 및 선별된 잔골재와 기타 혼합재를 혼합하여 제조한다.




[그림 3.8.1] 건조 모르터 제조공정

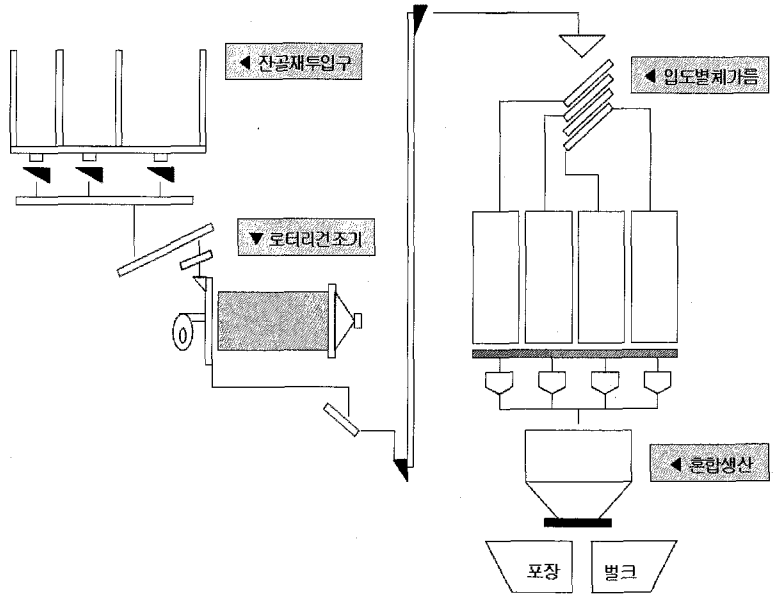
[사진 3.8.1]은 현재 건조모르터를 생산하고 있는 (주)한일시멘트의 각각의 제조설비를 나타낸 것으로 주요설비로는 저장, 건조, 선별, 계량, 혼합, 포장설비로 구성되어 있으며, 자동시스템으로 작동되고 있다.



1. 저장설비 2. 건조설비 3. 선별설비

4. 계량설비 5. 혼합설비 6. 포장설비

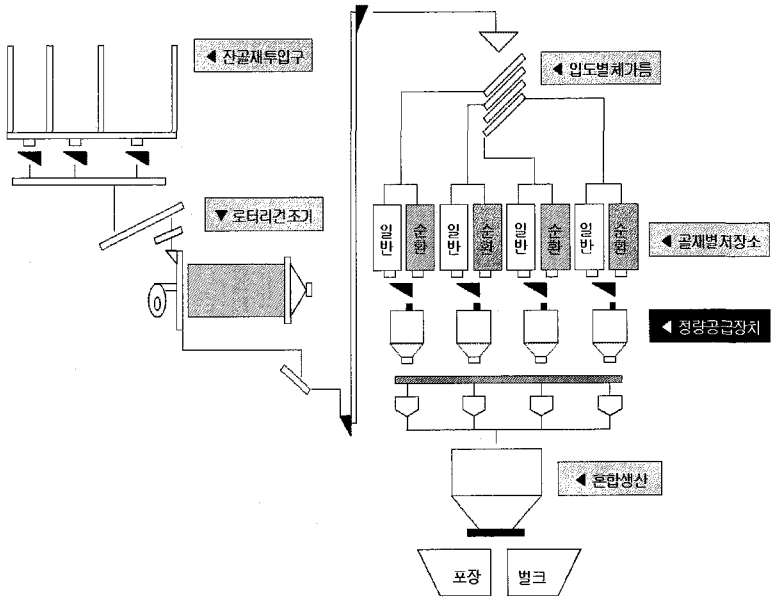
[사진 3.8.1] 건조모르터 제조설비




[그림 3.8.2] 건조모르터 기존 생산 공정도

[그림 3.8.2]는 기존 생산 공정도를 나타낸 것이며, 폐콘크리트 세립분을 기존 건조 모르터의 잔골재 대체재로 사용하기 위해서는 기존 공정과는 별도로 세립분을 투입하기 위한 잔골재 투입구가 추가적으로 요구되며, 일반골재와는 구별되는 순환골재의 저장소, 순환골재의 적정 대체율에 맞는 적정량을 투입하기 위하여 골재종류별 정량공급장치가 설치되어야 할 것으로 판단되어, [그림 3.8.3, 3.8.4, 3.8.5]와 같이 제조공정 시스템 설계안을 선정하였다. 설계안1, 2, 3은 이러한 순환잔골재 투입구와 정량공급장치를 설치한 설계안이다.

설계안1은 골재별(일반잔골재, 순환잔골재) 건조공정 및 입도별 체가름 실시 후에 골재별, 골재 사이즈별 저장소를 개별적으로 두고, 정량공급장치를 설치하여 혼합생산하는 공정으로 정량공급장치가 입도별 체가름공정의 다음공정이기 때문에 골재를 투입하는데 있어 실제 투입량의 정확도가 높아 가장 이상적인 안이라 할 수 있으나, 8개의 골재저장소와 4개의 정량공급장치가 필요하기 때문에 기존의 공정에 추가 설비를 설치 시 최소 10억 이상의 비용이 발생할 것으로 예상되며, 설치 시 필요한 설비공간이 부족하여 실제 공정에 적용하기에는 현실적으로 어렵다고 볼 수 있다.



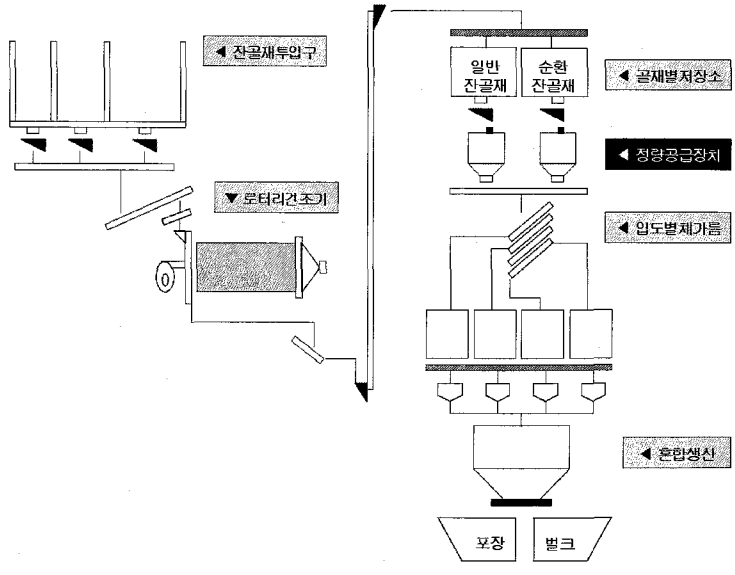

[그림 3.8.3] 순환골재 적용을 위한 생산 공정도 - 설계안1

설계안2는 골재별 건조공정 후에 골재종류별 저장소를 두고 정량공급장치를 설치하는 방안으로 골재저장소 2개, 정량공급장치 2개가 필요한 안으로서, 설계안1에 비해 비교적 간단하고 골재종류별 건조 후에 체가름공정에 투입되기 때문에 골재흡수

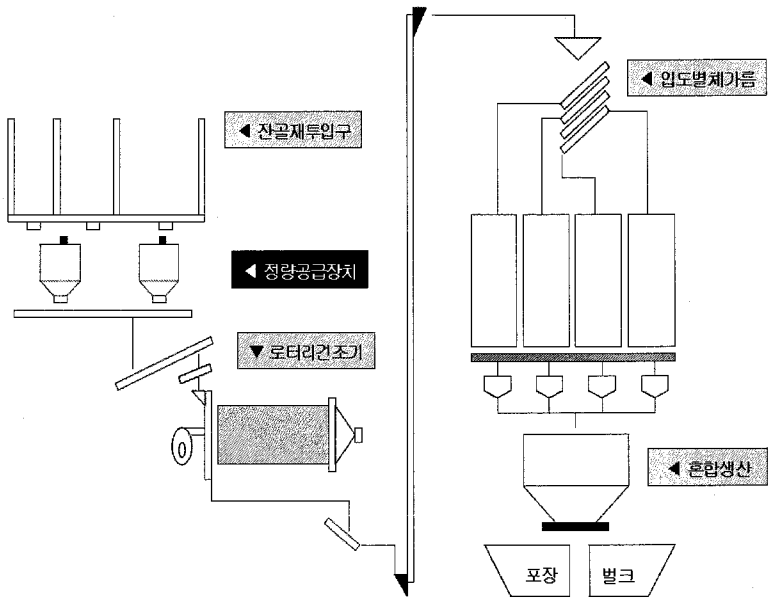
율에 따른 일반골재와 순환골재의 혼합비율에 대한 오차는 적을 것으로 판단되나, 설계안 1과 마찬가지로 설치비용의 과다한 점, 추가설비 설치 시 10m이상의 높이공간을 필요로 하나, 현재공정에 여유공간이 존재하지 않고 후속공정의 변화가 불가피하게 되어 기존공정에 적용하는 것은 어려울 것으로 판단된다.

설계안3은 별도의 골재 저장소 없이 순환잔골재 투입구(혹은 Hopper)를 설치하고 다음공정으로 골재별 정량공급장치를 두어 일정량의 골재가 혼합되어 건조 공정으로 투입되는 방안으로 건조 전 일반골재와 순환골재가 혼합된 상태로 투입되는데, 일반골재와 순환골재의 경우 흡수율이 다르기 때문에 별도의 골재저장소 없이 정량공급장치 2개가 필요하기 때문에 비교적 간단한 생산공정이 될 수 있으나, 건조공정 시 일반골재와 순환골재가 혼합된 상태로 투입이 되는데, 순환골재의 경우 일반잔골재와는 건조효율이 다르기 때문에 건조시간의 조절이 어려우며, 일반골재와 순환골재의 경우 흡수율이 다르기 때문에 건조공정 이전에 비율에 따라 골재를 혼합할 경우 혼합공정 이후에 일반골재와 순환골재의 비율에 오차로 인해, 실제 제품투입 시 원하는 비율로 투입이 어려울 것으로 판단된다.

이처럼 기존 생산공정에 순환골재를 적용할 경우 기존공정에 설비를 추가하는데 있어, 설계안1을 적용하는 것이 가장 이상적이지만, 현실적으로 적용가능한 안은 설계안3으로 판단되며, 추후 건조 후 골재의 실제 투입량을 고려하여 건조 전 상태의 골재혼합비율을 교정하는 것이 필요할 것으로 사료되었다.

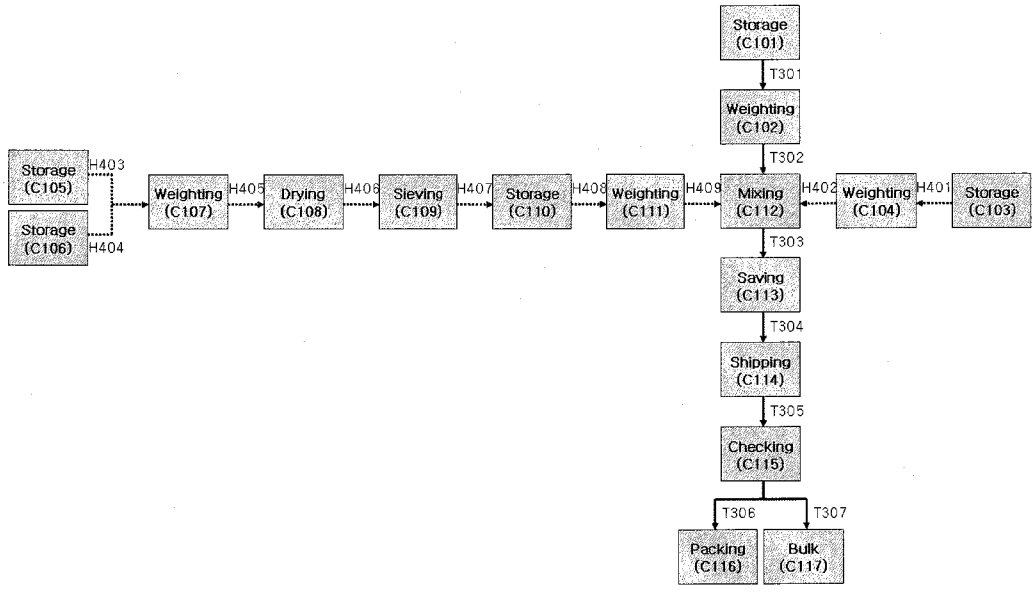



[그림 3.8.4] 순환골재 적용을 위한 생산 공정도 - 설계안2




[그림 3.8.5] 순환골재 적용을 위한 생산 공정도 - 설계안3

[그림 3.8.6]과 <표 3.8.1>은 설계안3에 대한 제조공정의 Process 및 공정의 세부사항을 나타낸 것이다.




[그림 3.8.6] 설계안3의 제조공정 플로우

<표 3.8.1> 공정별 세부사항

| 구분 | 명 칭 | 세부사항 | 구분 | 명 칭 | 세부사항 |
|---|---|---|---|---|---|
| C101 | Storage | 재료저장 | T301 | 이동 | 시멘트이동 |
| C102 | Weighting | 계량 | T302 | | 계량된 시멘트이동 |
| C103 | Storage | 재료저장 | T303 | | 혼합된 제품이동 |
| C104 | Weighting | 계량 | T304 | | 제품이동 |
| C105 | Storage | 재료저장(일반골재) | T305 | | 제품출하 |
| C106 | Storage | 재료저장(순환골재) | T306 | | 포장된 시작품이동 |
| C107 | Weighting | 골재계량 | T307 | | 제품 벌크이동 |
| C108 | Drying | 건조 | H401 | | 혼화재이동 |
| C109 | Sieving | 재료저장 | H402 | | 계량된 혼화재이동 |
| C110 | Storage | 재료저장 | H403 | | 일반골재 이동 |
| C111 | Weighting | 계량 | H404 | | 순환골재 이동 |
| C112 | Mixing | 혼합(믹서기) | H405 | | 계량된 골재이동 |
| C113 | Saving | 저장 | H406 | | 건조된 골재이동 |
| C114 | Shipping | 출하 | H407 | | 선별된 골재이동 |
| C115 | Checking | 제품검사 | H408 | | 입도별 골재이동 |
| C116 | Packing | 포장 | H409 | | 계량된 골재이동 |
| C117 | Bulk | 벌크 | | | |

## 다. Pilot plant를 이용한 건조모르터의 성능검토

현 제조공정에 적용하기에 앞서, 미장용 모르터에 사용되는 건조된 일반잔골재와 순환잔골재를 사용하여 Pilot Plant를 이용한 '미장용 모르터 제품'을 생산하였으며, 생산된 제품의 물성을 평가하였다. 본 실험계획은 미장용 모르터에 대하여 입도별 순환잔골재를 기존제조공정에 사용되는 S1(0.71~1.0㎜), S2(1.0~2.25㎜)에 대하여 1차년도 실험결과를 바탕으로 적정대체율 20%로 Pilot Plant를 이용하여 제품 생산하였으며, 모르터 제작 후 굳지 않은 상태에서의 플로우, 단위용적중량, 공기량, 경화성상에서 압축강도, 길이변화 등을 평가함으로서 Pilot Plant를 이용한 미장용 모르터의 물성을 미장용 모르터 제품과 비교·검토하였다. 또한, 건조모르터 배합은 바인더에 대한 잔골재의 비율을 1:3.9로 하였으며, 비빔수량은 KS L 5220 「건조 시멘트 모르터」의 플로우 측정방법으로 100±5% 범위에 들도록 혼합수의 양을 조절하여 실험을 실시하였다.



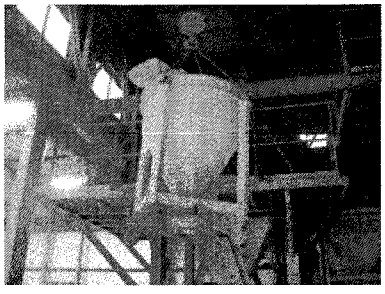
1. Pilot Plant Mixer



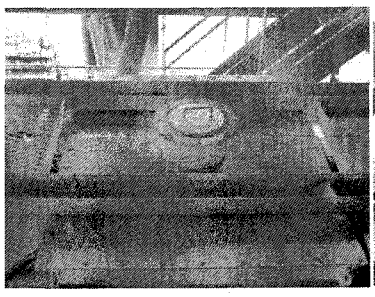
2. 미니사일로에 골재계량투입(S1,S2)



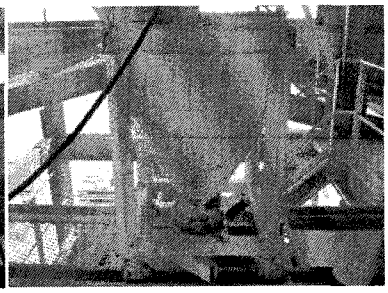
3. 미니사일로에 시멘트계량투입



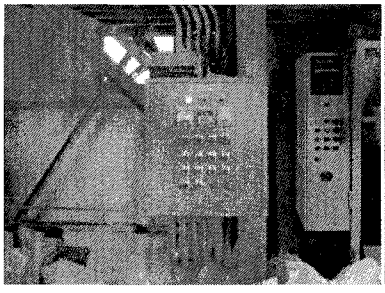
4. 미니사일로 믹서투입구이송



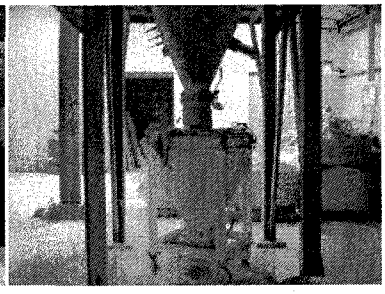
5. 믹서상부(재료투입구)



6. 미니사일로 믹서장착



7. 믹서 컨트롤판넬



8. 믹싱 후 제품배출



9. 미니사일로에서 tonbag으로 포장

[사진 3.8.2] Pilot Plant 제조공정

(1) 사용재료 및 배합

본 실험에서 사용한 시멘트는 국내 H사 제품의 밀도 3.15g/㎤ 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 배합표는 아래와 같다.

<표 3.8.2> 실험배합

| | OPC | Sand | | | | 혼합재 | 증점제 | 총량 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S1 | S2 | 순환1 | 순환2 | | | |
| wt./。 | 18.8 | 44.88 | 14.08 | 11.22 | 3.52 | 7.5 | 0.009 | 100 |

* W/M : Water/Dry Mortar

(2) 시험방법

본 연구에서 건조모르터의 비빔은 용량 3ℓ의 ELE 모르터 전용믹서를 사용하였고, 혼합방법은 혼합수를 먼저 넣고 건조모르터를 15초간 전량 투입한 후 1속에서 45초간 혼합한 후 1분 정치 후에 2속으로 30초간 혼합하였다. 또한 각각의 시험은 KS L 5220 「건조시멘트 모르터」 규준에 준하여 실시하였으며, 해당 KS기준은 다음과 같다.

<표 3.8.3> 일반미장용 건조 모르터의 물리성능

| 구 분 | 압축강도(kgf/㎠) | | 보수성 (wt./。) | 공기량 (Vol.%) | 모래의 함량(wt./。) (0.15㎜체 잔분) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 7일 | 28일 | | | |
| 일반미장용 | 70이상 | 100이상 | 70이상 | 27이하 | 78이하 |

(3) 실험결과

(가) 굳지 않은 성상

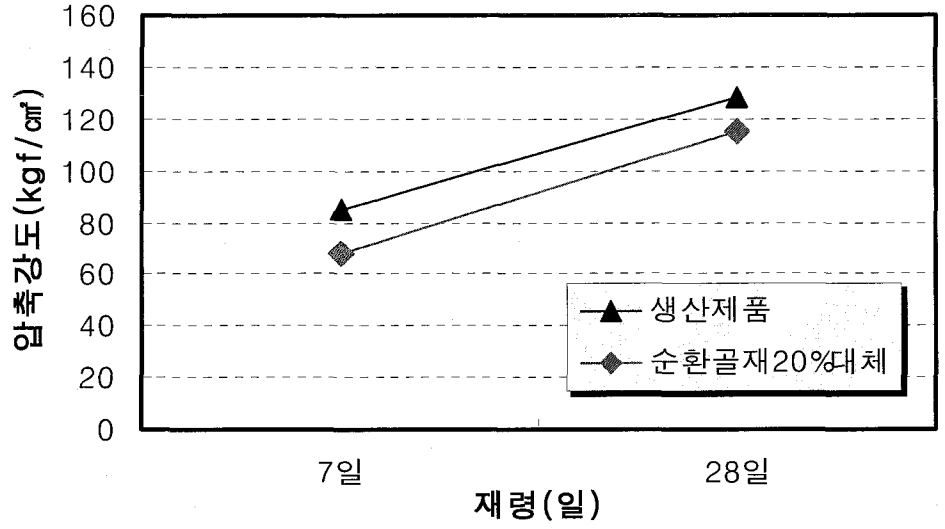
현장시공 시 요구되는 목표 플로우 100%를 만족하기 위한 물 결합재비(W/B)는 기존 제품의 경우 18%, 순환골재 20% 대체한 경우 21%가 소요되는 것으로 나타났으며, 이는 각 골재의 흡수율이 1.85와 6.37%로 순환골재의 흡수율이 높기 때문인 것으로 판단된다. 단위용적중량의 경우 1,950, 1,912g/㎤로 순환골재를 대체한 경우 낮게 나타났으며, 공기량의 경우 19, 23%로 순환골재를 대체한 경우 4%정도 높게 나타났다. 이러한 결과는 각 골재의 밀도의 차이에 의한 것으로 판단된다.

<표 3.8.4> 제품별 물리적 성질

| | W/B(%) | 플로우(%) | 단위용적중량(g/㎤) | 공기량(%) |
|---|---|---|---|---|
| 미장용 모르터 제품 | 18 | 100 | 1,950 | 19 |
| 순환골재 20%대체 | 21 | 100 | 1,912 | 23 |

(나) 경화 성상(압축강도)

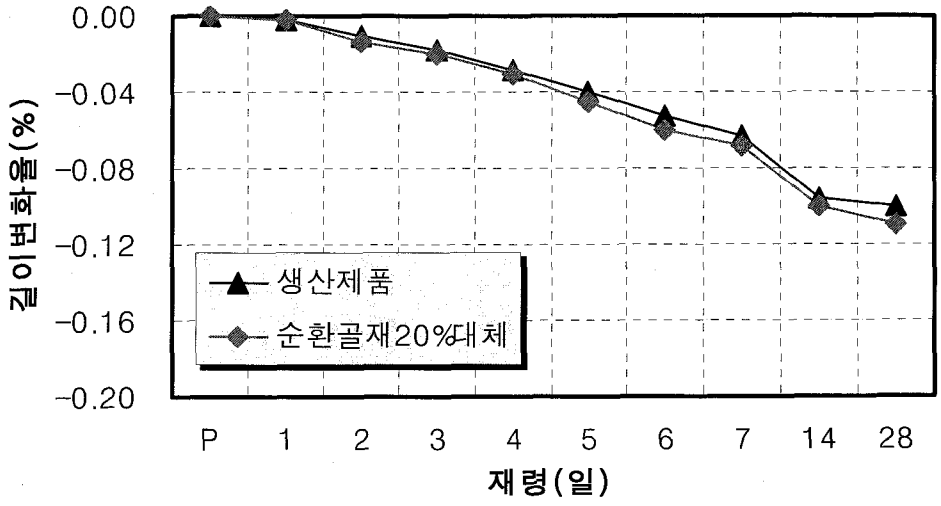
재령별 압축강도 측정결과, 재령 28일에서 생산제품과 순환골재 20% 대체한 제품이 각각 128, 115kgf/㎠로 KS L 5220 기준에는 만족하는 것으로 나타났으나, 순환골재 20% 대체 시 당사 제품 성능대비 약 10~20%의 강도저하가 나타났으며, 이는 순환골재를 대체할 경우 공기량의 증가에 의한 것으로 판단된다.




[그림 3.8.7] 재령에 따른 제품별 압축강도

(다) 경화성상(길이변화율)

제품별 길이변화율을 측정한 결과, 생산제품과 순환골재 20% 대체하여 생산된 제품이 재령 28일에서 각각 -0.10, -0.11%로 순환골재를 대체한 경우 수축률이 약간 증가하는 것으로 나타났지만 그 차이가 미비하여 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.




[그림 3.8.8] 재령에 따른 제품별 길이변화율

(라) 결 론

Pilot Plant를 이용하여 최적 대체비율인 순환골재 20%를 적용한 미장용 건조모르터를 생산하여 생산된 제품과 기존 생산제품을 비교·검토한 결과, 재령 28일 압축강도는 기존 생산제품에 비해 순환골재를 20%를 적용한 경우에 비해 약 10~20%의 강도저하가 나타났다. 하지만, KS L 5220 「건조 시멘트 모르터」 기준에는 만족하는 것으로 나타났다.

길이변화율의 경우 순환골재를 대체한 경우 길이변화 수축율이 소폭 증가하였으나 그 차이는 미비하여 거의 유사한 것으로 나타났다. 또한 순환골재 반입 시 균일한 품질의 골재입도를 가져야 하며, 지대 제품 생산시 순환골재(2.30g/㎤)의 밀도가 일반골재(2.55g/㎤)에 비해 낮아 부피의 증가로 제품지대의 파대 발생이 예상됨에 따라 다량첨가 시 주의가 필요할 것으로 판단되었다.

## 2. 미장용 모르터 및 수열합성 제품 생산용 Pilot plant 시스템 설계

### 가. 개요

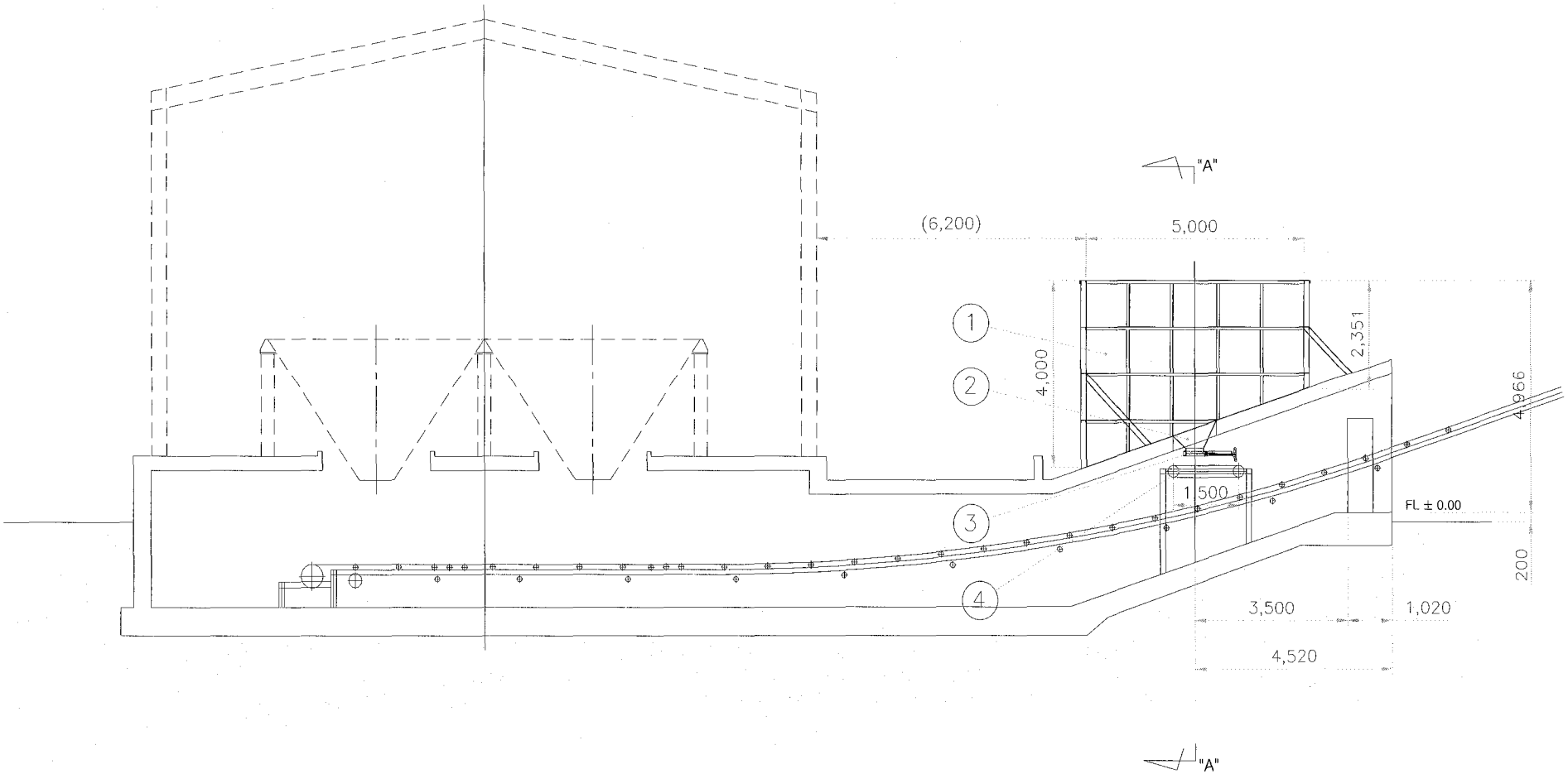
Pilot Plant는 새로운 공법이나 신제품을 도입함에 있어, Commercial Plant를 건설하기 위한 준비단계로 건설되는 소규모의 시험적인 설비이다. 실험실적 연구에서 도출된 결과가 개발단계에서는 규모가 큰 본격적인 설비를 구축하는데 있어 충분한 자료가 얻어지는 않는 경우가 많다. 그러므로 연속적인 공업적 생산을 실현하는 데 필요한 여러 가지 데이터를 확립하여, 생산 플랜트를 설계하는 기초로 하기 위해서 Pilot Plant를 구축하는데, 제조공정의 데이터를 확보함과 동시에 시장진입을 위해 필요한 시작품(試作品)을 생산하는 일도 Pilot Plant 목적의 하나이다. 따라서 본 연구에서는 선행연구 결과인 게발제품의 제조기술 확립을 토대로 하여 Pilot Plant를 설계하여 시작품 제작 및 상용화 연구의 기초적 토대를 제공하고자 하였다.

### 나. 미장용 모르터 생산용 Pilot plant 시스템 설계

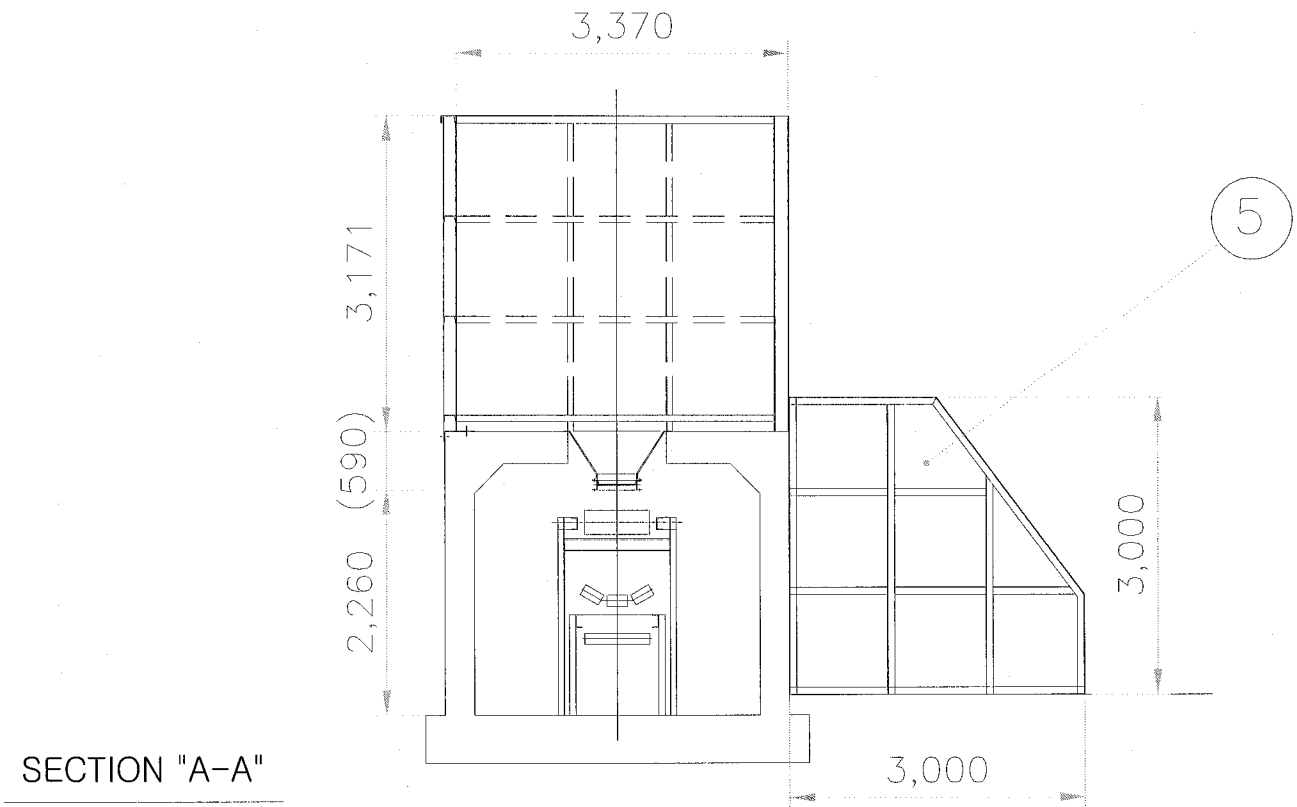
폐콘크리트 세립분을 이용한 미장용 모르터의 Pilot plant의 기본 제조공정은 앞서 기술한 내용에서 최적 설계안으로 채택한 설계안 3을 기반으로 하였다. 순환골재 적용을 위한 필요설비인 잔골재 투입구는 일반골재와 분리시키기 위하여 별도의 Hopper를 설치해야 한다. 이에 따라 순환골재의 Hopper는 일반골재 치장소와 기계동 중앙에 위치시키는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 정량공급장치의 경우 일반골재와 동일하게 Hopper 하부에 설치하는 것으로 설계하였다. 폐콘크리트 세립분을 이용한 미장용 모르터을 적용하기 위한 Pilot plant는 기본 생산용량은 15㎥이며 토출용량은 30ton/h으로 배치 및 각각의 설비 도면은 [그림 3.8.10, 3.8.11]과 같다.

<표 3.8.5> 세부 설비의 용량 및 수량

| No. | PART NAME | SIZE | MAT'L | Q'TY | REMARKS |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | HOPPER | 5000×3370 | SS400 | 1 | PLATE 6t |
| 2 | 내부HOPPER | 950×950 | SS400 | 1 | PLATE 9t |
| 3 | SLIDE GATE | 400×400 | SS400 | 1 | |
| 4 | BELT CON'V | 600W | SS400 | 1 | 80T/H |
| 5 | GUIDE PLATE | 3000×3000 | SS400 | 1 | PLATE 6t |



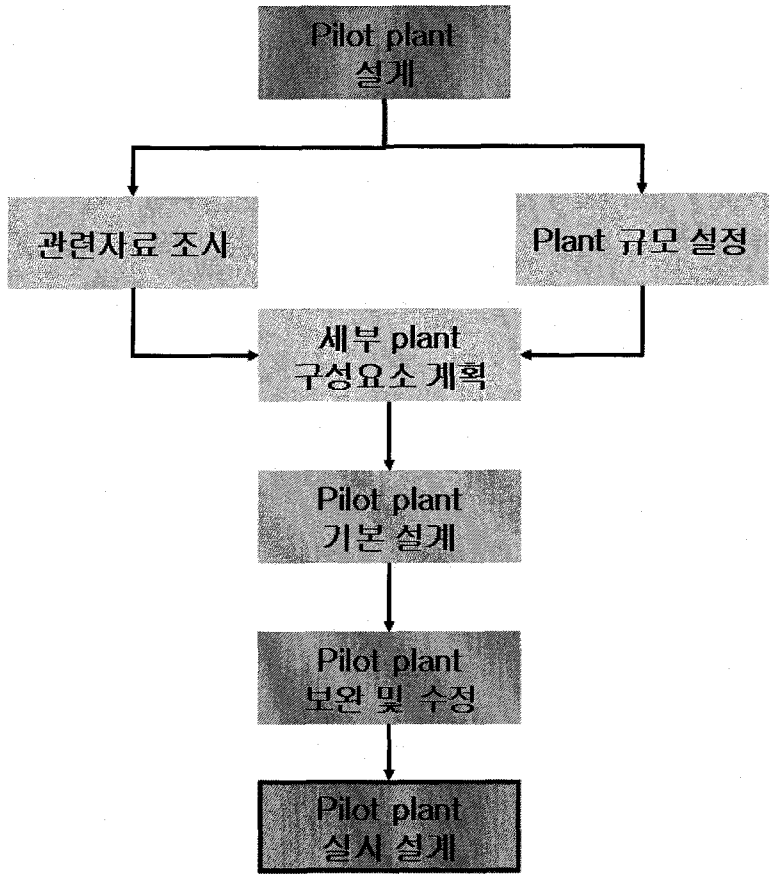

[그림 3.8.9] Pilot plant 종단면도



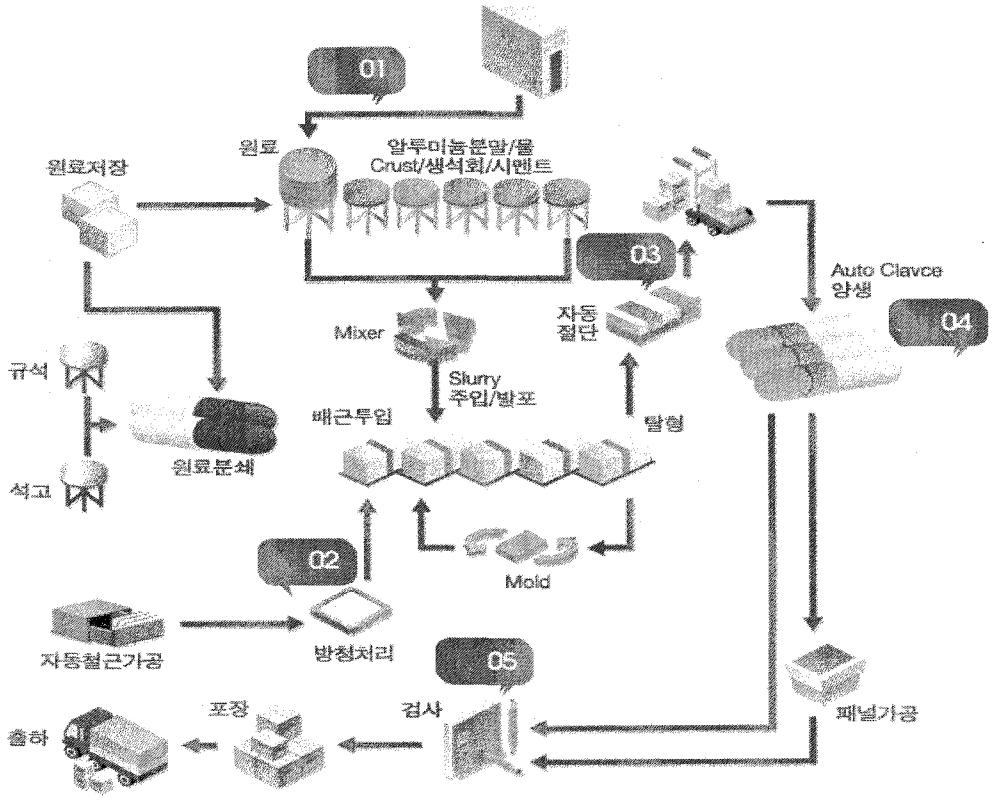

[그림 3.8.10] Pilot plant A-A′ 단면도

## 다. 수열합성 제품용 Pilot plant 시스템 설계

폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록의 제조공정은 기존의 ALC의 공정을 기초로 하여 설계를 하는 것으로 하였다. 기존 ALC 공정은 생석회와 규석을 분쇄한 뒤 물과 알루미늄분말, 시멘트 등과 혼합하여 슬러리로 만든 후 정해진 몰드에 타설한 다음 일정온도에서 전치양생 후 고온고압의 오토클레이브양생을 거쳐 제조된다. 알루미늄 분말을 사용해서 제조되는 ALC는 초기 전치양생에서의 온도에 따라 내부공극을 좌우하는 발포율의 변화가 크게 차이가 난다. 따라서 초기 온도조절관리에 세심한 관리가 필요하다. [그림 3.8.11]은 폐콘크리트 미립분을 이용한 수열합성제품용 Pilot plant 설계의 Process를 나타낸 것이다. [그림 3.8.12]는 ALC의 제조공정을 나타낸 것이며, <표 3.8.6>은 각 공정의 명칭 및 세부설명이다.




[그림 3.8.11] Pilot plant의 설계 Process

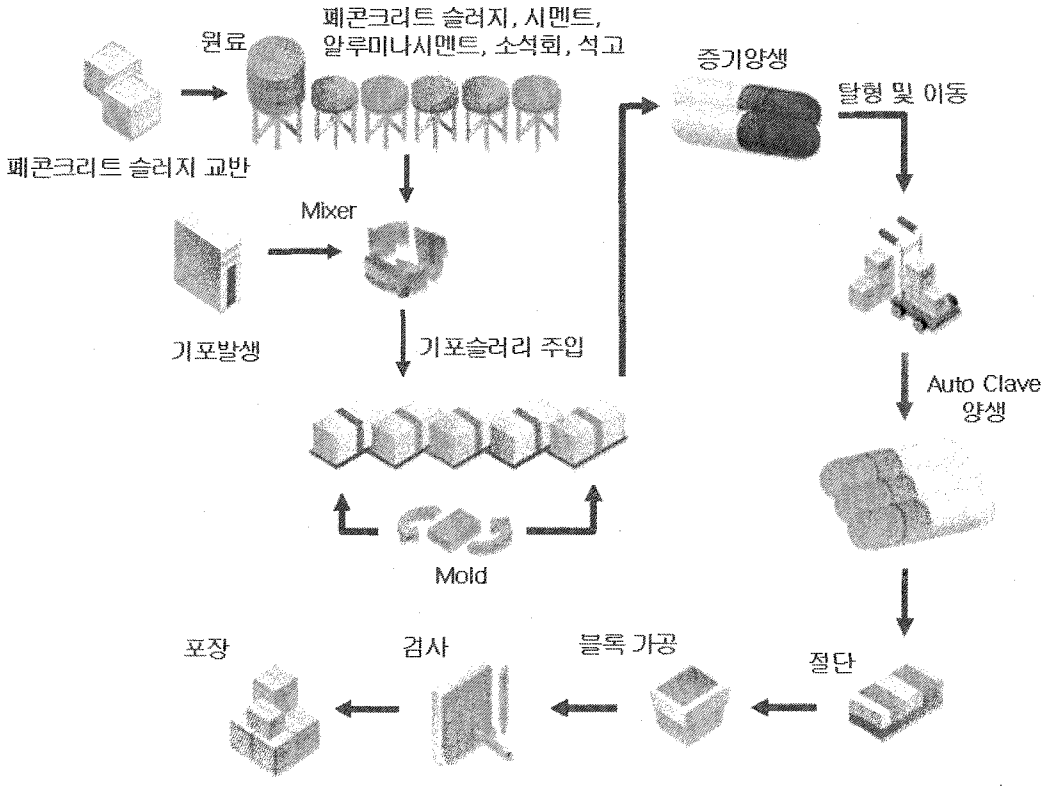



[그림 3.8.12] ALC의 제조공정

<표 3.8.6> 각 공정의 명칭 및 세부설명

| 제조 공정 | 명칭 | 설 명 |
|---|---|---|
| 01 | 원재료 배합 | 기본적인 원료는 물과 배합되어 슬러리 형태로 되며, 여기에 첨가되는 소량의 알루미늄 분말에 따라 완제품의 밀도는 정확하게 조절된다. |
| 02 | 철근배근 및 타설 (블록은 제외) | 패널의 강도 유지를 위해 사용되는 보강철근은 구조계산을 통해 배근되며, 이를 점용접하여 방청처리하여 형틀에 세팅한 후 재료가 배합된 슬러리를 몰드에 타설한다. |
| 03 | 절단 | 몰드 속의 슬러리가 충분히 경화하면 몰드를 해체한 후 절단공정으로 이송하여 절단기기에 의해 필요 용도로 절단한다. |
| 04 | 증기양생 | 절단이 완료된 제품은 고온고압양생기(AUTOCLAVE)로 이송되어, 180℃, 10기압 이상의 조건에서 증기양생을 한다. 이때 제품을 구성하는 규산칼슘수화물은 이러한 일련의 작업과정과 화학반응을 거쳐 제조된다. |
| 05 | 절단 | 증기양생 완료 후 양생기에서 나온 제품은 품질검사를 마친 후 포장하여 출하한다. |

폐콘크리트 미세립분을 이용한 경량기포콘크리트 제조공정은 규산질 원료로 사용되는 폐콘크리트 슬러지를 기타 재료와 혼합이 용이하도록 먼저 Agitator를 통해 유동성이 원할한 슬러리 상태로 만든 후 규사분과 시멘트, 석고 등 기타재료로 믹서에 2차 혼합을 한다. 그 후 사전에 선정한 경량기포콘크리트의 밀도에 맞게 발포기를 통해 제조된 기포를 적당량 섞은 뒤 정해진 몰드에 타설한 뒤, 전치양생, 증기양생을 거쳐 고온 고압의 증기양생을 거쳐 제조된다. 양생이 종료된 경량기포콘크리트는 자연 건조를 시킨 뒤 몰드와 접촉한 면의 불균질한 표면의 연마처리, 브러싱, 및 절단 과정을 거쳐 제조가 완료된다. [그림 3.8.13]은 폐콘크리트 미세립분을 이용한 경량기포콘크리트의 제조공정을 나타낸 것이다.




[그림 3.8.13] 폐콘크리트 미세립분을 사용한 경량블록 제조공정

폐콘크리트 미세립분을 이용한 경량블록의 제조과정이 기존 ALC와 크게 다른 제조공정은 밀도 및 강도 조절을 위해 투입되는 기포제조공정과 전치양생공정이다. <표 3.8.7>은 ALC와 본 연구에서 개발하고자 하는 경량블록의 제조공정의 차이를 나타낸 것이다.

<표 3.8.7> ALC와 WCS를 이용한 경량기포콘크리트의 제조공정의 차이점

| 구분 | ALC | WCS를 이용한 경량기포콘크리트 |
|---|---|---|
| 기포제조공정 | 시멘트 슬러리 내에 알루미늄분말, 등 기타 발포제를 혼합하여 화학반응에 의해 발생되는 가스에 의해 발포하는 방법이다. | 발포기의 압축공기로 미리 발포시킨 기포를 시멘트 슬러리에 혼합하는 방법으로 기포의 양을 조절하기 쉽고 현장발포가 용이한 방법이다. |
| 전치양생공정 | 몰드 타설 후 초기 발포를 위해 50~60℃ 정도에서 양생을 실시하여 경화시간을 단축한다. | ALC공정에 비해 초기양생 및 경화가 늦어, 증기양생을 실시하여 경화시간을 단축한다. |

(1) Pilot plant 계획 및 설계

이상과 같이, 본 연구에서 제조하고자 하는 경량기포콘크리트와 ALC와의 제조공정 및 차이점에 대해서 알아보았다. 본 연구에서는 사전 조사 및 실험실에서 실시한 제조공정을 바탕으로 수열합성제품용 Pilot plant 설계를 위해 기본적인 제조공정을 토대로 하여 공정의 Flow process를 계획하는 것으로 하였다.

Pilot plant는 상업시설설비와는 달리, 장소 및 설비의 제약으로 인해 규모 및 제조공정이 제한적일 수밖에 없다. 따라서 폐콘크리트 미립분을 이용한 수열합성제품 Pilot plant의 기본설계 개념도 위의 상황을 고려하여 Pilot plant 설계를 계획하였으며, 순환식 공정으로 시스템을 설계하는 것으로 하였다.

폐콘크리트 미립분을 이용한 수열합성제품 생산을 위한 Pilot plant는 시작품 생산규모를 최대 1일 2㎥을 생산할 수 있는 것으로 하였다. Pilot plant의 공정설계에 있어서 가장 중요한 부분은 경량기포콘크리트를 제조하는 믹서와 증기양생 그리고 오토클레이브 그리고 최종 생산된 제품의 절단 및 가공설비이다. 따라서 본 Pilot plant의 공정설계는 앞에서 기술한 주요공정을 바탕으로 부가적인 공정을 믹서를 중심으로 재료의 저장 및 계량과정을 거쳐 믹서에 혼합된 뒤 기포슬러리를 전치, 증기, 오토클레이브 양생과정을 거쳐 후속공정으로 이어질 수 있도록 주요공정을 중앙에 배치하여 공정을 설계하였다.

재료의 저장과 혼합을 위해서 5개의 분체계 재료저장고와 2개의 액상계 재료저장고, 그리고 이들 재료를 혼합할 수 있도록 500ℓ의 회전식 드럼믹서를 구성하였다. 또한 시작품 제작을 위한 기본몰드의 사양은 (W×D×H) 1.5M×0.6M×0.7M로 하였다. 이러한 몰드 설계는 믹서 용량 및 오토클레이브의 높이 및 폭을 고려하여 계획하였

다. 증기 양생기 또한 기본적인 몰드사양을 고려하여 동시에 2개의 몰드를 양생할 수 있도록 고려하였다. 오토클레이브 양생은 수열합성제품의 제조에 있어서 가장 중요한 설비로서, 선행공정에서 제조된 몰드를 수용할 수 있는 규모로 하여 직경 1.0M, 길이 3M로 계획하였다. 고온고압양생이 종료된 시작품은 표면처리 및 규격화를 위해 일련의 가공과정을 거치게 되는데, 이때 사용되는 설비로는 시작품을 정해진 크기로 절단할 수 있는 톱이 장착된 설비와 몰드와 붙은 면의 표면가공을 위한 설비 설계를 계획하였다.

(2) 공정별 세부 사항 및 기초 설계 자료

(가) 분체계 재료 및 슬러지 저장고

- 구축설비 : 사일로4개, 저장고 1개
- 대상 재료 : 폐콘크리트 슬러지, 시멘트, 알루미나 시멘트, 소석회, 석고
- 설비 제원

■ 폐콘크리트 슬러지 가공설비 : 재료의 저장 및 교반(슬러리화), 습식체가름, 이송

| 설비 | 야적 | 습식분쇄 | 체가름 설비 | 저장 설비 |
|---|---|---|---|---|
| 방식 | 우수 차단식 | 볼밀 | | |
| 용량 | 100㎡ | 1시간 150kg 이상 | | |
| 이송 설비 | 로더(벌크팩) | 컨베이어 | 하향식 | |
| 크기 | - | 850×1050×1600 이상 | | |
| 공정 | Yard stock (A) → Wet grinding (B) → Sieving (C) → Storage (D) | | | |
| | A : 폐콘크리트 슬러지의 반입 및 야적<br>B : 기타 재료와의 원활한 혼합을 위해 슬러리화 시킴<br>C : 불순물 제거 및 반응성 향상을 위한 체가름 실시<br>D : 전용 저장고에 저장 | | | |

■ 저장 사일로

<표 3.8.8> 분체계 저장고 설비 제원

| 구분 | 대상재료 | 방식 | 용량 | 토출능력 | 외형 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 분체계 | 시멘트<br>알루미나 시멘트<br>소석회<br>무수석고 | 사일로 | 3TON<br>1TON<br>1TON<br>1TON | 스크류타입<br>(100kg/min) | | |
| 액상계 | 폐콘크리트 슬러지 | 탱크 | 3TON | 펌프압송 | | |

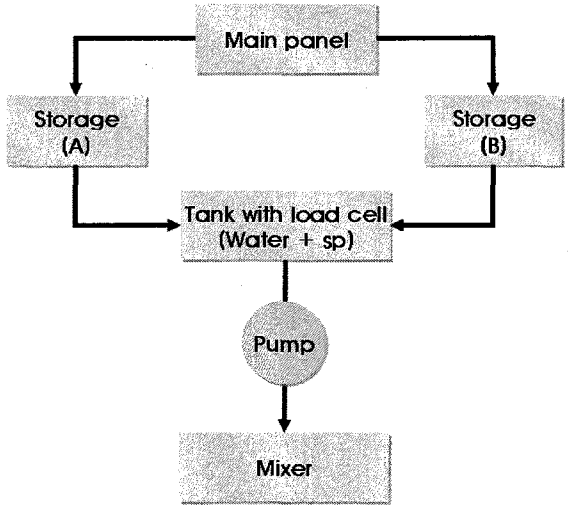
(나) 액상계 저장고(배합수, 고성능 감수제)

- 구축설비 : 교반형 탱크
- 대상재료 : 물, 고성능감수제
- 설비제원 : <표 3.8.9> 참조

<표 3.8.9>. 액상계 저장고 설비 제원

| 설비 | 방식 | 용량 | 이송능력 | 크기 | 흡토출경 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 탱크 | - | 2㎥ | - | - | - | FRP 저장탱크 |
| 펌프 | 자흡자동식 | | 1,800ℓ/hr | | 3/4“ | 정격출력 250 |
| 교반기 | 저속교반 | | | | | |

- 세부공정 Process




A : 고성능감수제 저장탱크
B : 배합수 저장탱크

공정 Process

- 메인패널에서 배합에 필요한 물과 감수제량을 입력한 뒤 펌프를 통해 loadcell이 부착된 탱크에 저장된다.

(다) 계량장치

- 구축설비 : 중량계량장치
- 사용재료 : 고성능감수제가 혼합된 배합수
- 설비제원 <표 3.8.10> 참조

<표 3.8.10> 공정 C103의 설비 제원

| 설비 | 방식 | 용량 | 이송능력 | 크기 | 흡토출경 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 펌프 | 자흡자동식 | 최대양수량<br>5,400ℓ/hr | 정격출력<br>1HP<br>흡상고 5m<br>압상고 15m | 중량<br>25.2KG | 흡입(40mm)<br>토출(32mm) | 유량센서로<br>정압운전 |

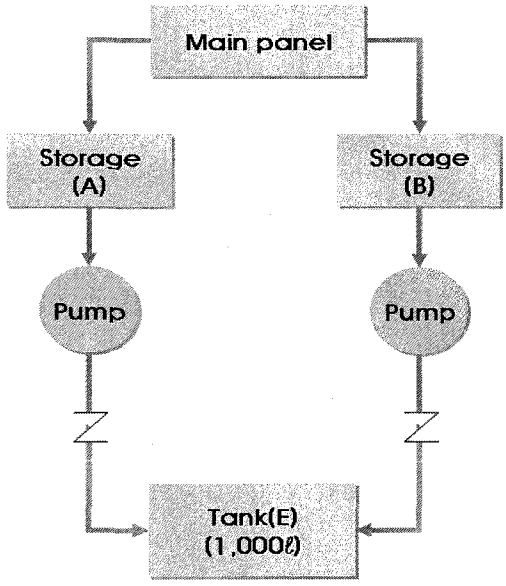
(라) 기포액 저장고

- 구축설비 : 배합수와 기포발생을 위한 기포액 저장탱크
- 사용재료 : 배합수, 기포제(경량블록용)
- 설비제원 : <표 3.8.11> 참조

<표 3.8.11> 기포액 저장고 설비 제원

| 설비 | 탱크(물) | 탱크(기포제) |
|---|---|---|
| 방식 | FRP 저장탱크 | FRP 저장탱크 |
| 용량 | 1000ℓ | 200ℓ |
| 이송능력 | - | - |
| 크기 | (W×D×H) 1.5×0.75×1.0m | (D×H) |
| 흡토출경 | 입구(25㎜), 출구(40㎜) | - |
| 비고 | 정압펌프 설치 | 좌동 |

- 세부공정 Process




A : 물탱크
B : 기포제 탱크
Pump : 정압펌프
Z : 체크밸브
E : 물과 기포제가 혼합된 탱크

공정 Process

- 메인패널에서 Storage(A, B)에 연결되어 설치된 Pump의 Capasity에 따라 미리 계산된 회전수 당 토출량을 기초로 하여 투입량을 입력하면 펌프를 통해 Tank(E)에 물과 기포제가 동시에 투입된다.

(마) 기포발생기

- 구축설비 : 기포발생기
- 사용재료 : 물, 기포제
- 설비제원 : <표 3.8.12> 참조

<표 3.8.12> 기포발생기 설비 제원

| 설비 | 발포관 | 동력분무기 | 탱크 |
|---|---|---|---|
| 방식 | 상향방식 | 단상전동 모터형식 | PE 저장탱크 |
| 용량 | 2~3ℓ/sec | 분무(11.4~15.2ℓ/min) | 100ℓ |
| 크기 | ∅75, 길이 100cm | | |
| 흡토출경 | 흡입(8㎜), 토출(42㎜) | 55㎝×37㎝ | 입출구(25㎜) |
| 비고 | | - | |

(바) 기포계량

- 구축설비 : 용적계량장치
- 사용재료 : 기포
- 설비제원 : 시간에 의한 조절 장치, 제어밸브

<표 3.8.13> 기포계량 설비 제원

| 설비 | 방식 | 용량 | 재질 | 크기 | 흡토출경 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 계량장치 | 자동조절밸브 | | BC, GC, FCD | | - | |

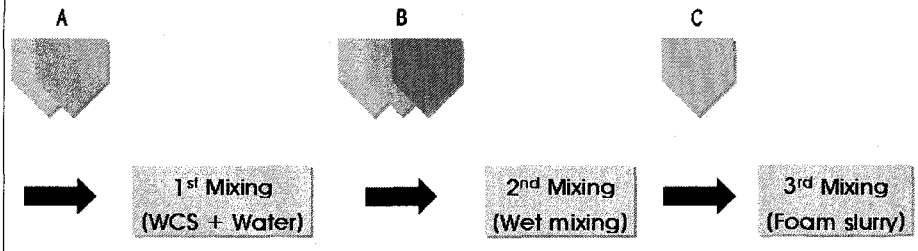
(사) 혼합(믹서)

- 구축설비 : 믹서
- 대상재료 : 보통포틀랜드시멘트, 비정제 석탄회, 알루미나 시멘트, 소석회 석고, 섬유, 물, 감수제, 기포
- 설비제원 : 믹서

<표 3.8.14> 믹서 설비 제원

| 설비 | 방식 | 용량 | 혼합능력 | 크기 | 흡토출경 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 믹서 | 드럼타입 | 0.57㎥ | 7HP | D :778<br>L : 1200㎜ | D : 200 | • 믹서 블레이드는 리본타입<br>• 혼합속도 조절 가능<br>• 믹서는 자체 기울기 조절 가능 |

- 세부 도면 : 첨부도면 참조
- 혼합방법

| 혼합 순서 | 비고 |
|---|---|
|  | 기포 투입 후 습식 혼합 1~2분 후 타설 |
| A : 폐콘크리트 미립분, 물, SP<br>B : 분체계 재료(시멘트, 알루미나 시멘트, 소석회, 무수석고)<br>C : 기포 | |

(아) 몰드 타설

- 구축설비 : 성형몰드
- 대상재료 : 몰드(600*1500*700)
- 설비제원

<표 3.8.15> 몰드 설비 제원

| 설비 | 크기 | 갯수 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 몰드 | 600*1500*700 | 8 | • 몰드철판두께 : 5T 이상<br>• 증기 양생 시 부식이 적어야 함<br>• 조립부분에서 슬러리의 누수가 없어야 함 |

- 설비도면 : 첨부도면 참조

(자) 전치양생고

- 구축설비 : 전치양생고
- 대상재료 : 몰드에 타설된 기포콘크리트 슬러리
- 설비제원

<표 3.8.16> 전치양생고 설비 제원

| 설비 | 크기 | 구조 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 전치양생고 | W*D*H<br>(3,000*4,000*2,500) | 경량철골<br>or<br>아연도강관파이프 | • 외기영향을 받지 않도록 건조 및 보온시설 필요<br>• 정온설비 필요 |

- 설비 도면 : 첨도면 참조

(차) 증기양생고

- 구축설비 : 증기양생고, 크레인(호이스트)
- 대상재료 : 전치양생이 종료된 케익상태의 경량기포콘크리트
  (전치양생 중 응결완료)
- 설비제원 : 증기양생조

<표 3.8.17> 증기양생고 설비 제원

| 설비 | 크기 | 구조 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 증기양생고 | W*D*H<br>(3,000*4,000*2,500) | 경량철골<br>and<br>폴리패널 | ▪ 외기영향을 받지 않도록 건조 및 보온시설 필요<br>▪ 정온설비(콘트롤러) 필요 |

- 세부도면 : 첨도면 참조

(카) 오토클레이브 양생

- 구축설비 : 고온고압증기양생 챔버
- 사용재료 : 증기
- 설비제원 : ∅1500, L : 6,000

<표 3.8.18> 오토클레이브 설비 제원

| 설비 | 내부직경 | 총길이 | 높이 | 중량 | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 오토클레이브 | ∅1500㎜ | 6150㎜ | 2,400㎜ | 4,100kg | ▪ 압력조절장치<br>▪ 온도증기자동조절장치 |

- 세부도면 : 생략

(다) 절단기

- 구축설비 : 경화체 절단설비(Band saw)
- 사용재료 : 오토클레이브 후의 경량기포콘크리트 경화체
- 설비제원

<표 3.8.19> 절단 설비 제원

| 설비 | 최대가공높이 | 주축회전속도 | 블레이드 크기 | 테이블 높이 | 모터 |
|---|---|---|---|---|---|
| Bandsaw | 340㎜ | 1,720rpm | 폭: 1″<br>두께 : 3T | 32“ | 2HP |

(파) 표면처리기(표면연마)

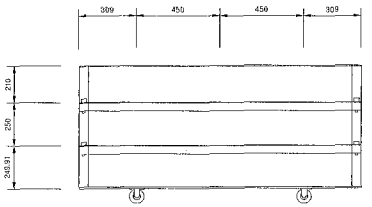
- 구축설비 : 표면처리공정
- 사용재료 : 경화체
- 설비제원

<표 3.8.20> 표면처리 설비 제원

| 설비 | 방식 | 특징 | 전압 | 크기 | 능력 |
|---|---|---|---|---|---|
| 표면연마 | 연마석, 브러쉬 | - | - | W*D*H<br>(900*3,000*1,000) | - |
| 진공흡입기 | 건/습식 모터 | 진공도<br>2,700㎜Hg | 220V/60Hz<br>이상 | 700*1120*1100 | 104ℓ/3,600ℓ |

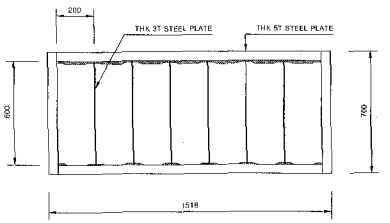
- 공정도면 : 도면 참조

# 경량블록 & 정수용 필터 제조용 몰드



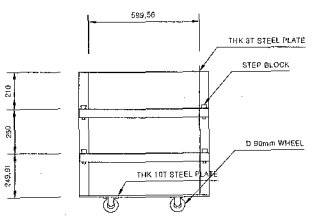

FRONT ELEVATION

SCALE : NONE




FLOOR PLAN

SCALE : NONE

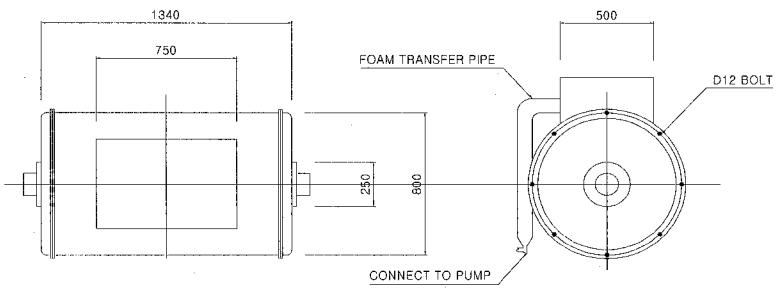



SIDE ELEVATION

SCALE : NONE

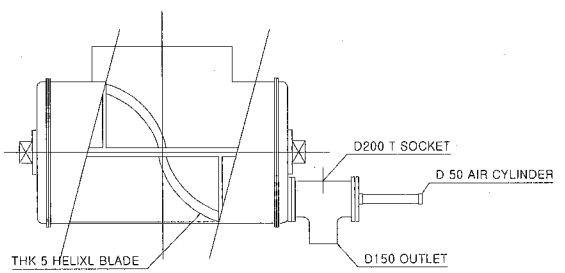
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGN/CONSTRACTOR | | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>경량블록 & 정수용 필터 제조용 몰드 | | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>PLAN / ELEVATION | | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAW ING NO. | SHEET NO. | REV. |
| | NONE | | - | |

# 경량블록 & 정수용필터 제조용 리본믹서



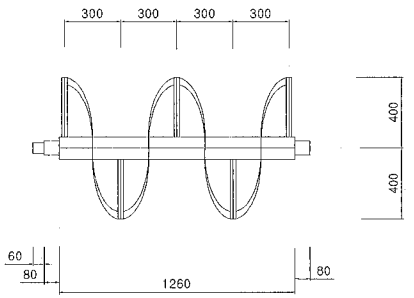

FRONT ELEVATION

SCALE : NONE



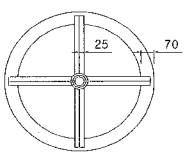

SIDE ELEVATION

SCALE : NONE




DETAIL 1

SCALE : NONE

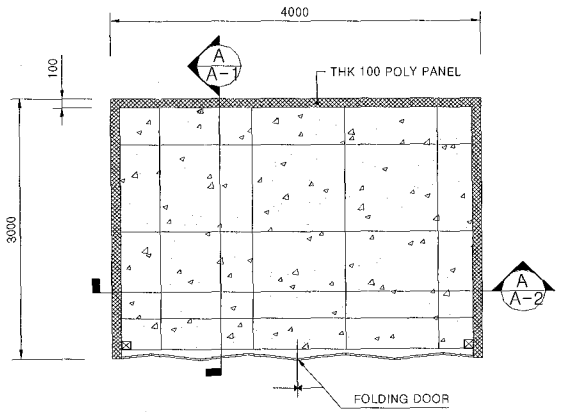



DETAIL 2

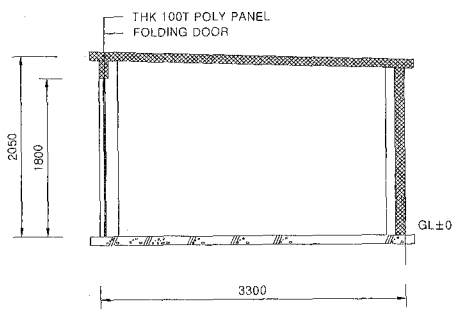
SCALE : NONE

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGN/CONSTRACTOR | | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>경량블록 & 정수용필터 제조용 리본믹서 | | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>PLAN / SECTION /DETAIL | | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAWING NO. | SHEET NO. | REV. |
| | NONE | | - | |

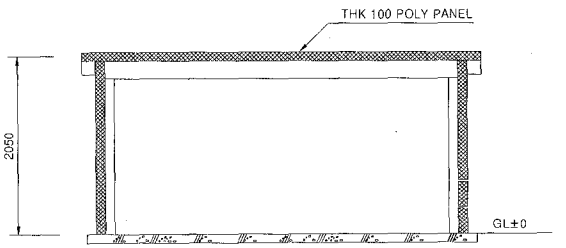
# 경량블록 & 정수용 필터 제조용 전치 양생고



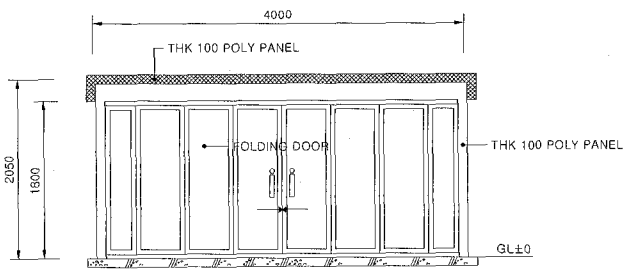

FLOOR PLAN
SCALE : NONE




A-1 SECTION
SCALE : NONE



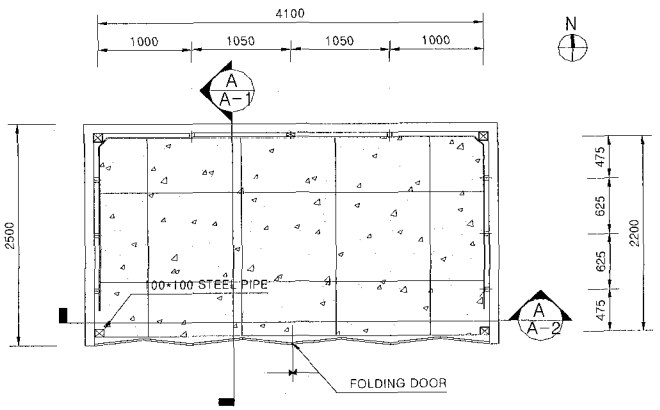

A-2 SECTION
SCALE : NONE




FRONT ELEVATION
SCALE : NONE

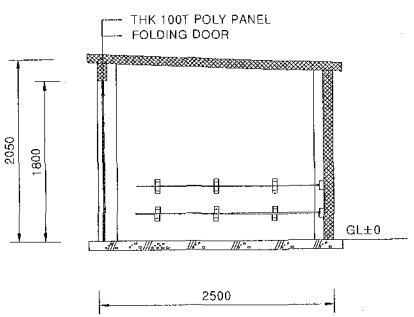
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGNER/CONSTRACTOR | | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>경량블록 & 정수용 필터 제조용 전치 양생고 | | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>PLAN / SECTION / ELEVATION | | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAWING NO. | SHEET NO. | REV. |
| | NONE | | - | |

# 경량블록 & 정수용 필터 제조용 증기 양생고



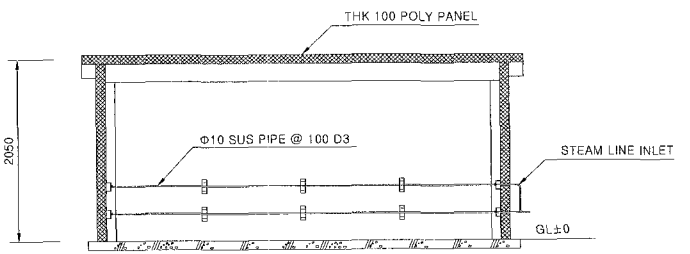

FLOOR PLAN

SCALE : NONE



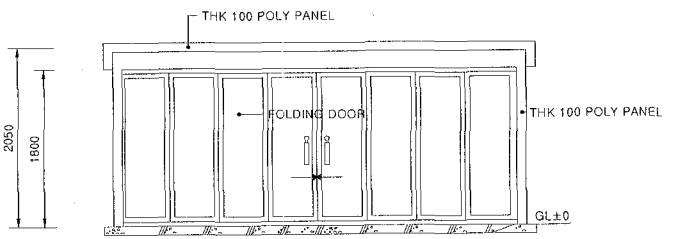

A-1 SECTION

SCALE : NONE




A-2 SECTION

SCALE : NONE

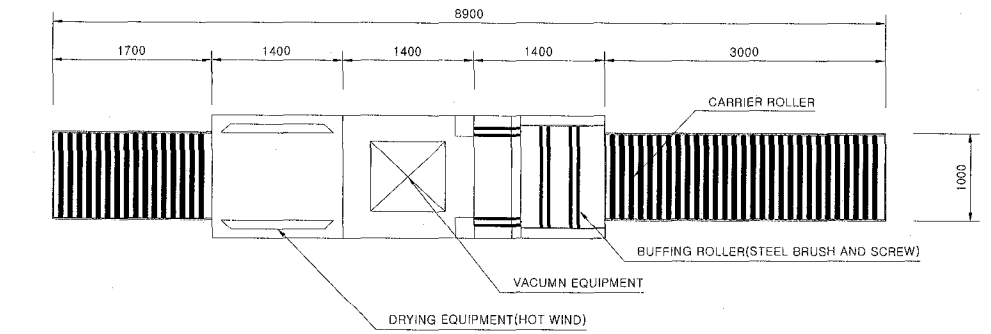



FRONT ELEVATION

SCALE : NONE

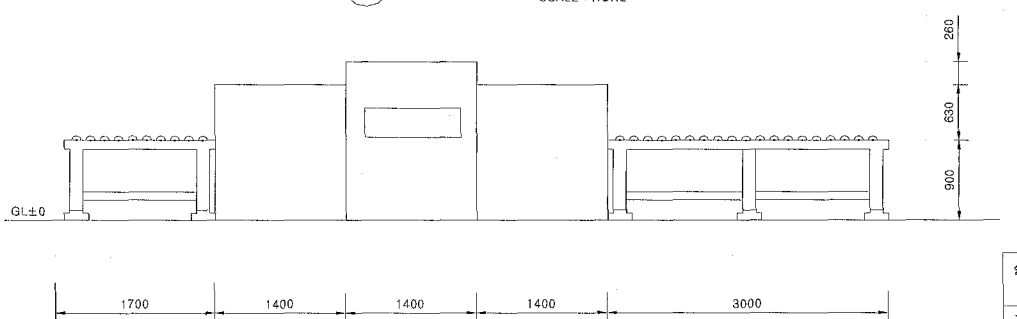
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGN/CONSTRACTOR | | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>경량블록 & 정수용 필터 제조용 증기 양생고 | | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>PLAN / SECTION / ELEVATION | | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAWING NO. | SHEET NO. | REV. |
| | NONE | | - | |

# 경량블록 & 정수용 필터 제조용 표면 연마기




FLOOR PLAN

SCALE : NONE

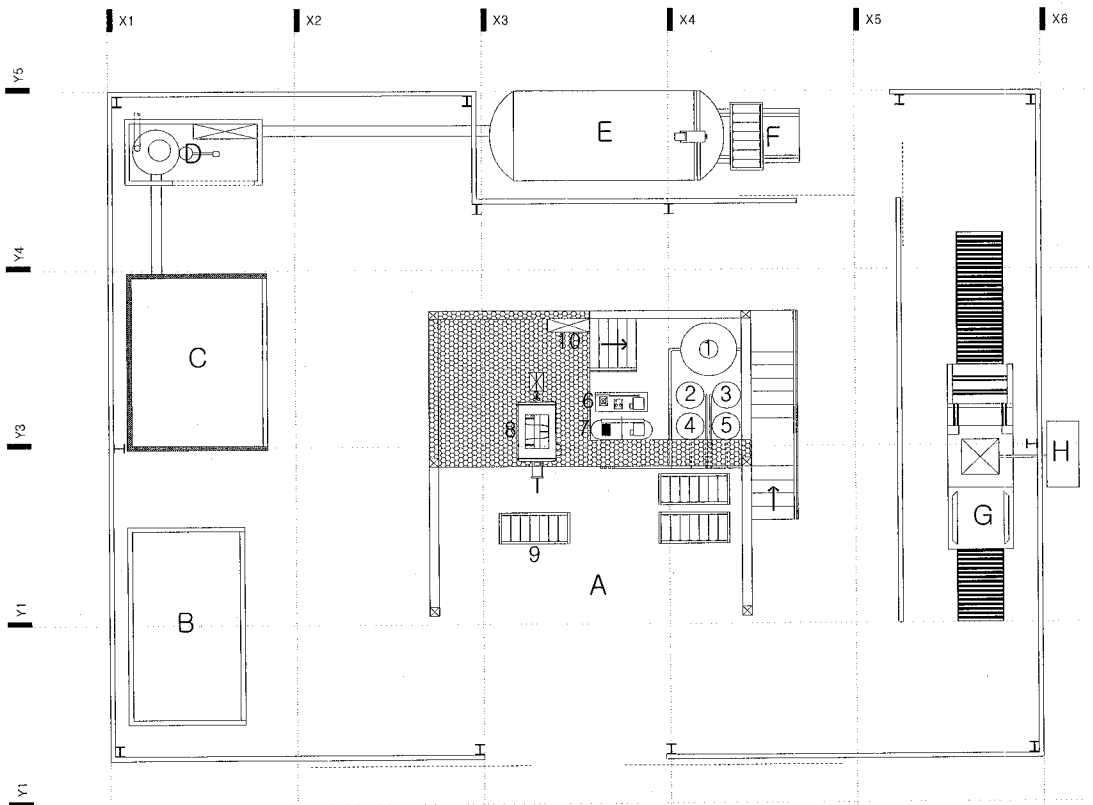


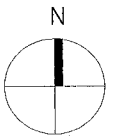

FRONT ELEVATION

SCALE : NONE

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGN/CONSTRACTOR | | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>경량블록 & 정수용 필터 제조용 표면 연마기 | | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>PLAN / ELEVATION | | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAW ING NO. | SHEET NO. | REV. |
| | NONE | | - | |

# Pilot plant 배치도




- A.Main
- B.전치양생고
- C.증기양생고
- D.기계실
- E.오토클레이브
- F.운반레일
- G.표면처리장치
- H.Back filter

- 1.배합수 탱크
- 2.기포제(AES)저장탱크
- 3.기포제(FP)저장탱크
- 4.감수제 저장탱크
- 5.Extra
- 6.동력혼입장치
- 7.콤프레셔
- 8.리본 믹서
- 9.몰드
- 10.컨트롤 패널

| | | | |
|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGNER/CONSTRACTOR | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>Pilot plant 시스템 설계 | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>Pilot plant 배치도 | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAWING NO. | SHEET NO. / REV. |
| | NONE | | - |

## 3. 기존 Plant를 이용한 시험생산

### 가. 배경 및 목적

선행연구결과를 바탕으로 시작품을 제조할 경우에는 우선적으로 실험실에서의 제조 및 배합조건을 바탕으로 시작품을 제조하게 된다. 하지만 시작품의 제조량 증가로 인한 시멘트계 재료의 급격한 수화열 및 작업성 저하와 함께 일정한 온도가 유지되는 연구실 제조조건과는 달리 온, 습도 유지 변화에 따라 시작품의 성능이 변할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 실험실에서 제조한 개발제품을 실제적인 Plant를 갖춘 제조업체에서 제조하여 시험생산에 따른 제조공정의 파악 및 문제점 등을 분석하여 후속연구의 기초적 자료의 토대로 이용하고자 한다.

### 나. 폐콘크리트 세립분을 이용한 미장용 모르터의 시험생산

미장용 모르타르의 시험생산은 기존의 골재투입구 중 하나를 비우고 순환골재 투입하여 기존 공정을 통해 생산할 예정이었으나, 실제 적용하기 위해서는 원재료 및 제품 저장 사일로를 비워야 하기 때문에 실제 골재투입구를 비우고 생산을 해도 공장생산 여건상 정량의 순환골재가 적용된 제품을 얻기 힘들다. 이러한 이유로 순환골재를 적용하기 위해서는 순환골재를 연구소에서 건조, 선별과정을 거쳐 각 배치별 첨가량을 수계량하여 공장 제조생산 시 수동 투입하여 생산하였다. 생산공정은 조치원공장과 동일하며 각 공정별 사진은 [사진 3.8.3]과 같다.

순환골재의 밀도는 약 2.3g/㎤로 일반골재 밀도 약 2.6g/㎤에 비해 낮아 지대포장 시 파대의(부피증가로 인한 포장지대 터짐현상) 우려가 있었으나, 실제 생산 시 문제가 없는 것으로 나타났다. 또한 사용한 폐콘크리트 세립분(순환 잔골재)는 (주)그린환경에서 생산한 것을 사용하였다.

(1) 사용재료 및 배합

본 시험생산 시 사용된 시멘트는 H사 제품의 밀도 3.15g/㎤의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 일반잔골재와 G사의 순환잔골재를 사용하였다. 또한 실험 배합은 2차년도 연구결과를 바탕으로 건조모르터 제조설비를 이용하여 순환골재 세립분을 사용한 미장용 모르터와 기존 생산 제품과의 물성을 비교하여

최적 대체율 20% 선정하여 생산하였다.

(가) 생산제품명: 일반미장용 레미탈

(나) 생산일자 : 2008. 7. 23

(다) 생 산 량 : 4ton(40kg 지대 100포)

(라) 생산배합비 :

| | OPC | Sand | | | | 혼합재 | 증점제 | 총량 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | S1 | S2 | 순환1 | 순환2 | | | |
| wt./。 | 18.8 | 44.88 | 14.08 | 11.22 | 3.52 | 7.5 | 0.009 | 100 |

* W/M : Water/Dry Mortar

(바) 순환골재 소요량 : 약 1ton (건조 후 선별하여 약 600kg 소요됨)

(사) 포　장 : 40kg 지대포장

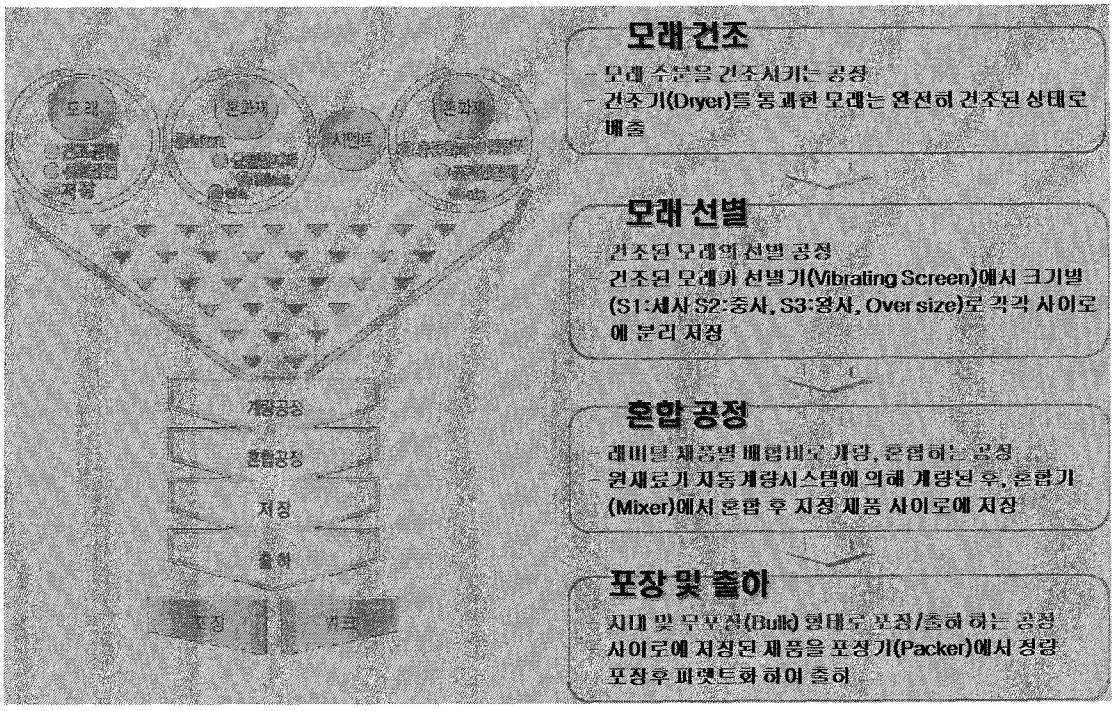
(아) 생산공장 : 한일시멘트 가야공장

(자) 운반장소 : 충남 천안시 부대동 275번지 학생생활관 공사현장

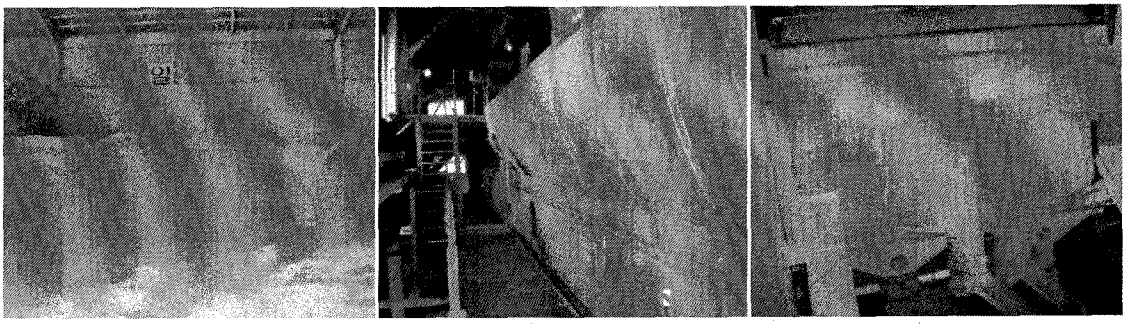
(차) 운반일시 : 2008. 8월 중

(2) 생산공정

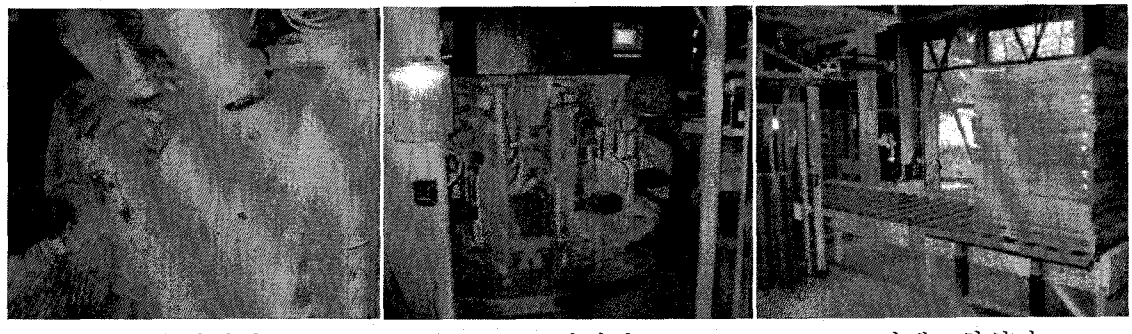
본 생산공정은 기존의 건조모르터 제조설비 공정을 토대로 실시하였으며, 일반 미장용 모르터 생산공정에 정량공급장치를 사용하여 일반 잔골재와 순환잔골재를 분리하였다.




[그림 3.8.14] 건식모르터 제조공정



1. 골재치장　2. 건조설비　3. 선별, 계량설비



4. 혼합설비　5. 포장설비　6. 파렛트화설비

[사진 3.8.3] 미장용 모르타르 제조공정(한일시멘트 가야공장)

(3) 결론

순환골재를 사용한 미장용 모르타르의 현장적용을 위한 시험생산 결과, 수동투입으로 순환골재의 정량투입이 가능하였으며, 제품 지대포장 공정시 순환골재의 낮은 밀도(약 2.3g/㎤)로 인한 지대포장 파대현상은 나타나지 않아 미장용 모르타르 제품에 순환골재 20% 대체 적용, 생산 가능함을 확인하였으며, 생산 제품품질에 대한 실현장의 추가적 확인 절차가 필요하다.

## 다. 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록 시험생산

실험실적 연구결과를 바탕으로 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록 및 정수용 필터의 시험생산을 위해 참여기업인 익성텍(주)에서 시작품을 시험생산 하는 것으로 계획하였다. 본격적인 시험생산일정은 현재 6월 15일 경에 본격적인 시작품의 시험생산을 계획하고 있으며, 본격적인 시험생산 이전에 기존에 설치되어 있는 Pilot plant 설비의 시험가동 및 일차적인 소규모의 시험생산을 하였다. 참여기업인 익성텍(주)에 있는 Pilot plant의 주요설비는 크게 재료저장고, 혼합믹서, 및 기포발생기가 하나의 모듈구조 형태로 되어있는 설비와, 혼합한 재료를 타설하는 몰드, 그리고 전치양생 후 증기양생을 실시하는 증지양생고로 이루어져 있다. 고온고압의 증기양생을 할 수 있는 오토클레이브는 익성텍(주)이 보유하고 있는 설비를 이용하여 시험생산을 실시하였다.

<표 3.8.21> Pilot plant 주요설비

| 품목 | 용량 | 크기 |
|---|---|---|
| 믹서 | 500리터 | 직경 900(㎜) |
| 몰드 | 600리터 | 600*700*1400(㎜) |
| 증기 양생고 | - | 2,500*1,500*1,500(㎜) |

(1) 재료투입

폐콘크리트 미립분을 사용한 경량기포콘크리트블록을 제조하기 위한 주원료는 1종 보통포틀랜드시멘트, 알루미나시멘트, 규사, 무수석고, 소석회와 폐콘크리트 슬러지가 사용되며, 혼화제로는 고성능감수제 및 동물성 기포제가 사용된다.

재료의 투입은 1차적으로 폐콘크리트미립분의 함수율을 측정한 뒤 배합수에서 폐콘크리트 미립분이 함유하고 있는 물의 양을 공제한 뒤 배합수와 고성능감수제와 함께 믹서에 투입 후 혼합한다. 폐콘크리트 미립분이 슬러리 상태가 되었을 때, 시멘트 등의 분체계 재료를 투입 후 페이스트로 상태가 될 때까지 믹서를 교반한다. 페이스트 제조 후에는 내부공극 형성 및 밀도조절을 위해 동물성 기포제를 혼합한 용액을 기포발생기를 사용하여 기포를 형성시켜 믹서에 투입한다.

(2) 기포의 제조방식

경량기포콘크리트는 그 제조방법에 따라 선발포 방식(Pre-foaming method), 후발포 방식(Post-foamingi method) 및 혼합발포방식(Mix-foaming method)이 있다. 선발포 방식은 일반적으로 현장타설용 기포콘크리트 등에 사용되는 기법으로 기포제를 물에 희석한 뒤 기포발생기를 통해 제조된 기포를 시멘트 페이스트와 혼합시켜 제조하는 방식으로 기포의 혼입률에 따라 사용되는 장소 및 요구성능에 따라 밀도조절이 자유롭고 비교적 균일한 독립기포가 분포한다. 그러나 재료의 정확한 배합이 선행되어야 하며, 제조 후 소포현상이 발생할 수 있으며 시공성이 양호하다. 후발포 방식(Post-foaming mehtod)는 슬러리 내에 처음부터 알루미늄분말, 아연분말 등 기타 발포제를 혼합하여 화학반응에 의해 발생되는 가스에 의해 소정의 시간의 경과에 따라 발포하는 방법이다. 여러 발포제가 제안되고 있으나

발포성능, 안정성 때문에 실용화되고 있는 것은 알루미늄분말에 의한 발포로 한정되고 있다. 국내에서의 대표적인 것은 ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)이다. 그 특징은 기포의 제조가 용이하고 밀도의 조절이 발포제의 양에 따라 자유로운 반면에 발포시간 및 발포량의 변동이 심하고 기포의 형상이 발포방향으로 변형이 생기기 쉽다. 또한 알루미늄분말의 강한 발수성의 특징으로 균일한 기포생성의 어려움과 양생조건에 의한 물성의 변화가 크다. 혼합기포방식(Mixed-foaming mehtod)는 계면활성제(AE제) 등을 슬러리에 첨가하여 혼합과정에서 발포시키는 방법으로 혼합시간에 따라 기포량에 큰 차이가 잇고, 도입공기량에 물리적인 한계가 있으며, 밀도 조절이 용이치 않다. 기포는 비교적 균일하게 분포한다.

시험생산을 위해 사용한 기포의 제조방식은 선행연구결과에서 사용한 기포제조방식은 선발포 방식을 사용하였다. 선발포 방식은 기포제의 종류, 발포압력, 발포기의 조건, 또한 기포제의 희석농도에 따라 제조특성의 크다. 또한 경량기포콘크리트 타

설 후 기포슬러리 상태의 변형이 없도록 빠른 시간 내에 응결 및 초기경화가 이루어져야 하기 때문에 사용재료의 최적배합설계가 선행되어야 제조되는 제품의 물성이 안정할 수 있다.

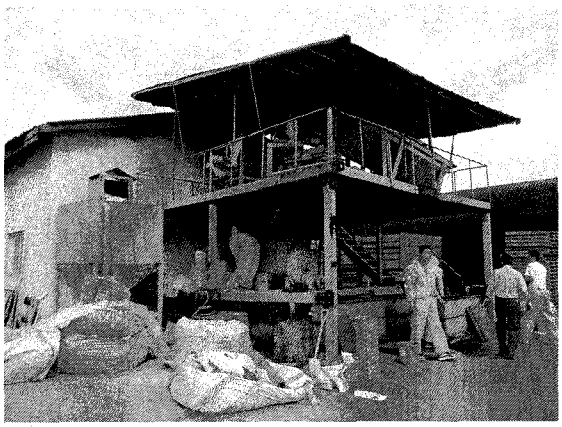
(3) 타설 및 양생

타설된 Green cake 상태의 페이스트는 자중에 대한 안정성이 확보될 수 있도록 크기와 용량이 적절히 고려되어야 하며, 양생 및 제조조건을 고려해야 한다. 몰드에 타설된 초기의 기포슬러리는 강도발현이 매우 늦기 때문에 몰드 탈형 및 핸들링을 목적으로 상온증기양생을 통하여 초기강도 조기발현을 목적으로 증기양생을 실시한다. 증기양생 시간 및 조건은 현재 익성택(주)에서 출시하고 있는 제품의 양생조건과 동일하게 증기양생을 실시하였다.

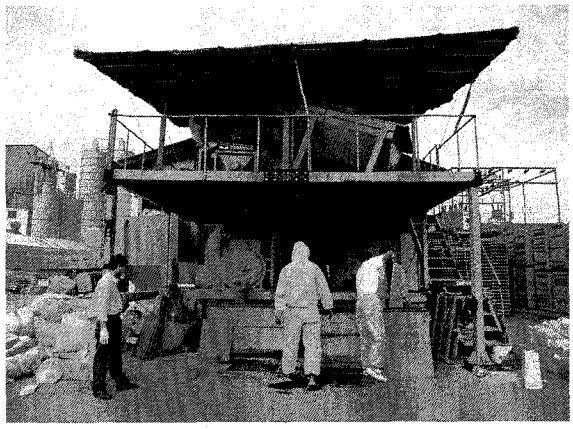
고온고압의 오토클레이브양생을 통해 제조되는 대표적인 수화물은 Tobermorite로 일반 상온양생체에 비해 강도 및 치수안정성이 우수한 장점이 있다. 참여기업인 익성택(주)에서 주로 생산하는 제품의 품목은 압출성형콘크리트 인방 및 패널로 경량블록의 실험실적 제조조건과는 양생시간 등의 차이가 있지만 우선적으로 익성택(주)의 제조조건으로 오토클레이브양생조건을 적용하여 양생을 하기로 하였다.

(4) 절단 및 가공

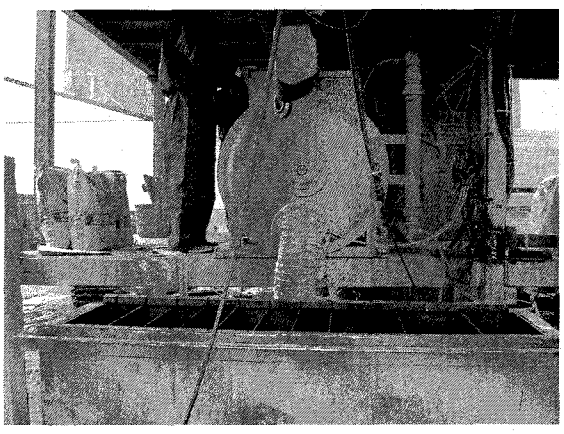
오토클레이브양생 후 제조된 기포콘크리트 경화체는 일정한 크기와 형상을 갖도록 Band-saw로 절단과정을 거친 후 표면의 기포형상 유지 및 미관성을 고려하여 표면연마공정을 거치게 된다. 하지만 본 시험생산에서는 이 과정은 생략하기로 하였다.



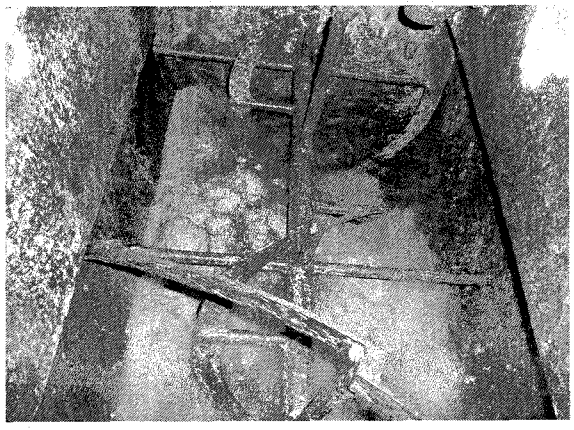
1. Pilot plant 전경



2. Pilot plant 전경 2



3. 믹서와 몰드



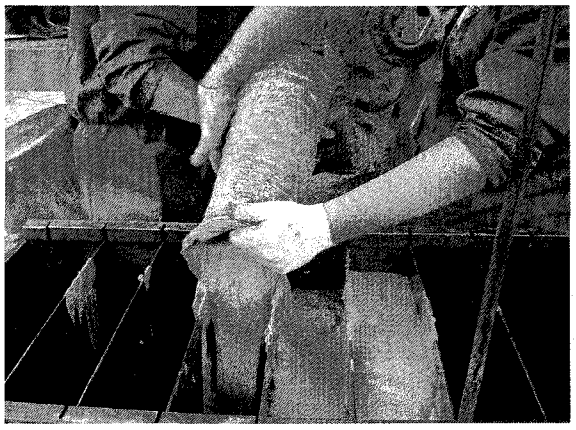
4. 폐콘크리트 슬러지 교반



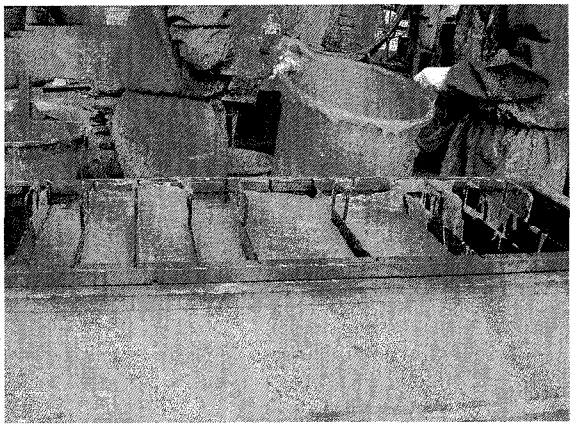
5. 분체계 재료 교반



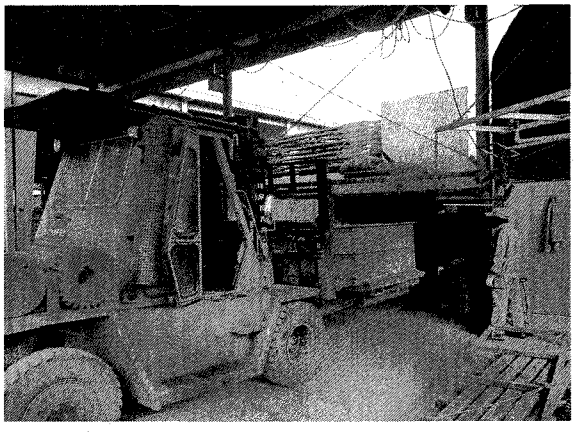
6. 기포투입



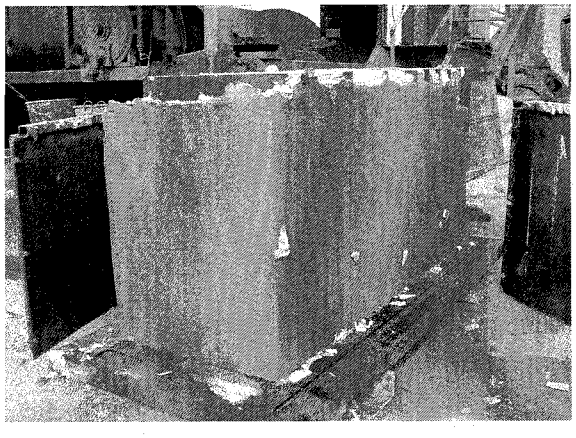
7. 기포슬러리 타설(플렉시블 호스)



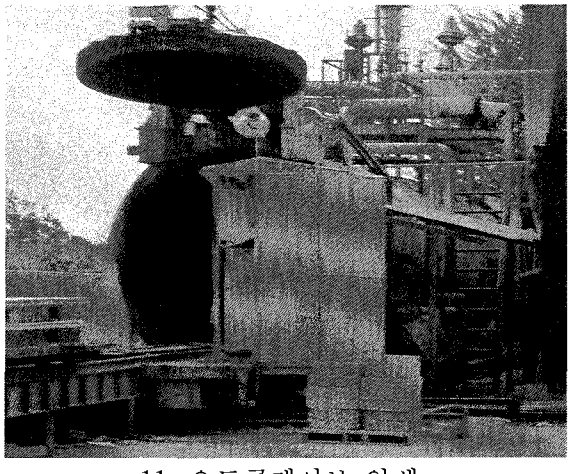
8. 기포슬러리 타설



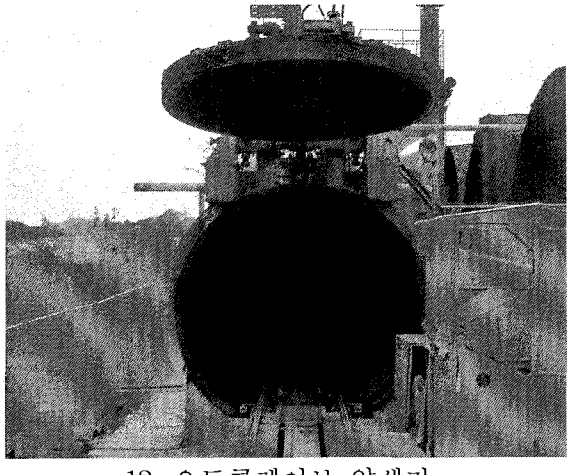
9. 증기양생



10. 몰드 탈형



11. 오토클레이브 양생



12. 오토클레이브 양생기

[사진 3.8.4] Pilot plant 설비를 이용한 시험생산 과정

(5) 결과

Pilot plant설비를 이용하여 시험생산을 실시한 결과, 추후 시작품 제조에 있어 문제시 되는 점들이 발견되었다. 폐콘크리트 미리분과 기타 분체계 재료의 혼합과정에서 재료의 완벽한 혼합이 이루어지지 않아 부분적으로 재료가 뭉쳐져 있는 것을 알 수 있었으며, 실험실적 배합을 기초로 하여 시험생산을 실시한 결과, 스케일의 증가로 인한 초기 응결 촉진 및 과다한 발열량 등의 문제점이 발견되어 본격적인 시제품 생산 이전에 이러한 문제점을 해결하여야 할 것으로 판단된다.

# 4. 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록 및 정수용 필터의 제조기술 및 적용기술 확립

## 가. 경량기포콘크리트블록의 제조기술 확립

현재 국내에서는 본 연구에서 개발한 선발포 방식을 이용하여 제조한 경량기로콘크리트블록은 아직까지 제품으로 출시된 적이 없으며 제조기술과 관련된 규정 및 지침은 없는 상황이다. 따라서 경량블록 제조기술 및 적용기술의 정립에서는 많은 어려움이 있는 실정이다. 다만, 경량블록의 경우에는 본 연구에서 개발한 선발포 경량블록과 제조방법이 유사한 ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)에 관한 KS지침 및 제조에 관한 일반적인 규정이 있어 이와 관련된 선행조사를 통해 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록의 제조 및 적용기술의 확립에 있어 기초적 자료로 활용하고자 하였다.

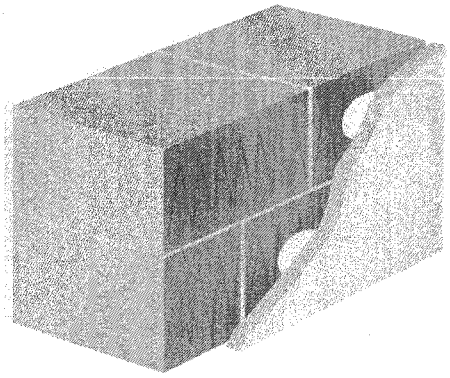
(1) 폐콘크리트 미립분을 사용한 경량블록의 제품설계

(가) 목표성능

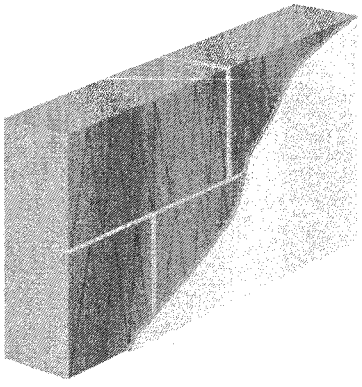
폐콘크리트 미립분을 사용한 공동주택 내 차음용 경량블록은 아직까지 KS규격이 따로 명시되어 있지 않아 본 연구에서 달성하고자 하는 경량블록의 목표성능은 이미 출시되고 있는 ALC블록 기준<표 3.8.22>를 참고하여 블록의 밀도수준을 ALC보다 상향 조정하여 선정하였다. 경량블록의 사용부위는 공동주택의 내부 간막이벽 또는 단독주택의 외부블록으로 선정하였다.

<표 3.8.22> 경량블록의 목표성능

| 구 분 | 규 격 | 목표 품질 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 밀도 | KS F 2701 | 0.7 이상 | 절건비중 |
| 압축강도 | KS F 2701 | 690N/㎠ 이상 | - |
| 차음기준 | 벽체의 차음구조인정 및 관리기준 제2장 제3조 | 125Hz - 30dB<br>500Hz - 45dB<br>2000Hz - 55dB | 200㎜ 기준 |



<그림 3.8.15> 200㎜ 설치 단면



<그림 3.8.16> 100㎜ 설치 단면

경량블록의 호칭 치수는 선행자료 조사를 바탕으로 국내실정에 맞도록 ALC 제조공정에서 사용하고 있는 치수에 준하여 설정하였다.

<표 3.8.23> 경량블록의 호칭 치수

단위 :㎜

| 높이 | 두께 | 길이 |
|---|---|---|
| 200<br>300<br>400 | 100 | 600 |
| | 125 | |
| | 150 | |
| | 200 | |
| | 250 | |

(나) 사용재료

- 시멘트

고온고압의 수열합성반응을 통해 제조되는 블록 제조에 필요한 Calcareous 원료로는 일반 보통포틀랜드시멘트를 사용하였다. 선행실험의 결과를 바탕으로 S사 제품이 적합한 것으로 판단되며, 재료의 물리, 화학적 성질은 표 와 같다.

<표 3.8.24> 보통 포틀랜드 시멘트의 물리, 화학적 성질

| 시험 항목 | 응결시간 (길모아시험) | | 압축강도 (N/㎟) | 안정도 | 분말도 (㎠/g) | 밀도 (g/㎤) | $Fe_2O_3$ (%) | $Al_2O_3$ (%) | CaO (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 초결 (분) | 종결 (분) | | | | | | | |
| 결과 | 59 | 6:39 | 38.2(28일) | 0.07 | 3,300 | 3.15 | 3.84 | 5.08 | 61.93 |

- 폐콘크리트 미립분

Siliceous 원료로 사용하는 폐콘크리트 미립분은 Calcareous계 원료인 시멘트와 반응하여 고온고압증기양생에서 토버모라이트(Tobermorite) 수화물을 형성하여 일반상압증기양생 경화체보다 우수한 강도성능을 가진 경화체의 제조가 가능하다. 본 연구에 사용된 폐콘크리트 미립분은 습식공정의 순환골재 생산과정에서 세척수의 필터프레스를 통해 최종 배출되는 것으로 재료의 물리, 화학적 성질은 다음과 같다.

<표 3.8.25> 폐콘크리트 미립분의 물리, 화학적 성질

| 물리적 성질 | | 화학조성(Wt,%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 분말도 (㎠/g) | 밀도 (g/㎤) | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $SO_3$ | Ig-loss |
| 2,200 | 2.5 | 50.77 | 9.91 | 2.96 | 18.66 | 1.88 | 2.49 | - | 12.14 |

- 규사분

Siliceous 원료로 사용하는 폐콘크리트 미립분은 오토클레이브 양생경화체의 제조에 사용되는 규사분에 비해 SiO2 함량이 떨어져 반응성이 떨어지는 단점이 있다. 따라서 반응성 향상을 위해 규사분을 일정비율로 첨가하여 경화체를 제조하게 된다. 사용재료의 물리, 화학적 성질은 <표 3.8.26>과 같다.

<표 3.8.26> 규사분의 물리, 화학적 성질

| 물리적 성질 | | 화학조성(Wt,%) | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 분말도 (㎠/g) | 밀도 (g/㎤) | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $SO_3$ | Ig-loss |
| 3,000 | 2.61 | 90.1 | 5.7 | 1.0 | - | 0.1 | 0.14 | 1.72 | 1.2 |

- 알루미나 시멘트

초기 응결 및 페이스트와 기포와의 재료분리를 방지하기 위해 $Al_2O_3$ 함량이 약 60%이상이 되는 국내 S사의 알루미나 시멘트를 사용하였으며, 두 재료의 물리, 화학적 성질은 <표 3.8.27>과 같다.

<표 3.8.27> 알루미나 시멘트의 물리, 화학적 성질

| 시험 항목 | 응결시간 (길모아시험) | | 압축강도 ($kgf/cm^2$) | 휨강도 ($kgf/cm^2$) | 분말도 ($cm^2/g$) | 70㎛ 잔분 (%) | 비중 | $Fe_2O_3$ (%) | $Al_2O_3$ (%) | CaO (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 초결 (분) | 종결 (분) | | | | | | | | |
| 결과 | 20 | 5:10 | 494 | 59 | 5210 | 1.8 | 2.95 | 0.47 | 62.3 | 34.9 |

- 석회

본 연구에 사용된 소석회(hydrated lime/slaked lime)은 생석회에 물 또는 수증기를 반응시킨 후, 분급정립(分級整粒)하여 얻은 백색분말로 주성분은 수산화칼슘 {$Ca(OH)_2$}이다. $CaO/SiO_2$· mole ratio를 조절하고 경화체의 안정성 확보를 위해 소량의 석회를 첨가하였으며, 사용원료의 화학조성은 <표 3.8.28>과 같다.

<표 3.8.28> 소석회의 화학조성

| 구분 \ 성분 | 화학성분(%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $SO_3$ | Ig.loss |
| 생석회 | 3.1 | 0.1 | 0.3 | 92.9 | 0.6 | 0.03 | 0.01 | | 2.1 |
| 소석회 | - | - | - | 68.3 | - | - | - | - | 26.7 |

- 석고

석고는 응결을 완화 할 뿐 아니라 단기강도를 높이고 건조수축을 감소시키며, 화학적 저항성을 향상시키는 등의 효과가 알려져 있다. 화학적 성분은 아래 <표 3.8.29>와 같다.

<표 3.8.29> 석고원료의 화학성분

| 구분 \ 성분 | 화학성분(%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $AL_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $SO_3$ | Ig.loss |
| 무수석고 | 3.7 | 0.7 | 0.0 | 38.3 | 0.0 | 0.03 | 0.01 | 54.4 | 2.9 |

- 기포제 및 발포제

기포제는 개발제품의 종류에 따라 구분된다. 경량블록의 경우에는 닫힌 기포를 생성하는 동물성 기포제 또는 고분자기포제를 사용한다. 기포제의 화학적 특성은 <표 3.8.30>과 같다.

<표 3.8.30> 기포제의 화학적 특성

| 구 분 \ 항 목 | Active mater | Free oil | Klett Color (5% on AM) | $Na_2SO_4$ | pH(ncat) |
|---|---|---|---|---|---|
| 기포제 | 28.21 | 0.28 | 7 | 0.28 | 8.39 |

- 고성능 감수제

분말재료의 원활한 혼합을 위해 국내 K사의 고성능 감수제를 사용하였으며, 고성능 감수제의 화학적 특성은 <표 3.8.31>과 같다.

<표 3.8.31> 고성능감수제의 화학적 특성

| 감수제 구분 | 고형분량(%) | 비중 | pH | 색상 |
|---|---|---|---|---|
| 나프탈렌계 | 35.6 | 1.20 | 7± 1 | 암갈색 |

(2) 경량블록 생산 공정

폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록 및 정수용 필터는 고온·고압 증기 양생이 요구되는 제품이지만, 경량기포콘크리트(ALC: Autoclaved Lightweight Concrete)와는 달리, 기포의 제조 방법에 따라 기포가 닫힌 상태로 음을 차단하는 효과인 차음재가 되는 경량블록 과 기포가 연결된 상태로 하수 및 정수과정에서 물이 기포를 통과하면서 정수효과를 가지는 필터로 구분된다.

경량 기포콘크리트의 기포 상태와 경량화 하는 방법은 선행연구에서 도출된 선발포 방식을 이용하여 고형원료의 경화 속도와 점도를 조정하는 방법으로 하였다. 따라서 선발포 방식을 이용한 초경량기포콘크리트 흡음재의 양산 시스템 및 각 설비의 조건별로 검토하였다.

(가) 재료 투입

경량블록을 제조하기 위한 원료로서 주원료는 1종 보통포틀랜드시멘트, 알루미나시멘트, 규사, 폐콘크리트 미립분, 무수석고, 석회와, 부원료는 AE제, 동물성기포제와 고성능감수제이다.

주원료를 건식으로 투입 전 물과 고성능 감수제를 투입하여 일정 시간 통한 혼합한 후에 각 분체재료들을 투입하여 슬러리 상태로 만들어야 하고, 슬러리 상태는 단시간에 균질하게 혼합해야 한다. 슬러리 상태로 된 후에는 선발포 방식에 의하여 발생된 기포를 일정 비율에 맞게 투입한 후 일정 시간에 혼합하는 것으로 한다.

(나) 선발포 혼합기

일반 경량 콘크리트로서 대표적인 것은 ALC(Autoclaved Lightweight Concrete)를 들 수 있는데 일반적인 제조 방법은 규산질 원료와 석회질 원료를 적정 몰비로 설계하고 경량화를 위해 알루미늄페이스트 또는 알루미늄 분말을 첨가하면 알루미

늄이 물의 존재 하에서 수화로 생겨난 수산화칼슘과 반응하여 수소 가스를 발생시키므로 경량화 되는 메카니즘을 따른다. 즉, 이를 보통 후발포라 한다.

후발포에서 생겨난 기포의 특징은 수소 가스가 아래에서 위로 올라가기 때문에 절단면에 따라 기포 성상이 다르고 그러므로 기계적 특성에 차이가 난다는 점이다. 또한 기포가 서로 독립된 기포로 구성되어 있게 된다.

이와는 달리 통상 기포콘크리트의 경우 기포제를 물에 희석한 후 압력을 가하면 잔잔한 기포가 발생되는데 규산칼슘질의 원료에 발포된 기포군을 혼합하면 경량화가 이루어지게 된다. 이를 선발포라 하고 이러한 혼합 방법을 선발포 혼합이라 한다. 선발포 혼합의 특징은 후발포 와는 달리 기포 크기와 량을 조건에 따라 자유로이 조절할 수 있는 장점을 갖고 있다. 기포제의 종류, 발포압력, 발포기의 조건, 또한 희석농도에 따라 제조가 가능하다. 그러나 중요한 것은 슬러리 상태에서 빠른 시간 안에 규산칼슘질원료가 경화를 해야 하기 때문에 건조수축 및 균열의 발생이 쉽고, 혼합공정 중 각 원료간의 비중차가 발생하면 균질 혼합을 이룰 수 없게 된다. 따라서 혼합 후 건조 양생하는 공정 중의 품질 안정화가 매우 중요하다. 이를 위해서 고형분 분체원료(시멘트, 석회, 규석 및 석고)의 최적배합설계가 선행되어야 한다. 또한 선발포 혼합 기술은 여러 분야에서 응용될 수 있다. 현장 배합 기포콘크리트 제조 공정 시 균열억제방법이라든지, 최근 실용화되고 있는 방통형 기포콘크리트 제조 방법 등에 선발포 혼합 기술을 활용할 수 있다.

(다) 몰드

타설된 흡음재 및 차음재 제조용 Green cake는 자중에 대한 안정성이 확보될 수 있도록 크기와 용량이 적절히 제어되어야 한다. 한편, 몰드는 증기양생에 넣기 전 옆판만 해체하고 밑판이 성형체와 함께 양생되는 시스템 채택이 바람직한데, 이것은 ALC 제법과 상이한 것으로 몰드의 재질은 이런 증기 양생에 대한 열충격 및 내식성을 가지고 있어야 한다. 또한 차음재의 경우에는 고온고압 양생 후에 절단이 매우 어렵기 때문에 일정규격으로 만든 몰드에 타설하는 것으로 한다.

(라) 증기 양생

몰드에 타설된 시험체는 강도 발현이 매우 느리기 때문에 일정강도를 발현하기 위하여 상온증기양생을 실시하여 에트린자이트를 생성을 촉진시켜주는 것으로 한다.

Green cake의 경화를 촉진하기 위해 알루미나 시멘트를 사용하고 있지만, ALC와는 다른 초기 경화 메카니즘을 가진 경량블록의 경우 강도 발현이 느리기 때문에 증기 양생 방법을 채택하는 것이 적절할 것이다.

(마) 고온·고압 증기 양생

경량블록의 주된 수화 생성물은 Tobermorite($5CaO \cdot 5SiO_2 \cdot 5H_2O$)이므로 ALC와 같이 고온·고압 수증기 양생을 통해서 얻어지나, 양생 전에 흡·차음재의 green cake는 다량의 수분과 기포를 함유하고 있어 경도가 작다. Green cake의 경화를 촉진하기 위해 5% 전후의 알루미나 시멘트를 사용하기 때문에, 고온 · 고압양생은 초기 탈수를 거쳐 안정화하기 위해 감압공정이 요구되고 또한 감압시간도 통상의 ALC 양생시간보다 길게 할 필요가 있다.

(바) 절단과 가공

고온 고압 양생 후 경량기포콘크리트 경화체는 적당한 형상과 크기를 갖도록 Band-saw 또는 Cutting Equipment로 일정 규격이 되도록 절단하고, 용도에 따라서 표면 가공처리(발수)를 한다. 차음재는 고온 고압 양생 후에 절단 가공이 매우 힘들기 때문에 일정 크기를 규격의 몰드에 타설하여 양생을 시킨다. 양생된 제품을 일정 크기로 절단하는 것으로 한다.

(사) 표면 가공

다공성 경화체인 경량블록은 몰드와의 접합을 통해 표면의 공극이 일정치 않기 때문에 Buffing Equipment를 통해 표면 연마작업 후 흡입기를 이용하여 표면을 흡입하는 것으로 하며 현장 및 시공성을 위하여 발수 처리하는 것으로 한다.

(3) 경량블록의 품질 기준 및 측정

(가) 절건밀도 및 압축강도

경량블록의 압축강도와 절건밀도는 KS F 2701을 기본으로 하여 마련된 아래 규정에 적합하여야 한다.

<표 3.8.32> 경량블록의 압축강도 및 절건밀도

| 구분(비중) | 절건밀도(g/㎤) | 압축강도(N/㎟) |
|---|---|---|
| 0.7 | 0.65 초과 0.75 미만 | 690 |
| 0.8 | 0.75 초과 0.85 미만 | 890 |

(나) 길이변화율

경량블록의 길이변화율은 규정한 시험을 하여 그 값이 0.05% 이하여야 한다.

(다) 겉모양

경량블록의 겉모양, 제작치수, 및 허용차는 <표 3.8.33, 34, 35>의 규정에 적합하여야 한다.

<표 3.8.33> 경량블록의 겉모양

| 항 목 | 규 정 |
|---|---|
| 균 열 | 60㎝ 떨어져서 보았을 때,눈에 띄는 것이 없어야 한다. |
| 휨, 움푹 팬 곳, 기포, 얼룩, 깨진 곳 | 사용상 해로운 것이 없어야 한다. |

<표 3.8.34> 제작치수

| 종 류 | 제작 치수 | | |
|---|---|---|---|
| | 길 이 | 나 비 | 두 께 |
| 칸막이용 | 호칭치수로부터 10㎜를 뺀 값 | 호칭치수로부터 1㎜를 뺀 값 | 호칭치수와 동일함. |

<표 3.8.35> 제작 치수의 허용차

| 구 분 | 길 이 | 나 비 | 두 께 |
|---|---|---|---|
| 허용차 | ± 5 | -3 ~ +1 | ± 2 |

(라) 재료

- 석회질 재료

석회질 재료는 다음에 나타낸 석회 또는 시멘트로 한다.

① 석회는 KS L 9501에 규정한 석회로 한다.

② 시멘트는 KS L 5201, KS L 5210, KS L 5211에 규정한 것 또는 이와 동등 이상인 것을 사용한다.

- 규산질 재료

규산질 재료는 폐콘크리트 미립분 및 규사로 해로운 성분을 함유하지 않는 것이어야 한다.

- 기포제

기포제는 균등한 기포를 생성할 수 있어야 한다.

- 혼화재료

기포의 안정성, 경화시간의 조절 등을 위하여 혼화재료를 사용할 경우에는 경량블록의 품질 및 사용에 해로운 영향을 미치는 않는 것으로 한다.

(4) 제조

경량블록의 제조는 다음에 따른다.

기포콘크리트는 위에서 규정한 석회질 원료 및 규산질 원료를 분쇄상태로 하여 혼합한 것에 적당량의 물, 기포제 등을 가하여 혼합하고, 다공질화한 것을 오토클레이브 양생으로 충분히 경화하여 제조한다.

주) 오토클레이브 양생 : 통상 게이지 압력 약 0.980MPa(10kgf/㎠, 180℃)에서의 포화증기양생을 말한다.

## 나. 정수용 필터 현황 및 필터의 제조 및 적용기술 확립

(1) 폐콘크리트 미립분을 이용한 정수용 필터의 성능검토

(가) 연구계획

본 연구에서는 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량기포콘크리트를 정수용 필터재로서의 성능규명을 확인하기 위해 경량기포콘크리트의 종류변화 및 PO4용액의 농도변화에 따른 경량기포콘크리트의 인 제거 특성 및 용출특성을 검토하는 것으로 하였다. 정수용 필터용으로 제작한 경량기포콘크리트는 기포율 변화(250%, 300%)로 선정하였으며, 인 농도 변화는 (10, 50, 100ppm)으로 선정하여 통과횟수에 따른 용액의 인 농도 측정을 실시하였다. 또한 통과한 경량기포콘크리트에서의 인 용출 특성을 알아보기 위해, 통과가 완료된 경량기포콘크리트 시험체를 증류수에 1일 동안 침지시킨 뒤 증류수의 인 용출 여부를 확인하였다.

(나) 사용재료

실험을 위해 사용한 폐콘크리트 미립분을 사용한 경량기포콘크리트는 연속공극 형성을 위해 AES 계면활성제를 사용하여 제작한 기포율 250%, 300%의 기포콘크리트를 사용하였다. 인 용액은 국산 85% $H_3P0_4$ 시약을 3수준으로 희석하여 실험을 실시하였다.

<표 3.8.36> 실험계획

| 실험인자 | 수준 | 측정항목 | 시험체 명 |
|---|---|---|---|
| 경량기포콘크리트의 기포율<br>인 희석액 농도 | 250, 300%<br>10, 50, 100ppm | 인 농도 | F-250-10<br>F-250-50<br>F-250-100<br>F-300-10<br>F-300-50<br>F-30-100 |

F-000-000 : F(Filter)-000(Foam ratio)-000(PO4 Concentration, ppm)

(다) 실험 순서

기포혼입율 변화에 따른 기포콘크리트 시험체(직경 10cm)를 준비한 다음, $H_3PO_4$(85%) 용액에 증류수를 (10,50,100ppm) 희석한 것을 각각 500㎖씩 계량하여

비이커에 올려놓은 기포콘크리트 시험체에 희석용액을 부어 통과 횟수에 따른 희석용액의 인 농도 및 총인량을 측정하였으며, 인 희석용액을 통과시킨 기포 con'c 의 인 용출을 알아보기 위해 증류수에 침지하여 용출가능성을 확인하였다. 측정장비로는 ICP(유도결합플라즈마분광광도기)를 사용하여 측정하였다.

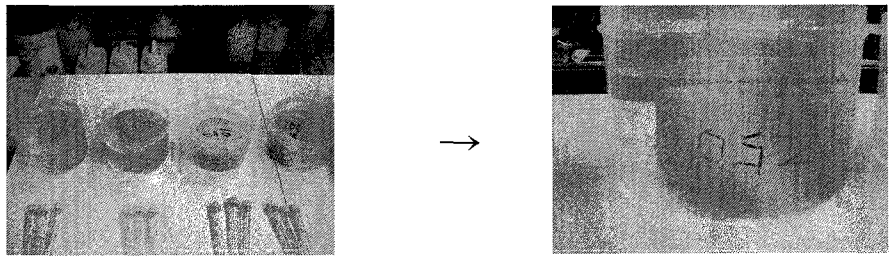


비커위에 각각의 공시체를 설치한다.

각각의 공시체에 $H_2O$ +$PO_4$ 혼합액 (10,50,100ppm)각각 투과시킨다.

공시체를 통과한 혼합액으 총인량 측정한다.

<사진 3.8.5> $PO_4$ 흡착실험



비커에 증류수를 넣고 시편을 넣는다.

각각의 시편을 1일 침지시킨다.

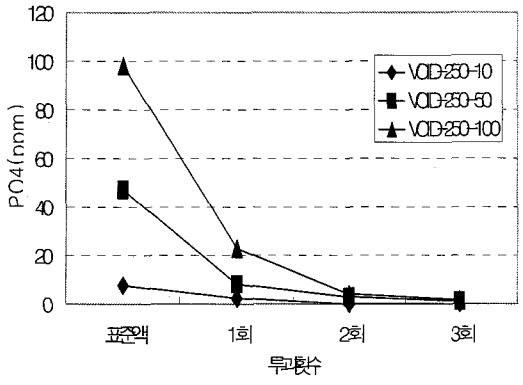
<사진 3.8.6> $PO_4$ 용출실험

(라) 실험 결과

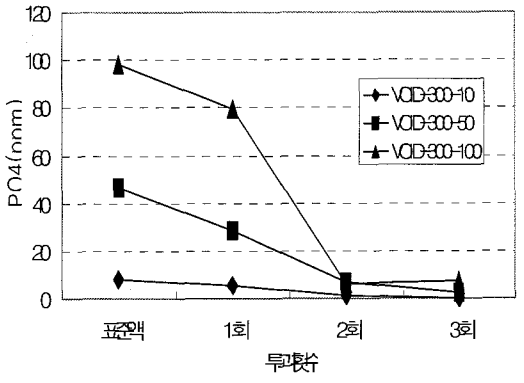
실험결과, 기포율 250%, 300% 모두 투과횟수의 증가에 따라 인 농도가 감소하는 것으로 나타났다. 인 농도 감소변화는 기포율 250%가 더 큰 것으로 나타났다. 기포콘크리트의 종류변화에 따른 인 농도 변화에서는 기포율이 인 농도 변화에 크게 영향을 미치는 것으로 판단되며, 이는 희석액의 투과성능과도 밀접한 관계가 있는 것으로 사료된다. 따라서 추후 시작품 제조 및 필터의 목표성능 설정에 있어서도 세부적인 추가연구가 필요할 것으로 판단되었다.

<표 3.8.37> 실험결과

| Type | ID | 표준액 (ppm) | 1회(ppm) | 2회(ppm) | 3회(ppm) |
|---|---|---|---|---|---|
| AES 250% | F-250-10 | 7.89 | 2.17 | 0.00 | 0.00 |
| | F-250-50 | 46.86 | 8.05 | 3.21 | 1.10 |
| | F-250-100 | 98.13 | 22.82 | 4.35 | 1.79 |
| AES 300% | F-300-10 | 7.89 | 5.35 | 1.17 | 0.00 |
| | F-300-50 | 46.86 | 28.49 | 6.85 | 2.64 |
| | F-300-100 | 98.13 | 79.30 | 6.29 | 7.20 |




[그림 3.8.17] 실험결과(기포율250%)




[그림 3.8.18] 실험결과(기포율300%)

(2) 폐콘크리트 미립분을 이용한 정수용 필터의 제품설계

(가) 목표성능

기존 분말 또는 과립상의 수처리 여과재와는 달리 본 연구에서 개발하고자 하는 판상형의 수질정화용 필터는 아직까지 국내에서 이와 유사한 제품이 없으며, 또한 이에 대한 KS규격이 따로 명시되어 있지 않다. 따라서 기존 수처리 여과재의 성능을 비교할 수 있는 항목을 고려하여 목표성능을 선정하기로 하였으며, 정수용 필터의 목표성능은 크게 인 제거 성능, 여과속도, 및 운반 및 정수과정에서 파손으로부터 필터의 성능을 유지할 수 있는 압축강도로 선정하였다. 인 제거 성능은 실험실적 연구결과를 통해 인 제거 특성이 우수한 것으로 나타났지만, 기존 사용되는 재료와의 비교분석이 더 필요한 것으로 판단되었다. 또한 여과속도는 필터의 공극구조 및 공극률에 따라

크게 좌우되며, 이는 필터 사용의 경제성 및 지속성과 연관이 있다 할 수 있다. 실험실적 연구결과를 바탕으로 일반적으로 사용되는 모래와 비교하여 여과속도를 비교해 본 결과, 급속여과사(120~150m/day)와 완속여과사(4~5m/day)의 중간 범위 성능인 42.68m/day를 나타내었다. 하지만 현 연구단계에서는 실험실적 연구결과를 통해 도출된 결과를 바탕으로는 정수용 필터의 목표성능을 규정하기에는 미흡한 부분이 있어 시작품 생산 및 실제 적용을 통해 도출된 결과를 바탕으로 목표성능을 설정하는 것이 합리적이며, 타당한 것으로 판단되었다. 표 는 정수용 필터의 목표성능 항목을 나타낸 것이다. 주된 사용부위는 기존 수처리 공정에서 최종 정수 후 방류되기 직전의 설치하여 기존 여과재의 수명 및 교체시기의 연장을 도모하는 것으로 하였다. 본 연구개발품의 주된 적용목적은 농.축산 폐수 또는 식품가공공정에서 발생되는 인의 제거 및 농도 저하를 통한 방류수질의 개선을 주목적으로 하고 있다.

정수용 필터의 형태 및 호칭 치수는 사용되는 수처리설비의 용량 및 크기에 따라 바뀔 수 있다. 기본적인 형태는 판상형으로 수처리 설비에서 적층하여 필터재로 사용되며, 필터의 형상 및 수처리설비에 적용되는 세부적인 사항은 첨부도면에 나타내었다.

<표 3.8.38> 정수용 필터의 목표성능

| 구 분 | 규 격 | 목표 품질 | 비 고 |
|---|---|---|---|
| 투수성능 | 기존 규격 없음 | 0.7 이상 | 시험적용 후 규정 |
| 압축강도 | 기존 규격 없음 | - | 시험적용 후 규정 |
| 인제거 성능 | 기존 규격 없음 | - | 시험적용 후 규정 |

<표 3.8.39> 정수용 필터의 호칭 치수

단위 :㎜

| 너비 | 두께 | 폭 |
|---|---|---|
| 600(기본)<br>수처리설비의 용량 및<br>크기에 따라 변동 | 50 | 600(기본)<br>수처리설비의 용량 및<br>크기에 따라 변동 |

(나) 사용재료

고온고압의 수열합성반응을 통해 제조되는 정수용 필터 제조에 필요한 재료는 경량블록의 제조에 사용되는 재료와 동일하며, 열린 기포를 형성하여 수처리 과정에서 오수 및 하수의 원활한 통과를 할 수 있도록 계면활성제를 사용하여 정수용 필터에 기포를 생성시킨다. 계면활성제의 물리, 화학적 성질은 표 와 같다.

<표 3.8.40> 계면활성제의 물리, 화학적 성질

| 항 목 / 구 분 | Active mater | Free oil | Klett Color (5% on AM) | $Na_2SO_4$ | pH(ncat) |
|---|---|---|---|---|---|
| 기포제 | 28.17 | 0.30 | 0.15 | 4 | 7.53 |

(3) 정수용 필터의 생산 공정

폐콘크리트 미립분을 이용한 정수용 필터의 생산공정은 기본적으로 경량블록의 생산공정과 동일하다.

(4) 정수용 필터의 품질 기준 및 측정

(가) 절건 비중 및 압축강도

정수용 필터의 압축강도와 절건비중은 시험생산 및 시작품 적용을 통해 도출된 결과를 바탕으로 규정한다.

(나) 겉모양

정수용 필터의 겉모양은 <표 3.8.41, 42, 43>의 규정에 적합하여야 한다.

<표 3.8.41> 정수용 필터의 겉모양

| 항 목 | 규 정 |
|---|---|
| 균 열 | 60㎝ 떨어져서 보았을 때 눈에 띄는 것이 없어야 한다. |
| 휨, 움푹 팬 곳, 기포, 얼룩, 깨진 곳 | 사용상 해로운 것이 없어야 한다. |

<표 3.8.42> 제작치수

| 종 류 | 제작 치수 | | |
|---|---|---|---|
| | 길 이 | 나 비 | 두 께 |
| 필터 | 호칭치수로부터 10㎜를 뺀 값 | 호칭치수로부터 1㎜를 뺀 값 | 호칭치수와 동일함. |

<표 3.8.43> 제작 치수의 허용차

| 구 분 | 길 이 | 나 비 | 두 께 |
|---|---|---|---|
| 허용차 | ± 5 | -3 ~ +1 | ± 2 |

(다) 재료

사용재료는 기본적으로 기포제를 제외하고 경량블록의 재료와 동일하게 사용한다.

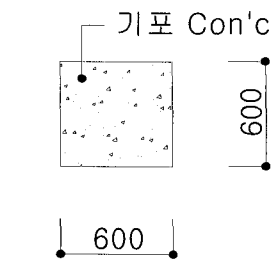
(라) 제조

정수용 필터의 제조는 다음에 따른다.

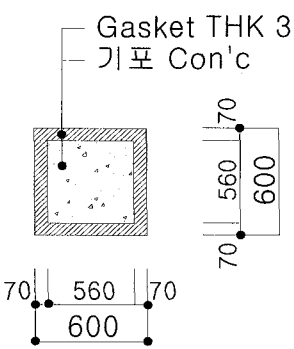
기포콘크리트는 위에서 규정한 석회질 원료 및 규산질 원료를 분쇄상태로 하여 혼합한 것에 적당량의 물, 기포제 등을 가하여 혼합하고, 다공질화한 것을 오토클레이브 양생으로 충분히 경화하여 제조한다.

주) 오토클레이브 양생 : 통상 게이지 압력 약 0.980㎫(10㎏f/㎠, 180℃)에서의 포화증기양생을 말한다.

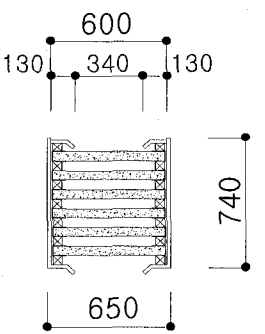
# 정수용 필터

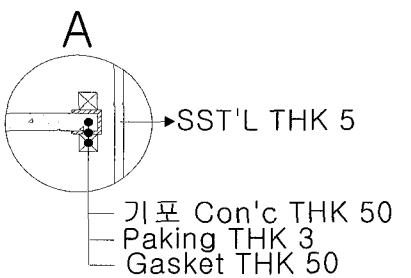


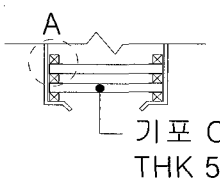

DETAIL 1
SCALE : NONE




DETAIL 2
SCALE : NONE



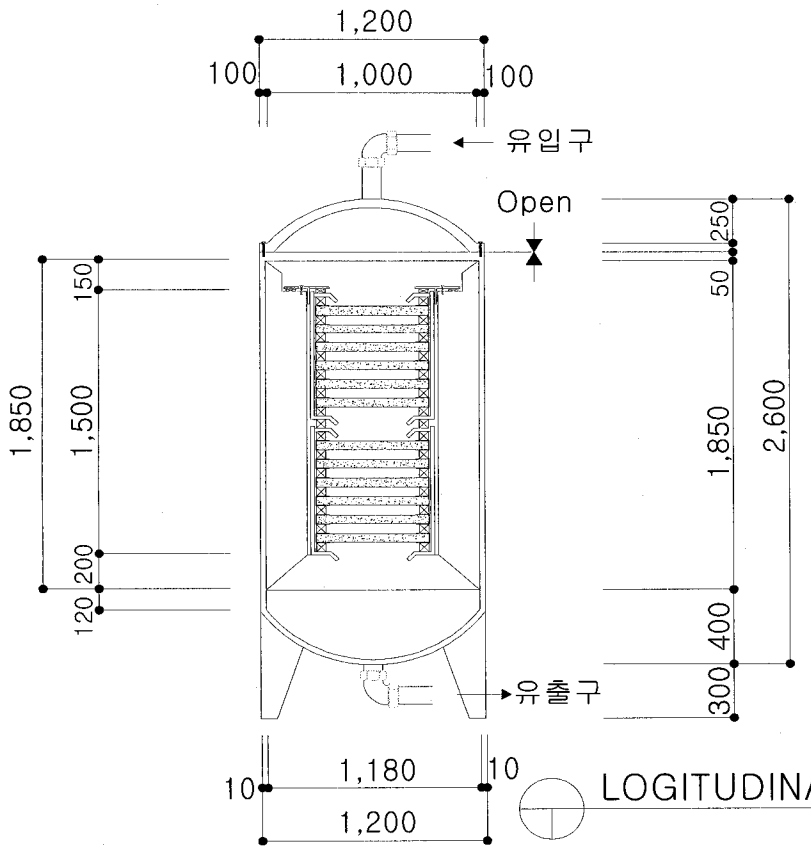




DETAIL 3
SCALE : NONE

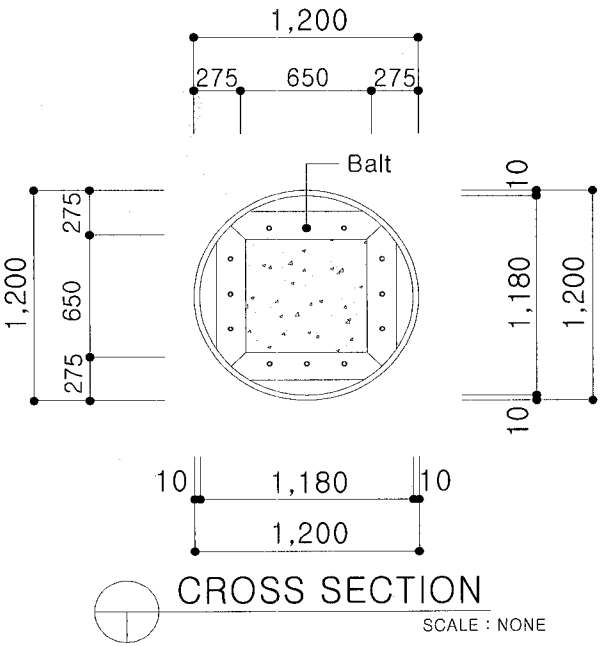
| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGN/CONSTRACTOR | | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>수처리 설비 ( 수질정화용 필터 적용) | | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>DETAIL | | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAW ING NO. | SHEET NO. | REV. |
| | NONE | | - | |

# 수처리 설비 (정수용 필터 적용)




LOGITUDINAL SECTION

SCALE : NONE




CROSS SECTION

SCALE : NONE

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 설계자 DESIGN/CONSTRACTOR | | | | |
| 공사명 PROJECT NAME<br>수처리 설비 (정수용 필터 적용) | | | | |
| 도면명 DRAWING TITLE<br>SECTION | | | | |
| 공사번호 PROJ.NO | SCALE | 도면번호 DRAWING NO. | SHEET NO. | REV. |
| | NONE | | - | |

## 다. 경량블록 및 정수용 필터의 성능평가

(1) 경량블록의 성능평가

폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록의 성능평가는 기존 Plant 설비를 통해 제조된 시작품을 대상으로 하고 있으며, 폐콘크리트 미립분을 규사분 대체로 50%적용하여 실험하였으며, 밀도의 등급을 나누기위해 기포율을 조정하여 경량블록을 제조하였다.

(가) 실험계획

본 연구의 실험계획은 <표 3.8.44>에 나타낸 바와 같다. 기포혼입률 변화에 따른 경량기포콘크리트의 특성 검토하기 위해 기포혼입률을 100~175%의 4수준으로 하였다. 폐콘크리트 슬러지는 제조공정상 입도가 불균질하며 CaO 성분과 $SiO_2$의 함량이 다른 규산질 재료보다 작아 반응이 활발치 않은 것을 선행 실험결과에서 확인 하였다. 따라서 반응성 향상 및 기타 규산질 재료의 혼합·사용을 검토하기 위하여 우선적으로 고품위 규사분을 폐콘크리트 슬러지와 1:1의 중량 대체하여 사용하였다. 실험 배합표는 <표 3.8.45>와 같다.

<표 3.8.44> 실험계획

| Factors | Levels | Testing items | |
|---|---|---|---|
| | | Fresh | Hardened |
| Replacement ratio of Waste Concrete Sludge (Wt,%) | 50 | - Density of slurry<br>- Flow | - Oven dry density<br>-Compressive strength |
| Addition foam ratio(Vol,%) | 100, 125, 150, 175 | | |

<표 3.8.45> 배합설계

| W/B (%) | Addition foam ratio(%) | Water content (%) | Unit weight(%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | OPC | WCS | Q | AC | CH | AG | SP |
| 60 | 100 | 37.5 | 26.2 | 15.2 | 15.2 | 2.6 | 1.3 | 2.1 | 0.1% of OPC+AC |
| | 125 | | | | | | | | |
| | 150 | | | | | | | | |
| | 175 | | | | | | | | |

OPC : Ordinary Portland Cement　　WCS : Waste Concrete Sludge
Q : Quartz　　AC : Alumina Cement
CH : Calcium Hydroxide　　AG : Anhydrous Gypsum

(나) 사용재료

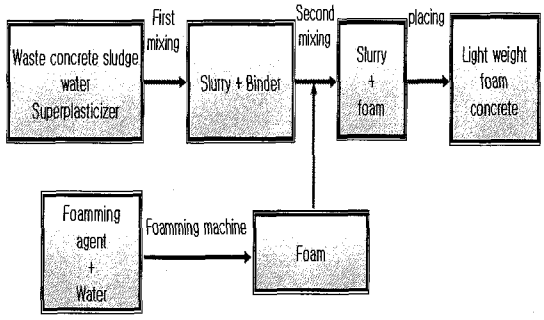
본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 분말도 3,200±300 ㎠/g, 밀도 3.15g/㎤의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 폐콘크리트 슬러지는 충남 천안의 건설폐기물 처리업체 G사의 것으로 밀도 2.5 g/㎤, 함수율 46%의 슬러지를 습식마쇄를 한 후 사용하였다. 규사분은 금평산 천연 규사분으로 분말도 3,600~3,700㎠/g, 밀도 2.65g/㎤를 사용했다. 혼화제는 K사의 밀도 1.2kg/㎥의 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였고, 기포제는 밀도 1.18kg/㎥, 고형분량 37.1%, pH7.1의 H사의 동물성 단백질 기포제를 사용하였다. 사용재료의 화학적 성분은 <표 3.8.46>에 나타낸 바와 같다.

<표 3.8.46> 사용재료의 화학조성

| Compositions / Binders | Chemical composition(%) | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | MgO | $K_2O$ | $Na_2O$ | $SO_3$ | Ig.loss |
| OPC | 21.4 | 6.3 | 2.9 | 61.4 | 2.7 | 0.9 | 0.13 | 2.2 | 1.7 |
| WCS | 50.77 | 9.91 | 2.96 | 18.66 | 1.88 | 2.498 | 1.183 | - | 12.14 |
| Quartz | 90.1 | 5.7 | 1.0 | - | 0.1 | 0.14 | 1.72 | - | 1.2 |
| AC | 4.2 | 54.7 | 0.6 | 36.9 | - | 0.23 | 0.08 | 0.2 | 0.3 |
| CH | - | - | - | 68.3 | - | - | - | - | 31.7 |
| AG | 3.7 | 0.7 | 0.1 | 38.3 | - | 0.03 | 0.01 | 54.4 | 2.9 |

(다) 혼합방법 및 양생방법

본 실험에 적용한 경량기포콘크리트의 제조 방법은 Pre-foaming 방법으로, 그 제조방법은 [그림 3.8.19]와 같으며 사용된 믹서는 원통형의 믹서에 나선형 블레이드가 설치된 리본믹서를 사용하였다. 양생방법은 그림 3에서와 같이 타설이 끝난 후 4시간의 기건 양생을 실시한 다음 증기양생 80℃에서 승온 3시간 유지3시간으로 증기양생을 실시한 후 10기압 180℃의 조건으로 승온 6시간 유지 8시간으로 오토클레이브 양생을 실시한 후 자연감압 냉각 시켰다.




[그림 3.8.19] 배합방법



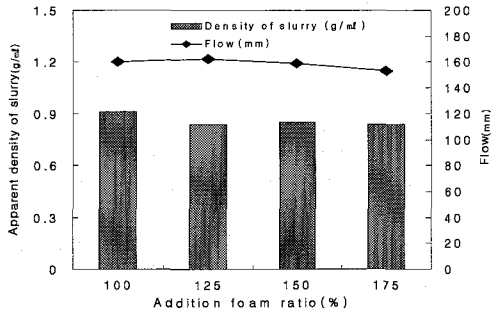
[그림 3.8.20] 양생방법

(라) 실험결과

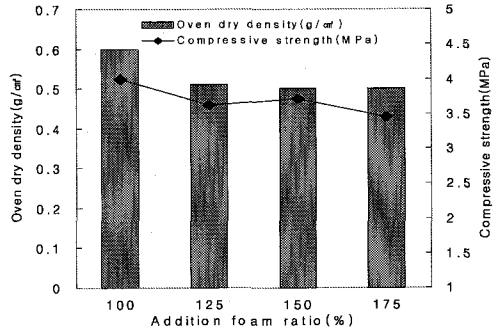
[그림 3.8.21]은 기포혼입률 변화에 따른 슬러리 밀도와 플로우를 나타낸 것으로 슬러리 밀도는 0.84~0.91의 범위를, 플로우는 153~163mm의 범위를 나타다. 또한, 기포혼입률 변화에 따른 차이는 크지 않았지만 기포혼입률이 증가함에 따라 약간 감소하는 경향을 나타냈다. 이는 기포혼입률이 증가하면 상대적으로 분체량이 감소하여, 독립적으로 분포되어있는 기포가 페이스트의 자중에 의한 흐름을 방해하기 때문이라고 추정된다.

[그림 3.8.22]는 시험체의 압축강도와 절건밀도의 변화를 나타낸 것이다. 기포혼입률이 증가할수록 압축강도와 절건밀도는 다소 감소한 것으로 나타났다. 이는 기포혼입률의 증가로 인해 공시체 내부의 공극 증가로 인한 경화체의 밀도 및 강도특성을 좌우하는 경화 메트릭스의 용적감소에 의해 나타난 결과로 판단된다.

폐콘크리트 슬러지를 사용하여 제조한 경화체의 강도를 ALC와 비교했을 경우 0.5~0.6 밀도 범위에서 3.5~4 MPa로 유사한 강도특성을 나타내는 것을 알 수 있었다. 이는 폐콘크리트 슬러지의 습식마쇄과정을 거치면서 폐콘크리트 슬러지의 입자가 미립화 되어 반응성이 향상된 것으로 판단되며, 또 다른 이유로는 폐콘크리트 슬러지 보다 높은 $SiO_2$ 함유량 및 균질한 입도를 가진 규사분의 사용으로 수열합성 반응 시 반응성 향상으로 결정질 수화물이 다량 생성되어 압축강도가 증진된 것으로 판단된다.




[그림 3.8.21] 기포혼입률 변화에 따른 슬러리 밀도와 플로우




[그림 3.8.22] 기포혼입률 변화에 따른 압축강도와 절건밀도

(마) 결론

폐콘크리트 슬러지를 적용한 밀도조절형 경량기포콘크리트의 특성에 대한 연구 결과 기포혼입률 변화에 따른 플로우와 슬러리 밀도는 각각 153~163mm, 0.84~0.91g/㎖의 범위를 보였다. 기포혼입률 변화에 따른 폐콘크리트 슬러지를 사용한 경량기포콘크리트의 압축강도는 3.3~4MPa 이고, 절건밀도는 0.5~0.6g/㎤의 범위를 보였다.

폐콘크리트 슬러지만을 사용하였을 경우보다 규사분을 1:1 중량대체하여 사용한 경우 기존의 ALC블럭과 유사한 강도를 보였으며, 기포혼입율의 변화에 따라 밀도를 조절하여 생산할 수 있으며 폐콘크리 슬러지의 대체율 적용에 따라 압축강도 및 절건밀도의 범위 또한 조절할 수 있다.

(2) 정수용필터의 성능평가

폐콘크리트 미립분을 이용한 정수용 필터의 성능평가는 기존 Plant 설비를 통해 제조된 시작품을 대상으로 하고 있으며, 정수용 필터의 경량 및 투수율 측정을 위해 기포제는 계면활성제를 사용하였으며, 기포율 250%를 사용하여 시편을 제작하였다.

(가) 실험계획

본 연구의 실험계획은 <표 3.8.47>에 나타낸 바와 같다. 폐콘크리트 미립분을 사용한 정수용 필터의 특성 검토하기 위해 기포혼입률을 250%으로 하였다. 폐콘크리트미립분은 제조공정상 입도가 불균질하며 CaO 성분과 $SiO_2$의 함량이 다른 규산질

재료보다 작아 반응이 활발치 않은 것을 선행 실험결과에서 확인 하였다. 따라서 반응성 향상 및 기타 규산질 재료의 혼합·사용을 검토하기 위하여 우선적으로 고품위 규사분을 폐콘크리트 미립분과 중량 대체하여 사용하였다. 실험 배합표는 <표 3.8.48>과 같다.

<표 3.8.47> 실험계획

| Factors | Levels | Testing items |
|---|---|---|
| Replacement ratio of Waste Concrete Powder (Wt,%) | 20 | -Oven dry density<br>-Test methods for permeability |
| Addition foam ratio(Vol,%) | 250 | |

<표 3.8.48> 실험배합

| W/B | C/S | Foam ratio | Water content (kg/㎥) | Unit weight(kg/㎥) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | OPC | AC | CH | AG | Quartz | SP | SUM |
| 35% | 0.85 | 250% | 138.8 | 205.9 | 20.6 | 7.4 | 12.4 | 150.3 | 2.3 | 535.4 |

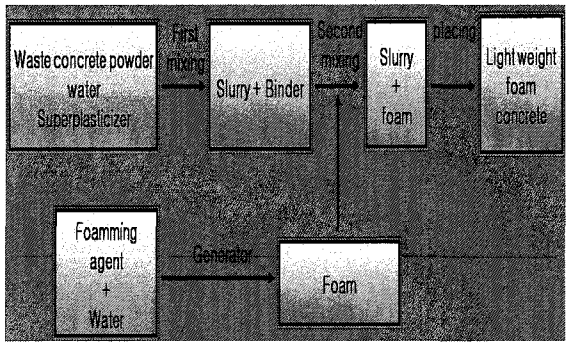
(나) 사용재료

본 실험에 사용된 시멘트는 KS L 5201의 규정에 적합한 분말도 3,200±300 ㎠/g, 밀도 3.15g/㎤의 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였다. 폐콘크리트 미립분은 충남 천안의 건설폐기물 처리업체 G사의 것으로 밀도 2.5 g/㎤, 함수율 46%의 슬러지를 습식마쇄를 후 절건하여 사용하였다. 규사분은 금평산 천연 규사분으로 분말도 3,600~3,700㎠/g, 밀도 2.65g/㎤를 사용했다. 혼화제는 K사의 밀도 1.2kg/㎥의 나프탈렌계 고성능 감수제를 사용하였고, 기포제는 밀도 1.18kg/㎥, 고형분량 37.1%, 계면활성제를 사용하였다.

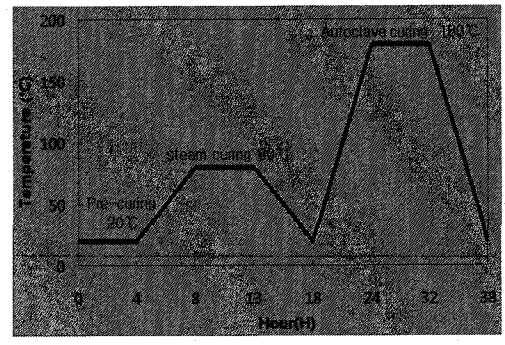
(다) 실험방법 및 양생방법

본 실험에 적용한 경량기포콘크리트의 제조 방법은 Pre-foaming 방법으로, 그 제조 방법은 [그림 3.8.23]과 같으며 사용된 믹서는 원통형의 믹서에 나선형 블레이드

가 설치된 리본믹서를 사용하였다. 양생방법은 그림 3에서와 같이 타설이 끝난 후 4시간의 기건 양생을 실시한 다음 증기양생 80℃에서 승온 3시간 유지3시간으로 증기양생을 실시한 후 10기압 180℃의 조건으로 승온 6시간 유지 8시간으로 오토클레이브 양생을 실시한 후 자연감압 냉각 시켰다.



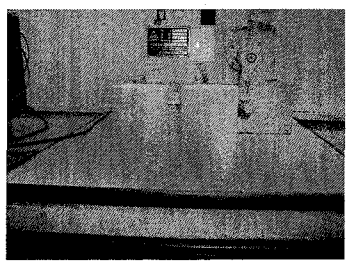

[그림 3.8.23] 실험방법



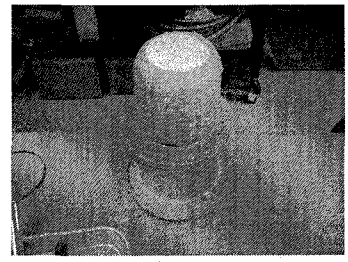

[그림 3.8.24] 양생방법

(라) 실험결과

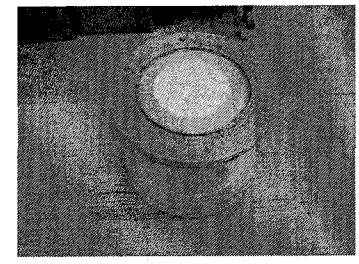
본 실험결과 절건밀도는 0.46g/㎤의 범위를 보였으며, 투수계수 측정은 품질검사 전문기관인 미래ENC의 품질시험 검사성적서를 통해 결과를 도출하였다. 투수계수 측정은 정수위로 하여 측정하였으며 실험 과정은 [사진 3.8.7]과 같다



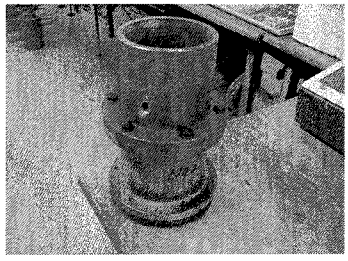
1. 공시체



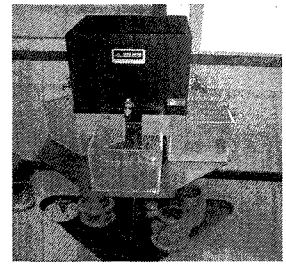
2. 벤토나이트층 형성



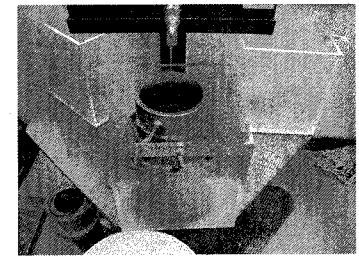
3. 시편과 몰드 결합



4. 투수용 시편 완성



5. 정수위 시험 준비



6. 정수위 테스트

[사진 3.8.7] 정수위 투수계수 측정방법

<표 3.8.49> 흙의 투수성에 따른 투수시험의 종류

| 투수시험의 종류 | 효과적인 적용 대상 흙 | 개략적인 투수계수의 범위, $k$(cm/s) |
|---|---|---|
| 정수위투수시험 | 모래 | $10^{2}$~$10^{-3}$ |
| 변수위투수시험 | 실트~점토 | $10^{-3}$~$10^{-7}$ |
| 압밀시험 | 점토 | $10^{-7}$ 이하<br>(일반 자연상태에서는 거의 불투수에 가까우므로 불투수성 흙이라고 함) |

정수위 투수 실험 결과 $4.94*10^{-2}$ 으로서 모래 수준의 투수율을 보인다. 실트 및 점토에 비해 우수한 성능을 확보할 수 있어 기존의 여과제를 대체하더라도 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

## 라. 개발된 재활용 제품의 표준화 계획 수립

본 연구에서 개발한 제품은 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량기포콘크리트블록으로 폐부산물을 이용한 제품이다. 따라서 이러한 재활용 제품은 국가에서 철저히 시험 분석한 후 우수제품에 대하여 품질인증마크(GR마크)를 부여하게 된다. 이러한 재활용제품은 품질을 정부가 인증함으로써, 그동안 소비자가 외면해 오던 재활용제품의 품질을 향상시켜 소비자의 불신을 해소하고 수요기반을 확충함에 있다.

품질인증의 대상품목은 자원의절약과재활용촉진에관한법률시행규칙』 제2조에 규정된 재활용제품(별표 1)에 규정되어 있다. 그중에서 폐콘크리트의 재활용은 요업분야에 세부적인 품질기준이 규정되어 있다. 하지만 세부규정에는 폐콘크리트 골재에 대해서만 규정되어 있어, 본 연구에서 개발한 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량기포콘크리트블록의 재활용제품의 인증은 현실적으로 불가능한 상태이다. 재활용제품으로서의 인증을 위해서 GR협회의 질의 결과, 재활용률의 제정을 담당하고 있는 환경부의 재활용재료의 항목 추가와 함께, 재활용률의 제정이 우선적으로 실시되어야 한다는 내용을 환경부의 질의요청 결과 알게 되었다. 따라서 환경부의 담당부서와의 연락을 통해 재활용 제정을 위한 제안서를 작성하여 현재 건설폐기물재활용연구단과 협의하여 환경부에 제출할 계획이다.

# 제 9 절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐 폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발

## 1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발

### 가. 이론적 · 실험적 접근방법

(1) 시범 사업 종합계획 수립을 위한 연구수행 체계 및 방법

타 협동과제에서 개발된 기술 중 시범적용이 필요한 항목 및 적용시기 등의 세부계획을 수립하고 최적의 시범사업 현장을 선정, 공사에 적용하여 해당기술의 적용성을 평가하고 보완사항을 도출하며, 나아가 재활용 기술 · 제품의 실물적용에 대한 홍보 및 부정적 인식 해소에 기여하고자 한다.

연구수행을 위해서 종합적 적용이 가능한 기술과 개별 적용이 요구되는 기술을 분리하여 시범 사업 추진을 추진하며, 시범사업 추진 시 가능한 한 관련기술자 및 관계자를 초빙하여 시범사업행사를 시행함으로써 기술전파에 노력할 것이며, 자세한 수행 방법은 다음과 같다.

① 시범사업 대상구조물 선정

② 세부 추진(적용부위, 물량, 공사일정 등) 계획 수립

③ 설계상황(도면 작성, 제품 및 재료 내역, 관련시방 등) 검토

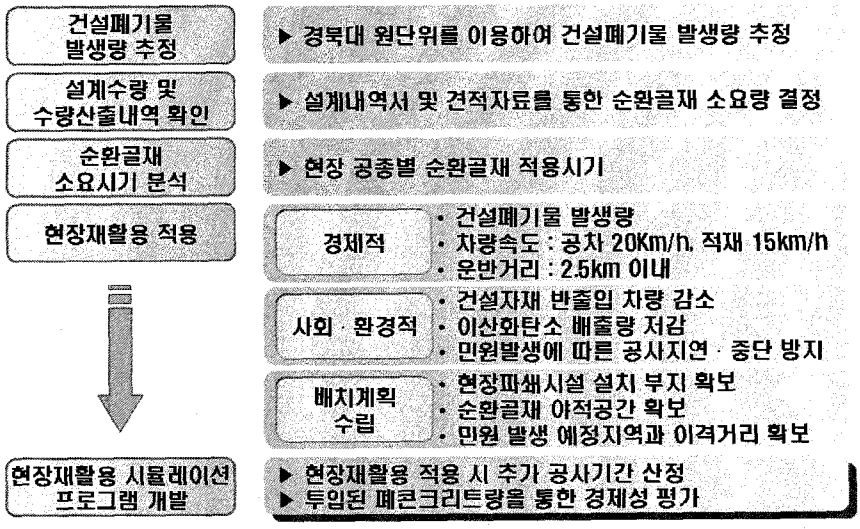
④ 예산 확보 방안 검토

⑤ 시범사업 관련 현안 및 협의 사항 검토

(2) 현장재활용 시뮬레이션 알고리즘 개발을 위한 연구수행 체계 및 방법

건설폐기물의 발생에서부터 현장재활용 적용까지 일괄적으로 처리할 수 있는 현장재활용 시뮬레이션 프로그램을 개발하기 위한 연구수행방법은 [그림 3.9.1]과 같다. 건설현장에서 발생되는 건설폐기물의 상당량은 재활용용도, 사용량, 재활용 기준의 미비 등으로 당해 현장재활용이 불가능한 경우가 대부분으로 건설폐기물의 실질적인 재활용을 위해서는 종류별 활용용도 및 기준, 소요량 등에 대한 체계

적인 정립이 필요하다.




[그림 3.9.1] 시뮬레이션 프로그램 개발 방법

(3) 건설폐기물의 종류별 원단위 지표개발을 위한 연구수행 체계 및 방법

본 연구는 건설폐기물 해체, 처리 및 재활용 과정에 있어서 그 발생량, 처리방법, 재활용용도, 등을 조사·분석하여 건축물의 철거현장 및 수집·운반, 처리과정에서 건설폐기물의 적정한 원단위를 개발하는데 그 목적을 둔다. 이는 재활용 가능한 건설폐기물의 적절한 관리의 부재로 인한 유한적 자원 및 매립지 등의 낭비를 막기 위함이며, 다음과 같은 방법으로 연구를 수행 하고자 한다.

① 실측조사에 의한 건설폐기물의 발생량을 추정한다.

② 재개발사업지구 및 택지개발지구 등의 중심으로 샘플시공에 의한 건설폐기물량을 산정한다.

③ 재개발사업지구 및 택지개발지구 등의 현장에서 설계수량 조사에 의한 건설폐기물량을 산정한다.

④ 재개발사업지구 및 택지개발지구 등에 전년도에 산정된 원단위와 기존에 발표된 원단위를 적용하여 비교한다.

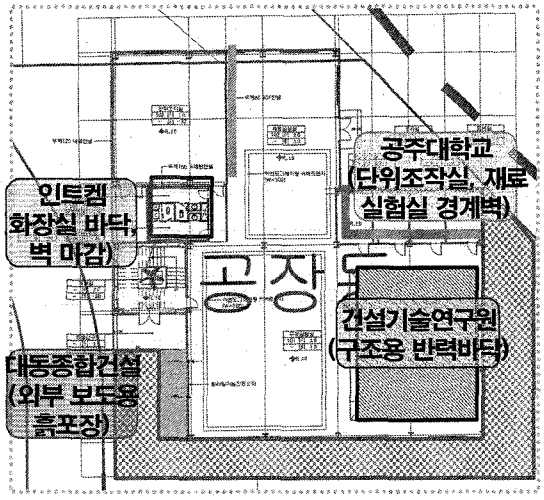
⑤ 분석된 자료를 바탕으로 건축물의 철거현장 및 수집·운반, 처리 시 현행 분류체계 문제점을 도출하고, 문제점을 해결할 수 있는 건설폐기물의 적절한 분류체계를 마련하며, 건설폐기물의 종류별 발생원단위 지표를 개발하고자 한다.

## 나. 시범적용 종합계획 수립

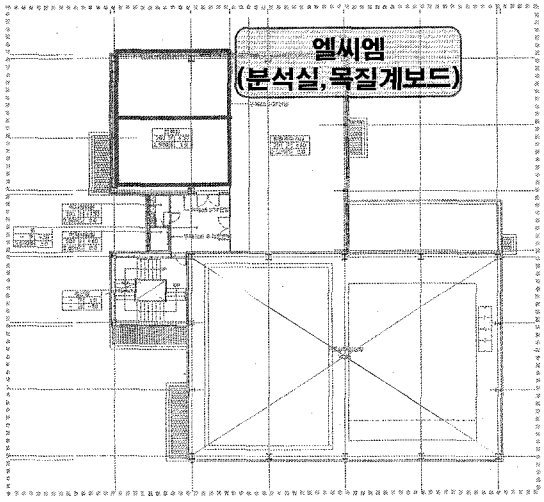
(1) 시범사업 개요

(가) 시범사업 대상

시범사업 적용 대상은 공주대학교 천안공과대학에 있는 산학협력 공장동으로 선정하였으며, 공장동 건물은 건축구조, 재료 및 환경실험실, 분석실, 정밀 계측실 및 화학실험실 등으로 활용될 예정이다. 적용 건물은 지하 1층, 지상2층의 규모로 건축면적은 1000㎡, 건축연면적 2000㎡이고 구조형식은 철골조이다.




1) 산학협력 공장동 1층 평면도




2) 산학협력 공장동 2층 평면도

[그림 3.9.2] 공주대 산학협력 공장동 시범적용 계획

(나) 세부적용계획

참여기관은 건설기술연구실, (주)인트캠, 대동종합건설, 공주대학교 및 엘씨엠으로 총 5개 기관이며 세부적용 내용은 다음과 같다.

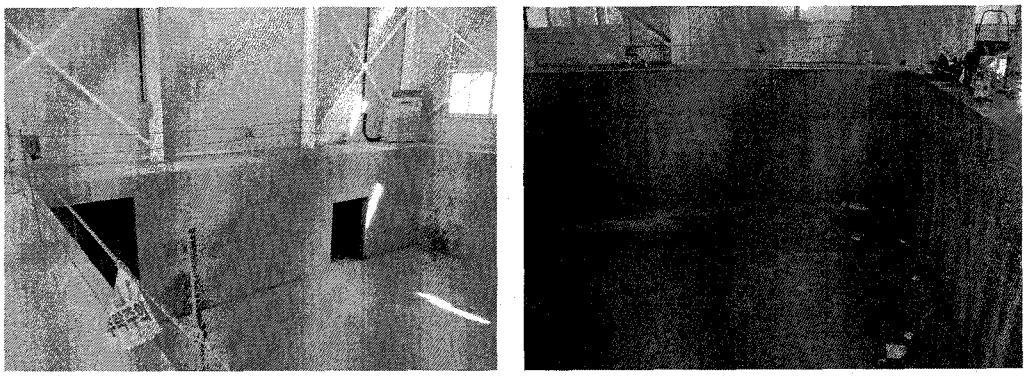
① 건설기술연구원, 순환골재 콘크리트 적용

㉠ 적용계획

건설기술연구원은 순환골재 콘크리트를 1층 반력바닥에 시범적용하며, 적용 면적은 200㎥이며, 예상 비용은 2,000만원, 준비기간은 2개월로 시공 시기는 2008년

10월 말로 계획을 수립하였다.

㉡ 적용 부위



[사진 3.9.1] 구조물 반력구조 시험시공 부위

② 인트켐, 폐유리 재활용 제품

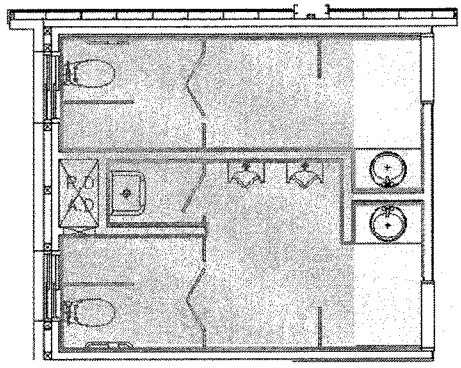
㉠ 적용계획

시범적용항목은 폐유리 재활용 제품인 타일, 인조대리석 및 블록 3 종류이며, 1층 화장실의 벽 및 바닥에 시험 시공을 계획하였다. 적용면적은 총 105㎡ 이며, 준비 기간은 약 3주에서 3달 정도 소요될 것으로 판단된다.

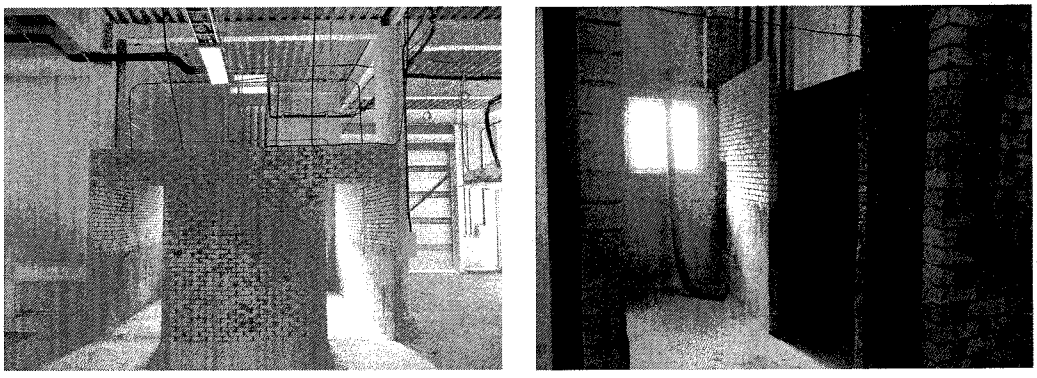
<표 3.9.1> 인트켐 시범 적용 계획

| 구 분 | 내 용 | | |
|---|---|---|---|
| 항목 | 폐유리 타일 | 폐유리 인조대리석 | 폐유리 블록 |
| 크기 | 142 * 142 * 15mm | 300 * 300 * 12mm<br>~ 1,200 * 1,500 * 12mm | 200 * 100 * 60mm |
| 적용 부위 | 1층 화장실<br>바닥일부 및 벽 포인트 | 1층 화장실<br>바닥 및 벽면 | 1층 화단 경계석 |
| 적용 면적 | 5.0㎡ | 95.0㎡ | 5.0㎡ |
| 적용 비용 | 타일시공비 | 1,140만원<br>(10 ~ 12만원/㎡) | 블록시공비 |
| 적용 시기 | 2008년 8월 | | |
| 준비 기간 | 3 month<br>(실험실 제조 기준) | 3주<br>(주문발주기간) | 3 month<br>(실험실 제조 기준) |

㉡ 적용부위




[그림 3.9.3] 폐유리 재활용 제품 시험시공 적용 부위



[사진 3.9.2] 시험시공 적용 부위(1층 화장실 벽 및 바닥)

③ 대동종합건설, 공장동 외부 보도용 포장

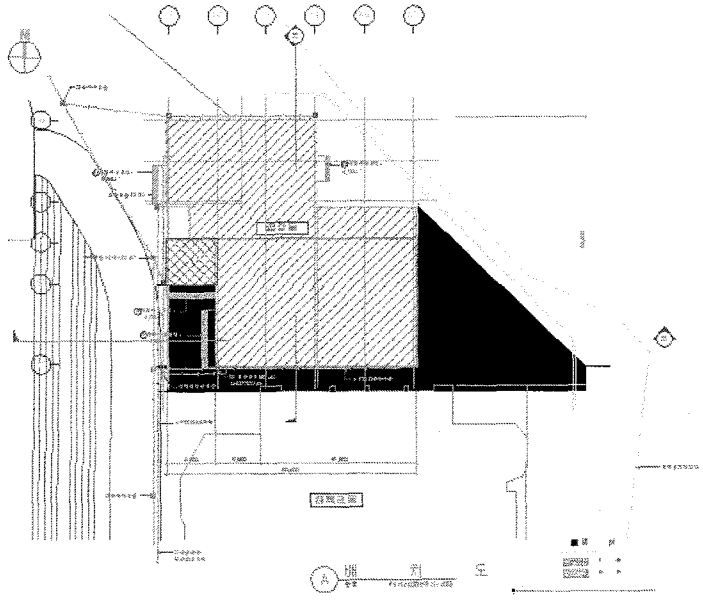
㉠ 적용계획

대동 종합건설은 공장동 외부 보도에 흙 포장 시험시공을 계획하였으며, 적용면적은 약 410㎡으로 시범적용항목 및 시기 등의 세부계획은 다음과 <표 3.9.2>와 같다.

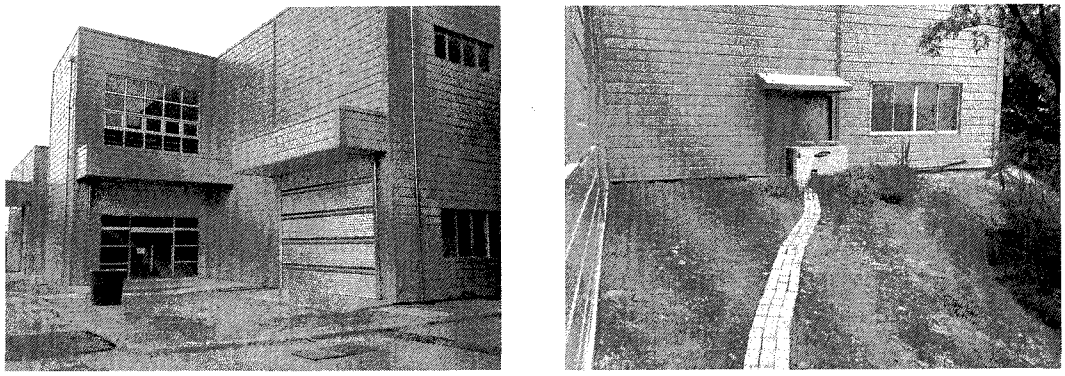
<표 3.9.2> 대동종합건설 시범 적용 계획

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 항목 | 흙포장 |
| 적용 부위 | 공장동 외부 보도용 포장 |
| 적용 면적 | 약 410㎡ |
| 적용 비용 | • 고화재 : 540만원 • 설 계 : 200만원<br>• 물류비 : 250만원(건설오니 수거 및 1차 처리비)<br>• 시공비 : 1,560만원 • 합 계 : 2,550만원 |
| 적용 시기 | 2008년 8월말 |
| 준비 기간 | 2개월 |

㉡ 적용부위



[그림 3.9.4] 흙 포장 공사 적용 부위 도면



[사진 3.9.3] 흙포장 공사 대상 부위(건물입구 및 후정)

④ 공주대학교, 경량블록 적용

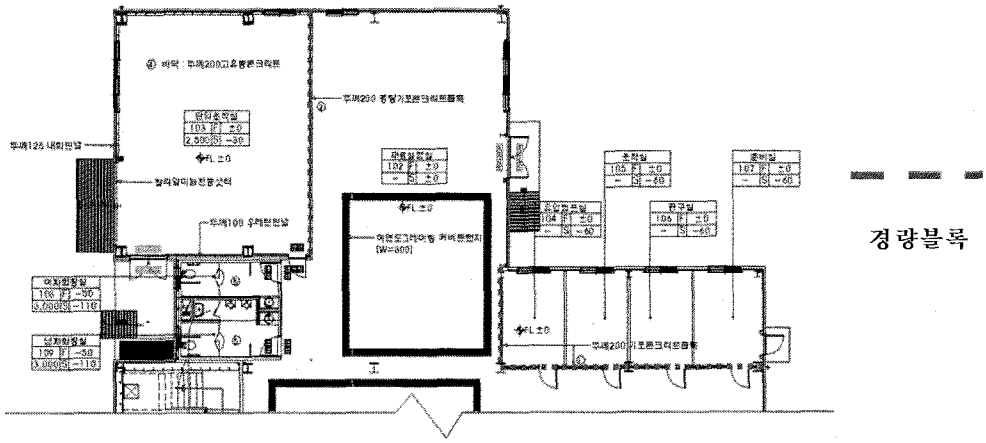
㉠ 적용계획

시범적용항목 및 시기 등의 세부계획은 다음과 <표 3.9.3>과 같으며, 적용면적은 경량블록 층고(5,500mm)를 고려하여 산출하였으며, 적용비용은 제작비 및 설치비 포함이고 경량블록은 일부 제조비 제외(전력비)하였다. 또한 예상 비용 외에 추가적으로 장비 임대비(고소작업)에 따른 비용이 발생할 것으로 예상된다.

<표 3.9.3> 공주대학교 시범 적용 계획

| 구분 | 내용 |
|---|---|
| 항목 | 경량블록 |
| 크기 | 600*600*200 |
| 적용부위 | 단위조작실 및 재료실험실 경계벽 |
| 적용면적 | 150㎡ |
| 적용비용 | 1,000만원 |
| 적용시기 | 2008년 8월말 |
| 준비기간 | 3개월 |

㉡ 적용부위




[그림 3.9.5] 경량블록 적용 부위 도면

⑤ 엘씨엠, 벽체 마감

엘씨엠은 2층 단위조작실(적용부위는 [그림 3.9.2] 의 2))의 벽면에 목질계 보드로 벽체 마감 시험 시공을 계획하였으며, 시범적용항목 및 시기 등의 세부계획은 다음과 <표 3.9.4>와 같다.

<표 3.9.4> 엘씨엠 시범 적용 계획

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 항목 | 벽체 |
| 크기 | 600 * 1200 * 25mm |
| 적용 부위 | 2층 단위조작실 벽 마감 |
| 적용 면적 | 약 200㎡ |
| 적용 비용 | 25,000원/㎡ |
| 적용 시기 | 2008년 8월말 |
| 준비 기간 | 1 month<br>(라인적용 제조 기준) |

(2) 추진현황

(가) 연구교류협약 체결

다음 <표 3.9.5>와 같은 총 5회의 시범사업 추진회의결과 2007년 11월 29일 공주대학교 천안공과대학에서 건설폐기물 재활용 연구단과 공주대학교의 연구교류협약이 체결되었다.

<표 3.9.5> 시범사업 추진회의

| 회차 | 일시 | 장소 | 내용 |
|---|---|---|---|
| 1 | 07년 10월 24일 | 대한주택공사 | 시범사업 착수회의 |
| 2 | 07년 12월 11일 | 공주대 천안공과대학 | 1차 시범사업 추진회의 |
| 3 | 08년 02월 13일 | 공주대 천안공과대학 | 2차 시범사업 추진회의 |
| 4 | 08년 04월 10일 | 공주대 천안공과대학 | 3차 시범사업 추진회의 |
| 5 | 08년 05월 13일 | 공주대 천안공과대학 | 4차 시범사업 추진회의 |

(나) 세부 적용 계획(적용 부위, 물량, 공사일정 등) 수립

(다) 설계상황(진행정도, 설계도면, 제품 및 재료 내역, 관련 시방 등) 검토

(라) 예산 확보 방안 검토

(마) 시범사업 관련 현안 및 협의사항 검토

## 다. 현장재활용 시뮬레이션 알고리즘 개발

(1) 시뮬레이션 프로그램 알고리즘

시뮬레이션 프로그램 개발 방법은 경북대가 개발한 원단위를 이용하여 건설폐기물 발생량을 추정하고, 설계내역서 및 견적자료를 통해 순환골재 소요량을 결정하여 설계수량 및 수량산출내역 확인한 다음, 현장 공종별 순환골재 적용시기를 결정한다. 그 다음 현장재활용 시 발생할 수 있는 경제적· 사회·환경적 문제를 검토하고, 전체적인 배치계획을 수립한다. 배치계획 수립 시에는 순환골재의 현장재활용을 위한 현장파쇄시설 설치 및 순환골재 야적공간을 확보하도록 하고, 민원발생 예정 지역과의 이격거리를 고려하도록 한다.

(가) 기초자료

① 건설폐기물 발생량

경북대에서 개발한 원단위와 기타 원단위를 기본으로 하여 사업지구, 건축물 구조, 준공년도, 건축물 용도, 층수, 연면적, 지장물 수량 등을 입력하고, 입력된 원단위를 통해서 자동으로 건설폐기물 종류별 원단위를 산정한다. 한국건설자원협회의 건설폐기물 처리단가를 입력 시 발생량에 따른 폐기물 처리 비용이 산정되도록 한다.

- 사업지구별 : ①택지개발지구 ②주거환경개선지구 ③주택재개발지구
- 건축물 구조 : ①RC조 ②벽돌조 ... ...⑭비닐하우스
- 준공년도 : ①1960년 ②1965년... ...⑩2005년
- 건축물 용도 : ①상업용 ②주거용 ③산업용
- 건축물 층수 : ①지상1층 ②지상2층 ③지하1층 지상1층... ... 등
- 건축물 연면적 : 해당 연면적 직접 입력
- 건축물 비고 : 기타 건축물 선택 - 벽, 외부화장실 등

실례를 들자면 다음 <표 3.9.6>과 같다.

<표 3.9.6> 건설폐기물 발생량 입력

| 사업지구 | 건축물 구조 | 준공년도 | 건축물 용도 | 원단위 | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 콘크리트,블록, 벽돌 | | | | 목재 창호 | 목재류 | 기와 | 슬레이트 | 도기 및 유리 편류 | 합성수지류 | 철물, 철재류 |
| | | | | 무근 콘크리트 | 철근 콘크리트 | 블록 | 벽돌 | | | | | | | |
| 주거환경 개선지구 | 블록/블록/슬라브 | 1970 | 주택 | 0.09020 | 0.09536 | 0.38047 | 0.00455 | 0.00209 | 0.03005 | 0.00454 | 0.00000 | 0.00388 | 0.06110 | 0.01932 |

② 소요수량

설계 견적 자료 및 기타 시방서를 참고하여 순환골재 사용처 및 ㎡당 순환골재 사용량과 순환골재 사용처 크기를 입력(예 : 우수관 하부 1㎞일 경우 → 1000m · 1m · 0.3m · 0.5t/㎥)한다. 입력된 수치를 통하여 사용처별 순환골재 소요량을 산정하며, 보조기층재용 순환골재 소요량이 1000t이 필요한 경우 300t의 미분말 또는

품질미달 골재가 생산되므로 폐콘크리트량은 1300t이 필요하다는 식으로, 순환골재 품질을 선정할 경우 필요 폐콘크리트량을 산정한다. 순환골재 사용처별 소요량은 다음 <표 3.9.7>과 같다.

㉠ 순환골재 소요량

- 순환골재 사용처 선정 : ①공사용도로 ②성/복토용 ③우수관 하부 … ⑩ 보조기층재
- 순환골재 사용처 별 $m^2$당 순환골재 사용량 : 직접 입력 (예 : 우수관 하부 30cm 잡석다짐)
- 또는 설계 견적에 의한 골재량 중 필요 순환골재량 직접 입력

㉡ 폐콘크리트량 산정

- 폐콘크리트량 산정 : 순환골재 소요량에 따른 폐콘크리트 투입량 산정 (순환골재 품질에 따라 폐콘크리트 투입 대비 순환골재 생산량이 다름)

<표 3.9.7> 순환골재 사용처별 소요량의 예

| 구분 | 사용처 | 순환골재 소요량 | 비고 |
|---|---|---|---|
| 1 | 공사용도로 | 0.5t/$m^2$ | 현장여건에 따라 다름 |
| 2 | 성/복토용 | 0.5t/$m^2$ | 현장여건에 따라 다름 |
| 3 | 우수/오수관 하부 | 0.3t/$m^2$ | 예) 토목 시방서 기준 : 30cm 잡석다짐 |
| 4 | 보조기층재 | 0.2t/$m^2$ | 예) 토목 시방서 기준 : 20cm 이상 |

③ 현장여건

현장여건 및 도로 상태에 따른 차량속도와 폐콘리트 발생지에서 현장파쇄시설까지 운반거리를 입력하며, 현장파쇄시설에서 골재 사용처까지의 운반거리 또한 입력한다.

<표 3.9.8> 현장여건/도로상태에 따른 차량속도

| 도로상태 | 평균속도 | |
|---|---|---|
| | 적재(km/h) | 공차(km/h) |
| 1차선의 교차대기가 필요한 공사용 가설도로 | 10 | 10 |
| 2차선 이상의 공사용 가설도로 | 20 | 20 |
| 2차선 이상의 유지관리가 상태가 극히 양호한 공사용 도로 | 25 | 25 |

(나) 경제성 분석에 필요한 입력 변수

① 현장재활용 공종 및 사용기계

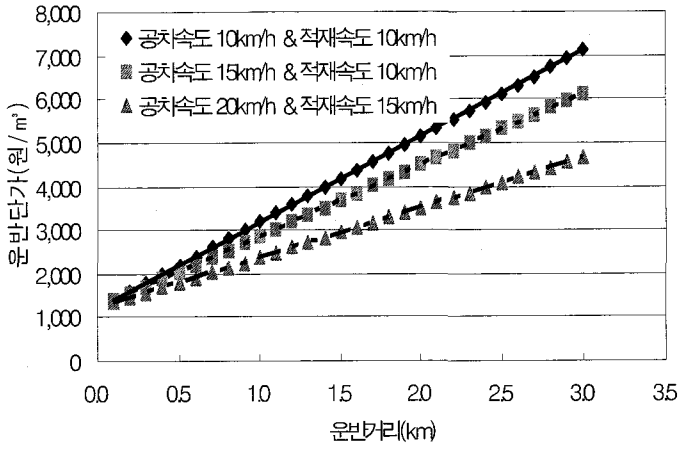
현장재활용 비용은 폐콘크리트의 재활용량뿐만 아니라 공사차량 속도 및 운반거리에 따라 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 현장재활용 경제성 분석 시 고려해야할 항목을 현장파쇄시설 설치 및 해체, 폐콘크리트 상차 및 운반, 현장 파쇄시설 투입 전 소할파쇄, 폐콘크리트 투입, 현장재활용 골재 생산 및 정리, 그리고 현장재활용 골재 상차 및 운반 등으로 계상하였다. 현장재활용 공종 별 투입장비는 다음 <표 3.9.9>와 같다.

② 폐콘크리트량 운반 단가

폐콘크리트 발생지에서 현장파쇄시설까지의 운반거리 및 공차 및 적재 차량속도에 따른 운반단가를 분석한다. 현장여건에 따라 운반거리 및 트럭의 속도가 달라지는데, "현장재활용"을 하는 현장은 비포장도로이며, 차량속도는 안전 및 사고방지를 고려하여 20km/h를 넘지 않는 것이 일반적이다.

<표 3.9.9> 현장재활용 공종별 투입장비

| 현장재활용 공종 | 투입장비 |
|---|---|
| 폐콘크리트 상차 및 운반 | 백호(1㎥), 15t트럭 |
| 파쇄시설 투입 전 소할파쇄 | 백호 (0.7 ㎥) |
| 폐콘크리트 투입 | 타이어로더(3.5 ㎥) |
| 현장재활용 골재 생산 및 정리 | 이동식 크러셔(200t), 타이어로더( 3.5 ㎥) |
| 현장 재활용 골재 상차 및 운반 | 타이어로더(3.5 ㎥),15t 트럭 |




[그림 3.9.6] 운반거리 및 속도에 따른 운반단가

[그림 3.9.6]은 운반거리 및 3가지 차량속도 조합에 의한 운반단가를 보여주며, <표 3.9.10>은 운반거리 및 차량속도에 따른 운반단가를 편리하게 적용하기 위하여 선형회귀분석을 사용한 예를 나타낸다. 여기서 y는 운반단가(원/㎥)이며, x는 운반거리(km)이다.

<표 3.9.10> 차량속도 및 운반거리에 따른 운반단가 회귀식

| 차량속도(km/h) | | 선형회귀식 |
|---|---|---|
| 공차 | 적재 | |
| 10 | 10 | $y = 1962.6x + 1220.6$ ($r^2=1$) |
| 15 | 10 | $y = 1635.5x + 1220.6$ ($r^2=1$) |
| 20 | 15 | $y = 1144.9x + 1220.6$ ($r^2=1$) |

③ 현장재활용 경제성 분석

폐콘크리트의 "현장재활용" 비용은 현장파쇄시설의 설치 및 해체비용과 비용계상항목 단가에 폐콘크리트 재활용량을 곱하여 결정된다. 따라서 폐콘크리트의 "현장재활용" 비용을 식으로 나타내면 [식 1]과 같다.

$$T_C = V * C = V * A+B \qquad \text{[식 1]}$$

여기서, Tc는 총 폐콘크리트 재활용 비용이며, V는 폐콘크리트 재활용량, C는 "현장재활용" 비용의 단가이고, A는 "현장재활용" 골재 생산에 드는 제반비용, 그리고 B는 현장파쇄시설의 설치 및 해체비용이다. 이를 "현장재활용" 비용의 단가로 [식 1]을 정리하면 [식 2]와 같다.

$$C = A + B/V \qquad [식\ 2]$$

(다) 사회적 분석을 위한 입력변수 및 현장재활용시 이산화탄소 저감량 분석

사회적 환경적 필요에 의해 국제 환경기준 준수를 위한 $CO_2$ 저감은 필수요소이므로, 현장재활용 및 중간처리 시 $CO_2$ 발생량을 비교해 보고자 한다.

① 사회적 분석을 위한 입력변수

현장재활용을 위한 장비투입의 경우 에너지 사용량에 따라 $CO_2$ 가 발생하게 되며 사용 에너지원 별 이산화탄소 배출원단위는 표 <3.9.11>과 같다

<표 3.9.11> 에너지별 이산화탄소 배출원단위

| 에너지 종류 | $CO_2$ 배출원단위 |
|---|---|
| 전력 | 0.424 kg/ kWh |
| 경유 | 2.824 kg/ ℓ |

이산화탄소 발생량은 현장재활용 공종 및 투입장비, 총 작업시간, 총 연료소모량에 따라 달라지며, 총 이산화탄소 발생량은 에너지원별 지구온난화의 사회적 비용 공식을 적용하여 산출하였고 그 식을 간략화하면 다음과 같다.

**총 이산화탄소발생량 = 총 연료 소모량(경유) × 2.824 kg/ ℓ**

② 현장재활용시 이산화탄소 저감량 분석

폐콘크리트의 현장재활용 시 이산화탄소 배출량을 분석하여 중간처리 시와 석산골재 활용시의 이산화탄소 배출량과 비교하여 현장재활용시 이산화탄소 저감에 따른 사회적 비용 절감효과를 확인해 보고자 하였다.

㉠ 재활용방법별 $CO_2$ 배출량 산정

ㅇ 구조물 해체 시 이산화탄소 배출량 산정

폐콘크리트의 현장재활용 공정을 분석하기 위해 K공사가 택지개발을 통하여 신도시를 건설하는 대규모 건설현장을 사례현장으로 선택하였다. 해체 및 철거 시 발생되는 총 건설폐기물의 양은 약 1,129만㎥으로 산출되었으며, 이 중 현장재활용 대상이 되는 폐콘크리트의 수량은 건축구조물에서 93,715㎥, 토목구조물에서 43,185㎥를 산정하였다.

구조물을 해체, 선별 및 집토 과정에서 사용한 장비, 작업능력, 연료소비량을 표준품셈 및 대한주택공사 견적자료를 근거로, 경유의 $CO_2$ 배출 원단위 2.824kg/L를 근거하여 이산화탄소 배출량을 산정하여 요약하여 나타낸 것이 <표 3.9.13>이다.

결과를 보면 토목구조물의 해체가 건축구조물의 해체보다 연료소비량이 약 2.2배 더 많이 사용되는 것으로 나타났다. 따라서 폐콘크리트 139,873㎥를 재활용하기 위한 구조물 해체단계에서 이산화탄소 배출량은 472ton에 이르며, 구조물 해체를 위한 단위체적당 이산화탄소 배출량은 3.374kg/㎥이다.

<표 3.9.12> 구조물 해체 공정의 작업능력 및 단위 연료소비량

| 구조물 해체 공종 | 구조물 타입 | 사용 장비 | 작업 능력 ($m^3$/hr) | 연료 소비량 (L/hr) |
|---|---|---|---|---|
| 건축 | 2-6층 이하 RC라멘조 | 압쇄기+백호1.0$m^3$ | 11.8 | 17.7 |
| | 철근 30이상 | 유압식백호+대형브레이커 대형브레이커 치즐 | 2.05 | 17.7 |
| | 철근 30미만 | 유압식백호+대형브레이커 대형브레이커 치즐 | 2.45 | 17.7 |
| | 무근 30미만 | 유압식백호+대형브레이커 대형브레이커 치즐 | 4.6 | 17.7 |
| | 벽돌 블록 | 백호 1.0$m^3$ | 76.4 | 17.7 |
| 토목 | 철근 30이상 | 유압식백호+대형브레이커 대형브레이커 치즐 | 2.05 | 17.7 |
| | 철근 30미만 | 유압식백호+대형브레이커 대형브레이커 치즐 | 2.45 | 17.7 |
| | 무근 30미만 | 유압식백호+대형브레이커 대형브레이커 치즐 | 4.6 | 17.7 |
| | 보도블럭철거 | 백호 1.0$m^3$ | 38.34 | 17.7 |
| | 아스콘 | 유압식백호0.7$m^3$ +대형브레이커 대형브레이커 치즐 | 5.9 | 10.5 |
| 선별 및 집토 | 기타 | 살수차 | 6.75 | 10.2 |
| | 콘크리트 | 백호 1.0$m^3$ | 27.5 | 17.7 |
| | 혼합폐기물 | 백호 1.0$m^3$ | 52.08 | 17.7 |
| | 콘크리트, 블럭류 | 백호 1.0$m^3$ | 27.5 | 17.7 |
| | 폐아스콘 | 백호 1.0$m^3$ | 35.01 | 17.7 |

<표 3.9.13> 해체과정에서 사용한 장비 및 $CO_2$ 배출량

| 구조물 해체 | 사용장비 | 경유소비량 | $CO_2$ 발생량 (kg/$m^3$) |
|---|---|---|---|
| 건축 구조물 | 압쇄기+백호(1$m^3$) 유압식 백호+대형브레이크 대형브레이크 치즐 | 2.03l/$m^3$ | 5.73 |
| 토목 구조물 | 유압식 백호+대형브레이크 대형브레이크 치즐 | 4.55l/$m^3$ | 12.85 |
| 선별 및 집토 | 살수차 백호(1$m^3$) | 0.61l/$m^3$ | 0.88 |

○ 현장재활용 시 $CO_2$ 배출량

현장재활용의 공종은 현장파쇄시설 설치 및 해체, 폐콘크리트 상차 및 운반, 현장파쇄시설 투입 전 소할파쇄, 폐콘리트 투입, 순환골재 생산 및 정리, 그리고 순환골재 상차 및 운반 등으로 구성된다. <표 3.9.14>는 현장재활용 공정의 작업능력 및 단위 연료소비량을 보여준다.

대부분의 폐콘크리트 재활용 현장에서 사용되는 200톤 용량의 파쇄기를 사례현장에서 사용하였다. <표 3.9.14>를 근거하여 폐콘크리트의 현장재활용 시 사용되는 총 경유 소모량은 93만 7천5백l이고 $CO_2$ 배출 원단위는 2.824kg/L 이므로, 총 이산화탄소 발생량은 2,647.4톤이다.

<표 3.9.15>는 현장재활용 공종별 사용 장비 및 이산화탄소 배출량을 보여주며, 폐콘크리트를 재활용하여 골재를 생산할 경우 배출되는 단위체적 당 이산화탄소량은 18.927 kg/㎥이다. 이는 구조물 해체를 제외한 값이며, 포함하면 22.304kg/㎥이다.

<표 3.9.14> 현장재활용 공정의 작업능력 및 단위 연료소비량

| 현장재활용 공종 | 투입장비 | 작업능력 Q(㎥/hr) | 연료 소비량 (L/hr) |
|---|---|---|---|
| 폐콘크리트 상차 및 운반 | 백호(1㎥) | 17.7 | 17.7 |
| | 15t 트럭 | 14.74 | |
| 파쇄시설 투입 전 소할파쇄 | 백호(0.7㎥) | 10 | 10.5 |
| 폐콘크리트 투입 | 타이어로더(3.5㎥) | 44.85 | 24.4 |
| 현장재활용 골재 생산 및 정리 | 이동식 크러셔(200t) | 63.53 | 58.1 |
| | 타이어로더(3.5㎥) | 102.16 | 24.4 |
| 현장재활용 골재 상차 및 운반 | 타이어로더(3.5㎥) | 122.6 | 24.4 |
| | 15t 트럭 | 14.74 | 21.1 |

<표 3.9.15> 현장재활용 시 $CO_2$ 발생량

| 현장재활용 공종 | 투입장비 | 총 연료 소모량 (천ℓ) | $CO_2$ 발생량 (ton) |
|---|---|---|---|
| 폐콘크리트 상차 및 운반 | 백호(1㎥),15t 트럭 | 293.3 | 838.3 |
| 파쇄시설 투입 전 소할파쇄 | 백호(0.7㎥) | 22.0 | 62.2 |
| 폐콘크리트 투입 | 타이어로더(3.5㎥) | 76.1 | 214.9 |
| 현장재활용 골재 생산 및 정리 | 이동식 크러셔(200t), 타이어로더(3.5㎥) | 228.3 | 643.3 |
| 현장재활용 골재 상차 및 운반 | 타이어로더(3.5㎥), 15t 트럭 | 318.3 | 698.7 |
| 총계 | | 937.5 | 2,647.4 |

○ 중간처리업체의 골재생산 공정 및 $CO_2$ 배출량

중간처리업체의 순환골재생산에 사용되는 크러셔는 고정식이고 사용되는 에너지원이 전력인 반면에, 현장재활용 공정에서 사용되는 크러셔는 이동식이고 경유를 통한 발전기를 이용한다. 그리고 현장재활용에 비해 운반거리가 길다는 점을 제외하면, 중간처리업체의 골재 생산공정과 현장재활용 공정에 투입되는 건설장비와 작업능력은 거의 유사하다.

<표 3.9.16>는 중간처리업체의 순환골재 생산 공정에서 발생되는 연료소비량과 $CO_2$ 배출량을 보여준다. 중간처리업체의 고정식 크러셔는 시간당 200톤의 폐콘크리트를 파쇄하며, 전력소모량은 2.87kwh/t이며, 전력에 의한 이산화탄소 배출량은 0.424kg/kwh이다. 따라서 중간처리업체에서 재활용하여 골재를 생산에 배출되는 단위체적당 이산화탄소량은 8.039kg/㎥으로, 구조물 해체과정을 포함하면 11.414 kg/㎥이다. 이는 운반 시 배출되는 이산화탄소를 제외한 값이다.

트럭의 운반거리에 따라 경유소모량과 이산화탄소 배출량이 달라지므로 운반거리에 따른 경유소비량과 구조물 해체 시 발생하는 이산화탄소 배출량은 <표 3.9.17>에서 보여주며, 이는 구조물 해체 시 배출되는 이산화탄소량이 포함된 값이다. 운반거리는 '건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률'의 순환골재

의무 사용 고시안을 근거하여 "공사현장에서 직선거리 40km 이내"를 기준으로 분석하였다. 표준품셈을 근거하여 15톤 덤프트럭에 폐콘크리트 적재 시 9.13㎥로 필요 트럭수를 계산하였으며, 차량연비는 2.84km/ℓ이다.

<표 3.9.16> 중간처리업체의 순환골재생산 공정 및 CO2 발생량

| 중간처리업체의 순환골재 생산공정 | 투입장비 | 총 연료 소모량 (천ℓ) | $CO_2$ 발생량 (ton) |
|---|---|---|---|
| 폐콘크리트 상차 | 백호(1㎥) | 90.0 | 254.3 |
| 폐콘크리트 운반 | 15t 트럭 | - | - |
| 파쇄시설 투입 전 소할파쇄 | 백호(0.7㎥) | 22.0 | 62.2 |
| 폐콘크리트 투입 | 타이어로더(3.5㎥) | 76.1 | 214.9 |
| 순환골재 생산 및 정리 | 고정식 크러셔(200t/h), 타이어로더(3.5㎥) | 823Mkwh 47.2 | 482.1 |
| 순환골재 상차 | 타이어로더(3.5㎥), | 39.3 | 111.0 |
| 순환골재 운반 | 15t 트럭 | - | - |

<표 3.9.17> 운반거리에 따른 이산화탄소 배출량

| 운송 거리 | 운행횟수 | 경유 사용량 (천ℓ) | 운반거리에 따른 $CO_2$ 발생량 (ton) | 총 $CO_2$ 발생량 (ton) |
|---|---|---|---|---|
| 5 | 21,448 | 304.6 | 860.1 | 2,456.6 |
| 10 | 21,448 | 609.1 | 1,720.2 | 3,316.7 |
| 15 | 21,448 | 913.7 | 2,580.2 | 4,176.7 |
| 20 | 21,448 | 1,218.2 | 3,440.3 | 5,036.8 |
| 25 | 21,448 | 1,522.8 | 4,300.4 | 5,896.9 |
| 30 | 21,448 | 1,827.4 | 5,160.5 | 6,757.0 |
| 35 | 21,448 | 2,131.9 | 6,020.6 | 7,617.1 |
| 40 | 21,448 | 2,436.5 | 6,880.7 | 8,477.2 |

○ 산림골재 생산 공정 및 $CO_2$ 배출량

산림골재 생산 공정 및 이산화탄소 배출량을 <표 3.9.18>에 나타내었다. 산

림골재 139,873㎥를 생산하기 위한 이산화탄소 배출량은 1,323톤이며. 단위체적당 이산화탄소 배출량은 9.496kg/㎥이다. 이는 골재사용처까지 운반거리에 따른 이산화탄소 배출량은 제외한 양이다.

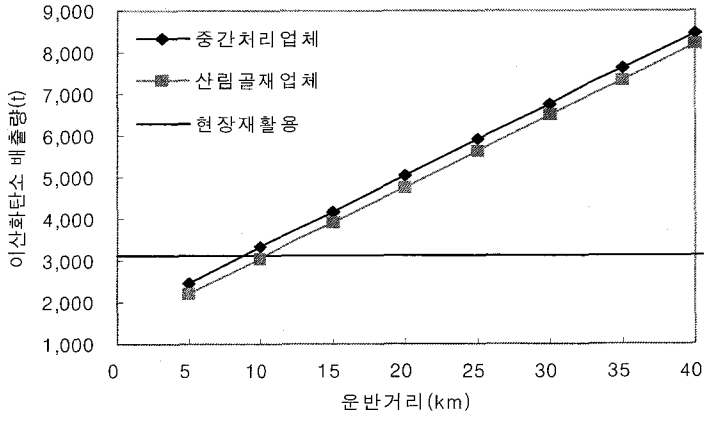
<표 3.9.18> 산림골재 생산공정 및 $CO_2$ 배출량

| 공정 | 투입장비 | 에너지사용량 (l/㎥) | $CO_2$ 발생량 (kg/㎥) |
|---|---|---|---|
| 암반발파 및 골재적하 | 백호(1㎥) | 49,529 | 139.9 |
| | 굴삭기(2㎥) | 0.60 | 117.7 |
| 현장 내 운반 | 트럭(38t) | 255,563 | 721.7 |
| 분쇄 | 크라셔(200t/h) | 823Mkwh | 348.9 |
| 총계 | | | 1,328.2 |

㉡ 현장재활용의 사회적 효과 분석

○ 재활용방법별 이산화탄소 배출량 비교·분석

[그림 3.9.7]은 운반거리에 따른 현장재활용 및 중간처리업체에서 폐콘크리트를 재활용하여 골재를 생산하는 경우 배출되는 이산화탄소량과 산림골재 생산 시 배출되는 이산화탄소량을 보여준다.




[그림 3.9.7] 이산화탄소 배출량 비교

운반거리를 고려하지 않을 경우 이산화탄소 배출량은 석산골재, 중간처리업체, 현장재활용 순으로, 중간처리업체와 석산골재의 단위체적당 이산화탄소 배

출량은 각 각 11.414kg/㎥ 와 9.496 kg/㎥이다. 이는 현장재활용 공정의 이동식 파쇄기에 사용되는 연료가 전력보다 이산화탄소 배출량이 많은 경유이기 때문이다. 운반거리를 고려하여 이산화탄소 배출량을 비교할 때, 중간처리업체 및 석산골재에서 생산되는 골재를 10km이상 운반 할 때, 현장재활용 시 배출하는 이산화탄소량보다 많아진다.

○ 사례현장의 교통량 저감 효과

폐콘크리트의 현장재활용과 중간처리업체 및 산림골재 생산 시 배출하는 이산화탄소량에 가장 영향을 미치는 요소는 생산된 골재를 운반하는 트럭운행회수와 운반거리이다. <표 3.9.19>은 표준품셈을 근거로 하여 골재생산지에서 사용처까지 이상적인 운행주기로 계산된 운반거리와 속도 당 필요한 하루 사용 트럭수를 보여준다. 폐콘크리트 139,87㎥를 운반하기 위한 시간은 367일이 소요된다. 표에서 보듯이 도로여건에 따라 속도가 빠를수록, 거리가 짧을수록 필요한 트럭수가 적어진다는 것을 알 수 있다. 이는 폐콘크리트를 현장재활용할 경우 교통량이 저감하며, 교통량이 저감함에 따라 이산화탄소 배출량이 감소하고, 시내교통체증을 유발할 원인을 한 가지 줄일 수도 있다는 것을 의미한다.

<표 3.9.19> 운반거리와 속도에 따른 트럭 수

| 운반거리 (km) | 속도(km, 적재/공차) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 20/20 | 25/25 | 25/30 | 30/35 | 35/35 | 50/50 | 60/60 |
| | 트럭수 | 트럭수 | 트럭수 | 트럭수 | 트럭수 | 트럭수 | 트럭수 |
| 5 | 31 | 27 | 25 | 23 | 22 | 19 | 17 |
| 10 | 52 | 44 | 41 | 36 | 34 | 27 | 24 |
| 15 | 73 | 60 | 56 | 49 | 46 | 35 | 31 |
| 20 | 94 | 77 | 71 | 62 | 58 | 44 | 38 |
| 25 | 115 | 94 | 87 | 75 | 70 | 52 | 45 |
| 30 | 136 | 111 | 102 | 88 | 82 | 60 | 52 |
| 35 | 157 | 127 | 117 | 101 | 94 | 69 | 59 |
| 40 | 177 | 144 | 133 | 114 | 106 | 77 | 66 |

○ 폐콘리트 발생량 전망에 따른 현장재활용효과 분석

발생된 폐콘크리트를 100% 중간처리업체를 통하여 순환골재를 생산한다고

가정하면 필요한 트럭 운행횟수는 <표 3.9.20>과 같다. 하루 운행회수는 1997년 4,583회에서 2005년은 16.969회, 2010년에는 31,112회로 급속한 증가가 예상된다. 이는 1997년 기준으로 약 6.8배에 이르며, 늘어난 운행횟수에 따른 교통량의 증가로 인한 교통흐름에 영향을 준다.

<표 3.9.20> 폐콘크리트 발생량에 따른 운행횟수

| 년도 | 폐콘크리발생량 (1,000톤/년) | 운행회수 (1,000회) | 1일 운행횟수 |
|---|---|---|---|
| 1997 | 9,296 | 1,673 | 4,583 |
| 1998 | 10,280 | 1,850 | 5,068 |
| 1999 | 14,534 | 2,615 | 7,165 |
| 2000 | 18,013 | 3,241 | 8,880 |
| 2001 | 24,109 | 4,338 | 11,885 |
| 2002 | 26,472 | 4,763 | 13,050 |
| 2003 | 33,813 | 6,084 | 16,670 |
| 2004 | 34,969 | 6,292 | 17,239 |
| 2005 | 34,421 | 6,194 | 16,969 |
| 2006 | 48,529 | 8,732 | 23,924 |
| 2007 | 49,196 | 8,852 | 24,253 |
| 2008 | 53,762 | 9,674 | 26,504 |
| 2009 | 58,400 | 10,509 | 28,790 |
| 2010 | 63,110 | 11,356 | 31,112 |

<표 3.9.21>와 <표 3.9.22>은 폐콘크리트를 현장재활용, 중간처리업체의 순환골재, 산림골재 생산 시 발생되는 운송거리에 따른 연도별 이산화탄소 발생량을 보여준다. 폐콘크리트를 현장재활용할 경우 운반거리와 상관없이 중간처리업체의 순환골재 및 산림골재 생산 할 때보다 적은 이산화탄소를 배출하는 것을 알 수가 있다. 이는 이산화탄소 배출량에 가장 크게 영향을 미치는 요소는 폐콘크리트량 및 골재량에 따른 트럭 운행횟수와 운반거리임을 알 수가 있다.

<표 3.9.23>은 현장재활용에 의한 골재생산 시 배출되는 이산화탄소량을 1이라고 가정했을 때, 중간처리업체 및 산림골재 생산 시 배출되는 이산화탄소

량 비율을 보여준다.

운반거리가 5km이내일 경우 이산화탄소 배출량은 거의 차이가 없다는 것을 알 수 있으며, 운반거리에 따라 이산화탄소 배출량이 급격하게 늘어난다는 것을 알 수가 있다.

<표 3.9.21> 현장재활용 및 중간처리업체의 연도별 이산화탄소 발생량

| 연도 | 현장재활용 | 중간처리업체 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 운반거리(km) | | | |
| | | 5 | 20 | 30 | 40 |
| | 이산화탄소배출량(단위: 천톤) | | | | |
| 1997 | 126.2 | 131.7 | 332.9 | 467.1 | 601.2 |
| 1998 | 139.6 | 145.6 | 368.1 | 516.5 | 664.9 |
| 1999 | 197.3 | 205.9 | 520.5 | 730.2 | 940.0 |
| 2000 | 244.6 | 255.1 | 645.1 | 905.0 | 1,165.0 |
| 2001 | 327.3 | 341.5 | 863.3 | 1,211.3 | 1,559.2 |
| 2002 | 359.4 | 374.9 | 948.0 | 1,330.0 | 1,712.0 |
| 2003 | 459.1 | 478.9 | 1,210.9 | 1,698.9 | 2,186.8 |
| 2004 | 474.8 | 495.3 | 1,252.3 | 1,756.9 | 2,261.6 |
| 2005 | 467.3 | 487.5 | 1,232.6 | 1,729.4 | 2,226.1 |
| 2006 | 658.8 | 687.3 | 1,737.8 | 2,438.2 | 3,138.5 |
| 2007 | 667.9 | 696.8 | 1,761.7 | 2,471.7 | 3,181.7 |
| 2008 | 729.9 | 761.5 | 1,925.3 | 2,701.1 | 3,477.0 |
| 2009 | 792.9 | 827.1 | 2,091.3 | 2,934.1 | 3,776.9 |
| 2010 | 856.8 | 893.8 | 2,260.0 | 3,170.8 | 4,081.5 |

<표 3.9.22> 현장재활용 및 산림골재의 연도별 이산화탄소 발생량

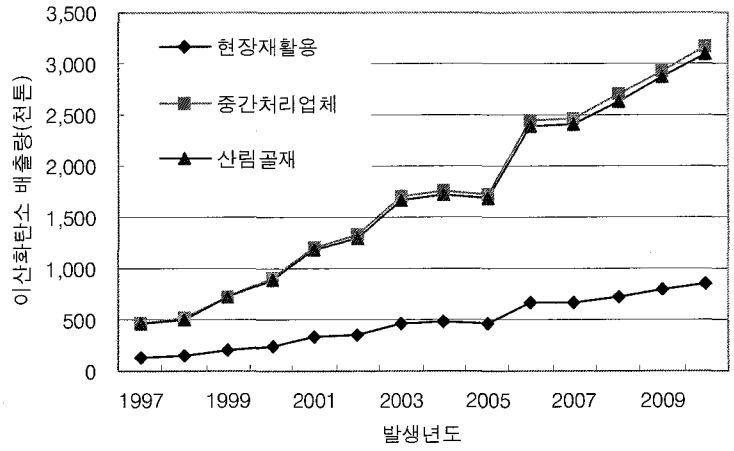
| 연도 | 현장재활용 | 산림골재 | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | 운반거리(km) | | | |
| | | 5 | 20 | 30 | 40 |
| | 이산화탄소배출량(단위: 천톤) | | | | |
| 1997 | 126.2 | 120.8 | 322.0 | 456.2 | 590.4 |
| 1998 | 139.6 | 133.6 | 356.1 | 504.5 | 652.9 |
| 1999 | 197.3 | 188.9 | 503.5 | 713.2 | 923.0 |
| 2000 | 244.6 | 234.1 | 624.0 | 884.0 | 1,144.0 |
| 2001 | 327.3 | 313.3 | 835.2 | 1,183.1 | 1,531.0 |
| 2002 | 359.4 | 344.0 | 917.1 | 1,299.1 | 1,681.1 |
| 2003 | 459.1 | 439.4 | 1,171.4 | 1,659.4 | 2,147.4 |
| 2004 | 474.8 | 454.5 | 1,211.4 | 1,716.1 | 2,220.8 |
| 2005 | 467.3 | 447.3 | 1,192.4 | 1,689.2 | 2,185.9 |
| 2006 | 658.8 | 630.7 | 1,681.2 | 2,381.5 | 3,081.9 |
| 2007 | 667.9 | 639.3 | 1,704.3 | 2,414.3 | 3,124.2 |
| 2008 | 729.9 | 698.7 | 1,862.5 | 2,638.4 | 3,414.2 |
| 2009 | 792.9 | 759.0 | 2,023.2 | 2,866.0 | 3,708.8 |
| 2010 | 856.8 | 820.2 | 2,186.3 | 3,097.1 | 4,007.9 |

<표 3.1.23> 운반거리에 따른 이산화탄소 배출량 비율

| 운반거리(km) / 구 분 | 5 | 20 | 30 | 40 |
|---|---|---|---|---|
| 중간처리업체 | 1.04 | 2.64 | 3.70 | 4.76 |
| 산림골재 | 0.96 | 2.55 | 3.61 | 4.68 |

[그림 3.9.8]은 폐콘크리트를 현장재활용, 중간처리업체를 통하여 순환골재를 생산하는 경우 발생된 폐콘크리트 만큼 산림골재를 생산하는 경우, 발생하는 이산화탄소 배출량을 비교한 것이다.

중간처리업체는 도심지에서 떨어진 시외지역에 위치하며, 대부분 30km정도 떨어져 있다. 따라서 운반거리 30km기준으로 재활용 방법별 및 산림골재 생산 시 배출되는 이산화탄소량을 비교하면 폐콘크리트를 현장재활용하는 경우가 이산화탄소 배출량이 가장 적은 것을 알 수가 있으며, 중간처리업체 및 산림골재 생산 시 배출되는 이산화탄소량은 거의 비슷한 것을 알 수 있다.




[그림 3.9.8] 이산화탄소 배출량(운반거리: 30km)

<표 3.9.24>는 현장재활용, 중간처리업체, 산림골재 생산 시 발생하는 이산화탄소 배출량 차이를 보여준다. 현장재활용 및 중간처리업체를 통한 순환골재 생산 시 발생하는 이산화탄소 배출량의 차이는 2005년도 1백 2십 6만톤에서 2010년 2백 3십만톤 정도에 이른다. 중간처리업체의 순환골재와 산림골재 생산 시 발생하는 이산화탄소 배출량의 차이는 2005년도 4만톤에서 2010년 7만 3천톤 정도로 차이가 미미한 편이다. 그러나 폐콘크리트량 만큼 줄어드는 산림골재량은 환경보호 및 자원보존 측면에서 중요한 의미를 가진다.

<표 3.9.24> 이산화탄소 배출량 차이

[단위 ; 1000톤]

| 구 분 | 2005 | 2010 |
|---|---|---|
| 현장재활용-중간처리업체 | 1.262 | 2,314 |
| 현장재활용-산림골재 | 1,222 | 2,240 |
| 중간처리업체-산림골재 | 40.2 | 73.7 |

㉢ 소결

- 현장재활용 순환골재 생산 시 발생되는 이산화탄소 배출량이 가장 적었으며, 골재 생산 시 배출되는 이산화탄소량에 영향을 가장 크게 영향을 미치는 요소는 골재량에 따른 트럭운행회수와 운반거리이다.
- 폐콘크리트 발생량에 따라서 매년 트럭운행회수가 1997년 4,583회에서

2010년 31,112회로 6.8배 증가할 것으로 예상되며, 증가된 운행횟수만큼 교통량에 영향을 줄 것으로 예상된다.

- 보통 중간처리업체는 도심지에서 30km 정도 떨어진 시외 곽에 위치하고 있으며, 이를 기준으로 중간처리업체의 순환골재 생산 시 배출되는 이산화탄소량은 현장재활용 보다 3.7배에 이르며, 이산화탄소 배출량의 차이는 2005년도 약 1백 2십 6만톤에서 2010년 2백 3십만톤정도에 이른다.
- 중간처리업체의 순환골재와 산림골재 생산 시 발생하는 이산화탄소 배출량의 차이는 2005년도 4만톤에서 2010년 7만 3천톤정도로 차이가 미미한 편이다. 그러나 폐콘크리트량 만큼 줄어드는 산림골재량은 환경보호 및 자원보존 측면에서 중요한 의미를 가진다.

(라) 환경 민원에 대응한 입력 변수

건설폐기물의 "현장재활용"에 따른 문제점중의 하나는 현장파쇄시설에서 발생하는 소음, 진동, 분진 등에 의한 환경민원이 야기될 수 있다는 것이다. 최근 도심지내 공사장의 소음 및 진동 발생원이 지속적으로 증가하고 다양화됨에 따라 소음·진동관련 환경 분쟁 및 민원이 급증하고 있는 추세로 이에 따른 대책수립이 필요하다.

① 소음 및 진동에 관련한 민원 발생여부 기준 및 대책

소음레벨 기준을 준수하여 민원 예방 및 대책으로는 공사장 소음원(현장파쇄시설)에서 인접구조물과의 일정 이격거리를 유지하고, 추가로 공사장 주위에 방음벽을 설치하는 방법을 제시할 수 있으며, 소음기준에 대한 적절한 이격거리는 다음과 같다.

<표 3.9.25> 소음에 관련한 민원 발생기준 및 대책

| 공사장 소음규제기준 | 소음 민원 대책 |
|---|---|
| 현재 기준<br>(70dB) | 현장파쇄시설에서 60m이상 이격 |
| 2009년 이후 기준<br>(65dB) | 현장파쇄시설에서 90m이상 이격 |

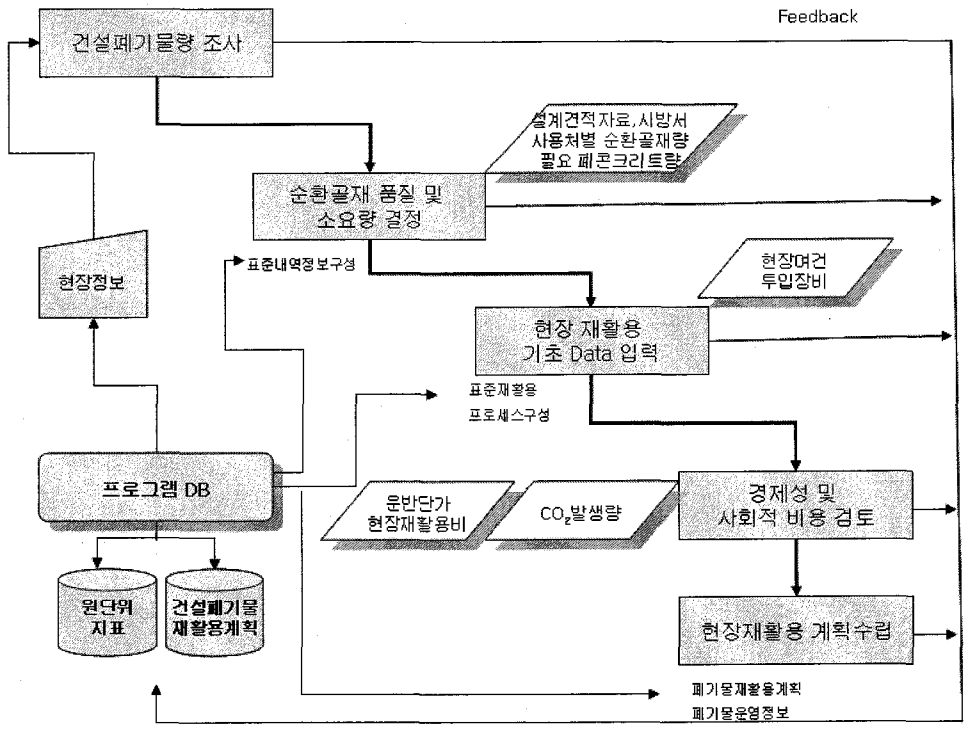
진동레벨에 따른 민원발생여부의 경우 현장파쇄시설의 진동레벨을 측정한 결과 지반이 흙 또는 콘크리트인지와 상관없이 15m이상 떨어질 경우 관련기준 70dB에 만족하는 것으로 나타났다.

② 분진에 관련한 민원 발생여부 기준 및 대책

국내의 미세먼지(PM10) 환경기준은 2007년 1월 1일 기준으로 연간평균치는 현행 70㎍/㎥에서 50㎍/㎥으로, 24시간평균치는 150㎍/㎥에서 100㎍/㎥으로 상향 조정하는 등 선진국 수준으로 강화되었고, 2차년도 연구결과 미세먼지의 민원발생 가능성은 거의 없으나 소량의 지속적인 흡입에 대한 기준은 없기 때문에 작업인의 안전을 고려하여 방진마스크의 착용을 의무화하도록 해야 할 것으로 판단되었다.

(2) 시뮬레이션 프로그램 흐름도

여러 입력요소와 경제성 분석 등의 tool을 고려한 현장재활용 시뮬레이션 프로그램의 구성은 [그림 3.9.9]와 같다.




[그림 3.9.9] 시뮬레이션 프로그램 구성 개요

## 라. 건설폐기물의 종류별 원단위 지표개발

원단위를 적용하기 위해서는 샘플시공 대상 건축물의 실측을 통한 건설폐기물 발생량 예측, 재개발지역에서 사업시행이 지연되었을 때 나타나는 건설폐기물과 생활폐기물의 성상을 살펴보았다. 또한 전년도에 산정된 원단위의 분류체계를 현장적용이 용이하게 새로운 분류체계가 필요하여 재분류하였다. 마지막으로 원단위를 하여 다른 기관에서 산정된 원단위와 비교하였다.

(1) 재개발지구 설계수량조사

도시 인구의 증가나 산업 기술의 발달로 이미 만들어진 도시 환경이 그 구실을 제대로 할 수 없게 되어 갈 때 이러한 낙후를 막고, 변화에 계속 적응할 수 있도록 계획적으로 개선하는 재개발사업이 이루어진다. 사업시 건축물이 전반적으로 낡은 지역이나 배치 상태가 아주 좋지 못한 지역 내 기존 건물을 철거하고 시가지를 정리하여 토지 효용을 높이는 것에 중점을 둔다. 이러한 목적을 달성하기 위해 주택을 해체하고, 새로운 주거단지를 계획함으로 기존 건축물의 해체가 시작되는데 이로 인해 다량의 건설폐기물이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 최근 시행되고 있는 재개발지구에 직접 조사원들이 실측하여 건설폐기물 발생수량을 예측하였다.

(가) 설계수량 실측의 개요

본 연구에서는 부산 내 재개발예정지역에 위치하고 있는 2개의 대상건축물을 선정하였다. 이 2동의 건축물이 연구의 대상으로 선정된 이유는 기존 해체공법과 분별해체공법을 통해 폐기물 발생량을 산정하고 건설계기물 원단위를 산정하기 위함이다. 대상건축물은 동일한 용도와 구조, 형태로 되어 있다. 설계수량을 위한 도면은 존재하지 않고 만약 있더라도 사용자 임의의 개축, 증측 등의 변형이 있을 수 있기 때문에 실측이 필요하다.

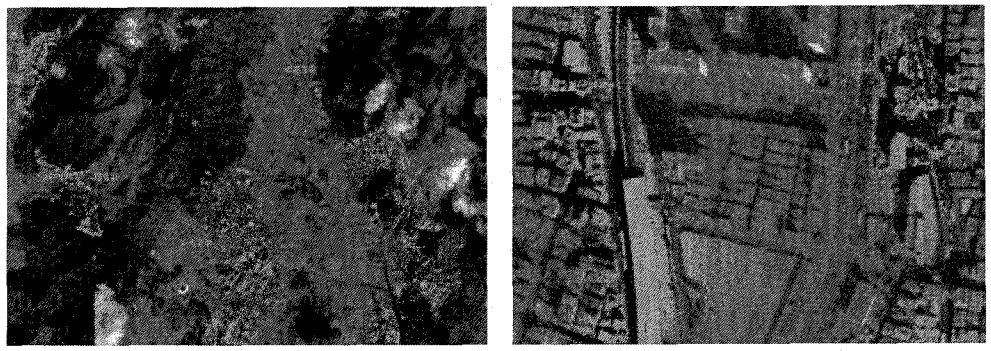
① 대상건축물 개요

- 조사일시 : 2008년 4월
- 위치 : 부산광역시 금정구 부곡동 267-67, 68번지
- 건축면적/연면적 : 76.03/113.05㎡

- 주구조/지붕 및 주용도 : 보강블럭조/스라브. 단독주택
- 층수 : 지상2층

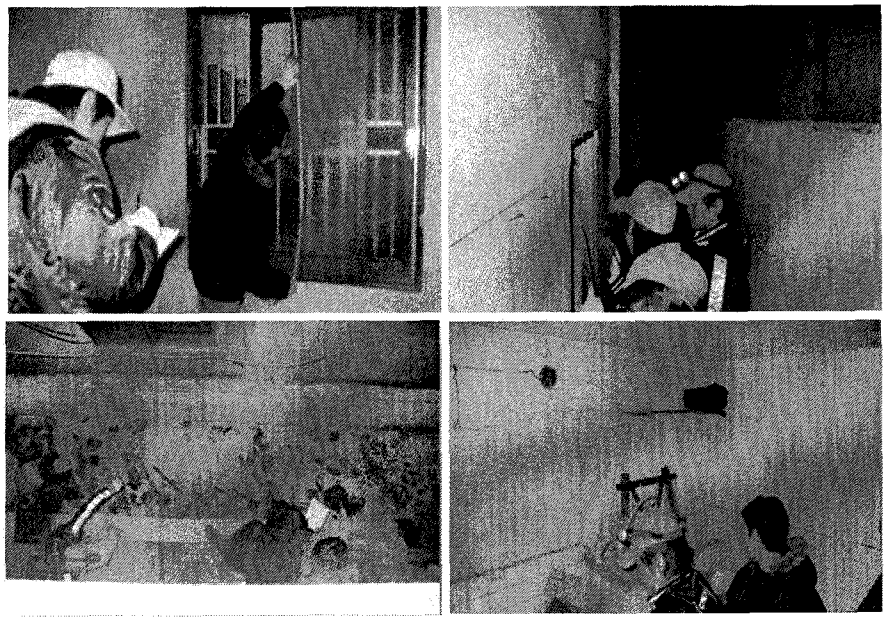
② 조사대상지 현황

부산시내 부곡동에 약 60개 동의 재개발사업이 확정되었지만 미이주 가구가 발생함에 따라 사업이 지연되었다. 건축물의 대부분은 층고가 2층인 단독주택이며 도로주변을 따라 상가건축물이 입지해 있다. 이 들 사업 대상 건축물 중 267-67번지와 68번지의 주택이 동일한 건축물이여서 본 연구의 대상 건축물로 선정하였다.



[그림 3.9.10] 부곡동 재개발지구 및 대상 건축물 위치

(나) 조사내용

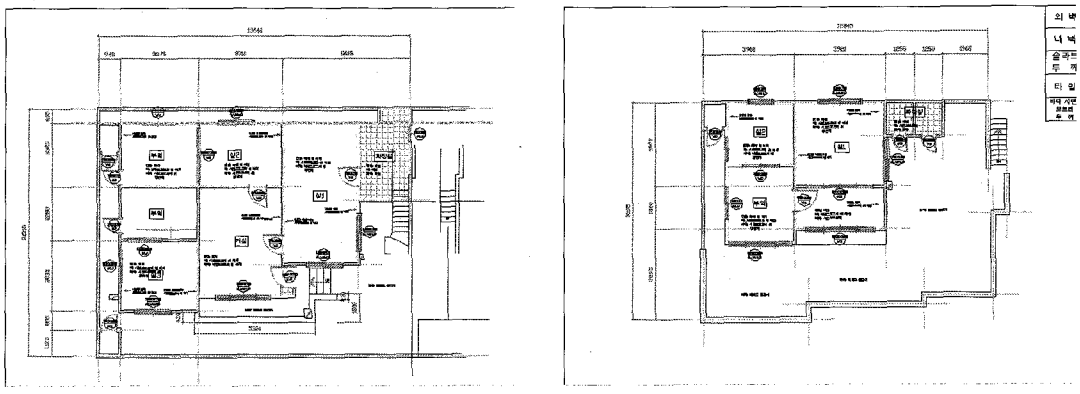


[그림 3.9.11] 실측

(다) 실측을 통한 도면작성 및 발생수량 예측

설계수량을 산정 할 수 있는 도면이 존재하지 않고 도면이 존재하더라도 사용자에 의한 임의의 개축, 증축으로 건축물의 변화가 있을 수 있으므로 실측을 통한 도면 작성이 요구된다.

또한 실측을 통해 면적 및 위치의 조사뿐만 아니라 건축에 사용된 재료를 확인함으로 폐기물 발생량 예측 시 종류별로 예측이 가능하게 된다.



[그림 3.9.12] 실측도면 작성(좌:1층, 우:2층)

<표 3.9.26> 부곡동 267-67번지의 설계수량(단위: ㎥)

| 분 류 | 폐콘크리트 | 폐벽돌 | 폐블럭 | 폐 목 재 | | | 합성수지류 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 목재창 | 도 어 | 천장·반자틀 | |
| 체 적 | 31.20 | 4.97 | 50.13 | 0.46 | 0.43 | 0.44 | 68.80 |

(2) 재개발지구 내 혼합폐기물량 조사

부산시 부곡동의 재개발예정지역은 미이주 가구가 발생됨에 따라 약 2년여간 사업이 지연되었다. 이 예정지구은 야간에는 불빛이 없는 어두운 가로를 형성하고 건축물 파손 등으로 인한 소음, 악취발생 등으로 슬럼화가 되어 가고 있다. 따라서 본 연구에서는 이러한 사업 등이 지연되면서 나타나는 건설폐기물과 투기폐기물량에 관한 조사를 하였다.

(가) 혼합폐기물 실측의 개요

본 조사에서는 재개발예정지역내 어느 특정 가로에 위치한 4동의 샘플을 선정

하여 건설폐기물과 투기폐기물량을 조사하였다.

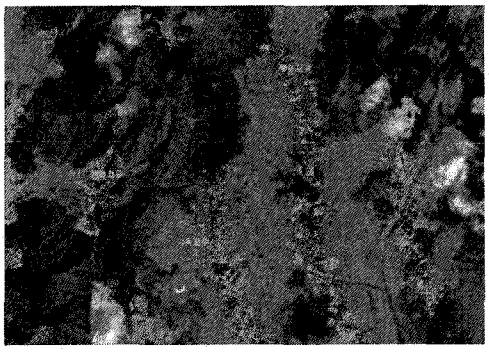
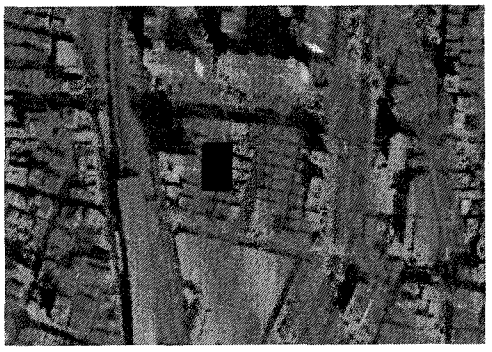
① 대상건축물의 개요

- 조사일시 : 2008년 4월
- 위치 : 부산광역시 금정구 부곡동 267-53, 38, 40번지

② 조사대상지 현황

부산시내 부곡동에 약 60개 동의 재개발사업이 확정되었지만 미이주가구가 발생함에 따라 사업이 지연되었다. 이 지구내 건축물의 대부분은 층고가 2층인 단독주택이며 도로주변을 따라 상가건축물이 입지해 있다.

대부분이 공가이어서 모든 공가에는 폐기물들이 널려져 있는 상태이다. 철물들이 도난 당한 흔적들이 남아있고, 유리와 목재들의 파손이 대체로 심하였다. 또한 투기폐기물로 예상되는 각종 음식물 등과 같은 생활 폐기물들이 버려져 있었다. 또한 노숙의 흔적도 있다.

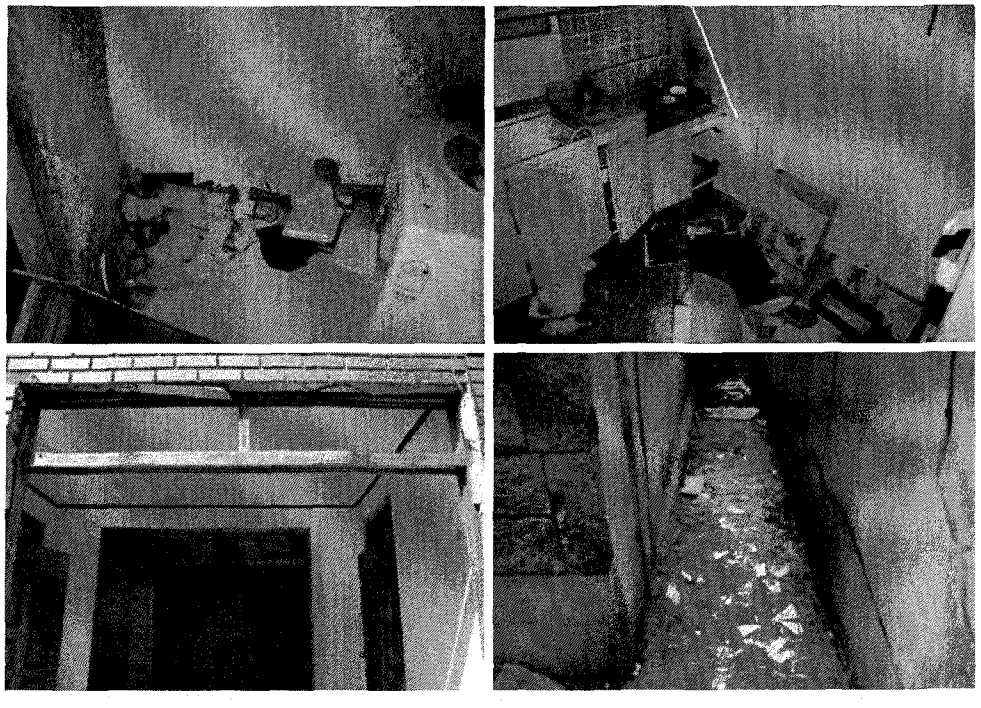
[그림 3.9.13] 부곡동 재개발지구 및 조사대상 건축물 위치

(나) 조사내용 및 방법

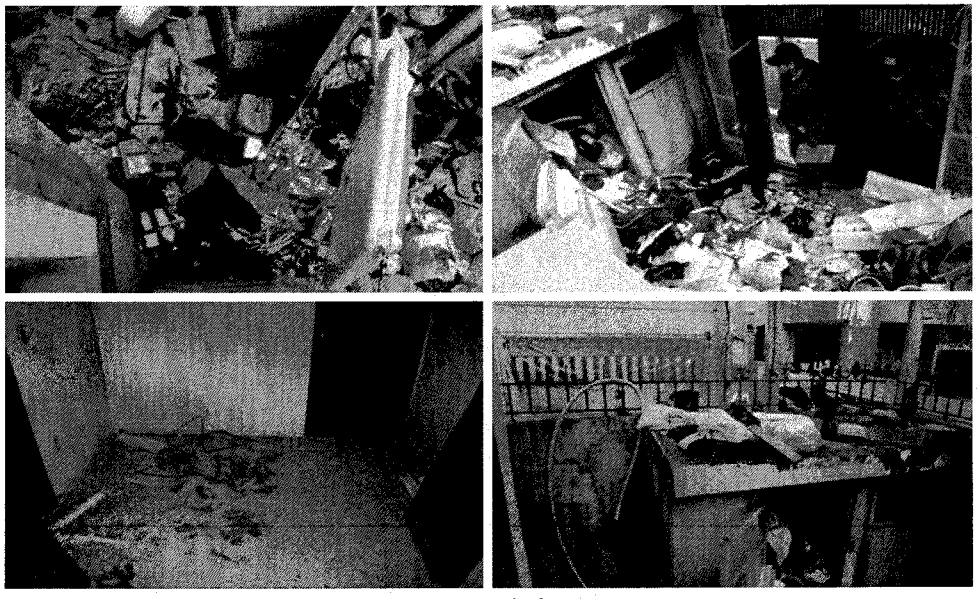
재개발예정지 내 한 가로내에 있는 주택을 대상으로 조사를 실하였다. 도로변과 가까운 곳과 가로 중심으로 가까워질수록 건설폐기물 및 투기폐기물량을 조사하기 위함이다. 아래의 사진들은 대상주택에 조사를 실시하기 전 폐기물들이 산재되어 있는 상태들이다.



267-38번지



267-40번지



267-53번지

[그림 3.9.14] 샘플시공 대상건축물 현황

혼합폐기물 조사 시 건설폐기물과 투기폐기물로 분류하여 중량을 개근하였다 조사 는 다음의 사진과 같이 이루어졌다.



[그림 3.9.15] 혼합폐기물 성상별 분류과정



[그림 3.9.16] 혼합폐기물 개근

설계수량을 산정 할 수 있는 도면이 존재하지 않고 도면이 존재하더라도 사용자에 의한 임의의 개축, 증축으로 건축물의 변화가 있을 수 있으므로 실측을 통한 도면 작성이 요구된다.

(다) 폐기물 발생량의 결과

조사결과 대상지의 남측 도로에 근접하고 있는 53번지는 생활폐기물 등의 투기폐기물이 많이 나왔으며 지구내 중심에 위치하고 있는 주택은 생활폐기물보다는 파손 등에 의한 건설폐기물이 많이 발생된 것으로 나타났다. 이는 도로변에 있는 공가에서는 투기폐기물을 담장 넘어 투기하고 쉽지만 주변 인적이 많다는 점으로 무단침입으로 인한 파손이 적었던 것으로 예상된다. 반면 도로변에서 지구내 중심으로 위치될수록 인적이 드물다는 점으로 가옥의 철물들이 해체하거나 무단침입으로 인한 파손이 심한 현상이 나타나고 건설폐기물이 생활폐기물보다 다량 발생되었다.

<표 3.9.27> 건설폐기물 발생량

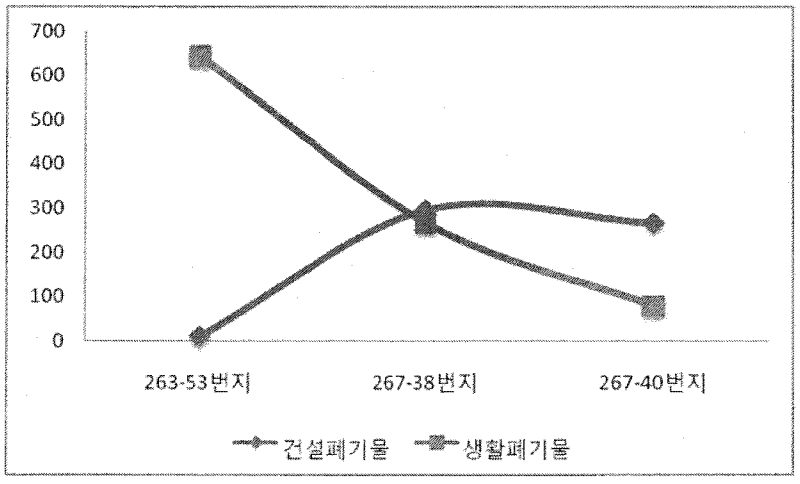
단위 : kg

| 지 번 | 콘크리트 | 합성수지류 | 유리 | 소 계 |
|---|---|---|---|---|
| 263-53번지 | 4.3 | 0 | 6 | 10.3 |
| 267-38번지 | 54 | 65 | 177.5 | 296.5 |
| 267-40번지 | 93.5 | 5.5 | 167.5 | 266.5 |

<표 3.9.28> 불법투기류 및 방치생활폐기물량

단위 : kg

| 지 번 | 음식 | 종이 | 도기류 | 목재류 | 섬유 | 합성수지류 | 기타 | 소계 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 263-53번지 | 0.0 | 1.0 | 0.0 | 3.0 | 3.2 | 17.4 | 194.0 | 218.6 |
| 267-38번지 | 35.1 | 12.5 | 41.0 | 85.0 | 4.6 | 68.0 | 20.8 | 267.0 |
| 267-40번지 | 13.0 | 2.3 | 45.0 | 0.0 | 6.8 | 14.1 | 0.0 | 81.2 |




[그림 3.9.17] 생활폐기물 및 건설폐기물의 발생량 결과

## 다. 원단위 구분 체계 변경

전 차년도까지 재개발지구와 주거환경개선지구의 대상지구 내 실측조사에 건설폐기물의 발생원단위를 산출하였다. 산출된 발생원단위는 구조형태별 체계로 정리되었다. 분류체계는 다음의 표와 같다.

<표 3.9.29> 기존 원단위 분류 체계

| 구조형태 | 용도 | 재료별 |
|---|---|---|
| RC조-벽돌-슬라브 | 주택/상가, 주택, 상가, 아파트, 기타 등 해당 용도별로 구분 | 콘크리트류, 목재류, 기와, 스레트, 도기 및 유리편류, 합성수지류, 철물 철재류 등으로 구분 |
| 조적조-벽돌-슬라브 | | |
| 조적조-벽돌-기와 | | |
| 조적조-벽돌-판넬 | | |
| 조적조-벽돌-스레트 | | |
| 조적조-블록-스레트 | | |
| 조적조-블록-슬라브 | | |
| 조적조-블록-기와 | | |
| 블록조-블록-기와 | | |
| 블록조-블록-슬라브 | | |
| 블록조-블록-스레트 | | |
| 블록조-벽돌-슬라브 | | |
| 블록조-벽돌-기와 | | |
| 블록조-벽돌-스레트 | | |
| 블록조-판넬-판넬 | | |
| 목조-블록-기와 | | |
| 목조-블록-스레트 | | |
| 목조-흙벽-기와 | | |
| 목조-흙벽-스레트 | | |
| 목조-벽돌-기와 | | |
| 목조-벽돌-스레트 | | |
| 기 타 | | |

기존에 작성된 원단위 구조형태별 → 용도별 → 재료별 순으로 분류되는 방식으로는 현장에서 일목요연하게 판단하기가 쉽지 않을 것이다. 실제 현장에서는 대상

건축물의 용도, 구조형태, 재료별의 흐름으로 판단되어지므로 분류체계를 변경하게 되었다.

<표 3.9.30> 변경된 원단위 분류 체계

| 구조형태 | 용도 | 재료별 |
|---|---|---|
| 주택 | 기존 원단위에 적용된 구조형태별 분류와 같음 | 기존 원단위에 적용된 재료별 분류와 같음 |
| 주택/상가 | | |
| 주택/학원 | | |
| 상가 | | |
| 아파트 | | |
| 회관 | | |
| 교회 | | |
| 창고/점포 | | |
| 기타 | | |

(4) 샘플시공 대상 건축물에 원단위 적용

1~2차년도의 실측조사에 의해 산정된 원단위와 기존 문헌에 발췌한 원단위를 샘플시공예정인 건축물에 적용하였다. 이는 샘플시공에 의해 산출되는 원단위와 비교 및 분석을 하기 위한 전단계의 연구이며 또한 연구단에서 산정된 원단위와 다른 기관에서 산정된 원단위의 정확도 및 완성도를 비교하기 위함이다.

(가) 적용 대상 건축물의 개요

① 경기도 화성시 택지개발구역 내

- 위치 : 경기도 화성시 향남읍 하길리 305-1
- 주용도 및 주구조/지붕 : 단독주택, 연와조/슬라브
- 연면적 : 122.4㎡

② 부산시 부곡동 재개발지역 내

- 위치 : 부산시 금정구 부곡동 267-67

- 주용도 및 주구조/지붕 : 단독주택, 보강블럭조/슬라브
- 연면적 : 113.05㎡

(나) 원단위 조사

각 기관에서 연구된 원단위를 조사하여 적용 대상건물의 주용도와 구조형태가 동일한 분류 항목을 조사하여 정리하였다. 원단위로는 주용도의 경우 주택/주거용 건축물이며, 구조형태/지붕은 연와조(조적조)/슬라브, 블록조/슬라브에 해당하는 원단위를 조사하였다.

① 신천 주거환경개선지구

2차 년도에 대구시 신천동 주거환경개선지구를 대상으로 발생 폐기량을 실측 조사하여 산정된 원단위를 중량환산계수로 대입하여 중량으로 나타내었다. 또한 주용도는 주택이며, 적용대상 건축물의 주구조/지붕의 분류에 근거한 원단위 산출이다.

<표 3.9.31> 신천 주거환경개선지구의 원단위

단위 : ton/㎡

| 구 분 | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 조적조/ 슬라브 원단위 | 1.3944 | 0.0029 | 0.0007 | 0.0018 | 0.0052 | 0.0011 | 0.00002 | - | 0.0032 | 0.0008 | - | - |
| 블록조/ 슬라브 원단위 | 1.3410 | 0.0056 | 0.0015 | 0.0027 | 0.0038 | 0.0244 | 0.00003 | - | 0.0025 | 0.0004 | - | - |

② 서울시정개발연구원에서 산정된 원단위

다음의 표는 「건축물 폐재류의 적정처리 및 재활용 방안(서울시정개발연구원, 1995)」에서 산정된 원단위이다. 구조형태별에서 블록조로 산정된 원단위가 연구되지 않아 경기도 화성시 택지개발구역 내 샘플에만 적용이 가능하다.

<표 3.9.32> 건축물 폐재류의 적정처리 및 재활용 방안의 원단위

단위 : ton/㎡

| 구 분 | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 연와 벽돌조 | 1.4900 | 0.0440 | 0.0240 | - | - | - | 0.0050 | - | 0.0030 | - | - | 0.0350 |
| 블록조 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

주 : 합성수지류 : 플라스틱류(0.003), 섬유류(0.002)　　종이류 : 0.006　　기타 : 0.029

③ 한국건설기술연구원에서 산정된 원단위

「부천상동지구 발생폐기물 재활용처리 방안에 관한 연구(한국건설기술연구원, 2000)」서 산정된 원단위이다. 구조형태별에서 블록조로 산정된 원단위가 연구되지 않아 경기도 화성시 택지개발구역 내 샘플에만 적용이 가능하다.

<표 3.9.33> 부천상동지구 발생폐기물 재활용처리 방안에 관한 연구의 원단위

단위 : ton/㎡

| 구 분 | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 연와 벽돌조 | 1.3321 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0010 | - | 0.1449 | - |
| 블록조 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

④ 환경부에서 산정된 원단위

「건설폐기물 분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구(환경부, 2004)」서 산정된 원단위이다. 다음의 표는 경기도 화성시 택지개발구역 내 샘플에 적용가능한 원단위이다.

<표 3.9.34> 건설폐기물 분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구의 원단위

단위 : ton/㎡

| 구 분 | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주거용/ 단독주택 | 1409.0 | 11.17 | - | - | - | - | - | - | 48.00 | - | 191.77 | - |
| 재개발지역/가옥/ 연와벽돌 | 1402.0 | 8.96 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 166.04 | - |

주 : 혼합폐기물은 주거용/단독주택에서 가연성폐기물(10.15),불연성폐기물(181.62)
재개발/가옥/연와벽돌조에서 가연성폐기물(8.14),불연성폐기물(157.9)임.

⑤ 건설연구원에서 산정된 원단위

「건설 표준품셈 원단위 자료(건설연구원, 2006)」서 산정된 원단위이다. 다음의 표는 경기도 화성시 택지개발구역 내 샘플과 부산시 부곡동 내 샘플 모두에 적용가능한 원단위이다.

<표 3.9.35> 건설 표준품셈 원단위 자료의 원단위

단위 : ton/㎡

| 구 분 | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 신축/ 주거용 | 0.018 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0016 | - | 0.0064 | - |
| 해체/ 주거용 | 1.409 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0480 | - | 0.2030 | - |

⑥ 대한주택공사에서 산정된 원단위

「건설현장 폐기물 관리지침(대한주택공사, 2006)」에서 산정된 원단위이다. 구조형태별에서 블록조로 산정된 원단위가 연구되지 않아 경기도 화성시 택지개발구역 내 샘플에만 적용이 가능하다.

<표 3.9.36> 건설현장 폐기물 관리지침의 원단위

단위 : ton/㎡

| 구 분 | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 연와 벽돌조 | 1.3321 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0010 | - | 0.1449 | - |
| 블록조 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

주 : 혼합폐기물 : 매립류(0.1318), 목재류소각(0.0968), 기타소각류(0.0163) 등으로 구성

(다) 원단위 적용

앞에서 조사된 원단위를 경기도 화성시 택지개발내 샘플과 부산 부곡동 내 샘플에 적용하였다. 적용방법은 다음의 표와 같고 최종값은 중량(ton)으로 표시된다.

<표 3.9.37> 원단위 적용 방법

| 구 분 | 연면적 | 주구조/지붕 | 원단위 적용 방법 |
|---|---|---|---|
| 경기도 화성시 택지개발 내 샘플 | 122.4㎡ | 연와조/슬라브 | 원단위 × 122.4㎡(샘플연면적) |
| 부산시 부곡동 내 샘플 | 113.05㎡ | 보강블럭조/슬라브 | 원단위 × 113.05㎡(샘플연면적) |

① 경기도 화성시 택지개발 내 샘플에 적용한 결과

대부분의 원단위가 각 재료별로 산정되어 있지 않음을 살펴 볼 수 가 있다. 특히, 도기 및 유리, 목재창호, 기와, 스레트, 합성수지류 등의 세분화된 원단위가 없고 주로 콘크리트, 철물철재류, 혼합폐기물 등의 분류로 원단위가 산정되어 있다.

<표 3.9.38> 원단위 참고문헌 및 연구기관

| 순번 | 자 료 명 | 연구기관 | 년도 |
|---|---|---|---|
| (1) | 신천 주거환경개선지구 | 경북대학교 | 2007 |
| (2) | 건축물 폐재류의 적정처리 및 재활용 방안 | 서울시정개발연구원 | 1995 |
| (3) | 부천상동지구 발생폐기물 재활용처리 방안에 관한 연구 | 한국건설기술연구원 | 2000 |
| (4) | 건설폐기물 분리배출 및 발생원단위 산정 등에 관한 연구 | 환경부 | 2004 |
| (5) | 건설 표준품셈 원단위 자료 | 건설연구원 | 2006 |
| (6) | 건설현장 폐기물 관리지침 | 대한주택공사 | 2006 |

<표 3.9.39> 화성시 샘플 원단위와 원단위 적용 결과

단위 : ton/㎡, ton

| 구 분 | | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 원단위 | (1) | 1.3944 | 0.00293 | 0.00072 | 0.00179 | 0.00517 | 0.00113 | 0.00002 | - | 0.0032 | 0.0008 | - | - |
| | (2) | 1.4900 | 0.0440 | 0.0240 | - | - | - | 0.0050 | - | 0.0030 | - | - | 0.0350 |
| | (3) | 1.3321 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0010 | - | 0.1449 | - |
| | (4) | 1409.00 | 11.17 | - | - | - | - | - | - | 48.00 | - | 191.77 | - |
| | | 1402.00 | 8.96 | - | - | - | - | - | - | 1.00 | - | 166.04 | - |
| | (5) | 0.018 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0016 | - | 0.0064 | - |
| | | 1.409 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0480 | - | 0.2030 | - |
| | (6) | 1.3321 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0010 | - | 0.1449 | - |
| 원단위 적용시 | (1) | 170.6754 | 0.358213 | 0.087771 | 0.219476 | 0.63299 | 0.138272 | 0.00244 | - | 0.387856 | 0.0928 | - | - |
| | (2) | 182.3760 | 5.3856 | 2.9376 | - | - | - | 0.612 | - | 0.3672 | - | - | 4.284 |
| | (3) | 171.6048 | - | - | - | - | - | - | - | 0.1224 | - | 21.42 | - |
| | (4) | 172,461.6 | 1,367.208 | - | - | - | - | - | - | 5875.2 | - | - | 23,472.648 |
| | | 171,604.8 | 1,096.704 | - | - | - | - | - | - | 122.4 | - | - | 20,323.296 |
| | (5) | 2.2032 | - | - | - | - | - | - | - | 0.19584 | - | 0.78336 | - |
| | | 172.4616 | - | - | - | - | - | - | - | 5.8752 | - | 24.8472 | - |
| | (6) | 163.0490 | - | - | - | - | - | - | - | 0.1224 | - | 17.73576 | - |

② 부산시 부곡동 내 샘플에 적용한 결과

대부분의 원단위가 구조형태가 블록조인 것과 각 재료별로 산정되어 있지 않음을 살펴 볼 수 가 있다. 특히, 도기 및 유리, 목재창호, 기와, 스레트, 합성수지류 등의 세분화된 원단위가 없고 주로 콘크리트, 철물철재류 등의 분류로 원단위가 산정되어 있다.

<표 3.9.40> 부산시 샘플 원단위와 원단위 적용 결과

단위 : ton/㎡, ton

| 구 분 | | 콘크리트 | 목재류 | 도기 및 유리 편류 | 목재 창호 | 기 와 | 스레트 | 합성 수지류 | 철 근 | 철 물 철재류 | 임 목 | 혼합 폐기물 | 기 타 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 원단위 | (1) | 1.3410 | 0.0056 | 0.00153 | 0.00274 | 0.00376 | 0.02437 | 0.00003 | - | 0.0025 | 0.0004 | - | - |
| | (2) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | (3) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | (4) | 1409.00 | 11.17 | - | - | - | - | - | - | 48.00 | - | 191.77 | - |
| | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | (5) | 0.018 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0016 | - | 0.0064 | - |
| | | 1.409 | - | - | - | - | - | - | - | 0.0480 | - | 0.2030 | - |
| | (6) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 원단위적용시 | (1) | 151.6034 | 0.6316 | 0.1733 | 0.3092 | 0.4256 | 2.7550 | 0.0029 | - | 0.2788 | 0.0500 | - | - |
| | (2) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | (3) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | (4) | 159,287.5 | 1,262.77 | - | - | - | - | - | - | 5,426.40 | - | 21,679.6 | - |
| | | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | (5) | 2.0349 | - | - | - | - | - | - | - | 0.1809 | - | 0.7235 | - |
| | | 159.2875 | - | - | - | - | - | - | - | 5.4264 | - | 22.9492 | - |
| | (6) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

## 마. 건축물 해체 시 건설폐기물 발생원단위 산정

건축물 해체 시 건설폐기물의 발생원단위 지표는 여러 가지 요인에 영향을 받는다. 건축물의 경우 구조별, 용도별로 건설폐기물 발생성상이 다르며, 사용자의 사회적인 측면에도 영향을 받을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 단순 수치의 건설폐기물 원단위를 지양하고, 여러 가지 요인별 상관관계를 고려하여 건설폐기물 발생량에 영향을 미치는 요인들을 분석하여 요인별 건설폐기물 발생원단위 지표를 산출한다.

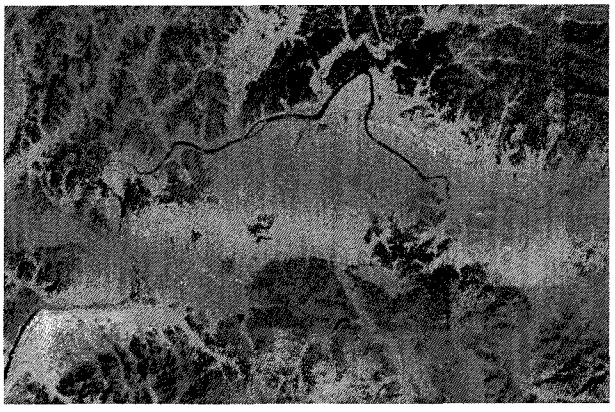
(1) 데이터의 개요

본 분석에서는 1차년도, 2차년도 수량조사를 통해 산출된 주거환경개선지구인 대구 신천1-2지구의 데이터를 이용하였다.

(가) 대상데이터의 개요

- 주거환경개선지구 : 대구 동구 신천1-2지구

신천1-2지구는 대구 동구 신천동에 위치하고, 58,888.45m2의 면적에, 총 1027개의 지장물로 구성되어있다.



[그림 3.9.18] 대구광역시 내 신천1-2지구 위치

(나) 대상데이터 분류현황

2005년 '건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률'에 의거 건설폐기물 성상 분류기준이 변경되었다. 본 연구에서는 변경된 건설폐기물 성상 분류 중 건설해체 중

발생량이 비교적 적은 건설오니와 건설폐토석을 제외한 8가지로 구분하였다. 그리고, 지정폐기물로 분류되지만 건축물의 지붕재료로 일반적으로 사용되어 해체시 발생하는 폐슬레트까지 포함하여, 폐기물 성상 분류는 총 9가지로 구분하였으며, 그 종류는 다음과 같다.

<표 3.9.41> 건설폐기물 성상별 구분

| 구분 | 세부항목 | 번호 |
|---|---|---|
| 건설폐재류 | 폐콘크리트 | 1 |
| | 폐아스팔트콘크리트 | - |
| | 기타 | 2,3,4 |
| 가연성건설폐기물 | 폐목재 | 5 |
| | 폐합성수지 | 6 |
| | 기타 | - |
| 비가연성건설폐기물 | 건설오니 | - |
| | 기타 | 7,8 |
| 건설폐토석 | | - |
| 혼합건설폐기물 | | - |
| 슬래트(지정폐기물) | | 9 |

주) 건설폐재류 기타는 폐벽돌・폐블록・폐기와, 가연성건설폐기물 기타는 폐섬유・ 폐벽지, 비가연성건설폐기물 기타는 폐금속류・ 폐유리

(2) 조사내용 및 방법

최근 통계분석에 주로 활용되는 SPSS 14KO for Windows를 사용한다.

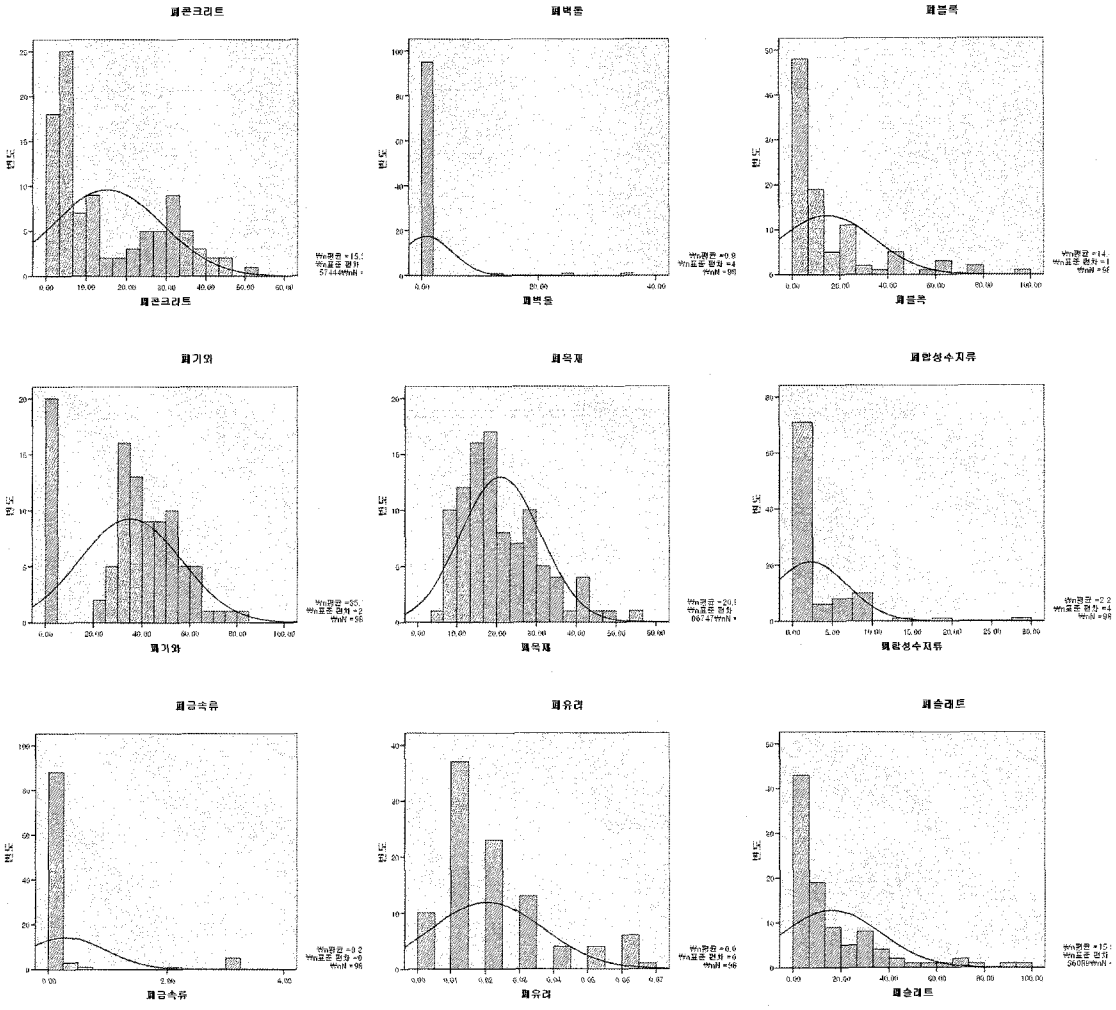
(가) 주거용 건축물의 건설폐기물 원단위 산출

주거용 건축물의 건설폐기물 빈도분석결과는 다음과 같다.

<표 3.9.42> 빈도 통계량

| | | 면적 | 폐콘크리트 | 폐벽돌 | 폐블록 | 폐기와 | 폐목재 | 폐합성수지류 | 폐금속류 | 폐유리 | 폐슬래트 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N | 유효 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |
| | 결측 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 평균 | | 60.31 | 15.30 | 0.91 | 14.42 | 35.19 | 20.93 | 2.23 | 0.29 | 0.02 | 16.00 |
| 표준편차 | | 22.93 | 13.57 | 4.456 | 19.77 | 21.11 | 10.07 | 4.61 | 0.68 | 0.02 | 20.36 |

다음은 각 재료별 히스토그램이다.




[그림 3.9.19] 재료별 히스토그램(주거용 건물)

다음은 벽체재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 발생량의 차이를 살펴보기 위한 단일변량 분산분석(ANOVA)을 실시하였다.

<표 3.9.43> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 기술통계

| | | N | 평균 | 표준편차 | 표준오차 | 평균에 대한 95% 신뢰구간 | | 최소값 평균에 대한 95% 신뢰구간 | 최대값 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 하한값 | 상한값 | | |
| 폐콘크리트 | 흙벽 | 83 | 16.93 | 14.01 | 1.54 | 13.87 | 19.99 | 1.00 | 51.28 |
| | 블록 | 15 | 6.28 | 4.88 | 1.26 | 3.57 | 8.98 | 0.09 | 17.02 |
| | 합계 | 98 | 15.30 | 13.57 | 1.37 | 12.58 | 18.02 | 0.09 | 51.28 |
| 폐벽돌 | 흙벽 | 83 | 1.01 | 4.83 | 0.53 | -0.05 | 2.07 | 0.00 | 34.62 |
| | 블록 | 15 | 0.36 | 0.60 | 0.15 | 0.03 | 0.69 | 0.00 | 1.90 |
| | 합계 | 98 | 0.91 | 4.46 | 0.45 | 0.02 | 1.80 | 0.00 | 34.62 |
| 폐블록 | 흙벽 | 83 | 10.85 | 15.42 | 1.69 | 7.48 | 14.22 | 0.00 | 78.67 |
| | 블록 | 15 | 34.16 | 28.67 | 7.40 | 18.28 | 50.03 | 0.66 | 96.41 |
| | 합계 | 98 | 14.42 | 19.77 | 2.00 | 10.45 | 18.38 | 0.00 | 96.41 |
| 폐기와 | 흙벽 | 83 | 34.76 | 20.30 | 2.23 | 30.33 | 39.20 | 0.00 | 80.49 |
| | 블록 | 15 | 37.54 | 25.81 | 6.66 | 23.25 | 51.83 | 0.00 | 74.32 |
| | 합계 | 98 | 35.19 | 21.11 | 2.13 | 30.95 | 39.42 | 0.00 | 80.49 |
| 폐목재 | 흙벽 | 83 | 20.03 | 9.17 | 1.01 | 18.02 | 22.03 | 6.67 | 54.03 |
| | 블록 | 15 | 25.96 | 13.32 | 3.44 | 18.58 | 33.33 | 4.20 | 47.00 |
| | 합계 | 98 | 20.93 | 10.07 | 1.02 | 18.92 | 22.95 | 4.20 | 54.03 |
| 폐합성수지류 | 흙벽 | 83 | 2.26 | 4.53 | 0.50 | 1.27 | 3.25 | 0.00 | 30.00 |
| | 블록 | 15 | 2.11 | 5.19 | 1.34 | -0.76 | 4.99 | 0.00 | 19.08 |
| | 합계 | 98 | 2.24 | 4.61 | 0.47 | 1.31 | 3.16 | 0.00 | 30.00 |
| 폐금속류 | 흙벽 | 83 | 0.32 | 0.74 | 0.08 | 0.15 | 0.48 | 0.00 | 3.09 |
| | 블록 | 15 | 0.13 | 0.10 | 0.03 | 0.08 | 0.18 | 0.00 | 0.32 |
| | 합계 | 98 | 0.29 | 0.68 | 0.07 | 0.15 | 0.42 | 0.00 | 3.09 |
| 폐유리 | 흙벽 | 83 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.07 |
| | 블록 | 15 | 0.04 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.05 | 0.01 | 0.06 |
| | 합계 | 98 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.07 |
| 폐슬래트 | 흙벽 | 83 | 14.26 | 19.47 | 2.14 | 10.01 | 18.51 | 0.00 | 96.60 |
| | 블록 | 15 | 25.46 | 23.21 | 5.99 | 12.61 | 38.32 | 0.00 | 69.00 |
| | 합계 | 98 | 15.98 | 20.36 | 2.06 | 11.90 | 20.06 | 0.00 | 96.60 |

<표 3.9.44> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산의 동질성에 대한 검정

| | Levene 통계량 | 자유도1 | 자유도2 | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|
| 폐콘크리트 | 36.82 | 1.00 | 96.00 | 0.00 |
| 폐벽돌 | 1.10 | 1.00 | 96.00 | 0.30 * |
| 폐블록 | 14.43 | 1.00 | 96.00 | 0.00 |
| 폐기와 | 3.25 | 1.00 | 96.00 | 0.07 * |
| 폐목재 | 6.14 | 1.00 | 96.00 | 0.01 |
| 폐합성수지류 | 0.00 | 1.00 | 96.00 | 0.97 * |
| 폐금속류 | 3.54 | 1.00 | 96.00 | 0.06 * |
| 폐유리 | 1.58 | 1.00 | 96.00 | 0.21 * |
| 폐슬래트 | 1.96 | 1.00 | 96.00 | 0.16 * |

Levene동질성 검정에서 폐벽돌, 폐기와, 폐합성수지류, 폐금속류, 폐유리, 폐슬래트는 P>0.05이므로 모집단의 분산이 동일하다는 귀무가설이 채택된다. 따라서 계속적인 분석이 가능하다.

<표 3.9.45> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산분석

| | | 제곱합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 폐벽돌 | 집단-간 | 5.42 | 1 | 5.42 | 0.27 | 0.60 |
| | 집단-내 | 1920.28 | 96 | 20.00 | | |
| | 합계 | 1925.70 | 97 | | | |
| 폐기와 | 집단-간 | 98.16 | 1 | 98.16 | 0.22 | 0.64 |
| | 집단-내 | 43129.80 | 96 | 449.27 | | |
| | 합계 | 43227.96 | 97 | | | |
| 폐합성수지류 | 집단-간 | 0.29 | 1 | 0.29 | 0.01 | 0.91 |
| | 집단-내 | 2063.33 | 96 | 21.49 | | |
| | 합계 | 2063.61 | 97 | | | |
| 폐금속류 | 집단-간 | 0.44 | 1 | 0.44 | 0.93 | 0.34 |
| | 집단-내 | 45.06 | 96 | 0.47 | | |
| | 합계 | 45.50 | 97 | | | |
| 폐유리 | 집단-간 | 0.00 | 1 | 0.00 | 20.50 | 0.00 |
| | 집단-내 | 0.02 | 96 | 0.00 | | |
| | 합계 | 0.03 | 97 | | | |
| 폐슬래트 | 집단-간 | 1593.14 | 1 | 1593.14 | 3.96 | 0.05 |
| | 집단-내 | 38619.73 | 96 | 402.29 | | |
| | 합계 | 40212.87 | 97 | | | |

분산분석결과 폐유리 이외 각 건설폐기물 은 벽체재료의 종류에 따른 유의한 차이를 보이지 않는다. 곧 주거용 건축물 해체시 건설폐기물 발생원단위 산출에서 벽체의 종류에는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

다음으로 지붕재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 발생량의 차이를 살펴보기 위한 단일변량 분산분석(ANOVA)을 실시하였다.

<표 3.9.46> 지붕 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 기술통계

| | | N | 평균 | 표준편차 | 표준오차 | 평균에 대한 95% 신뢰구간 | | 최소값 평균에 대한 95% 신뢰구간 | 최대값 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 하한값 | 상한값 | | |
| 폐콘크리트 | 슬래트 | 17 | 9.35 | 10.54 | 2.56 | 3.93 | 14.77 | 0.82 | 36.94 |
| | 기와 | 12 | 5.85 | 4.12 | 1.19 | 3.24 | 8.47 | 0.09 | 12.84 |
| | 슬라브 | 69 | 18.41 | 14.13 | 1.70 | 15.02 | 21.81 | 1.00 | 51.28 |
| | 합계 | 98 | 15.30 | 13.57 | 1.37 | 12.58 | 18.02 | 0.09 | 51.28 |
| 폐벽돌 | 슬래트 | 17 | 2.10 | 8.38 | 2.03 | -2.21 | 6.41 | 0.00 | 34.62 |
| | 기와 | 12 | 0.42 | 0.65 | 0.19 | 0.01 | 0.84 | 0.00 | 1.90 |
| | 슬라브 | 69 | 0.70 | 3.36 | 0.40 | -0.10 | 1.51 | 0.00 | 24.68 |
| | 합계 | 98 | 0.91 | 4.46 | 0.45 | 0.02 | 1.80 | 0.00 | 34.62 |
| 폐블록 | 슬래트 | 17 | 17.08 | 23.32 | 5.66 | 5.09 | 29.07 | 0.00 | 79.48 |
| | 기와 | 12 | 33.83 | 27.75 | 8.01 | 16.20 | 51.46 | 0.66 | 96.41 |
| | 슬라브 | 69 | 10.38 | 14.84 | 1.79 | 6.82 | 13.95 | 0.00 | 78.67 |
| | 합계 | 98 | 14.42 | 19.77 | 2.00 | 10.45 | 18.38 | 0.00 | 96.41 |
| 폐기와 | 슬래트 | 17 | 2.95 | 8.34 | 2.02 | -1.34 | 7.23 | 0.00 | 26.67 |
| | 기와 | 12 | 44.70 | 22.90 | 6.61 | 30.15 | 59.26 | 0.00 | 74.32 |
| | 슬라브 | 69 | 41.48 | 14.78 | 1.78 | 37.92 | 45.03 | 0.00 | 80.49 |
| | 합계 | 98 | 35.19 | 21.11 | 2.13 | 30.95 | 39.42 | 0.00 | 80.49 |
| 폐목재 | 슬래트 | 17 | 21.36 | 8.41 | 2.04 | 17.03 | 25.69 | 9.09 | 41.43 |
| | 기와 | 12 | 25.82 | 14.71 | 4.25 | 16.48 | 35.17 | 4.20 | 47.00 |
| | 슬라브 | 69 | 19.98 | 9.37 | 1.13 | 17.73 | 22.23 | 6.67 | 54.03 |
| | 합계 | 98 | 20.93 | 10.07 | 1.02 | 18.92 | 22.95 | 4.20 | 54.03 |
| 폐합성수지류 | 슬래트 | 17 | 1.11 | 2.31 | 0.56 | -0.08 | 2.29 | 0.00 | 8.00 |
| | 기와 | 12 | 2.64 | 5.73 | 1.65 | -1.00 | 6.28 | 0.00 | 19.08 |
| | 슬라브 | 69 | 2.45 | 4.84 | 0.58 | 1.29 | 3.61 | 0.00 | 30.00 |
| | 합계 | 98 | 2.24 | 4.61 | 0.47 | 1.31 | 3.16 | 0.00 | 30.00 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 폐금속류 | 슬래트 | 17 | 0.14 | 0.12 | 0.03 | 0.07 | 0.20 | 0.00 | 0.54 |
| | 기와 | 12 | 0.13 | 0.09 | 0.03 | 0.07 | 0.18 | 0.00 | 0.32 |
| | 슬라브 | 69 | 0.35 | 0.81 | 0.10 | 0.16 | 0.55 | 0.00 | 3.09 |
| | 합계 | 98 | 0.29 | 0.68 | 0.07 | 0.15 | 0.42 | 0.00 | 3.09 |
| 폐유리 | 슬래트 | 17 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.06 |
| | 기와 | 12 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.01 | 0.06 |
| | 슬라브 | 69 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.07 |
| | 합계 | 98 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.07 |
| 폐슬래트 | 슬래트 | 17 | 35.69 | 24.72 | 5.99 | 22.98 | 48.39 | 2.00 | 96.60 |
| | 기와 | 12 | 27.30 | 25.13 | 7.25 | 11.34 | 43.27 | 0.00 | 69.00 |
| | 슬라브 | 69 | 9.15 | 13.36 | 1.61 | 5.94 | 12.36 | 0.00 | 76.00 |
| | 합계 | 98 | 15.98 | 20.36 | 2.06 | 11.90 | 20.06 | 0.00 | 96.60 |

<표 3.9.47> 지붕 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산의 동질성에 대한 검정

| | Levene 통계량 | 자유도1 | 자유도2 | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|
| 폐콘크리트 | 18.34 | 2.00 | 95.00 | 0.00 |
| 폐벽돌 | 3.47 | 2.00 | 95.00 | 0.04 |
| 폐블록 | 6.56 | 2.00 | 95.00 | 0.00 |
| 폐기와 | 4.63 | 2.00 | 95.00 | 0.01 |
| 폐목재 | 4.84 | 2.00 | 95.00 | 0.01 |
| 폐합성수지류 | 2.04 | 2.00 | 95.00 | 0.14* |
| 폐금속류 | 4.47 | 2.00 | 95.00 | 0.01 |
| 폐유리 | 4.50 | 2.00 | 95.00 | 0.01 |
| 폐슬래트 | 7.46 | 2.00 | 95.00 | 0.00 |

Levene동질성 검정에서 폐합성수지류만이 P>0.05이므로 모집단의 분산이 동일하다는 귀무가설이 채택된다. 따라서 폐합성수지류만 계속적인 분석을 실시한다.

<표 3.9.48> 벽체 재료의 종류에 따른 건설폐기물 성상별 분산분석

| | | 제곱합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 폐합성수지류 | 집단-간 | 26.77 | 2.00 | 13.38 | 1 | 0.54 |
| | 집단-내 | 2036.85 | 95.00 | 21.44 | | |
| | 합계 | 2063.61 | 97.00 | | | |

분산분석결과 폐합성수지류의 벽체재료의 종류에 따른 유의한 차이를 보이지 않는다. 곧 주거용 건축물 해체시 건설폐기물 발생원단위 산출에서 지붕의 종류에는 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있다.

따라서 벽체와 지붕 재료에 따른 분류는 그 의미가 없다고 판단하고, 주거용 건축물 해체 시 주구조에 따른 원단위를 제시하기 위하여 면적과 각 건설폐기물 성상별 교차분석을 실시한다.

<표 3.9.49> 면적과 각 건설폐기물 종류별 상관분석

| 상관계수 | | 면적 | 폐콘크리트 | 폐벽돌 | 폐블록 | 폐기와 | 폐목재 | 폐합성수지류 | 폐금속류 | 폐유리 | 폐슬래트 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 면적 | Pearson 상관계수 | 1.00 | 0.01 | 0.16 | 0.25* | 0.46* | 0.70* | 0.28* | 0.10 | 0.23* | 0.32* |
| | 유의확률 (양쪽) | | 0.89 | 0.12 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.31 | 0.02 | 0.00 |
| | N | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 | 98 |

면적과 폐블록, 폐기와, 폐목재, 폐합성수지류, 폐유리, 폐슬래트 등은 유의한 상관관계를 가지는 것으로 나타났다. 폐콘크리트, 폐벽돌, 폐금속류는 유의하지 않은 것으로 나타났으나, 실제 현장에서 사용가능한 사용하기 편리한 원단위를 제시한다는 의미에서 유의한 것으로 가정하고 건설폐기물 발생원단위를 제시하기로 한다. 차후 계속되는 연구에서 면적 이외에 상관요인을 찾아야 할 것이다.

폐블록의 단순회귀모형은 다음과 같다.

<표 3.9.50> 폐블록 단순회귀모형 계수(a)

| 모형 | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비 표준화 계수 | t | 유의확률 | B에 대한 95% 신뢰구간 | B에 대한 95% 신뢰구간 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | 하한값 | 상한값 |
| 1.00 (상수) | 1.34 | 5.49 | | 0.24 | 0.81 | -9.56 | 12.25 |
| 면적 | 0.22 | 0.09 | 0.25 | 2.54 | 0.01 | 0.05 | 0.39 |

a 종속변수: 폐블록

회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=1.34+0.22X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐블록 발생량), X1=연면적

다음은 회귀식을 검증하기 위하여 폐블록 실제 발생량과 휘귀식에 의해 발생량 예측값과의 비교표이다.

<표 3.9.51> 폐블록 실제 발생량과 회귀식에 의한 발생량의 통계량

| | N | 평균 | 표준편차 | 평균의 표준오차 |
|---|---|---|---|---|
| 회귀값 | 99 | 14.59 | 5.02 | 0.50 |
| 원값 | 99 | 14.99 | 20.48 | 2.06 |

관측값의 산포(散布)의 정도를 나타내는 표준편차의 차이를 제외하고, 평균값은 유의함으로 본 식을 폐블록의 원단위 발생식으로 사용한다.

같은 방법으로 폐기와, 폐목재, 폐합성수지류, 폐유리, 폐슬레트의 회귀식을 산출한다.

<표 3.9.52> 폐기와 단순회귀모형 계수(a)

| 모형 | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비 표준화 계수 | t | 유의확률 | B에 대한 95% 신뢰구간 | B에 대한 95% 신뢰구간 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | 하한값 | 상한값 |
| 1.00 (상수) | 9.62 | 5.38 | | 1.79 | 0.08 | -1.06 | 20.30 |
| 면적 | 0.42 | 0.08 | 0.46 | 5.08 | 0.00 | 0.26 | 0.59 |

a 종속변수: 폐기와

폐기와의 단순회귀모형 회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=9.62+0.42X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐기와 발생량), X1=연면적

<표 3.9.53> 폐목재 단순회귀모형 계수(a)

| 모형 | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비 표준화 계수 | t | 유의확률 | B에 대한 95% 신뢰구간 | B에 대한 95% 신뢰구간 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | 하한값 | 상한값 |
| 1.00 (상수) | 2.32 | 2.06 | | 1.13 | 0.26 | -1.76 | 6.40 |
| 면적 | 0.31 | 0.03 | 0.70 | 9.68 | 0.00 | 0.25 | 0.37 |

a 종속변수: 폐목재

폐목재의 단순회기모형 회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=2.32+0.31X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐목재 발생량), X1=연면적

<표 3.9.54> 폐합성수지류 단순회귀모형 계수(a)

| 모형 | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비 표준화 계수 | t | 유의확률 | B에 대한 95% 신뢰구간 | B에 대한 95% 신뢰구간 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | 하한값 | 상한값 |
| 1 (상수) | -1.20 | 1.27 | | -0.94 | 0.35 | -3.72 | 1.32 |
| 면적 | 0.06 | 0.02 | 0.28 | 2.89 | 0.00 | 0.02 | 0.10 |

a 종속변수: 폐합성수지류

회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=-1.20+0.06X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐합성수지류 발생량), X1=연면적

<표 3.9.55> 폐유리 단순회귀모형 계수(a)

| 모형 | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비 표준화 계수 | t | 유의확률 | B에 대한 95% 신뢰구간 | B에 대한 95% 신뢰구간 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | 하한값 | 상한값 |
| 1 (상수) | 0.01 | 0.00 | | 2.30 | 0.02 | 0.00 | 0.02 |
| 면적 | 0.0002 | 0.00 | 0.23 | 2.31 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |

a 종속변수: 폐유리

폐유리의 단순회기모형 회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=0.01+0.0002X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐유리 발생량), X1=연면적

<표 3.9.56> 폐슬래트 단순회귀모형 계수(a)

| 모형 | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비 표준화 계수 | t | 유의확률 | B에 대한 95% 신뢰구간 | B에 대한 95% 신뢰구간 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | B | 표준오차 | 베타 | | | 하한값 | 상한값 |
| 1 (상수) | -1.06 | 5.54 | | -0.19 | 0.85 | -12.06 | 9.94 |
| 면적 | 0.28 | 0.09 | 0.32 | 3.29 | 0.00 | 0.11 | 0.45 |

a 종속변수: 폐슬래트

회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=-1.06+0.28X$$

$\hat{Y}$=Y(폐슬래트 발생량), X1=연면적

따라서 주거용 건축물의 건설폐기물 발생원단위는 다음과 같다.

<표 3.9.57> 주거용 건축물의 건설폐기물 발생원단위 제안

(단위 : $m^3$)

| | 폐콘크리트** | 폐벽돌** | 폐블록 | 폐기와 | 폐목재 | 폐합성수지 | 폐금속류** | 폐유리 | 폐슬래트 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주거용 건축물 건설폐기물발생량 | $\hat{Y}=0.26X_1$ | $\hat{Y}=0.06X_1$ | $\hat{Y}=1.34+0.22X_1$ | $\hat{Y}=9.62+0.42X_1$ | $\hat{Y}=2.32+0.31X_1$ | $\hat{Y}=-1.20+0.06X_1$* | $\hat{Y}=0.13X_1$ (ton) | $\hat{Y}=0.01+0.0002X_1$ | $\hat{Y}=-1.06+0.28X$* |

* $\hat{Y}$의 최소값은 0이다.

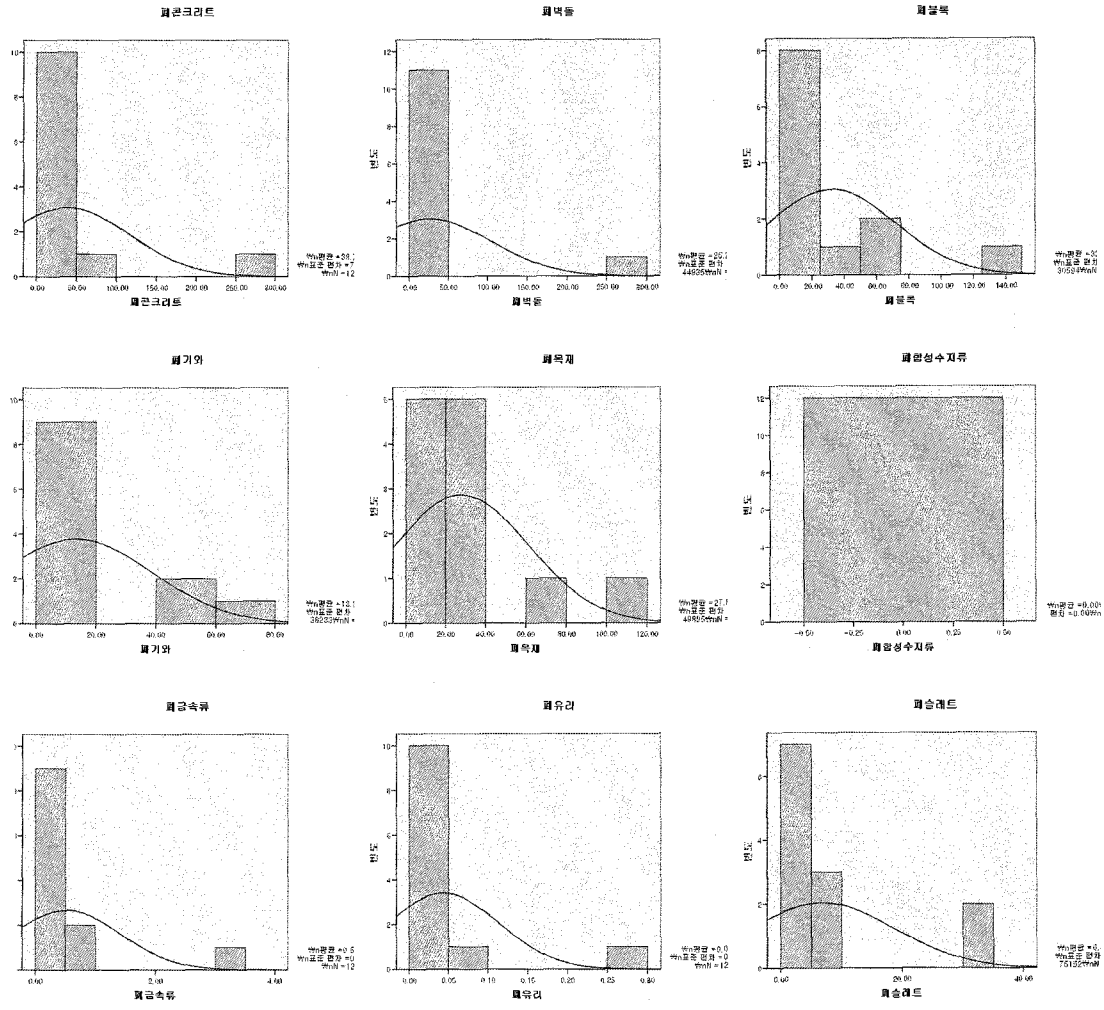
** 폐콘크리트, 폐벽돌, 폐금속류의 건설폐기물원단위는 기존 계산방법을 이용한다.

(나) 상업용 건축물의 건설폐기물 원단위 산출

상업용 건축물의 건설폐기물 빈도분석결과는 다음과 같다.

<표 3.9.58> 빈도 통계량

| | | 면적 | 폐콘크리트 | 폐벽돌 | 폐블록 | 폐기와 | 폐목재 | 폐합성수지류 | 폐금속류 | 폐유리 | 폐슬래트 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N | 유효 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |
| | 결측 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 평균 | | 173.31 | 38.70 | 26.30 | 32.26 | 13.33 | 27.80 | 0.00 | 0.52 | 0.04 | 6.88 |
| 표준편차 | | 236.01 | 77.81 | 78.45 | 39.31 | 25.38 | 33.50 | 0.00 | 0.90 | 0.07 | 11.75 |




[그림 3.9.20] 재료별 히스토그램(상업용 건물)

<표 3.9.59> 상업용 건축물 기술통계량

| | | N | 평균 | 표준편차 | 표준오차 | 평균에 대한 95% 신뢰구간 | | 최소값 평균에 대한 95% 신뢰구간 | 최대값 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | | 하한값 | 상한값 | | |
| 폐콘크리트 | 목조 | 2 | 12.75 | 12.08 | 8.55 | -95.83 | 121.32 | 4.20 | 21.29 |
| | 블록조 | 4 | 7.53 | 7.60 | 3.80 | -4.58 | 19.63 | 0.00 | 16.37 |
| | 벽돌조 | 2 | 13.86 | 11.26 | 7.97 | -87.35 | 115.06 | 5.89 | 21.82 |
| | RC조 | 4 | 95.28 | 124.99 | 62.50 | -103.62 | 294.17 | 5.58 | 277.04 |
| | 합계 | 12 | 38.70 | 77.81 | 22.46 | -10.73 | 88.14 | 0.00 | 277.04 |
| 폐벽돌 | 목조 | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 블록조 | 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 벽돌조 | 2 | 21.65 | 30.62 | 21.65 | -253.44 | 296.74 | 0.00 | 43.30 |
| | RC조 | 4 | 68.06 | 136.13 | 68.06 | -148.54 | 284.67 | 0.00 | 272.25 |
| | 합계 | 12 | 26.30 | 78.45 | 22.65 | -23.55 | 76.14 | 0.00 | 272.25 |
| 폐블록 | 목조 | 2 | 12.81 | 17.13 | 12.12 | -141.13 | 166.74 | 0.69 | 24.92 |
| | 블록조 | 4 | 22.74 | 8.90 | 4.45 | 8.59 | 36.90 | 12.60 | 34.27 |
| | 벽돌조 | 2 | 28.30 | 34.09 | 24.11 | -277.99 | 334.58 | 4.19 | 52.40 |
| | RC조 | 4 | 53.47 | 64.16 | 32.08 | -48.63 | 155.57 | 8.65 | 145.01 |
| | 합계 | 12 | 32.26 | 39.31 | 11.35 | 7.28 | 57.23 | 0.69 | 145.01 |
| 폐기와 | 목조 | 2 | 21.23 | 30.02 | 21.23 | -248.52 | 290.98 | 0.00 | 42.46 |
| | 블록조 | 4 | 29.38 | 36.35 | 18.18 | -28.46 | 87.22 | 0.00 | 74.75 |
| | 벽돌조 | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | RC조 | 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 합계 | 12 | 13.33 | 25.38 | 7.33 | -2.80 | 29.46 | 0.00 | 74.75 |
| 폐목재 | 목조 | 2 | 24.12 | 3.88 | 2.75 | -10.76 | 58.99 | 21.37 | 26.86 |
| | 블록조 | 4 | 7.04 | 4.83 | 2.42 | -0.65 | 14.73 | 0.77 | 12.08 |
| | 벽돌조 | 2 | 22.69 | 2.10 | 1.49 | 3.82 | 41.55 | 21.20 | 24.17 |
| | RC조 | 4 | 52.97 | 51.37 | 25.69 | -28.77 | 134.71 | 0.00 | 115.54 |
| | 합계 | 12 | 27.80 | 33.50 | 9.67 | 6.52 | 49.09 | 0.00 | 115.54 |
| 폐합성수지류 | 목조 | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 블록조 | 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 벽돌조 | 2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | RC조 | 4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| | 합계 | 12 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 폐금속류 | 목조 | 2 | 0.11 | 0.01 | 0.01 | -0.02 | 0.24 | 0.10 | 0.12 |
| | 블록조 | 4 | 0.39 | 0.33 | 0.16 | -0.13 | 0.91 | 0.01 | 0.80 |

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 벽돌조 | 2 | 0.17 | 0.16 | 0.11 | -1.23 | 1.57 | 0.06 | 0.28 |
| | RC조 | 4 | 1.02 | 1.51 | 0.76 | -1.38 | 3.42 | 0.12 | 3.27 |
| | 합계 | 12 | 0.52 | 0.90 | 0.26 | -0.05 | 1.09 | 0.01 | 3.27 |
| 폐유리 | 목조 | 2 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | -0.11 | 0.15 | 0.01 | 0.03 |
| | 블록조 | 4 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.02 |
| | 벽돌조 | 2 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | -0.04 | 0.09 | 0.02 | 0.03 |
| | RC조 | 4 | 0.10 | 0.11 | 0.06 | -0.08 | 0.27 | 0.02 | 0.26 |
| | 합계 | 12 | 0.04 | 0.07 | 0.02 | 0.00 | 0.09 | 0.01 | 0.26 |
| 폐 슬 래 트 | 목조 | 2 | 19.34 | 18.14 | 12.83 | -143.62 | 182.29 | 6.51 | 32.16 |
| | 블록조 | 4 | 7.58 | 15.15 | 7.58 | -16.53 | 31.68 | 0.00 | 30.30 |
| | 벽돌조 | 2 | 3.36 | 4.74 | 3.36 | -39.27 | 45.98 | 0.00 | 6.71 |
| | RC조 | 4 | 1.72 | 3.44 | 1.72 | -3.75 | 7.18 | 0.00 | 6.87 |
| | 합계 | 12 | 6.88 | 11.75 | 3.39 | -0.59 | 14.35 | 0.00 | 32.16 |

<표 3.9.60> 분산의 동질성에 대한 검정

| | Levene 통계량 | 자유도1 | 자유도2 | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|
| 폐콘크리트 | 3.59 | 3 | 8 | 0.07 |
| 폐벽돌 | 4.92 | 3 | 8 | 0.03 |
| 폐블록 | 2.29 | 3 | 8 | 0.16 |
| 폐기와 | 11.58 | 3 | 8 | 0.00 |
| 폐목재 | 8.22 | 3 | 8 | 0.01 |
| 폐합성수지류 | . | 3 | . | . |
| 폐금속류 | 3.70 | 3 | 8 | 0.06 |
| 폐유리 | 4.02 | 3 | 8 | 0.05 |
| 폐슬래트 | 3.65 | 3 | 8 | 0.06 |

Levene동질성 검정에서 폐콘크리트, 폐블록, 폐금속류, 폐유리, 폐슬래트는 P>0.05이므로 모집단의 분산이 동일하다는 귀무가설이 채택된다. 따라서 계속적인 분석이 가능하다.

<표 3.9.61> 분산분석

| | | 제곱합 | 자유도 | 평균제곱 | F | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 폐콘크리트 | 집단-간 | 19273.45 | 3 | 6424.48 | 1.09 | 0.41 |
| | 집단-내 | 47317.21 | 8 | 5914.65 | | |
| | 합계 | 66590.66 | 11 | | | |
| 폐블록 | 집단-간 | 2950.65 | 3 | 983.55 | 0.56 | 0.66 |
| | 집단-내 | 14043.88 | 8 | 1755.49 | | |
| | 합계 | 16994.53 | 11 | | | |
| 폐금속류 | 집단-간 | 1.65 | 3 | 0.55 | 0.61 | 0.63 |
| | 집단-내 | 7.19 | 8 | 0.90 | | |
| | 합계 | 8.84 | 11 | | | |
| 폐유리 | 집단-간 | 0.02 | 3 | 0.01 | 1.14 | 0.39 |
| | 집단-내 | 0.04 | 8 | 0.00 | | |
| | 합계 | 0.05 | 11 | | | |
| 폐슬래트 | 집단-간 | 443.64 | 3 | 147.88 | 1.10 | 0.40 |
| | 집단-내 | 1075.44 | 8 | 134.43 | | |
| | 합계 | 1519.08 | 11 | | | |

폐콘크리트, 폐블록, 폐금속류, 폐유리, 폐슬래트는 P>0.05이므로 구조의 형태별 건설폐기물 발생량에 유의한 차이가 없는 것으로 밝혀졌다.

<표 3.9.62> 면적과 각 건설폐기물 성상별 상관분석

| | | 면적 | 폐콘크리트 | 폐벽돌 | 폐블록 | 폐기와 | 폐목재 | 폐합성수지류 | 폐금속류 | 폐유리 | 폐슬래트 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 면적 | Pearson 상관계수 | 1 | 0.94 | 0.81 | 0.38 | -0.29 | 0.96 | . | 0.78 | 0.92 | -0.18 |
| | 유의확률 (양쪽) | 유의확률 (양쪽) | 0.00 | 0.00 | 0.22 | 0.37 | 0.00 | . | 0.00 | 0.00 | 0.57 |
| | N | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 | 12 |

폐콘크리트, 폐벽돌, 폐목재, 폐금속류, 폐유리가 면적에 유의하는 것으로 밝혀져 회귀분석을 실시한다.

<표 3.9.63> 폐콘크리트 단순회귀 모형계수

| 모형 | | 비표준화 계수 | | 표준화 계수비표준화 계수 | t | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | 표준오차 | 베타 | | |
| 1 | (상수) | -14.81 | 10.40 | | -1.42 | 0.19 |
| | 면적 | 0.31 | 0.04 | 0.94 | 8.45 | 0.00 |

a 종속변수: 폐콘크리트

회귀식은

$$\hat{Y}=-14.81+0.31X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐콘크리트 발생량), X1=연면적

이다. 다음은 회귀식을 검증하기 위하여 폐콘크리트 실제 발생량과 휘귀식에 의해 발생량 예측값과의 비교표이다.

<표 3.9.64> 일표본 통계량

| | N | 평균 | 표준편차 | 평균의 표준오차 |
|---|---|---|---|---|
| 원값 | 12 | 38.70 | 77.80 | 22.46 |
| 예측값 | 12 | 38.92 | 73.16 | 21.12 |

폐콘크리트와 같이 연면적에 유의한 폐벽돌, 폐목재, 폐금속류, 폐유리의 발생량을 회귀분석을 통하여 회귀식을 산출하였다.

<표 3.9.65> 폐벽돌 단순회귀 모형계수

| 모형 | | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비표준화 계수 | t | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | 표준오차 | 베타 | | |
| 1 | (상수) | -20.23 | 17.65 | | -1.15 | 0.28 |
| | 면적 | 0.27 | 0.06 | 0.81 | 4.33 | 0.00 |

a 종속변수: 폐벽돌

회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=-20.23+0.27X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐벽돌 발생량), X1=연면적

<표 3.9.66> 폐목재 단순회귀 모형계수

| 모형 | | 비표준화 계수 | | 표준화 계수비표준화 계수 | t | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | 표준오차 | 베타 | | |
| 1 | (상수) | 4.08 | 3.38 | | 1.21 | 0.26 |
| | 면적 | 0.14 | 0.01 | 0.96 | 11.53 | 0.00 |

a 종속변수: 폐목재

회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=4.08+0.14X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐목재 발생량), X1=연면적

<표 3.9.67> 폐금속류 단순회귀 모형계수

| 모형 | | 비표준화 계수 | | 표준화 계수비표준화 계수 | t | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | 표준오차 | 베타 | | |
| 1 | (상수) | 0.01 | 0.22 | | 0.03 | 0.98 |
| | 면적 | 0.003 | 0.00 | 0.78 | 3.88 | 0.00 |

a 종속변수: 폐금속류

회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=0.01+0.003X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐목재 발생량), X1=연면적

<표 3.9.68> 폐유리 단순회귀 모형계수

| 모형 | | 비표준화 계수 | 비표준화 계수 | 표준화 계수비표준화 계수 | t | 유의확률 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | B | 표준오차 | 베타 | | |
| 1 | (상수) | -0.004 | 0.01 | | -0.40 | 0.70 |
| | 면적 | 0.0003 | 0.00 | 0.92 | 7.47 | 0.00 |

a 종속변수: 폐유리

회귀식은 다음과 같다.

$$\hat{Y}=0.004+0.0003X1$$

$\hat{Y}$=Y(폐유리 발생량), X1=연면적

따라서 상업용 건축물의 건설폐기물 발생원단위는 다음과 같다.

<표 3.9.69> 상업용 건축물의 건설폐기물 발생원단위 제안

(단위 : $m^3$)

| | 폐콘크리트 | 폐벽돌 | 폐블록* | 폐기와* | 폐목재 | 폐합성수지* | 폐금속류 | 폐유리 | 폐슬래트* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 상업용 건축물 건설폐기물발생량 | $\hat{Y}$=-14.81+0.31$X_1$ | $\hat{Y}$=-20.23+0.27$X_1$ | $\hat{Y}$=0.19$X_1$ | $\hat{Y}$=0.08$X_1$ | $\hat{Y}$=4.08+0.14$X_1$ | 0.00 | $\hat{Y}$=0.01+0.003$X_1$ (ton) | $\hat{Y}$=-0.004+0.0003$X_1$ | $\hat{Y}$=0.04$X_1$ |

** 폐블록, 폐기와, 폐합성수지, 폐슬래트의 건설폐기물원단위는 기존계산법에 따른다.

(3) 건설폐기물 발생원단위

지금까지 각 연구보고서에 제시된 건설폐기물 발생원단위는 각각의 연구에서 발생한 성상별 건설폐기물 발생량에 전체 건축물의 바닥면적으로 나눈 것으로서 그 자료적 측면에서의 의의는 크다고 할 수 있다. 그러나 타 지역에 적용시에 오차범위가 클 가능성이 있고, 지금까지 해체현장에서는 그 위험성 때문에 원단위 적용을 꺼리게 되었다. 따라서 본 연구에서는 단순 수치제시를 지양하고 통계분석 방법을 이용하여, 건설폐기물 발생원단위를 제시하였다.

건설폐기물 성상별 발생원단위 산출식은 다음과 같다.

<표 3.9.70> 건설폐기물 발생원단위 산출식

(단위 : $m^3$)

| | 폐콘크리트 | 폐벽돌 | 폐블록 | 폐기와 | 폐목재 | 폐합성수지 | 폐금속류 | 폐유리 | 폐슬래트 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 주거용 건축물 | $\hat{Y}$=0.26$X_1$ | $\hat{Y}$=0.06$X_1$ | $\hat{Y}$=1.34+0.22$X_1$ | $\hat{Y}$=9.62+0.42$X_1$ | $\hat{Y}$=2.32+0.31$X_1$ | $\hat{Y}$=-1.20+0.06$X_1$* | $\hat{Y}$=0.13$X_1$ (ton) | $\hat{Y}$=0.01+0.0002$X_1$ | $\hat{Y}$=-1.06+0.28X* |
| 상업용 건축물 건설폐기물발생량 | $\hat{Y}$=-14.81+0.31$X_1$ | $\hat{Y}$=-20.23+0.27$X_1$ | $\hat{Y}$=0.19$X_1$ | $\hat{Y}$=0.08$X_1$ | $\hat{Y}$=4.08+0.14$X_1$ | 0.00 | $\hat{Y}$=0.01+0.003$X_1$ (ton) | $\hat{Y}$=-0.004+0.0003$X_1$ | $\hat{Y}$=0.04$X_1$ |

## 2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발

### 가. 건설폐기물 관련법률 개정내용 분석

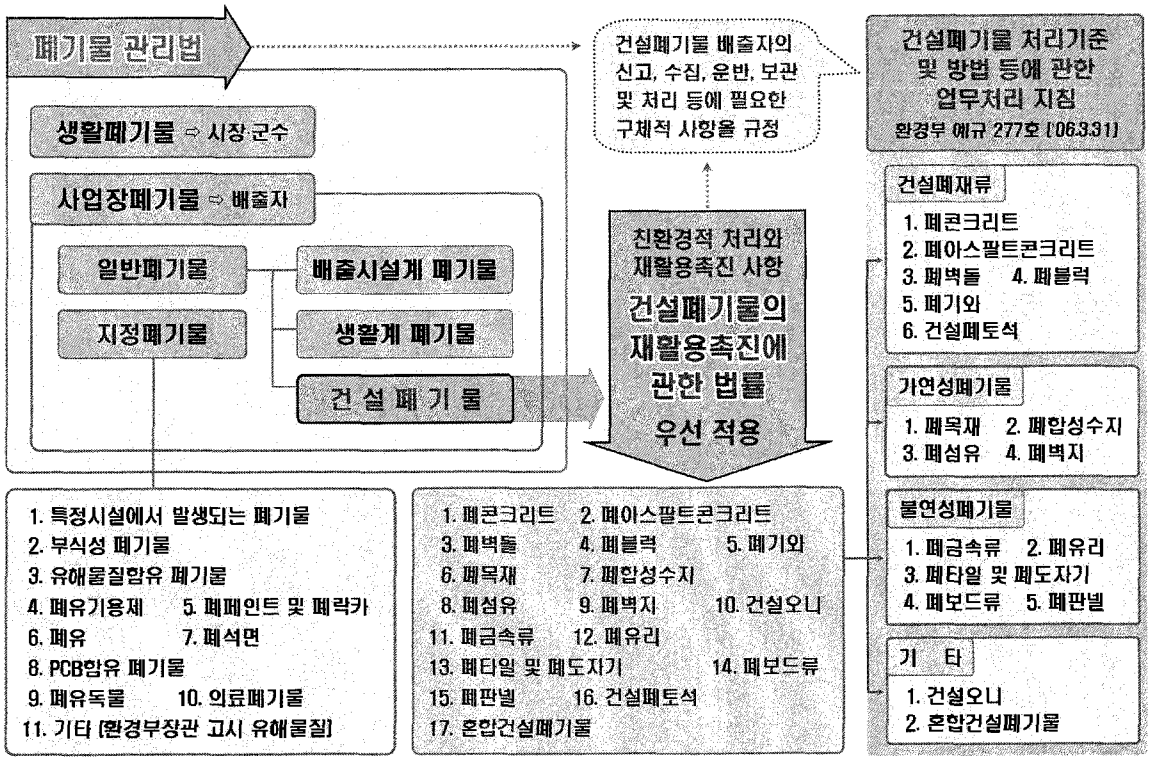
(1) 2007.12.28일자 개정된 건설폐기물 관련법률 내용 중 분별해체 관련사항 요약

(가) 「건설폐기물 재활용촉진에 관한 법률」: 건설폐기물의 종류가 폐타일 및 폐도자기, 폐보드류, 폐판넬 등이 포함됨으로써 17종으로 확대됨.

(나) 「폐기물관리법」: 폐석면의 처리 · 관리기준 강화로 석면이 중량기준 1% 이상 함유된 자재는 지정폐기물로 분류됨.

(다) 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」: 토사, 콘크리트, 아스팔트콘크리트, 벽돌 및 건축폐목재가 지정부산물에서 제외되면서 관련지침인 "건설폐재 배출사업자의 재활용 지침"이 폐지됨.

상기의 개정내용을 반영한 폐기물의 분류체계를 제시하면 다음과 같음.




[그림 3.9.21] 국내 폐기물 분류체계도

## 나. 건설폐기물 재활용정책의 현황 분석

(1) 건설폐기물 재활용률은 2006년 현재 거의 100%에 육박

(가) 건설폐기물 재활용률은 2006년 현재 97.0%에 달하며, 2003년 이후 지속 상승하여 2005년 이후에는 100%에 육박하고 있음. 정부의 재활용촉진 및 지원정책, 학계의 실용기술 개발 및 관련업계의 시설투자 등이 동인(動因)

<표 3.9.71> 건설폐기물 재활용 목표 및 실적

| 구 분 | 2003년 | 2004년 | 2005년 | 2006년 | 2007년 |
|---|---|---|---|---|---|
| 재활용 목표 (%) | 86.0 | 87.0 | 88.0 | 89.0 | 90.0 |
| 재활용 실적 (%) | 89.0 | 90.7 | **96.7** | **97.0** | - |

자료 : 「건설폐기물 재활용 기본계획 (2007~2011)」 p.61 표의 재구성

(나) 하지만 이러한 실적치는 건설폐기물을 '중간처리업체에 위탁하는 양'으로 산정한 것으로, '건설현장에서 실질적으로 재활용하는 양'에 근거한 것은 아님

(2) 순환골재의 고부가가치 재활용률은 전체 생산량의 20% 수준

(가) 환경부 2007년 국정감사 제출자료에 따르면, 순환골재의 22% 정도가 고부가가치 용도로 재활용된 것으로 나타남. 도로기층용·보조기층용 및 동상방지층용이 17.5%, 콘크리트용과 콘크리트제품 제조용이 4.5% 정도(표 3.9.34)

<표 3.9.72> 순환골재의 용도별 생산량 및 활용 현황

| 구 분 | 용 도 | 생산량(톤/년) | | 사용량(톤/년) | |
|---|---|---|---|---|---|
| 도로 공사용 | 기층(보조)용, 동상방지층용 | 6,181,807 | 19.1 % | **5,663,900** | **17.5 %** |
| | 노체용 및 기타 | 845,457 | 2.6 % | 1,266,138 | 3.9 % |
| 건설 공사용 | 콘크리트(제품)용 | 2,028,034 | 6.3 % | **1,447,073** | **4.5 %** |
| | 되메우기용, 뒷채움용 등 | 4,810,313 | 14.8 % | 5,354,003 | 16.5 % |
| 성토용, 복토용 및 기타 | | 18,523,505 | 57.2 % | 18,708,193 | 57.6 % |
| 합 계 | | 32,389,116 | 100.0 % | 32,439,307 | 100.0 % |

자료 : 환경부, 2007년 국정감사 국회제출 통계자료

(나) 2005년 순환골재 판매현황에 따르면, 순환골재가 고부가가치 용도로 판매된 비율은 전체 생산량의 18.5% 정도. 나머지는 성토용, 복토용, 되메우기용, 뒷채움용 등 단순 용도로 판매 (표 3.9.35)

<표 3.9.73> 순환골재의 용도별 판매현황

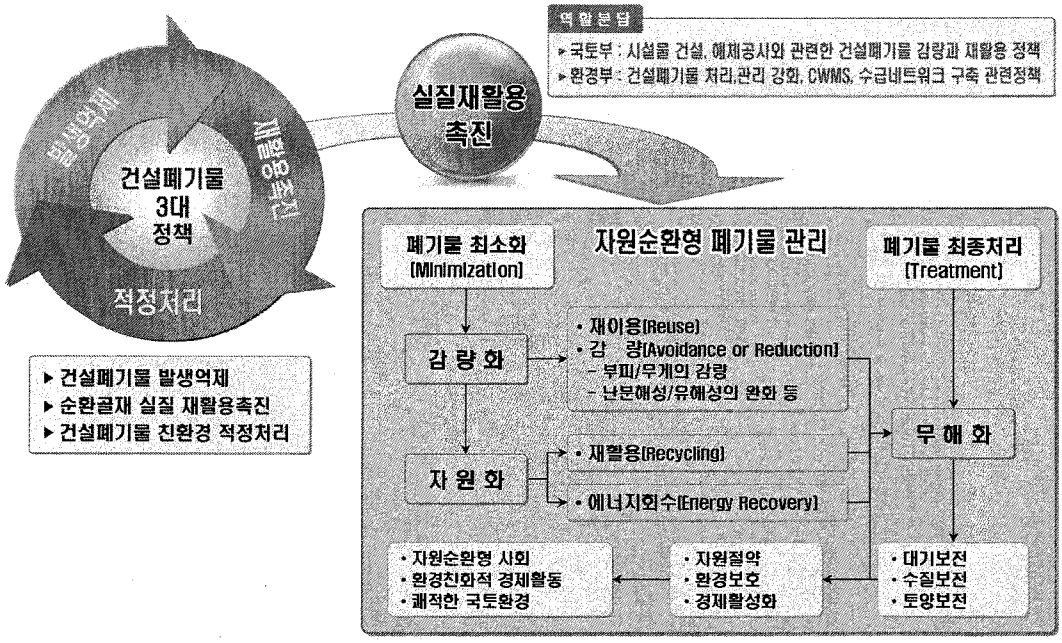
| 구 분 | 용 도 | 판매량(톤/년) | 비 율 | |
|---|---|---|---|---|
| 도로 공사용 | 도로기층용 | **122,511** | **1.9 %** | **14.2 %** |
| | 도로보조기층용 | **806,924** | **12.3 %** | |
| | 동상방지층, 차단층용 | **0** | **0.0 %** | |
| | 노상용 | 10,023 | 0.2% | 0.8 % |
| | 노체용 | 36,301 | 0.6% | |
| 건설 공사용 | 콘크리트용 | **74,440** | **1.1 %** | **4.3 %** |
| | 콘크리트제품 제조용 | **212,482** | **3.2 %** | |
| | 되메우기, 뒷채움용 | 486,675 | 7.4 % | 7.4 % |
| 성토용, 복토용 및 기타 | | 3,795,742 | 58.0 % | 58.0 % |
| 처리시설 내 보관량 | | 1,004,117 | 15.3% | 15.3% |
| 총 생산량 (2005년 기준) | | 6,549,215 | 100.0 % | 100.0 % |

[주] 기타에는 아스팔트 콘크리트용, 도로포장 아스팔트용, 유화 아스팔트용, 가열아스팔트 안정처리기층용 등이 포함됨.
자료 : 환경부, 「2005년도 건설폐기물 재활용 통계조사 보고서」, 2006. 7, p.13 표의 재구성

(3) 정부정책이 양적 · 실적 재활용정책에서 질적 재활용촉진 정책으로 전환

(가) 정부는 2006. 12월 '제2차 건설환경 기본계획 (국토해양부)'과 '건설폐기물 재활용 기본계획(환경부)'을 통해 양적·실적관리 정책에서 질적 재활용촉진 정책으로 패러다임 전환

(나) 건설폐기물의 '발생억제', '재활용촉진' 및 '적정처리'를 통해 건설폐기물의 실질재활용을 촉진함으로써 궁극적으로는 국가차원의 '자원 순환형 폐기물 관리 체계'를 구축하는 것을 장기목표로 하고 있음




[그림 3.9.22] 건설폐기물 정책의 중장기 목표(자원순환형 폐기물 관리 체계)
자료 : "제2차 건설환경 기본계획" p.149, "건설폐기물 재활용 기본계획" p.55 그림 재구성

(다) 두 계획은 건설폐기물 발생억제와 재활용 촉진을 위한 연차별 목표, 평가지표 및 세부 추진시책 등을 공유. 다만, 국토양부는 시설물 건설·해체공사와 관련한 건설폐기물 감량과 재활용정책 분야를, 환경부는 건설폐기물 처리·관리기준 강화, 정보관리시스템(CWMS) 및 수급네트워크 구축관련 제도·정책 분야를 추진

## 다. 분별해체공사요령(안) 주요내용

### (1) 일반사항

<표 3.9.74> 분별해체공사요령(안) 일반사항

| 구 분 | 내 용 |
|---|---|
| 명 칭 | 시설물 분별해체공사요령(안) 및 해설 |
| 필요성 | · 해체현장 건설폐기물의 재활용 및 적정처리가 중요과제로 부각<br>· 석면함유 건축자재의 유해성이 사회문제로 대두<br>· 실무자가 활용할 수 있는 해체공사 적정시공에 관한 실용지침 필요 |
| 목 적 | 해체폐기물의 적정처리, 재활용촉진을 위한 분별해체공사 표준 제시 |
| 적 용 | 공동주택, 일반사무용 건축물의 전부 또는 부분을 해체하는 공사 |
| 수록내용 | 발주자, 시공자, 감리자, 폐기물처리자 등이 활용할 수 있는 해체공사 관련정보, 관련법률과 시스템 이해자료를 본문 50page 및 해설 80page에 걸쳐 수록 |
| 활용대상 | · 발주자 : 해체공사의 계획 및 설계시 기본자료로 활용<br>· 시공자 : 해체공사의 시공계획 수립, 현장시공/관리시 지침으로 활용<br>· 감리자 : 해체공사의 감리 및 감독시 참고도서로 활용<br>· 처리자 : 폐기물의 현장보관, 배출계획수립 및 위탁처리 시 참고자료로 활용 |

### (2) 장별 구성내용

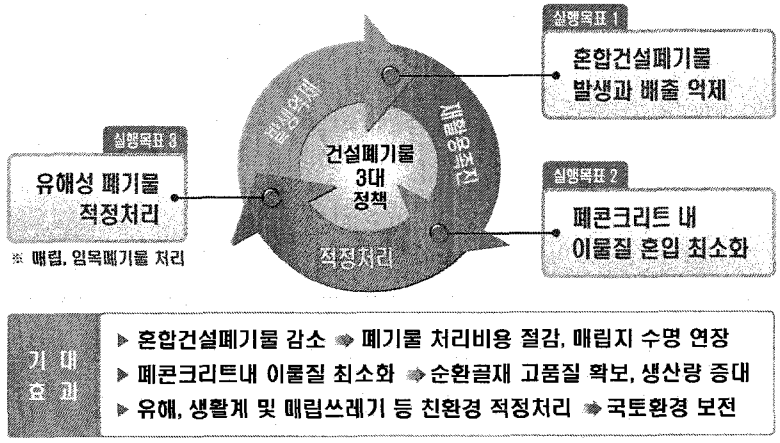
<표 3.9.75> 분별해체요령(안)의 장별 내용

| 장 제목 | 구 성 내 용 |
|---|---|
| 제1장 총칙 | 목적, 적용범위, 용어의 정의 |
| 제2장 사전조사 및 해체공법 결정 | 일반사항, 용어의 정의, 사전조사, 해체공법의 결정 |
| 제3장 분별해체공사 계획수립 | 분별해체 시공계획 수립 기본요건, 분별해체공사의 일반적 절차, 환경보전 및 안전관리 계획공사에 따른 허가신청 등 |
| 제4장 분별해체공사 현장관리 | 일반사항, 해체현장 관리, 환경보전 관리, 안전관리 |
| 제5장 분별해체공사 시공 | 일반사항, 가설공사, 생활계 지장폐기물 등의 처리 및 제거, 사전조치, 분별해체작업의 수행 |
| 제6장 폐기물의 처리 | 폐기물의 재활용 및 처리, 폐콘크리트의 당해 현장재활용, 폐기물 수집 보관 및 운반 및 처리의 위탁 |
| 제7장 지정폐기물 등의 처리 | 일반사항, 용어의 정의, 지정폐기물의 보관 운반 및 처리 지정폐기물의 처리 등 |
| 제8장 폐석면 등의 해체·제거 | 해체·제거의 기본요건, 폐석면등의 해체·제거 작업계획 수립, 제거공사 공통사항, 석면함유 자재별 작업기준 |

(3) 요령(안)의 특징

(가) 분별해체공사 실행목표 설정

① 제안요령(안)에서는 분별해체공사 실행목표를 건설폐기물 3대 정책목표인 발생억제, 순환골재 재활용촉진 및 적정처리 등에 대응하는 3가지로 설정




[그림 3.9.23] 분별해체공사 실행목표

(나) 공사기획 단계의 강화

① 현 해체공사는 ① 내·수장재 일부의 인력철거, ② 철거장비를 이용한 구조체의 파쇄·소할작업, ③ 폐기물 집적/현장반출 등 단순공정으로 수행. 따라서 발생되는 건설폐기물의 대부분이 혼합건설폐기물일 수밖에 없는 상황

② 제안요령(안)은 최근의 신축공사 수행경향을 반영하여 해체공사 착수 전 기획단계로서 "사전조사 및 계획/설계" 등을 강화함.

③ 해체공사는 신축공사의 역순으로 수행하는 것을 전제로, 내·수장재, 건축설비, 창호 등 노출된 모든 구성자재를 구조체(골조) 파쇄에 앞서 분리·제거토록 규정

④ 또한 구조체 파쇄 이후 폐기물 최종 위탁처리 전에 당해현장 내에서 혼합건설폐기물을 자가처리할 수 있도록 함으로써 혼합건설폐기물 배출량을 최소화할 수 있도록 제안




[그림 3.9.24] 분별해체공사 프로세스

(다) 9종의 분별해체 폐기물에 대한 자재리스트 작성 의무화

○ 분별해체 대상폐기물을 건폐법에서 규정한 17종의 폐기물 중 순환골재의 품질에 악영향을 줄 수 있는 9종류로 제안하고, 이를 건설부산물로 지정

① 폐콘크리트 ② 폐아스팔트콘크리트 ③ 폐벽돌 ④ 폐목재

⑤ 폐벽지 ⑥ 폐합성수지 ⑦ 폐금속 ⑧ 폐유리 ⑨ 폐섬유

○ 해체시공업체는 시공계획 수립단계에서 대상건물에 대한 사전조사를 면밀하게 실시하여 9종의 건설부산물 종류별 자재리스트를 작성하여 이를 시공계획서에 제시토록 함. 자재리스트는 순환골재의 품질에 미치는 영향정도에 따라 아래와 같이 3단계로 구분토록 하였고, 이를 기본으로 작업계획을 수립토록 제안

① 순환골재 품질에 미치는 악영향이 큰 잔재

② 순환골재 품질에 미치는 악영향이 비교적 작은 잔재

③ 해체 후 처리과정에서 제거해도 좋을 잔재

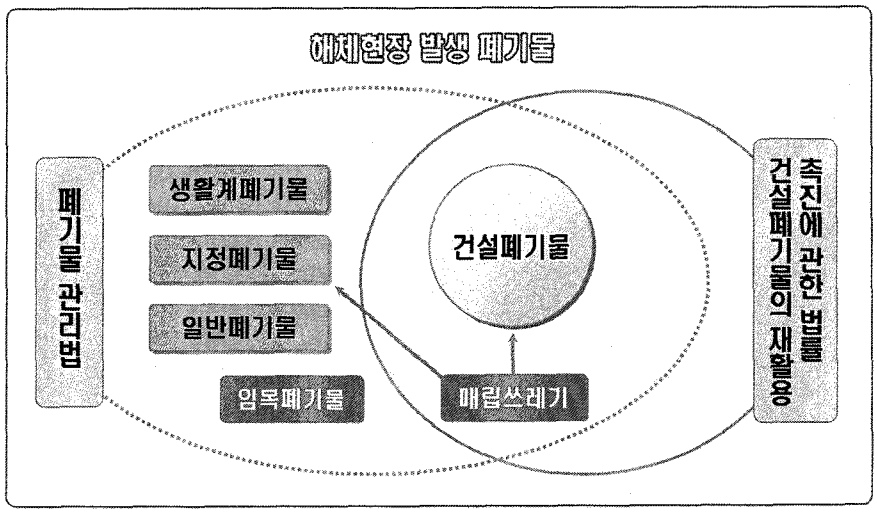
○ 자재리스트 작성 시, 순환골재 품질에 악영향을 미치는 모든 자재는 사전에 분리하는 것을 원칙으로 함. 또한 시공업체가 당해 해체공사의 경제성, 공사기간, 작업성, 작업공정간 연계성 및 자체기술력 등을 종합 검토하여 작성토록 함.

(라) 해체현장에서 발생하는 모든 폐기물에 대하여 규정

① 해체공사의 착공에서 완료까지는 발생하는 폐기물을 관련법률에 의거 분류하면 [그림 3.9.21]과 같음.

② 건설폐기물을 비롯해 기존 입주자가 방치하거나 투기되어 있는 생활계폐기물, 폐관법에서 규정하는 지정폐기물, 대상부지 내에 매립되어 있는 폐기물 및 임목폐기물 등임.

③ 제안요령(안)에서는 해체현장에서 발생하는 모든 폐기물을 "폐기물"로 정의하고, 폐관법, 건폐법 등 관련법률과 지침 등을 동시에 고려하여 각각에 대한 현장보관과 적법처리 방법을 규정함. 주요내용을 요약하면 <표 3.9.38>과 같음.




[그림 3.9.25] 해체현장 발생 폐기물

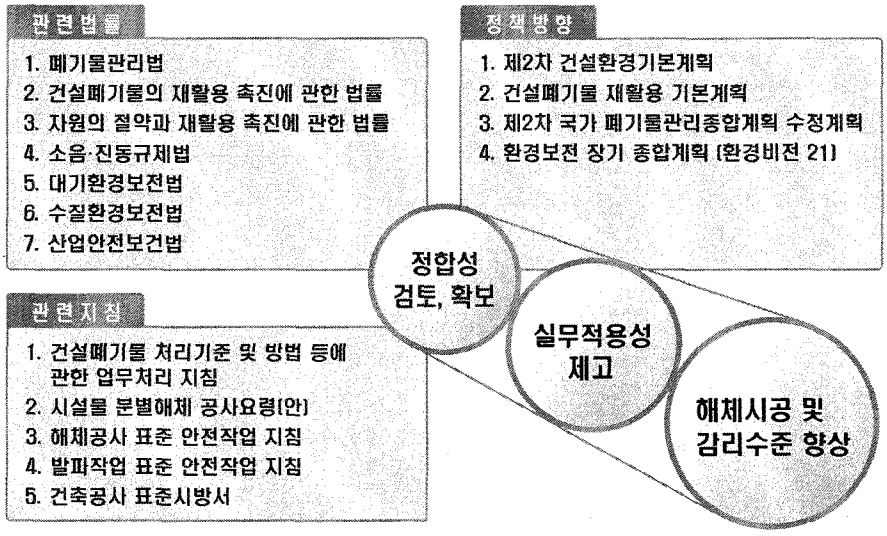
<표 3.9.76> 제안요령(안)에 반영된 폐기물 관련법 규정내용 요약

| 처리항목 | 규정내용 요약 |
|---|---|
| 생활계폐기물 | 폐관법 시행규칙에 의거, 해체현장 내 다른 건설폐기물과 혼합되지 않도록 우서 처리토록 규정<br>· 재활용 가능 폐기물 : 재활용센터와 연계하여 반출<br>· 재활용 불가능 폐기물 : 일반폐기물로 위탁 처리<br>· 환경부 '생산자책임 재활용제도'에 의한 분리배출 의무화 품목은 현장 내 별도의 수거함을 설치하여 분리배출 |
| 지정폐기물 | 본 공사 착공 전에 폐기물분석 전문기관에 상세조사 의뢰하고 그 결과에 따라 위탁 또는 자가처리하는 것으로 규정<br>· 제7장(지정폐기물의 처리)<br>· 제8장(폐석면, 석면함유 자재 등의 해체·제거)은 노동부 권고사항인 '석면 해체·제거작업 지침'을 인용 |
| 매립폐기물 | 매립폐기물 발생시 폐기물 분석전문기관에 성분조사 의뢰하고, 그 결과에 따라 일반 또는 지정폐기물로 분류 처리토록 규정<br>· 지정폐기물이 아닌 폐토사는 쓰레기와 분리하여 현장 내 성토재로 활용<br>· 이 외의 건설폐기물은 그 종류별 처리기준 및 방법에 맞게 처리 |
| 임목폐기물 | 건설공사 현장에서 벌목, 벌근 등에 의하여 발생하는 나무뿌리, 가지 등 임목폐기물은 법적으로 건설폐기물에서 제외되나 처리방법을 규정<br>· 현장재활용 (톱밥, 우드칩 등) · 재활용신고자에게 위탁처리<br>· 소각전문 중간처리업체 또는 종합처리업자에게 위탁 (재활용 불가능 시) |
| 폐콘크리트 현장재활용 | 폐콘크리트를 현장선별해 당해현장에서 재활용하는 방안을 검토토록 규정하고 현장재활용 검토 시 고려사항 제시 |
| 혼합건설폐기물 | 분별해체 후 현장에 잔존하는 혼합건설폐기물은 현장 내에서 분리선별 후 배출하는 것으로 규정 |

(마) 관련법률 지침과의 정합성 확보

① 요령(안) 작성 시, 해체공사 수행과 건설폐기물 처리 시 고려해야 할 관련 법률, 관련지침 및 정책자료 등과의 정합성을 검토, 확보함

② 특히, 해당실무자가 해체공사의 수행과 폐기물의 처리절차 및 방법 등에 관한 추가정보를 손쉽게 찾아갈 수 있도록 가능한 범위 내에서 제시내용에 관련된 법적근거 등을 적시함




[그림 3.9.26] 관련 법률 및 지침과 정부정책방향과의 정합성 검토

(바) 기존 국토해양부 분별해체요령(안)과의 차별성

① 국토해양부는 2005.1월 권고지침으로서 '시설물 분별해체공사 요령(안)'을 공포하였음. 제안된 요령(안)과의 차별성을 주요항목별로 요약하면 다음과 같음.

<표 3.9.77> 기존 국토해양부 분별해체요령(안)과의 차별성

| 처리항목 | 기존 요령(안) | 제안 요령(안) |
|---|---|---|
| 실행목표 | 유상매각이 가능한 자재를 중심으로 실질재활용 추구 | 현장 반출 폐콘크리트내의 이물질 최소화<br>혼합건설폐기물의 발생 억제 |
| 분별대상 | 폐콘크리트, 금속류, 토사, 폐목재 | 폐콘크리트, 폐아스콘, 폐벽돌, 폐목재<br>폐벽지, 폐합성수지, 폐금속, 폐유리, 폐섬유 |
| 계획수립 | 선언적으로 규정 | 사전조사, 계획의 중요성 강조 ->별도 장으로 구분해 관련조항 구체 명기 |
| 용어의 개념 | 사전 분별해체, 분별해체, 부재해체 등 | 분별해체개념 재정립, 부재해체->절단해체<br>폐기물, 생활계폐기물, 인력해체 정의 추가 |
| 해체공법의 개념 | 기계, 발파해체공법과 분별해체의 개념이 명확치 않음 | 해체공법별 개념 재설정 및 분류체계 제시<br>분별해체와의 차별성 부여 |
| 폐기물 처리 | 건설폐기물 반출 및 처리에대한 일반사항 | 폐기물 처리시 업무절차, 수집, 운반 및 보관<br>폐콘크리트 현장재활용 및 폐기물 처리위탁 |
| 생활폐기물 | 구체적인 규정 없음 | 처리계획 수립, 처리시기 및 방법, 처리시 고려사항 등을 구체적으로 명기 |
| 지정폐기물 | 구체적인 규정 없음 | 별도 장으로 처리절차, 처리계획 수립 및 종류별 처리방법 등 규정 |
| 폐석면처리 | 구체적인 규정 없음 | 별도 장으로 처리절차, 처리계획 수립 및 석면함유 자재별 구체적 처리방법 제시 |
| 매립폐기물 | 구체적인 규정 없음 | 처리절차, 방법, 처리시 고려사항 구체화 |
| 현장관리 | 시공계획 및 관리부분에<br>선언적 규정 혼재 | 현장관리 부분을 별도의 장으로 구분해 공사과정에서 소음, 진동, 분진, 안전관리 방안을 구체적으로 규정 |
| 기타사항 | | 폐콘크리트 당해 현장재활용 규정 추가<br>문화재 관련규정 추가 |

## 라. 분별해체시험시공

(1) 주거용건물 분별해체 시험시공

(가) 경기 화성 택지개발사업 해체현장 시험시공 완료

① 시험시공 목적 :

㉠ 혼합건설폐기물 저감효과, 폐콘크리트 성상, 작업공정 등 비교·분석

㉡ 폐타일 및 폐도자기, 폐보드, 폐판넬 등 추가된 3종의 건설폐기물에 대한

현장 분별해체 가능성 확인

㉢ 제안 공사요령(안)의 활용성 확인, 미비점 보완

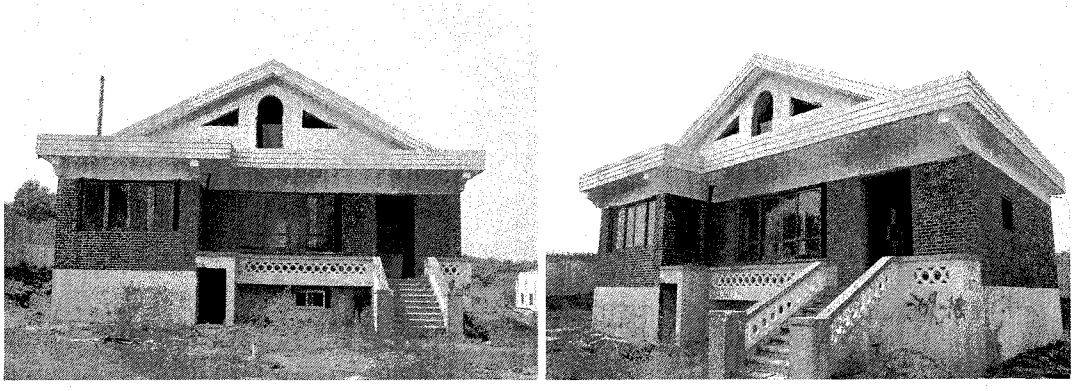
② 대상현장 개요

㉠ 대 상 : 단독주택 1개동

㉡ 형 식 : 연와조 슬라브(지상 1층, 반지하 1층)

㉢ 현장명 : 경기도 화성시 향남 택지개발사업지구 내 지장물 철거현장

㉣ 시공사 : (주)인영건설



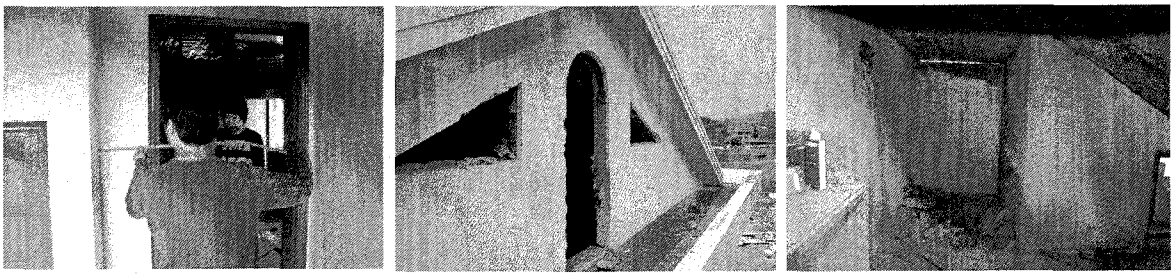
[그림 3.9.27] 주거용건물 2차 시험시공 대상

③ 추진경과

㉠ 대상건물 확보, 현장조사, 실측도면 작성, 시험시공계획 수립 : 2008.4~5

㉡ 시험시공 수행 : 2008.5.24 ~ 30(7일간)

④ 대상건물 현황조사 및 구성자재 조사



(a) 건물 내부 (b) 옥상층 조사 (c) 지하층 조사

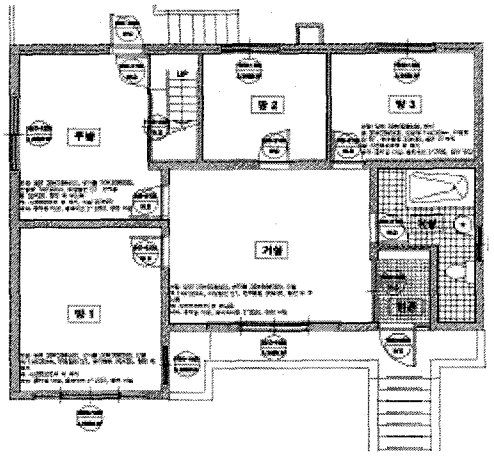
[그림 3.9.28] 시험시공 대상건물 현황조사 및 실측

⑤ 실측도면 작성

대상 건물의 실측을 통해 발생자재리스트를 작성하여 주요 공사 일정 및 투입 장비 및 인원계획을 수립하였고, 실측도면을 작성하여 발생폐기물의 양을 예측하였다.



(a) 시험시공 대상건물 입면도



(b) 시험시공 대상건물 1층 평면도

[그림 3.9.29] 시험시공 대상건물 실측도면

⑥ 시험시공 수행결과

㉠ 분별해체 시험시공 주요 내용

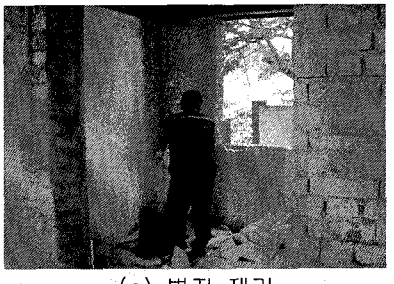
분별해체 시험시공은 [그림 3.9.26]과 같은 순으로 시행하였으며, 그 결과는 <표 3.9.41>과 같다.



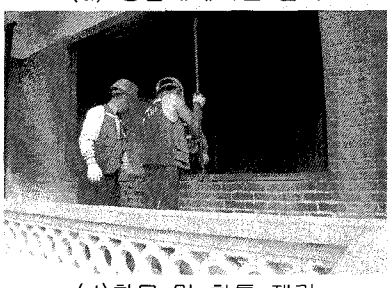
(a) 생활계폐기물 철거



(b) 장판지 제거



(c) 벽지 제거



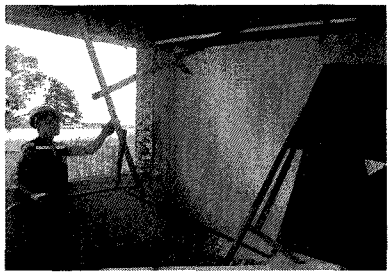
(d)창문 및 창틀 제거



(e) 문 및 문틀 제거



(f) 거실 내장재 제거(목재)



(g) 천정제거



(h) 주방 및 화장실 타일 제거

[그림 3.9.30] 시험시공 주요 작업공정

<표 3.9.78> 주거용건물 해체작업 실사 결과

| 작 업 명 | | 작업수량 (㎥) | 작업수량 (kg) | 총작업시간 (hr) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 하길리 305-1 (주거용 건물) | 목재 | 12.82 | 2,111.5 | 6:17 | |
| | 유리 | 0.24 | 101.5 | 1:05 | |
| | 장판 | | 24 | 0:20 | |
| | 벽지 | 1.64 | 62 | 2:39 | |
| | 스티로폼 | 1.81 | 31.5 | 1:43 | |
| | 타일 | 0.76 | 483 | 5:13 | |
| | 폐기와 | 4.01 | 4,490 | 2:35 | |
| | 도기류 (세면대, 변기) | | 48 | 0:30 | |
| | 방치폐기물 (화분, 욕조) | | 59 | 0:52 | |
| | 폐벽돌 | 덤프8대 | 178,206 | 8:00 | |
| | 철근 | | 4,200 | 8:00 | |
| | 미이주쓰레기 | 1.71 | 150 | 0:52 | |

| | 작업명 | 작업수량 (㎥) | 작업수량 (kg) | 총작업시간 (hr) | 소요품, B/H 1.0 크랴샤 (㎥/hr) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 구조체철거 | 101.20 | 415,814 | 8.00 | 12.650 |

(2) 산업시설물 분별해체시험시공

(가) 경기 화성 택지개발사업 해체현장 시험시공 완료

① 시험시공 목적 :

㉠ 산업시설물 분별해체 시 고려사항 도출 및 일반구조물과의 작업공정 비교

㉡ 제안 공사요령(안)의 산업시설물 적용성 확인, 미비점 보완 • 반영

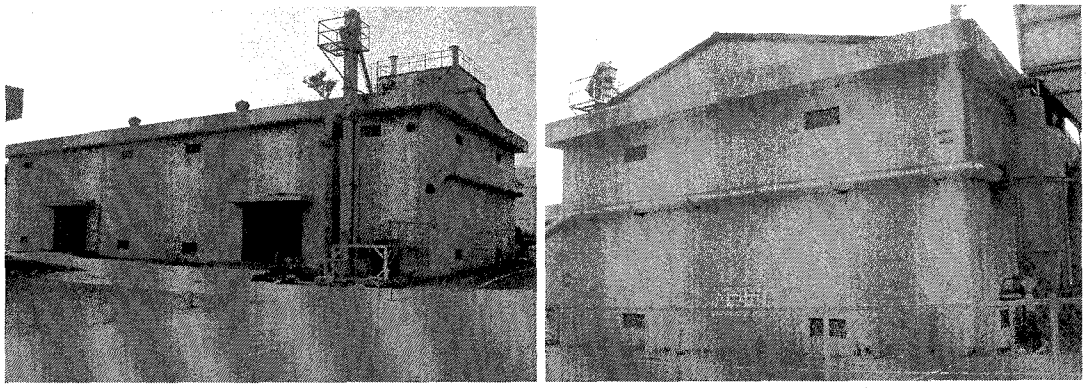
② 대상현장 개요

㉠ 대 상 : RPC형 도정공장

㉡ 형 식 : 철근콘크리트 라멘조(지상 1층) 높이 : 25m

㉢ 현장명 : 경기도 화성시 향남 택지개발사업지구 내 지장물 철거현장

㉣ 시공사 : (주)인영건설



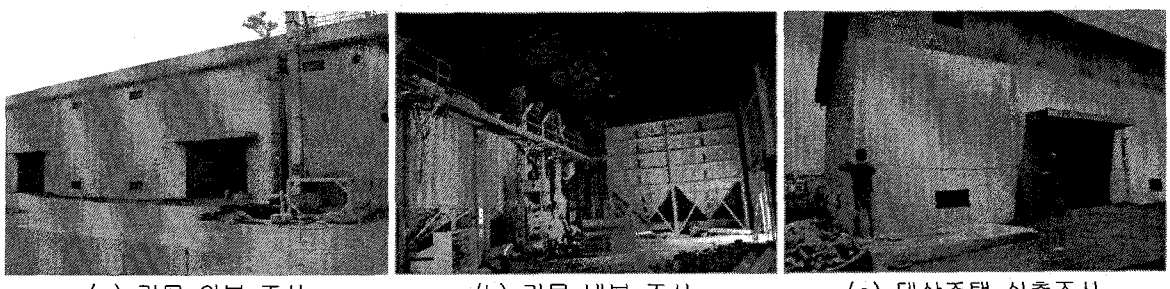
[그림 3.9.31] 산업시설물 2차 시험시공 대상

③ 추진경과

㉠ 대상건물 확보, 현장조사, 실측도면 작성, 시험시공계획 수립 : 2008.4~5

㉡ 시험시공 수행 : 2008.6.4 ~ 10(7일간)

④ 대상건물 현황조사 및 구성자재 조사

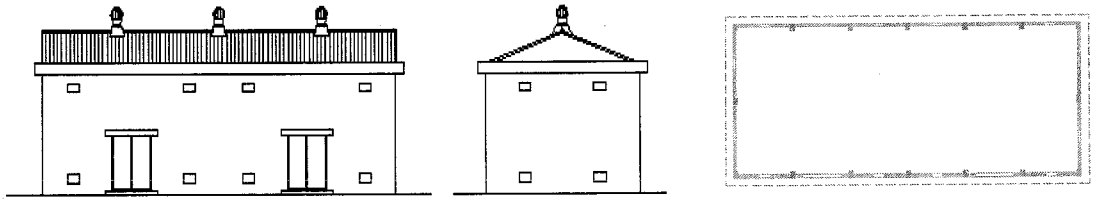


(a) 건물 외부 조사 (b) 건물 내부 조사 (c) 대상주택 실측조사

[그림 3.9.32] 시험시공 대상건물 현황조사 및 실측

⑤ 실측도면 작성

대상 건물의 실측을 통해 발생자재리스트를 작성하여 주요 공사 일정 및 투입 장비 및 인원계획을 수립하였고, 실측도면을 작성하여 발생폐기물의 양을 예측하였다.



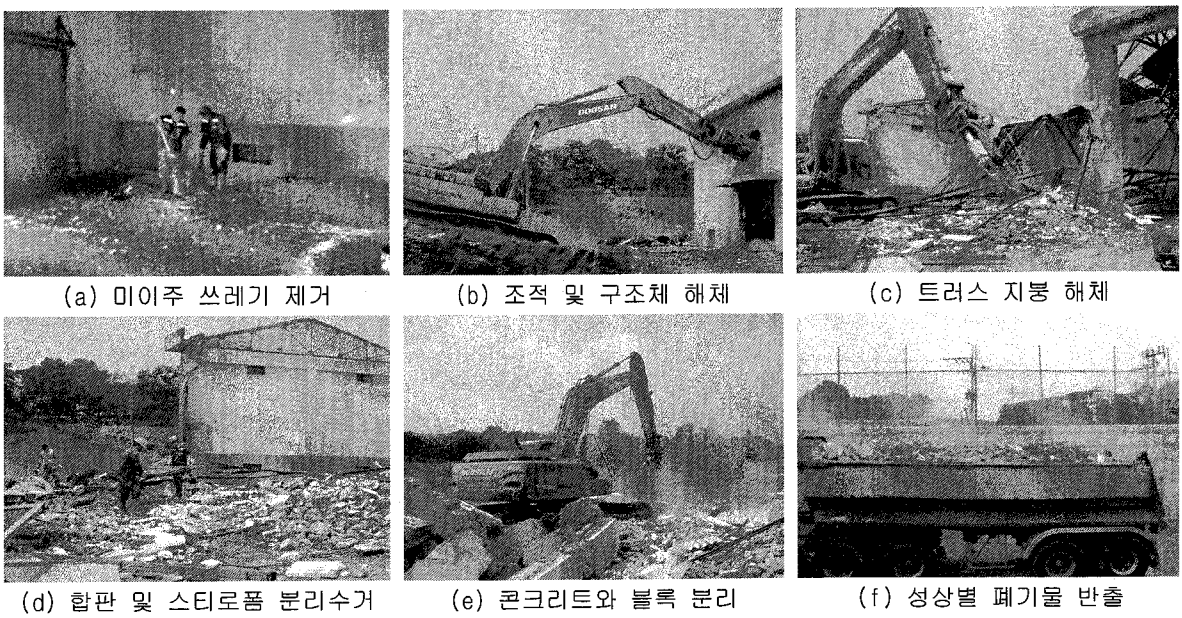
(a) 시험시공 대상건물 입면도　　(b) 시험시공 대상건물 평면도

[그림 3.9.33] 시험시공 대상건물 실측도면

⑥ 시험시공 수행결과

㉠ 분별해체 시험시공 주요 내용

분별해체 시험시공은 [그림 3.9.30]과 같은 순으로 시행했으며, 그 결과는 <표 3.9.42>와 같다.



(a) 미이주 쓰레기 제거　(b) 조적 및 구조체 해체　(c) 트러스 지붕 해체

(d) 합판 및 스티로폼 분리수거　(e) 콘크리트와 블록 분리　(f) 성상별 폐기물 반출

[그림 3.9.34] 시험시공 주요 작업공정

<표 3.9.79> 산업시설물 해체작업 실사 결과

| 작 업 명 | | 작업수량 (㎥) | 작업수량 (kg) | 총작업시간 (hr) | 비 고 |
|---|---|---|---|---|---|
| 상신리 (산업시설물) | 스티로폼(지붕단열재) | 1.1583 | 305.8 | 1:00 | |
| | 목재(지붕합판) | 1.0692 | 2,090 | 1:20 | |
| | 폐판넬 | 2.3688 | 373 | 0:40 | |
| | 샤시류(창틀) | | 19.2 | 0:33 | |
| | 폐벽돌 | 덤프6대 | 147,870 | 11:00 | |
| | 금속류(천정트러스) | | 5,220 | 1:20 | |
| | 철근 | | 8,400 | 11:00 | |
| | 미이주쓰레기 | | 96 | 0:45 | |

| | 작 업 명 | 작업수량 (㎡) | 작업수량 (kg) | 총작업시간 (hr) | 소요품, B/H 1.0 크랴샤 (㎡/hr) |
|---|---|---|---|---|---|
| | 구조체 철거 | 333.06 | 503,620 | 11.00 | 30.278 |

## 마. 건폐법 시행령 제9조의 단서조항 개정(안) 제안

제9조 : 건설폐기물 배출자는 건설폐기물을 폐콘크리트, 폐아스팔트콘크리트, 폐목재, 폐합성수지, 폐금속류 등의 종류별로 재활용가능성, 소각가능성 여부 등에 따라 구분하여 수집운반, 보관해야 한다. 단, 건설폐기물의 발생 또는 배출당시 2종류 이상의 건설폐기물이 혼합되어 발생 또는 배출되는 경우에는 예외로 한다.

(1) 상기 단서조항은 콘크리트에 벽지가 붙어있거나 창틀이 구조체에 매립되어 있는 등 건설폐기물의 종류별 배출이 불가피한 경우에 한하여 혼합건설폐기물의 발생과 배출을 인정하는 규정임.

(2) 그러나 이 조항이 실제 해체공사현장에서 제대로 적용되지 않고 있고 오히려 건설폐기물의 무분별한 혼합배출을 법적으로 허용하는 조항으로 작용하고 있는 상황이라고 판단

(3) 건설폐기물 발생량의 실질적인 저감과 향후 분별해체공사 활성화를 위해서는 이 조항의 개정이 필요하며, 다음과 같이 제안

단, 건설폐기물의 발생 또는 배출당시 2종류 이상의 건설폐기물이 불가피하게 혼합되어 발생 또는 배출되는 경우에는 예외로 한다. 이러한 경우 배출자는 혼합된 건설폐기물의 발생 또는 배출량을 최소화할 수 있는 방안을 강구해야 한다.

## 3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발

### 가. 대량양산화 기술개발

(1) 연속공정에 의한 생산 설비 설계

◦ 폐폴리올레핀 폼을 재활용하는 방법은 가열압착에 의한 방법으로 이를 위해서는 먼저 폐폴리올레핀 폼의 파쇄가 필요하며, 폐폴리올레핀 폼의 전처리 후 재활용 폴리올레핀 폼이 실용적으로 제품화 되고 현장에 적용을 하기 위해서는 다양한 크기와 형태의 제품을 양산할 수 있어야 한다. 이를 위해서, 원재료인 폐폴리올레핀 폼의 파쇄설비를 설치하고, 블록형태로 제작한 제품의 시트화 가공기술 및 길이가 긴 대형 연속 제품 양산을 위한 장비 설계을 실시하였다.

(가) 설비 개요

◦ 본 장치는 WASTE FOAM을 소각처리 하지 않고 적당한 크기로 분쇄 후 가열하여 특정한 모양으로 성형한 후 재활용하는 장치로써 파쇄부터 성형까지 일괄공정에 의한 연속생산이 가능하다.

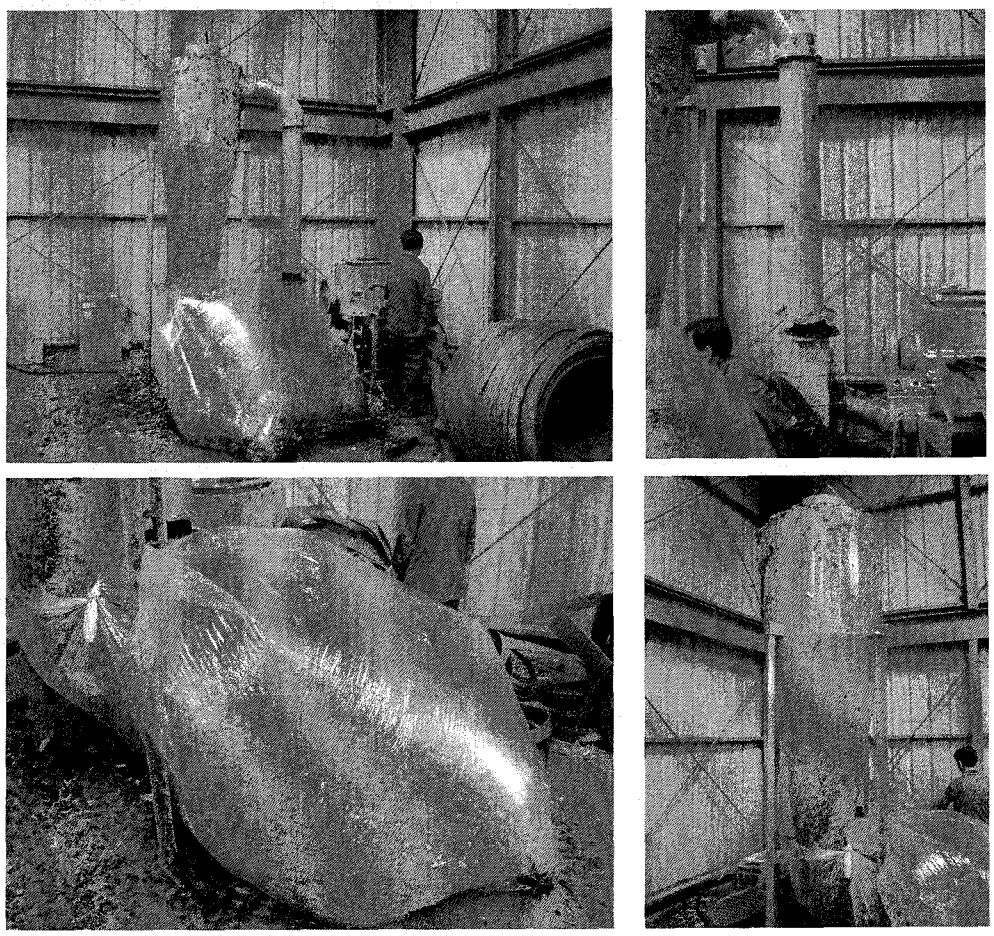
(나) 설비 구성

① 파쇄기

◦ FOAM 의 CELL을 파괴시키지 않고 4~5mm 크기로 절단하는 장치로써 구성은 절단칼, 공급 PINCH ROLL,MESH(타공망), 이송용 브로워로 되어 있으며, 파쇄기의 구성 장치들의 용량은 11kw INVERTER CONTROL, PINCH ROLL 0.75kw INVERTER CONTROL이송용 BLOWER 5.5kw등으로 구성되어 있다.

㉠ 파쇄기 설치

◦ 연속공정을 의한 제조 설비로써 파쇄기를 설치하여 폐폴리올레핀폼을 파쇄하였다.



[그림 3.9.35] 파쇄설비 전경

② SILO

◦ 분쇄된 FOAM을 저장하며 최상단에 CYCLONE 장치가 있고 제품의 흐름을 도와주는 AGITATOR,VIBRATOR가 있으며 하부에 BELTCONVEYER로 일정량을 공급한다. 또한 SILO는 배율이 다른 재료를 각각 보관한 후 제품의 특성에 맞게 혼합할수 있게 각각의 BELT CONVEYER가 만나는 지점에 혼합용 BELT CONVEYER가 설치한다. 구성장치는 AGITATOR 0.75kw GEARD MOTOR VIBRATOR 0.75kw GEARD MOTOR BELT CONVEYER 0.75kw GEARD MOTOR & INVERTER CONTROL등이다.

③ CHAIN BELT

◦ 재료를 가열하고 성형하는 과정을 수행하는 장치로써 재료의 비산을 막기 위해 좌우 끝단에는 격벽이 설치하였다. 도입부에는 재료의 일정한 분포를 만들기위한 BRUSH가 설치되고 출구에는 급속한 냉각을 위해 WATER SPRAY가 설치한다. 구동용 MOTOR 55kw INVERTER CONTROL BRUSH 0.4kw GEARED MOTOR등으로 구성된다.

④ OVEN

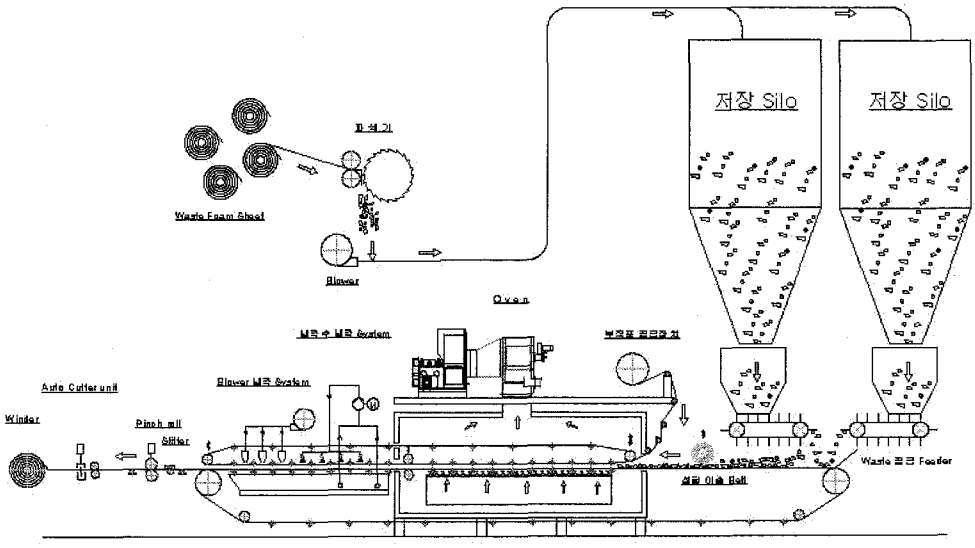
◦ 가열하는 장치로 하부에서 상부로 NOZZLE로 열풍을 부는 구조로 되어 있다. OVEN은 밀폐된 구조로 사용된 열풍은 상부의 RECYCLE FAN에 의해 회수된 후 가열되어 다시 사용되어지며, 열원은 GAS BURNER이며 BURNER는 37,500kcal/hr RC FAN 18,5kw INVERTER CONTRO 등으로 구성되어 있다.L

⑤ WINDER

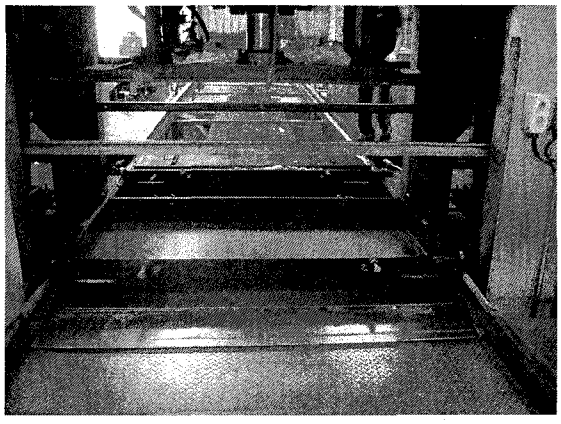
◦ 연속성형된 제품을 말아주는 장치로 TORQUE CONTROL을 하며 VECTOR INVERTER 3.7kw로 구성되어 진다.

(다) 생산 설비 설계

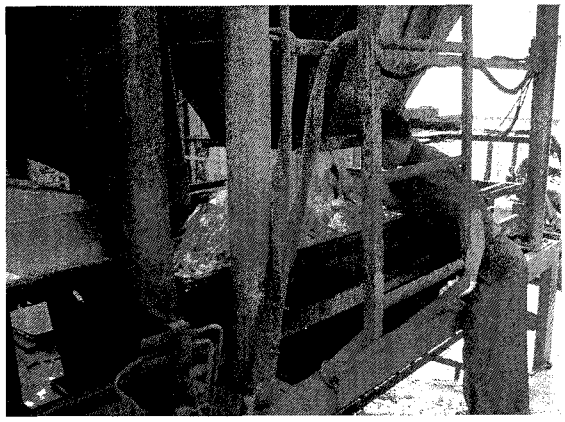
(라) 블록 타입 양산 시스템



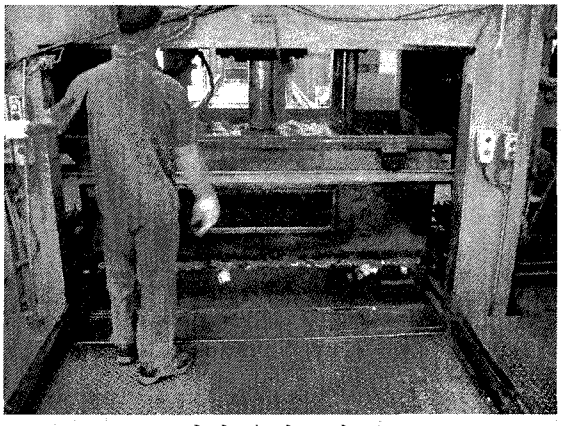

[그림 3.9.36] 연속 생산 설비 설계



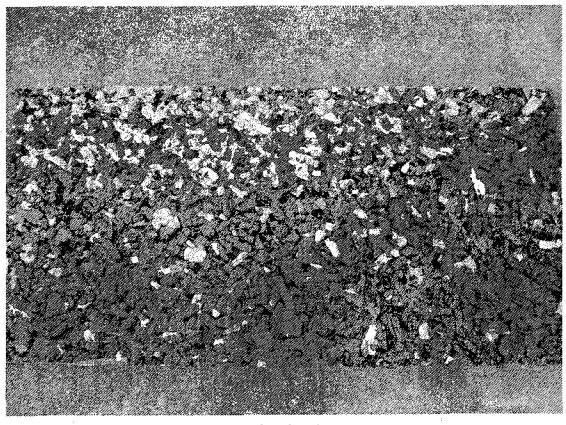
성형용 몰드



재료(폐PO파쇄치)투입



가압(유압프레스)



완성품

[그림 3.9.37] 블록 타입 양산 공정

## 나. 시공 기술개발

○ 폐폴리올레핀 폼을 방수층 보호재 및 어린이놀이터 완충 배수층으로 활용하기 위하여 필요한 방수층 보호재의 물성 기준 및 검사 방법 등을 조사 분석하고, 이를 바탕으로 폐폴리올레핀폼을 방수층보호재 시방서에 적용하여 시방서를 작성하며, 어린이놀이터 배수층 및 충격완충재로 활용하기 위한 관련 시설기준 및 규정을 조사하고 요구되는 시험을 실시하였다. 또한 어린이놀이터 바닥재로 폐폴리올레핀폼을 적용하기위한 방안과 현재 시행되고 있는 현황을 조사하고 경제성을 비교하였다.

(1) 설계 기준 및 설계 기준 분석

(가) 방수층 보호재 물성 기준 및 시방서 작성

① 방수층 보호재의 품질기준 및 검사방법

㉠ 재질

- 방수 보호재는 독립기포를 가진 Polyethylene Foam Sheet 타입으로 생산된 제품으로 제작되어야 한다.
- Polyethylene의 경우 표면처리가 된 가교방식의 재질이어야 한다.
- Cross-Linked Polyethylene폼이어야 하고 보호재는 Concrete, Cement 등 알카리에 강한 재질이어야 하며 방수재와 화학작용을 일으켜서는 안된다.

㉡ 규격

- 두께 : 20.0mm 이상
- 폭 : 1.0m 이상
- 길이 : 1.0m 이상

㉢ 품질 및 검사방법

<표 3.9.80> 시험 및 검사

| 시 험 항 목 | 단 위 | 결과치 | 시 험 방 법 |
|---|---|---|---|
| 겉보기밀도<br>인 장 강 도<br>신 장 율<br>인 열 강 도<br>압 축 강 도 | g/cm3<br>kgf/cm2<br>%<br>kgf/cm2<br>kgf/cm2 | 0.035<br>3.000<br>110.00<br>2.200<br>0.320 | KS M 3014-96<br>(A법, 시험편 : 세로방향) |
| 인장전단접착강도 | kgf/cm2 | 1.150 | KS M 3734-96 |

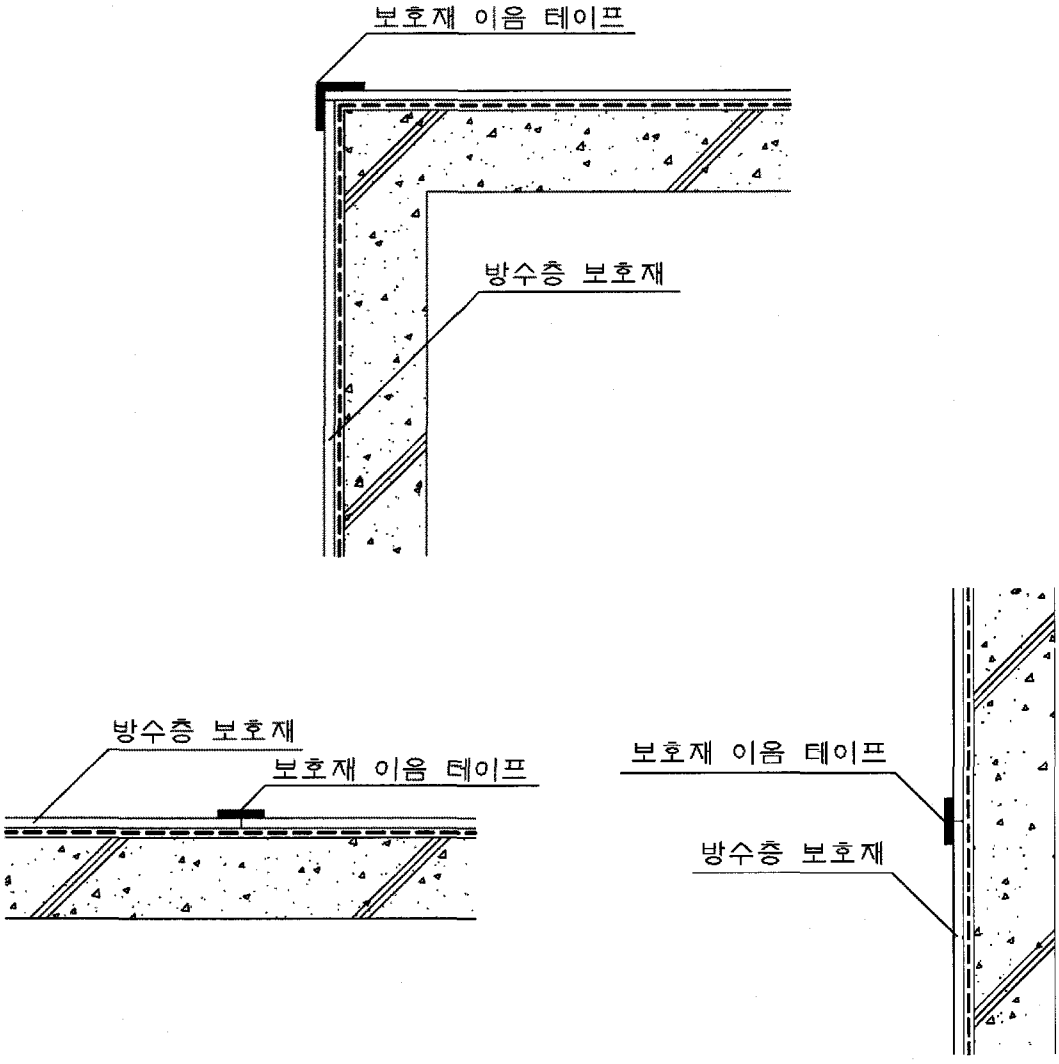
② 방수층 보호재 시방서 작성

㉠ 시공방법

- ○ 반드시 습기나 흙 등 이물질을 완전히 제거하여야 한다.
- ○ Sheet와 Sheet 이음 부위에는 폭 5~10cm로 단면 접착 처리된 방수층 보호재 이음 Tape로 연결부를 마감한다.
- ○ 특히 주의할 것은 Sheet와 Sheet 사이를 반드시 밀착시킨 후 방수층 보호재 이음 Tape를 붙인다.

㉡ 시공장소

- 방수 시트 부착 후 즉시 방수층 보호를 위하여 보호재를 부착한다.
- ○ 방수 보호벽 콘크리트 내벽은 바닥철근 배근 후 콘크리트 타설 전에 보호재를 제거하고 재활용한다.
- ○ 구조물 벽체
- ○ 구조물 상부 Slab
- ○ 방수 보호벽 : 5mm




[그림 3.9.38] 방수층 보호재 시방서

(2) 어린이 놀이터 배수층 및 충격완충재로 적용

(가) 어린이놀이터에 폐폴리올레핀폼을 활용시 관련 규정

① 어린이놀이시설의 시설기준 및 기술기준

㉠ 제정이유

○ 어린이놀이시설에 의한 안전사고 방지를 위하여「어린이놀이시설 안전관리법」이 제정됨에 따라 동 법 제2조제6호 및 제11조에 따른 『어린이놀이시설의 시설기준 및 기술기준』을 규정하여 어린이놀이시설에 대한 안전성을 확보하기 위함이다.

㉡ 관련 주요 내용

○ 시설 사용연령·인원, 안전수칙, 관리주체 연락처 등의 기재 등 설치 일반 요건을 규정하고 충격흡수바닥재(모래, 고무 등)의 중금속 오염도 시험 방법을 정한다.

○ 바닥은 일정수준의 충격에 견디는 모래, 고무 등을 사용하도록 하고 모래의 입도, 중금속오염기준 및 두께 등을 정한다.

㉢ 충격흡수용 표면재로 활용시 시공 기준 및 요구되는 조건

○ 설치하기 전 각 기구들의 설치 상태를 파악하고 주변의 배수시설에 이상이 없는지를 확인하여야 한다. 기초물과 결합부분의 연결상태 등을 확인하여야 하며, 설치된 놀이시설의 한계하강높이를 측정한다. 이를 통해서 적절한 바닥재의 재료와 두께, 시공방법을 결정한 후 시공하고 자유하강높이에 맞는지 확인하여야 한다.

○ 기층용 골재로는 부순 돌, 부순 자갈 등을 사용하되 최대입경 50mm이하로 하여야 하며 유기물 등 불순물을 함유하지 않아야 한다. 콘크리트 혼합물은 1회 사용할 수 있는 양 만큼 배합하여 사용하며 재 배합 사용을 하지 않아야 한다. 또한 시멘트는 KS L 5201(포틀랜드 시멘트)의 1종 보통 포틀랜드시멘트 또는 동등 이상의 것을 사용하여야 한다.

○ 충격흡수를 위한 표면재는 다음사항을 만족하도록 시공되어야 한다.

○ 고무 바닥재는 기초에 따라서 다짐을 잘 한 다음, 뒤틀림이나 분리, 빈공간이 발생하지 않도록 조밀하고 단단하게 시공을 하여야 한다. 충격흡수를 위한 고무바닥재를 사용하는 경우 합성 고무조각은 두께 0.5 ~ 2mm를 표준으로 생산된 고무바닥재로 처리한다. 시공된 고무바닥재의 한계높이는 기구의 자유하강높이 이상이어야 하며, 고무바닥재의 중금속기준은 완구의 안전기준(품질경영 및 공산품안전관리법에 따른 자율안전확인대상공

산품의 안전기준 부속서 36)의 유해원소 용출기준에 적합하여야 한다. 또한 고무바닥재는 포름알데히드 방산량이 75mg/kg이하이어야 한다.

○ 기타 바닥재(폼)는충격 흡수를 위한 한계하강높이에 적합하도록 시공되어야 한다. 스폰지바닥재 등의 기타 바닥재의 중금속 기준은 완구의 안전기준(품질경영 및 공산품안전관리법에 따른 자율안전확인대상공산품의 안전기준 부속서 36)의 유해원소 용출기준에 적합하여야 한다. 또한 기타바닥재는 포름알데히드 방산량이 75mg/kg이하이어야 한다. 단, 기타바닥재 중 잔디, 나무껍질, 자갈 등의 천연재료로 된 바닥재는 중금속오염 및 포름알데히드 방산량 시험을 제외한다.

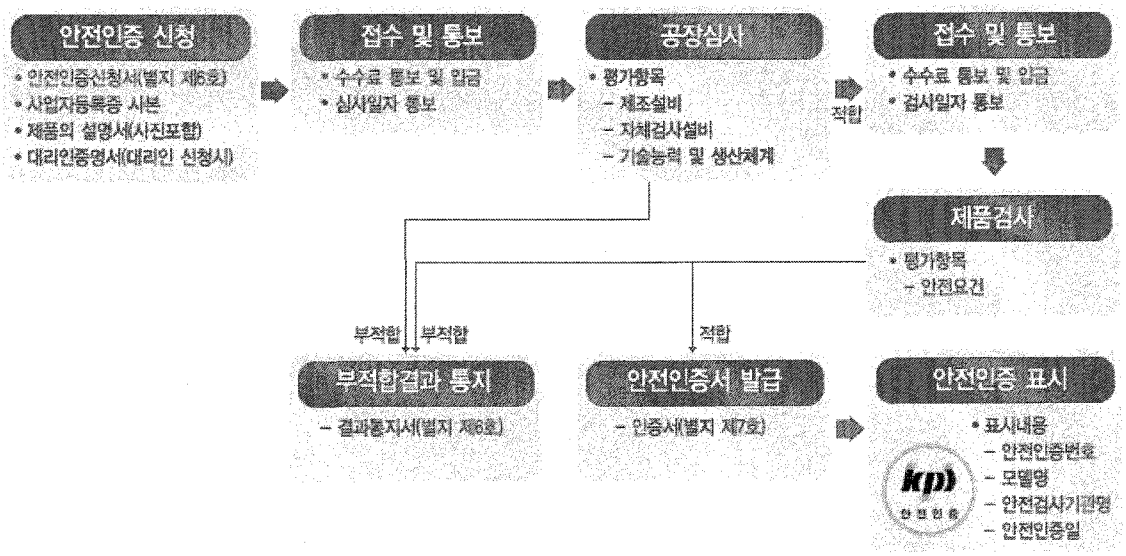
(나) 어린이 놀이터 배수재 공장 인증 및 안전검사

① 안전인증 절차

㉠ 목적 : 공장심사 및 제품검사를 실시하여 어린이놀이기구에 대한 안전성을 증명하는 행위를 말한다.

㉡ 신청기관 : 한국생활안전시험연구원

㉢ 내용 : 자재공정 및 완제품 검사 규정 여부, 설비관리 규정, 제품검사등을 실시한다.




[그림 3.9.39] 안전인증 절차

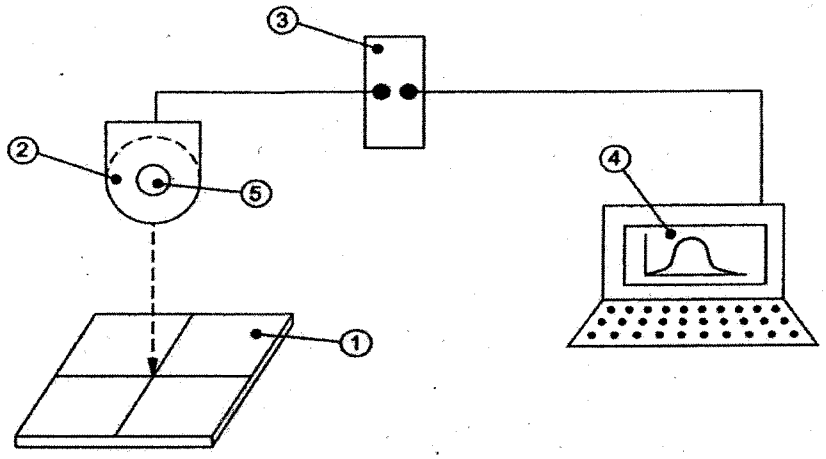
② 완충 배수층으로 적용시 요구되는 안정성 시험

㉠ 한계하강높이 시험관련 규정

○ 자유하강높이에 따른 충격흡수용 표면재의 한계하강높이 측정은 "충격흡수표면구역의 안전요건 및 시험방법"(품질경영 및 공산품안전관리법에 따른 안전인증대상공산품의 안전인증기준 부속서 12의 제7부)에 따라 확인한다.

○ 시험 방법

- 시험프레임 크기 : 1 × 1m
- 측정횟수 : 시험높이가 다르게 3회 실시한다.
- 시험값의 해석 : 각 낙하시험에 대해 HIC값이 얻어진 각 대응낙하높이에 대해 도표로 결정되는 한 개의 곡선을 산출하고 HIC=1,000인 최소 하강높이를 한계하강높이로 측정한다.




1 시험시편
2 머리모형
3 전하중폭기(선택적)
4 컴퓨터
5 가속도계

[그림 3.9.40] 한계하강높이(HIC) 측정용 시험장치

○ 국내 한계 하강 높이 적용 기준 (대한주택공사 기준)

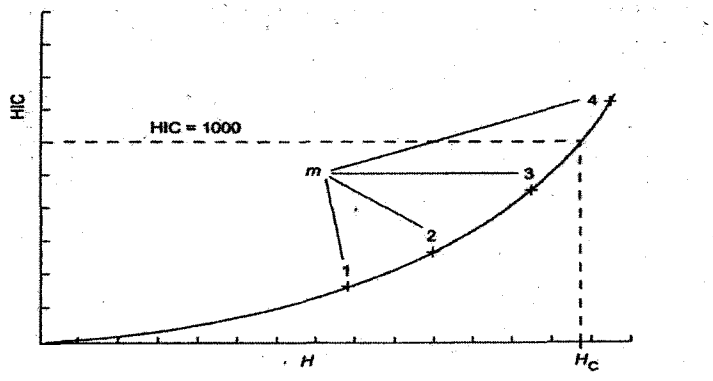
- 직시공용 고무바닥재의 두께에 따라 놀이터내 적용 가능한 놀이기구의 한계하강높이는 아래표를 적용하고, 안전인증을 득한 제품으로 시공해야 한다.

<표 3.9.81> 한계하강 높이 측정

| 단면 검토 | 한계하강높이 |
|---|---|
| 고무칩포장 (T50) | 160㎝ 이하 |
| 고무칩포장 (T75) | 220㎝ 이하 |
| 고무칩포장 (T95) | 270㎝ 이하 |

○ 국외의 한계 하강 높이 적용 기준 (네덜란드 기준)

- 한계 하강 높이가 없는 경우 : SSP인공잔디하부에 20㎜의 ProPlay Leisure Pad 단일층 설치
- 1.3m 한계 하강높이까지 : SSP인공잔디하부에 25㎜의 ProPlay Leisure Pad 단일층 설치
- 1.6m 한계 하강높이까지 : SSP인공잔디하부에 35㎜의 ProPlay Leisure Pad 단일층 설치
- 3m 한계 하강높이까지 : SSP인공잔디하부에 35㎜의 ProPlay Leisure Pad 이중층 설치




*m* 충격값

*H* 하강높이

$H_c$ 한계하강높이

[그림 3.9.41] 하강높이에 대한 전형적인 HIC 곡선

㉡ 유해원소 용출 시험관련 규정

○ 충격흡수용 표면재 중금속 오염 기준

- 표면재는 불순물의 오염이 없어야 하며, 불순물이란 중금속의 오염 정도를 말하며 <표 3.9.45>의 한계를 초과하지 않아야 하며 결과의 해석은 <표 3.9.46>의 분석보정계수를 적용하여 분석된 량에서 분석보정계수를 적용한 값을 제하고 얻어진 값으로 한다. 또한, 아래의 용출 내용에 나타나지 않은 사항은 완구의 안전기준(품질경영 및 공산품안전관리법에 따른 자율안전확인대상공산품의 안전기준 부속서 36)의 유해원소 용출 시험방법에 따른다.

<표 3.9.82> 오염 한계 기준

| 원소 | 크롬(Cr) | 납(Pb) | 카드뮴(Cd) | 세레늄(Se) | 바륨(Ba) | 안티몬(Sb) | 비소(As) | 수은(Hg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 기준값 (mg/kg) | 60 | 90 | 75 | 500 | 1000 | 60 | 25 | 60 |

<표 3.9.83> 분석 보정계수

| 원소 | 크롬(Cr) | 납(Pb) | 카드뮴(Cd) | 세레늄(Se) | 바륨(Ba) | 안티몬(Sb) | 비소(As) | 수은(Hg) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 보정 계수(%) | 30 | 30 | 30 | 60 | 30 | 60 | 60 | 50 |

$$* \text{ 분석결과(mg/kg)} = \text{원소분석량(mg/kg)} - \text{원소분석량(mg/kg)} \times \frac{\text{분석보정계수}}{100}$$

③ 폐폴리올레핀폼의 안정성 시험 실시 결과

㉠ 한계하강높이 시험 결과

○ 폐폴리올레핀폼을 어린이 놀이터 인조잔디 하부 충격흡수용 배수재로 활용하기 위하여 한국생활환경시험연구원에 현장에서 적용되는 조건으로 시험을 의뢰한 결과 아래 표와 같은 값을 나타냈다.

<표 3.9.84> 한계하강높이 결과

| 시험항목 | 시험 두께(㎜) | 시험결과 | 시험방법 |
|---|---|---|---|
| 한계하강높이 | 30 | 1382 | 안전인증기준 부속서 12 |
| | 40 | 1758 | |
| | 50 | 1932 | |
| | 60 | 2120 | |

㉡ 유해원소 용출 시험 결과

○ 폐폴리올레핀폼을 어린이 놀이터 충격흡수용 배수재로 활용하기 위하여 한국건자재시험연구원에 시험을 의뢰한 결과 아래 표와 같은 값을 나타냈다.

<표 3.9.85> 유해 원소용출시험 결과

| 시험항목 | 결과 | 시험방법 |
|---|---|---|
| Pb (㎎/kg) | 검출안됨 | KS R 1301 : 2006 |
| Cd (㎎/kg) | 검출안됨 | |
| $Cr6^{+}$ (㎎/kg) | 검출안됨 | USEPA 3060A : 1996 |
| Hg (㎎/kg) | 검출안됨 | KS M 3719 : 2005 |
| TVOCs (㎎/kg) | 검출안됨 | USEPA 5021 : 1996 |
| PAHs (㎎/kg) | 검출안됨 | USEPA 8100 : 1986 |

(다) 어린이 놀이터용 바닥재 적용 방안 및 현황

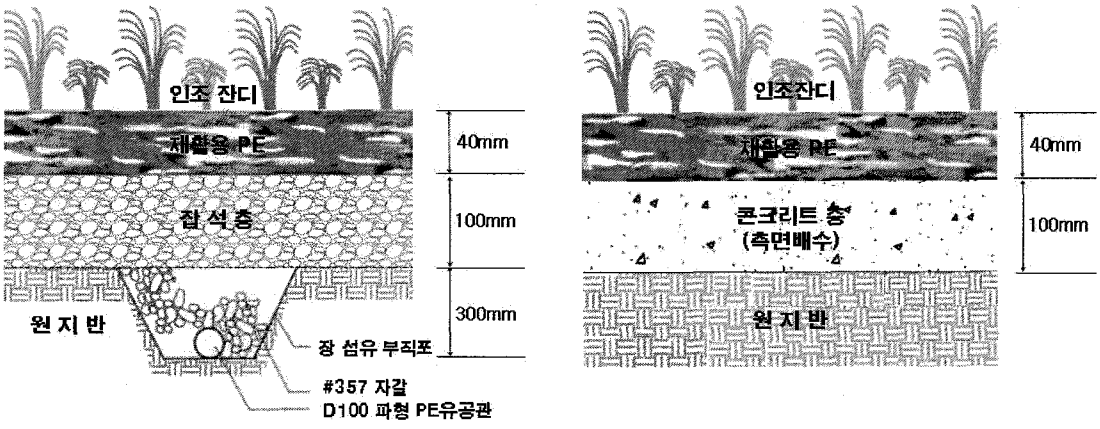
① 도입배경

- 어린이놀이터 바닥포장 설계기준으로 모래깔기(T=300)와 고무 매트를 주된 포장으로 적용하고 있으나, 민간단지와의 경쟁력 제고 및 놀이 공간 포장재의 품질 향상 요구 등으로 직시공용 고무바닥재에 대한 사용이 요구된다.

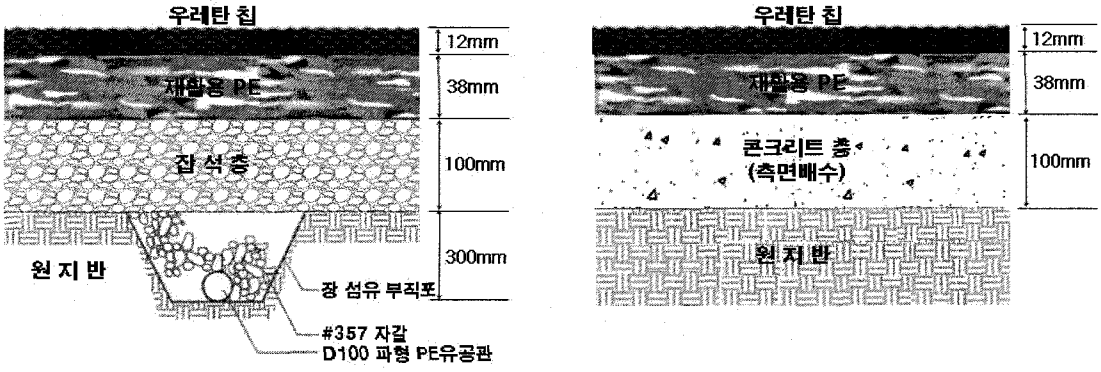
② 현황

- 주공 표준으로의 직시공용 고무바닥재료인 고무칩포장(T15)은 놀이시설이 설치되는 놀이공간에 적용하기에는 한계하강높이를 충족하는 단면이 아니므로 놀이공간에 적합한 고무칩포장의 단면 및 공법에 대한 새로운 검토가 필요하다.

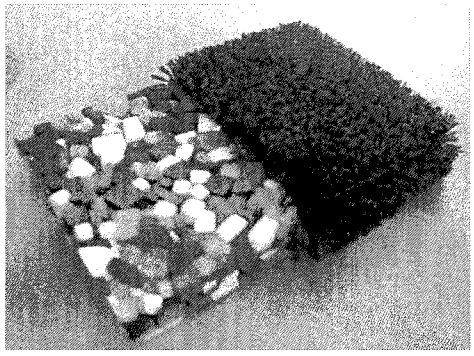
③ 단면비교

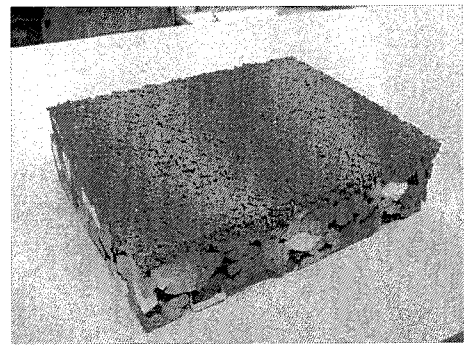



(인조 잔디 + 재활용 PE 사용시)




(우레탄 칩 + 재활용 PE 사용시)





[그림 3.9.42] 어린이놀이터 바닥재로 적용 단면 비교

④ 고무칩 포장재의 종류 및 특성 조사

<표 3.9.86> 고무칩 포장재 종류별 특성

| 종류 | 용도 | 사용재료 (폐기물) | 특성 |
|---|---|---|---|
| Earth · Layer | 투수포장,운동장, 놀이용보도 | 재생고무칩, 재생골재 | ① 재생고무와 천연골재를 특수바인더로 결합하여, 흙의 감촉을 가진 초투수성의 포장시스템<br>② 안료에 따라 색채 자유 |
| 리쿠로시쿠 | 공공시설,골프장, 운동시설,건축물의보행로 | 폐타이어 | ① 칩상의 고무를 특수바인더로 결합한 것으로서, 적당한 탄력성이 있다.<br>② 내구성,내스파이크성이 뛰어나다.<br>③ 투수성,배수성이 좋아, 빗물이 고이지 않는다.<br>④ 타일을 깔거나, 컷터(cuttur)로 잘라 시공 가능 · 유지가 간단 |
| Shaggy Veil | 건축물,각종시설의 바닥 및 보행로 | 폐타이어 | ① 내구성, 미끄럼 방지 기능이 뛰어나다.<br>② 흡음성이 높아 쾌적한 보행감을 얻을 수 있다. |
| Tender Veil | 건축물,각종 시설의 회장 바닥 및 보행로 | 폐타이어 | ① 시간이 지나도 변화가 적어, 안전허고 편안한 보행감이 있다.<br>② 흡음성이 높아 조용한 환경을 유지할수 있다. |

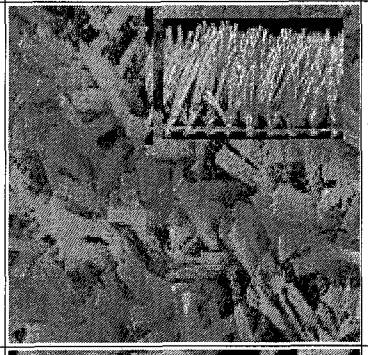
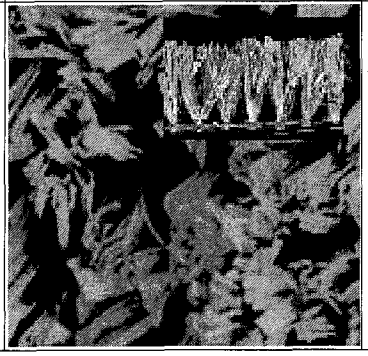
| | | | |
|---|---|---|---|
| Urban Tile | 유치원 등의 테라스,복도등의 포장, 수영장 주변의 논슬립포장,골프장 보행로등의 탄성포장 | 폐타이어 ,우레탄바인더 | ① 탄성이 있어 잘 미그러지지 않으며, 굴러도 안전<br>② 투수성이 있어, 표면에 빗물이 남기 어렵다.<br>③ 보행음이 나지 않는다.<br>④ 색상의 조합으로 독자적인 패턴 가능 |
| Rubber High Cushion | 골프장 보행로, 운동장,유원지,공원 외 | 폐타이어,우레탄수지바인더 | ① 고무칩 탄성은 고도의 충격완화 기능을 가지고 있어, 기후에 좌우되지 않는다.<br>② 표면내구성이 뛰어나, 유지비가 아주 저렴하다<br>③ 표면이 입자에 다라 요청형상을 띠고 있어 주행시에도 미끄러지지 않는다. |
| 운동시설 바닥재 | 운동시설,공공시설,건축시설 등의 바닥재 및 보행로 | 고무칩,우레탄수지 | ① 적당한 탄력성이 있어, 편안한 보행감이 있다.<br>② 스파이크 보행 등의 자극에 강한 내구성이 있어 유지도 간단 |
| Chip Road | 운동시설,공공시설,건축시설,등의 바닥재 및 보행로 | 고무칩,우레탄 수지 | ① 적당한 탄력성이 있어, 편안한 보행감이 있다.<br>② 고무칩의 표면을 특수수지로 착색 코팅하여, 고급스런 느낌을 오래 유지한다. |
| 보도용 고무칩 매트 | 보도용,차음재,완충재,놀이기구시설,차량막이용 | 폐타이어 | ① 보행성이 좋고, 미끄럼 방지, 시공이 단기간에 가능하다.<br>② 계절적으로 신축이 있다. |
| 레그폴 에바롤 | 휘트니스센터,골프클럽,아이스링크, 수영장, 각종 구기장,병원,공장,산업시설,,전시회 부스 | 폐타이어,EPDM칼라고무,내후성 폴리우레탄 바인더 | ① 고밀도라서,마모성・내구성・탄력성・마찰력・내충격성이 뛰어나다.<br>② 흑색과 밝은색 칩으로써 칼라풀한 연출 가능.<br>③ 두께도 자유로이 선택가능(독일 제품)<br>④ 인체나 환경에 유해한 물질이 포함되어 있지 않다. |
| 파크스타일 FX-50 | 보육소,공원,학교,맨션 놀이터나 양호시설,리허빌리테이션시설등의 어린이나 노인의 전도사고・놀이기구로 부려의 전락사고 방지 | 폐타이어,내후성 폴리우레탄 바인더 | ① 내마모성이 뛰어난 15㎜칼라층과 탄성이 풍부한 검은 층으로 이루어진 이중 구조<br>② 낙하나 전도시의 충격을 70%흡수(독일 제품)<br>③ 인체나 환경에 유해한 물질을 포함하지 않는다.<br>④ 투수성・내후성・내구성이 뛰어나다. |

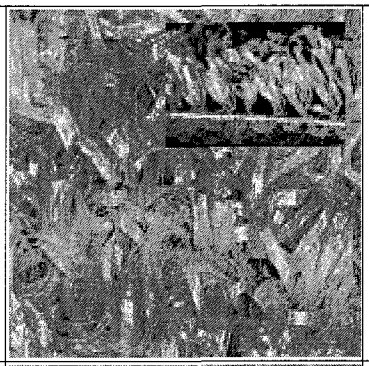
| | | | |
|---|---|---|---|
| TES<br>고무칩패널 | 보도・노면용패널 | 폐타이어칩 | ① 잘 미끄러지지 않고 탄성이 있어, 보행자에게 좋다.<br>② 칼라고무를 혼합하여, 색상이 풍부 |
| PEG매트조합 | 상업용 시설, 맨션 등의 통로,베란다,계단 등의 바닥재, 보도교,공용공간, 공원 등의 포장재 | 자동차용 고무 충진재의 재활용 고무칩 | ① 비에 젖어도 미끄러지지 않는다.<br>② 매트 뒷면에 배수용 돌기가 있어, 우천시에도 줄눈에서 물이 튀지 않는다<br>③ 중금속 기타 유해물질이 함유되어 있지 않다. |
| FP쿠션 | 놀이기구 주변,,골프장, 유아・노인시설 | 폐타이어,플라스틱 | ① 중심에 폐플라스틱,표면층에 고무를 사용<br>② 투수성이 있어 빗물을 땅속으로 배출 |
| 뉴런 소프트블록 | 공원,놀이용보도, 보도교,지하도,간호시설,보육원,빌딩,맨션옥상,죠깅코스 | 폐타이어분말 | ① 전도시의 충격을 부드럽게 흡수하여, 약자를 보호한다.<br>② 탄력성이 높아 쾌적한 보행감<br>③ 9가지 색상으로, 다양한 디자인 기능<br>④ 내충격성,내구성,내후성이 뛰어나다. |
| 소후로어 매트 | 학교,유치원,놀이용 보도, 병원, 옥상, 통로 등의 바닥재 | 폐타이어,차창 틀 고무 | ① 충격을 흡수하여 쾌적한 보행감.<br>② 논슬립,탄력성,흡음성이 뛰어나다. |
| 소홀로어 AT매트 | 학교,유치원,놀이용보도,병원,옥상,통로 등의 바닥재 | 폐타이어, 차창틀고무 | ① 충격을 흡수하여 쾌적한 보행감.<br>② 논슬립(Non-slip),탄력성, 흡음성이 뛰어나다. |
| 수퍼록 | 학교, 공원, 노인주거공간, 병원, 수영장 주변, 베란다 골프장등의 표층재 | 폐타이어 | ① 투수성,탄력성,보습성,방음성 등이 높다<br>② 디자인성, 다채성이 있어 버라이어티(Variety)가 풍부하다. |
| 라브아세-라 | 보도전용의 포장재 | 폐타이어 | ① 두께 6㎝의 고무 일체성형 포장블록이므로, 동절기에 얼어붙지 않는다.<br>② 미관을 중시.<br>③ 표층에는 생고무를 채용, 내후성을 높였다. |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 스킵 | 도로,보도교,공원,유원지,리조트시설,골프장,병원,노인주거시설의 보행로 | 폐타이어 고무칩,에폭시 수지,우레탄 수지 | ① 적당한 탄력성이 있어, 보행감이 쾌적하다.<br>② 투수성이 있어, 물이 고이지 않으므로, 표면이 젖어도 미끄러지지 않는다.<br>③ 형과 색의 조합에 따라 다양한 디자인이 가능하다.<br>④ 시공이 간단,줄눈처리도 불필요 |
| 러버・록 | 보도,병원,학교의 통로 및 복도, 한냉지에서의 미끄럼 방지 | 폐타이어 고무칩 | ① 고무의 특징인 탄성을 살려, 보행시에 발에 걸리는 부담의 경감과 전도에 의한 부상 방지.<br>② 형상, 색이 다양하여 경관성에 기여 한다.<br>③ 배수성도 뛰어나다. |
| 고급 보도 | 도로,공원,학교, 쇼핑존(Shopping Zone), | 타이어 칩 | ① 투수성이 있어 자연스레 물이 순환된다.<br>② 적당한 유연성이 있으며, 보행감이 뛰어나다.<br>③ 보수성이 잇어, 집수기 역할도 하고,치수효과가 기대된다. |

⑤ 인조잔디의 종류 및 특성

<표 3.9.87> 인조잔디 종류별 특성

| 종류 | 형상 | 특징 |
|---|---|---|
| TurfTurf SG40 |  | 이 종류는 천연잔디와 비슷하며 호화스러운 고급의 정원을 꾸미는데 적용된다. TufTurf는 40mm 두께의 인조잔디로 천연잔디와 비슷하며, 모래와 모래/고무로서 구성할 수 있다. 2가지 색깔로 혼합되어 있으며 회복력과 강도가 우수하다. 또, 폭은 4m이며 22 kg/㎡의 모래 채움이 필요하며 재활용 PE 매트위에 설치가 가능하다. |
| MultiTurf SG24 |  | 올리브 그린 색깔의 24 mm 두께로 이루어진 인조잔디이며, 천연잔디의 느낌이 나타난다. 어린이 놀이터, 병원, 운동장, 학교, 보육원과 가정의 뒤뜰에 적합하다.<br>또, 25kg/㎡의 모래 채움이 필요하며 폭 4 m로 ProPlay 위에 설치 가능함 |

| | | |
|---|---|---|
| SofTurf SG18 |  | 부드러우며 직선적이지 않고 꼬불꼬불한 모양의 섬유로서 이루어진 인조잔디이며, 모래 채움을 하지 않을 수 있으며 UV에 안정화된 폴리프로필렌 섬유로 모래 채움시 8~9 kg㎡의 모래가 필요하며 폭 4 m이다. |
| PremierTurf SG9 |  | 짧고 촘촘한 인조잔디로 8~9 kg/㎡의 모래 채움을 하지 않을 수 있다. 두께는 9 mm이며 UV에 안정화된 폴리프로필렌 섬유로 폭은 4m이다. |

(라) 적용 단면별 경제성 분석

<표 3.9.88> 적용단면별 경제성 분석

| | 투수 콘크리트 | 잡석+ 유공관 | 재활용 PE |
|---|---|---|---|
| 콘크리트 | 시공비 포함 18,434/ha<br>=18,434원 | | |
| 기층:쇄석골재<br>(#78. 13mm) | | 쇄 석<br>:21,000원/m3×0.15m3<br>=3,150원<br>시공 : 4,370원/m2 | |
| 보조기층:쇄석골재<br>(#57 : 25mm) | | 잡석<br>:17,000원/m3×0.15m3<br>=2,550원<br>시공 : 4,370원/m2 | |
| 토공(암거상부 :<br>30cm) | 터파기(보통) :<br>1,504원/m3×0.03m3<br>=45원 | 터파기(보통) :<br>1,504원/m3×0.03m3<br>=45원 | |
| 암거 | 쇄석(#57) :<br>17,000원/m3×0.135m3<br>=2,295원<br>시공 : 6,768원/m | 쇄석(#57) :<br>17,000원/m3×0.135m3<br>=2,295원<br>시공 : 6,768원/m | |

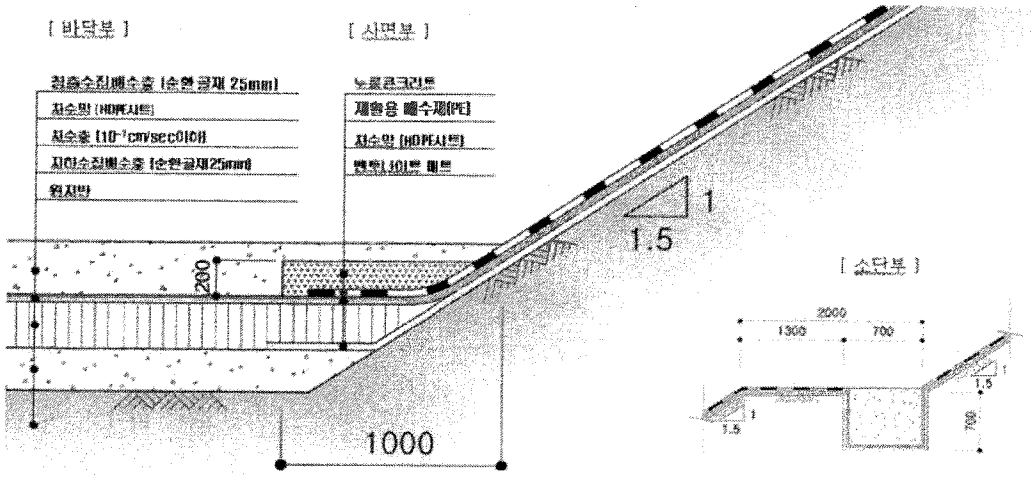
| | | | |
|---|---|---|---|
| 배수재 | | | 미정 |
| 부순모래 | | | 모래<br>:17,000원/m3×0.05m<br>=850원<br>시공 :4,070원/ m2 |
| 혼합골재<br>(보조기층)<br>40mm | | | 잡석<br>:13,500원/m3×0.15m<br>=2,025원<br>시공 : 4,370원/m2 |
| 혼합골재<br>(혼합기층)<br>75mm | | | 잡석<br>:13,500원/m3×0.15m<br>=2,025원<br>시공 : 4,370원/m2 |
| 소계 | 27,542원/m2 | 23,548원/m2 | 17,710 원/m2 |

## 다. 매립지 시험 적용

(1) 연구용 매립지 시험 시공

◦ 폐폴리올레핀 폼을 폐기물매립지의 배수층으로 활용하기 위하여 폐기물매립지의 일반적인 설치기준과 실제로 적용하게 될 매립지 사면부의 단면을 조사하고,기연구 수행된 폐폴리올레핀의 투수성능을 바탕으로 폐기물 매립지의 배수시설 설계 및 폐폴리올레핀폼의 인장력을 검토하여 배수재로 활용하기 위한 시공조건을 파악하였다.

(가) 적용 설계도(안)




[그림 3.9.43] 매립지 적용 단면도

◦ 폐기물 매립지의 일반적인 설치기준에서 본 개발기술이 실제적으로 적용될 매립지 사면부에 대한 단면도이다.

(나) 매립지 적용 관련 사항 검토

① 폐폴리올레핀폼의 투수성능 검토

◦ 폐폴리올레핀 폼의 가열에 의한 접합이 가능한 성질을 이용하여 파쇄 후 가열접합하여 제조한 재활용 폴레올레핀폼을 대상으로 폐기물의 투입량, 발포배율, 파쇄치의 크기, 사용시의 변형 등에 따른 투수성능을 2차년도 연구에서 파악하였으며, 그 결과에 대해 폐폴리올레핀 폼을 매립장에 적용하기 위해 분석,검토를 실시하였다.

재활용 폴리올레핀 폼의 변형율 별로 압력을 가하면서 각 시험 조건별로 규정된 시간 동안 통과하는 수량, 수두차 등을 3회 측정한 값으로 다음의 식에 의해 투수계수를 구하였다.

$$k = \frac{L}{h} \cdot \frac{Q}{A \cdot t}$$

여기서. $k$ : 투수계수 $(cm/s)$

$L$ : 투수거리 $(cm)$

$Q$ : 유출수량 $(cm^3)$

$h$ : 수위차 $(cm)$

$A$ : 수류의 연직방향인 시편의 단면적 $(cm^2)$

재활용 폴리올레핀폼의 수직 투수계수는 발포비율이 큰 폐기물을 사용한 경우가 크게 나타났으며, 압축변형에 따른 수직투수계수는 압축변형률이 증가할수록 감소하였다. 이는 투수성능의 가장 중요한 역할을 하는 입자사이의 공극이 압축변형의 증대에 따라 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 또한 입자의 크기가 작은 경우가 큰 경우에 비해 수직투수계수가 높게 나타났다. 수평투수계수는 압축변형과 발포비율에 뚜렷한 경향 및 변화를 보이지 않았다.

따라서, 투수시험시 하중과 투수계수 관계가 측정되지 않았으므로 그림 1.2에서 안전율을 고려하여 본 설계에 적용하는 수평투수계수는 $2.0\times 10^{0}$ ~ $10^{-1}$ cm/s 로 선정하였다.

(나) 배수시설 설계

① 배수시설 설치기준 검토

◦ 배수시설 설치와 관련된 폐기물관리법상 설치기준은 다음과 같다. 매립시설 바닥의 토목합성수지 라이너위에는 지오컴포지트(지오네트에 지오텍스타일을 붙인 것을 말한다.), 지오텍스타일을 설치한 후 그 위에 침출수집배수층(투수계수 $1\times 10^{-2}$ ㎝/s 이상이고 두께가 30㎝ 이상이어야 한다.), 집배수관로, 집수정 및 이송관로 등 침출수 집배수시설을 설치하고, 매립시설 측면의 토목합성수지 라이너위에는 매립하중하에서 투과능계수가 1초당 3만분의 1제곱미터 이상인 지오컴포지트, 지오네트 또는 지오텍스타일 등 토목합성수지배수층을 설치하여야 하며, 점토류 라이너로 차수시설을 설치하는 경우 측면의 점토류 라이너위에는 투수계수가 1× 10-2㎝/s 이상이고, 두께가 30㎝ 이상인 모래 등을 포설하여야 한다. 이 경우 집배수관로 주변에는 집배수관로가 막히지 아니하도록 충분한 투수계수를 갖는 자갈 등을 설치하여야 하며, 침출수집배수시설의 바닥구배는 2%이상이 되도록 하여야 한다.

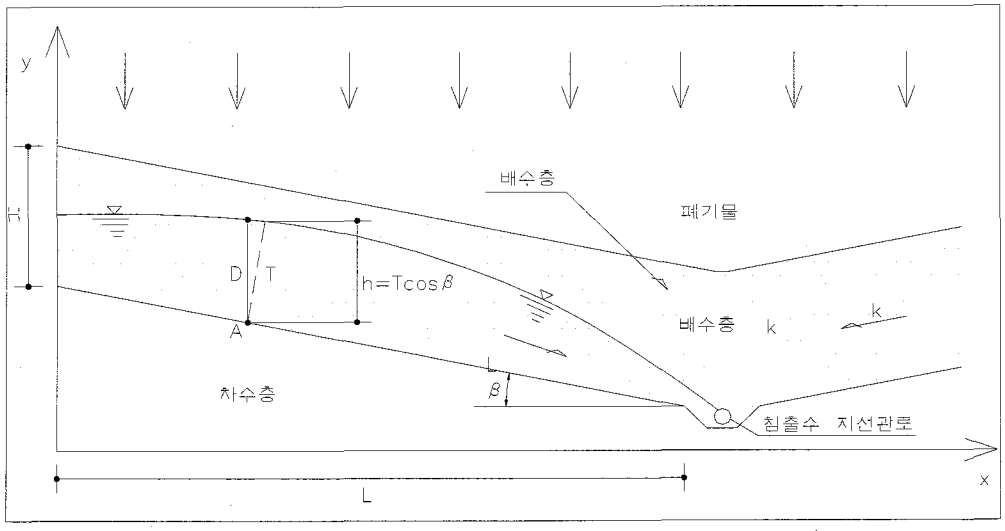
② 배수층 두께 산정

◦ 폐기물 매립층내 발생 침출수에 의한 외부로의 누출 잠재력을 저하시키기 위한 매립층내 침출수위를 산정하여 누적수위 이상의 배수층 두께를 확보하여야 한다.

㉠ 검토 조건

◦ 폐기물 매립장의 방수층 상부에 포설되는 배수층의 포설두께는 최대 침출수위보다 커야 한다. 배수층의 기능저하(투수계수 감소)시에도 위의 조건을 만족해야 한다. 또한 본 검토에서는 침출수위가 최대로 되는 정상상태 조건을 기준으로 해야 하며, 적용되는 각각 재료의 특성치들은 모든 층에 균일하게 분포하여야 한다.

㉡ 기본 이론




[그림 3.9.44] 기본 단면

여기서,

| | | |
|---|---|---|
| $h_{max}$ | : | $T_{max}$ · cosβ |
| D | : | 침출수 심도(차수층 상부에서 수직길이) |
| T | : | 침출수두(차수층 상부에서 평행길이) |
| hA | : | A점에서의 침출수두(검토수위) |
| L | : | 침출수 집수길이(L) |
| β | : | 침출수 집수경사 |
| k | : | 배수층의 수리전도도(LT-1) |
| q | : | 배수층로의 침출수 침투율(LT-1) |

최대 침출수위 산정위한 이론은 Giroud 및 Moore에 의해 제안된 식을 적용한다.

1) Giroud's 식

$$\frac{T_{max}}{L} = \frac{\sqrt{\tan^2\beta + 4q/k} - \tan\beta}{2\cos\beta}$$

2) Moore's 식

$$\frac{T_{max}}{L} = \cos\beta(\sqrt{\tan^2\beta + (q/k)} - \tan\beta)$$

③ 배수층 두께 산정 및 배수재 산정

◦ 배수층 두께는 집배수층의 포설재료를 폐폴리올레핀폼으로 적용하여 두께를 산정한 결과, 다음과 같이 2.9㎝의 수위가 형성될 것으로 계산되었다. 따라서, 배수층 최대 침출수위 이상으로 기능유지를 위하여 폐폴리올레핀폼을 5 ㎝ 이상 두께로 포설하는 것으로 계획한다.

㉠ 배수층 두께 산정근거

◦ 침출수두 hmax 산정 - 이론식에 따른 Tmax 산정에 필요한 설계정수는 다음과 같다.

- 침출수 배수간격(L) : 침출수 지선간격 40.0m
- 침출수 배수경사(β) : 1.15°(2.0% 이상)
- 배수층 수리전도도(투수계수)(k) :
  1.0× 100 ~ 10-1 cm/s = 1.0× 10-2 ~ 10-3 cm/s
- 배수층으로의 침출수 침투율(q) : 년 평균 강수량의 30% 적용
  1,564.1mm/year × 0.3 = 469.23mm/yr = 1.488× 10-8m/sec(폐기물 함수비 고려)

위에서 제시된 설계정수를 고려하여 Giroud 식과 Moore 식에 적용하여 $T_{max}$를 산정한 결과, 다음 표 10과 같이 0.0015 ~ 0.029m로 나타났다.

<표 3.9.89> Tmax 산정결과

| 구 분 | | L | β | q(m/s) | $T_{max}$(m) |
|---|---|---|---|---|---|
| Giroud's 식 | k = 1.0× $10^{-2}$ m/sec | 40 | 1.15 | 1.488× $10^{-8}$m/sec | 0.0030 |
| | k = 1.0× $10^{-3}$ m/sec | | | | 0.029 |
| Moore's 식 | k = 1.0× $10^{-2}$ m/sec | | | | 0.0015 |
| | k = 1.0× $10^{-3}$ m/sec | | | | 0.015 |

따라서, 상기에 제시된 $T_{max}$를 근거로 배수층내 최대 누적수위($h_{max}$)를 산정한 결과, 다음 표 11와 같이 0.0015~0.029m 로 산정되었다.

<표 3.9.90> 침출수 최대 누적수위(hmax ) 산정결과

| 구 분 | | Tmax(m) | β | hmax(m) = Tmax × cosβ |
|---|---|---|---|---|
| Giroud's 식 | k = 1.0× 10-2 m/sec | 0.0030 | 1.15 | 0.0030 |
| | k = 1.0× 10-3 m/sec | 0.029 | | 0.029 |
| Moore's 식 | k = 1.0× 10-2 m/sec | 0.0015 | | 0.0015 |
| | k = 1.0× 10-3 m/sec | 0.015 | | 0.015 |

㉡ 검토 결과

◦ 바닥부 배수층 두께는 배수층의 포설 재료원으로 폐폴리올레핀폼을 적용하여 산정한 결과, 침출수 배수층내 최대 누적수위(hmax)는 0.15~2.9cm 가 형성될 것으로 예상된다. 따라서, 배수층의 두께는 최대 침출수위 이상으로 기능유지를 위하면서 폐기물의 하중으로 인한 압축변형을 생각하여 폐폴리올레핀폼을 6㎝ 이상의 두께로 설치하는 것으로 계획한다.

<표 3.9.91> 배수층 포설두께 산정결과

| 구 분 | 검 토 조 건 | | 비 고 |
|---|---|---|---|
| | 투수계수 k = 1.0× 100㎝/sec | 투수계수 k = 1.0× 10-1㎝/sec | |
| 배수간격(m) | 40.0 | 40.0 | |
| 배수경사(%) | 2.0 이상 | 2.0 이상 | |
| 침출수 침투율(m/s) | 1.488× 10-8 | 1.488× 10-8 | 연간 강수량의 30% |
| 침출수 최대 누적수위(㎝) | 0.15 ~ 0.30 | 1.5 ~ 2.9 | |
| 침출수 집배수층 두께(㎝) | 6.0 이상 (폐폴리올레핀폼) | | |

(다) 재활용 폴리올레핀 폼 시트의 인장력 검토

◦ 재활용 폴리올레핀 폼 시트의 배수재의 설계 시에는 재활용 폴리올레핀 폼 시트의 변형에 대한 두께 및 안정성을 검토하여야 하는데, 변형의 원인들로는 다음과 같은 것을 들 수 있다.

- 기초지반의 부등침하
- 재활용 폴리올레핀 폼 시트 배수재 하부 성토지반의 침하
- 국부적인 자갈이나 연약토의 침하
- 재활용 폴리올레핀 폼 시트 배수재 설치시 장비로 인한 응력 증가
- 재활용 폴리올레핀 폼 시트 배수재에 인장을 유발하는 지반조건

배수재의 최소두께는 배수재의 투수계수와 배수재에 작용하는 하중 및 설계조건에 따른 소요강도를 만족하도록 결정하여야 한다.특히, 사면에 배수시스템을 설치함으로써 여러 가지 문제점이 발생하게 된다. 배수재 상부에 작용하는 하중은 사면에 연직으로 작용하여 배수 및 차수시스템에 인장력을 발생시키고 사면을 따라 사면과 층분리 또는 슬라이딩을 발생시키게 된다. 매립하중에 의한 인장력이 재활용 폴리올레핀 폼 시트의 배수재나 차수재의 인장강도 보다 클 때는 인장파괴가 발생하여 차수시스템의 손상 및 파괴에

상당한 영향을 미치게 된다. 재활용 폴리올레핀 폼 시트의 인장력 검토에는 지반공학문제에서 변형과 안정해석이 고려되는 유한요소 프로그램인 PLAXIS를 사용하였다.

① 수치해석을 이용한 사면부 배수재 인장력검토

㉠ 본 지반에 적용된 물성치

본 현장은 1 : 1.5 의 기울기를 유지하며 높이는 5m인 경사면에 폐기물을 수평으로 매립하는 경우에 대한 단면을 가정하여 검토하였다. 배수재, 지반과 폐기물에 대한 물성치는 다음과 같이 가정하여 적용하였다.

◦ 배수재 - EA : 50 KN/m

◦ 차수재 - EA : 245.25 KN/m

◦ 폐기물 - $\gamma_t$ : 13 KN/m³

$\Phi$ : 35 °

$c$ : 1 KN/m²

변형계수 : 3720 KN/m²

◦ 지반

$\gamma_t$ : 20 KN/m³

$\Phi$ : 50 °

$c$ : 1 KN/m²

변형계수 : 200000 KN/m²

◦ 제방

$\gamma_t$ : 18 KN/m³

$\Phi$ : 35°

$c$ : 1 KN/m²

변형계수 : 40000 KN/m²

◦ 전이층

$\gamma_t$ : 0 KN/㎥

$\Phi$ : 6 ~ 18°

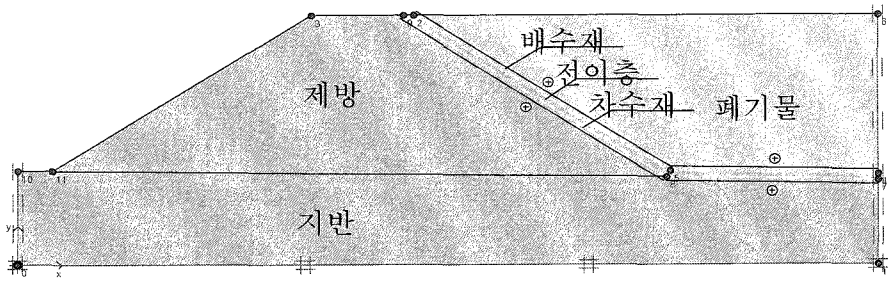
$c$ : 1 KN/㎡

변형계수 : 3720 KN/㎡

<표 3.9.92> 본 지반에서 적용된 토질별 물성치

| | 폐기물 | 지반 | 제방 |
|---|---|---|---|
| 습윤단위중량(KN/㎥) | 13 | 20 | 18 |
| 포화단위중량(KN/㎥) | 15 | 23 | 19 |
| 점착력(KN/㎡) | 1 | 1 | 1 |
| 내부마찰각(°) | 35 | 50 | 35 |
| 포와송 비 | 0.3 | 0.25 | 0.4 |
| 변형계수(KN/㎡) | 3720 | 200000 | 40000 |

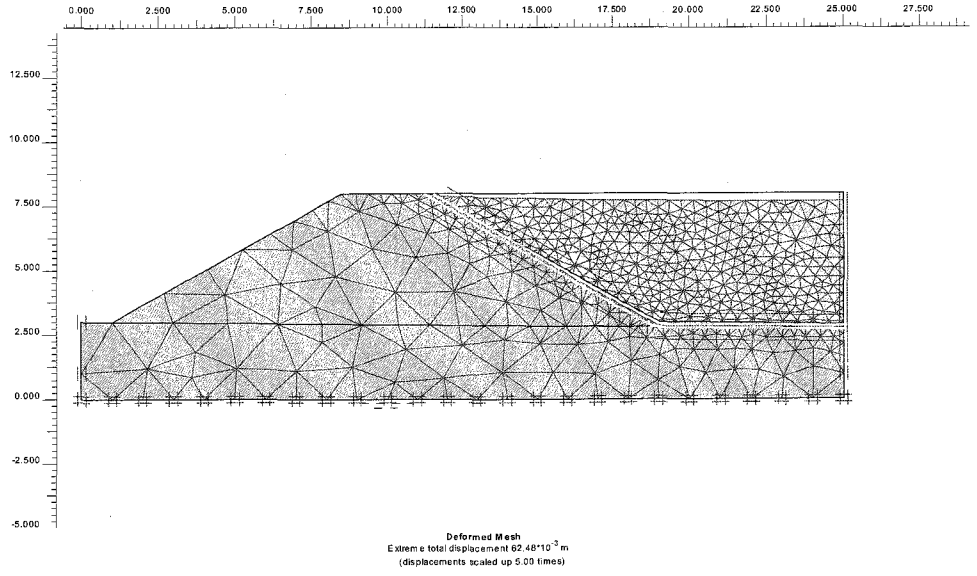
폐기물매립시설 사면배수 및 차수시설의 인장력에 대한 안정설계를 위한 해석단면은 그림 13과 같다. 일반적으로 유한요소 프로그램 해석에 있어서 연속체가 아닌 별개의 요소를 해석함에 어려움이 있기 때문에 차수층과 배수층 사이에 가상의 전이층(Transfer Layer)을 30cm 두께로 두어 해석하는 방법을 그림 13에 나타내었다. 이 경우 실제 단면에는 존재하지 않는 전이층을 두어 실제 단면과 다르지만 차수재의 변형에 따른 배수재의 인장력을 해석할 수 있는 장점이 있어서 보다 현실에 가까운 해석이 될 것으로 생각된다. 이러한 해석방법들에서 어떠한 것이 옳은지는 알 수없지만 모형실험을 통하여 검정하는 것도 하나의 방법이 될 것으로 생각된다. 본 설계에서는 이 방법으로 배수재의 인장력을 검토하였다.




[그림 3.9.45] 해석단면의 형태

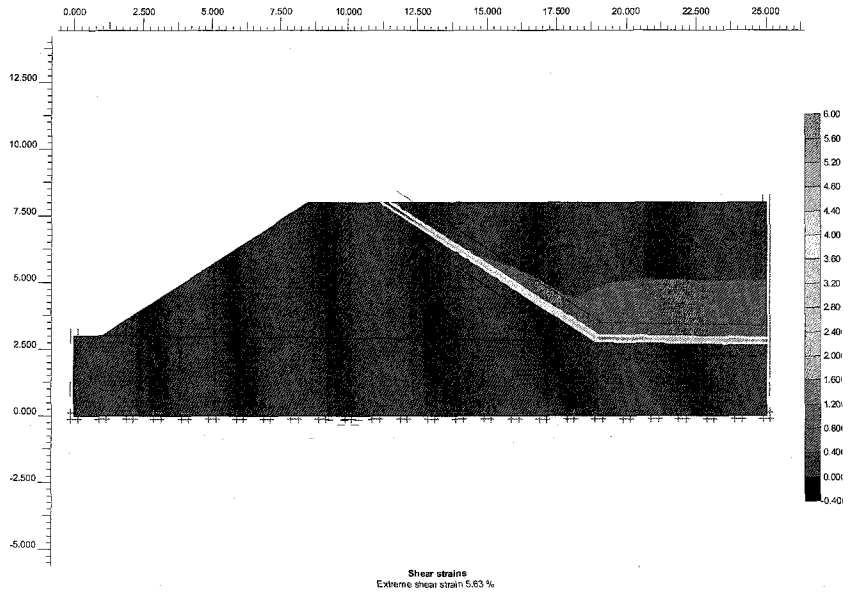
㉡ 배수재와 차수재 사이의 마찰각에 따른 해석결과

배수재와 폐기물 사이의 마찰각를 10°으로 일정하게 하며 배수재와 차수재 사이의 마찰각을 6°, 9°, 12°, 15°, 18°로 변화시키면서 그 결과를 해석하였다. 차수층과 배수층 사이에 가상의 전이층(Transfer Layer)을 두어 해석하는 방법해석결과 요소의 변화 형상은 다음과 같다.



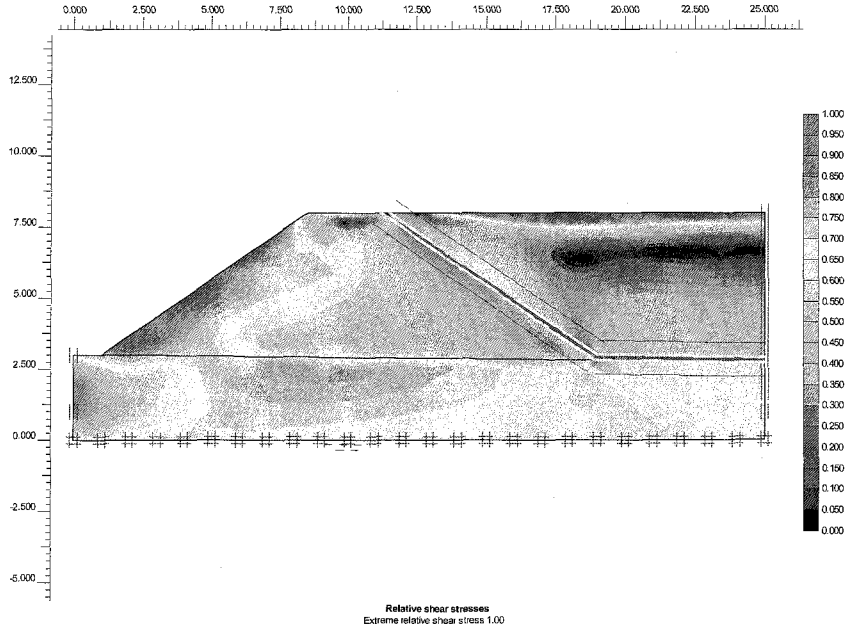

[그림 3.9.46] 요소의 변화형상

폐기물 매립장의 전단변형률은 다음과 같다.




[그림 3.9.47] 폐기물 매립장의 전단변형률

폐기물 매립장의 전단응력 분포도는 다음과 같다.



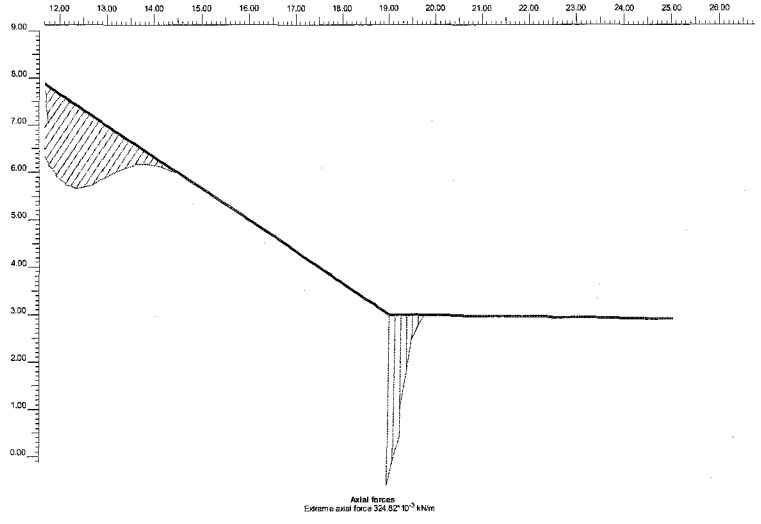

[그림 3.9.48] 전단응력의 분포도

배수재와 차수재 사이의 마찰각의 변화에 따른 배수재 인장력의 변화를 보면 다음과 같다.

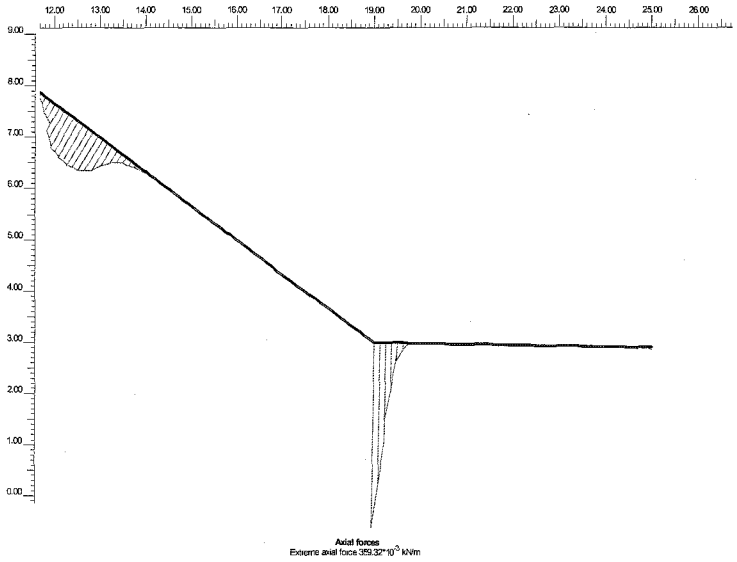
- 배수재와 차수재 사이의 마찰각이 6°인 경우



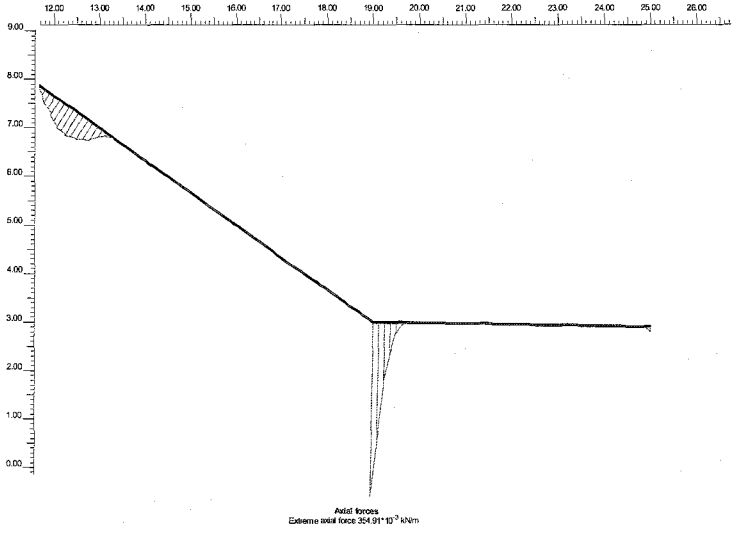

- 배수재와 차수재 사이의 마찰각이 9°인 경우



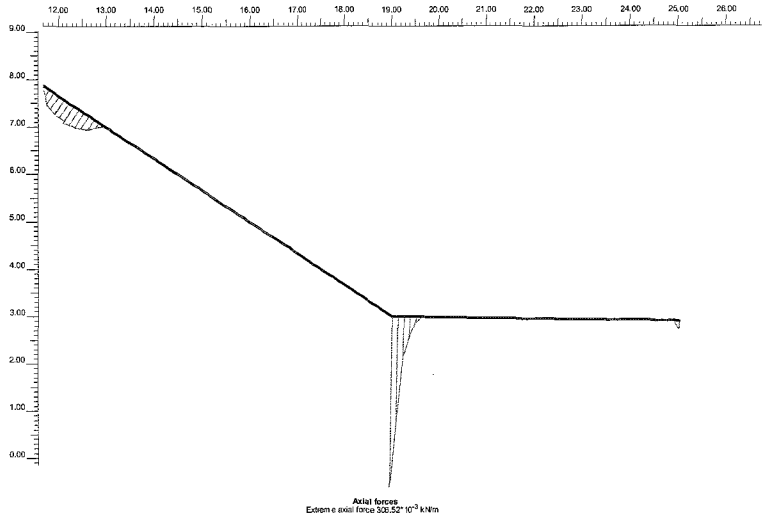
배수재와 차수재 사이의 마찰각이 12°인 경우




배수재와 차수재 사이의 마찰각이 15°인 경우



- 배수재와 차수재 사이의 마찰각이 18°인 경우

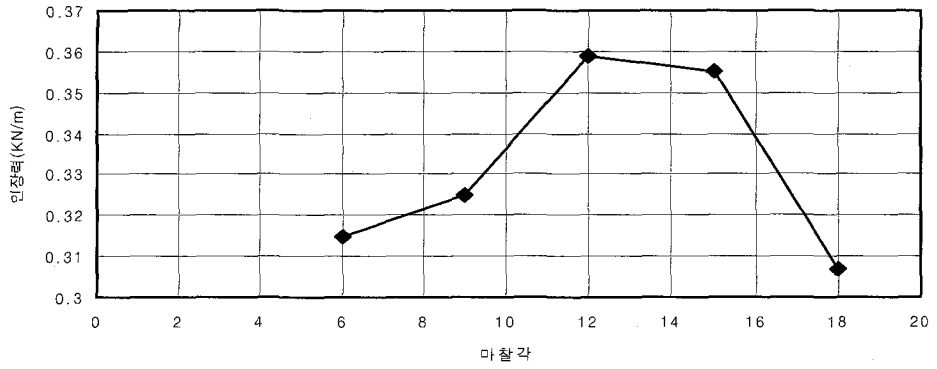



㉢ 결과에 대한 소견

폐기물 매립장 제방 경사가 1 : 1.5 일 때, 배수재와 차수재 사이의 마찰각이 6, 9, 12, 15, 18° 인 경우에 대한 배수재의 인장력의 변화를 전이층에 의한 방법으로 해석한 결과는 다음과 같다.

<표 3.9.93> 배수재 인장력의 변화

| 배수재와 차수재의 마찰각(°) | 배수재의 인장력 (KN/m) | 비고 |
|---|---|---|
| 6 | 0.315 | 배수재와 폐기물의 사이의 마찰각 10° |
| 9 | 0.325 | |
| 12 | 0.359 | |
| 15 | 0.355 | |
| 18 | 0.307 | |

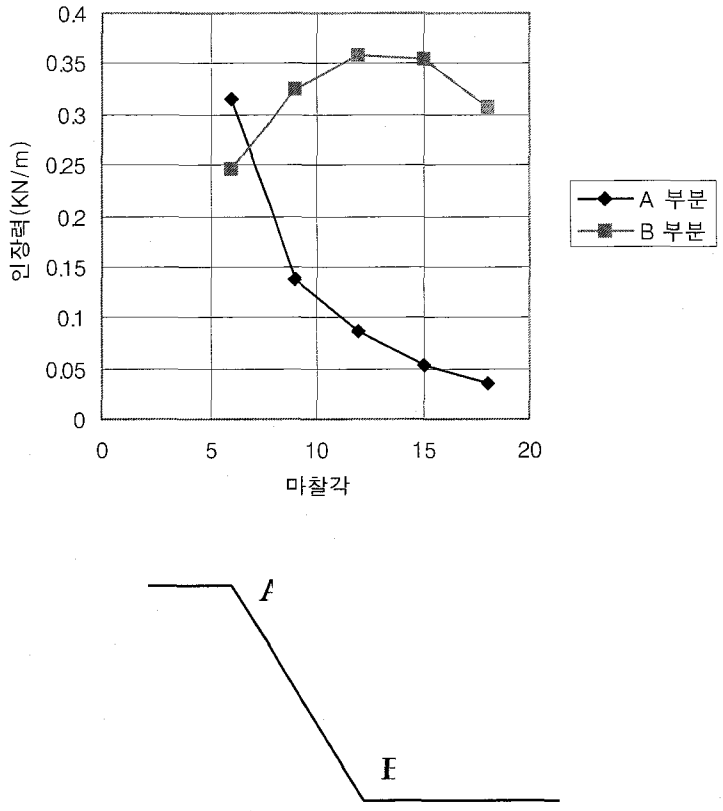



[그림 3.9.49] 배수재 인장력의 변화

이 결과를 보면, 배수재의 인장력이 마찰각이 증가함에 따라 증가하다가 감소하는 경향을 나타내며, 최대인장력은 전이층의 마찰각이 12°일 때 약 0.359 KN/m 이다.또한, 전이층을 적용한 경우의 배수재 인장력의 변화를 A 부분과 B 부분으로 나누어 관찰하면 다음과 같다.

<표 3.9.94> 배수재 인장력의 변화

| 배수재와 차수재의 마찰각(°) | 배수재의 인장력 (KN/m) | | 비고 |
|---|---|---|---|
| | A 부분 | B 부분 | |
| 6 | 0.315 | 0.247 | 배수재와 폐기물의 사이의 마찰각 10° |
| 9 | 0.138 | 0.325 | |
| 12 | 0.086 | 0.359 | |
| 15 | 0.053 | 0.355 | |
| 18 | 0.036 | 0.307 | |




[그림 3.9.50] 배수재 인장력 변화

이 결과를 보면, A 부분은 마찰각이 증가함에 따라서 인장력은 점점 감소하지만, B 부분은 마찰각이 증가함에 따라서 인장력이 증가하다가 감소하는 경향을 나타낸다.이러한 현상의 결과에서 보면 어떠한 방법이 보다 정확한 해석방법인지는 모형실험결과와 비교해 보아야 알 수 있을 것으로 생각된다. 위의 결과를 정리해보면 다음과 같다. 배수재의 최대인장력은 마찰각이 증가함에 따라 증가하다가 감소하는 경향을 나타낸다. 또한 배수재의 A 부분은 마찰각이 증가함에 따라서 인장력은 점점 감소하지만, B 부분은 마찰각이 증가함에 따라서 인장력이 증가하다가 감소하는 경향을 나타낸다. 배수재의 최대인장력은 전이층의 마찰각이 12°일 때 약 0.359 KN/m 이다. 위의 결과는 배수재에 대한 물성치를 가정하여 해석한 결과이므로 정량적인 의미는 신뢰하기 어려우나 정성적인 경향은 대체적으로 모형실험 결과와 일치할 것으로 생각되며 보다 정확한 분석을 위하여 실험연구가 진행되어야 한다.

(라) 결론

① 검토 결과에 대한 소견

㉠ 바닥부 침출수 배수층 두께는 배수층의 포설 재료원으로 폐폴리올레핀폼을 적용하여 산정한 결과, 침출수 배수층내 최대 누적수위(hmax)는 0.15 ~2.9 cm 가 형성될 것으로 예상된다. 따라서, 침출수 배수층의 두께는 최대 침출수위 이상으로 기능유지를 위하면서 폐기물의 하중으로 인한 압축변형을 생각하여 폐폴리올레핀폼을 6 ㎝ 이상의 두께로 설치하는 것으로 계획한다.

㉡ 폐기물 매립장의 사면부에 설치되는 배수재의 최대인장력은 전이층의 마찰각이 12°일 때 약 0.359 KN/m 이다. 이러한 값은 앞에서 (3)재활용폴리올레핀폼 시트의 인장력검토의 (가)수치해석을 이용한 사면부 배수재 인장력 검토와 같이 주변의 물성치를 기존의 제출된 보고서 및 문헌을 참고하여 해석한 결과이므로 오차가 있을 수 있다. 그래서 보다 정확한 해석을 위하여 재료 및 지반에 대한 실험이 필요하며, 폐기물 매립장 시공시 계측을 통한 전문 기술자의 검토가 필요할 것으로 생각된다.

② 배수재의 시공조건

㉠ 배수재의 투수계수는 폐기물의 하중으로 인하여 압축되어도 1.0×10-1 cm/s ( 1.0× 10-3 cm/s ) 이상의 값을 갖도록 제작하여야 한다.

㉡ 배수재의 두께는 폐기물의 하중으로 인하여 압축되어도 최소 두께는 3 cm 이상되도록 하여야 한다.

㉢ 배수재를 현장에서 겹이음을 하는 경우 사면의 길이방향으로는 50cm 이상이 중첩되도록 하며 폭 방향으로는 20cm 이상이 중첩되도록 한다.

## 라. 현장시험 및 적용성 분석

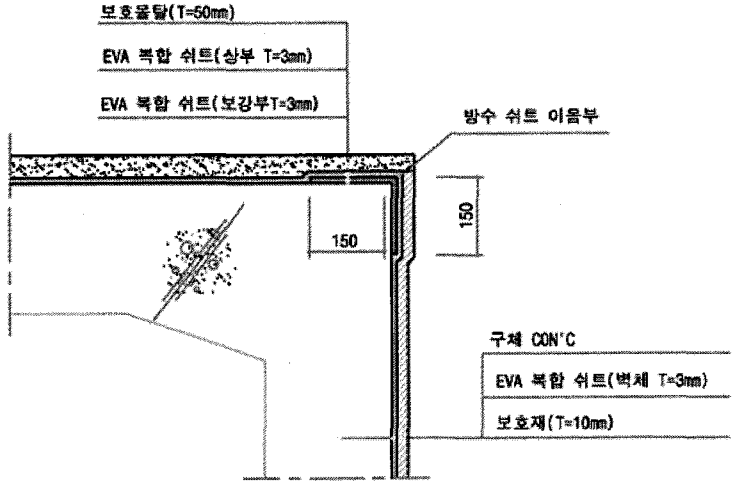
○ 폐폴리올레핀 폼을 기준에 시공되는 방수층 보호재를 대체하여 지하차도 시공현장의 현장설계에 적용·반영하며, 폐폴리올레핀 폼을 아파트 어린이 놀이터의 인조잔디 하부의 배수층으로 적용하여 시험시공을 실시하였다.

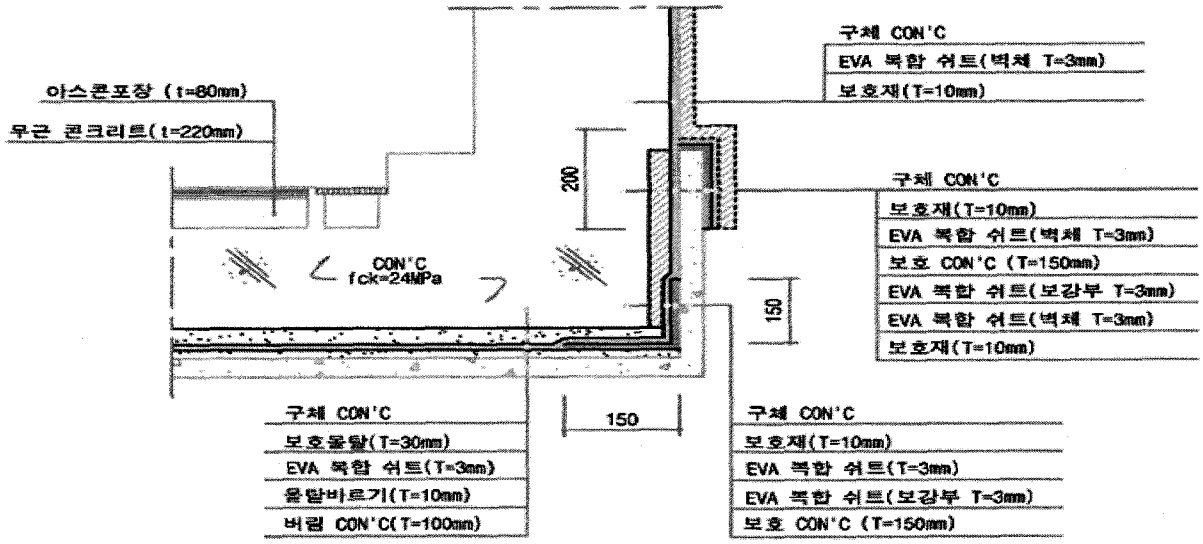
(1) 방수층 보호재 현장 설계 반영

(가) 대전 서남부 우회도로

◦ 총길이 472m, 폭 26m 공사구간 설계 반영

① 설계 적용



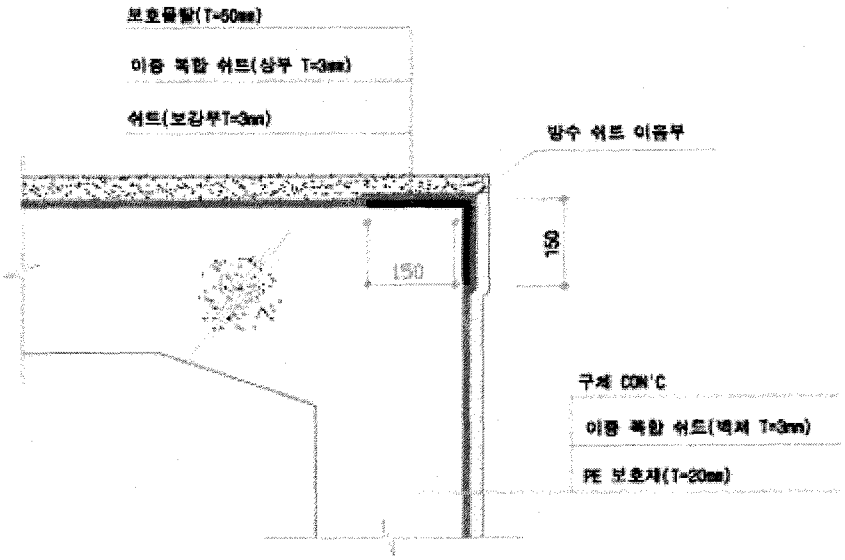


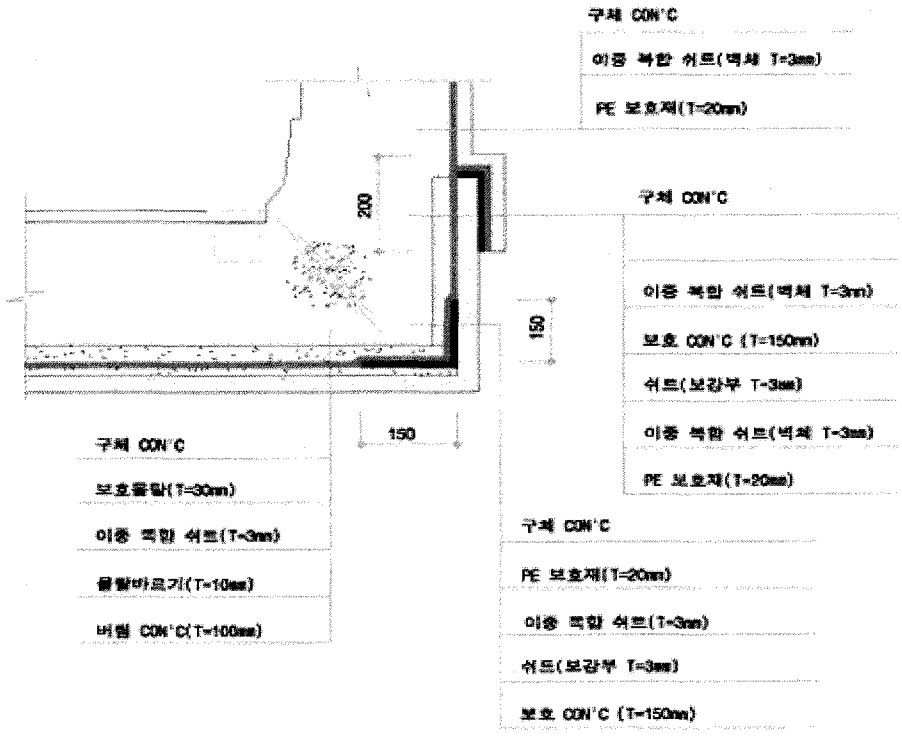

[그림 3.9.51] 설계 적용 도면

(나) 시흥-장현 주변 지하차도

◦ 총길이 1082m, 폭 41m 공사구간 설계 반영

① 설계 적용






[그림 3.9.52] 설계 적용 도면

(2) 어린이놀이터 시험시공 실시

(가) 목적

◦ 재활용 PO폼을 방수층 보호재, 놀이터 하부 탄성 배수재로 시공하는 방안을 개발하였으며, 재활용 PO폼의 적용분야중 어린이 및 유아놀이터 하부 탄성 배수재로 청원 오송현장에 적용하여 시공성을 평가하고자 한다.

(나) 대상 및 일시

◦ 대 상 : 충북 청원 오송 국민임대 아파트 현장 유아놀이터($95m^2$)

◦ 일 시 : 2008. 7. 28 ~ 7. 29

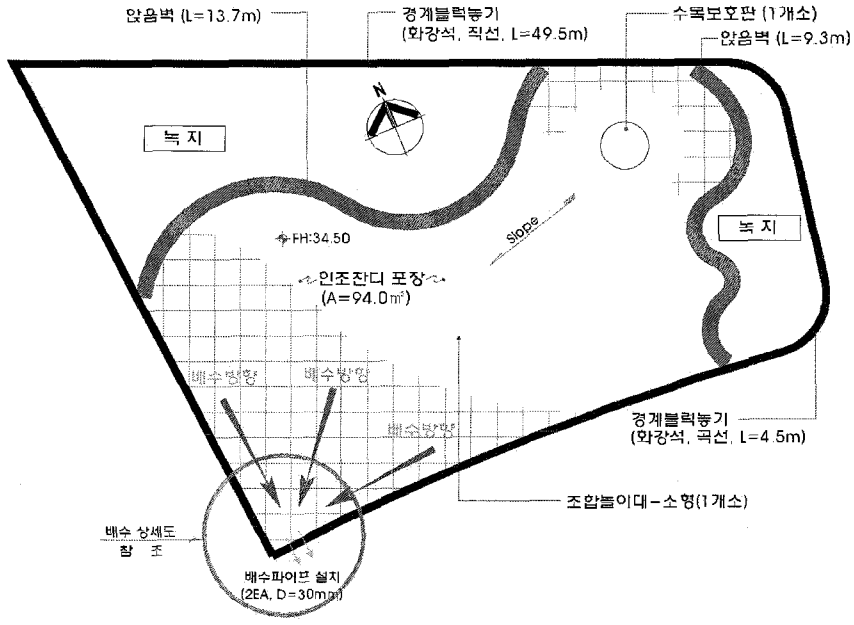



[그림 3.9.53] 어린이 놀이터 시험 시공 전경

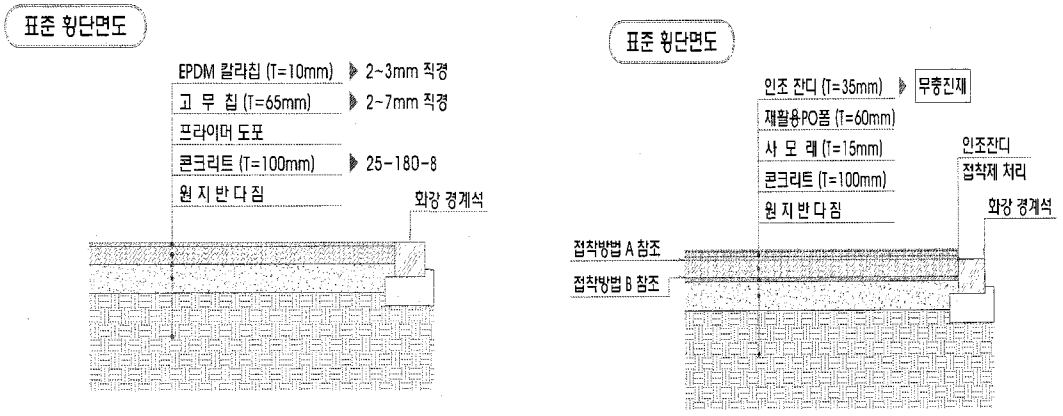
(다) 내용

① 시험시공 개요

◦ 콘크리트 + 고무칩 포장(그림 3)으로 구성된 기존 유아놀이터 바닥시공를 본 연구에서 개발한 탄성 배수재 + 인조잔디를 변경하여 시공성 평가하였다. 본 시험시공에는 25mm 인조잔디와 60mm 재활용 PO폼를 사용하여 2일간에 걸쳐 시공하였으며, 시험시공 순서는 빈배합 모르타르(사모래) 및 재활용 PO폼 시공, 인조잔디 포설, 배수 시설 설치등으로 구성되어 진다.




[그림 3.9.54] 시공 개요도




(기존 표준 단면) (시공 표준 횡단면도)

[그림 3.9.55] 적용 단면 비교

② 목적시험시공 단계 및 단계별 시험내용

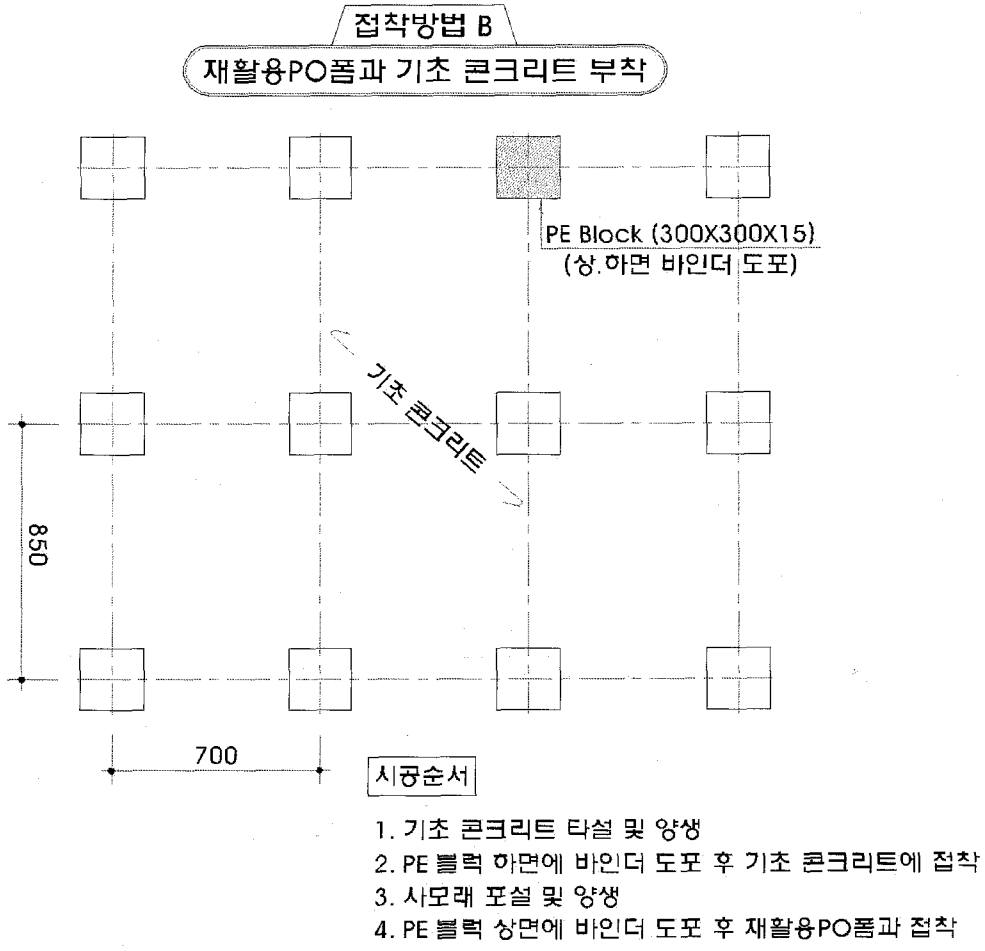
◦ 시험시공은 크게 사전 준비, 재활용 PO폼 시공, 인조잔디 시공등으로 구성되며 단계별 주요내용은 <표 3.9.59>와 같다.

<표 3.9.95> 시험시공 프로세스별 주요 내용

| 시험시공단계 | 주 요 내 용 | 비 고 |
|---|---|---|
| **Ⅰ단계**<br>시험시공<br>사전준비<br>(~08.7.23) | ◦ 배수재(t=60mm) 및 인조잔디 준비<br>◦ 상세 시공도면 작성<br>◦ 빈배합 모르타르 타설<br>◦ 기타 시험시공 관련 사전 준비작업 수행 | ◦ 자재준비 :<br>(주)영보화학,<br>이랜드건설산업(주) |
| **Ⅱ단계**<br>배수재 시공<br>(08.7.24) | ◦ 콘크리트 표면과 배수재 하부 부분 접착<br>◦ 배수재 포설<br>◦ 배수용 경계블록 타공 및 자갈 포설 | ◦ 시공 : 대연건설 |
| **Ⅲ단계**<br>인조잔디<br>시공(08.7.25) | ◦ 인조잔디 포설<br>◦ 인조잔디와 배수재 부분 일체화 작업<br>◦ 인조잔디와 경계블록 접촉면 마무리 작업 | ◦ 시공 :<br>이랜드건설산업(주) |

③ 빈배합 모르타르(사모래) 시공

◦ 사모래는 두께 15mm로 시공하며 콘크리트 바닥과 재활용 PO폼의 부착을 위해 1m 간격으로 PO 블록(300×300×15mm)을 설치하고 바인더로 접착하였다.



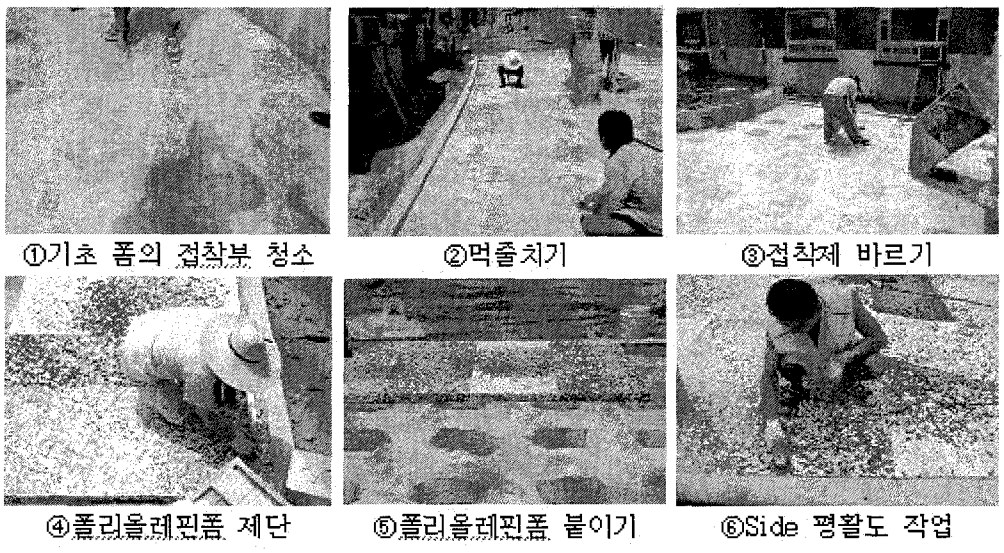

[그림 3.9.56] 재활용 PO폼과 콘크리트 부착 시공법




[그림 3.9.57] 재활용 PO폼과 기초콘크리트 부착 시공 순서

④ 재활용 PO폼 시공

◦ 시공용 PO 규격은 1,700×700×60mm이며 인력작업에 의해 시공하였다.




[그림 3.9.58] 재활용 PO폼 시공 순서

⑤ 인조잔디 포설

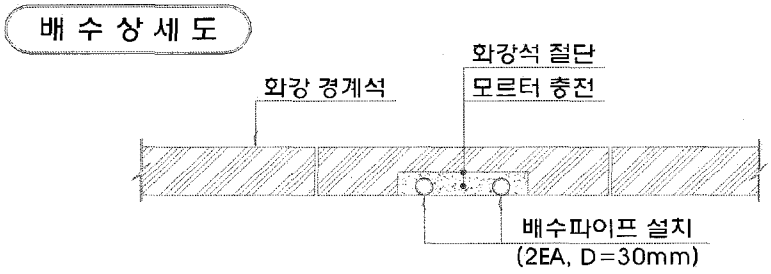
◦ 본 시공에 사용되는 인조잔디 규격은 35mm이며 충진재(규사, 고무칩) 사용이 불필요한 무충전 2중 구조로 되어 있으며, 인조잔디와 재활용 PO폼의 접합은 시공 조인트용 테이프(폭 20cm)로 2m 간격으로 실시하였다. 또한 원활한 유지관리를 위해 화강석 경계블록 인접한 부분은 충분한 인조잔디 접착제를 사용하여 마무리하였다.




[그림 3.9.59] 인조잔디 깔기 시공 순서

⑥ 배수 방법

◦ 본 현장의 바닥경사는 당초 설계인 고무매트 시공에 적합한 약 2%의 콘크리트 표면으로 시공되어 주민복지관쪽으로 배수가 되도록 유도되어 있으며, 본 시험시공에 적용된 인조잔디의 특성상 강우시 연직배수 비율이 30% 정도임을 고려하여 인조잔디 및 재활용 PO폼을 통과하는 투수량을 원활히 배수하기 위해 기설치된 경계블록을 절단후 배수용 파이프(D=30mm)를 설치하였다.




[그림 3.9.60] 배수상세도

# 제 10 절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용 기술 개발

## 1. 생산라인 적용 및 시제품 제작

### 가. 건조기 활용 목질계보드 함수율 조건 도출 시험

(1) 개요

건설폐목재를 사용한 목질계보드 제작하고 건축용보드로 상품성을 높이기 위하여 건조기를 활용하여 적정 함수율을 설정하고 건조기 조건을 도출하고자한다. 또한 기본물성을 검토하여 목질계보드 제작에 대한 기초적 자료를 제시 하고자 한다.

(가) 목재와 시멘트와의 혼합 응결특성

목모를 생산하기 위한 원료가 되는 원목은 그 주성분이 셀룰로오스이나, 이들은 목재를 구성하는 세포의 외벽을 이루는 물질로서 이들 세포 간 연결이 전체적인 목재를 형성하며, 이 세포사이의 충진물로 리그닌과 헤미 셀룰로오스, 단백질 등 여러 물질이 존재한다. 이들 중 헤미 셀룰로오스와 같은 당류는 시멘트와 혼합 시에 시멘트의 경화를 방해하고, 이로 인하여 시멘트의 강도 발현에 지장을 주고 판상으로 만들기 어렵게 되며, 그에 따른 강도를 유지하지 못하므로, 목재에 이런 당류 종류와 양의 차이는 목모보드를 제조하기에 앞서 우선적으로 고려해야 되는 점이다.

목모 제조 시 사용되는 수종이 경화 불량성 수종일 경우 경화장애요소의 제거를 위해 미리 전처리를 해야 하는데 실용화에 가장 적절한 것으로 약품에 의한 경화 불량 성분의 중화와 온수에 의한 추출에 의한 것이 있다. 또한 시멘트와 나무의 친화성에 대한 검토는 많은 연구보고가 있으나, 가장 보편적으로 사용되는 방법으로 시멘트 수화열의 측정을 이용하는 Inhibitory Index(I.I)를 구하여 비교해 보는 방법이 있다. 여기서 I.I치는 시멘트 경화 장애성을 나타내는 척도이며, 나무에 처리를 한 뒤 혹은 새로운 첨가제의 사용효과를 알아보기에도 좋은 지표가 될 수 있다.

Inhibitory Index (I.I)의 값은 다음과 같은 식에 의해 구하게 된다.

$$I.I = (\frac{TE - TE'}{TE})(\frac{T'^2 - T^2}{T^2})(\frac{S - S'}{S}) \times 100$$

TE : 시멘트-물 혼합물의 도달 최고온도

TE′ : 시멘트-물-목분의 도달 최고온도.

T2 : 시멘트-물-혼합물의 최고온도 도달시간

T2 : 시멘트-물-목분의 최고온도 도달시간

S : 시멘트-물-혼합물의 온도곡선의 최대기울기

S : 시멘트-물-나무혼합물의 온도곡선의 최대기울기

이에 따른 여러수종의 I.I치와 첨가제의 혼합에 따른 I.I치를 알아보면 Table 1과 같다. 여기서 첨가제 혼합 효과가 가장 두드러진 예로 Malas를 들 수 있는데 경화 불량 수종인 Malas는 첨가제에 의한 뚜렷한 경화 향상 증거인 T2의 감소와 TE의 증가를 보여준다.

일반적으로 I.I치 50 이상은 극히 불량한 경화성을 나타내며 10 미만은 양호한 편이고 10~20 정도는 보통, 그 이상은 불량하다 볼 수 있다. 대략 소나무 같은 침엽 수종은 경화가 양호한 편이며, 활엽수 보다 경화장애성이 적다.

<표 3.10.1> 여러수종의 I.I치와 첨가제 혼합에 따른 I.I치

| 수 종 | 첨가제와 양 | I.I Value |
|---|---|---|
| PineSlash | - | 6.3 |
| Slash Pine | 고즙 1% | 3.3 |
| Radiata Pine | - | 5.5 |
| Taun | - | 0.78 |
| Malas | - | 98.8 |
| Malas | 고즙 3% | 3.3 |
| Malas | Na-Silicate 3% | 1.1 |
| Amberoi | - | 26.94 |
| Amberoi | 고즙 3% | 1.23 |
| Celtis | - | 8.4 |
| Calophyllum | - | 0.22 |
| 육 송 | - | 0.22 |
| 미 송 | - | 0.25 |

(2) 실험 재료

(가) 시멘트

본 연구에 사용된 시멘트는 KS L 5201 규정을 만족하는 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 이에 대한 물리적 성질과 화학적 성분은 각각 <표 3.10.2>, <표 3.10.3>과 같다.

<표 3.10.2> 시멘트의 물리적 특성

| 비중 | 분말도 (㎠/g) | 응결 (min) | | 안정도 (%) | 압축강도 (kgf/㎠) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 초결 | 종결 | | 3 days | 7 days | 28 days |
| 3.15 | 3,400 | 230 | 390 | 0.1 | 230 | 300 | 410 |

<표 3.10.3> 시멘트의 화학적 성능

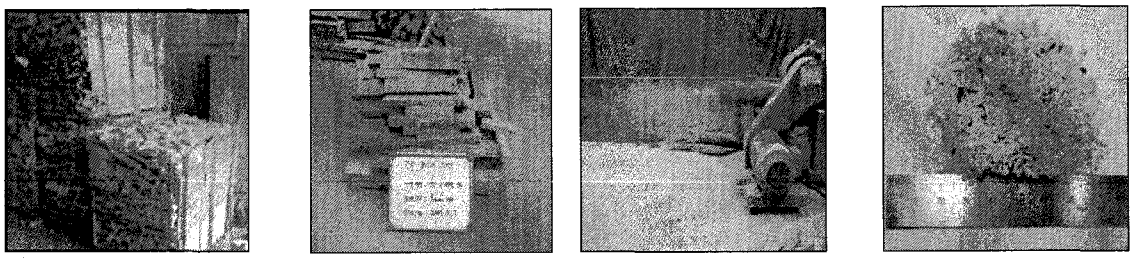
| CaO (%) | $SiO_2$ (%) | $Al_2O_3$ (%) | $Fe_2O_3$ (%) | MgO (%) | $SO_3$ (%) | Free CaO (%) | Loss on Ignition (%) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 61.3 | 21.1 | 5.2 | 2.8 | 4.0 | 2.4 | 0.6 | 2.0 |

(나) 폐목재

본 실험에 사용한 폐목재는 A사의 아파트 신축현장에서 배출된 폐목재를 패쇄기에서 분쇄하여 10mm체로 선별하여 사용하였으며, 목재의 물리적·기계적 성질은 <표 3.10.4>와 같다.

<표 3.10.4> 폐목재의 특성

| 건설폐목 | | 길 이 (㎜) | 함수율 (%) |
|---|---|---|---|
| 기건비중 | I.I치 | | |
| 약 0.48 | 5.5 | 10이하 | 25 |



[그림 3.10.1] 폐목재 칩 생산 과정

(다) 응결촉진제

경화 촉진제본 실험에서는 시멘트의 경화를 촉진시키기 위하여 무기염계 혼화제로써 $CaCl_2$(염화칼슘, 고상)과 $Na_2SiO_3$(규산나트륨, 액상)을 경화촉진제로 사용하였다.

<표 3.10.5> 응결촉진제의 특성

| 비 중 | 상 태 | 성 분 | |
|---|---|---|---|
| 1.402 | 액 상 | $Na_2O$(산화나트륨) | 9.15% |
| | | $SiO_2$(이산화규소) | 29.35% |
| | | $Fe_2O_3$(산화철) | 0.01% |
| | | 수불용분 | 0.03% |

(라) 비빔용수

본 연구에서는 KASS 05010.2.1.3의 규정에 따른 상수도수를 비빔용수로 사

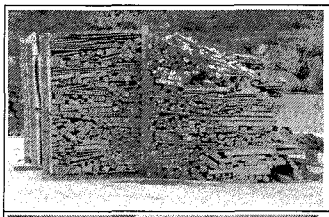
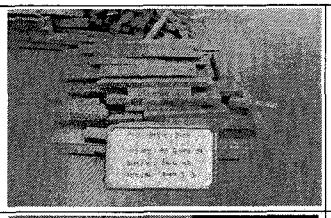
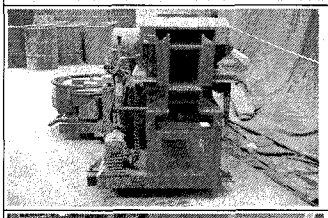
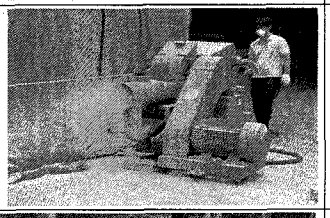
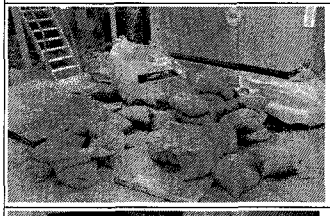
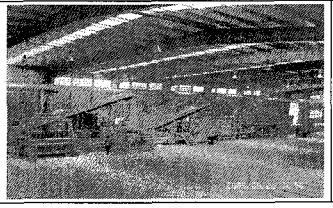
(3) 배합계획

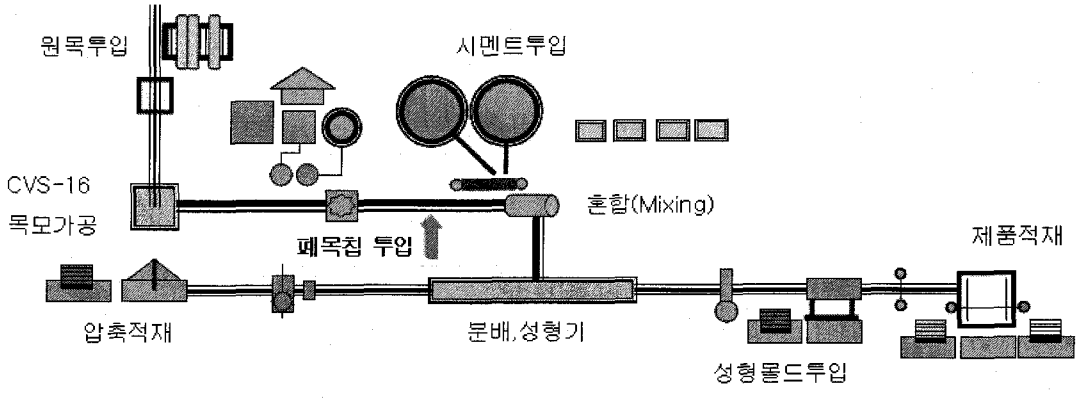
- 기본배합 : 목재 : 시멘트 : 물 = 1 : 2 : 1 ( 중량)
- 폐목칩 대체율 : 목재 공급 중량의 20%
- 경화제 투입 : 규산나트륨 3% 의 혼합수 제조하여 공급

○ 시멘트 비율(Correction) : 1.15 ± 0.05, 0.1

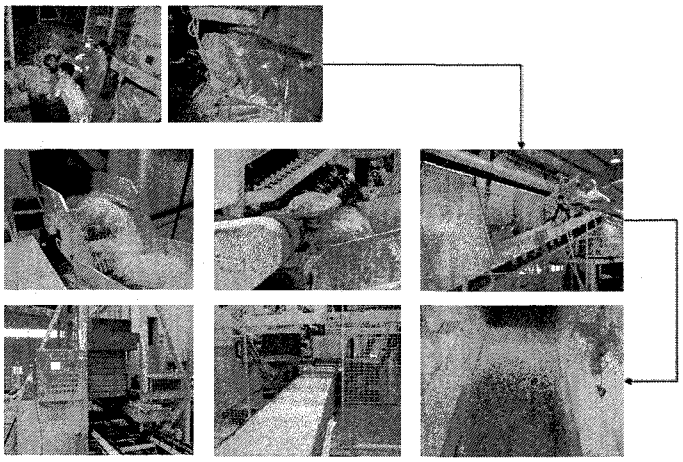
○ 1차 양생(1일) 후 건조기 통과

<표 3.10.6> 목모 및 목편의 혼합목질계보드 제작과정

| | |
|---|---|
|   | * 건설폐목 입고<br>- 천안 A아파트 신축현장 목재 구입<br>- 중간 수집 운반 전문 처리 업체<br>- 부착철물 제거(인력동원) |
|   | * 폐목 파쇄<br>- 파쇄기 : CHOP 202H-C,B<br>- 5mm 이하로 파쇄 |
|   | * 경화제 처리<br>- 3% 규산나트륨 용액(경화 촉진)<br>- 충분히 함침 시킨 후 꺼내어 일정중량으로 포장 |
|   | * 생산라인 적용<br>- 목모 생산<br>- 자동화 라인 생산 |




[그림 3.10.2] 혼합 목질계보드 제조 공정도



[그림 3.10.3] 혼합 목질계보드 제조 공정

(4) 실험 방법

(가) 밀도 및 함수율

시험편을 채취하고 질량을 측정하여 건조전 질량($W_1$)으로 하고, 체적은(V) 두께, 나비, 길이를 측정하여 산출하며, 105±5℃로 항량이 될 때 까지 건조기에서 건조하여 이것을 건조 후 질량($W_0$)로 측정하여 함수율 및 밀도는 다음식에 따라 산출한다.

$$\text{절건밀도} = \frac{W_0}{V}\ ,\ \text{함수율} = \frac{W_1 - W_0}{W_0} \times 100$$

여기에서 $W_1$ : 건조 전 질량(g)

$W_0$ : 건조 후 질량(g)

V : 시료의 체적(mm3)재생

(나) 휨파괴하중

굳은 모르터의 기본적인 물리적 특성을 분석하기 위하여 압축강도 시험과 휨파괴하중 시험을 실시하였다. 휨강도는 1, 3, 7, 28일의 강도를 측정하였다.

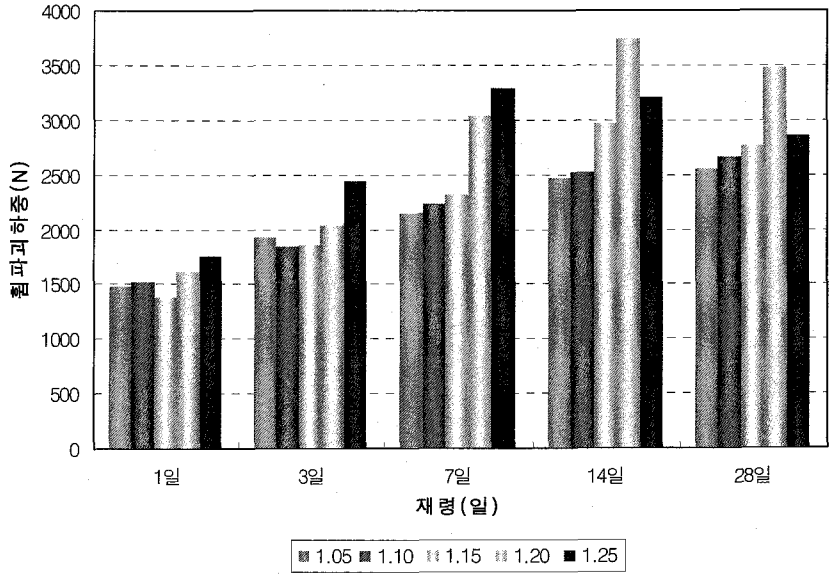
(5) 실험결과

<표 3.10.7> 재령 28일 실험 결과

| Correction | 휨파괴하중(N) | 밀도 | 함수율(%) |
|---|---|---|---|
| 1.05 | 2552.18 | 0.44 | 10.80 |
| 1.10 | 2664.96 | 0.46 | 10.70 |
| 1.15 | 2755.67 | 0.44 | 10.25 |
| 1.20 | 3466.65 | 0.47 | 9.50 |
| 1.25 | 2856.19 | 0.50 | 11.40 |

○ 휨파괴 하중

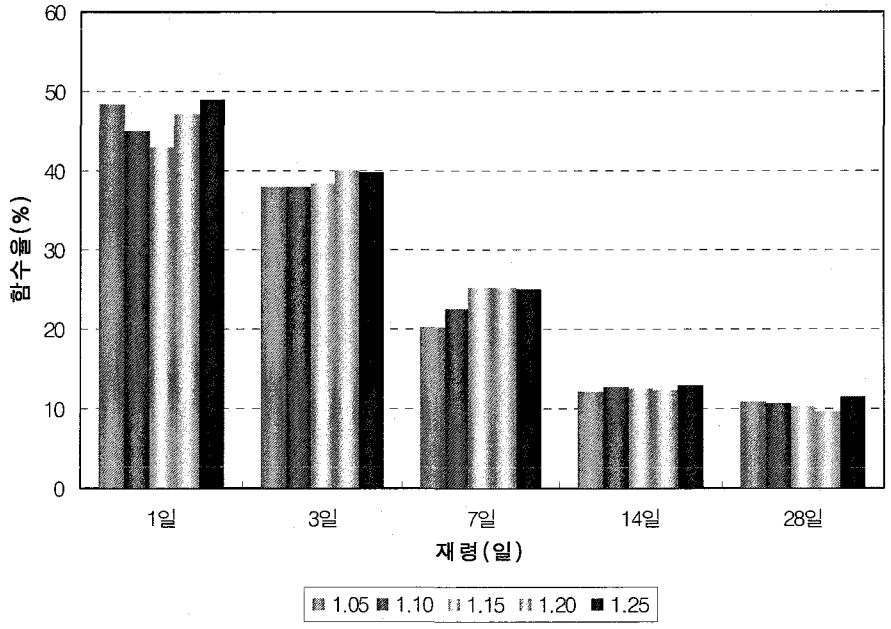
- 탈형 직 후 실시한 1 일 휨파괴 하중은 Correction 1.25 에서 가장 높은 1753N을 나타냄
- Correction별 큰 차이 없이 1376N~1753N 범위를 나타냄.
- 건조기 통과하는 시스템으로 건조기 통과 한 후 측정한 7 일 강도에서는 함수율 감소폭이 큰 1.20, 1.25에서 많은 증진을 보임




[그림 3.10.4] 재령별 휨파괴 하중

○ 함수율

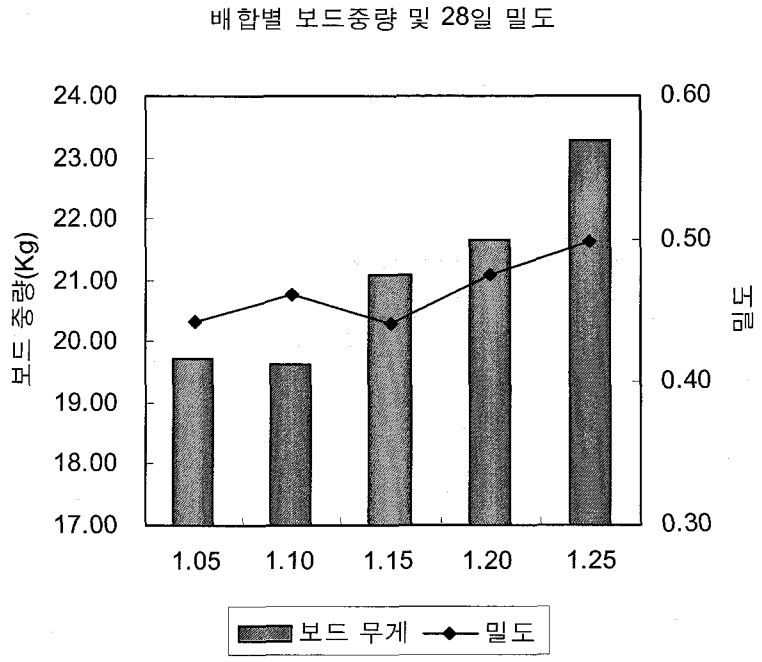
- 디몰딩 직 후 함수율은 대부분의 배합에서 43~49%의 범위로 나타남
- 건조기 통화 후 20~25%의 함수율 나타냄
- 초기 함수율은 Correction 구분없이 목질계의 함수율에 따라 큰 차이를 보이고 있으나, 건조기 통과 후 상온 건조 시 비슷한 수준으로 감소하는 것으로 나타남
- 상온 건조 시에는 15~20%의 감소율이 나타나며, 건조기 통과 시에는 37~47%의 함수율 감소가 나타남




[그림 3.10.5] 재령별 휨파괴 하중

○ 함수율

- 28일 건설폐목재를 재활용한 목질계보드 밀도는 0.44~0.50 의 범위로 나타남




[그림 3.10.6] 28일 재령 보드의 비중

## 나. 목질계보드의 난연 시험

(1) 개요

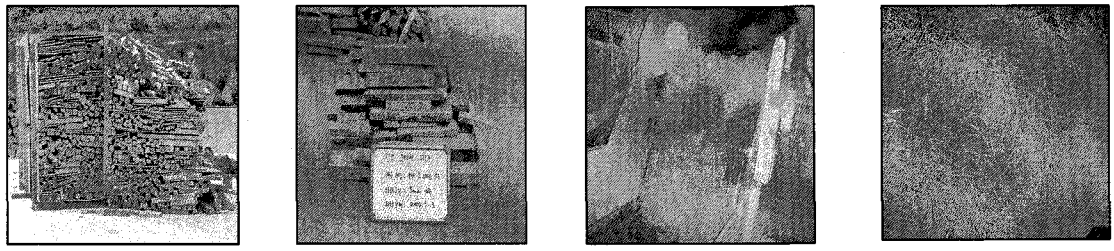
실내마감재 사용을 목적으로 개발 중인 목질계보드는 난연2급이상의 성능을 발휘해야 하므로 폐목재를 재활용한 목재를 재료로 개정된 KS F ISO 5660-1(연소성능시험-열방출, 연기발생, 질량감소율 - 제1부:열방출율 (콘칼로리미터법)에 의한 난연성능 실험을 실시하였다.

(2) 실험 재료

(가) 폐목재

○ 천안의 A아파트 신축현장에서 배출되는 건설폐목을 구입하여 부착된 철물은 인력에 의해 분리·선별하고 (주)엘씨엠 목모보드 생산라인을 활용하여 목모를 생산 활용

○ 목모의 제조는 실과 같은 길이의 모양을 나타내어 각재의 길이 250mm이상, 두께 70mm이상의 각재를 선별하여 제작



[그림 3.10.7] 폐목질을 재활용한 목모 생산 과정

○ 목모의 두께는 길이 250mm, 폭 1mm로 제조하여 함수율을 25%로 유지시킨 상태에서 실험을 실시

(나) 원목

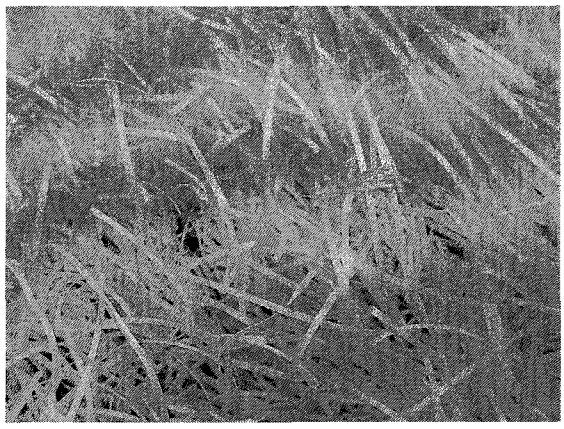
○ 목모는 러시아산 뉴송(RADIATA PINE)을 그 원목으로 사용

○ 뉴송은 천연분포지가 미국의 켈리포니아 남동부이지만, 조림목으로 장려되어 세계적으로 가장 많이 식재되고 있는 중요한 수종

○ 생산라인에서 생산 된 두께 1mm, 길이 250mm의 목모이며, 목모의 특성상 그 함수상태에 따라 많은 영향을 받으므로 함수율을 25%로 유지시킨 상태에서 실험을 실시

<표 3.10.8> 원목 목모의 물리적 특성

| 원목 | | | | 두 께(mm) | 길 이(mm) | 함수율(%) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 학명 | 색깔 | 기건비중 | I.I치 | | | |
| RADIATA PINE(뉴송) | 심재 : 도갈색<br>변재 : 담색 | 약 0.48 | 5.5 | 1 | 250 | 25 |



[그림 3.10.8] 목모의 형상

(다) 백색 포틀랜드시멘트

○ KS L 5201 규정에 적합한 U사의 백색 포틀랜드시멘트(White Portland cement)를 사용하였으며 그 물리적 성질과 화학적 성분은 <표 3.10.9> 및 <표 3.10.10>과 같음

<표 3.10.9> 시멘트의 물리적 성질

| | 밀 도 | 분말도 | 응 결 | | 안정도 | 압축강도 ($N/cm^2$) | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | ($g/m^3$) | ($cm^2/g$) | 초결(분) | 종결(분) | (%) | 3일 | 7일 | 28일 |
| 백색시멘트 | 3.15 | 3,168 | 260 | 510 | 0.04 | 24.8 | 33.9 | 42.9 |

<표 3.10.10> 백색 포틀랜드시멘트의 화학적 성분

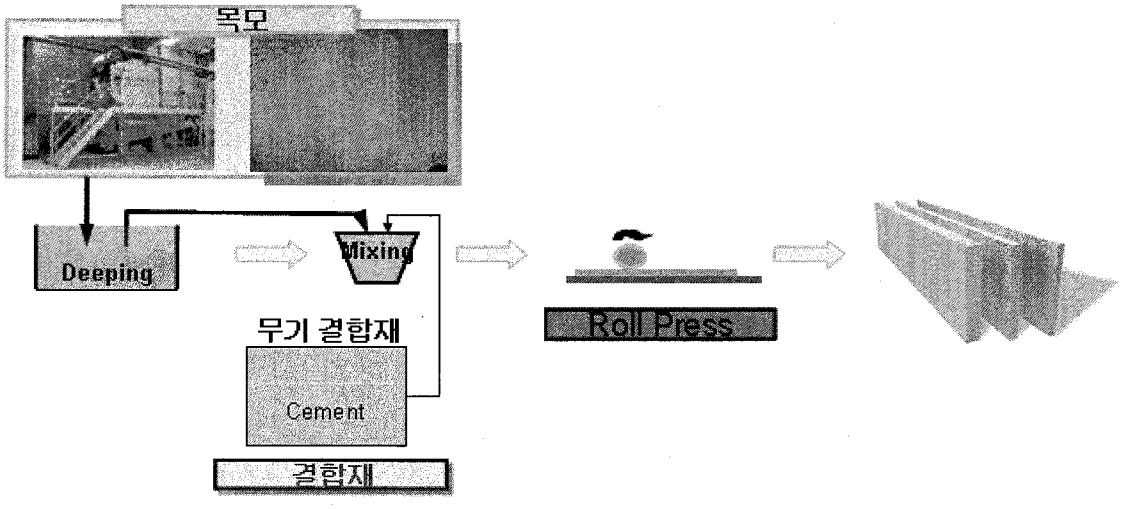
| 성 분 | $Fe_2O_3$ | MgO | $SO_3$ | IgLoss | 불용해잔분 |
|---|---|---|---|---|---|
| 함량(%) | 0.27 | 1.16 | 2.90 | 2.87 | 0.42 |

(라) 경화촉진제

○ 시멘트의 경화를 촉진시키기 위하여 무기염계 혼화제로써 CaCl2(염화칼슘, 고상)를 경화촉진제로 사용하였으며 각 혼화제의 특성 및 성분은 <표 3.10.11>과 같음

<표 3.10.11> 경화촉진제의 특성 및 성분

| | CaCl2(염화칼슘) | |
|---|---|---|
| 비 중 | - | |
| 상 태 | 고 상 | |
| 성 분 | $CaCl_2$ | 74% |
| | $NaCl_2$ | 2.0% |
| | Hydrate | 24.0% |



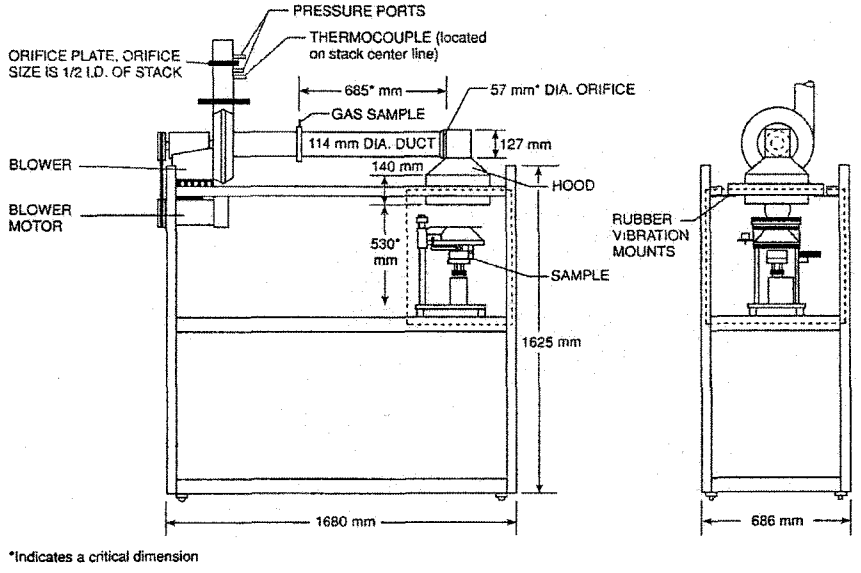

[그림 3.10.9] 시험편 제작 과정

(3) 실험 방법

○ KS F ISO 5660-1[연소성능시험 - 열방출, 연기발생, 질량감소율 - 제1부 : 열방출율 (콘칼로리미터법)]

<표 3.10.12> KS F ISO 5660-1에 의한 성능기준

| 등 급 | 시험방법 | | |
|---|---|---|---|
| | 가열시험 | | 가스유해성시험 |
| | 가열시간 | 성능기준 | |
| 난연1급 | 20분 | 20K 초과 상승하지 않을것 | 쥐 활동시간 9분 이상 |
| 난연2급 | 10분 | 총방출열량 : 8MJ/㎡ 이하<br>최대열방출율 : 200kW/㎡이하 | |
| 난연3급 | 5분 | | |




[그림 3.10.10] 콘칼로리미터

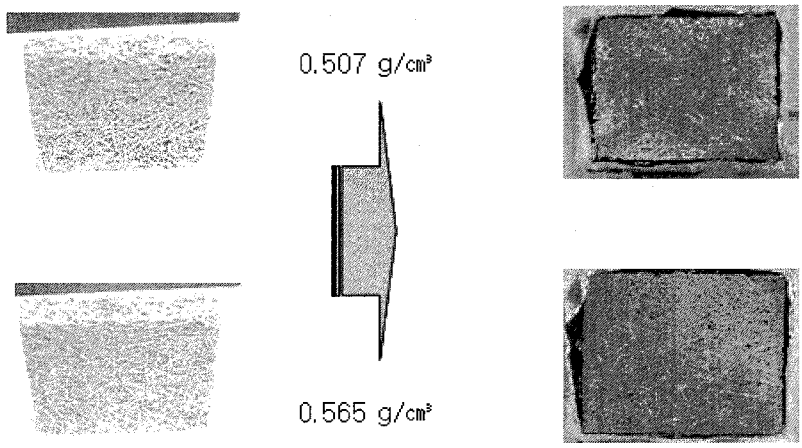
(4) 실험 결과

○ 시험편을 제조하여 측정한 결과 <표 3.10.13>과 같은 결과를 나타내었음

<표 3.10.13> 난연시험 결과

| 두께 (mm) | 총열방출량 ($MJ/m^2$) | 최대열방출율 ($kW/m^2$) | 성능기준 |
|---|---|---|---|
| 20T | 7.7 | 21.8 | 총열방출량 : 8 이하<br>최대열방출율 : 200 이하 |
| 25T | 7.0 | 18.44 | |

○ 혼합형 목질계보드는 육안 관찰시 목재로 주로 구성되어 있어, 난연성능이 낮을 것으로 예상되었으나 목모를 결합시키는 시멘트가 혼합되며 난연성능을 향상시켜 방화재료 분류상 준불연재료에 해당되므로 건축물의 내장재로 사용하는데 있어서 화재부분에 대해서는 안전한 것을 확인할 수 있었다.



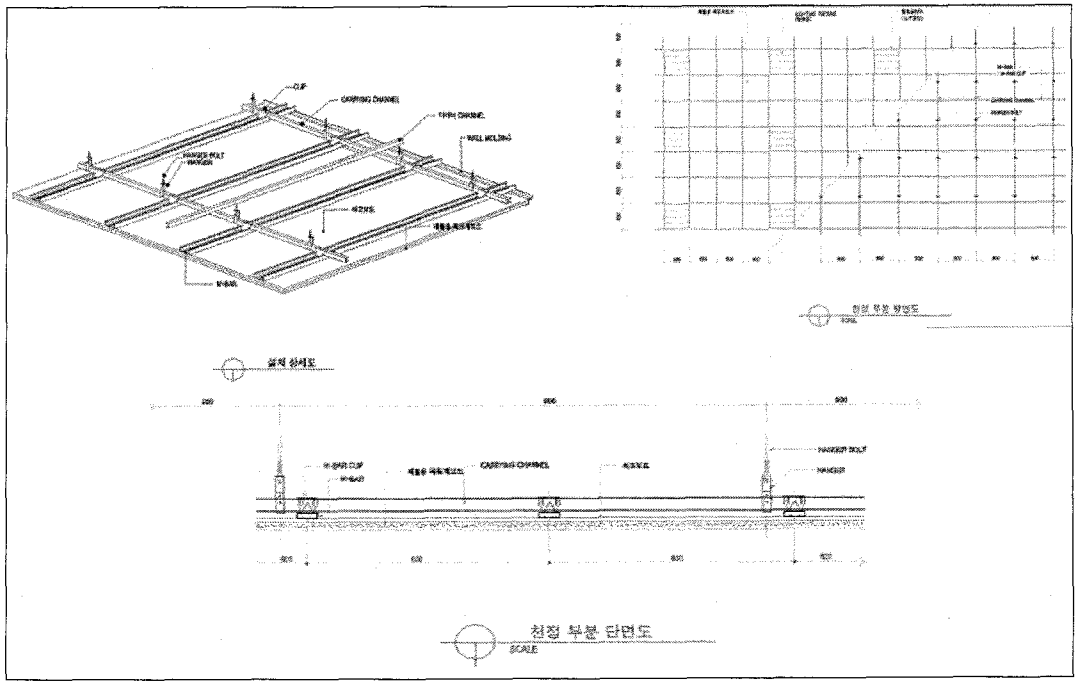

[그림 3.10.11] 난연시험 이후 목질계보드의 형상

## 2. 폐목질을 재활용한 목질계보드의 시공방법 결정

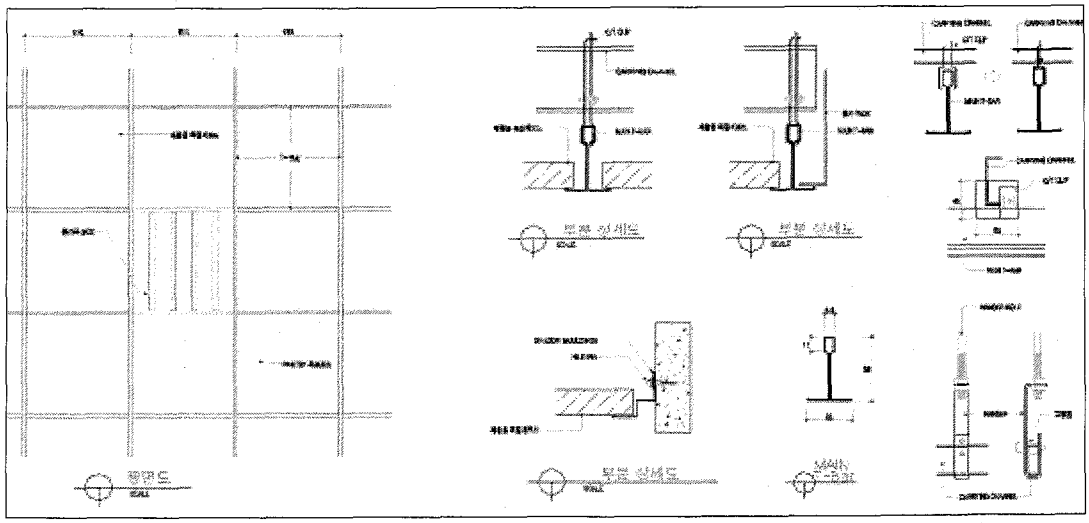
### 가. 개요

내부마감재(천장재, 벽체)로 활용하기 위한 디테일 도면을 작성하였다.

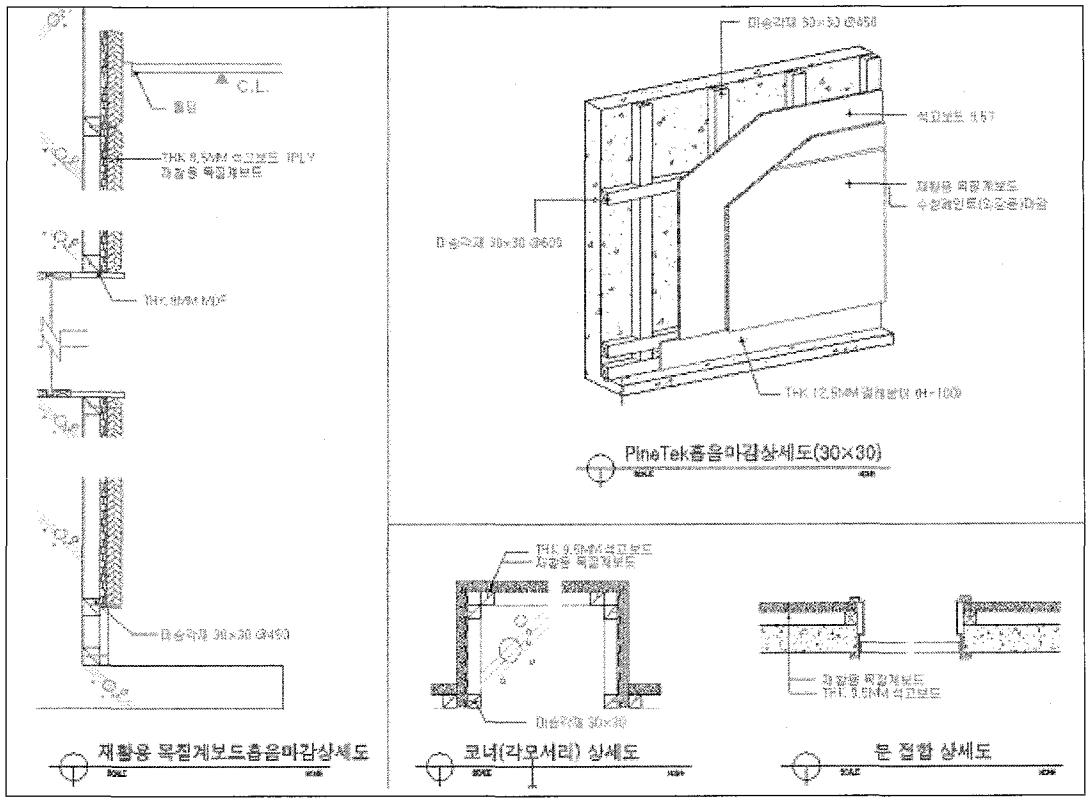
○ 천장재(M-Bar)



○ 천장재(T-Bar)



○ 내부 마감재


C.L.
PineTek흠음마감상세도(30×30)
재활용 목질계보드흠음마감상세도
코너(각모서리) 상세도
문 접합 상세도

## 3. 결론

(1) 건조기 통과하는 시스템으로 건조기 통과 한 후 측정한 7 일 강도에서는 함수율 감소폭이 큰 1.20, 1.25에서 많은 증진을 보임.

(2) 탈형 직 후 함수율은 대부분의 배합에서 43~49%의 범위로 나타남.

(3) 건조기 통화 후에는 모든 배합조건에서 20~25%의 함수율 나타냄.

(4) 초기 함수율은 배합조건 구분 없이 목질계의 함수율에 따라 큰 차이를 보이고 있으나, 건조기 통과 후 상온 건조 시 비슷한 수준으로 감소하는 것으로 나타남.

(5) 상온 건조시에는 15~20%의 감소율이 나타나며, 건조기 통과 시에는 37~47%의 함수율 감소가 나타남.

(6) 혼합형 목질계보드는 육안 관찰시 목재로 주로 구성되어 있어, 난연성능이 낮을 것으로 예상되었으나 목모를 결합시키는 시멘트가 혼합되며 난연성능을 향상시켜 방화재료 분류상 준불연재료에 해당하여 실내마감재로 사용이 가능한 것으로 판단.

(7) 건설폐목재를 재활용한 목질계보드는 판재형상이며 절단 및 재단이 용이하여 기존의 시공방법으로 사용되던 경량철재, 목상 등 시공부속자재를 사용할 수 있어 간단히 시공할 수 있다.

# 제 4 장 연구개발목표 달성도 및 관련분야에의 기여도

## 제 1 절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술개발 연구

### 1. 연구개발목표 달성도

| 목 표 | 달 성 도 (%) | 내 용 |
|---|---|---|
| ○ 천연굵은골재와 순환 잔골재 콘크리트의 특성변화가 구조부재의 역학적 성능에 미치는 영향<br><br>- 콘크리트강도: 27MPa<br>- 검토항목<br>・재료성능<br>・부착성능<br>・실물모형 휨, 압축, 전단<br>・장기/내구성 : 크리프, 부착내구성 | 120 | **가. 실험결과의 신뢰성 제고**<br>・현재 **국내 생산 가능한 최대품질의 순환잔골재를 선정하기 위하여 제조사별 총 20차례 이상 생산/시험**함으로써 구조설계기준 자료로서의 타당성 부여<br>・현장 실무에서 적용이 가능하도록 실제 현장조건과 동일한 레미콘 배합으로 순환골재 콘크리트를 생산/시험함으로써 실증적 연구결과 도출<br>・모든 실험체를 실물모형으로 계획하여 축소모형의 적용으로 인한 오차를 근본적으로 배제<br>**・현장도착 슬럼프 기준의 총량적 수량관리 방안 제시**<br>**나. 구조부재의 역학적 성능실험**<br>・재료역학적 성능<br>・철근 부착성능 평가<br>・순환잔골재 콘크리트 실물모형 휨성능 평가<br>・순환잔골재 콘크리트 실물모형 압축성능 평가<br>・순환잔골재 콘크리트 실물모형 보의 전단성능 평가 |
| ○ 구조설계 보완사항 정리 | 100 | 가. 일반사항<br>・실물규모의 순환잔골재 콘크리트에 대한 구조실험을 통하여 규명된 성능저하 현상으로부터 구조설계 보완사항 도출<br>・순환잔골재 콘크리트의 재료역학적 특성 규명<br>・실물모형 순환잔골재 콘크리트의 구조내력(휨, 전단, 압축)에 대한 규준 적합성 검증 → 순환골재의 치환율에 관계없이 설계기준 만족<br>나. 구조설계 보완사항 |

| | | |
|---|---|---|
| | | ▪ 순환잔골재 콘크리트의 부분적 재료 특성 보정계수 제시<br>▪ 순환잔골재 콘크리트의 부착특성 및 규준 적합성 평가 |
| ○ 오염건설잔토 정화시스템에 대한 현장적용성 평가 및 생산시스템 개선 | 100 | ▪ 오염건설잔토 정화시스템에 대한 생산시스템 개선<br>▪ 계면활성제 첨가율에 따른 유류오염 건설잔토의 세척정화 특성 검토<br>▪ 세척시간에 따른 정화 특성 검토<br>▪ 유류오염도에 따른 건설잔토의 세척정화 특성 검토<br>▪ 석유류의 종류에 따른 세척정화 특성 검토<br>▪ 유류오염 건설잔토의 정화방법에 관한 정화 특성 검토<br>▪ 가열방법 및 세척방법을 병용한 정화 특성 검토 |
| ○ 정화된 건설잔토의 관로공사용 골재 등 용도별 적용성 평가 및 분석 | 100 | ▪ 건설잔토 물리적 성질 및 입도 검토<br>▪ 건설잔토 관로공사용 골재 등 용도별 내구성 검토 |
| ○ 폐유리 타일의 물리적 성능 보완 | 100 | ▪ 임파괴하중 : 320N/㎝ 이상 확보 (340± 20N/㎝)<br>▪ 흡수율 : 1.6% 이하 확보(1.5± 0.05%)<br>▪ 치수안정성 : -0.7mm 이하 확보 (-0.65± 0.1mm) |
| ○ 폐유리 블록의 최적 조성 및 제조 조건 도출 | 100 | ▪ 블록 원재료 특성 분석<br>▪ 최적조성 확보<br>; 폐유리 미분 30~35wt%,<br>; 폐유리 조분 30~35wt%,<br>; 점토 30~35wt%, 혼합수 25~30wt%<br>▪ 제조조건 확보<br>; 성형압력 50 ~ 70kgf/㎠,<br>; 소성조건(소성스케쥴 참조) |
| ○ 폐유리 블록의 물리적 성능확보 | 100 | ▪ 압축강도 : 32MPa 이상 확보(35± 3MPa)<br>▪ 흡수율 : 2.0% 이하 확보(1.9± 0.05%)<br>▪ 열충격 : 이상없음.<br>▪ 치수안정성 : -1.2mm 이하 확보 (1.1± 0.2mm) |
| ○ 폐유리 타일 및 블록의 상용화 기반 기술 개발 | 100 | ▪ 폐유리 타일 및 블록의 경제성 평가<br>▪ 폐유리 타일 및 블록의 용도 및 디자인 설정 |

## 2. 관련분야에의 기여도

### 가. 기술적 측면

(1) 순환골재 콘크리트의 구조기준 설정 연구

건설산업은 대량의 천연자원을 재료로 이용하고 있으며, 건설공사에 수반하여 배출된 건설폐기물은 전체 산업폐기물 배출량의 50%를 차지하고 있음. 즉, 건설산업에서 폐기물 발생량의 억제와 리사이클링 문제의 중요성으로 인하여 폐콘크리트의 재활용에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 이러한 연구결과를 바탕으로 순환골재의 활용을 촉진함과 동시에 소정의 품질확보를 위한 「순환골재의 품질기준(안)」이 건설교통부에서 제정・고시되었다.

천연골재 콘크리트와 비교하여 순환골재 콘크리트에서 발생되는 성능저하 현상은 순환골재 표면에 부착되어 있는 모르타르에 근본적인 원인이 있음. 따라서, 순환골재 콘크리트의 성능개선 및 활용증대를 위해서는 ① 골재표면의 모르타르를 완전히 제거하는 기술, ② 모르타르 양을 정량적으로 측정하는 기술 및 ③ 순환골재 모르타르 부착량이 콘크리트의 제반 성질에 미치는 영향에 대한 규명을 통하여 순환골재 콘크리트의 품질과 성능을 평가할 수 있는 시스템을 구축하는 것이 필요하다.

현재까지 국내에서 수행된 순환골재에 관한 기존연구는 ①양질의 순환골재 생산기술(파쇄, 선별, 분리) ②순환골재를 사용한 콘크리트의 품질성능 규명 및 성능개선 ③순환골재 콘크리트의 품질기준 정립 등의 3분류로 진행되고 있음. 이 중에서 순환골재 표면에 부착된 모르타르를 완전히 제거하는 기술은 현재의 기술수준으로 개발이 어려울 뿐 아니라 경제성 및 실용성이 부족한 실정이다.

한편, 재료성능 측면에서 나타나는 순환골재 콘크리트의 성능저하 현상은 철근으로 보강된 구조부재에서 그 영향이 감소될 수 있으며, 이에 대한 폭 넓은 검증실험이 필요함에도 불구하고 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재의 역학적 거동을 분석하기 위한 실험연구 분야는 상대적으로 미흡한 실정이다.

따라서, 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재에서 발생가능한 성능저하 현상을 규명하고, 그 역적 특성을 규명함으로써 구조기준을 작성하고자 하는 본 연구개발 내용은 기술적 측면에서 순환골재를 사용한 콘크리트의 활용증대를 위해 반드시 요

구되는 매우 중요한 기술이라 판단된다.

(2) 건설잔토·폐유리 재활용 기술개발 연구

(가) 급증하는 건설부산물(건설잔토, 폐유리 등)의 합리적인 재활용 대책의 마련

기존에 건설잔토를 제외한 폐콘크리트, 폐아스콘 등의 건설폐재류에 대한 재활용 방안 연구는 일정한 수준이상에 도달하고 있으며,'건설폐기물의 재활용촉진에 관한 법률'등의 제도적 기준까지 마련된 상황이다. 하지만, 이를 제외한 건설잔토 등은 아직까지 오염 건설잔토의 품질을 개선할 수 있는 방안이나 활용할 수 있는 방안이 마련되지 못한 상황이므로 국내 건설폐기물 중간처리업체의 경우, 잔토를 반출할 만한 공간이 없어 야적한 후 그대로 방치하고 있는 실정이다.

재건축이나 재개발 등을 통해 발생되는 폐유리의 경우도 아직까지 활용기술 등이 마련되지 못한 실정이다. 폐병유리의 경우 대부분 제병공정에 재활용되고 있으나 건설공사에서 발생되는 폐유리의 경우는 유리의 색깔별로 수거해야 하고 각종 접착제, 목재류, 폐콘크리트류 등이 혼합되어있을 가능성이 높고 그 분류에 재활용하는 것이 불가능하다.

건설공사에서 발생되는 폐유리는 유리타일이나 유리블록 등 건설자재로서 개발하는 것이 가장 최적인 것으로 사료되나 아직까지 이에 대한 활용기술 등이 개발되어 있지 못하다.

(나) 건설잔토의 무분별한 사용으로 인한 오염방지

재개발, 재건축을 통해 배출되는 건설잔토는 건설폐기물과 혼합되어 배출되므로 이물질 함유량이 높고 지하수 등에 의한 함수량의 과다, 유출된 기름 등에 대한 오염이 우려되므로 이를 재활용하고자 할 경우 오염여부를 검토한 후 활용되어야 한다.

(다) 오염된 건설잔토의 적정 처리

현재 건설잔토는 발생시점에서 최종 처리 단계까지 아무런 제재 없이 처리되고 있어 건설잔토가 오염된 경우에 재사용에 의한 환경오염의 확산과 오염된 부지 위에 건축·토목 공사가 이루어져 간접적인 피해를 줄 수 있다.

건설잔토의 처리 방안, 즉 토사의 발생시점에서부터 관리할 수 있는 방안이 마련

될 경우 재사용에 의한 환경오염의 확산을 방지하고 생활환경에 간접적인 피해를 방지할 수 있다.

(라) 오염된 건설잔토의 처리 기술 개발

오염된 건설잔토의 처리 기술 개발은 건설잔토에 국한 되지 않고, 토양오염의 복원에 이바지할 수 있다.

- 현재 국내의 토양오염 복원 기술은 매우 미흡하며, 특히 현작 적용 기술이 취약한 실정임. 이에 건설잔토 처리 기술의 개발은 국토 전체에 확산되어 있는 오염된 토양을 현장에 직접 복원시킬 수 있는 기술 보급을 동시에 이룰 수 있다.

(마) 건설잔토의 재활용 기술 개발

건설잔토의 재활용 기술 개발은 오염토사의 적정 처리가 요구되어 지는 기술로서 오염 토사 정화 분야를 활성화 시킬 수 있기 때문에 그로 인한 일자리 창출과 건설 폐기물만을 처리하는 분야를 토사 처리 분야로 확대시켜 사회기반 확대로 발전될 수 있다.

(바) 건설 폐유리를 활용한 유리 타일 및 블록 개발

건설 폐유리를 활용한 유리 타일 및 블록을 개발하는 기술로 건설 폐유리를 활용한 제품 제조 기술을 관련 업체에 기술 이전하는 것이 가능하며, 이에 따라 폐기물로 처리되는 건설 폐유리의 재활용율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

## 나. 경제 · 산업적 측면

(1) 순환골재 콘크리트의 구조기준 설정 연구

건설생산에 있어서 구조물의 주요 구성재료인 콘크리트의 70~80%를 차지하고 있는 골재수요를 살펴보면 1985년에는 7,591만㎥에 불과하였으나 2000년에는 19,408만㎥로서 약 3배 정도 증가됨. 이와 같은 골재수요는 주택보급률이나 사회간접자본시설의 충족률을 감안할 때 향후에도 지속적으로 연간 약 2억㎥ 수준의 골재수요가 발생할 것으로 예상됨.

그러나 최근 환경 규제와 더불어 민원의 급증 등으로 인하여 골재자원의 안정적인 공급이 시급한 과제로 대두됨에 따라 천연골재 대체재로 재생골재의 활용이 큰 관심을 모으고 있음.

현재 현장에 반입되고 있는 레미콘에 사용되는 굵은골재의 비용은 8,500원/㎥ (2002년 지역별 골재가격 현황, 한국골재협회 조사자료)임. 이에 대하여 천연골재 가격의 약 절반수준인 재생골재를 약 30% 대체하는 경우 골재비용은 약 15% 저하된 가격인 7,225원/㎥으로 낮아지게 되며, 이를 연간 16,000,000㎥(2001년 한국레미콘공업협동조합 통계자료 기준)를 사용하는 우리나라의 골재산업현황에 비추어 본다면 연간 204억원의 골재비용이 절감이 기대될 수 있음.

한편, 건설생산현상에서 재생골재를 생산할 경우 건물해체와 폐기물 적하 및 분쇄과정을 거치면서 투입되는 에너지비용은 1㎥당 1,022원인 것에 비해 산림골재를 생산할 경우 오지 속으로 장비를 투입하고 인력이 동원됨으로서 1㎥당 1,748원의 에너지비용이 소모된다고 보고되고 있음. 또한 재생골재 생산시 에너지 소비로 인한 이산화탄소 배출이 1㎥당 6.172kg이지만 산림골재 채취시에는 10.126kg이 배출돼 대기환경을 고려할 때 순환골재 생산이 경제적 측면뿐만 아니라 환경보호측면에서도 훨씬 유용한 것으로 보고되고 있음.

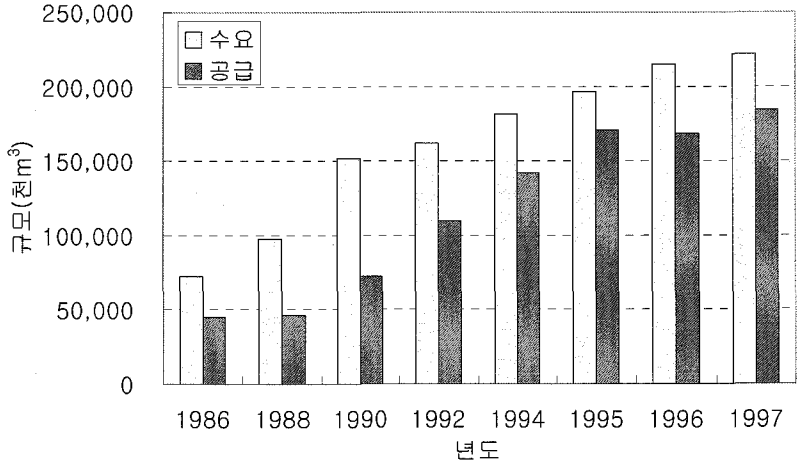
따라서, 구조체 콘크리트용 천연골재를 폐콘크리트부터 생산된 순환골재로 대체할 수 있는 기술은 재료자체의 생산비용의 절감효과 뿐만 아니라 불법투기에 의한 환경피해의 예방, 골재자원의 부족에 대응한 골재공급의 증대 등과 같은 부차적인 효과와 더불어 재생콘크리트 및 콘크리트 2차제품의 생산에 의한 3,000억원 규모의 레미콘 등 건설생산 소재를 생산하여 국가건설 경제적으로 그 효과가 매우 클 것으로 예상됨.

(2) 건설잔토·폐유리 재활용 기술개발 연구

(가) 새로운 골재원으로서 건설잔토 활용에 대한 기술적 검증과 그에 따른 골재부족난 해소 기여

건설잔토를 노반재, 노상재, 관로보수재 등으로 활용하기 위해서는 건설잔토의 개질을 위한 적정처리 시스템의 확보 및 적절한 용도가 마련되어야 하며, 효과적이고 안정적인 활용이 이루어질 경우, [그림 5]와 같이 부족한 골재난을 다소 해소할 수

있는 새로운 골재원으로서 그 가치를 인정받을 수 있으며 그에 따른 건설산업 경쟁력 제고가 가능하다.




[그림 4.1.1] 연도별 골재허가/공급실적

(나) 건설잔토 및 폐유리의 재활용을 통한 매립지 수명연장

국내 폐기물 매립지는 1999년을 기준으로 총 344개소, 30,123천㎡가 조성되었으며, 총 매립용량은 41,285만㎥으로, 이중 1999년도까지 매립된 용량은 총 10,647만㎥이고, 잔여 매립량은 30,638만㎥으로서 현재 매립지 용량은 향후 약 25년간 사용할 수 있는 면적이다.

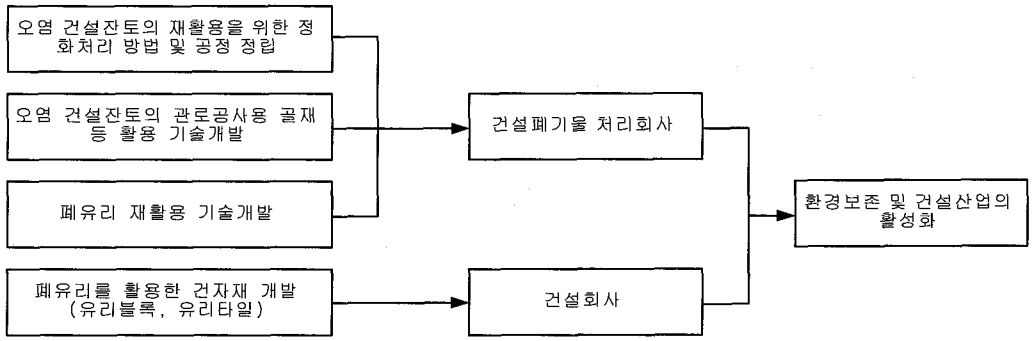
김포 수도권 매립지의 경우 1999년 매립량을 기준으로 향후 39년 동안 매립이 가능한 용량을 확보하고 있으나, 이를 제외한 전국 매립지의 평균매립 가능량은 향후 8년이면 매립장의 용량을 채우는 것으로 예상된다.

<표 4.1.1> 폐기물 종류별 매립지 반입현황(수도권 매립지)

| 년도 | 계 (천톤) | 생활폐기물 | | 사업장폐기물 | | 건설부산물 | | 연탄재 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 반입량 (천톤) | 비율 (%) | 반입량 (천톤) | 비율 (%) | 반입량 (천톤) | 비율 (%) | 반입량 (천톤) | 비율 (%) |
| 1996 | 8,613 | 4,315 | 50.1 | 2,384 | 27.7 | 1,857 | 21.6 | 57 | 0.7 |
| 1997 | 7,702 | 4,007 | 52.0 | 1,981 | 25.7 | 1,683 | 21.9 | 31 | 0.4 |
| 1998 | 6,604 | 3,468 | 52.5 | 1,885 | 28.5 | 1,234 | 18.7 | 17 | 0.3 |
| 1999 | 6,028 | 3,079 | 51.1 | 1,401 | 23.2 | 1,532 | 25.4 | 16 | 0.3 |
| 2000 | 6,206 | 2,933 | 47.3 | 1,603 | 17.1 | 2,200 | 35.4 | 10 | 0.2 |

<표 4.1.1>은 수도권 매립지의 종류별 폐기물 반입 현황을 조사한 것으로 전국의 매립지가 수도권 매립지와 동일하다는 가정을 하면 전국적으로 건설폐기물의 반입은 계속적으로 증가하는 현상을 보이고 있다.

연간 350만톤가량 발생하는 건설잔토를 건설용 골재 또는 관로보수용 재료로서 적극 활용할 경우, 그리고 연간 85만톤가량 발생하는 폐유리를 적극적으로 활용할 경우 매립지 수명연장이 가능할 것이다.




[그림 4.1.2] 본 연구가 건설산업에 미치는 영향(건설잔토 및 폐유리분야)

# 제 2 절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구

## 1. 연구개발목표 달성도

### 가. 연구개발 목표의 달성도

| 목 표 | 달성도 (%) | 내 용 |
|---|---|---|
| ○ 표준정보처리시스템 운영 | 100% | 표준정보처리시스템 현장적용 테스트 |
| ○ 자체차량 계량시스템 운영 | 100% | 자체차량 계량시스템 현장적용 테스트 |
| ○ 실시간 정보처리시스템 운영 | 100% | 실시간 정보처리시스템 현장적용 테스트 |
| ○ 순환골재 사후관리시스템 운영 | 100% | 순환골재 사후관리시스템 현장적용 테스트 |

## 2. 관련분야의 기여도

### 가. 건설폐기물 업체의 표준정보화 시스템

(1) 산업분야 : 건설폐기물관련업체

(2) 파급효과 : 건설폐기물 관련 중간처리 수집운반 배출이외에도 타 폐기물의 관련 산업에도 적용할 수 있을 것으로 예상한다.

## 나. 자체차량을 이용한 계량시스템

(1) 산업분야 : 화물을 적재하는 모든 차량의 운송 분야 및 모든 센서에 적용 가능하므로 상당한 경제적 파급과를 기대할 수 있을 것으로 예상한다.

(2) 파급효과 : 건설폐기물 관련 산업이외의 모든 건설 분야의 운송부분 더 나아가서는 모든 화물을 적재한 모든 차량에 적용할 수 있을 것으로 기대한다. 또한 과적 및 폐기물 불법 투기에 대한 손실을 산술적으로 나타내긴 힘들지만 파손된 도로의 복구비, 차량수리 및 교체비, 과적 단속에 따른 벌금, 폐기물 불법 투기에 따른 벌금, 불법 투기된 폐기물의 재처리 비용 등 손실 비용을 최소화 할 수 있다.

## 다. 순환골재 품질인증 제품 사후관리 시스템

(1) 산업분야 : 온라인 실시간 내용 확인 및 발주자 실시간 확인, 카메라를 통한 순환골재 확인 구현을 통해 폐기물 업체뿐만 아니라 건설업체, 물류, 운반 등등 관리 감독이 필요한 모든 분야에 적용될 수 있을 것이다.

(2) 파급효과 : 온라인·실시간이라는 획기적인 관리시스템을 구현함으로서 빠르고 정확한 관리를 통해 상당한 경제적 파급효과를 기대 할 수 있을 것으로 예상한다.

# 제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 투수성 아스팔트 포장의 재료 및 시공기술 개발

## 1. 연구개발 목표의 달성도

### 가. 연구개발 목표의 달성도

(1) 순환골재의 사회적 인식 변화

○ 국가의 발전과 개발을 최우선으로 삼던 세계 여러 나라들과 더불어 국내에서도 환경에 대해 관심을 기울이게 되면서 1996년 6월 5일을 '환경의 날'로 지정하고 여러 행사를 진행해오고 있다. 불과 몇 십 년 전만 해도 무차별한 개발을 일삼았던 건설 분야에서도 환경이라는 용어는 더 이상 낯선 것이 아니다. "환경적으로 건전하고 지속가능한 개발(ESSD: Environmently Sound and Sustainable Development)"만이 건설에서의 대안이 되고 있다. 이러한 사회와 국민의 달라진 요구에 발맞춰 건설 사업에서 건설폐기물의 활용에 대한 관심도 크게 증가하였다.

이에 건설폐기물을 재활용한 순환골재는 개방된 사회적 인식의 변화와 함께 국내 생산 업체의 기술적 변화로 일반 천연 쇄석 골재와 비슷한 기초물성을 보이고 있다. 이에 따라 아스팔트 혼합물로써의 가능성을 높였다.

○ 국내·외 연구 동향을 살펴보면 폐 콘크리트 순환골재를 이용하여 순환 콘크리트에 적용하는 연구와 포장 입상재료 적용 타당성 연구의 수행이 많으며 국내에서 가장 활발한 연구는 순환골재를 적용한 도로 하부구조용인 매립형 활용에 국한된 것으로 파악되었다.

(2) 순환골재 적용을 위한 고점도 아스팔트 바인더 선정

○ 국내 바인더 품질 및 성적서 비교 분석_국내 실정에 맞는 기층용 바인더 사용(순환골재를 적용할 아스팔트 바인더(AP-5) 선정)

○ 순환골재에 적용할 최적 바인더 6%내외 함량이 안정적 결과를 도출하였다.

(3) 순환골재를 사용한 아스팔트 기층 혼합물의 배합 설계 및 기층 혼합물의 내구성 평가

○ 비중 및 흡수율 시험 결과 합성입도 시, 비중은 천연골재 2.701, 순환골재 2.658, 재생골재 2.598로 천연골재 기준 시방기준치 2.5이상을 모두 만족하였다.

○ 비중 및 흡수율 시험 결과 합성입도 시, 흡수율은 천연골재는 0.973 순환골재는 2.790, 재생골재는 6.568로 천연골재 기준 시방기준치 3.0% 이하를 천연골재와 순환골재는 만족하였으나 재생골재는 그 기준을 크게 벗어났으나, 순환골재와 재생골재를 평가하는 기준이 적립되어야 한다고 판단한다.

○ 이물질 함유량 시험 결과 유기이물질 함유량(부피) 시방기준인 1%이하를 순환굵은골재는 0.08%, 순환잔골재는 0.02%, 재생굵은골재는 0.03%, 재생잔골재는 0.44%로 모두 만족하였고, 무기이물질 함유량(질량) 시방기준인 5% 이하는 순환굵은골재는 0.59%, 순환잔골재는 0.09%, 재생굵은골재는 0.43%, 재생잔골재는 0.78%로 모두 만족하였다.

○ 편장석률 시험 결과 천연골재는 19.91%, 순환골재는 16.78%로 국내 시방기준인 20%이하는 만족하였으나, 외국의 기준보다는 많이 미흡한 것으로 판단된다.

○ 마모감량 시험 결과 천연골재는 21.88%, 순환골재는 19.90%, 재생골재는 36.8%로 국내 시방기준인 40% 이하를 모두 만족하였다.

○ 골재평가를 종합한 결과 흡수율을 제외한 모든 부분에서 천연골재기준을 따르는 것이 무방하나, 순환골재와 재생골재의 특성을 고려하지 않은 흡수율 기준을 조정해야할 필요가 있고 판단된다.

(4) 순환골재의 환경적 용출 특성 분석

○ 조건변화에 따른 환경적 용출 실험 결과를 종합적으로 살펴보면 pH 6-7 범위에서는 금속별 용출량은 극히 미미한 값을 보여주고 있으며, 일반적으로 강우 시, 도로 노면 유출수의 pH가 5.61~7.77 로 나타났고, 이를 바탕으로 보았을 때, 순환 골재에서 용출되는 중금속은 거의 확인 할 수 없는 것으로 추정할 수 있으며, 환경적으로 안정한 것으로 확인 되었다.

○ 동적 Column test를 통한 오염물질 거동 분석 결과 순환 골재 1g에서 CaO 15.3ppm이 발생한 것으로 추산할 수 있다. 이는 전체 순환 골재 조성에서 차지하는 CaO 성분 중 약 11%만이 용출된 것을 의미하며, 이는 환경영향에 크게 미치지 않는 수준인 것으로 확인 되었다.

(5) 순환골재를 적용한 아스팔트 혼합물 배합설계

○ 가열 아스팔트 기층 혼합물의 배합설계에서 천연 쇄석 골재를 사용한 혼합물의 최적 AP 함량이 5.32%, 순환골재를 사용한 혼합물의 최적 AP 함량이 5.80%, 재생골재를 사용한 혼합물의 최적 AP 함량이 6.93%로 나타났다.

○ 순환골재를 아스팔트 기층에 활용하기 위한 실험에서 목표 공극률 5%에 맞는 안정도 및 흐름치, 골재 간극률(VMA), 포화도(VFA) 모두 국내도로공사 시방기준인 가열아스팔트 기층(BB-3) 하한 기준치에 적합한 것으로 입증했다.

○ 재생골재를 아스팔트 기층에 활용하기 위한 실험에서 목표 공극률 5%에 맞는 안정도 및 흐름치, 골재 간극률(VMA) 모두 국내도로공사 시방기준인 가열아스팔트 기층(BB-3) 하한 기준치에 적합한 것으로 입증되었으나 포화도(VFA) 부분은 63.9% 로 기준치인 65~75% 에 만족하지 못하는 결과를 나타냈다.

(6) 순환골재 사용 아스팔트 혼합물 구조성능 및 공용성 평가

○ 구조적 평가로 Indirect Tension Test 에 의한 동탄성계수를 실측한 결과 본 연구에서 개발된 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물이 기층재 적용에 가능하다.

- 구조적 평가로 Indirect Tension Test 로 간접인장강도 측정한 결과 본 연구에서 개발된 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물과 재생골재를 사용한 아스팔트 혼합물 모두 기층재 적용에 가능하고, 오히려 흡수율이 높은 골재를 사용할수록 골재와 AP 간의 부착력이 증진되어 천연골재 보다 더 높은 강도를 나타냈다.
- 구조적 평가로 강원대 김광우 교수팀이 개발한 Kim Test 라고 명명된 변형강도 시험을 수행한 결과 본 연구에서 개발된 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물과 재생골재를 사용한 아스팔트 혼합물 모두 기층재 적용에 가능하다고 보이나 적은 수의 시편을 시험하였기에 그 결과의 타당성이 부족하다.
- 공용성 평가로 기층재 Wheel Tracking Test로 반복 교통 하중에 의한 Rut Resistance를 실측한 결과 순환골재를 사용한 아스팔트 혼합물과 재생골재를 사용한 아스팔트 혼합물 모두 기층재 적용에 가능하고, 오히려 천연골재 보다 더 좋은 저항성을 나타냈다.
- 공용성 평가로 포장체 모사 HWLS(HEART Wheel Load Simulator)를 이용하여 실측한 결과 순환골재를 사용한 아스팔트 기층용 혼합물의 지지력에 미세한 압력이 가해지는 것을 찾을 수 있었으나 구조적으로 큰 문제가 발생할 우려는 아닌 것으로 판단된다.

(7) 현장시험 시공

본 연구기관(중앙대학교)과 참여기업((주)유진컨스트택)은 신설 도로 건설 현장 중 연구 목적에 맞는 일 교통량 25,000대(예상) 현장을 조사한 결과, 많은 현장 중, 위치와 연구목적에 적합하고 현재 공용중인 서울시 중랑구 신내동에 위치를 선정하고, 2007년 11월 23일에 현장 시험 시공을 하였다.

(8) 시험시공구간의 초기 역학적 공용성 평가 - FWD 이용

서울시 중랑구 신재동에 2007년 11월 23일에 현장 시험 시공한 구간의 공용성 평가를 위해 FWD(Falling Weight Deflectometer)를 이용하였다. 순환골재 기층이 천연골재 기층보다 처짐량이 조금 더 발생하긴 하였으나, 실제 공용에 영향을 미치

거나, 구조적, 공학적으로 문제가 되지 않았기 때문에, 순환골재를 기층재료로 사용해도 무방하다고 판단된다.

(9) 천연골재와 순환골재, 재생골재의 경제성 평가

- 본 연구진이 연구한 순환골재를 도로 포장용인 고부가가치의 재료로 사용하게 되면, 첫째, 도로포장비용이 저감되고, 둘째, 건설폐기물을 재활용하여 재료로 사용하기 때문에 폐기물 처리비용이 저감 되고, 셋째, 건설폐기물을 단순하게 처리하던 폐기물 처리장을 개발해야 하는 부분의 비용이 저감되고, 넷째로, 천연재료의 사용의 수요가 줄어서 국토환경보전과 생활환경개선이라는 비용으로 따질 수 없는 많은 이점들이 있고, 이밖에도 많은 이점들이 있다.
- 천연골재는 1㎥ 포장 시 81,240원, 순환골재는 78,840원으로 1㎥ 당 2,400원이 절감되었다. 순환골재의 도로 기층재로 적용이 가능해질 경우 최근 지속되고 있는 골재난 해소에 상당부분 도움이 될 것이다. 또한 순환골재의 사용이 활성화될 경우 막대한 골재 비용이 절감될 것이다.

## 나. 계획대비 수행실적

국내·외 문헌조사, 순환골재의 기초물성 실험 및 환경성 실험, 순환골재를 도로산업에 적용하기 위한 아스팔트 혼합물의 구조 성능 분석, 아스팔트 포장체의 구조 및 공용성 평가, 순환골재를 도로 산업에 적용하기 위한 경제성 자료 분석, 순환골재를 적용한 아스팔트 기층의 시험시공 구간 결정 등을 충실하게 수행하여 당초 목표한 과제수행을 충실히 이행하였다.

그 결과 건설폐기물을 재활용한 순환골재에 대한 도로 구조물인 기층재의 가능성을 제시였다. 현재까지 연구된 자료 및 시공법 순환골재를 도로 구조물에 사용할 재료의 검증과 기층재료 사용에 관한 지침을 수립하기 위한 4차년도 2차 실내 실험 및 2차 현장 시험 시공 등을 계획, 수립을 하였다.

국가의 발전과 개발을 최우선으로 삼던 세계 여러 나라들과 더불어 국내에서도 환경에 대해 관심을 기울이게 되고 사회와 국민의 달라진 요구에 발맞춰 건설 사업에서 건설폐기물의 활용에 대한 관심도 크게 증가하였다.

순환골재를 이용한 아스팔트 기층 현장 배합용 시공 지침(안) 제시에 관한 부분의 연구는 지금의 당해 연도 연구 성과로는 공학적인 판단을 기준으로 부족하다고 판단되어 차년도 연구 수행 기간에 추가적인 실내실험과 현장시험 시공 결과를 바탕으로 지침을 제시 하겠다.

## 2. 연구개발 대외기여도

### 가. 기술발전 기여도

건설폐기물을 재활용하는 세계 환경산업은 향후 수 십년 동안 급속한 성장이 예상되며, 건설교통부와 환경부는 친환경 및 안정성, 경제적 제고 분야를 국가 전략사업으로 인식하고 육성을 추진하고 있다. 또한 국민 생활수준 향상에 따라 도로 건설산업과 환경에 대한 국민적 관심과 요구는 지속적으로 증가하는 추세이다. 본 연구 결과인 순환골재를 적용한 아스팔트 기층 포장은 이러한 정부의 정책 및 국민적 요구를 충족시킬 수 있을 것이다.

건설폐기물을 적용한 도로 구조물인 친환경 포장 형식이 국내·외로 아직 적용되지 못하고 있다. 국내에서 순환골재의 균질한 품질을 재료로 이용하여 최적의 포장 재료를 개발하고 관련 시험, 시공법을 개발함으로써 기존의 경험적이고 영세한 국내 기술을 향상시킬 수 있다. 이를 통하여 사용자와 상호작용을 통한 도로포장의 신뢰를 회복할 수 있다.

순환골재를 적용한 아스팔트 기층의 적용 범위는 일반국도와 고속국도의 본선 구간, 도심부 대형 주택 단지와 인접대로, 도심지 대로 및 중로 등 모든 곳에 적용할 수 있다.

또한 건설폐기물을 재활용하는 도로의 구조적 안정성을 확보하면 천연골재의 대체 자원으로 실현함으로써 사회적인 비용을 절감할 수 있으며, 기존의 일반 도로의 기능을 발휘할 것이다.

### 나. 기대효과

본 연구 결과를 이용한 기대효과를 기술적 측면, 경제·산업적 측면, 환경적 측면, 사회적 측면으로 구분하였다. 다음 표는 이를 정리한 것이다.

| 구분 | 기 대 효 과 |
|---|---|
| 기술적 측면 | - 기능성/환경성/내구성을 고려한 신개념 포장 시스템 개발<br>- 순환골재의 고부가 가치용으로 균질성 확보<br>- 순환골재의 효과적인 활용으로 부정적 사회적 인식 전환<br>- 다양한 형태의 포장 기술의 개발<br>- 건설산업의 골재난을 해소하는 새로운 골재원으로 이용 |
| 경제·산업적 측면 | - 품질기준 및 각종 기준에 근거한 순환골재의 활용증대로 경제수요 창출<br>- 골재의 재활용으로 건설 폐기물의 환경처리 비용 절약<br>- 국내 골재 산업현황으로 천연골재의 30%를 순환골재 이용 시 연간 200억원 이상의 골재 비용 절감 예상<br>- 환경 및 도로, 기계 산업 분야의 활성화 기대 |
| 환경적 측면 | - 건설폐기물 중간 처리업체등 관련 환경산업분야의 경쟁력 제고와 기술보급에 기여<br>- 건설폐기물을 재활용함으로써 폐기 및 매립에 따른 환경오염 방지에 기여<br>- 국가의 한정적 매립장 운영에 따른 활용화 기대 |
| 사회적 측면 | - 향상된 도로 및 환경 서비스에 대한 욕구 만족도 증가<br>- 친환경적 도로 정책 추진을 통한 대국민 신뢰도 상승 효과<br>- 건설폐기물에 대한 재활용율 활성화 |

# 제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산시스템 개발

## 1. 연구개발목표 달성도

본 연구의 3차년도 최종목표인 고품질 순환모래 생산시스템의 보완 및 성능향상 기술개발에 관한 연구개발목표의 달성도는 표 4.2에 나타낸 바와 같으며, 당초 계획되었던 연구내용을 충실히 수행하여 연구개발 목표를 성공적으로 순조롭게 달성하였다.

| 목 표 | 달성도 (%) | 연구결과 및 수행내용 |
|---|---|---|
| • 입도개선을 위한 전처리 장치 및 공정 개선 | 100 | • 건식생산시스템 I(직렬식) 및 II(병렬식)의 선별장치를 개선하여 5mm이상의 순환골재를 제거하고 선별효율을 향상시킴으로서 생산된 순환모래의 입도개선<br>- 파쇄 및 선별효율 향상을 위한 장치부품 및 공정 개선<br>- 전처리 공정의 전력소비량 및 순환모래 생산량 평가 |
| • 입형개선 및 분리효율 향상을 위한 건식비중분리장치 및 공정 보완과 고품질 순환모래의 품질평가 | 100 | • 순환모래의 입형 및 입도를 개선하기 위해 고속회전충격식 비중분리장치와 원심력 미분말 집진장치 사이에 미세립 분리장치와 순환모래의 부착모르타르 분리효율 향상을 위한 파쇄마쇄장치를 설치하고 고속회전충격식 비중분리장치를 개선<br>- 순환모래의 입형개선을 위한 장치 및 공정 개선<br>- 순환모래의 부착모르타르 분리효율 향상을 위한 장치 및 공정 개선<br>- 비중분리공정에서 생산된 순환모래의 품질평가 |
| • 미분말의 효율적 집진을 위한 집진장치 및 공정 개선 | 100 | • 미세분진에 대한 대책이 필요하고 순환모래 품질 개선효과의 최적화에 도달하지 못하는 문제점을 도출하여 개선방안으로서 원심력 미분말 집진장치 흡입팬의 흡입력을 강화하였음<br>- 건식집진공정의 문제점 및 개선방안 도출<br>- 원심력 미분말 집진장치의 부품 및 공정개선 |

## 2. 관련분야에의 기여도

본 연구의 3차년도 최종목표인 고품질 순환모래 생산시스템의 보완 및 성능향상 기술을 개발함으로서 다음과 같아 국가건설산업분야에서 기여도가 상당할 것으로 판단된다.

- 본 연구개발을 통해 막대한 양의 폐기콘크리트 덩어리를 콘크리트용 잔골재로 재활용함으로서, 건설산업용 모래 수급 불균형 문제를 해결하고, 건설폐기물에 의한 환경오염을 저감할 수 있으며, 향후 미래의 건설산업용 모래 부족난에 적극적이고 능동적으로 대처할 수 있는 국가적인 산업기반조성에 활용될 것으로 판단된다.
- 본 연구에서 사용하고 있는 건식생산방식은 가열마쇄·수처리방식 등 기존 순환골재 생산방식에 비해 생산성, 경제성이 우수할 뿐만 아니라, 세척수 등에 의한 환경오염을 방지할 수 있다.
- 본 생산시스템을 응용하여 부순모래 생산공정 등 기타 골재생산 분야로의 확대 적용이 가능할 것으로 판단되며, 생산된 미분말은 다양한 2차제품에 활용이 가능할 것으로 사료된다.
- 순환모래의 고품질화를 통해 구조체 콘크리트에 적용가능하며, 순환모래 생산시 부수적으로 발생되는 미립분을 건식집진함으로서 환경부하저감 및 미분말의 2차 제품으로 활용함으로서 고부가가치화를 도모할 수 있다.
- 순환모래의 고품질화를 통해 구조체 콘크리트에 적용가능하며, 순환모래 생산시 부수적으로 발생되는 미립분을 건식집진함으로서 환경부하저감 및 미분말의 2차 제품으로 활용함으로서 고부가가치화를 도모할 수 있다.

# 제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환 모래 이물질 제거장치 개발

## 1. 연구개발목표 달성도

본 연구의 3차년도 최종목표인 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계 및 제작과 순환모래의 품질검증에 관한 연구개발목표의 달성도는 표 18에 나타낸 바와 같으며, 당초 계획되었던 연구내용을 충실히 수행하여 연구개발 목표를 성공적으로 순조롭게 달성하였다.

| 목 표 | 달 성 도 (%) | 연구결과 및 수행내용 |
|---|---|---|
| • 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계 및 제작 | 100 | • 목표 생산량을 처리하기 위한 상품화용 샌드플럭스 장치의 용량 및 공정 설계(150Ton/hr)<br>• 상품화용 샌드플럭스 장치의 세부설계 및 주요 장치 제작(플럭스 탱크, 슬러지 펌프, 슬러지 탱크, 탈수스크린 등) |
| • 시작품 샌드플럭스 장치의 운전조건 및 생산현황 파악 | 100 | • 시작품 샌드플럭스 장치의 운전조건 파악 ($2.8kg/cm^2$)<br>• 시작품 샌드플럭스 장치의 생산현황 파악 (80Ton/hr) |
| • 시작품 샌드플럭스 장치에서 생산된 순환모래의 품질 검증 | 100 | • 총 7차에 걸친 순환모래의 기초물성 평가<br>• 시작품 샌드플럭스 장치의 투입 전·후의 순환모래의 모르타르 및 콘크리트 품질특성 평가 |
| • 연구실적 관련 | 100 | • 학술회의 발표논문 [2건] 완료<br>• 학술지 게재논문 [2건] 완료<br>• 국제회의 유치 [1건] 완료<br>• 연구개발관련 홍보 [2건] 완료 |

## 2. 관련분야에의 기여도

본 연구의 3차년도 최종목표인 상품화용 샌드플럭스 장치의 설계 및 제작과 순환모래의 품질검증을 성공적으로 실행함으로서 다음과 같아 국가건설산업분야에서 기여도가 상당할 것으로 판단된다.

- 현재 국내에서도 다양한 기술의 습식생산방식이 적용되고 있으나, 투자비용에 비해 생산되는 순환모래의 품질이 열악한 실정이며, 본 연구개발의 샌드플럭스 장치를 기존 생산시스템에 적용함으로서 우수한 품질의 순환모래 생산이 가능할 것으로 판단되며, 향후 건설산업용 모래 수급 불균형 문제를 해결하고, 건설폐기물에 의한 환경오염을 저감할 수 있으며, 향후 미래의 건설산업용 모래 부족난에 적극적이고 능동적으로 대처할 수 있는 국가적인 산업기반조성에 활용될 것으로 판단된다.

- 더욱이, 본 연구개발의 장치는 기존 생산시스템의 변경 없이도 설치가 가능하므로 기술적인 측면에서 기존 시장으로의 진입이 유리할 것으로 판단된다. 또한, 기존의 유사기술에 비하여 유기이물질의 분리 및 제거효율이 우수하여 고품질 순환모래의 대량 생산이 가능함으로 국내 건설현장의 안정적인 공급의 실현으로 관련 시장에서의 점유 가능성이 매우 높을 것으로 예상한다.

- 또한, 건설폐기물을 순환모래로 재활용하면서 성상에 따른 유기이물질을 정확히 분리하는 장치를 개발함으로써 건설폐기물 파쇄업체의 깨끗한 작업현장 확보가 가능하며, 이물질이 제거된 건설폐기물이 매립지로 반입되어 매립된다면 환경 오염방지 및 부하개선 효과가 증대될 것으로 판단된다.

# 제 6 절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발

## 1. 연구개발 목표의 달성도

| 목 표 | 달 성 도 (%) | 연구결과 및 수행내용 |
|---|---|---|
| ○ 토분 이물질 제거장치의 1차 시제품 성능 보완 | 100 | • 송풍장치 연구 및 확립<br>• 자연풍 적용성 연구 및 확립<br>• 투입 토분의 함수율에 따른 이물질 분리효율 측정<br>• 투입 토분의 이물질 함유량에 따른 분리효율 측정<br>• 진동 플레이트와 고정 데크의 비교 분석<br>• 최적화된 플레이트의 확립<br>• 소음 발생량 측정 및 대책수립<br>• 미세먼지 발생량 측정 및 대책 수립 |
| ○ 시제품에서 생산된 토분의 활용용도 연구 | 100 | • 처리 용량에 따른 토분의 품질특성 평가<br>• 생산된 토분의 품질 분석<br>• 생산된 토분의 활용성 검토 |
| ○ 성능 보완된 2차 시제품의 제작 및 성능 평가 | 100 | • 2차 시제품 제작<br>• 2차 시제품 성능 평가 |
| ○ 보고서 작성 | 100 | • 보고서 작성 |

## 2. 관련분야에의 기여도

○ 비록 본 개발기술이 건설폐기물 중 토분처리를 대상으로 하는 기술이나, 중량부(Heavy fraction)와 경량부(Light fraction)가 서로 섞여있는 여러 가지 다양한 solid-solid혼합물의 건식분리 기술개발에 응용 가능

○ 식품산업 혹은 화공산업 분야 중 이물질 건식분리 기술개발에 응용 가능

# 제 7 절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 당초계획 대비 연구목표의 달성도

| 연구목표 | 달성도 | 주요 내용 및 범위 |
|---|---|---|
| ○ 구성요소별 기준시스템 및 공정 최적화 설계 | 85 % | • 고화공법의 안정화 및 개발공정의 완성<br>• 건설오니 특성 체계화와 고화재 개발<br>• 시공성, 실용화를 위한 기반기술의 경제성 평가<br>• Mock Up Test 시행 및 평가<br>• 기술개발 개선요소 수정/보완<br>• Pilot Plant 설계(표층, 심층) |

## 2. 연구개발성과의 기여도

○ 3차년도 연구성과를 종합하면 건설오니 기초특성을 바탕으로 최적의 재활용방안을 설정하고 각 방안별 배합설계 성능평가 및 개선을 통한 최적 배합조건의 도출 및 공정과 공법의 연구를 병행하여 재활용 기술의 시스템화 기초를 마련

○ 연구성과의 경제적 실효성 분석을 통한 고부가가치 재활용 기술개발의 실효성을 지속적으로 검증

| 최종목표 | 기여도 | 당해연도 연구개발 성과 |
|---|---|---|
| ○ 건설오니 재활용 기술개발 | 30 % | • 건설오니 특성정립 및 최적 활용방안 설정<br>- 관련 자료의 Data base화<br>- 경제성 분석을 통한 사업화 실효성 증대<br>• 건설오니를 활용한 흙도로포장재료 개발<br>- 현장적용평가를 통한 신뢰도 향상<br>• 현장재활용 고화토 처리시스템 개발 |
| ○ 건설오니 재활용 표준안 제시 | 30 % | • 소재별 시스템 최적화<br>- 재활용 pilot plant 기술설계<br>- 시범사업 추진 평가요소 도출 |

# 제 8 절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 연구개발목표의 달성도

| 목 표 | 달성도 (%) | 연구결과 및 수행내용 |
|---|---|---|
| ○ 폐콘크리트 세립분을 이용한 미장용 모르터 제조 기술 확립 | 100 | ○ 미장용 모르터 제조 공정 확립을 위해 설계안 선정<br>- 현장여건 및 설치비용을 고려하여 최적 제조 공정 확립<br>○ 제조한 미장용 모르터 성능 검토<br>- Pilot plant 설비를 이용, 대체율 20%일 때 KS 기준 및 기존 제품과 대등한 성능 발현 |
| ○ 미장용 모르터 및 수열합성 제품 생산용 Pilot plant 시스템 설계 | 100 | ○ 미장용 모르터 Pilot plant 설계<br>- 건조 모르터 제조공정을 기반으로 설계안 도출<br>- 기존 모르터 제조공정 분석을 통한 최적 시스템 설계<br>○ 수열합성 제품(경량블록, 정수용 필터)Pilot plant 설계<br>- 1일 생산량 2㎥ 생산규모 설정<br>- 기존 ALC 제조공정을 기초로 설계 |
| ○ 기존 Plant를 이용한 시험생산 | 100 | ○ 미장용 모르터 시험생산<br>- 기존 건조모르터 제조설비를 통한 미장용 모르터 생산<br>- 한일시멘트에서 시작품 제작 |
| ○ 폐콘크리트 미립분을 이용한 경량블록 및 정수용 필터 제조 및 적용기술 확립 | 100 | ○ 경량블록 제품 설계<br>- 기존제품 (ALC)과의 차별성 고려<br>- 제품규격 (500*300*200) 설정<br>○ 경량블록 성능평가<br>- 밀도범위 : 0.7~0.9㎤<br>- 강도범위 : 7~9㎫<br>○ 정수용 필터 제품 설계<br>- 수처리설비의 최종 단계 적용<br>- 기존 여과재 (활성탄, 규사, 안트라사이트)의 대체재<br>○ 정수용 필터의 성능평가<br>- 투수계수 범위 : $1\sim10^{-3}$<br>- 강도 범위 : 재료 특성을 고려해 후속 연구 진행 중<br>○ 개발제품의 표준화 계획 수립<br>- GR인증 획득을 위해 환경부 제안서 제출예정(재활용율) |

본 연구의 3차년도 최종목표인 폐콘크리트 미세립분을 이용한 미장용 모르터 및 경량콘크리트 제품 제조기술 개발의 달성도는 위에 나타낸 바와 같으며, 당초 계획되었던 연구내용을 충실히 수행하여 연구개발 목표를 성공적으로 순조롭게 달성하였다.

## 2. 관련분야에의 기여도

본 연구의 3차년도 최종목표인 폐콘크리트 미세립분을 이용한 미장용 모르터 및 경량콘크리트 제품 제조기술을 개발함으로써 막대한 양의 폐콘클트 미세립분을 콘크리트 제품의 원료로 사용하여 제조할 수 있는 기술, 제조공정 시스템 구축, 그리고 pilot plant 설계를 통한 설계능력 배양으로 추후 실제적인 실용화 기술의 토대에 상당한 기여를 할 것으로 판단된다.

# 제 9 절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐 폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발

## 1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발

### 가. 연구개발 목표의 달성도

| 목 표 | 달 성 도 (%) | 내 용 |
|---|---|---|
| ○ 시범적용 종합계획 수립(타 협동과제의 개발기술) | 100% | ○ 타 협동과제에서 개발된 기술 중 시범적용이 필요한 항목 도출<br>○ 시범적용 각 항목별 적용시기 및 세부 일정계획 수립 및 설계반영<br>○ 최적의 시범사업 현장선정 |
| ○ 현장재활용 시뮬레이션 알고리즘 개발 | 100% | ○ 현장재활용 시뮬레이션 계획수립<br>○ 현장재활용 시뮬레이션 관련 자료 수집<br>○ 시뮬레이션 프로그램 알고리즘 개발 |

### 나. 관련분야에의 기여도

| 최종목표 | 기여도 | 당해연도 연구개발 성과 |
|---|---|---|
| ○ 현장재활용 가능 항목별 현장재활용 계획기법 개발 | 80% | ○ 현장재활용 항목별 현장 재활용 공종 도출<br>○ 현장재활용의 환경·사회·경제 효과분석<br>○ 현장재활용에 따른 이산화탄소 및 교통량 저감량 분석<br>○ 현장재활용 활성화를 위한 시뮬레이션 프로그램<br>○ 시범사업적용을 통한 건설폐기물 재활용 홍보 및 부정적 인식 개선 |
| ○ 건설부산물의 발생량 예측을 위한 종류별 원단위 지표 개발 | 60% | ○ 재건축/주거환경개선지구 구조별 설계수량 및 원단위작성<br>○ 재건축/주거환경개선지구 용도별 설계수량 및 원단위작성<br>○ 재건축/주거환경개선지구 공정별 설계수량 및 원단위작성<br>○ 주거환경개선지구 원단위작성 |

## 2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발

### 가. 연구개발목표의 달성도

| 목 표 | 달성도 (%) | 내 용 |
|---|---|---|
| ○주거용건물 분별해체시험적용(2차)및 공사요령(안) 제시 | 90 | • 분별해체시험시공 대상건물 3개동 확보<br>- 경기 화성 택지개발사업 철거현장 내 1개동<br>- 부산 부곡동 재개발사업 철거현장 내 2개동<br>• 대상건물 3개동에 대한 분별해체시험시공 계획 수립<br>- 대상건물 현황조사, 실측도면 작성, 구성자재 상세조사 및 시공일정계획 수립 등<br>• 2차년도 제시된 분별해체 공사요령(안) 수정·보완<br>- 관계기관협의회 시 보완 지적사항 및 협의내용 반영<br>- 폐관법 및 건폐법 등 건설폐기물 관련 법률의 개정내용 분석·반영<br>- 건설환경기본계획 등 4개 정책계획의 건설폐기물 정책 현황 분석내용 반영<br>- 2차 관계기관협의회(6.13예정) 개최 후 지적사항 및 협의내용 보완 예정<br>• 분별해체 2차 시험시공 및 성과분석<br>- 경기 화성현장 내 1개동 시험시공 수행 완료 (2008. 5. 24~ 5. 30, 7일간)<br>- 공사요령(안)의 실제 활용성, 적용성(시공성, 작업성, 건설부산물의 추가조정 건 등) 분석은 3차년도 연구종료 시까지 완료 예정 |
| ○산업시설물 분별해체시험적용 및 공사요령(안) 제시 | 90 | • 분별해체시험시공 대상건물 1개동 확보<br>- 경기 화성 택지개발사업 철거현장 내 도정공장 1개동<br>• 대상건물에 대한 분별해체 시험시공 계획 수립<br>- 5.28 현재 대상건물 외관실측 완료한 상태이며, 내부구조부재 실측 및 구성자재 상세조사는 5.30 완료 예정<br>- 현장 실측도면 작성, 구성자재 상세조사, 상세일정계획 수립 : 5.30~6.1<br>• 분별해체공사요령(안) 작성(상기 주거용건물과 동일<br>• 분별해체시험시공 및 성과분석<br>- 시험시공 (2008.6.4~6.9, 7일간) 완료 후 3차년도 종료 시까지 성과분석 완료 예정 |

### 나. 연구개발목표의 관련 분야 기여도

| 최종목표 | 기여도 (%) | 연구개발성과 항목 |
|---|---|---|
| ○주거용건물 분별해체시험적용(2차) 및 공사요령(안) 제시 | 100 | ○ 건설폐기물 관련법률·지침 개정내용중 분별해체관련 사항 분석<br>○ 건설폐기물 재활용정책의 현황분석<br>○ 분별해체공사요령(안) 작성, 제시<br>○ 건폐법 령 제9조 단서조항 개정(안) 제안<br>○ 시험시공 대상건물 현황조사, 실측도면 작성 및 시공계획 수립, 폐기물 발생량 예측<br>○ 주거용건물 시험적용 및 결과 분석 |
| ○산업시설물 분별해체시험적용 및 공사요령(안) 제시 | 80 | ○ 해체공사의 수행실태 및 현황, 발생폐기물의 유형 및 성상 조사<br>○ 시험시공 대상건물 현황조사, 실측도면 작성 및 시공계획 수립, 폐기물 발생량 예측<br>○ 시험적용 및 결과 분석 |

## 3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발

### 가. 연구개발목표 달성도

| 목 표 | 달성도 (%) | 내 용 |
|---|---|---|
| ○대량 양산화 기술 개발 | 95 | ○연속공정에 의한 생산 설비 설계<br>○대량 제품 제조를 위한 파쇄 설비 구비 |
| ○시공기술 개발 | 90 | ○방수층보호재 물성기준 및 시방서 작성<br>○어린이놀이터 배수재 공장 시스템인증 및 안전검사 실시 |
| ○매립지 시험 적용 | 90 | ○배수재 물성 제시, 추진 및 시험 시공 계획 수립<br>○연구용 매립지 시험시공 |
| ○현장시공 및 적용성 분석 | 95 | ○방수층 보호재 현장 설계 반영<br>○어린이놀이터 배수 형태별 시공성 및 경제성 분석<br>○탄성 포장용 완충 배수층으로 적용 방안 수립 |

## 나. 관련분야의 기여도

| 최종목표 | 기여도 (%) | 연구개발성과 항목 |
|---|---|---|
| ○ 대량 양산화 기술 개발 | 90 | ○ 적용분야별 폐폴리올레핀 재활용 제품 양산화 기술(안)<br>○ 생산 품질관리 지침(안) |
| ○ 시공기술 개발 | 90 | ○ 폐폴리올레핀 재활용 적용 분야별 시공시방서(안) |
| ○ 매립지 시험 적용 | 90 | ○ 매립전용 소형 매립지의 배수재 시험시공 및 분석<br>○ 폐폴리올레핀 재활용 제품을 이용한 매립지 배수재 시공 및 거동분석 |
| ○ 현장시공 및 적용성 분석 | 90 | ○ 지하철 및 전력구 시험시공<br>○ 인조잔디 하부 배수층 시험시공<br>○ 폐폴리올레핀 재활용 건자재의 배수기능 활용에 따른 효과 분석 |

# 제 10 절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용 기술 개발

## 1. 연구개발목표의 달성도

| 목 표 | 달 성 도 (%) | 내 용 |
|---|---|---|
| ○ 목질계보드의 생산 기술 확보 및 품질평가 | 50 | • 생산 라인 적용 연구<br>• 생산성 극대화 방안 연구 |
| ○ 시제품 생산 및 생산관리 지침 작성 | 50 | • 목질계보드의 활용기술 개발<br>• 시공방법 및 디테일 도면 작성 |
| ○ 다양한 실용화 기술 개발 및 현장적용 | 20 | • 내·외장 마감 보드 현장적용 |

## 2. 연구개발 성과의 기여도

| 최종목표 | 당해연도 연구개발 성과 |
|---|---|
| ○ 국내 발생 건설폐목의 재활용율 향상 | • 건설폐목재의 유통 및 관련법률의 문제점 분석을 통하여 재활용율을 증대 시킬수 있는 방안제시<br>• 발생 성상별 파쇄 및 목모 제조를 통한 보드 제품화 기준 제시 |
| ○ 건설폐목을 목모보드 및 고밀도(목편)보드의 제조기술 확보 | • 목편보드 및 목모보드의 제조 실험을 통하여 기존의 연구 실적이 없는 목질계보드의 배합비율에 따른 특성을 제시<br>• 목모보드를 제조할 수 있는 (주)엘씨엠의 제조설비를 활용하여 보드를 제작함으로써 제조기술 확보 |
| ○ 건설폐목을 재활용한 목질계보드를 활용하여 다양한 적용기술 개발 | • 방음벽 시범시공을 통한 목질계보드의 활용성 검증<br>• 마감재로 활용되는 목질계보드의 단열성능 및 흡음성능 등 검증을 통하여 다양한 적용기술 개발을 위한 기초적 자료 확보 |
| ○ 제품개발을 통한 수입 대체 효과 | • 폐목재를 활용하여 목질계보드를 제작함으로써 기존의 목질계보드 대체 효과 및 다양한 적용기술 개발로 인한 수입건자재 대체 효과를 나타낼 수 있는 제작 기술 확보 |

# 제 5 장 연구개발결과의 활용계획

## 제 1 절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술개발 연구

### 1. 추가연구의 필요성 및 타 연구에의 응용

○ 콘크리트 강도별 재료역학적 특성 및 콘크리트 부재의 역학적 성능을 분석하기 위한 종합적인 구조성능 실험을 통하여 순환골재 콘크리트의 구조기준을 제·개정하기 위한 기반기술을 구축함으로써 천연골재의 일부를 순환 굵은골재로 대체한 콘크리트의 배합/생산 및 타설/양생 등의 프로세스에 있어서 기술자료로 즉각적으로 활용할 수 있다.

○ 레미콘 배합에 의해 생산된 순환골재 콘크리트를 이용하여 실물규모의 구조실험을 통하여 기존의 순환골재의 품질기준을 검증함으로써 순환골재 콘크리트의 실물 구조물에 대한 적용성에 부분적으로 존재했던 품질에 대한 의구심을 해소할 수 있는 기술자료로 활용됨으로써 순환골재의 재활용 촉진에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 천연 및 순환골재를 사용한 구조부재에서 부분적으로 관측되는 성능저하 현상을 적절히 고려할 수 있는 제반 구조설계기준이 각 설계항목별로 제·개정될 예정이며, 본 구조기준은 순환골재를 사용한 콘크리트 부재의 설계 및 시공에 즉각적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

○ 본 연구의 당해 기술개발을 통해 순환골재에 대한 구체적인 수요가 창출되며, 실물규모의 실험결과로부터 순환골재를 사용한 콘크리트에 대한 정량적인 품질평가가 가능하게 되어 순환골재 콘크리트의 활용 확대를 통한 건설폐기물처리업계의 고부가가치 경제적 효과 획득이 가능하다.

또한, 저렴한 순환골재 및 순환골재 콘크리트의 활용을 통한 국내 건설산업 경쟁력 제고에 기여하고, 건설폐기물 처리 등 환경산업분야의 경쟁력 제고와 기술보급에 기여할 수 있을 것이다.

○ 유류오염 건설잔토의 전반적인 품질 및 기술수준 파악을 통한 향후 기술개발

및 정책추진 자료 확보

○ 유류오염 건설잔토의 활용 및 건자재 제조지침 작성을 통한 환경과 건설의 복합적인 발전에 기여

○ 유류오염 건설잔토의 효율적인 재활용을 통해 매립지 부족 및 새로운 골재원으로서 활용을 통한 천연자원의 부족현상 해소에 기여

○유류오염 건설잔토 정화방법의 공정구축 및 정화특성 등 기술자료 활용

○ 관로공사용 골재로서 활용 가능과 건설현장 조건에 따른 규정 자료 제시

○ 건설폐기물중간처리 업체로 반입되는 유류오염 건설잔토 중 유류오염도에 따른 용도별 적용가능성에 대한 여부

○ 본 연구범위 이외에도 유류오염된 건설잔토의 재활용을 목적으로 재료의 성능과 경제적인 정화기술의 개발 등 여러 종류의 오염된 건설잔토의 재활용 제품을 분석하여 효과적으로 유류오염된 건설잔토를 이용할 수 있는 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

(1) 유류오염 건설잔토의 생산기술 개발과 보급에 기여.

(2) 유류오염 건설잔토의 건설재료로서 안전한 활용기술 개발과 보급에 기여.

(3) 유류오염 건설잔토의 전반적인 품질 및 기술수준 파악을 통한 향후 기술개발 및 정책추진 자료 확보.

(4) 유류오염 건설잔토의 활용 및 건자재 제조지침 작성을 통한 환경과 건설의 복합적인 발전에 기여.

○ 유류오염 건설잔토의 효율적인 재활용을 통해 매립지 부족 및 새로운 골재원으로 서 활용을 통한 천연자원의 부족현상 해소에 기여.

○ 건설 폐유리를 활용한 유리타일 및 블록을 개발하는 기술로 건설 폐유리를 활용한 제품 제조 기술을 관련 업체에 기술 이전하는 것이 가능하며, 이에 따라 폐기물로 처리되는 건설 폐유리의 재활용율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

○ 본 기술의 개발에 의해 건설 폐유리의 분쇄, 선별 등의 처리 기술과 세라믹 타일 및 블록의 성형, 소성, 가공 등의 제조 기술의 향상에 파급될 수 있을 것으로 판단된다.

○ 폐유리를 재활용하는 용도의 개발은 현재까지 건축토목 분야의 다양한 분야에 적용하는 것이 검토되었으나 건설 폐유리를 대상으로 한 연구는 해외의 경우를 포함하여 진행된 사례가 거의 없다. 또한 발생되는 건설 폐유리의 양을 고려할

때 안정적으로 대규모로 재처리가 가능해야 하므로 범용적인 타일이나 블록 같은 건재분야의 활용이 바람직한 것으로 판단된다. 이러한 타일이나 블록 등은 원천기술이 확보될 경우 다양하게 적용할 수 있으며, 이미 대규모의 안정적인 시장을 형성하고 있으므로 건설 폐유리의 재활용 분야로 유리할 것으로 판단된다. 또한, 현재 이러한 제품에 사용되고 있는 원재료는 황토, 점토, 고령토 등의 고가의 천연 원료가 대부분이므로 건설폐유리를 이러한 제품의 원료로 대체할 경우 재료비 기준으로 최소 30% 이상의 원가 절감 효과(건설 폐유리 원료의 원가가 재처리 비용만으로 산정할 경우)가 있을 것으로 기대된다.

## 2. 연구의 기대성과 및 파급효과

### 가. 기술적 측면

○ 순환골재 콘크리트를 사용한 구조부재의 역학적 특성 파악.

○ 순환골재 및 순환골재 콘크리트의 품질향상 및 확보.

○ 구조용 순환골재 콘크리트의 구조기준 평가기술.

○ 구조용 순환골재 콘크리트의 설계기술 확립.

○ 오염 건설잔토의 생산기술 개발과 보급에 기여.

○ 오염 건설잔토의 건설재료로서 안전한 활용기술 개발과 보급에 기여.

○ 건설 폐유리의 분쇄, 선별 등의 처리 기술과 세라믹 타일 및 블록의 성형, 소성, 가공 등의 제조 기술의 증대.

### 나. 경제·산업적 측면

○ 순환골재 콘크리트의 품질기준 정립을 통한 활용 및 사용용도 증대로 경제수요 창출

○ 용도별 순환골재의 생산이 가능하고, 순환골재의 품질평가가 용이하여 중간처리업체의 경제적 이익 발생

○ 폐콘크리트를 재활용하므로써 폐기물의 환경처리비용 절약, 폐기물 처리장의 사용기간 연장, 에너지 절약에 기여

○ 재생골재를 이용한 설계 및 시공기술의 향상으로 국제 건설시장에서 환경기술 경쟁력을 확보하게 되며, 환경친화적인 건설산업으로 전환이 가능할 것으로 기

대 용도별 순환골재의 생산이 가능하고, 순환골재의 품질평가가 용이하여 중간 처리업체의 경제적 이익 발생

○ 폐콘크리트를 재활용하므로써 폐기물의 환경처리비용 절약, 폐기물 처리장의 사용기간 연장, 에너지 절약에 기여

○ 재생골재를 이용한 설계 및 시공기술의 향상으로 국제 건설시장에서 환경기술 경쟁력을 확보하게 되며, 환경친화적인 건설산업으로 전환이 가능할 것으로 기대

○ 국내에서 생산되는 오염 건설잔토의 전반적인 품질 및 기술수준 파악을 통한 향후 기술개발 및 정책추진 자료 확보

○ 오염 건설잔토 및 폐유리의 활용 및 건자재 제조지침 작성을 통한 환경과 건설의 복합적인 발전에 기여

○ 정화된 건설잔토를 활용함에 따른 골재로서의 부가가치 획득에 기여

○ 오염 건설잔토의 효율적인 재활용을 통한 매립지 부족 및 새로운 골재원으로서의 재생골재 활용을 통한 골재난 해소에 기여

○ 경제적이고 양호한 품질의 건자재의 생산 및 활용을 통한 국가 건설경쟁력 제고

○ 유류오염 건설잔토 및 폐유리를 활용한 기술의 개발로서 국제 건설시장에서 환경기술 경쟁력을 확보하게 되며, 환경친화적인 건설산업으로 전환이 가능할 것으로 기대됨

## 3. 연구의 활용계획

| 연 구 성 과 | 활 용 방 안 |
|---|---|
| 순환골재콘크리트 구조기준(안) | - 국가기준에 반영할 수 있는 기준 개정안으로 활용<br>- 국제 순환골재 관련 기준의 개정안으로 활용<br>- 순환골재 및 순환골재 콘크리트의 등급별 품질평가 및 활용<br>- 순환골재의 생산 및 제조기술의 개량에 활용<br>- 레디믹스트 콘크리트로의 순환골재 콘크리트의 적용가능성 제시<br>- 순환골재 콘크리트의 설계시 기준으로 활용<br>- 순환골재 콘크리트의 시공시 지침으로 활용<br>- 순환골재 콘크리트의 품질관리 및 유지관리에 활용 |
| 건설잔토의 정화처리시스템 개발 결과 | - 국내 중간처리업체 등에 건설잔토의 처리방안 보급<br>- 국내에서 발생되는 건설잔토(토사)를 노반재, 노상재료 등의 건설재료로서 활용<br>- 오염 건설잔토의 품질개선을 위한 생산기술 자료로서 활용 |
| 오염 건설잔토의 활용방안 | - 정화된 건설잔토를 노상 및 노반재료나 채움재 등으로 활용할 수 있는 기술적 자료 제공<br>- 정화된 건설잔토의 활용에 대비한 품질시험 및 평가와 관리방안 자료로서 활용<br>- 정화된 건설잔토의 재활용에 대비한 기술적 활용 지침으로서 제공 |
| 폐유리 재활용 기술개발 | - 폐유리 수거 및 재처리 기술 등 폐유리 재활용 지침 작성 및 활용 |
| 폐유리를 활용한 건자재 제조기술 개발 | - 유리타일, 유리블록 등 건자재 제조기술 공급<br>- 폐유리의 품질을 고려한 종합적인 폐유리 활용지침 작성 및 보급 |

# 제 2 절 건설폐기물 관련업체 정보처리시스템 구축을 위한 응용기술개발 연구

## 1. 추가연구의 필요성

### 가. 연구개발의 최종목표

(1) 제품의 보완 및 완성

(2) 건설폐기물 관련업체 표준정보처리 시스템 구축 및 운영

### 나. 연구개발 성과 활용 방안

(1) 실시간 정보처리 인프라 구축

(가) 실시간 폐기물의 발생과 이동에 따른 처리에 대한 정보처리 구축

(나) 자원의 순환에 관련된 업무처리와 동시에 각각의 독립된 건설폐기물 관련 업체의 획기적인 정보화 능력의 향상으로 관련업체의 자발적인 활용 가능한 시스템으로 구축이 가능

(2) 실시간 순환골재의 생산과 판매 재고 정보를 손쉽게 관리 할 수 있게 되어 기존 개발된 환경자원공사의 시스템과 데이터의 공유를 통합 순환골재의 B2B 판매시스템의 활성화에 도움이 되는 시스템으로 구축

(3) 자원의 재생에 관련된 업무처리와 동시에 각각의 독립된 건설폐기물 관련업체의 획기적인 정보화 능력의 향상으로 관련업체의 자발적인 활용 가능한 시스템으로 구축

### 다. 정부 정책과의 연계 방안

(1) 기존의 환경자원공사의 시스템과 연계를 위해서는 본 연구 성과의 우수성을 인식시키기 위해 먼저 건설폐기물 업체들의 사용될 수 있는 정량적인 시tm 템을 구축하고, 환경부로의 손쉬운 연계를 위한 기술을 축적시킨다. 현재 각

업체마다 획일화 되지 못한 프로세스를 구축 홍보함으로써, 제품 활용도를 높이고, 이러한 상황을 공공기관에 인식시키는 것이 중요하다.

(2) 건설업체 소수가 아닌 전체가 사용할 수 있는 시스템 구축을 통해 업체 - 환경부 어느 한쪽으로 치우치지 말고, 담당자와 실무자들과의 미팅을 통해서 업무협조에 대해서 논의할 것이 우선시 된다. 차후 양자 간의 프로세스 동일시를 위한 소프트웨어 수정에 노력한다.

## 2. 타 연구에의 응용

(1) 자체차량계량시스템을 구축함으로써 건설폐기물 관련 산업 이외의 모든 건설 분야의 운송부분, 더 나아가서는 모든 화물을 적재한 모든 차량에 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

(2) 건설폐기물업계의 표준화된 전사적 정보처리 시스템은 건설폐기물 관련 중간처리 수집운반 배출 이외에도 타 폐기물의 관련 산업에도 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

## 3. 기업화 추진방안

(1) 구축된 인프라를 통해 정량적인 시스템을 구축하고, 각 파생된 시스템 운영방안이나 보안, 데이터 백업을 고려한 안정적인 시스템을 연계한다.

(2) 건설폐기물 관련업체들과의 업무적 연계를 통해 통합된 시스템을 구축함으로써 기존의 업무적 비효율성을 향상시키는데 목적을 둔다.

# 제3절 순환골재를 사용한 도로 기층용 투수성 아스팔트 포장의 재료 및 시공기술 개발

## 1. 연구결과의 활용 방안

### 가. 활용방안

본 연구의 성과로 제시될 "순환골재를 적용한 아스팔트 기층"은 건설폐기물을 재활용한 순환골재의 부정적 사회 인식 변화에 따른 국가적, 국민적 욕구를 충족시킬 것으로 기대된다. 자연환경 파괴의 주범으로 인식된 건설 산업에 대체자원으로 활용함으로써 신개념에 적합한 포장 재료, 시공 및 장비 등을 개발 할 수 있다. 특히 적용 도로의 특성에 따라 다음과 같은 다양한 용도 활용이 가능하다고 판단된다.

○ 순환골재의 건설 자재 활용에 따른 친환경적인 도로 건설 산업 확보
- 건축물의 재건축 및 재개발에 따른 폐 콘크리트량이 증가하고 있는 상황에서 순환골재를 도로의 기층에 활용하고 현장 적용에 따른 공용성을 평가하여 안전하고 합리적이며 친환경적인 자원 재활용을 유도할 수 있다.
- 일반 국도와 고속국도의 본선 구간 및 확장구간에 활용
- 재건축 및 재개발 도심부 대형 주택 단지와 인접 대로에 활용
- 도심지의 대로 및 중로에 활용

○ 골재난의 해소 및 골재 비용의 절감으로 인한 산업 활성화
- 환경의 영향에 따라 천연골재의 대체 자원으로 골재난 해소에 활용
- 순환골재의 사용이 활성화될 경우 막대한 골재 비용이 절감이 되어 경제적 활용가치가 높다고 판단

○ 기 타
- 건설폐기물 중간처리업체에서 순환골재 생산시 적절한 생산 관리를 위한 기

술 자료로 활용

- 도로 공사 현장에서 순환골재를 적용한 아스팔트 품질시험 및 품질 관리를 위한 기술 자료로 활용
- 건설폐기물 재활용 촉진을 위한 기술보급 및 홍보자료 활용

## 나. 신공법 적용의 법적·제도적 장치 마련 및 활성화

본 연구진은 건설교통부, 환경부, 대한주택공사, 한국도로공사, 지방자치단체 및 관련협회 및 학회 등과의 공조를 통해 순환골재를 사용한 아스팔트 기층 재료의 개발에 대한 각종 기초물성 실험과 실내·외 시험시공을 실시할 계획이다. 이를 통해 체계적인 공학적 입증과 함께 공용성 평가 및 검증을 비롯한 시공실적, 품질관리 기준 등 다양한 관련 정보를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 수집한 정보를 바탕으로 보완 및 검토 작업을 수행하고, 신기술 및 특허 신청 등을 통해 향후 환경부 산하 건설폐기물 재활용과 건설교통부 산하 제반 도로건설에 적극 활용하고자 하며, 친환경적이며 경제적 비용절감의 측면을 강조한 신기술 등록을 통한 신공법의 활성화를 도모할 것이다.

# 제4절 TS형 선별분리 및 중력집진 장치에 의한 고품질 순환모래 건식 생산시스템 개발

## 1. 추가 연구개발의 전망

최근 순환모래가 점차 고품질화 됨에 따라 구조물용 모래로서 그 사용량이 증가되고 있으며, 고품질 순환모래를 일반 콘크리트뿐만 아니라 최근 콘크리트구조물의 대형화·초고층화·고성능화 등에 의해 사용량이 증가되고 있는 고강도·고유동 콘크리트 등 고품질·고성능 콘크리트에 활용하기 위한 지속적인 연구와 본 연구의 고품질 순환모래 입도별로 선별하여 분리·생산되는 건식 순환미분말을 콘크리트용 혼화재료, 지반개량재, 고유동 충전재 등 기타 주요 건설재료로서 유효하게 활용할 수 있는 연구개발이 전망되고 있다.

## 2. 타 산업에의 파급효과

고속회전충격식 비중분리장치 및 침강식 미립분 집진장치에 의한 고품질 순환모래 건식생산시스템을 성공적으로 개발하고 이를 건설산업분야 및 건설생산현장에 확대보급하기 위해서는 고품질 순환모래 생산기기 및 장치 기술 개발이 선행되어야 하므로 기계산업 등 타 산업으로의 파급효과가 클 것으로 판단된다.

또한, 고품질 순환모래 생산기기 및 장치기술을 개발함으로서 콘크리트 관련 산업뿐만 아니라 건설산업용 모래가 대량으로 사용되는 도로포장, 지반개량재 등의 건설산업 분야에서도 관련 기술의 개발에 미치는 파급효과가 클 것으로 판단된다.

## 3. 연구개결과의 기업화 추진방안

최근 하천모래의 고갈 및 바다모래 채취에 대한 환경규제의 대폭적인 강화로 인해 건설산업의 기본소재인 모래의 수급불균형이 건설산업 전반에 걸쳐 확산되고 있고 이러한 현상은 향후 지속될 것으로 예상되며, 본 기술개발에 의해 폐기콘크리트 덩어리를 활용한 고품질 순환모래 건식 제조·생산기술 및 활용기술을 개발함으로서 기존 건설산업용 모래의 시장점유가 가능할 것으로 판단된다.




[사진 5.4.1] 고품질 순환모래의 제품화 전망

또한, 고속회전충격식 비중분리장치 및 침강식 미립분 집진장치에 의한 고품질 순환모래 건식생산시스템을 순환모래 생산이외에 부순골재 등과 같은 골재생산현장에 응용활용 시 경제성, 생산성, 환경성 및 품질의 대폭적 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

더욱이 고품질 순환모래를 사용한 프리믹스형 모르터 제품 및 콘크리트의 품질 고급화 기술을 개발함으로서 [사진 5.4.1]에 나타낸 바와 같이 레미콘산업, 콘크리트 2차 제품, 프리믹스형 모르터 제품 등에 있어서 시장점유가 가능할 것이며, 이를 통해 순환모래 제조·생산기술 및 순환모래의 고부가가치화 창출이 가능할 것으로 판단된다.

# 제5절 비중 및 부력차이를 이용한 사이클론 방식의 순환 모래 이물질 제거장치 개발

## 1. 활용계획

○ 국내에서 현재 재활용되지 못하고 버려지는 건설폐기물을 재활용하여 고품질의 순환모래를 생산할 수 있는 기술 및 장치를 개발함으로써 친환경적인 기업 이미지를 확보

○ 고부가가치 창출을 위한 고품질 순환골재를 생산함으로써 콘크리트용 골재로서 활용

○ 고품질의 순환모래를 생산할 수 있는 기술 및 장치의 기술력 확보에 따른 대외 경쟁력을 확보하고 또한 기업의 이윤 추구가 가능

○ 국내 250여개 건설폐기물 처리업계의 순환모래 생산과 판매로 효과적인 이익 실현의 현실화 예상

○ 건설폐기물 처리업계의 환경적·경제적 측면에서의 토분 매립 및 이물질 분리 처리비용의 절감 효과를 기대

## 2. 연구결과의 활용방안 및 기대효과

### 가. 활용방안

○ 본 연구개발 장치의 생산시스템을 순환모래 생산이외에 부순골재 등과 같은 골재생산현장에 응용 활용시 경제성, 생산성, 환경성 및 품질의 대폭적 향상을 도모할 수 있을 것으로 판단된다.

○ 고품질 순환모래를 사용한 프리믹스형 모르터 제품 및 콘크리트의 품질 고급화 기술을 개발함으로서 레미콘산업, 콘크리트 2차 제품, 프리믹스형 모르터 제품 등에 있어서 시장점유가 가능할 것이며, 이를 통해 순환모래 제조·생산기술 및 순환모래의 고부가가치화 창출이 가능할 것으로 판단된다.

○ 건설폐기물 중간처리업체에서 본 개발기술에 의해 제작된 설비를 설치하여 운용 시 기존의 습식방식에 의한 이물질분류기가 지니는 문제점이 크게 개선된

설비를 효율 좋게 이용함으로써 이들 업체에게는 폐기물처리 방식의 개선(매립 대신 재활용)에 의한 이익발생 효과와 처리효율 증대 효과가 발생하고, 설비의 제작, 판매에 의한 매출 증대와 이익 창출의 효과 발생이 가능하다.

## 나. 기대효과

(1) 기술적 측면

○ 본 연구개발 장치는 유기이물질 분리의 정확한 조절과 일정한 생산량 확보 및 증대가 가능하도록 하는 것이 특징이므로, 기존에 보급된 순환모래 제조설비의 상용기술에 유기이물질을 제거하는 신기술을 접목하는 것이므로 순환모래에 포함된 각종 미세 유기이물질의의 분리 · 선별기술을 개발 및 고품질의 순환모래 제조 · 생산을 위한 기술 개발 등의 측면 기대

(2) 경제 · 산업적 측면

○ 국내 모래자원의 부족현상이 심화되고 있는 상황에 건설폐기물을 이용하여 고품질의 순환모래를 생산하여 대체 사용하게 된다면 국내 건설업계의 원자재 공급에 지대한 영향을 줌과 동시에 고품질 순환모래의 생산 및 판매를 통하여 기업의 매출 증대

○ 건설폐기물을 순환모래로 재활용하면서 성상에 따른 이물질을 정확히 분리하는 장치를 개발함으로써 건설폐기물 파쇄업체의 깨끗한 작업현장 확보가 가능하며, 이물질이 제거된 건설폐기물이 매립지로 반입되어 매립된다면 환경오염방지 및 부하개선 효과 증대

(3) 타 산업에 미치는 효과

○ 폐기 처분하던 건설폐기물들에 대한 관심 촉진

○ 고품질 순환모래 생산으로 인한 골재부족현상 보완

○ 본 기술개발의 비중 및 부력차이를 이용한 이물질 제거장치에 의한 고품질 순환모래 생산시스템을 성공적으로 개발하기 위해서는 순환모래 생산 장치 및 시설의 개발이 선행되어야 하므로 기계 산업과 관련된 타 산업으로의 파급효과가 매우 큼

○ 비록 본 개발기술이 건설폐기물 중 이물질 및 미립분을 대상으로 하는 기술이나, 여러 가지 다양한 혼합물의 습식분리 기술 개발에 응용 가능

○ 식품 산업 혹은 화공 산업 분야 중 이물질 습식분리 기술 개발에 응용 가능

(4) 관련 후속연구개발의 전망

○ 건설폐기물의 유효한 이용을 위한 보다 엄격하고 체계적인 법제화 마련

○ 경제성 및 기능성을 부여한 각종 콘크리트 2차 제품 개발

○ 생산성 및 경제성이 우수한 고품질 순환모래 생산시스템 개발

○ 관련 기업체들의 보다 경쟁력 있는 생산시설의 개발 의욕 고취

○ 구조체 콘크리트용으로 사용할 수 있는 고품질의 순환모래를 생산할 수 있는 설비 개발

# 제 6 절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발

## 1. 연구결과의 활용방안 및 기대효과

### 가. 현장적용 방안(계획)

(1) 국내 350여개에 이르는 건설폐기물 재활용업체에 설비를 보급하여 양질의 토분을 생산하게 함으로 현재 단순 매립되고 있는 폐 토분을 건설현장에서 활용 가능

(2) 미세 이물질 분리기 제작 설치로 증가일로에 있는 건설폐기물에 대한 신축적 대응

### 나. 실용화 · 제품화 방안

(1) 고품질 토분의 생산

(2) 샌드 플랜트의 원재료

(3) 되 메우기 공사용으로 사용

(4) 뒷 채움용 및 성토용 토분으로의 사용

(5) 도로보조기층용 잔골재 대용

### 다. 미래 원천기술 확보

○ 건식방법을 이용하여 폐 토분 속 유기이물질을 제거하는 장치로 기술적 독보성을 가지며 향 후 폭넓은 분야로의 활용성이 충분함

### 라. 신산업 창출 등 예상되는 활용분야 및 활용방안

(1) 건식기술이 전무한 유사분야

(토량개선, 광산지역 오염토 처리, 쓰레기 매립장)

(2) 화학 관련 플랜트(사료 및 시료 등) 및 비중 차를 활용 할 수 있는 유사 플랜트로의 적용

## 마. 산업기술에 미치는 파급효과

(1) 개발기술에 의해 개발되는 건설폐기물 분류장치를 통과시켜 얻어지는 양질의 토분을 활용하여 건설폐기물 재활용도 증대

(2) 순환골재 용도별 품질기준을 검토함으로써 재생 토분의 용도에 관한 GUIDE LINE 제시

(3) 기술개발에 의한 폐 토분의 활용으로 건설폐기물 중간 처리업체 이익 발생

# 제 7 절 건설오니를 재활용한 고화재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 활용방안

○ 발생현장에서 처리하는 시스템으로 운송 및 이동에 따른 비용절감

○ 발생특성에 따른 배합설계 개발을 통한 범용적 활용

○ 이동식 재활용 시스템 구축을 기초마련

○ 폐콘크리트 슬러지의 활성화를 통한 재활용 기술의 경제적 가치 향상

○ 건설오니 전처리 기술향상 및 응용기술개발 유도

○ 타 활용방안에 비하여 소량으로도 대응가능하여 파생효과가 높음

## 2. 연구개발성과의 파급효과

○ 자원재활용 및 환경오염 부하 감소로 환경보전사업 기여

○ 일반적 폐기물 처리에 따른 2차 공해 발생 감소
(매립에 의한 환경 부하요인 개선)

○ 기술개발 및 실용화를 통한 건설재활용 제조업체 활성화

○ 폐기물 처리에 따른 사회적 비용의 감소

## 3. 연구개발의 부수적 효과

○ 오니의 재활용 기술은 하수오니와 같은 유기성오니에 집중되어 연구가 진행되어 왔으며, 건설오니는 그 동안 낮은 사회적 관심에 따른 연구실적이 전무한 실정임

○ 이러한 문제점을 해결할 수 있는 전반적인 재활용 시스템 개발을 통해 건설오니 재활용 표준화 기술을 개발함과 통시에 재활용 인프라를 구축함으로 고품질, 친환경적 재활용을 통한 국가 경쟁력 제고와 산업전반에 걸친 부가가치 창출 가능

# 제 8 절 폐콘크리트의 미·세립분을 사용한 건자재 개발 및 적용기술 개발

## 1. 추가 연구개발의 전망

최근 천연 골재의 부족 현상으로 인한 순환 골재의 고품질화가 요구되고 있는 실정이며, 신도시 개발과 재건축 등의 도시화가 촉진되면서 골재 사용량이 증가하고 있는 추세에서 순환골재의 고품질화는 매우 필요한 연구이다. 이런 고품질의 순환골재에서 발생되는 미세립분은 국내에서의 연구가 국외의 연구에 미치지 못하고 있다. 특히, 폐콘크리트 슬러지는 필터프레스에서 배출된 후 간단한 건조과정 등을 거쳐 일반 토사와 함께 섞어 복토재 등으로 사용되는 경우가 있다. 하지만 폐콘크리트 슬러지의 건조공정에 소요되는 비용이 높다는 점을 고려하며, 건조하는 공정을 가진 기술은 경제성 측면에서 불리하게 되며, 또한 복토재와 같이 저부가 가치로의 이용은 자원의 유효 이용 측면에서 바람직하지 않다. 하지만, 본 연구를 통할 경우 미립분은 고부가가치의 원료로서 사용할 경우 기업의 비용 부담을 줄이며 매립에 의존하지 않고 기업의 부가가치 창출이 가능할 것으로 전망된다. 또한 세립분의 분리기술로 고품질의 순환골재 생산이 가능하게 될 것이며, 분리된 세립분은 미장용 모르타르의 원료로 사용이 가능하게 되어 건설재료로서 유효하게 활용될 것으로 전망된다.

## 2. 추가 연구개발의 고려

현실적으로 순환골재의 처리방식의 대부분을 차지하고 있는 것이 습식공정이지만 건식화 공법으로 전환 시 이에 따른 고려가 필요할 것으로 판단됨에 따라 현재 2세부과제에서 연구중인 건식공정이 실용화 될 경우 공정의 일부 또는 부산물의 변화가 예측된다. 건식공정과 습식공정의 차이는 분리공정에 수분을 도입하느냐의 여부에 따른 것으로 건식공정이 실용화되면 기존의 습식분리공정을 건식공정화 하면되고, 습식공정에서 반드시 필요한 대형 침전조와 필터프레스, 수분공급라인 등이 필요치 않게 되므로 공정이 매우 단순화 해진다. 따라서 이러한 예측을 통해 습식공정의 건식화는 전체 공정의 변화에 있어 큰 어려움을 없을 것으로 예상된다.

한편, 부산물의 발생 측면에서 살펴보면, 잔골재 크기 이하의 다양한 크기를 갖는 미분이 발생할 것으로 예상되는데 이 미분은 발생되는 공정이 다르기 때문에 분리하여 수집하는 것이 용이하므로 이의 크기에 따른 용도의 개발은 그리 어렵지 않을 것으로 예상된다.

## 3. 타 산업에의 파급효과

폐콘크리트 미세립분을 이용한 모르타르 및 경화제 제조를 성공적으로 개발하고 이를 건설산업분야 및 건설생산현장에 확대보급하기 위해서는 고품질의 순환골재의 생산과 더불어 발생되는 부산물에 대한 인식의 변화가 필요하며 부산물을 재활용할 경우 고부가가치 창출이 가능하여 타 산업으로의 파급효과가 클 것으로 판단된다. 또한, 폐콘크리트 미세립분 분리용 Pilot plant 최적운영 방법 정립으로 인해 고품질의 순환 잔골재를 생산함은 물론 이로 인해 분리된 폐콘크리트 미세립분을 미장용 모르타르나 밀도조절이 가능한 경량블록의 원료로 사용함으로써 기업의 이윤은 물론 순환골재의 청정생산이 가능 할 것이며 폐기물의 재활용으로 인한 환경보전의 의미를 갖게 된다.

## 4. 연구개결과의 기업화 추진방안

최근 하천모래의 고갈 및 바다모래 채취에 대한 환경규제의 대폭적인 강화로 인해 건설산업의 기본소재인 모래의 수급불균형이 건설산업 전반에 걸쳐 확산되고 있고 이러한 현상은 향후 지속될 것으로 예상되며, 그로 인한 고품질의 순환골재는 급격하게 요구될 것이다. 이에 본 연구에서 개발한 폐콘크리트 미세립분을 이용한 모르타르 및 경화체 제조시 폐콘크리트 재활용 공정중에 발생되는 미세립분을 콘크리트 제품의 원료로 사용함으로 인해 골재의 부족으로 인한 원자재의 수급을 용이 하게 함은 물론 원자재의 가격이 저렴하여 기업의 이윤을 크게 할 것으로 판단된다.

더욱이 고품질 순환모래를 사용한 프리믹스형 모르터 제품 및 콘크리트의 품질 고급화 기술을 개발함으로서 레미콘산업, 콘크리트 2차 제품, 프리믹스형 모르터 제품 등에 있어서 시장점유가 가능할 것이며, 이를 통해 순환모래 제조·생산기술 및 순환모래의 고부가가치화 창출이 가능할 것으로 판단된다.

# 제 9 절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐 폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발

## 1. 건설폐기물의 원단위 기준 및 현장재활용 계획기법 개발

### 가. 기술적 측면

○ 본 연구에서는 현장재활용 가능 건설폐기물 항목 도출, 순환골재 생산량과 야적량, 생산시스템 및 야적장 계획기법, 현장재활용의 환경·사회·경제 효과분석 등을 도출하여 종합적인 현장재활용 활성화 방안을 제시하였다. 건설폐기물의 현장재활용을 위한 절차 및 방법, 요구시설, 처리시설 설치 및 야적장 배치 시 고려사항, 현장재활용 계획기법 등의 기술적 정립이 안 되어 있으며, 현장재활용 시 얻을 수 있는 사회적·환경적·경제적 효과를 분석에 관한 연구수행이 안되어 있다. 따라서 본 연구에서 도출한 연구결과들은 택지개발지구, 주거환경개선 및 재개발 지구 등 대규모 건설사업장에서 발생하는 건설폐기물의 현장재활용 여부를 판단 및 현장재활용 적용 고려 시 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

○ 본 연구에서는 건설폐기물의 종류별 원단위를 효과적으로 조사하기 위해 건설폐기물의 분류체계 및 조사방법론을 구축하였다. 분류체계 및 조사방법론을 토대로 주거환경개선 사업지구, 재개발지구의 건설폐기물을 실측을 통하여 종류별 발생원단위를 산출하며, 사업지구의 대표적인 건축물을 샘플 분별시공을 통하여 원단위를 산출하였다. 실측조사, 샘플시공, 발생량조사를 통하여 산출된 원단위를 기존문헌과 비교 분석하고, 원단위 보정계수를 산정하였다.

※ 대구 대현2지구 주거환경개선지구 설계수량 조사
대구 신천1-2지구 주거환경개선지구 설계수량 조사
부산 만덕3지구 주거환경개선지구 설계수량 조사 및 샘플시공
부산 사직2지구 재개발지구 설계수량 조사

본 연구에서 제시한 건설폐기물의 종류별 원단위는 4개 건설현장의 건설폐기물 설계수량 산출 자료 활용되었고, 다른 건설현장의 건설폐기물 설계수

량 산출 자료로 활용될 것이다. 또한, 건설폐기물의 분류체계 및 조사방법론은 3~5차년도의 건설폐기물 발생량 및 원단위 산정을 위한 자료로 활용될 것이다.

### 나. 경제·산업적 측면

○ 본 연구에서 제시한 현장재활용 활성화 방안은 건설폐기물의 현장재활용을 촉진시킬 것이다. 현장재활용의 활성화는 건설부산물의 재활용률을 증진시켜 건설폐기물의 최종처분장인 매립지의 수명을 연장할 것이다. 또한, 각종 부산물의 반출과 신규 건설자재 운반 트럭의 운행회수를 경감시켜 교통량 감소 및 중장비 운행에 따른 이산화탄소의 배출억제 효과를 가져 올 것이다. 매립지 수명 연장과 교통량 감소는 국가가 부담해야 할 사회적 비용을 크게 줄일 수 있으며, 이산화탄소 발생량 감소는 향후 교토의정서 발효에 따라 우리나라가 부담해야 할 이산화탄소 절감비용을 감소시켜 국가경제에 막대한 이득을 줄 수 있을 것이다.

○ 본 연구에서 제시한 건설폐기물의 종류별 원단위 지표는 국내에서 발생하는 건설폐기물의 발생량을 보다 정확하게 예측하는데 기여할 수 있을 것이다. 건설폐기물의 정확한 발생량 예측은 다양한 분야에 활용될 수 있을 것이다. 넓게는 국가 또는 지자체 차원의 소각시설 건설계획, 매립지 소요면적 산출 등 정책수립을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다. 또한, 중간처리업체, 건설폐기물 수집/운반업체 등 관련 산업의 발전전망 예측 및 육성방안 수립을 위한 정책자료로 활용될 수 있을 것이다.

## 2. 해체현장에서의 구조물의 종류 및 잔재의 성상별 선별기술 개발

### 가. 연구결과의 활용방안

○ 현행 해체방법을 개선한 "구조물 종류별 분리, 선별 및 분리배출 방안"들은 우리나라의 해체공사 표준이 될 수 있도록 정책적으로 보급 (전문시방서, 작업안전지침 등에 반영토록 노력)

○ 현장 조사 또는 시험시공 과정에서 작업량 조사 및 생산성분석을 통하여 도출된 공사비산출 기준들 중에서

- 현행표준 품셈에 등재되어 있지만 표준품과 연구결과에 현격한 차이가 발생하는 공종에 대해서는 표준품셈 개정시 반영토록 노력
- 현행 표준품셈에 등재되어있지 않은 공종들에 대해서는 현장실사결과 및 분석결과들을 정리하여 표준품셈에 신규등재토록 노력

## 나. 기대효과

(1) 기술적 측면

분별해체 기술의 개발 및 보급은 건설부산물의 발생단계에서의 엄격한 품질관리를 통하여 생산과정에 들이는 노력을 경감하여, 순환골재와 다른 재생자재들의 생산비용을 절감하고, 이를 통하여 저렴한 재생자재의 공급이 가능토록 함으로써 건설폐기물의 재활용률 향상에 기여할 것으로 기대된다.

(2) 경제 · 산업적 측면

해체공사 합리화를 통한 해체공사 수행단계의 세분화 및 단계별 공사원칙을 준수하여 잔재를 처리하고, 재생가능 잔재를 재활용하면 상대적으로 해체공사비는 현재보다 증가할 수 있으나 잔재의 사후분리비용 절감, 잔재의 매립 및 소각비용 절감, 재활용율 향상을 통한 경제성 향상 등 해체공사에서 폐기처리까지의 비용은 오히려 감소하고, 건설산업 전반적인 경제성도 향상시킬 수 있음.

## 다. 타 산업에 미치는 효과

해체기술은 혐오산업으로 인식되기 쉬운 만큼 전반적인 기술발전이 뒤져있다. 이러한 분야에 대한 관심과 지속적인 기술개발은 관련 장치산업 등의 기술개발을 유도하여 산업전반적인 기술향상을 유발시킬 수 있다.

해체공사 수행과정에서 많이 발생하고 있고 지정폐기물로 지정되어 있어 매우 각별한 주의를 요하고 있는 석면, 유리섬유, 납 등의 인체 유해성 폐기물의 구체적인 처리방법이 마련될 경우, 해체공사는 물론 타 분야의 건설공사 및 타 산업에

서도 이 방법을 준용하여 폐기물 처리를 실시할 수 있어 그 파급효과가 대단히 클 것으로 예상된다.

## 라. 타 산업 및 국내외 연계·협력 가능성

본 연구에서 다루고자 하는 건설폐기물 발생단계에서의 분리선별기술은 재개발·재건축산업, 보수·보강이나 리모델링 분야에 필수적인 요소기술이며, 향후 잔존건물의 해체 및 사회기반 시설물의 보수·보강 요구증대에 따라 그 필요성은 더욱 커질 것으로 판단된다. 따라서 해체업종뿐만이 아니라 시설물 유지관리 업종과도 긴밀한 협조를 통하여 기존 시설물의 보수·보강 및 유지관리 분야 전반에 걸쳐 해체관련 요소기술의 수요를 파악하고 이에 대한 대비책을 강구토록 해야 한다.

국내의 해체관련 단체로는 "대한전문건설협회" 산하 "비계·구조물해체공사업협의회"가 있으나, 실질적인 연구개발을 주도하고 그 결과를 제도화 및 법제화하기에는 조직력 등 여러 면에서 열악한 상황이다. 그러나 현행의 제반규범의 범주 내에서 실용성을 갖춘 해체기술의 개발을 위해서는 많은 현장조사와 적용을 필요로 하기 때문에 지속적인 협의 등을 통하여 국내 현실을 최대한 반영하고, 개발결과의 적극적인 홍보와 보급으로 실무 적용성의 극대화를 시켜야 한다.

재활용 자재의 품질향상과 활용성의 증대는 재활용이 가능한 부재를 발생단계에서 어떤 방식으로 선별할 것인가에 의해 많은 영향을 받게 된다. 따라서 해체잔재 중 가장 많은 비중을 차지하는 재생골재 재활용 관련연구를 수행하는 연구기관 및 업체와의 유기적인 협력을 통하여 잔재의 활용성을 도모할 필요가 있다. 특히 석면이나 납 등 해체공사에서 많이 발생되고 있는 지정폐기물의 처리와 같이 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 폐기물의 처리에 대해서는 해외 관련기관의 방문 등을 통한 기술자문으로 국내기준은 물론 아래의 4가지 국제기준까지 충족시켜야 한다.

- NADC(National Association of Demolition Contractors)
- EDA(European Demolition Association)
- HSE(Health & Safety Executive, UK)
- ISEE(International Society of Explosives Engineers)

일본이나 네덜란드 등 강화된 환경규정이나 제도 등이 정비되어 있어 우리보다 까다로운 건설 환경에 있는 국가의 관련 단체나 유관기관과의 협력을 모색할 필요가 있다.

본 연구에 포함된 이동식 콘크리트 파쇄기의 이물질 선별장치나 소음 저감장치 개발 연구에서는 연구비의 한계 측면에서 관련시장에 판매가 가능한 수준의 완제품의 개발은 어려울 것으로 판단된다. 이러한 이유로 동 장비에 대한 개선방향, 아이디어 도출과 개발방향, 구체적 개발모델까지를 본 과제의 범위로 할 것이다. 하지만 이러한 결과들이 장비 생산업체나 협회 등 관련 분야와 협의하여 완제품의 생산까지 이어질 수 있다면, 관련 산업의 획기적 발전뿐만 아니라 기술 및 장비의 수출 등을 통한 국가 경쟁력 제고에도 일조할 수 있을 것으로 판단되므로, 관련 업체와의 지속적인 연계·협력 체제를 유지해야 한다.

## 마. 향후 전망

현재 단위 구조물의 라이프 싸이클에서 준공이후의 과정인 유지관리 및 해체·폐기단계에 대한 중요성이 부각되고 있다. 지금까지의 건설기술 개발에 대한 대부분의 노력이 시공단계에만 집중되어 있으나, 앞으로는 해체공종과 같은 낙후된 건설기술을 선진화, 합리화하고자 하는 노력이 더욱 빠르게 진행될 것으로 판단된다. 건설산업에서 발생되는 폐기물의 대부분은 해체과정에서 발생되는 것으로서 실질적인 폐기물 저감을 위한 노력이 앞으로도 계속 집중될 것으로 예상되며, 국제적으로도 해체폐기물의 저감을 위해서 위한 노력이 계속 진행되고 있다. 따라서 해체공사의 과정에서 폐기물 처리와 관련된 비효율적인 요인을 제거하여 공사비의 절감과 재활용율의 향상을 추구할 시점에 있다.

해체공사는 특성상 많은 위해요소(소음, 진동, 분진 및 안전 등)를 가진 공사로서 보다 친환경적이고 안전성이 높은 공법의 개발이 계속 진행될 것으로 예상된다. 또한 고도로 발전하고 있는 사회환경 속에서 해체공사는 보다 저소음·저진동의 성능을 요구하게 되며, 공용 중에 있는 시설물의 기능을 정지시키지 않고 계속 유지하면서 필요한 부분에 대해서만 선택적으로 안전한 해체가 가능한 부분해체기술의 필요성이 더욱 증가할 것으로 예상된다.

## 3. 발포폴리올레핀계 건설폐기물을 재활용한 건자재 개발 및 적용 기술 개발

### 가. 활용방안

○ 폐기물 매립지의 배수층에 적용
○ 인조잔디 하부의 배수 및 완충재로 활용
○ 토사에 매립되는 각종 구조물의 방수층 보호용 시트 등으로 활용
○ 옥상녹화 등의 배수 시트
○ 보도용 배수 시트
○ 놀이터 등 충격 흡수 시트

제품의 생산에 있어 폐기물의 재활용을 도모할 수 있어 친환경적이며 이를 통한 다양한 용도 개척으로 적용처를 확대하여 재활용의 폭을 넓게 할 수 있으며 사업화로 국산화를 이룬다면 수입대체 효과도 기대할 수 있으며 이를 건설시장에 적용, 사용함으로써 기존 공법의 공사원가 대비 경제적이며 시공단축효과 기대 (폐기물매립장의 지하수, 침출수 및 가스배제 용도로 활용할 수 있으며 연구를 통해 일반 도로, 주택, 조경, 운동 시설 및 포장시 배수제 용도로 활용분야를 확대할 수 있을 것으로 판단)
또한, 내장재로 Polyolefin Foam을 많이 사용하는 자동차산업이나 포장재료 등으로 많이 사용되는 일반잡화산업 분야에 재활용기술 확대적용 가능하며, 대기환경 보존을 위하여 소각처리 방식에 대한 제한이 점차 엄격해지고 있으므로 본 연구의 참여기업 외 국내에 있는 폴리올레핀 폼 제조업체와 연계가 가능한 것으로 사료됨.

### 나. 예상 기대 효과

본 연구의 결과로 기대되는 효과는 크게 직접 효과와 간접효과로 구분할 수 있으며 세부적인 내용은 다음과 같음.

(1) 직접 예상 기대 효과

① 소각비용절감 : 200,000원/ton × 20,000ton = 4,000,000,000원

② 원유수입절감비

③ 시공성에 따른 효과

④ 최종제품의 가격인하 효과

(2) 간접 예상 기대 효과

① 대기환경 개선

② 도쿄 의정서에 적극 대응

## 다. 추가연구의 필요성

본 연구에서 개발하고자 하는 목표는 발포폴리올레핀계 폐기물을 이용하여 각종 건자재를 제조하고 활용하기 위한 기술의 정립이다. 고가의 자원인 원유로부터 생산되는 발포폴리올레핀은 현재까지 적절한 재활용용도 및 제조기술의 미비 등으로 대부분 소각되며 일부는 저가의 매트로 판매되어 왔다. 이러한 점은 비산유국이라 할 수 있는 우리나라의 현실에 비추어 자원의 낭비일 뿐 아니라 국가 경제적으로도 대단한 피해라 할 수 있다. 따라서 본 연구에서 설정한 목표는 현재의 고유가 추세 등에 비추어 매우 중요하다고 할 수 있으며, 발포폴리올레핀이 80년대 이후에 건립된 건축물 등에 많이 사용되었으므로 이제부터 본격적으로 해체공사의 폐기물로 배출될 시점이므로 재활용 기술의 정립은 필요하다고 할 수 있다

또한, 본 연구에서는 재활용품의 특성을 제조하고자 하는 건자재의 기능으로 활용하고자 하므로 향후 개발되는 각종 제품 및 공법은 특허 등록 가능성이 높으며, 특히 기능성을 극대화 할 경우 건설 또는 환경신기술의 가능성도 매우 높다고 할 수 있다.

또한, 내장재로 Polyolefin Foam을 많이 사용하는 자동차산업이나 포장재료 등으로 많이 사용되는 일반잡화산업 분야에 재활용기술 확대적용 가능하며, 대기환경 보존을 위하여 소각처리 방식에 대한 제한이 점차 엄격해지고 있으므로 본 연구의 참여기업 외 국내에 있는 폴리올레핀 폼 제조업체와 연계가 가능한 것으로 사료된다.

# 제 10 절 건설폐목을 재활용한 목질계 보드 개발 및 적용 기술 개발

## 가. 활용방안

○ 다양한 건자재로 활용이 기대 되며 특히 아파트 옹벽마감재 및 지붕 단열재 등 새로운 분야에도 활용 가능성 있음

○ 타 건자재와 연계하여(단열재와 결합)신자재로 새로운 개발에 활용 가능성 기대

## 나. 연구개발성과의 파급효과

○ 건설폐목재의 획일적인 재활용 기술로 인하여 건설폐목의 유통업체 및 중간처리업체의 경제적 어려움을 야기 시키고 있다. 건설폐목의 자원화를 통한 고부가가치 산업으로 육성하여 기존의 업체들과의 경쟁으로 폐목질의 유통업체 및 중간처리업체의 산업도 상승

○ 건설폐목을 재활용하여 기존에 생산되어 오던 파티클보드와는 다른 성능의 목질계보드는 수분에 대한 두께 팽창율이 0.6%이하로 내구성이 좋아 습기에 노출된 외기 뿐 아니라 흡음성능도 갖추고 있어 건설산업 여러 분야 파급될 것으로 판단

○ 건설공사(신축/해체)에서 발생되는 폐목재를 발생형태 및 성상별로 분류하여 재활용제품을 연구 개발하는 기존의 자료는 없는 것으로 조사 되어, 재활용방안에 따른 등급(안)은 다양한 재활용제품을 개발하는데 기초적 자료로 활용될 것으로 판단됨

○ 당사는 자동화 설비로 인하여 목모보드의 제조기술은 확보 하고 있으나, 이번 폐목편을 사용한 시멘트 복합화 연구로 국내에는 아직 미진한 연구 분야인 목편보드 제작에 관한 많은 기초적 자료를 부가적으로 축척하게 됨

# 제 6 장 연구개발과정에서 수집한 해외과학기술정보

## 제 1 절 순환골재콘크리트의 구조기준 설정 및 건설잔토, 폐유리 재활용 기술개발 연구

### 1. 淸水建設(시미즈건설) 기술연구소

#### 가. 일본의 토양오염 현황

최근 공장부지 재개발 등에 의해 토양오염이 밝혀지는 사례가 증가하면서 생활환경에 중대한 영향을 미칠 우려가 있어 심각한 사회문제가 되고 있다. 이에 2003년 2월 토양오염대책법 시행과 도쿄都와 오사카府에서의 조례제정 등 토양오염에 관한 법규제 정비가 이루어지고 있다. 부동산 감정평가기준의 개정 및 시가평가회계의 도입에 따라 토지거래에 있어서도 토양오염조사가 필수항목이 되고 있다.

그러나, 일단 오염으로 판명된 경우에는 막대한 대책비가 요구되는 경우가 많아 대책비를 줄여나가야 하는 상황이다. 더욱이 토양오염 발견에 따른 자산가치저하와 소문에 근거한 피해를 우려하여 조사조차도 실시하지 않는 토지들도 증가하고 있다. 즉 토양오염은 토지의 유동화를 방해하는 요인 가운데 하나로 작용하고 있는 것이다.

토양오염에 관한 조사를 시작으로 고객의 요구에 맞는 각종 대책을 비롯하여 정화처리까지 일관된 솔루션을 제공하여 토지의 유동화에도 기여하려는 목표를 가지고 있다.

#### 나. 시미즈건설의 정화처리기술 현황

(1) 시미즈건설의 펜톤법

시미즈건설은 다양한 오염물질의 의한 토양오염에 대하여 과학적분해, 고형화법, 자원화법 이라는 각종 오염토양처리 방법을 조합하여 가장 최적의 공법을 제시하고 있다.

또한, 네덜란드의 토양정화의 전문회사인 인 스튜 테쿠니켄 사(In-Situ Technieken

사)와 고농도의 유기 염소화합물이나 기름에 의한 토양 오염을 굴착하지 않고 원위치에서 단기간·저비용으로 정화하는 '펜톤법을 활용한 원위치 화학적 산화법'의 기술 도입 계약을 체결했다.

현재 유기 염소화합물이나 기름류의 고농도 오염 대책으로서는 '양수 정화 처리'나 '굴착 처리'가 일반적으로 적용되고 있다. 단지 전자는 오염원의 직접적 처리가 아니어서 장기간의 대응이 필요하다. 후자는 고농도 오염에 대한 확실한 정화 방법이지만 굴착, 운반, 처리가 필요하므로 비용이 많이 든다. 이러한 것 때문에 고농도 오염을 저비용으로 단기간에 정화할 수 있는 기술 개발에 대한 요구가 높아지고 있다.

이와 같은 요구에 정확하게 대응하기 위해 시미즈건설은 유기 염소화합물이나 기름 등으로 오염된 토양중에 과산화수소수와 철염을 주입하고 이 2종류의 약액의 반응에서 오염물질을 원위치에서 직접 분해한 '펜톤법을 활용한 원위치 화학적 산화법'을 네덜란드의 인 스튜 테쿠니켄 사로부터 도입했다. 이 정화법을 사용하면 고농도라도 단기간에 저비용으로 정화가 가능해진다. 적용한 약액에 대해서도 반응 후에 물과 산소로 분해되어 위험성은 없다.

도입된 정화법의 기본 기술인 펜톤법은 폐액 처리나 탈색 처리 등에 적용되고 있고 오래 전부터 인지되고 있다. 그러나 이 펜톤법을 토양 정화의 '원위치 화학적 산화법'에 적용함에 있어서는 화학 반응의 적정 관리 등 다양한 노하우가 필요하다. 인 스튜 테쿠니켄 사는 유럽에서 유일한 '펜톤법을 활용한 원위치 화학적 산화법'을 실용화한 네덜란드의 토양 정화 전문의 회사이다. 이 회사는 가스 공장이나 클리닝 공장 등의 철거지에 해당 기술을 적용하여 2000년 이후에 약 20건의 시공 실적을 보유하고 시공의 과정에서 다양한 노하우를 구축하고 독자적인 정화 기술을 확립하고 있다.

이 기술의 정화 장치는 주입 펌프와 약액용 탱크 및 주입 제어 시스템으로 구성되어 있고, 정화 대상 장소에는 특수 주입 배관을 구축하는 것만으로 가동중의 공장 내 또는 건물 등에서라도 쉽게 적용할 수 있다. 또, 해당 기술을 적용한 때에는 사전 적용 가능성 시험 등에 의해 정화 효과를 예측한 다음 연구함과 동시에 정화중인 지하수의 모니터링에 의해 오염물질의 농도를 파악하고 확실하게 오염원을 처리한다.

■ 펜톤법 특징 및 이점

- 해당 기술은 원위치에 있어 정화 처리하기 때문에, 굴착·운반·처리가 필요 없다. 따라서 대상 토량에 따라 다르지만 고농도 오염을 정화한 굴착 처리와 비

교해 정화 비용은 1/2~1/4 정도가 된다.

- 해당 기술은 원위치에서 오염물질을 직접 분해하기 때문에, 양수 정화 처리 등 간접적인 정화 방법과 비교해 상당히 단기간에 정화가 가능하다. 규모나 오염 농도에 의해 다르지만 2~3개월을 정화 목표로 하고 있다.
- 적용 가능성 시험의 실시나 오염 상황에 의해 약액의 농도·주입량·우물의 수나 배치 등 적절한 정화 계획을 입안할 수 있기 때문에 오염이 확산되는 일이 없고 확실하게 정화할 수 있다.
- 주입 배관을 설치한 것만으로 토양의 정화가 가능하기 때문에 가동 중의 공장에도 적용 가능하다.

(2) 바이오 믹싱법

시미즈건설은 오염 토양에 대한 생물 정화 기술 과제였던 저온에서 효율적으로 정화를 가능케 하는 [바이오 믹싱법]을 개발하여 실용화하였다. 이 공법은 한냉지의 임해 공업 지대에서 5,000m3의 기름 오염 토양을 정화하는 실증 공사에 적용한 실적이 있으며 정화 성능은 이미 실증을 끝낸 상태이다. 시미즈 건설은 앞으로 임해 공업 지대 등의 공장 유적지와 같이 기름 오염의 가능성이 있는 토지를 소유한 기업 등에 대하여 이 공법을 제안해 갈 계획이다.

기름 오염 토양의 생물 정화란 미생물의 일종인 토착 석유 분해균을 활성화시킴으로서 기름을 탄산가스와 물로 분해시키는 정화 방법이다. 석유 분해균은 호기성이기 때문에 오염 토양중에 통기성을 좋게 한 후에 적절한 영양분을 토양에 첨가하여 활성화한다. 통상적으로 생물 정화를 할 때는 우선 오염 토양이 있는 부지의 일부에 정화 야드를 확보한다. 거기에 굴착한 오염 토양에 질소와 인 등의 영양분을 섞어 야드 위에 2~3m 높이가 되도록 쌓는다. 거기에 쌓아놓은 토양 내부에 탄소가 부족하지 않게 정기적으로 뒤집어 준다. 혹은 쌓아놓은 토양 내부에 공기 공급용의 배관을 설치하여 공기를 공급하는 방법을 취하여 미생물을 활성화시킨다. 오염 정도에 따라 다르지만 정화에 필요한 기간은 수개월 정도이다.

생물 정화는 저비용의 정화 방법으로 주목되어 왔지만 석유 분해균은 토양의 온도가 10℃이하가 되면 점점 활동을 안하고 5℃이하가 되면 활동을 거의 멈추는 문제가 있다. 특히. 정화 야드에 쌓아놓은 오염 토양은 외기의 영향을 직접 받기 때문에 겨울철의 토양 온도는 5℃를 밑돌게 된다. 여기에서 개발한 것이 [바이오 믹싱법]이다.

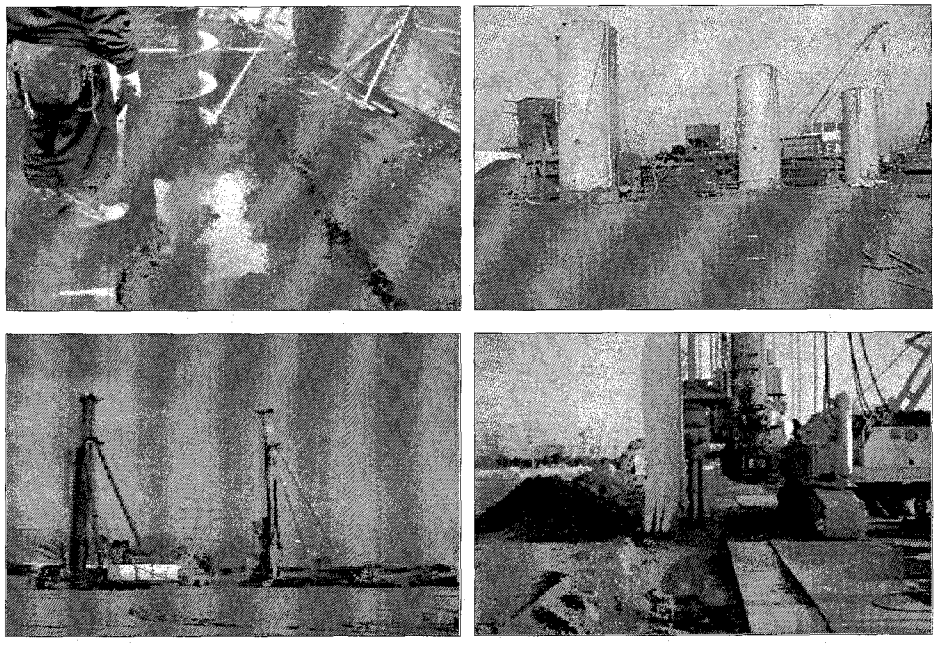
이 정화 방법의 특징은 오염 토양을 굴착하여 지표에 쌓아놓지 않고 원위치(지중)에서 정화하는 방법이므로 한냉지의 엄동기 때에도 오염 토양중의 온도를 거의 10℃ 정도로 유지할 수 있어 효율적인 정화가 가능하다. 그 이유로는 오염 토양의 표층부가 저온 효과를 발하는 것과, 그 지역의 연간 평균 기온과 거의 같은 온도의 지하수가 오염 토양을 예열하는 역할을 하는 것, 그리고 공급하는 압축 공기의 온도가 15~20℃가 되는 것 등을 들 수 있다.

[바이오 믹싱법]의 준비 공사의 순서는 우선 오염 토양의 주위에 시트 파일을 때려 넣고 그 내부의 오염 토양을 빼낸다. 다음은 시트 파일내의 밑부분에 자갈과 모래를 깔고 그 위에 공기를 공급하는 염비관을 대강 1m 피치로 부설하고 다시 자갈과 모래를 깔아 30cm 정도의 층을 쌓는다. 계속해서 통기성이 있는 시트로 그 층을 덮고 빼냈던 오염 토양에 질소, 인, 흑토 등의 영양분을 첨가하여 시트 파일 내부에 다시 넣으면 준비 공사가 끝난다.

정화 기간 중에는 항상 송기구로부터 염비관에 공기를 압송한다. 압송된 공기는 염비관에 설치된 많은 구멍으로 급기되고 쇄석에 의해 수평 방향으로 확산된 후에 시트를 통과하여 오염 토양 가운데 균등하게 침투되어 간다. 토양중에 일정 공기의 통과길이 생기면 공기가 토양에 균등하게 침투할 수 없으므로 종래의 방법과 마찬가지로 쇼벨 카로 오염 토양을 뒤집어준다.

한냉지에서 행한 실증공사(01년 10월 ~ 02년 4월)에서는 일일 평균 기온의 월 평균치가 가장 낮은 12월 (-3.6℃)에서도 토양의 온도는 거의 10℃를 유지하였다. 이로 인해 엄동기인 12월~3월 중에도 정화 속도는 통상기의 1/2 정도로 석유 분해균의 활동은 정지되지 않고 토양의 기름농도도 계속적으로 저하(기름 오염 토양의 정화)된 것을 확인할 수 있었다.

최근에 지하 구조물이나 환경 오염 방지를 위하여 차수벽의 도입이 늘어나고 있고 그 차수성능 향상을 위하여 많은 연구가 있었다.



[그림 6.1.1] 시미즈건설의 정화공사 현장

토양 처리량이 3,000~10,000㎥인 중간 규모의 오염 토양 정화 공사를 위해 저비용과 단기간에 높은 정화 성능을 발휘하는 '고효율 토양 정화 시스템'을 개발·실용화했다.

요즘 일본은 환경 기준치를 훨씬 초과하는 토양 오염이 잇따라 발견되고 있다. 이것에 수반해 토양 정화 공사가 급증하고 있다. 토양 환경 센터는 토양 정화 공사의 잠재 시장 규모는 13조 엔을 넘을 거라는 예측 결과를 발표했다. 시미즈건설은 올해 토양 정화 공사의 매상을 약 130억 엔으로 기대하고 있고 3년 후에는 500억 엔 정도로 확대할 계획이다. 이 계획의 달성을 위해서는 기술력의 강화가 불가피하고 이미 1만㎥이상의 대규모 토양 정화 공사에 관해서 네덜란드의 컨소시엄으로부터 도입한 정화 기술이 이에 대응하고 있다. 이번의 '고효율 토양 정화 시스템'도 그 일환으로서 개발된 것이고 주로 중소 규모의 토양 정화 공사에 적용된다.

'고효율 토양 정화 시스템'은 중금속, 수용성 유기물질, 난용성 유기물질 등의 토양 오염 물질에 대응할 수 있다. 정화 성능을 나타내는 토양으로부터의 오염 물질의 분리 정밀도는 99.9%, 정화 토양의 재이용율은 70%이상 달성될 수 있다. 또, 처리비용은 대강 1만 엔/ ton 이하이며 재래 공법에 비해 30%이

상의 비용절감, 공사 기간은 재래 공법에 비해 30%단축이 기대되고 있다.

■ 고효율 토양 정화 시스템에 의한 정화 순서

- 일차 처리로서 회전형 세척기에 오염 토양, 세척수 및 토양과 오염 물질을 분리시키는 약제를 투입하고 교반한다.
- 오염 물질을 세척 수중에 추출하고 일차 처리 토양을 얻는다.
- 2차 처리로서 일차 처리 토양을 고성능 분급기에 투입하고 현장에서 재 이용할 수 있는 2차 정화토와 장외 처분한 오염 물질이 농축하고 있는 토양으로 분리한다.
- 세척수는 무해화 처리하여 재사용하고 2차 정화 토양은 현장에서 재 이용함과 함께 오염 물질이나 그것을 농축하고 있는 토양은 장외 처분한다.

이러한 일련의 작업은 현장의 부지 내에서 이뤄지며 이 시스템의 핵이 되는 회전형 세척기, 약제, 고성능 분급기의 개요는 다음과 같다.

■ 회전형 세척기

콘 형태의 세척조를 회전시키는 세척기로 내벽에 나선형의 돌기가 배치되어 있다. 이 돌기가 세척효과를 높이는 역할을 하기 때문에 토양과 오염 물질의 분리 효율이 종래의 세척기에 비교해 30% 정도 향상된다. 처리 능력은 5~10 $m^3$/시간이다.

■ 약 제

토양과 오염 물질과의 분리를 촉진하는 약제이다. 오염 물질의 종류나 오염 형태에 따라 약제를 분리해 사용하거나 조합시킬 필요가 있기 때문에 현재 10종류 이상의 약제가 준비되고 있다. 예를 들면 수은이나 비소에 의한 오염의 경우에는 무기물계의 약제, 난용성 유기물에 의한 오염의 경우는 계면 활성제계의 약제를 단수 또는 복수 조합시켜 사용한다. 사용에 있어서 현지에서 오염 토양의 표본을 추출하고 약제의 적용성 확인 시험을 실시하고 최적인 약제를 선정한다.

■ 고성능 분급기

회전형 세척기로, 세척 분리한 일차 처리 토양 중 1mm 이하의 미소한 물질 속에 오염 물질이 농축하고 있는 토양이나 오염 물질 그 자체가 포함되고 있다. 이것들을 분리·회수하면 토양의 재 이용율이 높아짐과 함께 폐기 처분한 토량이 감소하고 비용절감을 도모할 수 있지만 지금까지의 분급기의 성능으로는 낱알지름 3mm 이하의 토양을 분급할 수 없고 그것들을 전부 폐기 처분하고 있기 때문에 비용이 많이 들었다.

이번에 개발한 분급기의 특징은 특수한 진동을 분급기의 체에 가해 로딩을 막고 분급 성능을 높이고 있다는 것이다. 구체적으로는 체의 진동 주기와 다른 진동을 부정기로 주는 구조가 개발되어 로딩을 막는다. 그 결과 낱알지름이 0.075~1mm 이하의 물질까지 분급 가능해졌기 때문에 토양의 재 이용률이 재래 공법의 50%를 크게 상회하고 70%이상으로 됐다. 또, 분급속도도 올랐기 때문에 공사 기간 단축이 가능해졌다. 처리 능력은 1~5㎥/시간이다.

(3) 새로운 정화시스템

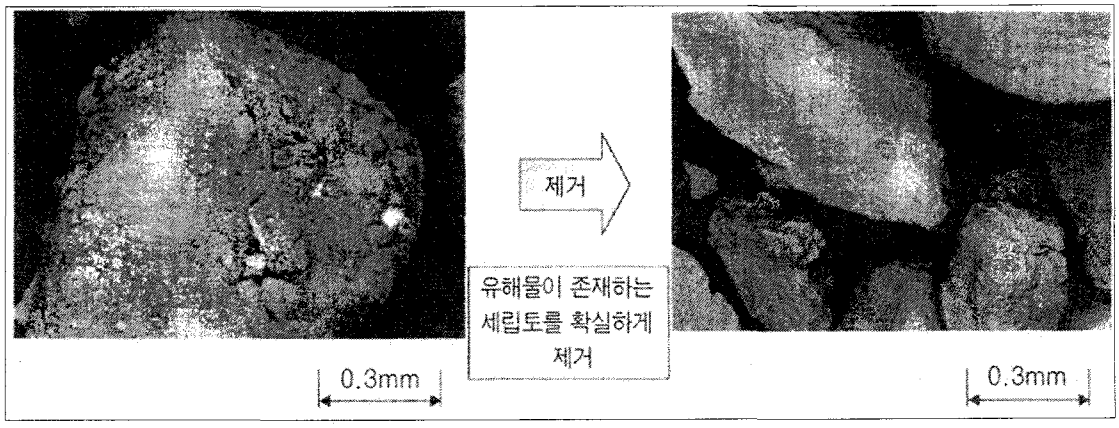
확실하고 저렴한 정화방법을 실현하기 위해 당사에서는 「세정」과 「열처리」를 합친 연속처리시스템을 개발했다.

일반적으로 세정에 의한 정화는 오염물질이 세립물질에 포함되어 있다는 특징에 착안하여 세정과정을 통해 오염물질을 분리, 농축하는 방법이다. 그러나 이 방법은 농축된 세립토(전량의 30% 정도)를 폐기물 최종처분장에서 처분해야 하므로 비용이 많이 소요되는데다 취급할 수 있는 물질이 한정되어 있다는 문제가 있다.

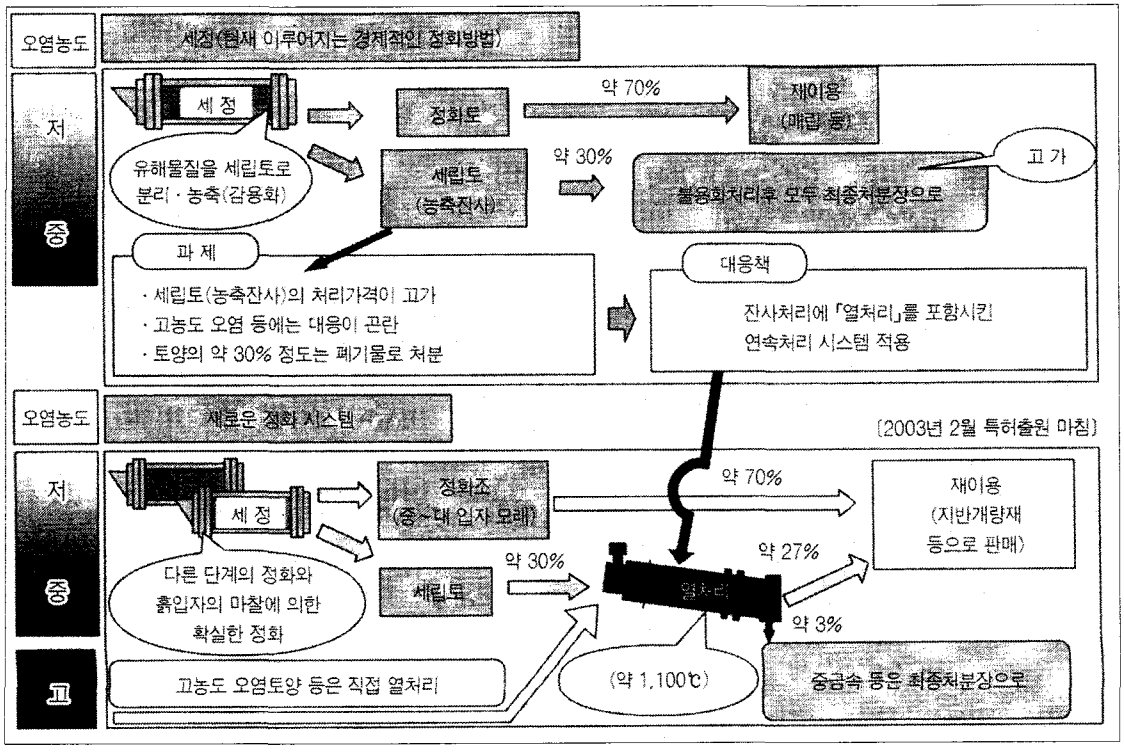
열처리에 의한 정화는 토양에 열을 가하여 오염물질을 열분해, 혹은 휘산시키는 방법인데 저온가열로서는 정화 가능한 오염물질이 한정되어 있고, 고온가열은 거의 모든 오염에 대응할 수 있지만 오염정도에 관계없이 전량을 열처리해야 하기 때문에 세정보다 더욱 많은 비용이 든다.

당사의 새로운 정화시스템은 세정과 열처리가 모두 이루어지는데 본 시스템은 이 두 가지 이점을 모두 살리고 있다. 세정과정에서는 마광기(磨鑛機), 분급기 등을 이용하여 다단계 세정을 실시하는데, 세립분을 확실하게 분리하여 오염물질을 농축시킨다. 그리고 세정과정을 통해 분리·농축(감량화)된 세립토만을 고온열처리함으로써 효율적인 열처리가 가능하므로 대폭적인 비용절감이 이루어진다. 또한, 세정으로 정화되지 않는 토양은 직접 열처리과정에 투입하게 되므로 거의 대부분의 오염물질을

처리할 수 있다. 더욱이 열처리 후의 세립토도 재이용이 가능하기 때문에 97% 이상이라는 리사이클율을 실현할 수 있다.




[그림 6.1.2] 실증시험에 의한 세정효과의 예




[그림 6.1.3] 새로운 정화시스템의 특징

(4) 대응방안

에너지사업을 통해 환경보전기술을 축적해 온 간사이전력이 정화시스템 공동개발자인 고베제강소와 토양정화관련공사에 우수한 건설회사 8개사(오바야시구미, 오쿠무라구미, 가고시마건설, 시미즈건설, 다이세이건설, 도아건설공업, 도요건설)와 공동출자하여 설립한 회사로서 다음과 같은 세 가지 사업을 일관된 체제로 추진하여 오염토양에 관한 토탈솔루션을 제공하게 된다.

① 토양오염에 관한 조사, 분석 및 그 대책조치를 제안하는 컨설팅사업

② 오염토양을 정화플랜트에 반입시켜 무해화 처리를 실시하는 정화사업

③ 정화한 흙을 제품화하여 지반개량재 등으로 판매하는 정화토 판매사업

■ 컨설팅사업

엄격한 정보관리체제를 바탕으로 조사계획입안에서 현지조사, 분석, 평가를 실시하여 오염이 확인된 경우에는 대책실시계획을 제안한다. 대책을 제안하는데 있어서는 새로운 정화시스템을 이용한 저가격의 부지 외 반출처리방법 뿐만 아니라 제휴 등 각사가 보유하는 원위치 대책기술에 대해서도 소개해 보기로 한다. 이로써 고객의 요구와 여러 가지 현지조건에 맞는 가장 저렴한 대책을 제공할 수 있게 되므로, 오염발견에 의한 자산가치의 저하를 우려하여 값이 오를 때까지 팔지 않게 되는 등의 토지유동화에도 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

또한, 조사도구로서 GIS(지리정보시스템)을 이용한 독자적인 지력조사시스템을 개발했다. 이 시스템은 현황지도와 고지도 등을 데이터베이스화한 다음, 이를 합쳐 해당지의 지력(토지이력)을 간단하게 파악할 수 있는 것으로 공장부지 등에 관한 지력조사결과를 신속하게 제공할 수 있다.

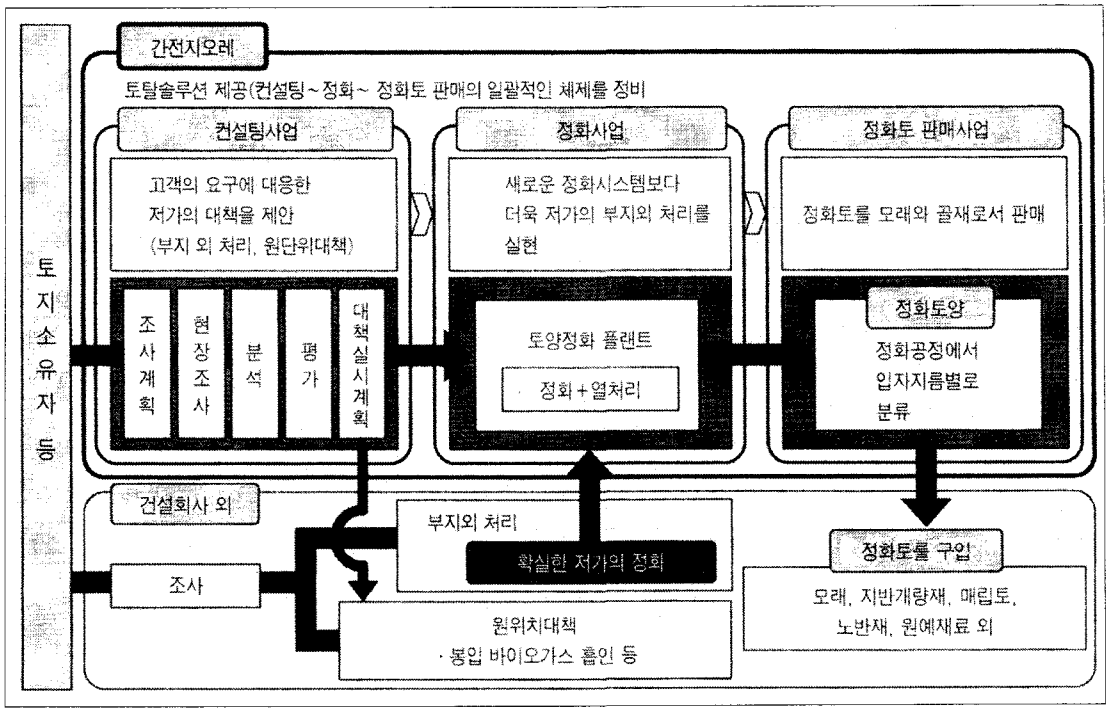
■ 정화사업

새로운 정화시스템을 적용한 정화플랜트는 효고縣 아마가사키市의 발전소 자리에 건설할 예정으로 오사카와 고베의 도심부와 가까워 한신고속 만안선(灣岸線), 고베선 이용에 적합한 위치에 자리하고 있다. 또, 안벽을 활용하여 배를 통해 원거리에서의 반입에도 대응할 수 있다.

플랜트 처리능력은 330t/일이며 연간 약 10만t의 처리를 예정하고 있는데, 광범위한 발전소 자리를 활용함으로써 충분한 보관공간을 확보하고 있어 반입조건 등 고객의 요구에 맞는 유연한 대응이 가능할 것으로 생각된다.

■ 정화토 판매사업

정화된 흙은 여러 단계의 정화와 열처리를 통해 매우 깨끗한 흙이 된다. 또 세정공정에서 입자크기별로 분류되므로 모래, 골재, 지반개량재, 원예재료 등 고객의 요구에 맞는 형태로 제품을 제공할 수 있다. 게다가 정화되었다는 「증명서」도 발행할 예정이다.




[그림 6.1.4] 시미즈건설의 정화사업추진계획

새로이 개발된 정화시스템을 축으로 하여 당사에서는 「더욱 확실하고 더욱 저렴하게」라는 슬로건을 내걸고 토양오염에 대한 토탈솔루션을 제공해 나갈 생각이며 정화플랜트의 본격적인 조업은 2004년 부터 컨설팅사업을 개시하였으므로 토지의 유효활용 등에 반드시 도움이 될 것으로 사료되는 바이다.

## 2. 일본 건재시험센타 중앙연구소

### 가. 오염토양대책의 현황

정화대책은 오염현장에서 대책을 실시하는 「원위치대책」과 오염토를 굴삭하여 부지 외로 반출하는 「부지 외 반출처리」로 크게 나눌 수 있다.

원위치대책은 봉인을 비롯하여 지하수양수, 토양가스흡입, 미생물에 의한 분해방법인 바이오레미디에이션 등 여러 가지 방법이 있다. 이러한 방법은 오염토를 부지 밖으로 반출하는 과정이 없기 때문에 일반적으로 부지외 반출처리와 비교하여 비용이 저렴하다는 장점을 가지고 있어 여러 측면에서 새로운 공법이 개발되고 있다. 그러나 봉입의 경우에는 오염물질이 부지 안에 남게 되고, 정화에 시간이 많이 걸리거나 정화효과가 불확실하다는 우려로 인해 공장과 주차장, 창고 등의 사업용지에 한정적으로 적용되는 경우가 많다.

한편 부지 외 반출처리는 현재 크게 나누어 다음과 같은 세 가지 방법으로 이루어지고 있다.

① 최종처분장 등에서의 처분
② 시멘트 등의 원재료로서 이용하는 방법
③ 오염토양 정화시설에서의 정화

최종처분장에서의 처분은 최근 사회문제가 되고 있는 처분장 부족이라는 문제로 인해 가격은 비교적 고가이며 반입이 가능한 오염물질의 농도 등에서도 제약을 받고 있다. 시멘트 원재료로 이용하는 것은 리사이클이라는 점에서도 매우 효과적이지만 시멘트 공장은 애초에 토양정화를 목적으로 만들어진 시설이 아니기 때문에 최종처분장 등에서의 처분과 마찬가지로 반입 가능한 오염물질의 종류와 농도에 제약을 받는다. 또 오염토양 정화시설에는 정화와 열처리 등의 방법을 이용하는 전용정화 플랜트가 있으나 현시점에서는 시설 수가 모자라는 형편이다.

이와 같은 부지 외 반출처리는 오염토양 반출을 통해 부지에서 오염물이 확실하게 제거되기 때문에 택지와 아파트사업용지 등 불특정다수의 이용으로 인해 확실한 정화가 요구되는 장소에 적용되는 경우가 많다. 그러나 일반적으로 처리비는 여전히 고가이기 때문에 더욱 확실하고 저렴하게 정화하는 방법이 필요하다.

오염토양의 기본적인 연구방향은 토양의 성질을 파괴시키지 않고 오염된 토양을 정화하기 위한 연구를 진행하고 있다.

CaO(생석회)를 혼입하여 정화하는 방법(저온처리)을 연구하고 있으며, 저온가열에 의한 토양의 정화는 오염된 토양을 로터리 킬른에서 CaO(생석회)와 배합하여 배출시킨 후 적재시키는 공정으로 이루어져 있다.

토양 내부의 온도는 약 100~120℃가 되도록 유지되게 하고 있으며, 이 공법의 경우 현장에서 처리하는 방법으로 적절하나 ph농도가 12~13 정도로 일본법에 허용기준치를 초과하고 있는 실정이다.

2차 오염방지를 위해서는 일반폐기물 처리시설의 집진기와 필터를 이용하여 정제시켰다.

(1) 오염토양에 대한 주요 연구 목적

주택지나 그 근접지역, 주요간선도로 주변등의 시가지에 있어서 토양오염은 비교적 새로운 공해문제로서 인식되어져 있고, 1990년대가 되어서부터 조사, 대책이 본격화되어 왔다. 이러한 흐름에 따라 토양오염대책법이 2002년 5월 29일에 공포되어, 익년 2003년 2월 15일에 시행되었다. 이 법률에 의해서 토양오염의 존재를 (언제), (누가), (어떻게) 조사해서, (어떠한 상태로) 존재하고 있는 경우를 토양오염으로 정할것인가가 규정되고, 벌칙도 규정되었다.

토양오염대책법에서는 26종의 유해물질이 '특정유해물질'로서 법으로 정해져 있다. 유류는 광물유에 포함된 벤젠을 제외하고, 특정유해물질이 아니므로 법의 대상외이다. 그러나, 해외에서는 방향족탄산수소류는 유해성이 지적되어 널리 규제되고 있다((사)토양환경센터,2000).

한편, 광물유의 누설에 의해 환경영향이 염려되는 사례가 발생하고 있고, 많은 유류오염대책공사가 실시중에 있다(鈴木, 2001: 橋本, 2002). 또한, 토지거래에 있어서 유류오염에 관한 조사가 요구되는 경우도 많아(廣田,2002). 본고에서는 유류오염토양에 관해서, 특히 가솔린 등의 광물유를 중심으로 그 현상 및 주요 오염현상에 있어서 온사이트(on-site)기술에 대해서 상세히 다루고자 한다.

(2) 유류오염토양의 법적위치설정

시가지에 있어서 기름에 의한 토양오염, 지하수오염의 사례보고는 1990년경부터

급증하고 있고, 특히 토지거래의 관계에서는 (유류오염의 유무)를 조사하는 것이 일반화되고 있다. 기름의 오염에 관한 법적인 위치설정이다.

<표 6.1.1> 유류오염의 법적 기준

| 법률명칭 | | 기 준 | 분석방법 |
|---|---|---|---|
| 토양오염대책법 | | · 토양벤젠 용출량 0.01mg/ℓ | 시행규제 |
| 환경기준법<br>(수질오탁 관련 환경기준) | | · 벤젠 0.01mg/ℓ | JIS K 0125 |
| 수질오탁방지법(배수기준) | | · n-핵산유출물질<br>광물유 5mg/ℓ, 동시물유지 30mg/L 등<br>· 벤젠 0.1mg/ℓ | 환보 64호 |
| 폐기물 처리 및 청소에 관한 법률 | 유분을 포함하는 오니상물 | · 유분을 5%이상 포함하는 오니상물은 오니와 휘발유의 혼합물로 취급<br>· 상기에 해당하지 않는 것은 오니로 취급 | - |
| | 해양투기처분 | · 하수도오니 50mg/ℓ, 기타오니(유기, 무기 오니 등) 15mg/ℓ | 환보 3호 |
| 공공잔토처리장의 규제<br>(동경부두공사) | | · 유분 15mg/ℓ, 유박을 눈으로 볼수 없는경우<br>· 벤젠 0.01mg/ℓ | 환보 3호<br>JIS K 0125 |

<표 6.1.2> 유분 측정법

| 구 분 | 특징 | 문제점 |
|---|---|---|
| 중량법 | · n-핵산유출이 일반적으로 이용됨. | · 비점이 낮은 유분(80℃이하)는 측정불가능<br>· 석유성분이 아닌 유기물도 가산됨 |
| 적외선 취급법 (IR법) | · 파장3.4㎛부근의 적외선 흡수량(탄화수소 C-H결합의 특성흡수)을 측정함.<br>· 사염화탄소를 추출용매로하는 방식이 공정법으로 정해져 있기만, 오존대책으로 폐지되어 S316*을 추출용매로 사용하는 방식이 제안됨. | · S316*을 이용한 분석방법은 아직 일반화되지 않아 데이터의 축적이 적음. |
| GC-FID법 | · 가스크로로 각성분의 정성, 정량을 실시.<br>· 미국은 TPH(석유계전탄화수소총량)의 측정법으로서 일반적으로 사용되고 있슴. (EPA - 8015등) | · FID에서 불연유는 측정불가능함<br>· 유류이외의 유기용매도 측정됨. |
| GC-MS법 | · 각성분의 피크를 분리하여 동정하기 Eaos에 유류만 측정 가능함. | · 측정기기가 비교적 고가임. |

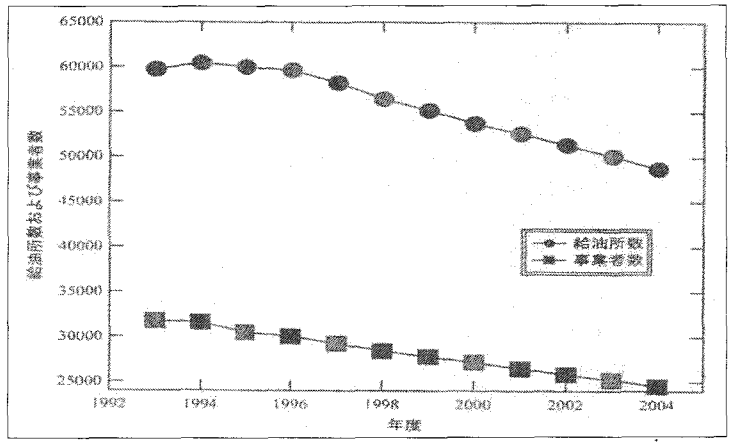
* S316 : 추출용매의 명칭. 플로오르카본 CFC-316.

유류라고 해도 그 범위는 넓어, 등유, 경유로 불리는 휘발성의 경질유로부터 타르, 피치 등의 중질유가 있다. 이것들의 유류에 포함되는 화학물질 중 유해성을 가진 것

으로 생각되어지는 것은 방향족탄산수소로, 단환방향족탄산수소류(BTEX: Benzene, Toluene, Ethyl- benzene, Xylene의 총칭). 다환방향족 탄산수소류(PAHs)로 분류된다. 한편, 석유계 탄산수소류에 의한 토양, 지하수 오염에 관한 정화기준은 벤젠에 부착되어 있는 것으로, 다른 성분 또는 석유계 탄산수소 총량으로서의 기준은 정해져 있지 않다. 그러나, 환경기준법에 기초해서 수질오염에 관계하는 요감시 항목으로서 토르엔, 키시렌의 잠정제거기준이 설정되어있어 가까운 장래 토양오염의 규준대상이 될것이다. 또한, 유류오염의 법적인 위치설정에는 기름막을 생성하지 않는다고 했던 항목이 있고, 또 유취의 유무등 정량적인 기준치를 정하는 것이 어려운 점이 있다. 따라서, 법규제가 없더라도 적절한 정화대책 등을 세우지 않을 수 없는 경우가 많다.

현재, 일본에서 유류오염에 대해서 주로 이용되고 있는 유분의 측정법있으며, 그 중 가장 많이 이용되고 있는것은 n-핵산 유출물질을 중량으로서 측정하는 방법이다. 이것은, 배수나 산업폐기물 중의 오니에 함유되어 있는 유분의 총량을 식물성, 동물성지방도 포함해서 측정하는 방법이지만, 토양중의 석유계 탄산수소를 측정하기 위한 공정법은 아니다(長峯ら, 2002). 기타로 적외선 흡수법이나 가스트로마트 그라피를 이용한 분석방법이 있지만, 어떤 방법에도 장단점이 있어 확실한 방법은 존재하지 않는다.

이상과 같이 기름에 관해서는 기준 및 측정방법이 명확히 정해져 있지 않아 무엇을 가지고 오염이라고 할것인지의 판단이 어렵고, 사전에 잘 검토해 둘 필요가 있다. 주유소적지(철거후의 토지), 정유소적지, 기계공장적지, 또는 금속공장적지 등에서 토지거래에 관계해서 정화공사가 활발히 이루어지고 있지만, 구매측의 요구로서 (토양오염이 없을것, 특히 유류오염이 없을것)이 많아 지고 있어 이에 따른 조사 및 대책이 필요한 실정이다.




[그림 6.1.5] 주유소 및 사업자수의 추이
(자료:자원에너지청, 2005년 데이타)

(3) 기름에 의한 일본의 토양오염 현황

시가지에 있어서 기름에 의한 토양오염의 예로 가장 많은 것이 가솔린, 경유, 등유 등의 누설사고에 의한 것이다. 특히, 급유관계의 서비스 스테이션(이하, SS라 함)에서의 오염사례가 현저하다. 최근 수년은 년간 1000-2000건 정도로 SS의 총수가 감소하고 있다. 또, 다른 기름을 저장하는 탱크가 전국에 약 22만개소가 있어, 이것들의 약 60%가 설치 후 20-30년의 노후시설이다. 어떤 경우라도 오랜 세월이 흐르는 동안 탱크로부터 기름이 누설되어 있는 예가 있어, 이 원인에 의한 유류오염이 발생하고 있다. 또한, SS이 경우, 도심부나 주요 간선도로 등의 토지거래가 활발한 장소에 설치되어 있는 경우가 많아 폐지된 SS적지는 전매, 전용이 폐지후 단기간내에 되고 있는 경우가 많다. 그때에 유류오염의 유무나, 정화가 가장 중요하게 작용하기 때문에, 정화사례도 급증하고 있다.

SS에 있어서 유류오염 상황의 개략도를 나타낸 것이다. 지상급유설비 또는 지하에 매설된 저장탱크로부터 누설한 유분은 지하를 침투해서 토양을 오염한다. SS에서 취할수 있는 유분은 가솔린, 등유, 경유인 경질유로, 이것들은 점도가 작고 비교적 빠르게 심부에 이동하여 지하수면에 도달한다. 지하수면에 도달한 유분은 물보다 가볍고 또 물에 용해되기 어렵기 때문에 지하수 표면에 축적하는 것과 함께 지하수의 흐름에 의해서 이동한다. 게다가 휘발성 성분은 토양가스 성분이 되어 토양간극중에 확산하여 오염분포를 확대해 간다. 이것들의 유류오염의 확대에 관해서는 토양을 구성하는 입자에의 유류성분의 부착 및 흡착, 토양입자 간의 모세관력의 이라는

작용도 포함하는 복잡한 현상이다. 더욱이, 오염사이트의 토양특징에 따라 그것들의 유류성분의 이동에 미치는 영향도 변화하고, 오염 확대의 예측은 어려워지고 있다.

일단, 토양 오염이 발생하면 지하수나 표류수의 오염, 농작물이나 동물에의 오염물질의 축적, 오염 토양의 채취나 접촉에 의해서 인간의 건강에 악영향이 발생하는 경우가 있다. 또, 생활환경이나 생태계에의 영향으로서, 악취나 기름막 등에 의한 불쾌감, 농작물이나 수목의 생육저지, 토양생물이나 미생물에의 악영향도 생각할 수 있다.

(4) 일본의 유류오염 대책방안

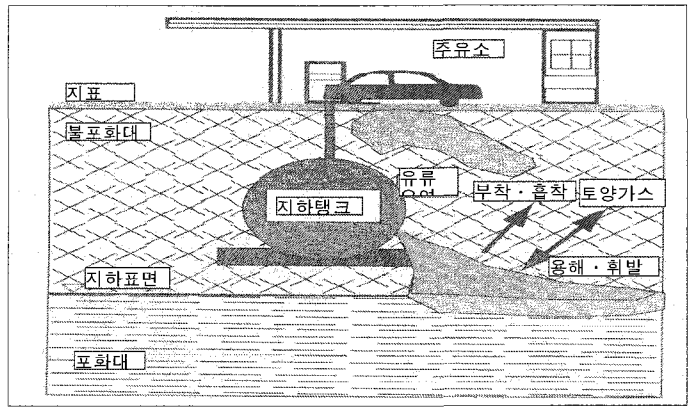
유류오염 토양의 대책기술은 여러 가지가 있지만, 기름의 종류, 토질, 지층구성, 기타 환경의 여러 가지 조건에 따라 그 적용성에 한계가 있고 기술 선택에 있어서는 그것들을 잘 음미한 후에 현장에서의 적용을 결정하지 해야만 한다.

유류오염에 대한 정화방법은 토양오염에 대해서는 주로 현장외반출, 굴착 후 현장내처리(온사이트 처리), 원위치처리의 3종류가 있고 지하수 오염대책에는 원위치 처리수법이 일반적으로 이용되고 있다.

또한, 장외처리는 적응 가능한 유류오염의 종류 및 농도가 넓고, 단기간에 오염면의 정화가 종료되지만, 대량으로 반출되는 오염토양의 처리가 불가결하고, 결과로서 막대한 비용이 필요하게 된다. 더욱이, 오염토양이 덤프 등의 운송기관에 의해 운반되기 때문에, 오염의 확산을 유발할 여지도 있다.

한편, 굴삭 후 장내처리나 원위치처리의 경우 중질유에 대해서는 굴삭처리후의 열분해나 토양선정처리 등의 적용성이 높고, 경질유에 대해서는 보다 분해가 쉽기 때문에 미생물을 이용하는 바이오레메디에션의 적용성이 높아지고, 게다가 비점이 낮기 때문에 휘발처리라고 하는 열탈착기술의 적용성이 높게 된다. 그러나, 오염현장의 면적 및 토량의 점부터는 장내에 있어서 토양선정, 열분해라고 한 대규모 플랜트를 반입한 타입은 처리스페이스가 충분하고 또, 많은 토량이 있는 공장적지 등에는 유효하지만, SS와 같은 토량이 적은 좁은 현장에서는 불리하게 된다. 바이오레메디에숀의 경우, 유류성분 그 자체를 미생물의 활동에 의해 분해처리하기 때문에 후처리가 필요한 폐가스, 폐액이 발생하지 않은 것도 유리한 점이지만, 정화에 필요한 기간이 길어지게 된다.

아래에 유류오염토양에 대한 장내 및 원위치처리법에 대해서 개별적으로 설명한다.




[그림 6.1.6] 주유소 지하의 유류오염 현황

굴삭된 유류오염 토양의 간극내에 부착 또는 흡착해 있는 기름 성분을 씻어내고, 액상으로 변형시킨 것이다. 선정에 이용한 액상에는 물 뿐만아니라 계면활성제 용액 등이 이용된다. 계면활성제를 이용한 경우, 유분은 친수화되는 것에의해 토양으로부터 떨어져 액상으로 변하기 쉽게 된다. 상당히 휘발하기 쉬운 가솔린을 제외하고 경질유에 대해서는 유효인것과 함께, 선정액의 선택을 적절히 하는것에 의해 중질유에 대해서도 효과적이다. 그러나, 대량의 유분을 포함한 선정수를 발생시켜 그 처리가 필요하게 된다. 원래 토양선정법은 굴삭제거한 오염토양을 장외에 있는 대형 플랜트에 운반해 정화처리를 하는 방법이 일반적이지만, 최근 온사이트 처리에 적응할 수 있는 처리장치가 개발되어 가고 있고 연구도 진행되고 있다(中川ら, 2004).

여기서, 실제로 토양선정법을 적용한 사례를 소개하고자 한다. 대상으로 한 실오염토양은 항만지대에 있는 석유비축소적지로부터 채취한 것으로 해사가 중유로 생각되어지는 기름의 누설에 의해 오염된 것이다. 누설사고로부터는 장기간이 경과해 그 조성은 분명하지 않다.

분급처리후의 각 입도범위마다의 유분함유량 분석결과(關野ら,2003), 호의 확대로 각입도범위마다 분급된 시료의 질량비율을 나타내고, 높이에서 각 입도범위마다 시료의 중량비율을 나타내고 있다. 또한, 그 결과로부터 시료 전체가 갖고 있는 유분량에 대한 각 입도범위마다 시료가 갖고 있는 유분량 비율을 산출한 결과(關野ら,2003)를 나타내었다. 이와 같이 전체의 약 6%인 소량의 세립분(~75㎛)이 극단에 높은 유분 함유량을 나타내고 있어, 입경이 클수록 낮은 유분함유량을 나타내고 있는 것이 확인되었다. 중량비율로 약 6%인 미량의 세립분 (~75㎛)이 전체의 52%인

다량의 유분을 갖고 있다. 즉, 세정처리에 있어서, 전체의 6%인 미량의 세립분을 분급처리에 의해 제거하는 것으로 큰폭으로 유분함유량을 저하시키는 것이 나타나 있다. 통상, 토양입경이 크면 선정은 쉽지만 작아지면 곤란하기 때문에 선정전의 분급조작이 토양선정법의 효율을 크게 좌우한다.

일반적으로 토양선정처리는 선정공정과 분급공정의 2개의 공정이 행해지고 있으며, 선정공정에서는 토양입자로부터 분리되기 쉬운 유분의 제거를, 분급공정에서는 유분농도가 높은 세립분의 제거를 실시하고 있다. 후자의 분급공정에서는 일반적으로 세립분에 오염이 농축되고 있다고 여겨지기 때문에 세립분을 분리, 제거하는 것으로 토양의 오염레벨을 큰 폭으로 저하시키는 것을 목적으로 하고 있다.

■ 석회석을 이용한 가열정화처리기술

본 기술은 굴삭한 유류오염토양을 가열하는 것에 의해 유류성분을 휘발, 증발, 탈착시켜 분리하는 방법이다. 이 방법 중 가열로나 소각로를 이용해서 가열을 실시하는 경우는 장외에 있는 설비를 이용하는 것이 된다. 온사이트처리를 하는 경우에는 생석회를 오염토양에 혼합하고, 토양중에 함유된 수분과의 반응열에 의해 유분을 휘발시키는 수법이 있고, 대표적인 것으로 핫소일공법이 있다. 핫소일공법(HOTSOIL Method, 2003)는 토리크로에틸렌 등의 휘발성 유기화합물 (VOC)에 의해서 오염된 토양에 생석회와 같이 물과 발열 반응하는 무기화합물(제품명:핫소일)을 첨가, 혼합하여 수화반응열에 의해서 토양중의 휘발성 유기화합물을 대상 토양으로부터 휘발, 분리하여 발생한 가스를 회수・처리하는 것이다. 이 수법은 열에 의해서 휘발하는 유분에도 이용하는 것이 가능하다.

한편, SS에 있어서 유류오염의 경우, 탄소수가 적은 가솔린 등의 경질유와 탄소수가 많은 타르 등의 중질유가 혼재해 있다. 이와 같은 경우, 열탈착만으로는 중질유가 모두 휘발되지 않고 잔류해, 기름막이나 기름 냄새가 없어지지 않는 경우가 있다. 여기에서 경질유와 중질유의 양쪽모두를 처리할 수 있는 방식이 필요하고, 여기에 적합한 방식이 오일리셋방법(橋本, 2002: 日本機械 (株), 2004)이다.

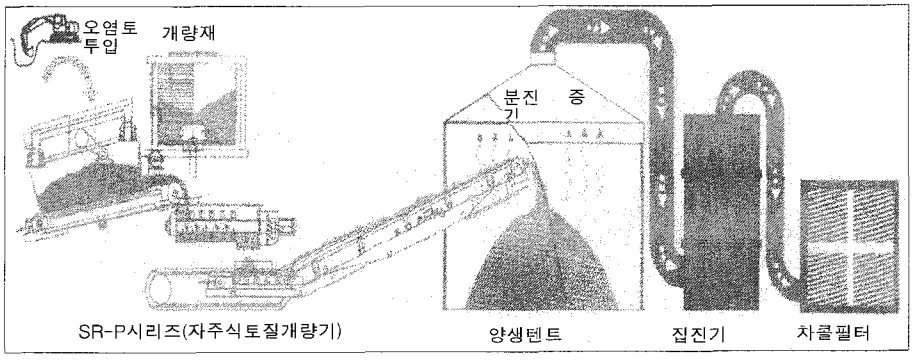
흙입자에 흡착한 유분 및 흡착수에 표면을 소수성화한 석회계이 첨가제를 첨가하면, 흡착수와의 수화반응에 의해 발열하여 이 반응열에 의해 휘발성 유분이 휘발・분리한다. 이때, 유분에 포함된 특정 유해물질의 벤젠도 휘발・분리한다. 또, 소수성화시킨 표면에 유분이 흡착된 후, 생석회가 소석회로 변하는 과정에서 급격한 체적

팽창이 있고, 이때에 기름냄새의 원인이 되는 휘발물 및 불휘발성 유분은 내부에 흡착된다. 게다가, 첨가제의 화학반응에서 생성되는 수화물에 의해 흙입자 자체가 개량되어, 토질이 복토 등에 적합한 토질로 변한다. 이와 같이 토질개량과 토양오염대책이 동시에 이루어 질 수 있다.

자주식 토질개량기를 이용한 오일리셋공법의 설명을 나타내었다. 굴삭된 유류오염토는 토질개량기의 토사호퍼에 투입되어 전술의 첨가제와 혼합 후 양생 텐트내에 배출된다. 혼합 후 바로 반응을 시작해, 휘발성 유분은 증발이 되어 오염토로부터 분리된다. 이러한 증기는 집진기, 활성탄 필터를 통해서 무해한 가스로서 대기에 방출된다.

많은 SS는 수백 m2의 면적밖에 없고, 이와 같은 좁은 장소에서는 플랜트를 갖는 것은 공기, 부지면적의 점에서 어려운 점이 많다. 여기에서, 부정지에서도 자주할 수 있고, 공법으로 필요한 모든 기능을 준비한 소형 토질개량기를 중심으로한 오일리셋공법이 위력을 발휘한다.

공장의 유분대책을 실시할 때의 결과(千田ら,2004: 橋本,2003)를 나타내었다. 원래의 기름 종류는 불명이지만 오일 리셋처리에 의해, 유분량이 1/5 - 1/6으로 감소하고 있다. 게다가, 그 악취가 무취로 판단될 때 까지 감소하였다. 이것들은 오일리셋공법에 의해 토양수복이 된 것을 나타낸 것이다. 그러나, 매우 적은 유분은 잔존하고, 이것을 어디까지 줄이는 것이 가능한가가 금후의 과제라고 할 수 있다.




[그림 6.1.7] 석회석을 이용한 정화공법의 공정도

■ 가스흡인기술

본 기술은 지하수면 상부의 불포화층에 작성한 우물로부터 토양가스를 흡인하는 것에 의해, 유분속에 있는 휘발성이 높은 성분을 제가 및 고취하는 것이다. 보다 고

효율로 실시하기 때문에 별도로 설치한 우물로부터 공기를 지중에 보내, 유분의 휘발을 촉진시키는 것도 있다. 더욱이, 토양가스뿐만 아니라, 액상으로 존재하는 유분이나 지하수중에 용해한 성분도 기화, 방산시켜 흡인하는 것도 가능하다. 흡인한 토양가스는 활성탄을 이용해서 기름성분을 흡착, 제거, 산화제로서 과산화수소나 오존 등을 이용해서 산화분해처리를 실시할 필요가 있다.

본 기술은 비교적 싼 것이지만, 휘발성이 큰 기름 성분에 적용이 한정된다. 또는, 정화진행에 따라서 제거효율이 작게 되기 때문에 정화처리가 장기간으로 이어질 가능성을 가지고 있다.

■ 미생물 이용한 정화처리기술

자연계에 존재하는 미생물 중에는 기름 성분을 그 대사능력에 의해 분해하고, 탄소원으로서 이용 가능한 것이 존재한다. 이와 같이 미생물을 이용해서 기름 성분을 분해하는 것이 본 기술이다. 본 수법은 원래 해양에서의 유류오염에 대해서 시작되어, 해외에서는 지금까지 많은 적용사례가 있고, 성공례가 많이 보고되고 있다.

토양오염에 대해서 적용한 미생물도 기본적으로는 해양오염의 경우와 같은 활동을 하는 것으로 생각해도 좋다.

본 기술에는 굴삭한 오염토양에 적용하는 방법과 굴삭을 실시하지 않고 원위치에서 분해처리하는 방법이 있다.

굴삭한 오염토양을 장내에서 처리하는 경우, 옥외 또는 휘발성 유분 등이 흩어지지 않도록 제어된 옥내에서 실시한다. 수법으로는 굴삭한 오염토양을 얇은 층상으로 쌓고 미새물의 생육 및 대사에 필요한 영양염을 포함한 수용액을 살포하면서 회전기 등으로 정기적으로 살포를 실시 하므로써 토양중에 충분한 공기(주로 산소)가 골고루 미치도록 한다. 이와 같은 기술을 랜드파밍법으로 온사이트 처리에서는 주요한 기술이다. 주요한 기름 분해 미생물은 호기성으로 기름 성분을 산화분해 한다. 그렇기 때문에 분해처리를 효율적으로 실시하기 위해서는 충분한 산소의 공급이 필수적이다.

한편, 원 위치처리에 미생물을 이용하는 경우 지표부근의 산소의 공급이 기대 가능한 장소에서는 영양염을 첨가하는것에 의해 미생물의 활동을 활성화한다. 산소의 공급이 부족한 지하심부에 있어, 설치한 우물로부터 산소 및 영양염의 공급이 필요하게 된다. 단, 미생물에 따라서는 실증적조건 아래에 있어서 초산호흡이나 황산호흡에 의해 기름 성분을 분해하는것도 존재하지만, 그 분해속도는 작은 것이기 때문에 장기적

인 정화처리가 가능한 면에 있어서만 적용가능하게 된다. 또, 원위치처리의 경우, 오염면의 온도환경도 아주 중요한 인자이다. 미생물의 활동은 온도에 의해 크게 영향받는 것으로부터 동계나 한랭지역에 있어서는 그 분해속도는 크게 저하한다.

오염토양에 대한 미생물의 이용방법으로서는 오염면에 원래 존재하는 기름 성분 분해능력을 가진 미생물을 활성화하는 것에 의해 정화를 실시한 바이오스테뮤레이션과 기름 성분분해능력을 가지고 있는 알고 있는 미생물을 외부로부터 공급하는 바이오오규멘테이션이 있다. 바이오오규멘테이션는 유럽에서는 적극적으로 이용되고 있지만, 일본에 있어서는 생태계에의 영향 등의 우려로 현시점에서는 시행단계에 멈춰있는 상태이다.

토양오염에 대한 미생물의 이용은 일반적으로 유류오염농도가 낮기 때문에 대량의 토양의 장외처리가 될수 없는 경우나 토양의 재이용을 전망할 수 없기는 하지만 정화기간을 어느 정도 필요로 해도 문제가 없는 경우에 실시한다. 그때에는 경제성면에서는 상당히 저렴하고, 정화후의 토양의 성질도 크게 변화시키지 않고 환경부하도 작다. 덧붙여서 미국에서는 유류오염면의 5-10%는 미생물을 이용한 정화처리에 의해 이루어지고 있다((재)석유활성화센터, 2002).

유류오염처리에 이용되는 미생물은 원래 자연계에 서식하는 것으로 오염면에서는 미생물에 의한 유류분해가 많이 일어나고 있다. 바이오스테뮤레이션은 이 분해속도를 인위적으로 증대시킨 것이다. 유류오염농도가 상당히 낮고, 또 장기간의 수복시간을 들일 수 있는 경우에는 인위적인 노력을 들이지 않고, 자연의 분해력만을 이용한 수복을 기대할 수 있다. 이와 같은 자연의 정화능력만을 활용하고 단 정화과정은 정기적으로 조사해 나가는 수법을 과학적 자연감응(Monitored Natural Attenuation : MNA)이라고 부른다. 이 수법이 적용가능한 경우에는 정화비용은 훨씬 저렴할 수 있다.

## 3. 竹中工務店(다케나카 고무텐) 기술연구소

### 가. 다케나카 고무텐의 정화처리기술 현황

토양 중에 다이옥신이나 PCB는 소량이라도 치명적이며 이에 대한 무해화 기술이 필요하다.

다케나카는 온 사이트 형의 'Dio Sweeper'를 개발하고 PCB 오염 토양의 무해화를

위한 오염 토양 정화 비즈니스를 시작했다. Dio Sweeper는 오염 토양을 최대 50t/day로 처리할 수 있고 PCB가 휘발성이 높은 특징이 있고 건조 공정 시의 외부의 확산을 막기 위해 고기능으로 배기가스를 처리할 수 있다.

※ PCB : 폴리염화비페닐, 화학적으로 합성된 유기 염소화합물 중 하나. 생체 내에 쉽게 흡수되고 잔류성이 높고 피부 장애를 가져오는 등의 만성적인 독성을 갖는다.

다케나카는 중금속·휘발성 유기 화합물(VOC) 등의 유해물질에 의해 오염된 토양의 정화부터 오염 상황에 따른 최적인 토지 활용까지 같이 제안할 수 있는 「오염 토지의 대책 활용 제안 프로그램」을 개발했다. 이는 오염 토양의 정화 방법의 선정, 대책비용·대책 기간의 산정, 오염 상황에 따른 건물용도 제안, 사업 수지 예측 등 토지소유자나 토지 구입자의 요구를 고려하면서 최적인 토지 활용을 제안할 수 있는 프로그램이다.

다케나카는 종래부터 다양한 토양 정화 기술을 실제 프로젝트에 적용해 토양환경의 개선에 노력해 왔으며 「토양오염 대책법」이 2003년 2월 15일 시행된 것을 계기로 본사 내의 토양정화팀을 증강함과 동시에 도쿄·나고야·오사카 등 3개 지점에 새롭게 토양정화팀을 설치하고 토양 정화 및 토지 활용 요구에 따른 종합적인 컨설팅 체제를 갖추었다. 다케나카 건축은 앞으로 토양환경 솔루션을 제공함으로써 적극적으로 토양환경 비즈니스에 집중할 예정이다.

다케나카는 VOC(휘발성 유기 화합물)로 오염된 토양을 단기간에 저비용으로 굴착하는 일 없이 그 위치에서 정화하는 환경친화적인 '알루미늄 크린 공법(알루미늄 혼합 토양 가열 흡인법)'을 개발, 실용화했다.

종래의 유사한 공법(가스 흡인법)에서는 정화에 수개월~수년 걸렸지만 '알루미늄 크린 공법'은 토양의 성질 및 오염 농도의 다과에 관계없이 수주에서 1개월 정도에 오염 토양을 환경기준치 이하로 정화한다. 토지의 매각이나 건물의 건설이 급할 때 빠르게 대응할 수 있다.

VOC에 의한 토양오염은 기계 부품 등 금속 가공품 공장이나 클리닝 공장 등에서 볼 수 있다. 공장용지의 주택·상업 시설로의 전환·전용, 부동산의 증권화, 토양오염 처리 선진국인 외국 기업의 진출 등의 새로운 조류 중에서 '토양오염 대책법'이 시행되어 토양오염 대책은 필수가 되고 있다. '알루미늄 크린 공법'은 단기간에 빠르게 정화할 수 있어 적용 범위가 넓고 환경친화적인 저비용의 오염 토양 정화 공법이다.

(1) 알루미늄 크린 공법

굴착한 오염 토양에 알루미늄 분말과 알칼리재를 교반 혼합해 화학 반응시킴으로써 토양중의 VOC를 휘발시킨다. 이 때, 수소 가스의 기포가 발생해 토양의 환기성이 향상되므로 VOC 가스를 단시간에 대량 흡인할 수가 있고 이것을 활성탄에 흡착시켜 정화한다. 토양을 환경기준치 이하까지 완전하게 정화할 수 있기 때문에 처리후의 토양은 묻어서 재이용이 가능하다.

이 굴착, 교반 혼합, 흡인, 매립 반환을 "1공정"으로 해 정화하는 토양의 양에 따라 작업이 반복된다. "1공정"당 20~40㎥의 오염된 토양이 정화된다.

(2) 알루미늄 크린 공법의 장점

■ 단기간에 토양을 정화

알루미늄의 화학반응의 특성을 이용해 강제적으로 VOC를 제거하기 때문에 정화 처리에 필요한 시간은 "1공정"당 8시간부터 2, 3일 정도로 짧다. 토지매각이나 건물의 건설을 서두르고 있어 단기간에 정화해야 할 필요가 있을 때 적합한 정화 공법이다.

■ 토양의 성질 및 오염 농도의 다과에 관계없이 확실히 정화

환기성이 나쁜 토양에서는 가스 흡인법을 사용하지 못하고 고농도의 오염의 경우는 종래 굴착한 토양을 중간 처리 후에 장외 반출하거나 혹은 중간 처리하지 않고 특별 관리형 최종 처분장에 반출하고 있었다. '알루미늄 크린 공법'은 알루미늄의 화학반응에 의해 휘발을 촉진해 환기성이 좋은 상태를 만들어 내기 때문에 토양의 성질 및 오염 농도의 다과에 관계없이 어떤 토양이라도 정화할 수 있다.

■ 처리비용효과

어떤 토양이라도 환경기준치 이하로 정화하므로 처리 후 묻어서 재이용이 가능하다. 장외 반출할 필요가 없기 때문에 비용이 대폭 절감된다.

■ 환경친화적인 정화공법

장외 반출할 필요가 없고 또 흡인한 VOC 가스를 활성탄에 흡착시킴으로써 오염의 확산을 방지할 수가 있다.

(3) DCM－e공법

'DCM－e공법'은 이미 다케나카가 개발해 항만 등의 연약 지반의 개량으로 많은 실적이 있는 DCM 공법(심층 혼합 처리 공법)을 응용한 것으로, 굴착 제거가 곤란한 깊이 40m 정도까지 오염된 토양을 금속계 환원재로 정화할 수 있다. 이 환원재는 인체에 무해하고 유지관리가 필요 없는 염가의 금속재를 사용하며 약 3~6개월에 환경기준치 이하까지 오염 농도를 저감시키고 그 후도 정화 효과를 지속시킨다.

토양이 오염되고 있는 깊이까지 '심층 혼합 처리기'의 교반날개를 관입하고 속에 넣어서 첨단으로부터 금속계 환원재를 추출한다. 교반날개의 회전에 의해 오염 토양과 환원재를 균일하게 서로 섞이도록 하며 보링 조사에 의해 그 효과를 확인한다. 점토질이 많은 지반에서는 교반날개의 회전운동에 의해 지반이 느슨해지는 경우가 있어 고체화재를 병용해 지반 강도를 유지한다.

(4) DCM－e공법의 장점

■ 다양한(깊이나 지반)측면에서 효과적

굴착 곤란한 40m 정도의 깊이까지 대응할 수 있다. 또, 교반에 의해 지반이 느슨해지기 쉬운 점토질 지반에도 적용 가능하다.

■ 좁은 부지에서도 작업이 가능

토양을 굴착할 필요가 없기 때문에 지상에 대규모 굴착 오염토의 처리 야드를 마련할 필요가 없다. 부지에 여유가 없는 경우에서도 채용할 수 있는 공법이다.

■ 메인터넌스

금속 환원재를 사용해 장기간 효과가 지속한다. 시공 후의 유지관리도 불필요해 유지비용도 들지 않는다.

■ 처리비용효과

굴착 비용, 오염 토양 반출·처분 비용이 들지 않고, 염가의 금속 환원재를 사용하기 때문에 비용을 억제할 수 있다.

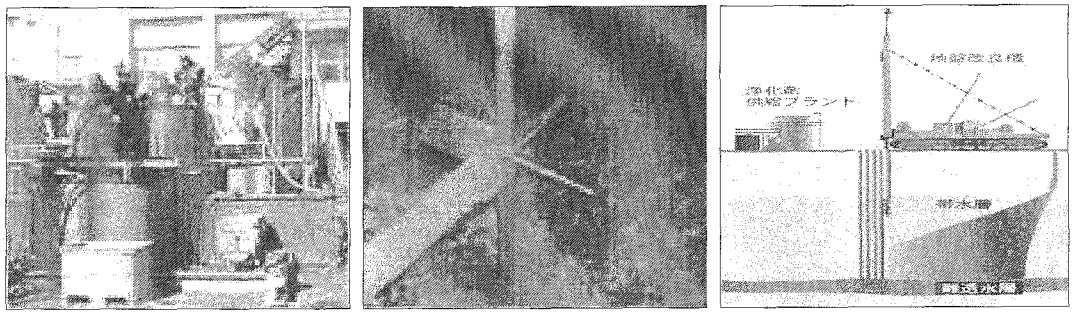
■ 환경친화적인 정화방법

오염 토양을 굴착해 산업 폐기물 처분장에 옮길 필요가 없기 때문에 오염의 확산을 막는다. 또, 자연계에 존재하는 철 등의 금속을 환원재로서 사용하기 때문에 인체에도 무해하다.

■ 신뢰성 확보

수많은 실적이 있는 'DCM 공법'을 응용하고 있으므로 높은 기술적 신뢰성이 확보되고 있다.

VOC(휘발성 유기 화합물)는 금속 가공품의 세제, 드라이클리닝용의 용제 등 산업 분야에서 폭넓게 이용되어 왔다. 이 때문에 오염지도 전국에 퍼지고 있어 오염 토양의 약 반은 VOC가 원인으로 추정되고 있다. VOC는 비중이 크고 지중 깊게 침투해 지하수 오염의 주된 요인이 되는 경우가 많은 만큼 발본적인 오염 방지 및 정화 대책의 개발이 요구되고 있다. 'DCM-e공법'은 기술적 신뢰성이 뛰어나 적용 범위가 넓고 비용 대 효과가 높으며 환경친화적인 이상적인 정화 공법이다.



[그림 6.1.8] DCM-e공법

(5) 다케나카 고무텐의 오염토양 대책 활용 제안 프로그램

토양오염이 상황에 따라 토지소유자나 토지구입자의 리스크 및 사업성을 평가하고 최적인 토지 활용 플랜을 제안한 솔루션 기술로 다음과 같은 3가지로 구성되어 있다.

■ 토지 활용 계획

사업자 요구에 적합한 계획 : 사업 리스크 대비책 등을 제시하면서 사업자 요구에 적합한 토지 활용 계획을 제안한다.

외부 조건의 정리 : 토지 입지 가능성의 파악, 토지 구입자 요구 확인, 주변 주민의 의향, 지방 자치 계획과의 적합여부.

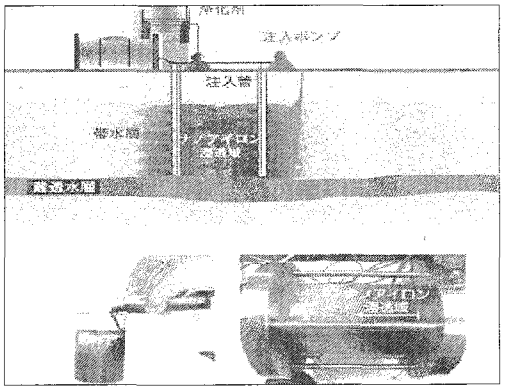
토지 활용 메뉴의 제시 : 다채로운 토지 활용 메뉴로부터 최적안을 제시한다.

■ 토양오염 대책

오염 간이 진단 : 「토양환경 체크」에 의해 오염의 예비 진단을 효율적으로 한다. 소재지, 대지면적, 업종 또는 토지이용 상황, 유해 물질의 사용상황 등의 정보로부터 토양오염의 가능성을 평가할 수 있다.

오염 상황의 조사 : 자료 등 조사, 토양오염 상황 조사(개요 및 상세 조사)를 실시하고 오염 물질, 농도, 범위를 파악, 확정한다.

토양오염 대책 메뉴 제시 : 오염 상황에 따라 토양오염 대책 메뉴(방침, 방법, 대책비 용, 대책 기간)를 제시한다.



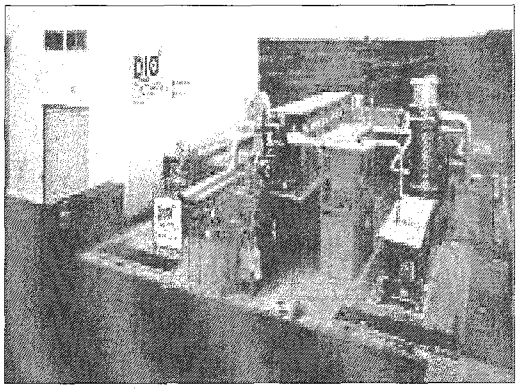

[그림 6.1.9] 유류성분 추출

■ 토양오염 대책과 토지 활용 플랜의 제안

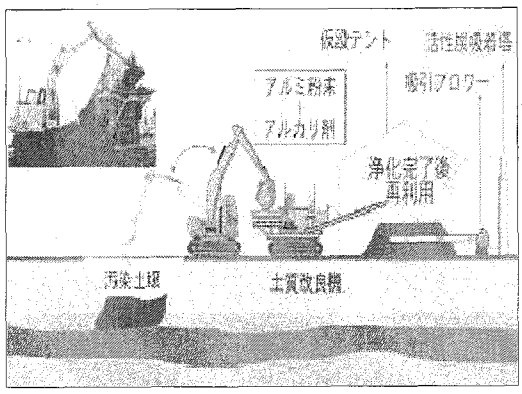
토양오염 상황의 데이터(오염 농도, 토질, 함수율 등), 토지 활용 계획 데이터를 입력하고 정화 대책비용이나 대책 기간을 산정하고 환경 리스크 및 기업 리스크를 평가한다. 또한 수익환원법 및 원가법에 의한 사업성 평가에 의해 오염 상황에 따른 최적인 토지 활용 플랜을 제안한다.

일례로서 오염 경로를 차단하고 부지 내에 산재한 오염 토양을 1곳에 모아 주차장 등에 활용하고 나머지 지역의 자유도를 주어 토지의 가치를 높이는 방법을 제안한다. 단순하게 정화 방법만을 제안하는 시뮬레이션뿐만 아니라 장래의 토지 활용에 관계된 사업 수지 등의 출력도 가능하다.

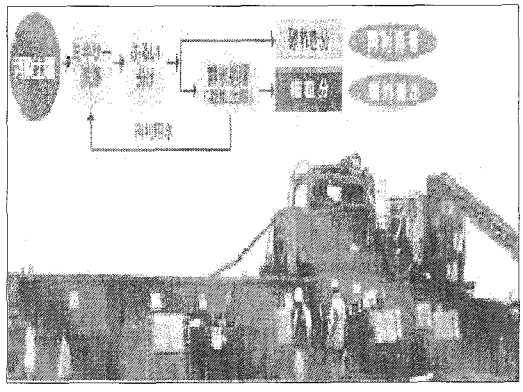
다케나카는「토양환경 솔루션」의 홈페이지를 개설하고 다케나카의 토양오염 대책 연구나 컨설팅 내용을 소개하고 있다. 토양오염의 가능성을 간단하게 체크할 수 있는 「토양환경 체크」 코너도 있고 http://www.takenaka.co.jp/soilenvi/에서 확인할 수 있다.



[그림 6.1.10] 가열처리시스템




[그림 6.1.11] 석회석을 이용한 온싸이트 정화



[그림 6.1.12] 세척정화시스템



[그림 6.1.13] 세척정화 후 운반

## 4. 戶田建設(도다건설) 건축공사기술부

### 가. 도다건설의 정화처리기술 현황

도다건설(주)과 (주)마에카와 제작소는 VOC(휘발성 유기 화합물)로 오염된 토양을 「토양 동결과 가스 흡인 처리」 공법을 함께 적용해 신속하면서 비용이 적게 들고, 안전하게 정화하는 촉진 공법을 개발했다. 도다건설(주)과 (주)마에카와 제작소는 VOC(휘발성 유기 화합물)로 오염된 토양에 대해 양사가 개발한 신기술에 의한 정화 촉진 공법의 현장 실증 실험을 실시하고 종래의 「가스 흡인 처리」 보다 VOC 오염물질을 빠르고 값싸며 안전하고 확실하게 정화할 수 있는 것을 실증했다.

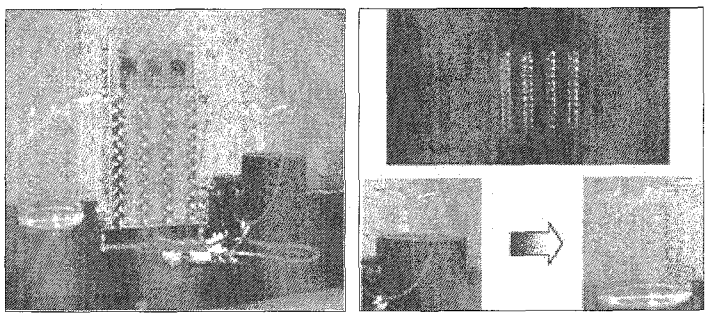
이번에 개발된 공법은 「토양 동결과 가스 흡인 처리」를 병용한 하이브리드형 정화 촉진 공법으로 VOC 등으로 오염된 토양을 원위치에서 동결함으로써 오염물질을 집적시키고 고농도로 한 후 동결 토양을 융해하여 토양을 다공질화하여 통풍성을 높이고 단시간에 대량의 VOC 가스를 흡인한 공법이다. 또한 흡인한 오염물질은 활성탄에 흡착되고 무해화된다.

종래의 가스 흡인 처리는 통풍성이 좋은 자갈질의 토양에 많이 적용되고 있지만, 통풍성이 나쁜 점토질의 토양에서 VOC를 제거하기 위해서는 장기간이 필요하기 때문에 적용이 곤란했다. 이와 같은 정화가 곤란했던 VOC(벤젠 등)로 오염된 점토질의 토양에 적용한 현장 실증 실험을 실시한 결과, 종래의 공법과 비교하여 공사 기간, 비용 모두 약 1/2 이하로 줄어들었고, 오염 토양은 환경기준 값 이하로 안전하고 확실하게 정화됐다.

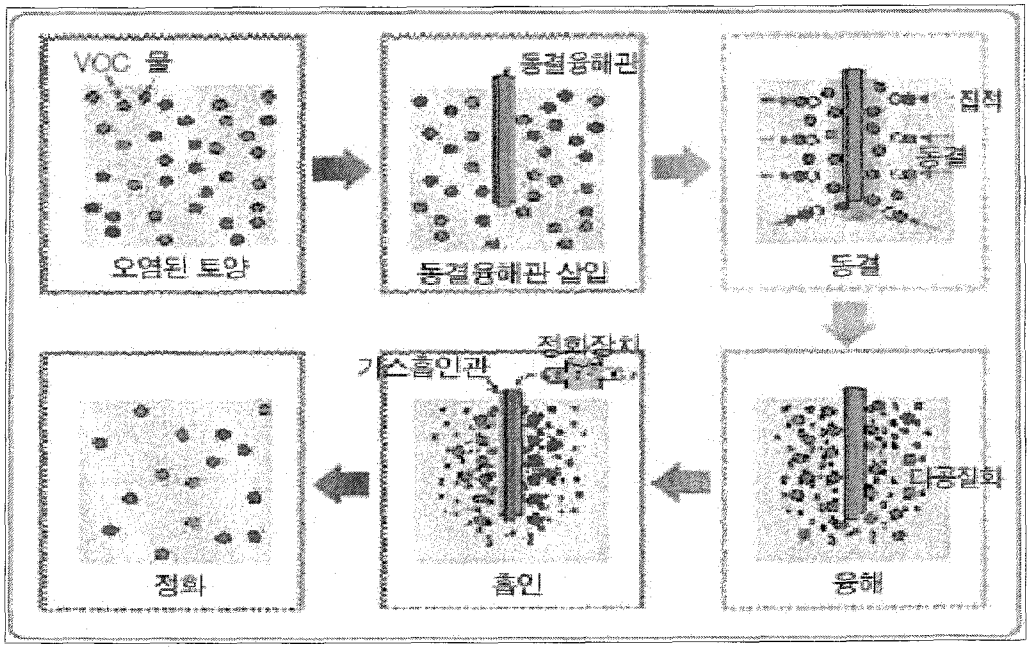
최근 화학물질에 의해 토양과 지하수가 오염되면서 사회문제로 부각되고 있다. 일본의 경우 2003년 2월 「토양 오염 대책법」이 시행 이후 토양 정화의 수요가 확대되고 있지만 도다건설은 이번에 개발한 신기술을 활용하여 오염 토양 정화 분야에서 영업을 적극적으로 전개하고 있다. 현재 토양오염을 정화시키는 공법이 많이 개발되고 있다. 오염현장의 VOC 정화에는 가스흡인, 양수기법, 생물정화(바이오 레미디 에이션), 화학적 분해법 등이 적용되고 있다.

하지만 가스흡인이나 양수기법은 오염농도가 아주 높은 토양 정화처리 시작 직후에는 정화효율이 눈에 띌 정도이지만, 저농도 레벨에서는 효율이 크게 떨어져 처리기간이 장기화되는 문제를 안고 있다. 또한 바이오레미디에이션으로는 정화기간이 몇년씩이나 걸리고, 생태계 차원의 문제가 발생하며, 화학 분해법으로는 유해 부산물에 의한 2차 오염이나 지중의 지질 구조에 대한 이해부족으로 토양오염 지역 밖으로 유출되는 등의 문제가 있다.

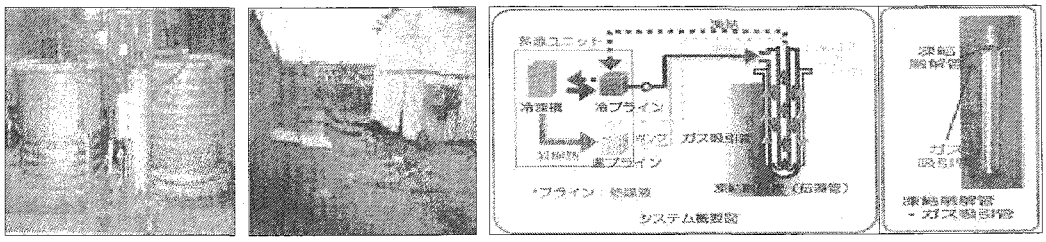
(1) 도다건설 공법의 특징



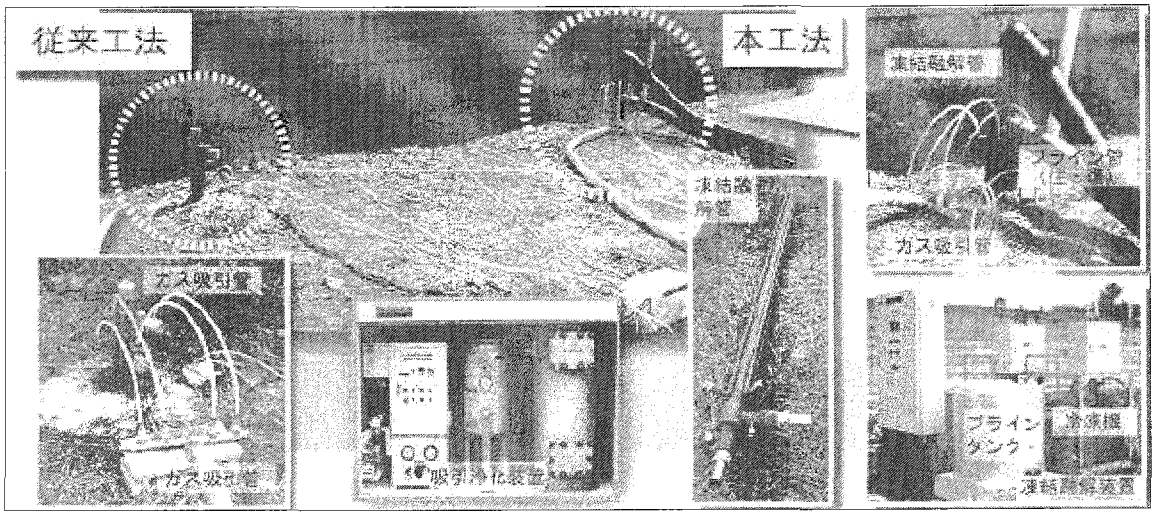
[그림 6.1.14] 동결과 가스흡인 실험




[그림 6.1.15] 동결과 가스흡인 처리에 의한 토양정화촉진 공정도



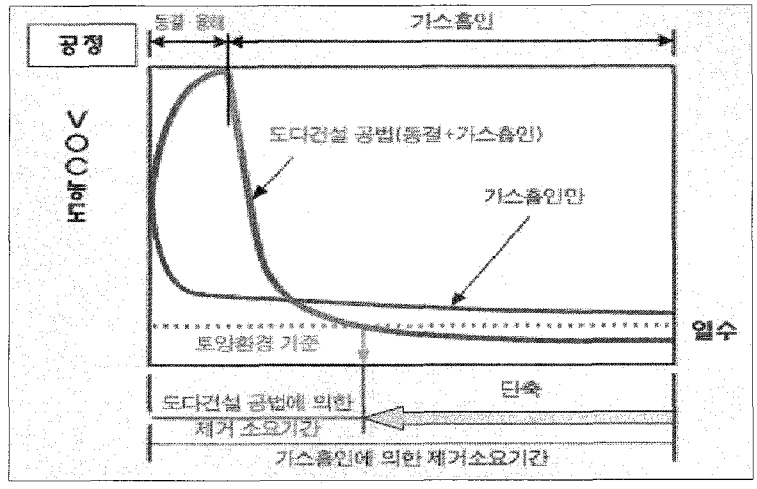
[그림 6.1.16] 정화처리시스템 및 현장적용




[그림 6.1.17] 동결과 가스흡인 처리에 의한 토양정화

- 오염 토양을 굴착한 후 열전도체 통로와 가스 흡인 통로를 갖는 동결 융해관을 삽입하고 그 관에 냉매액을 주입하고 관 주변의 오염 토양을 동결시키고 토양중에 존재한 VOC 오염물질을 관의 주변에 집적·농축시킨다.
- 다음에 관에 온매액을 주입하고 동결한 토양을 융해한다. 이 때 토양 입자의 간극이 증대하고 토양의 통풍성이 높아지고 오염 가스를 흡인하기 쉬워진다.
- 융해 후 관에 부속된 가스 흡인관의 내부를 고 부압으로 가스 흡인 통로에 있는 여러 개의 구멍으로부터 집적한 오염물질을 빠르게 오염 가스로서 제거한다. 제거된 가스는 활성탄에 흡착시켜 회수되고, 무해한 상태로 하여 외기로 배출되기 때문에 배출 가스에 의해 대기를 오염시킬 걱정이 없다.
- 토양중의 VOC 오염물질을 단기간에 토양 환경기준값 이하의 저농도 레벨까지 확실하게 정화할 수 있음.
- 동결 융해에 의한 토양의 다공질화로 효율적인 처리가 가능함.

- 융해할 때에 냉동사이클의 증발과 응축열을 효과적으로 이용할 수 있어 에너지가 절약됨.
- 오염지역의 현장에서 바로 처리함.
- 2차오염이 없어 주변 환경을 오염시키지 않음.
- 오염물질(중금속, 기름)의 선택적 집적에 의해 복합오염에 대응할 수 있음.




[그림 6.1.18] 오염토양 정화공법의 비교

사질층에 적용한 실험에서는 종래의 가스흡인법과 비교해 아주 짧은 시간(약 1/2 이하)에 VOC 오염물질을 토양 환경기준값 이하로 제거할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 또한 정화 유효 면적이 가스흡인법과 비교해 약 3배이기 때문에, 가스흡인관이나 굴착범위를 1/3로 줄일 수 있고, 비용을 약 30% 절감할 수 있는 것으로 판명되었다.

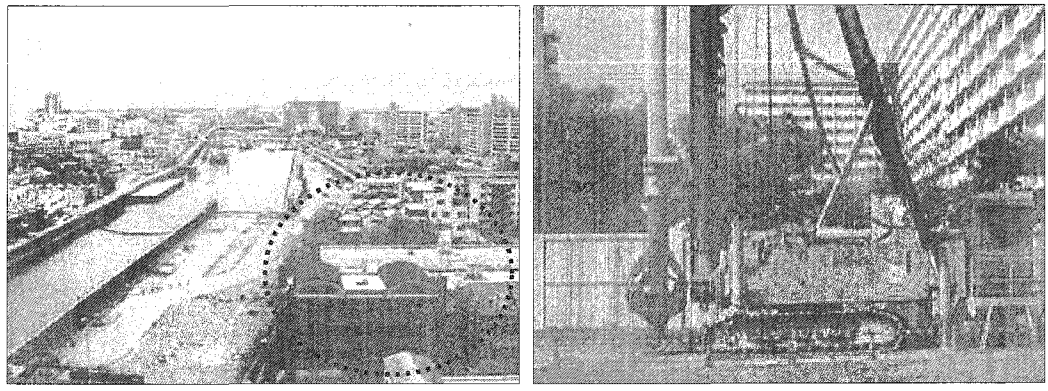
향후에는 종래의 가스흡인법으로는 정화가 곤란했던 실트질, 점토질의 오염 토양에 대해서도 이번에 개발된 공법을 적용해 유효성을 검증하는 등 실용화할 방침이라고 한다.

(2) 도다건설의 정화공사현장 사례

도다건설은 최근에 PCB, 다이옥신, 수은, 납으로 오염된 폐수를 대상으로 한 준설·탈수 고화 개량 공사를 하였다. 이 공사에서는 주변 환경을 배려한 고농도 진공흡인 압송 방식에 의한 백호식 준설선과 종래보다 약 5.7배의 여과 압력을 가지는 초고압 필터 프레스를 이용하여 탈수 고화 처리하고 되메우기 흙으로서 재활용하여

지반 정비를 하였다.

이 공사는 강폭 약 30m, 공구 연장 약 2400m에 걸치는 도시 하천의 대규모 준설 공사이다. 공사 구역에는 고속도로 건설에 사용된 가설구조물(가 수로, 마감 강널판)이 강폭을 분할하고 있었고 시공 기계가 통과할 수 없는 횡단 교량이 있는 등 일반적인 준설과 비교하여 제약 조건이 많은 공사였다. 또, 공사 구역의 강변에는 주택지가 있어 준설 시공 시의 냄새의 억제나 폐수의 기중 노출 제한 등 주변 환경을 배려하여 준설토를 효율적으로 이용할 필요가 있었다.



[그림 6.1.19] 오염토양 정화처리 현장

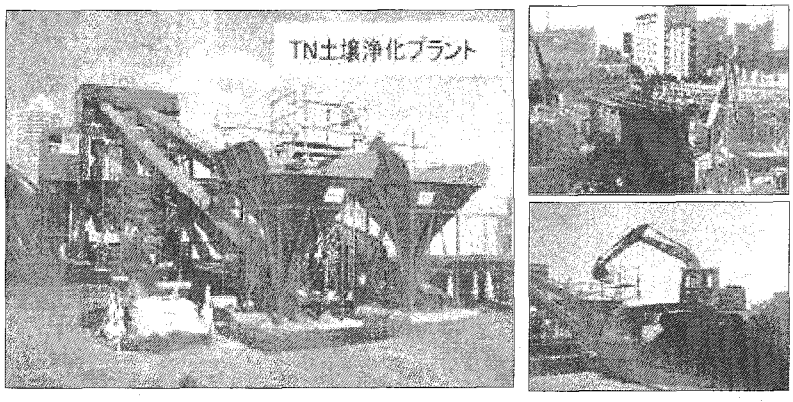
우선 냄새의 확산을 방지하기 위해 고농도 진공 흡인 압송 방식에 의한 백호 식의 펌프 준설선을 채용했다. 준설 방법은 선단의 드럼 부속품의 커터를 회전시켜 바닥을 깎아내고 진공 발생장치를 이용하여 진공 흡입하고 압송용 콤프레서를 이용하여 파이프라인으로 탈수 고화 플랜트까지 보낸다. 이에 의해 냄새가 대기로 확산되는 것을 방지했다.



[그림 6.1.20] 건축공사 전 현장내 정화

준설토의 효율적인 이용을 도모하기 위해 종래형의 약 5.7배의 여과 압력(4MPa)을 갖는 초고압 필터 프레스를 이용하여 탈수 고화 개량을 하고 함수비 86%이하, 실내 콘지수 1200kN/㎡ 이상으로 개량하고 되메우기 흙으로서 효율적으로 이용했다. 또한 폐수에 포함되고 있던 유해물질은 탈수 고화토 안에 가두어 용출되지 않게 했다.

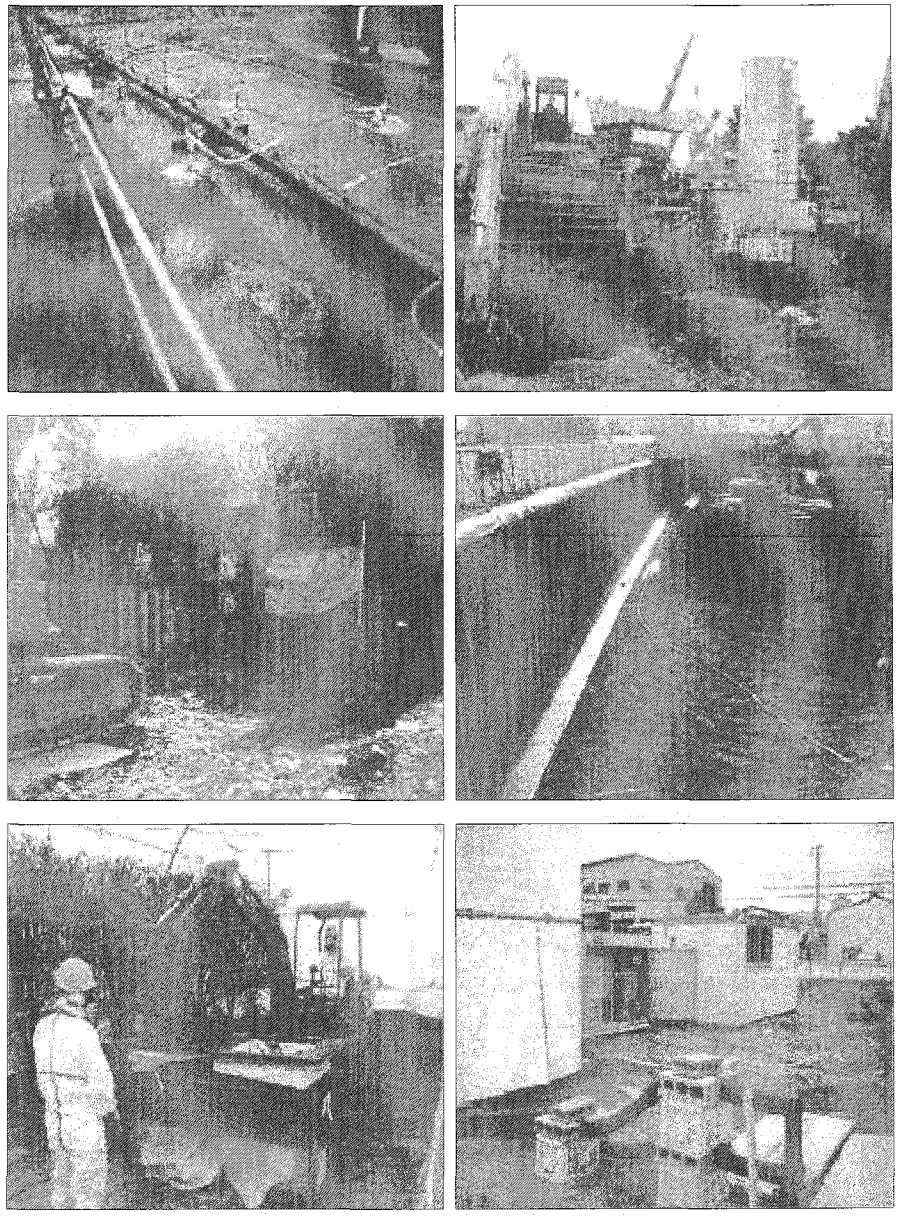
환경을 배려하기 위해 탈수된 오니를 응집제에 의한 고형분 침강, 모래 여과기 처리 후, 통상의 배수보다 수십 배 엄격한 관리치(SS5mg/L)를 적용하여 방류 수조의 pH계·탁도계에 의한 연속 감시 하에서 방류하고 공공 수역로의 유해물질 확산 방지를 위해 노력했다.




[그림 6.1.21] 오염토양 정화처리장으로 수송 후 정화

유해물질, 악취 등 환경 면에서 특별한 배려가 필요한 공사를 위해 전문가를 위원으로 한 환경 감시위원회의 지도·조언을 받고 작업 환경에 세심한 주위를 기울이고 작업원의 유해물질에 의한 폭로 방지를 위해 노력하면서 주변 환경 보전과 준설토의 효율적인 이용을 도모하고 환경에 문제없이 무사히 준공할 수 있었다.

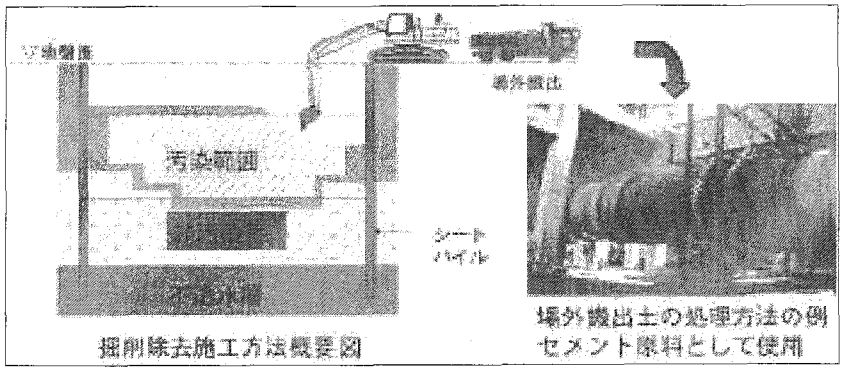
오염토양과 오염 폐수의 처리의 문제는 날이 갈수록 중요해질 것이며 이러한 오염토양, 폐수를 전문적으로 처리해 주는 비즈니스가 앞으로 많이 생길 것으로 예상된다.



[그림 6.1.22] 바이오 공법 처리공정

본 회사는 경제성을 고려하여 장외처리를 기본으로 하며, 현장장내처리를 할 경우 비용이 증가하게 된다. 또한, 오염토양을 현장 내에서 처리시 사업장 부지의 공간에 대한 효율성이 떨어져 현장외로 운반하여 처리한다.

본 회사가 보유하고 있는 현장외 정화처리 방법 중 가열방법에 대한 공정은 먼저 사전조사 실시 후 오염물질의 성분을 파악하기 위해 전자측정기를 이용하여 측정하고 오염도에 대한 측정결과 판단 후 실시한다.




[그림 6.1.23] 도다건설이 보유한 가열처리공법

<표 6.1.3> WRAP(The Waste & Resources Action Programme, England 2005)

| 용 도 | 사 용 처 | 내 용 |
|---|---|---|
| Bricks & Tiles | Bricks & Tiles | 조분 및 미분의 상태로 골재 및 충진재로서 사용하며, 카올린계 광물로 구성된 기존의 벽돌 및 타일보다 소성온도를 낮추고, 외관이 미려하다는 장점이 있음. |
| Water Filtration | Drinking Water | 다공질 유리를 수처리 중간체로 사용하여 식수를 여과하는데 사용 |
| | Industrial Application | 다공질 유리를 수처리 중간체로 사용하여 공업용수를 여과하는데 사용 |
| | Swimming Pools | 다공질 유리를 수처리 중간체로 사용하여 수영장 물을 여과하는데 사용 |
| | Waste Water | 다공질 유리를 수처리 중간체로 사용하여 하수 및 폐수를 여과하는데 사용 |
| Grit Blasting | Grit Blasting | 고압의 air와 함께 분사하여 연마재로 사용 |
| Sports turf | Golf bunkers | 골프 코스의 벙커에 천연모래 대신 사용 |
| | Top dressing | 골프 코스 로드에 사용 |
| | Artificial Surfaces | 천연적인 해저드나 벙커가 아닌 인공의 해저드나 벙커 제작시 사용 |
| Cement & Concrete | Cement | 포졸란성 물질로 활성화시켜 혼화재로 사용 |
| | Concrete | 골재 및 충진재로 사용<br>알칼리-실리케이트 반응에 대한 조절이 관건 |
| Fibreglass insulation | - | 용융 가공하여 유리 섬유로서 가공하여 절연체로 사용하거나, 콘크리트에 혼입하여 강도 증진을 목적으로 사용 |
| Container glass | - | 다공성 유리질화하여 촉매나 기타 기능성 물질의 담체로 사용 |

# 제2절 순환골재 생산 공정상의 토분에 포함된 이물질 제거장치 개발

## 1. 일본의「건설발생토 이용기준」 (일본 국토교통성 대신관방 기술조사과)

### 가. 서론

「발생토이용기준(案)에 관하여(건설성技調發제173호,平成6년7월20일)」는 건설발생토의 토질구분 기준 및 적용용도 표준을 정하고 있다.

건설발생토 등의 유효이용에 관한 행동계획(平成15년10월3일)을 접수하고 발생토 이용기준(案)에 대하여 재검토를 행하기 위하여 平成15년11월에 건설발생토 이용기술 매뉴얼 개정검토 위원회를 설치하고 3회에 걸쳐 검토하여「건설발생토 이용기준에 관하여」를 지방정비국 등에 통지하였다.

### 나. 건설발생토 이용기준의 주요 개정 포인트

주된 개정 포인트는 아래의 3가지이다.

- 적용 용도표준에 있어서 평가의 명확화, 사용상 유의사항의 충실
- 토질구분기준의「일본통일토질분류방법」의「지반재료의 공학적 분류방법」으로의 개정 반영
- 泥土C의 도로노체용 성토에 대한 적용을 [X] → [△]으로

### 다. 발생토 이용기준에 대하여

(1) 목적

본 기준은 건설공사에 수반하여 부차적으로 발생하는 토사와 오니(이하 '발생토'라 부름)의 토질특성에 따른 구분기준 및 각 구분에 따른 적용용도 표준 등을 나타냄으로써 발생토의 적절한 이용 촉진을 꾀하는 것을 목적으로 한다.

본 기준에 관해서는 금후의 관계법령 및 기준 등의 개정·제정과 기술적 상황 변

화 등을 근거로 하여 필요에 따라 재검토를 행하도록 한다.

(2) 적용

본 기준은 발생토를 건설자재로써 이용하는 경우에 적용한다. 단, 이용 용도가 한정되고 각각의 이용용도에 따른 기준 등이 별도로 규정되어 있는 경우에는 별도로 규정되어 있는 기준 등에 의한다.

(3) 유의사항

본 기준을 적용하고 발생토를 이용함에 있어서 관계규정 등을 준수하지 않으면 안 된다.

(4) 토질구분기준

(가) 토질구분기준

발생토의 토질구분은 원칙적으로 콘지수와 토질재료의 공학적 분류체계를 지표로 하고 <표 6.2.1.>에 나타나 있는 토질구분기준에 의한다. 또한, 토질개량을 행한 경우에는 개량 후의 성상으로 판정한다.

(가) 토질구분판정을 위한 조사시험방법

토질구분 판정을 위한 지표를 얻을 때에는 <표 6.2.2>에 나타나 있는 토질구분 판정을 위한 조사시험 방법을 표준으로 한다.

(5) 적용용도기준

발생토 이용 시 용도는 토질구분에 기초하여 <표 6.2.2>에 나타나 있는 적용용도 표준을 기준으로 하고, 개개의 사례에 가깝게 대응한다.

## 라. 결론

이번에 공표한 본 기준이 각 공공공사에 활용되고 발생토의 적정한 이용이 촉진될 것으로 기대된다. 또한, 독립행정법인토목연구소로부터「건설발생토 이용기술 매뉴얼」이 추후 발행될 예정이므로 참고하기 바란다.

<표 6.2.1> 토질구분기준

| 구분 (국토교통성령) | 세구분 | 콘지수 qc (kN/㎡) | 토질재료의 공학적 분류 | | 비 고 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 대분류 | 중분류 토질{약호} | 함수비 (%) | 굴삭(掘削) 방법 |
| 제1종건설발생토 (모래, 자갈 및 이에 준하는 것) | 제1종 | - | 역질토 (礫質土) | 역{礫,G}, 砂礫{GS} | - | 배수를 고려하지만 비, 침출지하수 등에 의해 함수비가 증가할 것으로 예상되는 경우에는 1단계 아래의 구분을 적용<br><br>수중굴삭 등에 의하는 경우에는 2단계 아래의 구분을 적용 |
| | | | 砂質土 | 砂{S}, 礫質砂{SG} | | |
| | 제1종개량토 | | 인공재료 | 개량토{I} | - | |
| 제2종건설발생토 (사질토, 역질토 및 이에 준하는 것) | 제2a종 | 800이상 | 礫質土 | 세립분혼입礫{GF} | - | |
| | 제2b종 | | 砂質土 | 세립분혼입砂{SF} | - | |
| | 제2종개량토 | | 인공재료 | 개량토{I} | - | |
| 제3종건설발생토 (통상의 시공성이 확보되는 점성토 및 이에 준하는 것) | 제3a종 | 400이상 | 砂質土 | 세립분혼입砂{SF} | - | |
| | 제3b종 | | 粘性土 | 실트{M},점토{C} | 40%정도 이하 | |
| | | | 화산회질 粘性土 | 화산회질 粘性土{V} | - | |
| | 제3종개량토 | | 인공재료 | 개량토{I} | - | |
| 제4종건설발생토 (점성토 및 이에 준하는 것. 제3종건설발생토 제외) | 제4a종 | 400이상 | 砂質土 | 세립분혼입砂{SF} | - | |
| | 제4b종 | | 粘性土 | 실트{M},점토{C} | 40~80% 정도 | |
| | | | 화산회질 粘性土 | 화산회질 粘性土{V} | - | |
| | | | 유기질토 | 유기질토{O} | 40~80% 정도 | |
| | 제4종개량토 | | 인공재료 | 개량토{I} | - | |
| 니토(泥土) | 니토a | 200미만 | 砂質土 | 세립분혼입砂{SF} | - | |
| | 니토b | | 粘性土 | 실트{M},점토{C} | 80%정도 이상 | |
| | | | 화산회질 粘性土 | 화산회질 粘性土{V} | - | |
| | | | 유기질토 | 유기질토{O} | 80%정도 이상 | |
| | 니토c | | 고유기질토 | 고유기질토{Pt} | - | |

<표 6.2.2> 토질구분판정을 위한 조사시험방법

| 판정지표 | 시험방법 | 규격번호, 기준번호 |
|---|---|---|
| 콘지수 | 흙의 콘지수 시험방법 | JIS A 1228 |
| 토질재료의 공학적 분류 | 지반재료의 공학적 분류 방법 | JGS 0051 |
| 자연함수비 | 흙의 함수비 시험방법 | JIS A 1203 |
| 흙의 입도 | 흙의 입도 시험방법 | JIS A 1204 |
| 액성한계, 소성한계 | 흙의 액성한계, 소성한계 시험방법 | JIS A 1205 |

<표 6.2.3> 적용용도표준

| 구분 \ 적용용도 | | 공작물의 되메우기용 | | 토목구조물 채우기용 | | 도로용 성토재 노상 | | 도로용 성토재 노체 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 평가 | 유의사항 | 평가 | 유의사항 | 평가 | 유의사항 | 평가 | 유의사항 |
| 제1종건설발생토 (모래, 자갈 및 이에 준하는 것) | 제1종 | ◎ | 최대입경주의 입도분포주의 | ◎ | 최대입경주의 입도분포주의 | ◎ | 최대입경주의 입도분포주의 | ◎ | 최대입경주의 입도분포주의 |
| | 제1종개량토 | ◎ | 최대입경주의 | ◎ | 최대입경주의 | ◎ | 최대입경주의 | ◎ | 최대입경주의 |
| 제2종건설발생토 (사질토, 역질토 및 이에 준하는 것) | 제2a종 | ◎ | 최대입경주의 세립분함유율 주의 | ◎ | 최대입경주의 세립분함유율 주의 | ◎ | 최대입경주의 | ◎ | 최대입경주의 |
| | 제2b종 | ◎ | 세립분함유율 주의 | ◎ | 세립분함유율 주의 | ◎ | | ◎ | |
| | 제2종개량토 | ◎ | | ◎ | | ◎ | | ◎ | |
| 제3종건설발생토 (통상의 시공성이 확보되는 점성토 및 이에 준하는 것) | 제3a종 | ○ | | ○ | | ○ | | ◎ | 시공기계선정 주의 |
| | 제3b종 | ○ | | ○ | | ○ | | ◎ | 시공기계선정 주의 |
| | 제3종개량토 | ○ | | ○ | | ○ | | ◎ | 시공기계선정 주의 |
| 제4종건설발생토 (점성토 및 이에 준하는 것) | 제4a종 | ○ | | ○ | | ○ | | ○ | |
| | 제4b종 | △ | | △ | | △ | | ○ | |
| | 제4종개량토 | △ | | △ | | △ | | ○ | |
| 니토(泥土) | 니토a | △ | | △ | | △ | | ○ | |
| | 니토b | △ | | △ | | △ | | △ | |
| | 니토c | × | | × | | × | | △ | |

[평가]

◎ : 그대로 사용이 가능한 것. 유의사항에 사용시의 주의를 나타냄.

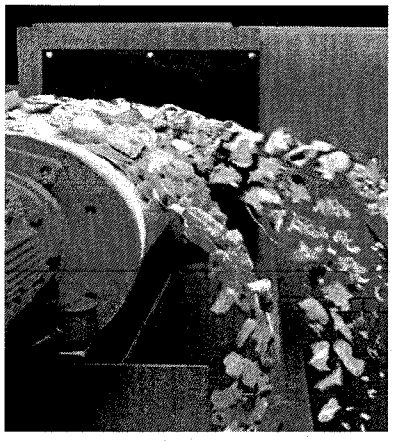
○ : 적절한 토질개량(함수비 저하, 입도조정, 기계부가·보강, 안정처리 등)을 행하면 사용가능한 것

△ : 평가결과가 ○인 것과 비교하여 토질개량에 비용 및 시간이 더 많이 필요한 것

× : 양질토와의 혼합 등을 행하지 않는 한 토질개량을 행하여도 사용이 부적한 것

## 2. 기타 분리·선별 장치

### 가. 핀란드 METSO MINERALS社의 린드만 비철금속분리기(Lindemann non-ferrous separators)



비금속 물질로부터 비철금속을 분리함에 있어서 유해물질을 발생시키지 않으며 건식분리 과정을 용이하게 해줌

편심으로 배열된 자성체들의 최적화된 마그네틱 플럭스(magnetic flux), 가변적인 극성 전도 주기(variable pole reversal frequency), 다목적 조정 시스템(multifunctional control system) 등이 특징임

금속 재생업체(metal recyclers), 폐기물 재생 플랜트(waste recycling plants), 폐유리 재생 플랜트(waste glass recycling plants), 비철금속 재용해 산업(non-ferrous metal remelting industry)에서 이용하기에 적합

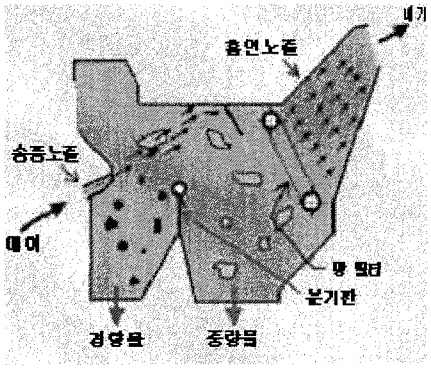
### 나. EARTH TECHNICA Co.(川崎重工業과 神戸製鋼 破碎機事業 통합회사)의 풍력선별기 「에어제트 세퍼레이터 エアジェットセパレータ」

기류 속에 처리물을 투입하고, 그 비산거리의 차에 의해 중량물(重量物)과 경량물(輕量物) 2종류로 분별(分別)하는 선별장치(選別裝置)

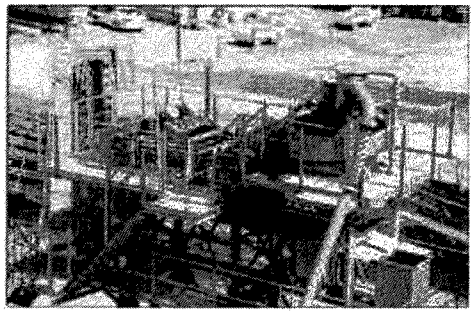
송풍 노즐에 의해 장치 속으로 도입된 선별 에어는 송풍 노즐의 경사면 위쪽에 마주보는 위치에 설치된 흡인 노즐에 의해 흡인됨

장치 내에서는 선별 에어에 의해 불어 날리어진 처리물 중 중량물은 분기판 전방에, 경량물은 분기판 후방에 떨어져서 장치 밖으로 배출

송풍 노즐과 흡인 노즐 사이에는 망 필터가 있으며 기류(氣流)에 수반되는 극경량물(極輕量物)을 포착(捕捉)하여 경량물(輕量物) 슈트로 배출



## 다. 株式會社氣工社(KIKOSHA CO.,LTD.)의 저비중물질 제거장치 (輕比重物除去裝置) 파미스레타(パミスレーター)



잔골재 원료 중에 콘크리트에 부적합한 비중이 낮은 물질이 포함되어 있는 경우, 이들을 제거하지 않으면 안 됨

파미스레타는 자연의 힘을 활용하므로 낮은 운전비용과 컴팩트한 구조가 특징인 저비중 물질 제거장치

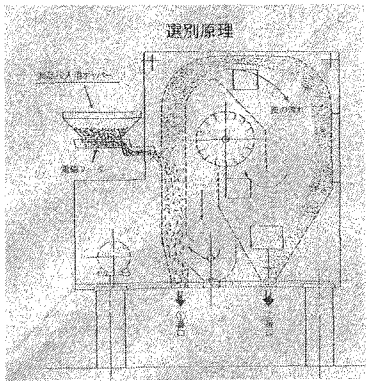
나무 부스러기와 찌꺼기는 물론이고, 물에 뜨지 않는 생목(生木)、가벼운 돌(輕石)、화산재(火山灰)와 화산돌(火山礫)、석탄 부스러기(石炭屑) 등도 제거하여 양질(良質)의 잔골재로 변하게 해줌

물과 함께 파미스레타에 투입된 원료 중 가벼운 입자는 비중 분리통 속에서 적절하게 조정된 상승류(上昇流)에 의해 흘러넘치게 된 후 스크린(망 0.6㎜)으로 흘러 보내어져 비중이 낮은 물질은 망 위에 남아 제거

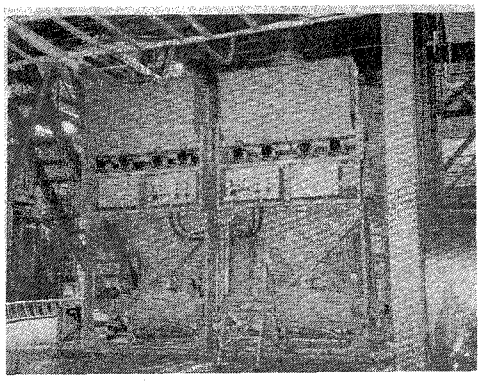
망을 통과한 사이즈가 매우 작은 물질들은 비중 분리통 속에 침강한 양질의 모래와 합류하여 다음 공정의 분급기로 투입

## 라. 日本專機(株)「A-SM 밀폐식 순환 풍력선별기」

- ㅇ 電磁氣 피더로부터 정량 투입된 제품이 본체 중심의 실로코팬으로부터 불어나오는 바람에 의해 선별되고 가벼운 물질은 2번구로 날아가고, 무거운 물질은 그대로 낙하하여 1번구 쪽으로 떨어진다.
- ㅇ 밀폐된 선별 Box 내의 공기를 순환시키는 밀폐식 선별방식임
- ㅇ 1차, 2차, 3차 각각의 선별실에서의 誘導벽을 지니는 형태

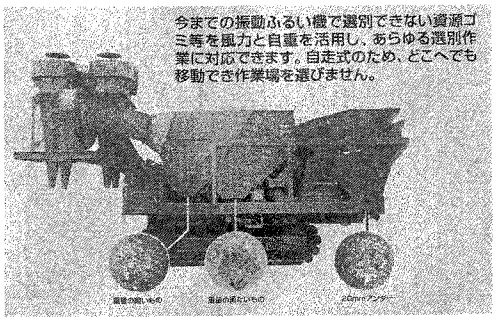



선별 원리

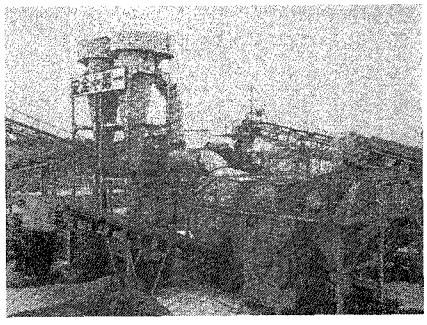


L-1500형 선별기

## 마. 오노데라제작소(株)의 「Let's 오노데라의 풍력선별기」




이동식 장치



고정식 장치

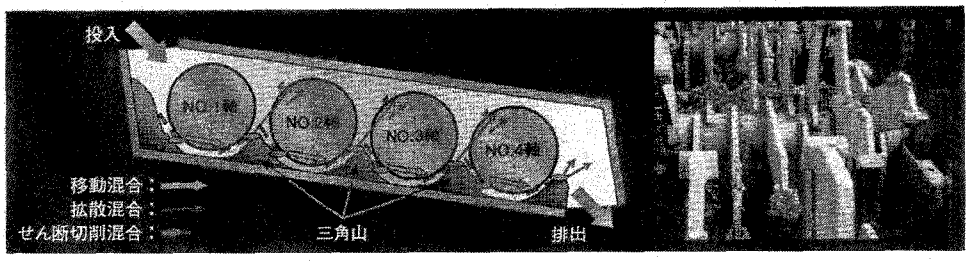
- ○ 지금까지의 진동 스크린으로 선별되지 못하던 쓰레기 등을 풍력과 자체중력을 활용하여 모든 선별작업에 대응이 가능하다.
- ○ 건설혼합폐기물·산업폐기물의 전처리 분별과 파쇄물의 선별, 소각물의 전처리 선별과 소각재의 선별, 건설잔사·콘크리트 덩어리의 선별 등에 이용 가능

## 바. 발생토로부터 오염토까지 다양한 흙을 소생하는 장치 개발

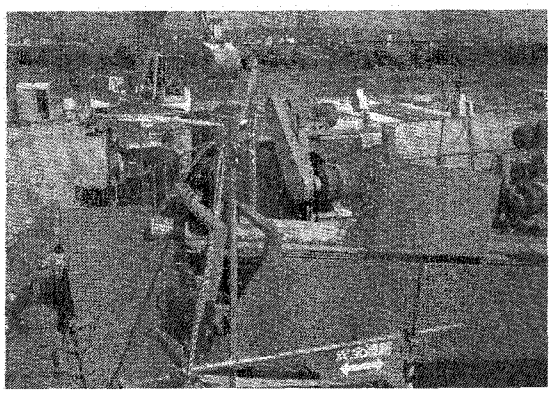
- ○ (주)코트(오사카부 소재)는 인간이 자연과 공존공생하고 보다 좋은 환경에서 생활을 영위하는 장소, 만물을 창조하는 흙의 종합병원을 목표로 하여 현재까지 150만㎥를 넘는 흙을 소생시킨 실적을 지니고 있다.
- ○ 흙이라 하여도 성질과 성상이 각기 다르다. 지금까지 점토, 모래, 자갈 등은 한 가지 성분만으로는 사용가능한 경우가 없었다. (주)코트는 다른 성질의 여러 종류의 흙을 균형감 있게 혼합시키면 양질의 원기 좋은 자연의 흙으로 개

질될 수 있다는 것을 발견하였다.

- 독자적인 건설발생토 리사이클링 시스템은 「Earth Relieve System」 이라고 명명된 핵심적인 장치가 「만능토질개량기」 이다. 혼합방식(4축직렬 혼합방식)을 베이스로 하여 고화재, 석회 등을 사용하지 않고 다른 건설발생토(점성토, 사질토, 역질토 등)를 수 종류 조합하여 혼합하고 입도를 개량하면 양질의 개량토를 다량 안정적으로 처리할 수 있다. 이 플랜트가 「만능토질개량기」 이다.
- 「만능토질개량기」 는 4축직렬 혼합방식을 채용하고 있다. 교반기 날개는 4축의 회전으로 흙을 입구로부터 출구를 향하여 가장 효율 좋게 혼합 가능하도록 연구된 것이다. 토사의 흐름에 대하여 교반 날개를 직각으로 4축배치한 독자적 구조를 구축하였다. 4축의 각 회전속도를 순차적으로 고속 운전시키는 메커니즘을 지니며, 고효율적 교반과 혼합을 가능토록 하였다.
- 교반날개에 부착된 팁은 내구성이 우수하고 메인터넌스 작업이 적어 경제적이다. 「만능토질개량기」 의 양적인 혼합성능은 시스템 설정 수치의 1%미만의 오차 내이기 때문에 양적인 처리성능은 우수하다는 것이 확인되었다. 멘셀값에 의한 색상은 사전배합시험과 실제기계 운전 후의 값이 거의 같았다. 입도혼합성능은 합성(단순합성)입도, 사전배합시험, 실제기계 운전으로 얻은 입도분포가 근사(勤仕)하기 때문에 색상과 입도혼합능력이 높다. 혼합처리토의 최대처리능력은 사질토계통은 120㎥/hr, 점성토 계통은 80㎥/hr이었다.



4축혼합방식에 있어서 혼합 메커니즘

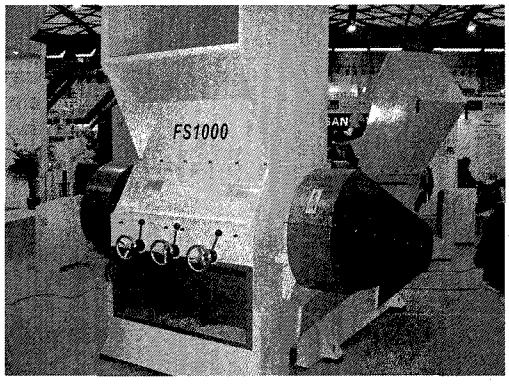

만능토질개량기 사진

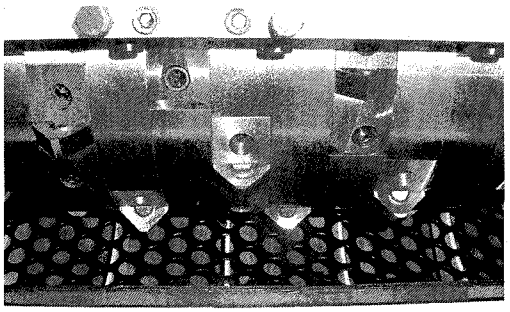
# 제3절 폐기물 재활용율 제고를 위한 해체 현장 합리화 및 폐폴리올레핀폼을 활용한 건자재 제조·시공 기술 개발

## 1. 상해 플라스틱 및 고무박람회 APPLAS 2007

### 가. 연구 관련 자료 조사

파쇄기는 커터날과 타공판의 크기에 따라 작은 입자에서부터 큰 입자까지 다양하게 파쇄가 가능하며, 파쇄가능한 양도 소량에서 대량까지 가능하게 파쇄기의 크기가 다양하였다.



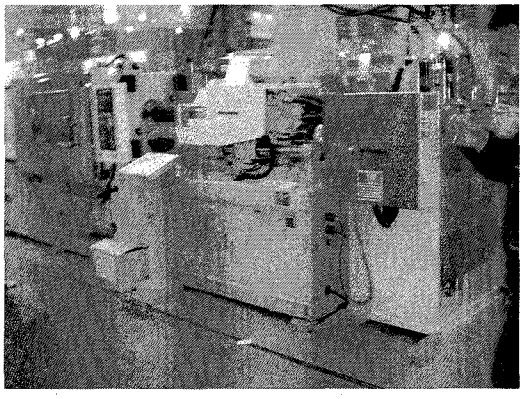
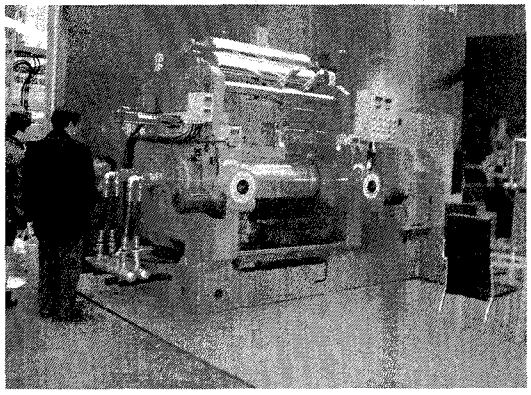



[파쇄기의 종류 (대형)]

[파쇄기의 종류별 성능 조사]

| TYPE | FEED INLET (㎜) | POWER (kw) | STATOR (pc) | ROTOR (pc) | WEIGHT (kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| Fs300 | 300×310 | 4~5.5 | 2 | 3 | 500 |
| FS450 | 350×460 | 5.5~11 | 2 | 6 | 800 |
| FS560 | 450×570 | 11~15 | 2 | 6 | 1300 |
| FS700 | 580×710 | 15~22 | 4 | 6 | 2600 |
| FS800 | 580×810 | 22~37 | 4 | 6 | 3200 |
| FS800A | 750×810 | 37~45 | 4 | 8 | 3800 |
| FS1000 | 750×1010 | 45~55 | 4 | 8 | 4200 |
| FS1200 | 750×1210 | 55~75 | 4 | 8 | 4600 |
| FS1200Z | 1000×1210 | 75~110 | 4 | 10 | 7500 |

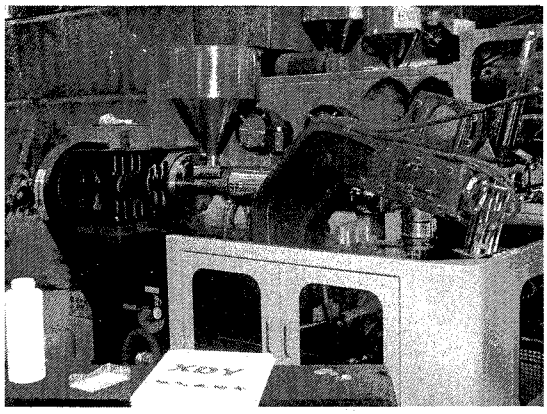
플라스틱 압출성형은 원료 투입상태에서 열이 가해진 실린더 내부에서 스크류의 회전으로 압력을 가해 완성된 제품이 나오는 형태로 압출성형은 다이스라는 것을 통하여 나온다. 플라스틱 화일, 비닐(PP필름,PE필름 등) 또는 OPP테이프 같은 경우는 연속작업이 가능하며, 비닐(롤형태) ,세탁업소 비닐등이 압출성형 제품이다.

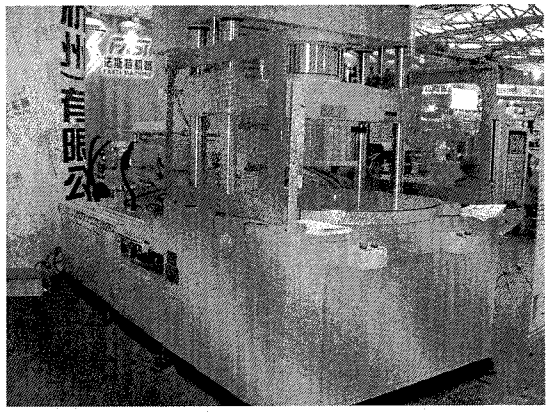



[압출 성형기]

발포폴리올레핀을 활용하여 건자재로 만들기 위해서는 압출성형과는 거리가 멀고, 사출성형을 해야 하며, 여러 종류의 사출 성형기를 조사하였다. 박람회의 전시된 사출기는 크게 5가지 동작으로 되었으며, 관련된 공정에 대해 조사할 수 있었다.

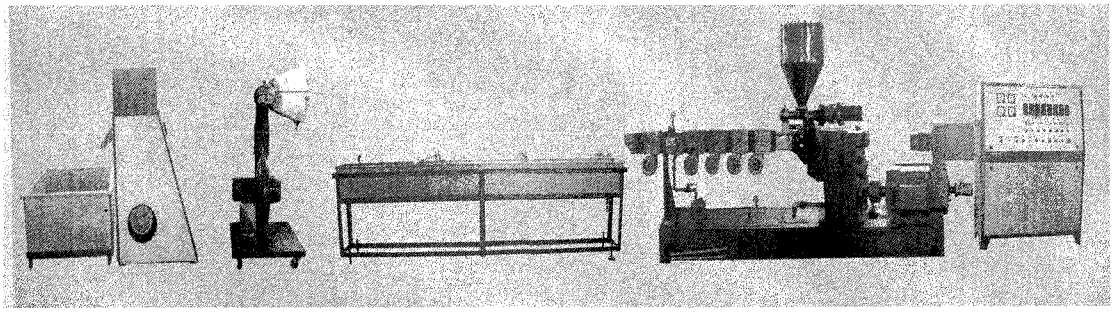
○ 1단계는 가소화단계로 건조한 수지(원재료)성형기 호퍼에 넣어 가열 실린더 안으로 일정량을 보내는 단계로 재료을 용융시키는 단계
○ 2단계는 1단계에서 용융상태가 된 수지를 금형을 사출기의 노즐을 거쳐 스프루 안으로 넣어 스프루를 통하여 런너를 거쳐 캐비티까지 밀어 넣는 유동단계
○ 3단계는 냉각단계로 금형을 차가운 물로 냉각 시켜 제품을 빠른 시간 내 굳히는 단계
○ 4단계는 이젝팅 단계로 닫혀 있던 금형이 열리면서 제품을 위로 쳐올려 금형과 제품을 분리하는 단계
○ 5단계에선 금형이 열려 있는 동안 재료를 다시 공급하여 다음번 사이클의 수행을 준비를 하는 성형재료 공급단계



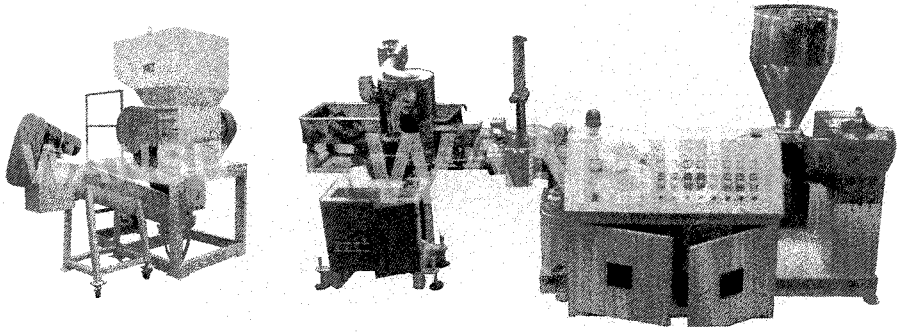


[사출 성형 공정]

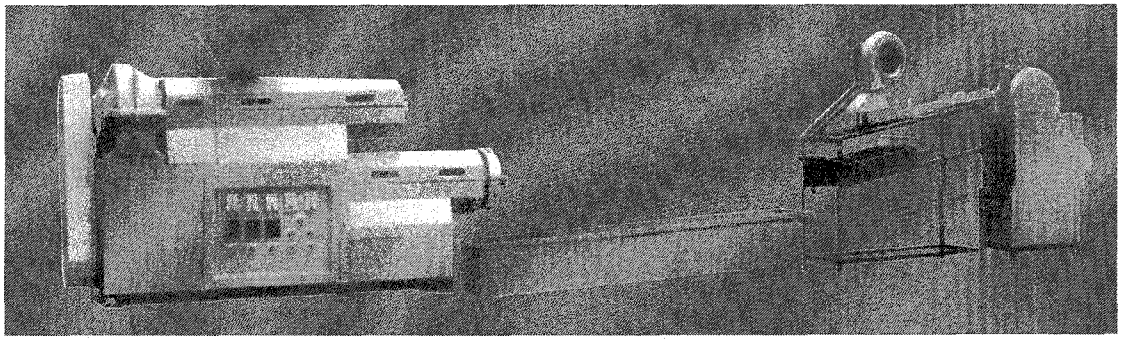
범용플라스틱의 웨이스트를 이용하여 재활용하는 시스템을 조사하였다. 분리와 세정을 하는 시스템을 이용하여 물과 염수로 이물질과 폴리올레핀계, PE, PP, ,PS PVC 등을 분류하는 시스템을 조사할 수 있었다. 플라스틱 웨이스트의 종류에 따른 재활용 시스템을 조사하였다.



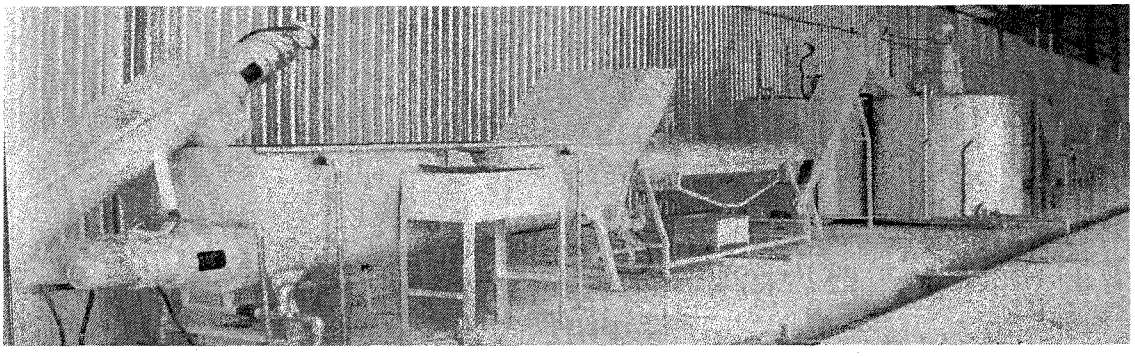
[플라스틱의 웨이스트 재활용 시스템]

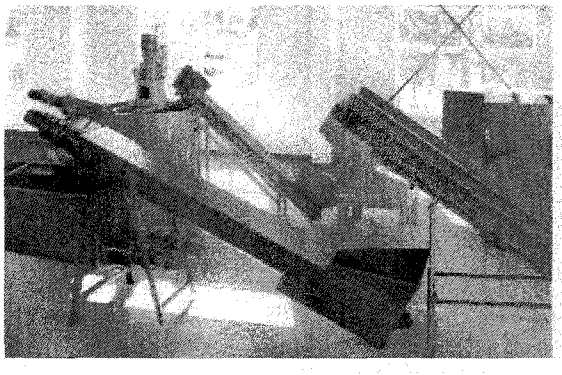


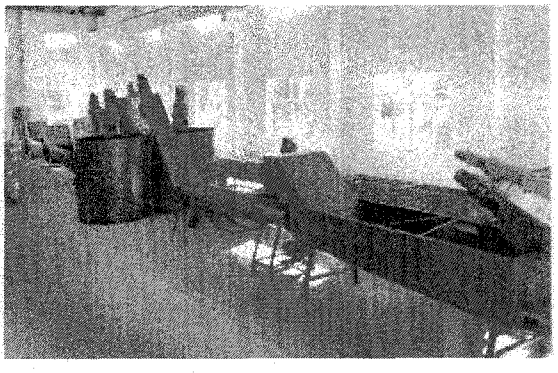
[ABS 웨이스트 재활용 시스템]



[PE, PP 웨이스트 재활용 시스템]



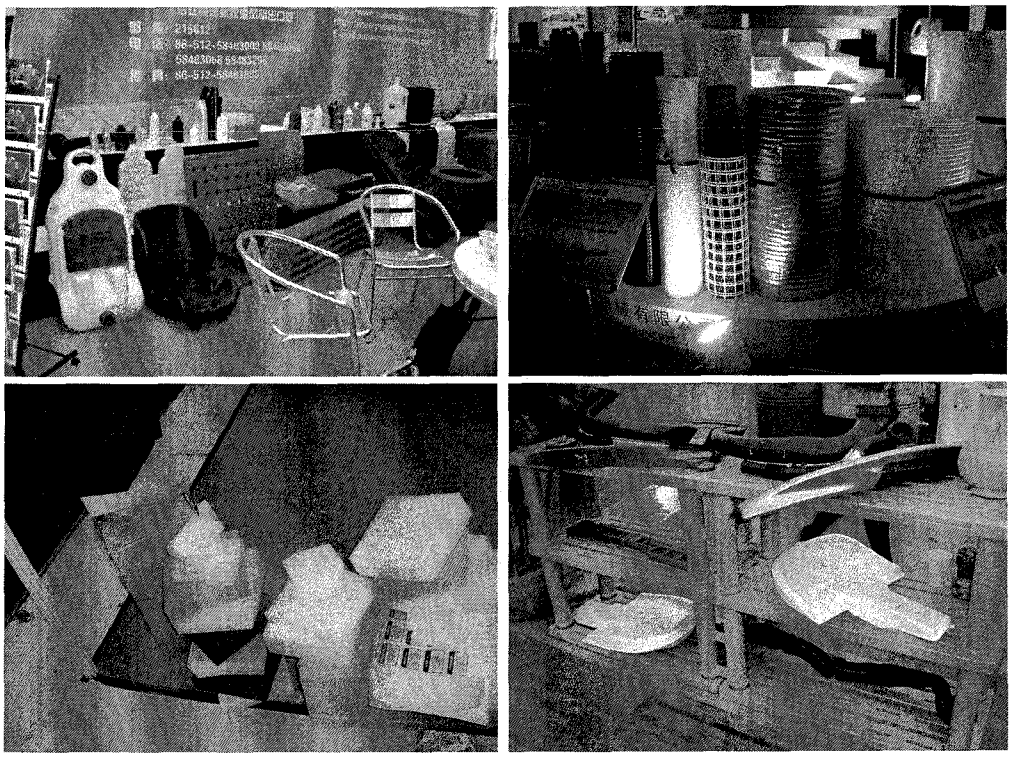




[PET 웨이스트 재활용 시스템]

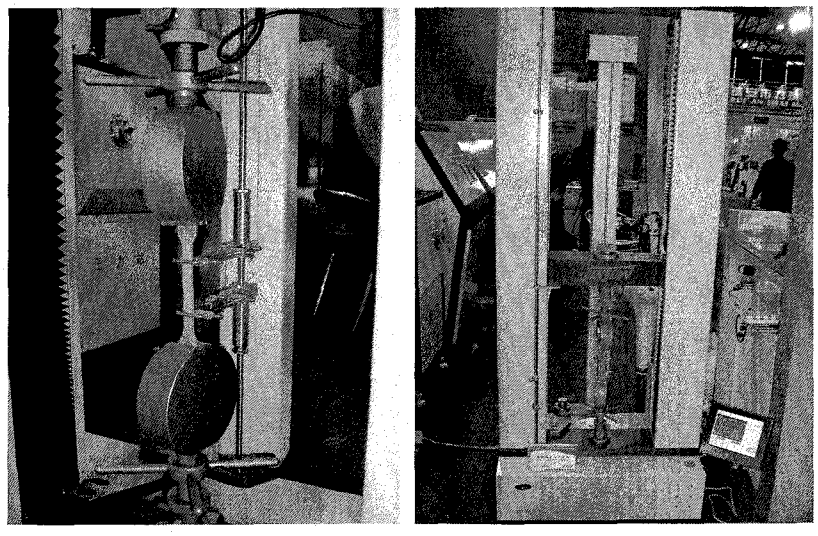
또한 현재 널리 사용되어지고 있는 범용플라스틱에 종류 및 활용용도에 관하여 조사하였다.

| 범용플라스틱 종류 | 활용용도 |
|---|---|
| 폴리에틸렌(PE : Polyethylene) | 각종 용기(容器), 포장용 필름, 섬유, 파이프, 패킹, 도료, 공업약품용 용기, 액체세제 용기, 공업용 로프, 포장용 필름 |
| 폴리프로필렌(polypropylene, PP) | 맥주상자, 콜라상자, 소주상자, 보석상자, 용기류, 만년필, 고주파 절연부품, 시트류, 브라운관, 약품용기, 포장필름, 파이프, 폴리프로필렌섬유, 바닥인조피혁, 정부미 포대, 포장끈, 쓰레기통, 쓰레받이, 물바가지, 욕조, 천막 |
| 폴리염화비닐( polyvinylchloride, PVC) | 경질 파이프, 빗물홈통, 물받이, 경질필름, 두꺼운 시트, 패널판, 수도관, 전선관, 조인트, 화학공장배관, 플라스틱 창틀 연질 호오스, 시이트, 인조피혁, 케미슈즈, 농업용필름, 전선피복, 쓰레받이, 의자커버, 식탁보, 가방, 연질화비닐병, 식품의 인스턴트용기, 식품 포장용기, 저금통, 장판 |
| 폴리스티렌( polystyrene, PS) | 인스턴트 컵, 식기, 칫솔대, 사무용품, 전기기기케이스, 파이프, 절연홀더, 도료, 이온교환수지, 포장용패킹재료, 보온재료, 발포폴리스티렌, 우유통, 요쿠르트병, 완구병, 합성목재 |
| SAN(AS)수지 (SAN : Styrene Acrylonitrile Copolymer) | 전기기기 부품, 일용품, 자동차부품, 악기 및 기타부품 |
| ABS 수지 (아크릴로니트릴-부타디엔-스티렌수지:ABS resin) | 각종 가연 전기 등의 약전기기 부품이나 캐비닛 하우징류를 중심으로 기타 일반기기의 하우징, 자동차의 내외장부품,완구, 잡화, PVC의 개질보강재 |
| 발포폴리스티렌(EPS:Expandable Polystyrene) | 포장재, 흡음재, 완충재, 단열재, 건축재, 가구재 |
| 에틸렌-비닐알콜 공중합체 (ethylene-vinylalcohol copolymer : EVA resin) | 가스배리어성과 내유성, 보향성을 살려서 식품화장품,농약 등의 포장에 사용 |



[범용플라스틱에 종류 및 활용용도]

플라스틱 폼의 인장시험·압축 시험과 같이 물리적 시험을 측정할 수 있는 만능 시험기를 조사하였다.



[물리적 시험기 조사]

## 2. 일본 에코프로덕트 2007

### 가. 전시회 개요

○ 전시회명 : 제 9 회 Eco - Products 2007 (동경 환경생산품 박람회)
○ 전시기간 : 2007.12.13~15
○ 국가/도시 : 일본/동경
○ 전시회장 : Tokyo Big Sight (동 전시장 1, 2, 3, 4, 5 hall)
○ 전시주관 : (사)일본 산업환경관리 협회(JEMAI), 일본경제신문사(NIKKEI)
○ 방문객수 : 약 16만명 참석
○ 전시회 규모 : 약 600기업 및 단체, 1,200부스 전시

### 나. 전시회 특징

Eco-products를 제조하는 모든 분야의 메이커를 중심으로, 환경제품 및 그린 서비사이징(Green Servicizing)의 에코 서비스, 환경 기술이나 솔루션 등 매우 폭넓은 분야의 전시가 이루어지고 있으며, NPO·NGO의 활동 보고, 대학·연구기관, 지방 자치 단체·지역경제 단체 등 다양한 기관들이 모이는 세계적으로도 유례없는 독특한 환경 전시회임.

기업이나 단체의 전시 외에도, 환경을 배려한 생활 모습을 구체적으로 소개하는 테마 전시나, 저명인의 라이브 토크, 다양한 체험 기획 등을 통하여 참가자와 주최자의 일체화를 유도하고, Eco-products를 생활에 도입한 「New Life Style」을 제안함.

또한, 일본의 일류기업의 대표가 강연하는 기념 심포지엄을 중심으로, 전시회와 별도로 약 30회의 심포지엄·세미나를 개최하고 있으며, 전시회장 내에서는 일반 방문자 전용의 「환경 커뮤니케이션 스테이지」 및 환경 기술·비지니스의 정보전달을 위한「에코 프레젠테이션 스테이지」 등을 마련하고 있음.

### 다. 수집한 자료 목록

○ 환경사회보고서(Sustainbility Report)

Nippon Steel Sustainability Report 2007 環境・社會報告書 新日本製鐵

サステイナビリサィレポート2007年3月期 東京電力株式會社

環境・社會報告書(Environment and Social Report) NICHIBAN

The Panasonic Report for Sustainability 2007

Sustainability Report 2007 FUJI XEROX

NEC CSR ダイジェスト(Corporate Social Responsibility)2007(2007년 3월)

NTTグループ CSR報告書 2007

CSRレポート2007 昭和電工株式會社

Asahi Breweries Group CSR Report 2007

○ 기념 심포지엄 등의 자료집

記念シンポジウム[1人, 1日 1kg CO2 削減をすべで人のが取り組むために]

環境技術實證モデル事業シンポジウム(環境立國·日本を支える環境技術の普及戰略について) 資料集

[環境技術實證モデル事業]平成17年度實證試驗結果報告書の概要　VOC處理技術分野(ジクロロメタン等有機塩素系脫脂劑處理技術)

[環境技術實證モデル事業]平成18年度實證試驗結果報告書の概要 湖沼等水質淨化技術分野

[環境技術實證モデル事業]平成16年度實證試驗結果報告書の概要 小規模事業場向け有機性排水處理技術分野

環境技術實證モデル事業この案內 平成19年11月(第7版)

廢棄物·リサイクルガバナンストップセミナー(企業經營リスクを廢棄物·リサイクルガバナンスから考える) 豫稿集 (社)産業環境管理協會

建設リサイクル推進に係る方策について中間とりまとめ

マテリアルフローコス會計手法導入トガイド(Ver.1) 平成19年 3月, 經濟産業省

○ 기타 관련 자료

建設リサイクル 2007.春号, Vol. 39

建設リサイクル 2007.夏号, Vol. 40

よくわかる建設リサイクル 平成18年度版

環境ビジネス HAND BOOK 東京電力グループ

塩ビと建設資材 -土木・設備から建築材料まで- 塩ビ工業・環境協會, 塩化ビニル環境對策協議會

福岡大學研究シーズ集2007

平成18年版北九州エコプレミアム 北九州市

## 다. 전시품목

○ 재활용 건자재



폐목 및 폐합성수지

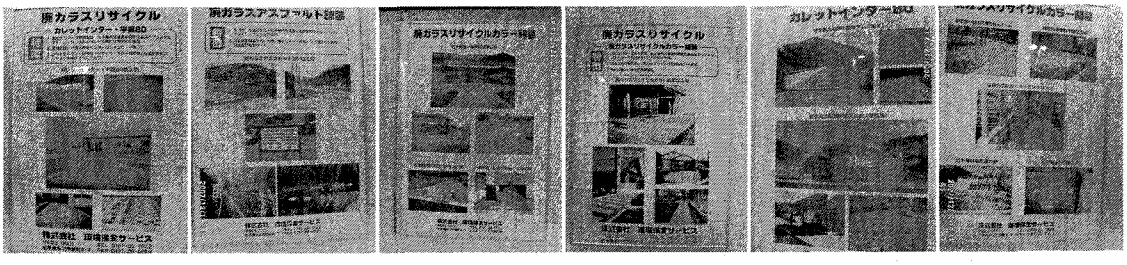


폐유리

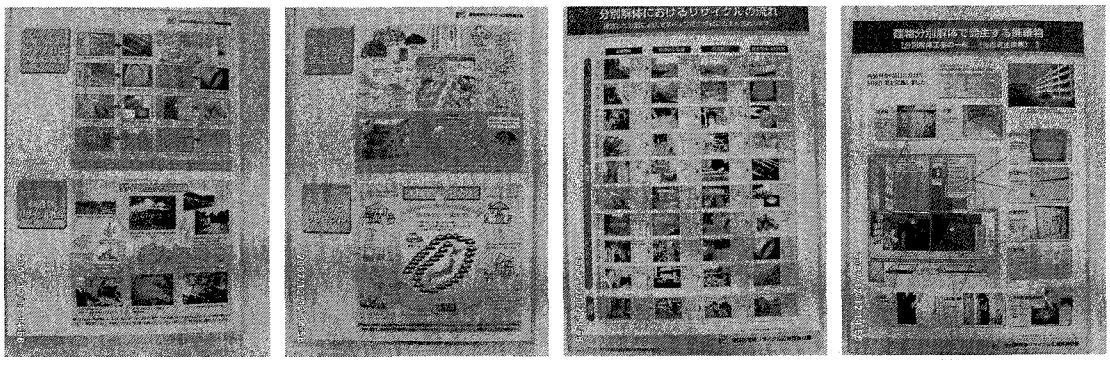



폐타이어

○ 각종 패널




폐유리 재활용 사례 소개 패널



분별해체 소개 패널

# 제 7 장 참고문헌


1. 콘크리트구조설계기준(2003), 한국콘크리트학회
2. 서치호 외, "재생골재를 사용한 콘크리트의 특성에 관한 연구", 대한건축학회 학술발표논문집, 23(1), 2003
3. 김태영, 박지선, 이정윤, 김긍환, "콘크리트 압축강도가 GFRP 복합재료 보강근의 부착강도에 미치는 영향", 대한건축학회 논문집, V21, n12, pp.69~76 (2005-12)
4. 김선호, 한범석, 안종문, 신성우(2002), "재생굵은골재의 함유량에 따른 철근콘크리트 보의 휨거동에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, v.22 n.1, pp. 83-86
5. 이경희(2002), "재생골재를 사용한 철근콘크리트 보의 전단성능과 휨성능에 관한 실험적 연구", 충남대학교 대학원.
6. 김문섭, 임경택, 윤현도, 정수영(1997), "재생골재 콘크리트의 역학적 특성", 대한건축학회 논문집, v.13, n.9, pp. 305-313.
7. 한국콘크리트학회(2003), "콘크리트 구조설계기준 해설", 한국콘크리트학회
8. 한국콘크리트학회(2004), "콘크리트의 재활용", 한국콘크리트학회(KCI SP2)
9. 김무한(1998), "건설폐기물 및 재생골재 콘크리트", 콘크리트 학회지, v.10, n.6, pp. 52-60
10. 지석운, 이리형, "중심축력을 받는 철근콘크리트 기둥의 강도 및 연성에 관한 연구", 대한건축학회논문집, Vol.7, No.1, 1987
11. 이리형, 김성수, 조영원, "철근콘크리트 기둥의 탄소성거동에 관한연구, Ⅰ. 휨과 축력작용시의 내력 및 연성에 관해서", 대한건축학회 논문집, Vol.4, No.3, 1988
12. 환경부, 건설폐기물통계연감, 2005
13. 박용하 외 2인, 토양오염지역의 책임에 관한 우리 나라, 미국, 영국, 독일, 네덜란드, 덴마크 법과 제도의 비교 분석 및 우리 나라 정책개선 방향, 한국환경기술개발원, 2004
14. 환경부, 오염토양 정화방법 가이드라인, 2007
15. 김종운 외 1인, 마이크로웨이브 가열 토양증기추출 공정에 의한 경유 오염 토양처리, 한국지하수토양환경학회지 Vol.9, No.1, 2004, pp. 39~46
16. 이건철 외 1인, 일본과 프랑스의 건설잔토와 관련된 제반 규정 현황 및 정화처리기술 조사, 2007
17. 대한석유협회, www.petroleum.or.kr
18. 김광수 외 3인, 유류오염토양 현장복원기술 개발, 한국건설기술연구원, 1998
19. 이정임 외 2인, 폐기물 처리시설의 전처리설비 도입 타당성 조사연구, 경기개발연구원, 2005
20. 환경부, 오염토양 정화방법 가이드라인, 2007
21. 신호상 외 1인, 토양중 BTEX와 TPH의 동시분석법에 관한 연구, 춘계학술발표

회논문집, 2000, pp. 3~8
22. 양우열 외 2인, SVE와 퇴비를 이용한 유류 오염토내 BTEX 처리, 한국지하수토양환경학회, 춘계학술발표회논문집, 2000, pp. 9~10
23. 환경부, 토양환경보전법, 토양오염우려기준(제1조의5관련), 2005
24. 국립환경연구원, 21세기 토양환경관리를 위한 발전 방향, 1999
25. 박용하 외 1인, 토양환경보전을 위한 오염방지기준 및 관리대책, 한국환경기술개발원, 1995
26. 박동철 외, "폐유리를 재활용한 야광반사 경계블록 개발", 산업자원부, 2002.
27. 김영길 외, "폐유리를 활용한 재자원화 기술개발 및 활용방안", 산업자원부, 2000.
28. (사)건축사협회, 폐기물대책전문위원회조사보고서, 1990
29. 건설교통부, 건설폐기물의 재활용 및 처리기술개발, 2000.
30. 건설교통부, 한국건설기술연구원, 건설공사 품질관리체계 정립방안 연구, 1997. 2.
31. 최민수, 건설공사의 환경관리비용 계상실태 및 개선방안, 한국건설산업연구원, 1997. 12.
32. 폐기물관리법, 자원절약 및 재활용촉진에 관한 법률, 건설기술관리법, 2000, 환경부, 건설교통부.
33. 한국자원재생공사, 폐기물 처리방법별 경제성 및 환경성 비교평가, 1994. 8.
34. 환경부, 환경백서, 1997
35. 환경부, 환경백서, 1998.
36. 요업기술원, 타일제조기술, 2007
37. 요업기술원, 벽돌제조기술, 2006
38. 요업기술원, 소지 제조 및 시험, 2004
39. 대한내화물공업협동조합, 내화재료공학, 1991
40. 건설교통부, 폐콘코리트의 재활용 기술개발 방안연구, 충남대학교, 1998
41. 건설교통부, "건설폐기물 리사이클의 품질기준 및 촉진방안(I)", .한국 건설기술연구원, 2001. 9
42. 건설교통부, "건설폐기물 리싸이클의 품질기준 및 촉진방안(II)", 한국건설기술연구원, 2002. 9
43. 대한민국국회 환경노동위원회. "건설폐기물 등의 재활용촉진에 관한 법률안 검토보고서", 2003
44. 산업자원부, "산업 폐부산물 및 건설폐기물의 재활용 방안 전략 도출", 2003
45. 수도권매립지관리공사, "폐기물반입현황", 2005
46. 이세현, "재생(순환)골재 및 재생(순환)골재콘크리트 정책현황, 한국콘크리트학회, 재생(순환)골재 및 재생(순환)골재 콘크리트 정책기술 세미나", 2004
47. 한국건설기술연구원, "순환골재 품질인증 시행방안 마련을 위한 공청회",2005
48. 환경부, "건설폐기물 재활용촉진 종합대책(안)".2002
49. 환경부, "2003년 전국폐기물발생 및 처리현황",2004

50. 환경부, "환경법전", 2004
51. 환경부 자원순환국 산업폐기물과, "보도자료" 2005,10
52. 2003 전국폐기물 발생 및 처리 현황, 환경부, 국립환경연구원, 2004
53. 김진철, 재생(순환)골재의 도로 공사 활용, 재생(순환)골재 및 재생골재 콘크리트 정책·기술 세미나, 국가 환경 포럼, 2004.04
54. 조윤호, 재생골재의 도로적용 기술적 타당성 분석, 재생골재 및 재생골재 콘크리트 정책·기술 세미나, 국가 환경 포럼, 2004.04
55. 박태순, 김무일, 재생 콘크리트 골재 기층 및 보조기층의 성능 및 특성제17권 제Ⅲ-4호, pp. 349~361, 1997
56. 윤중수, 김영진, 지반공학 분야에서의 폐기물 재활용 기술, 대한토목학회지, 46(8), pp.34~39, 1998
57. 임남웅, 폐 콘크리트의 도로 포장 재료로서의 활용 방안
58. 한국아스콘공업협동조합, 투수성아스콘 제조 및 설계시공법, 아스콘기술총서 3권, 1992.11
59. 권수안, 도로포장 기술의 발전을 위한 제언, 도로교통협회지 88호 정책기사 2002.06
60. 한국 재생 공사, 콘크리트의 재활용 기술 개발 방안에 관한 연구 고찰.
61. 김주원, 산업부산물의 도로포장에 재활용, 한국도로포장공학지, 제2권 4호, pp. 30~36, 2000
62. 문한영 외, "투수성 콘크리트 포장의 특성에 대한 실험적 연구", 한국콘크리트학회, 1997
63. 김무한 외, "배합요인에 따른 포러스 콘크리트의 강도향상에 관한 실험적 연구", 가을학술발표회, 1999
64. 박승범 외, "배합요인에 따른 포러스 콘크리트의 흡음특성", 가을학술발표회, 2003
65. 임남웅 외, "남양주시 진건하수처리장 진입도로 재생골재가 적용된 현장 공용성 평가 연구", 한국순환골재협회, 2002
66. 임남웅 외, "순환골재 품질기준 제정 및 인증제도 시행방안 연구", 건설교통부, 2006
67. 건설교통부, 건설산업 폐기물의 리싸이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구, 1995
68. 건설교통부, 건설폐기물 처리 및 재활용 지침, 1997
69. 건설교통부, 건설폐기물 재활용 및 처리기술개발, 1998
70. 건설교통부, 건설폐기물 재활용 및 처리기술개발, 2000
71. 코오롱건설(주) 기술연구소, 폐콘크리트의 재활용기술 개발방안에 관한 연구, 한국자원재생공사, 1996
72. 류명찬, 폐콘크리트 재생골재를 이용한 도로포장 설계·시공지침(안), 전국건설폐기물처리공제조합, 2002
73. 건설교통부, 건설폐기물 재활용 도로 포장 지침, 2005.01
74. 김무한, 순환골재의 사회·경제·환경적 가치 평가 및 효용성 분석에 관한 연구, 대한건설순환자원협회, 2005.10
75. 건설폐기물 및 순환골재 생산과 활용기술, 대한주택공사 주택도시연구원, 한국

건설순환자원학회, 2006
76. 건설폐기물 재활용 정책 및 기술개발 동향, 대한주택공사 주택도시연구원, 2006.06
77. 한국건설기술연구원, 중앙대학교, 순환골재 품질기준 제정 및 인증제도 시행방안 2004 건설기술기반구축사업 최종보고서, 건설교통부, 2006.07
78. 대한주택공사 주택도시연구원, 재생골재콘크리트의 품질평가 및 관리방안 수립연구 건설기반구축사업 최종보고서, 건설교통부, 2005.08
79. 중앙대학교, 친환경 4S(Safety, Silence, asSthetic, and user Satisfaction guaranteed) 포장 시스템 개발 연구 제 1,2차 중간 보고서, 건설교통부, 2005, 2006
80. 환경부 (1995), 비점오염원 조사연구사업 보고서
81. 환경부 (2000), 팔당 상수원 비점오염원 최적 관리 사업 기본 계획 및 타당성 조사수립
82. 서울시 (2002), 중랑천 비점오염원 관리 대책 연구
83. 환경부 (2004), 「물관리 종합대책」의 추진강화를 위한 4대강 비점오염원관리 종합대책
84. 최영화, 오재일, 황환구, 김종화 (2004), 교량부 비점오염원 배출 특성 분석: 2. 배출부하 산정을 중심으로, 04년 공동 추계학술발표회, 물환경학회 · 대한 상하수도학회
85. 오재일, 박상우, 최영화 (2005), 도로 노면 유출수의 비점오염원 배출 특성-기본
86. 수질항목, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회, 2005 공동 추계학술발표회 논문집
87. 오재일, 박상우, 최영화 (2005), 도로 노면 유출수의 비점오염원 배출 특성-중금속 및 병원성 미생물, 대한상하수도학회 · 한국물환경학회, 2005 공동 추계학술발표회 논문집
88. 통계청, http://www.nso.go.kr, 2000, 2001
89. 조달청, http://www.pps.go.kr, 2006
90. 재생조골재 중의 불순물이 콘크리트의 성질에 미치는 영향 / 유계, 중천종남, 오상근 / 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집(구조계), v.13, n.1, 1993.4
91. 최민수 외, 골재의 공급 행태 및 유통구조에 관한 기초적 조사 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제13권 제2호, pp.731~734, 1993.10
92. 김재영, 골재산업의 전망과 발전방향, 골재, 통권 제2호, pp.80~87, 1994.4
93. 김무한, 재생골재 콘크리트의 개발에 관한 연구, 한국과학재단, 1995
94. 김무한, 건설산업 폐기물의 재활용 기술개발에 관한 연구, 현대건설(주), 1995
95. 김무한, 건설산업 폐기물의 리싸이클링 시스템 및 재활용 기술개발에 관한 연구, 건설교통부, 1996
96. 재활용플랜트에서 생산되는 재생골재의 품질현황에 관한 기초적 연구 / 강희관, 박선규, 신호철, 김규용, 김무한 / 한국콘크리트학회 1997년도 가을학술발표회 논문집, pp.33-38, 1997
97. 폐콘크리트의 품질이 재생골재 및 재생모르터의 특성에 미치는 영향 / 김효구, 김기철, 신동인, 한천구, 박복만 / 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집(구조계), v.18, n.2, 1998.10
98. 김무한, 폐콘크리트 미분말의 자원활용성 검증 및 모르터 콘크리트의 물성검토, (주)지플러스, 2001
99. 김무한, 자원순환형 고품질 재생잔골재의 활용기술 개발, 중소기업청, 2003

100. 김무한 외, 건식제조법에 의해 생산된 고품질 재생잔골재의 품질 및 재생콘크리트의 성상에 관한 연구, 한국콘크리트학회 봄학술발표회 논문집, 2004. 05, pp. 364 ~ 367
101. 김무한 외, 물시멘트비 및 단위수량에 따른 고품질 재생잔골재를 사용한 재생콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 2004. 04, pp. 283 ~ 286
102. 김무한 외, 재생잔골재 및 플라이애시 대체율에 따른 재생콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한폐기물학회 춘계학술발표논문집, 2004. 05, pp. 79 ~ 82
103. 김무한 외, 재생 잔골재 및 굵은골재를 사용한 재생콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 가을학술발표회논문집, Vol. 16 No. 2, 2004. 11, pp. 169 ~ 172
104. 김무한 외, 재생굵은골재의 품질에 따른 재생콘크리트의 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회 논문집, Vol. 24 No. 2, 2004. 10, pp. 487 ~ 490
105. 김무한 외, 재생잔골재 품질에 따른 재생콘크리트의 성능평가에 관한 실험적 연구, 한국폐기물학회 추계학술발표회논문집, 2004. 11
106. 김무한 외, 재생잔골재 대체율에 따른 재생콘크리트의 공학적 특성 및 내구성능에 관한 연구, 한국폐기물학회논문집, 2004. 09
107. 김무한 외, 건식 비중분리법에 의한 고품질 재생잔골재 제조·생산 시스템 개발에 관한 연구, 한국콘크리트학회논문집, 2004. 12
108. 김무한 외, 건식 비중분리법에 의한 고품질 재생잔골재 제조생산 시스템의 적용성 평가, 대한건축학회논문집, 2004. 12
109. 김무한 외, 플라이애시 대체율에 따른 재생콘크리트의 공학적 특성 및 내구성능에 관한 연구, 한국폐기물학회논문집, 2004.12
110. 김무한 외, 건식제조방식에 의해 생산된 재생잔골재의 품질 및 모르터 특성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 학술발표논문집, 제15권 제2호, 2003, pp.229~232
111. 최민수, 건설폐기물의 재활용 촉진을 위한 법제 정비 방안, 한국건설산업연구원, 2002. 07
112. 김무한 외, 재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 논문보고집, 제9권, 제8호, 1993. 08, pp.200 ~ 211
113. 김무한 외, 재생골재 제조시스템에 따른 골재의 품질개선방안에 관한 기초적 연구, 한국폐기물학회 추계학술발표회 논문집, 1998. 11, pp. 245 ~ 250
114. 김무한 외, 재생골재의 혼합조건에 따른 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 논문보고집, 제9권, 제11호, 1993. 11, pp.109~120
115. 김무한 외, 재생골재콘크리트의 강도조기추정 비파괴시험 적용성에 관한 실험적 연구(제1보. 강모래 · 재생자갈 콘크리트의 경우), 대한건축학회 논문집, 제9권, 제12호, 1993. 12, pp.151 ~ 160
116. 김무한 외, 플라이애시를 혼입한 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구(제1보, 아직 굳지 않은 콘크리트의 성상을 중심으로), 대한건축학회 논문집, 제10권 제2호, 1994. 02, pp.203 ~ 210

117. 김무한 외, 플라이애시를 혼입한 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구(제2보, 경화 콘크리트의 성상을 중심으로), 대한건축학회 논문집, 제10권 제11호, 1994. 02, pp.315 ~ 322
118. 김무한 외, 건설토사 발생량의 예측 및 재활용 방안에 관한 연구, 대한건축학회 대전·충남지부논문집, 제3권, 제1호, 1995. 11, pp.133 ~ 140
119. 김무한 외, 폐기콘크리트를 활용한 재생골재의 각종 물성에 관한 실험적 연구, 한국폐기물학회지, 제15권 제3호, 1998, pp. 203 ~ 209
120. 김무한 외, 폐기콘크리트 및 플라이애시를 활용한 재생콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 한국폐기물학회지, 제15권 제3권, 1998, pp. 210 ~ 216
121. 김무한 외, 재생골재콘크리트의 화학저항성에 관한 실험적 연구, 한국콘크리트학회 논문집, 제11권 제4호, 1999. 09, pp. 13 ~ 20
122. 김무한 외, 재생골재 콘크리트의 내구성에 미치는 미세분말의 영향, 대한 건축학회 춘계학술발표대회 논문집, 제16권, 제1호, 1996. 04, pp. 563~566
123. 최민수, 지역별 골재 소비구조 분석 및 수급안정 방안, 한국건설산업연구원, 2003. 04
124. 대한주택공사, 분별해체 및 건설폐기물 재활용 활성화 방안, 한·일 국제세미나, 2004.06
125. 한국골재협회, 골재산업의 중·장기 육성 방안 연구, 한국건설산업연구원, 2001. 12
126. 최민수·강운산, 골재 채취 제도의 개선 방안 연구, 한국건설산업연구원, 2001. 08
127. 최민수, 지역별 골재소비 구조분석 및 수급안정 방안, 한국건설산업연구원, 2003.04
128. 최중기, 박영수 외, 공유수면 해사 부존량 추정 및 해사 채취 영향 평가 최종보고서, 한국골재협회, 2002. 10,
129. 영국의 환경문제 해결방안 "건설폐기물의 처리 및 재활용", 2004.11
130. 남양광업, 바다모래 채취 환경영향평가보고서, 1992
131. 최민수 외, 골재의 공급 행태 및 유통 구조에 관한 기초적 조사 연구, 대한건축학회 학술발표논문집, 제13권 제2호 pp.731~734, 1993. 10
132. 한국골재협회지, 미국의 골재산업(Ⅱ), 1996. 10, 통권 제12호
133. 환경부, 일반 폐기물 발생 및 처리현황('01), 2002
134. 환경부, 국가폐기물 관리 법률 및 시행령. 2001
135. 한국자원재생공사, 폐기물 자원화 정보, 1999
136. 한국자원재생공사, 건설폐기물 재활용 가이드라인 설정 및 재활용 촉진 방안, 1995
137. 한국건설산업연구원, 건설폐기물의 적정처리 및 재활용방안, 1996
138. 한국폐기물학회, 폐기물처리 기술과 재활용, 1995. 05
139. 대한주택공사, 구조물의 해체공법에 관한 연구, 1999.
140. 대한주택공사, 주택공사비 분석자료, 2000
141. 대한주택공사, 학잠 주공아파트의 콘크리트 내구성 조사 2000

142. (사)대한건설진흥회, '01 건설공사 표준품셈, 2001
143. 서울시정개발연구원, 건축물 폐재류의 적정처리 및 재활용 방안, 1998
144. 한국건설기술연구원, 건설현장쓰레기 관리기법 개발, 1995
145. 김무한 외, 국내 폐기콘크리트 발생량의 예측 및 재생골재로의 이용 전망에 관한
146. 연구, 대한건축학회학술발표논문집, Vol.13 No.1, 1993. 04, pp. 425 ~ 428
147. 김무한, 건설폐기물의 리사이클시스템및 재활용 기술, 월간 폐기물, 1994.
148. 산업기술정보원, 폐기물의 자원화 실태와 발전방안, 1994
149. 삼성건설, 건설현장의 환경대책 및 건설폐기물의 재활용 촉진 방안, 아·태 환경경영연구원, 1995. 08
150. 일본개발은행, 건설계 폐기물의 발생량 예측과 대응책, 1993
151. 허길양, 건설폐기물 감량화 및 재활용 방안에 대한 연구, 경남대학교, 석사논문, 1999
152. 최민수 외, 건설폐기물 처리/재활용 실태조사보고, 대한 건축학회 학술발표 논문집, 제15권 제1호, 1995. pp. 613 ~ 618
153. 환경부, 전국 폐기물 발생 및 처리현황, 2000
154. 대한주택공사, 재 개발지역 자료분석, 2002
155. 한국자원재생공사, 폐기물 자원화 정보, 1994. 09
156. 한국자원재생공사, 건설폐기물 재활용 가이드라인 설정 및 재활용 촉진 방안, 1995. 10
157. 김기원, 건설폐기물 적정처리 및 재활용에 대한 연구, 경희대학교 산업정보대, 석사논문, 1998
158. 한국폐기물학회, 폐기물처리기술과 재활용, 1995. 05
159. 환경부, 환경부 기본정책, 2001
160. 대한주택공사, 주택통계편람, 1996
161. 대한주택공사, 전국 주공아파트 콘크리트 내구성 조사, 2000
162. 환경공무원 교육원, 환경영향평가연수, 환경부, 1999
164. 김광우 외, 콘크리트 재활용 실태 및 연구동향, 콘크리트학회지, 제6권 제6호, pp.51~65, 1994. 12
165. 송하영 외, 국내외 순환잔골재의 품질현황에 관한 조사연구, (사)한국건축시공학회 춘계학술논문 발표대회 논문집, 2006.05
166. 송하영 외, 고품질 순환잔골재를 사용한 콘크리트의 건조수축 특성에 관한 실험적 연구, (사)한국건설순환자원학회, 제2권 1호, 2006.06
167. 송하영 외, 샌드플럭스 장치를 활용한 순환모래의 제조 및 품질 평가에 관한 연구, (사)한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 제18권 2호, 2006.11
168. 송하영 외, 고품질 순환모래 제조를 위한 샌드플럭스 장치의 성능 평가에 관한 실험적 연구, (사)한국폐기물학회 춘계학술발표대회, 2007년 환경공동학술대회 초록집, 2007.05
169. 송하영 외, 샌드플럭스 장치에서 생산된 순환모래 및 모르타르의 품질평가에 관한 실험적 연구, (사)한국콘크리트학회 봄학술발표회, 제19권 1호, 2007.05

170. 김무한 외, 재생미분말의 가열온도에 따른 기초물성 및 시멘트혼화재 적용성에 관한 연구, 한국콘크리트학회학술발표논문집, 제13권 제1호 pp.635~640, 2001. 5
171. 환경부, 건설폐기물 발생량 통계, 2002
172. 최 롱, 폐콘크리트 재생미분의 재활용기술 개발 방향과 시멘트-콘크리트의 자원순환체제 구축을 위한 정책 제언, 한국과학기술정보연구원, 2004
173. 최 롱, 폐콘크리트 재생미분의 지반개량재의 이용기술 개발 동향, 한국과학기술정보연구원. 2003
174. 안지환, 폐콘크리트로 부터 회수된 시멘트 페이스트 미분말의 원료화 연구, 한국세라믹학회지, pp804~810, 2003
175. 강 헌, 건설폐기물의 재활용, 韓國有機性廢資源學會 著, 東和技術, 1999
176. 김순호, 굴 패각응 이용한 지반 개량형 고화제 개발에 관한 연구, 한국폐기물학회지 pp 855~863, 2002
177. 이승무, 유해중금속함유 슬러지의 고화처리에 관한 연구, 한국폐기물학회, 1989
178. 장익순, 무기성 슬러지의 고화처리에 의한 활용연구, 연세대한교 대학원 석사학위 논문, 1986
179. 김길주, 중금속 함유 슬러지의 시멘트 고형화에 관한 연구, 연세대학교 산업대학원 석사학위논문, 1983
180. 김송화, 시멘트 산업에서의 분쇄, 분급 기술, 요업학회지 Vol.2, No.2, 1987
181. 윤석표, 폐기물 처리시설 설계를 위한 폐기물 실험방법, 2003
182. 임업 연구원, 목질계 생활 폐기물을 이용한 건축자재 개발, 2001.
183. 김외정 외, 생활폐목재의 발생실태 및 재활용 확대 방안에 관한 연구, 1999.
184. 김형중, 목모-시멘트판의 제조와 응용연구 (Ⅰ)(Ⅱ), 공주대학교 생산기술 연구소 논문집 제6권 1998, page.140-169.
185. 김사익, 제지슬러지-시멘트 보드의 제조 가능성에 관한 연구(Ⅱ), 목재공학회지,22(2), 1994, page37-45.
186. 윤승락 외 3인 대나무재 -시멘트 혼합보드 제조(Ⅰ).
187. 대한건축학회, 건축재료, 기문당, 2004.
188. 한국 콘크리트 학회, 콘크리트 혼화재료, 기문당, 2001 page105-106.
189. 임업 연구원, 폐목재 발생실태 및 재활용 촉진방안, 농림부 연구 보고서, 1999.
190. 한국건설기술연구원, "위생매립지 건설 및 비위생매립지 복원기술", 한국건설기술연구원, 1999
191. 천병식, "지반공학 - 이론과 실제 -", pp.730 ~ 763, 구미서관, 1998
192. 이용수, "폐기물 매립장의 차수시설 종류 및 특성", 한국지반환경공학회 지반

환경, 제5권 2호, 2004
193. 안태봉, "매립지의 침하에 관한 설계 및 시공기술", 한국지반환경공학회 지반환경, 제5권 2호, 2004
194. 한국건설기술연구원, "폐기물 매립시설 설계 및 시공기술에 관한 연구", 한국건설기술연구원, 1998
195. 정종암, 정성훈, 이재영, " 폐석분을 이용한 폐기물 매립지 차수재층 기능 평가에 관한 연구", 2002 한국폐기물학회 추계연구학술 발표회
196. 한상재, 김수삼, 조진우, 김지용, "도시고형폐기물 소각비산재의 매립지 차수재 활용을 위한 재료특성 연구", 한국폐기물학회지, Vol.18, No.4, 2001
197. 백남진, 이처근, 허열, "안정화시킨 제지슬러지의 매립지 차수재 및 복토재로서의 활용가능성", 충북대학교 건설기술논문집, Vol.19, No.1, 2000
198. 박준범, 김준섭, 이승학, "폐석회를 이용한 매립지 차수재 개발", 1999 한국지반공학회 봄학술발표회
199. 유남재, 김영길, 박병수, 정하익, "하수슬러지의 차수재 및 복토재료의 이용타당성에 관한 연구", 한국지반공학회지, Vol.15, No.2, 1999
200. 정하익, 김수삼, 홍성완 ,장연수, "국내 폐기물 매립장 차수재 현황조사 연구", 1994 한국지반공학회 봄학술발표회, 1994
201. 신은철, "폐기물 매립장 침출수 배수시설용 Geocomat 개발에 관한 연구 인천지역환경기술개발센터 2000
202. 한국표준협회, "지오텍스타일의 인장강도 및 신도 시험 방법", KS K 0743, 2004
203. 한국표준협회, "폴리에틸렌 발포 제품 시험 방법", KS M 3014, 2001
204. 한국표준협회, "지오텍스타일 및 관련 제품-수직 투수량 시험 방법", KS K ISO 11058, 2002
205. 한국표준협회, "지오텍스타일 및 관련 제품-수평 투수량 시험 방법", KS K ISO 12958, 2002
206. 이상덕, "토질시험 - 원리와 방법-", 1996, 도서출판 새론
207. 이상수, 김진만 외, 재생골재콘크리트의 구조체 적용성에 관한 실험적 연구, 콘크리트학회 학술발표 논문집 제 5권 1호, pp. 6-15, 1993. 5.
208. 김진만 외, 실콘크리트 구조물을 파쇄한 재생골재콘크리트의 공학적 특성에 관한 실험적 연구-제 2보, 경화콘크리트이 성상을 중심으로 -, 대한건축학회 학술발표논문집, 제5권 제1호, pp. 691-694. 1995. 10.
209. 김진만 외, 재생미분말의 활용방안에 대한 기초적 실험에 관한 연구, 콘크리트학회 학술발표 논문집 제 18권 1호, pp. 645-648, 2006. 4.
210. 김진만 외, 산처리에 의한 순환골재의 물리적 성질에 관한 연구, 한국폐기물학회 학술발표 논문집, pp. 331-335, 2006. 4.
211. 김진만 외, 산용액에 침전시킨 순환골재를 활용한 모르터의 기초적 연구, 한국

폐기물학회 학술발표 논문집, pp. 336-340, 2006. 4.
212. 김진만 외, 재생미분말을 사용한 콘크리트 제품 개발에 대한 기초적인 연구, 한국시공학회 학술발표 논문집, pp. 19-22, 2006. 5.
213. 김진만 외, 酸処理에 의한 循環細骨材의 品秩과 모르타르의 特性에 관한 研究, 한일국제 심포지엄 논문집, pp. 133-136, 2006. 9.
214. 김진만 외, 재생미분말을 사용한 콘크리트제품개발에 대한 기초적인 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제 24권 제2호, pp. 443-446
215. 김진만 외, 재생골재의 혼합조건에 따른 재생골재 콘크리트의 시공성 및 공학적 특성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제 9권 제11호, pp. 109-120
216. 김진만 외, 재생골재 콘크리트의 구조체 적용성에 관한 기초적 연구, 대한건축학회 학술발표 논문집, 제 9권 제8호, pp. 201-211
217. 日本建築學會編(1981) "建築耐震設計における保有耐力と變形性能"
218. 金武漢 外, 乾式分離製造法による高品質再生細骨材を用いた再生コンクリートの性状に関する実験的研究, 日本建築学会年次大会 学術講演梗概集, 2004. 08, pp.71～74
219. 金武漢 外, 乾式分離製造法による高品質再生細骨材の生産システムの適用性評価, 日本建築学会年次大会 学術講演梗概集, 2004. 08
220. 清水建設, シミズコンクリート資源循環システム, 2004
221. 丸嶋紀夫 外, 高品質再生骨材を用いたコンクリートの研究 - その1：再生骨材の製造と品質 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp.223 ～ 224
222. 早川光敬 外, 高品質再生骨材を用いたコンクリートの研究 - その2：再生骨材を用いたコンクリートの調合と特性 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp.225 ～ 226
223. 石倉 武 外, 高品質再生骨材の製造技術に関する開発［Ⅶ］- その1 開発の全体概要及び再々生骨材コンクリート性状 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp.227 ～ 228
224. 久木野慶紀 外, 高品質再生骨材の製造技術に関する開発［Ⅶ］- その2 機械すりもみ法による再生骨材を用いたコンクリートの長期材齢性状 -, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 229 ～ 230
225. 坂詰 義辛 外, 高品質再生骨材の製造技術に関する開発[Ⅶ]その3クリュー磨砕法による再生骨材製造技術(2), 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 231 ～ 232
226. 清水 昭之 外, 再生骨材の品質判定試験方法に関する実験研究 -その1 実験概要-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 233 ～ 234
227. 梅津 裕二 外, 再生骨材の品質判定試験方法に関する実験研究 -その2 実験結果および検討,日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 235 ～ 236
228. 富田 治 外, 再生骨材の品質がコンクリートの諸性状に及ぼす影響 -その1 再生骨材の製造と品質-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 237 ～ 238
229. 栩木 隆 外, 再生骨材の品質がコンクリートの諸性状に及ぼす影響 -その2 再生骨材を用いた

コンクリートの諸性状-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 239 ~ 240
230. 渡邉 英樹 外, 再生粗骨材の品質が再生骨材コンクリートの強度と耐久性に及ぼす影響に関する実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 241 ~ 242
231. 堀内 栄治 外, 再生粗骨材を用いたコンクリートに関する実験的研究 -強度・弾性性状と乾燥収縮-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003 09, pp. 249 ~ 250
232. 村上 順一 外, 再生骨材の性能評価システムに関する研究 -その10 再生骨材性能指標によるコンクリート調合修正方法-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東海), 2003. 09, pp. 283 ~ 284
233. 依田 和久 外, 再生微粉末を用いた高品質再生骨材コンクリートの基礎的性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 65 ~ 66
234. 石井 寿美江 外, 高品質再生骨材コンクリートの基礎的特性と実大壁における挙動に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004, 08, pp. 73 ~ 74
235. 多田 克彦 外, 普通エコセメントを用いた再生コンクリートの研究 -その1 材料品質およびコンクリートのフレッシュ性状-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 93 ~ 94
236. 福部 聡 外, 普通エコセメントを用いた再生コンクリートの研究 -その2 フレッシュ性状の経時変化と硬化性状-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 95 ~ 96
237. 久木野慶紀 外, 高品質再生骨材の製造技術に関する開発[Ⅷ] -その1 再生骨材コンクリート部材の長期材齢性状-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 343 ~ 344
238. 坂詰 義幸 外, 高品質再生骨材の製造技術に関する開発[Ⅷ] -その2 スクリュー磨砕法による再生骨材製造技術(3)-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 345 ~ 346
239. 新谷 彰 外, 高品質再生骨材コンクリートの各種性状, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 351 ~ 352
240. 柳橋邦生 外, 高品質再生骨材の繰り返しリサイクルの研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 353 ~ 354
241. 梅津 裕二 外, 再生骨材の品質判定試験方法に関する実験研究 -その3 普通骨材との混合-, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 371 ~ 372
242. 富田 治 外, 再生細骨材の品質がコンクリート性状に及ぼす影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 08, pp. 377 ~ 378
243. 湯浅 昇 外, 再生骨材製造時に副産されるコンクリート微粉末の有効利用, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北海道), 2004. 8, pp. 379 ~ 380
244. 友沢史紀, コンクリートの完全リサイクル化と骨材対策, コンクリート工学, Vol. 34, No. 7, 1996. 07, pp. 110 ~ 114
245. 佐川 康貴 外, 異なる破砕方法により製造された再生骨材の物性に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002, pp.1347~1352
246. 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説(JASS 5), 2003
247. 金武漢ほか, 再生骨材コンクリートの施工性及び工学的特性に関する実験的研究(第1報 実験概

要及びフレッシュコンクリートの場合), 日本建築学会学術講演梗概集, 1993.9, pp. 415 ~ 416
248. 金武漢ほか, 再生骨材コンクリートの施工性及び工学的特性に関する実験的研究(第2報硬化コンクリートの場合), 日本建築学会学術講演梗概集, 1994.9, pp. 355 ~ 356
249. 金武漢ほか, 建築系副産物の発生抑制と再利用に関する研究, 日本建築学会学術講演梗概集, 1995. 08, pp. 853 ~ 854
250. 島 裕和 ほか, 副産微粉を土壌化材として利用したときの高品質再生骨材のライフサイクル分析, コンクリート工学論文集, 第15巻, 第1号, 2004. 01, pp. 81 ~ 91
251. 森上祥行 ほか, コンクリート塊の団地内リサイクルシステム, コンクリート工学, Vol. 41, No. 1, 2003. 01, pp. 56 ~ 59
252. 菊池雅史 外, 再生骨材の品質が再生コンクリートの品質に及ばす影響, 日本建築学会構造系論文集, 1995. 08, pp. 11 ~ 20
253. 道正泰弘 外, 原コンクリートの性質が再生コンクリートの品質に及ばす影響, 日本建築学会構造系論文集, 1996. 07, pp. 1 ~ 10
254. 福田俊之 外, 建設副産物の中間処理に伴う二酸化炭素排出量に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 2004. 03, pp. 21 ~ 28
255. 江口 外, 再生コンクリートの乾燥収縮と水分逸散の機構に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, 2003. 11, pp. 1 ~ 8
256. 皆川利雄, 骨材をめぐる問題点と展望, 月刊生コンクリート, Vol.11, No.11, Nov, 1992
257. 清水 智, 我が国における採石の現状と展望, 月刊生コンクリート, Vol.11, No.10, 1992. 10
258. 社団法人 日本砕石協会, 採石のための実務必攜, 平成12年 8月
259. 中井 裕, 新版 砕石(四訂版), 技術書院, 平成10年 8月
260. (株)ぎょうせい, 詳解 採石技術指導基準, 平成10年 7月
261. 建説副産物対策研究会, 建設副産物大冊の実務と事例, 開発問題研究所, 1992
262. 建説業協会, 建設副産物の処理実態と 以後見通し, 1991
263. 建材試験セソタ-, 建築材料のライフサイグル性能評価奇術の標準化に関する調査研究報告書, 1993
264. 工業調査会, LCAのすべて環境への負荷を評価する, (株)未路科学技術協会, 1995
265. 環境影響評価制度研究会, 環境影響評価集(国内篇2, 技術指導篇), 社団法人 環境情報科学セソダ-, 1990. 01
266. 厚生省, 厚生白書, 1993
267. 村上 順一 外, 再生骨材の性能評価と再生コンクリート特性, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004, pp. 1515~1520
268. 辻 大二郎 外, 偏心ロータ式処理装置により製造した再生骨材および再生コンクリートの性質, コンクリート工学年次論文集, Vol. 26, No. 1, 2004, pp. 1539~1544
269. 柳橋邦生, 高品質再生細骨材の製造技術に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, 2003, pp. 1217~1222
270. 早川 光敬 外, 製造方法の異なる再生骨材を用いたコンクリートの調合と特性, コンクリート

工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, 2003, pp. 1247～1252
271. 佐川 康貴 外, 再生骨材の品質が再生コンクリートの圧縮強度に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, 2003, pp. 1265～1270
272. 松村 宇 外, 湿式選別法による高品質再生細骨材の製造, コンクリート工学年次論文集, Vol. 25, No. 1, 2003, pp. 1475～1480
273. 建設省土木研究所コンクリート研究室, 再生骨材を用いたコンクリートの設計施工指針(案), 土木研究資料, No.2418, 1986
274. 建設業協会建設廃棄物処理再利用委員会, 再生骨材および再生コンクリートの使用基準(案), コンクリート工学, 16(7), pp.42～46, 1997. 8
275. 吉兼亨, 道路用再生骨材の性質, コンクリート工学, Vol.35 No.7, pp.36-41, 1997. 7
276. 大林祖建設廃棄物部, 建設資源 リサイクル研究会資料, 1992.
277. 大和竹史, コンクリートのリサイクルに関すろ海外の動向, コンクリート工学, Vol.35 No.7, pp.19-22, 1997. 7
278. 東京部, 東京部建設リサイクルガイドライン, 平成 11年 12月
279. 公開特許公報(A), コンクリート廃在らの骨材をらの再生させる方法, 2000
280. 大和竹史, コンクリートのリサイクリルに関する海外の動向, コンクリート工学, Vol.35, No.7, pp.19～22, 1997. 7
281. 山崎庸行, 建設業の立場から —建築—, コンクリート工学, Vol.35, No.7, pp.35～41, 1997. 7
282. 阿部道彦, コンクリート用再生骨材, コンクリート工学, Vol.35, No.7, pp.42～48, 1997. 7
283. 横山 滋, セメント原料への利用, コンクリート工学, Vol.35, No.7, pp.49～52, 1997. 7
284. 嘉門雅史, 地盤改良材への利用, コンクリート工学, Vol.35, No.7, pp.53～56, 1997. 7
285. 友沢 史紀 外, 完全リサイクリルコンクリート, コンクリート工学, Vol.35, No.7, pp.57～60, 1997. 7
286. 河野 広隆, 再生骨材,セメント・コンクリート, No.618, 64～69, 1998. 8
287. 笠井芳夫, 解体コンクリートの処理の現況, コンクリート工学, Vol.35, No.7, pp.13～24, 1997. 7
288. 崔 敏寿 外, 再生骨材の粒子構成の特性, セメント・コンクリート論文集, No.49, pp.336～341, 1995. 5
289. 飛坂基夫 外, 実機プラントにおける再生コンクリートの製造・工程管理(その 1) 再生骨材の品質, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.389～390, 1996.9
290. (財)国土開発技術研究センター, 再生コンくリートの利用技術の開発, 平成6年度報告集(その2), 共通試験による再生骨材の品質試験方法の検討, pp.351- 369, 1995.3
291. 高矯 和雄 外 2 人, 木毛セメント板の改良に關する研究 (第11號 木粉ホートの研究). 日本建築學會大會 學術講演 梗概濮,1997. 9, page. 449-450
292. 重倉 祐光 外 2 人, 木毛ヒメント板の改良に關する研究 (第12號 木粉ホートの研究). 日本建築學會大會 學術講演 梗概濮,1997. 9, page. 451-452
293. 笠井芳天 外 1人 木片コンクリートの製造および強度・密屠に關する 實驗研究 (さの3), 日本建築學會大會 學術講演 梗概濮,2002. 8, page. 923-924

294. 川材惠洋, 第23回 日本木材林學會大會經, 1974, page.193
295. 高矯 利男 外 2 人, 木質セメントホ一トの密屠に關する 實驗研究(3), 1972.6
296. 重倉 祐光 外 2 人, 木毛ヒメント板の改良に關する研究 (第8號) 日本建築學會大會 學術講演 梗概濮,1995. 8,
297. Sakagkwa Masaru 외, "포러스 콘크리트의 차도에의 적용", 포장, 2001
298. Noda Etsuro 외, "포러스 콘크리트의 차도포장에의 적용에 관한 검토", 포장, 2001.4
299. Sakiguchi Osamu 외, "포러스 콘크리트의 보도 및 차도에의 적용", 포장, 2001.4
300. ACI Committee 318(2005), Building Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Michigan.
301. CSA standard, S806-02 Design and construction of Building Components with Fiber-Reinforced Polymers, Standard Association, 2002
302. Rehm, G. (1961), Uber die Grundlagen des Verbundes zwischen Stahl und Beton, Deutscher Ausschuss fur Stahlbeton, No.138
303. CEB-FIP, "Textbook on Behavior, Design and Performance Updated Knowledge of the CEB/FIP Model Code 1990", Volume 1, bulletin
304. ACI Committee 318(2005), Bui;ding Code Requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, Michigan.
305. Khaldoun Rahal(2005), "Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate. Building and Environment.
306. James G. MacGregor(2005), "Reinforced Concrete Mechanics and Design" Fourth Edition
307. Jianzhuang Xiao, Jiabin Li, Ch, Zhang(2004), "Mechanical properties of recycled aggregate concrete under uniaxial loading" Cement and concrete research pp. 1187-1194
308. Han B.C, Yun H.D, Chung S.Y, "Shear strength of reinforced concrete beams containing recycled aggregate" Proceedings of the 5th Korean/Japan Joint Symposium on Building Materials & Construction, Vol.5, No.1, pp.63-71.
309. Buck, A. D., "Recycled Concrete as a Source of Aggregate", Journal Proceedings, American Concrete Institute, Vol.74, No.5, 1977, pp212~219
310. Hansen, T. C., Recycling of Demolisged Concrete and Masorny, Report of Technical Committee 37-DRC Demolition and Reuse of Concrete, RILEM, Routledge, 1992.
311. Hansen, T. C., and Narud, H., "Recycled Concrete and Silica Fume make Calcium Slicate Bricks", Cement and Concrete Research, Vol.13, No.5, 1983, pp.625~630
312. Wainwright, P. J., Trevorrow, A., Yu, Y., and Wang, Y., "Modifying the Performance of Concrete Mad with Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregate", Proceedings of the 3rd International RILEM Symposium on Demolition and reuse of Concrete and

Masonry, Odense, Denmark, 994, pp.319~330.
313. Hansen, T. C. and Narud, H., "Strength of Recycled Concrete made from Crushed Concrete Course Aggregate", Concrete International Design and Construction, Vol.5, No.1, 1983, pp.79~83
314. J. B. Mander, M. J. N. Priestley, and R. Park., "Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete", ASCE, Vol.114, No.8, August. 1988, PP.1804~1826.
315. CEB-FIP(1990) "Comite Euro-International Du Beton, CEB-FIP Model Code 1990"
316. Zsutty. T. C.(1968) "Beam Shear Strength Prediction by Analysis of Existing Data" ACI Journal, V.65, Nov. pp.942-951.
317. John Deegan, Jr., Looking back at Love Canal, Env. Sci. Tech., v.21, n. 4, n. 5, 1987.
318. Superfund Record of Decision, 1991, Love Canal(93rd Street School), NY, Third Remedial Action, PB92-963805, 1991.
319. German Federal Ministry for the Environment. 2002. German Federal Government Soil Protection Report. Federal Ministry for the Environment. Berlin, Germany.
320. Reisch, M. 2002. "Superfund and Brownfields in the 107th congress" 「Congressional Research Service Report」. National Council for Science and the Environment. Washington D. C., U. S. A.
321. Dr. Andrew S.Smith, "To demonstrate commercial viability of incorporating ground glass in bricks with reduced emissions and energy savings", The Waste & Resources Action Programme(UK), 2004.
322. Akristos Limited, "Full scale operational trials involving the use of recycled glass in the heavy clay industry(bricks and tiles)", The Waste & Resources Action Programme(UK), 2004.
323. George Y.Onoda, Jr. Larry L.Hench, Ceramic Processing Before Fifing, A Wiley-Interscience publication, 1978
324. Haejin Lee (2004), Water Research 38 , 4153 - .4163
325. Hansen H., A Method for Total Reutilization of Masonry by Crushing Burning, Shaping and Autocalving, Proc. 3rd Intl RILEM Symp., 1994
326. Barth H.P., Financial, Economical and Political Aspects of Reuse of Construction and Demolition Waste, Proc. 3rd Intl RILEM Symp., 1994
327. Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials, ACBM, 2003.
328. Zhou, H., Moore, L., Huddleson, J., and Grower, Jr., "Determination of Free-Draining Base Material Properties," Transportation Research Record No. 1425, TRB, National Research Council, 1993,pp. 55-63
329. Mathis, D.M., "Design and Construction of Permeable Base Pavement," FHWA, U.S. Department of Transportation, 1989

330. Porous Concrete Slabs and Pavement Drain Water," Concrete Construction, Concrete Construction Publications, Inc., Addison, Illinois, September 1983, pages 685 and 687-688.
331. M. E. Barrett, J.F. Malina and R.J. Charbeneau (1995), Characterization of highway runoff in the Austin , Texas area, Thechnical report CRWR 262, Center for Research in water resources, Univ. of Texas.
332. Sansalone J.J, Buchberger S.G, Al-Abed S.R, (1996), Fractionation of heavy metals in pavement runoff, The Science of the Total Environment, 189/190, pp 371-378
333. Glenn D.W (2001), Heavy metal distribution for aqueous and solid phases in urban runoff, snowmelt and solids, Doctor of Philosophy, Louisiana State University, U.S.
334. Perry's chemical engineer's H/B 6th ed', Mc GrawHill, 1984
335. Building Research Establishment, Gateway to UK Environment solutions -Construction & Demolition Waste Management-, 2004
336. Andrzej Ajdukiewicz et al. Influence of recycled aggregates on mechanical properties of HS/HPC, Cement and Concrete Research, Vol. 32, 2002, pp. 269~279
337. K. K. Sagoe-Crentsil et al., Performance of concrete made with commercially produced coarse recycled concrete aggregate, Cement and Concrete Research, Vol. 31, 2001, pp. 707~712
338. F.T. Olorunsogo et al., Performance of recycled aggregate concrete monitored by durability indexes, Cement and Concrete Research, Vol. 32, 2002, pp. 179~185
339. Ahmad Shayan and Aimin Xu, Performance and Properties of Structural Concrete Made with Recycled Concrete Aggregate, ACI Materials Journal, Vol. 100, No. 5, 2003. 09
340. Yusuo Koga, An Overview of the Marufacture and Upgrade of Recycled Aggregate, セメント・コンクリート, No. 679, 2003. 09, pp. 1 ~ 8
341. National stone, sand & gravel association, Land Use Permitting Guides for the Aggregate Industry, 2000. 1
342. S. F. Yannas, Waste Concrete as aggregate for new concrete, ACI Journal, 1977
343. T. Ikeda, S. Yamane and A. Sakamoto, RILEM; Reuse of Demolition Waste, Vol. 2, chapman h+all, pp.585~594
344. P. J.Nixon, Recycle concrete as an aggregate for concrete, RILEM, Vol. 11., No.65, Sep~Oct. 1978
345. Demolition Methods and practice, Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 1988, Co-organized by Nihon University, Tokyo, japan

346. T. C.hansel, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, RILEM 6, E&FN
347. LaHue, S. F., "Economic of Recycling", TRR 780, TRB, 21~26, 1980
348. Eema Bilitewski(1993) Recycling von Baurestmassen, Abfallwinscofts Jr.
349. Amnon Katz, Properties of concrete made with recycled aggregate from partially hydrated old concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 33, 2003, pp. 703~711
350. Ilker bekir Topcu et al. Properties of concretes produced with waste concrete aggregate, Cement and Concrete Research, Vol. 34, 2004. pp. 1307~1312
351. Jose M. V. Gomez-Soberon, Porosity of recycled concrete with substitution of recycled concrete aggregate, Cement and Concrete Research, Vol. 32, 2002. pp. 1301~1311
352. C. S. Poon et al. Influence of moisture states of natural and recycled aggregates on the slump and compressive strength of concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34, 2004, pp. 31~36
353. A. Gokce et al.. Freezing and thawing resistance of air-entrained concrete incorporating recycled coarse aggregate:The role of air content in demolished concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34, 2004. pp. 799~806
354. Roumiana Zaharieva et al., Frost resistance of recycled aggregate concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34, 2004. pp. 1927~1932
355. Nik. D. Oikonomou, Recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Research, Vol 27, 1997. pp. 315~318
356. S. Nagataki et al., Assessment of recycling process induced damage sensitivity of recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Research, Vol 34, 2004. pp. 965~971
357. Yong-Huang Lin et al. An assessment of optimal mixture for concrete made with recycled concrete aggregates, Cement and Concrete Research, Vol. 34, 2004. pp. 1373~1380
358. Francois Buyle-Bodin et al. Assessment of the surface permeation properties of recycled aggregate concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 25, 2003. pp. 223~232
359. Congqi Fang et al. Corrosion influence on bond in reinforced concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 34, 2004. pp. 1373~1380
360. F.Tomosawa and T.Noguchi, Towards Completely Recyclable Concrete, Integrated Design and Environmental Issues in Concrete Technology, pp.26 3~272, E&FN SPON, 1996
361. Edited by Y. Kasai, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Vol. 1 : Demolition Methods and Reuse, CHAPMAN AND HALL, 1988

362. Edited by Y. Kasai, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Vol. 2 : Reuse of Demolition Waste, CHAPMAN AND HALL, 1988
363. Edited by Y. Erik K. Laulitzen, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, F&FN SPON, 1994
364. Edited by T.C. Hansen, RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, pp. 109-110, E&FN SPON, 1989
365. J. Vyncke and E. Rousseau : Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, pp. 57-69, F&FN SPON, 1984
366. R.J. Collins, Reuse of Demolition Materials in Relation to Specifications in The UK, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, pp. 49-56, F&FN SPON, 1994
367. C.J. Kibert, Concrete/Masonry Recycling Progress in the USA, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, pp. 83-91, F&FN SPON, 1994
368. Edited by T.C. Hansen, RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, pp. 116-120, E&FN SPON, 1989
369. Edited by T.C. Hansen, RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, p. 121, E&FN SPON, 1989
370. R.-R. Schulz, The Processing of Building Rubble as Concrete Aggregate in Germany, Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, pp. 105-116, F&FN SPON, 1994
371. Edited by T.C. Hansen, RILEM REPORT 6, Recycling of Demolished Concrete and Masonry, p. 122, E&FN SPON, 1989
372. H, Matsushita., H, Tsuruta., and H, Ohkubo : Study on Present State of Arts and Problems on Recycling Used Wastes as Constructional Materials, japan Cement Association Proceedings of Cement & Concrete, 51 518 (1997)
373. Y, Kojima., T, Tasue., and Y, Arai. : Preparation of reclaimed Cement from Waste Concrete, Gypsum & lime, 244 153
374. K, Yamamoto., M, Konishi., A,Matsuda.,and Y, Iwamoto. : Properties of recycled Cement Reproduced from Waste Concrete, Cement Sci. and Concrete Tech., 52 186 (1998)
375. M,Tamura : Development of Recyclable Hydraulic Powders by Reforming Treatments for Recovered Cementious Powders from Recycled Aggregate Manufacturing Processes, Cement Sci. and Concrete Tech, 54 757 (2000)
376. R.S. Boynton, "Chemistry and technology of lime and limestone", John Wilsy & Sons, Inc. (1980)
377 .Y.Arai, T.Yasue, "Equilibrium and crystal structure in the system

$CaO-H_2O$", Gypsum & Lime, No.171 (1981)
378. H.Eto, "Synthesis of high purity calcium car-bonate", Gypsum & Lime, No.219 (1989)
379. Hiroshi Nakahara, "Mollusc shell Microstructure, Suggestive to Materals Technology" Journal of Japan ociety, Mechanical Engineers Vol.97 No.902 (1994)
380. In-Gon Lee, "A study on the environment of waste shell and its recycling method" Journal of the Korean As sociation of Crystal Growth, Vol.10 No.2 (2000)
381. Pan-Chae Kim, "Shape control of calcium car-bonate prepared from shell resoureces" Journal of the Korean Association of Crystal Growth, Vol.10 No.2 (2000)
382. In-Gon Lee and Pan-Chae Kim, "A study on the preparation of phosphatic calcium compounds using the shell resources" Journal of the Korean Association of Crystal Growth, Vol.10 No.2 (2000)
383. Bauchard, M. , "The Use in Roads of Aggregates made from Demolition Materials," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, K. Ed., Chapman and Hall, pp. 719-725 (1998)
384. Buck, A. D. "Recycled Concrete as a Source of Aggregate," ACI Journal, Title No. 74-22, May, pp. 212-219 (1977)
385. Busch, C. "Crushed Concrete used as Basecourse Material on Runway 04R-22L at Copenhagen Airport," Reuse of Demolition Waste, Proceedings, 2nd International Symposium by RILEM, Kasai, Y. Ed., Chapman and Hall, pp. 766-774 (1988)
386. Collins, R. J. "Reuse of Demolition Material in Relation to Specifications in the U. K.," Proc., 3nd Int'l RILEM Symp, Ed. by Lauritzen, E & FN Spon, London. (1994)
387. EI Kholy, F. A. "Aggregate Blending using Microcomputers," Report, Department of Civil Engineering, Clemson University, Clemson, SC. (1985)
388. Emery, J. "Use of Waste, Surplus Materials and By-Products in Transportation Construction," Paper presented at Annual Conference of Transportation Association of Canada, Ottawa, Sept. (1993)
389. Forster, S. W. "Recycled Concrete as Aggregate," Concrete International, Oct. pp. 34-40 (1986)
390. Frondistous-Yannas, S. "Waste Concretes as Aggregate for New Concrete," ACI Journal, August, pp. 373-376 (1977)
391. Hansen, T. C. "Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete : Second State-of-the-Art Report Developments 1945-1985," Materials and Structures,

19(111), June, pp. 201-246 (1986)
392. Hansen, T. C "Recycled Concrete Aggregate and Fly Ash Produce Concrete without Portland Cement," Cement and Concrete Research, Vol. 20, pp. 355-356. (1990)
393. Roy, A., Eaton, H.C., Cartledge, F.K., and Tittlebaum, M.E., Solidification/Stabilization of hazardous Waste: Evidence of Physical Encapsulation, Eny. Sci. Tech., Vol. 26, pp. 1349-1353, 1992
394. Stabilization/solidification of a synthetic electroplating sludge in cementitious binders containing NaOH
395. Solidification of electroplating waste sludge with cement
396. Experimental study on solidification of sewage - Improvement of solidification strength using a cacium hydroxide
397. Investigations of the solidification of feed clarification sludge in an inorganic matrix resistant to radiation and heat
398. Chemical Fixation and Solidification of Hazardous Wastes
399. Solidification of sludges with Portland cement
400. Kate Semple & Philip D, Evanst. Advers Effects of Heartwood on The Mechanical properties of Wood-Wool Cement Boards Manrfactured From Radiata Pine Wood.Wood and Fiber Science.32(1).2000 page 37-43
401. Christensen. L. E. and E.CT. Lyneis. The effect of sugar and wood extracts of the properties of portland cement. Unpublished thesis 핵 B. S. degree. Univ. of Wis. Madison. 1949
402. A. A. Moslemi. and Y. T. Lim.. Compatibility of southern hardwoods with Potland cement. Forest Prod. J. 34(7/8). 1984 page. 22-26
403. Biblism. E. J. and C. F. Lo. Sugars and other wood extractives. effect on the setting of southern pine-cemend moxtures. Forest Prod. J. 12(8). 1968. page.28-34

## 주 의 사 항

1. 본 보고서는 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업의 최종(중간) 연구보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 건설교통부가 출연하고 한국건설교통기술평가원에서 위탁시행 한 건설기술연구개발사업임을 밝혀야 합니다.
3. 국가보안 차원에서 필요하다고 인정되는 내용은 대외적으로 발표 및 공개하여서는 아니됩니다.

본 보고서와 관련하여 문의를 원하시는 분은 아래의 문의처로 연락을 주시기 바랍니다.

■ 문의처 : 한국건설교통기술평가원 TEL 031)381-6311
: 대한주택공사 주택도시연구원 TEL 031)738-4633

R&D /
05건설핵심D07

건설폐기물 재활용 기반구축 기술 개발

■ 발행일 / 2008 . 09 . 28 .
■ 발행처 / 대한주택공사 주택도시연구원
경기도 성남시 분당구 구미동 175번지
TEL : 031-738-3114(대)
■ 인쇄처 / (주)이테크
TEL : 031-713-8313