

# 고품질 순환골재 생산 및 콘크리트 활용기술 개발 최종보고서

2019. 12.

주관연구기관 / 한국건설기술연구원

공동연구기관 / 하나케이(주)

한라엔컴(주)

군산대학교 산학협력단

국 토 교 통 부

국토교통과학기술진흥원



## 제 출 문

국토교통과학기술진흥원 귀하

‘고품질 순환골재 생산 및 콘크리트 활용기술 개발’(연구개발 기간 : 2016.09.29 ~ 2019.09.28)  
과제의 최종보고서 2부를 제출합니다.

2019 . 12 . 19 .

주관연구기관명 : 한국건설기술연구원 (대표자) 한 승 헌 (인)  
공동연구기관명 : 하나케이(주) (대표자) 원 용 한 (인)  
한라엔컴(주) (대표자) 천 무 찬 (인)  
군산대학교 산학협력단 (대표자) 김 영 철 (인)  
참 여 기 관 명 : (자)금강개발 (대표자) 성 갑 상 (인)  
동성환경산업(주) (대표자) 이 재 업 (인)

주관연구기관책임자 : 김 상 헌

공동연구기관책임자 : 원 광 희

김 정 호

이 승 태

참여기관책임자 : 조 원 익

김 태 형

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에  
동의합니다.

## 보고서 요약서

|                   |                       |                            |                                   |                                                                             |                                                                      |
|-------------------|-----------------------|----------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| 과제 고유 번호          | 19SCIP-C120606-04     | 해당 단계<br>연구 기간             | 3년 0개월                            | 단계구분                                                                        | (4)/(4)                                                              |
| 연구사업명             | 중사업명                  | 건설기술연구사업                   |                                   |                                                                             |                                                                      |
|                   | 세부사업명                 |                            |                                   |                                                                             |                                                                      |
| 연구과제명             | 대과제명                  |                            |                                   |                                                                             |                                                                      |
|                   | 세부과제명                 | 고품질 순환골재 생산 및 콘크리트 활용기술 개발 |                                   |                                                                             |                                                                      |
| 연구책임자             | 김상현                   | 해당단계<br>참여<br>연구원 수        | 총: 35 명<br>내부: 27 명<br>외부: 8 명    | 해당단계<br>연구개발<br>비                                                           | 정부 : 355,000 천원<br>기업 : 121,000 천원<br>정부 외: 천원<br>계 : 466,000 천원     |
|                   |                       | 총 연구기간<br>참여<br>연구원 수      | 총: 148 명<br>내부: 116 명<br>외부: 32 명 | 총<br>연구개발<br>비                                                              | 정부 : 1,431,000 천원<br>기업 : 530,000 천원<br>정부 외: 천원<br>계 : 1,961,000 천원 |
| 연구기관명 및<br>소속 부서명 | 한국건설기술연구원<br>국민생활연구본부 |                            |                                   | 공동연구기관명 : 하나케이(주)<br>한라엔컴(주)<br>군산대학교 산학협력단<br>참여기업명 : (자)금강개발<br>동성환경산업(주) |                                                                      |
| 국제공동연구            | 상대국명:                 |                            |                                   | 상대국 연구기관명:                                                                  |                                                                      |
| 위탁연구              | 연구기관명:                |                            |                                   | 연구책임자:                                                                      |                                                                      |

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

|                      |               |
|----------------------|---------------|
| 연구개발성과의<br>보안등급 및 사유 | 일반과제(해당사항 없음) |
|----------------------|---------------|

### 9대 성과 등록·기탁번호

| 구분           | 논문 | 특허 | 보고서<br>원문 | 연구시설<br>· 장비 | 기술요약<br>정보 | 소프트<br>웨어 | 화합물 | 생명자원     |          | 신품종 |    |
|--------------|----|----|-----------|--------------|------------|-----------|-----|----------|----------|-----|----|
|              |    |    |           |              |            |           |     | 생명<br>정보 | 생물<br>자원 | 정보  | 실물 |
| 등록·기<br>탁 번호 |    |    |           |              |            |           |     |          |          |     |    |

### 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

| 구입기관 | 연구시설<br>· 장비명 | 규격<br>(모델명) | 수량 | 구입연월일 | 구입가격<br>(천원) | 구입처<br>(전화) | 비고<br>(설치장소) | NTIS<br>등록번호 |
|------|---------------|-------------|----|-------|--------------|-------------|--------------|--------------|
|      |               |             |    |       |              |             |              |              |

#### 요약

○ 본 과제는 순환골재의 활용도를 높이며 순환골재 콘크리트의 활성화를 목적으로 고품질 순환골재 생산기술 개발, 순환골재 콘크리트 생산 및 활용 기술 개발, 순환골재 관련 국가 기준 재·개정 및 사용 활성화 방안 제시 등을 목표로 하여, 고품질 순환골재 생산기술 및 기술 매뉴얼을 확보, 순환골재 콘크리트 제조 및 품질관리에 대한 기술을 개발, 순환골재 관련 기준에 대한 정비 등을 수행하였음. 이후 개발기술에 대한 기술이전, 홍보, 관련 제도 기준의 정비를 통해 고품질 순환골재의 활성화를 기대함

보고서 면수 : 100

## 요약문

|                           |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |               |                 |                    |                             |
|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|-----------------|--------------------|-----------------------------|
| 연구의<br>목적 및 내용            | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 고품질 순환골재 생산기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 유·무기 이물질 0.3% 미만, 밀도 2.3g/cm<sup>3</sup> 이상, 흡수율 4% 미만 콘크리트용 순환 잔골재 생산기술 개발 및 생산설비 구축</li> </ul> </li> <li>○ 순환골재 콘크리트 생산 및 활용기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환골재 혼입율 60% 이상 일반강도 수준의 콘크리트 시험배합 및 성능평가</li> <li>- 순환골재 및 순환골재 콘크리트 성능검증 및 내구성 평가</li> </ul> </li> <li>○ 순환골재 관련 국가 기준 재·개정 및 사용 활성화 방안 제시 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 건설폐기물 및 순환골재 재활용의 경제성 및 환경부하 저감효과 분석</li> <li>- 연구결과의 “순환골재 품질기준”, “콘크리트 표준시방서” 등 관련 기준 반영</li> </ul> </li> </ul> |               |                 |                    |                             |
| 연구개발성과                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환골재 이물질, 흡수율, 밀도 개선을 위한 공정 설계기술</li> <li>- 경제성 및 환경부하 저감 효과 분석 도출</li> <li>- 순환골재 콘크리트 사용 활성화 방안</li> <li>- 유기이물질 0.3% 미만, 순환 잔골재 밀도 2.3g/cm<sup>3</sup> 이상, 흡수율 4% 미만 생산 공정</li> <li>- 15톤/시간 처리용량의 실증화 플랜트 제작 운영</li> <li>- 순환골재 혼입 콘크리트 시범적용(300m<sup>3</sup>), 배합 설계 예제</li> <li>- 순환골재 60% 혼입 30MPa 콘크리트</li> <li>- 순환골재 및 순환골재 콘크리트 품질관리 방안</li> <li>- 순환골재 60% 혼입 압축강도 30MPa 내염 콘크리트 및 SOC 구조물용 콘크리트 배합 개발</li> </ul>                                                                                                                  |               |                 |                    |                             |
| 연구개발성과의<br>활용계획<br>(기대효과) | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ 활용계획 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 고품질 순환골재·순환토사 처리공정 및 생산기술의 건설폐기물 처리업체 보급 및 확산</li> <li>- 고품질 순환골재·순환토사의 국내 건설현장 재료공급</li> <li>- 60% 이상 대량 사용한 일반강도 수준 순환골재 콘크리트의 안정적 품질확보와 국내 건설현장 공급</li> <li>- 순환골재 품질기준, 순환골재 용도, 콘크리트 표준시방서 등 관련 국가기준에 연구결과 반영</li> </ul> </li> <li>○ 기대효과 <ul style="list-style-type: none"> <li>- 순환자원 활용 콘크리트 기술의 실용화로 인한 국가 경쟁력 강화 및 관련 연구 활성화</li> <li>- 원천기술 개발연구의 산업화로 새로운 건설 재료 산업분야 창출 및 관련 산업 시너지 효과 극대화 기대</li> <li>- 순환자원 활용을 통한 천연자원 고갈 및 환경오염 억제 기대</li> </ul> </li> </ul>                     |               |                 |                    |                             |
| 국문핵심어<br>(5개 이내)          | 순환 잔골재                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | 순환토사          | 흡수율             | 유기이물질              | 순환골재<br>콘크리트                |
| 영문핵심어<br>(5개 이내)          | Recycled fine aggregate                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Recycled soil | Absorption rate | Organic impurities | Recycled Aggregate Concrete |

## < 목 차 >

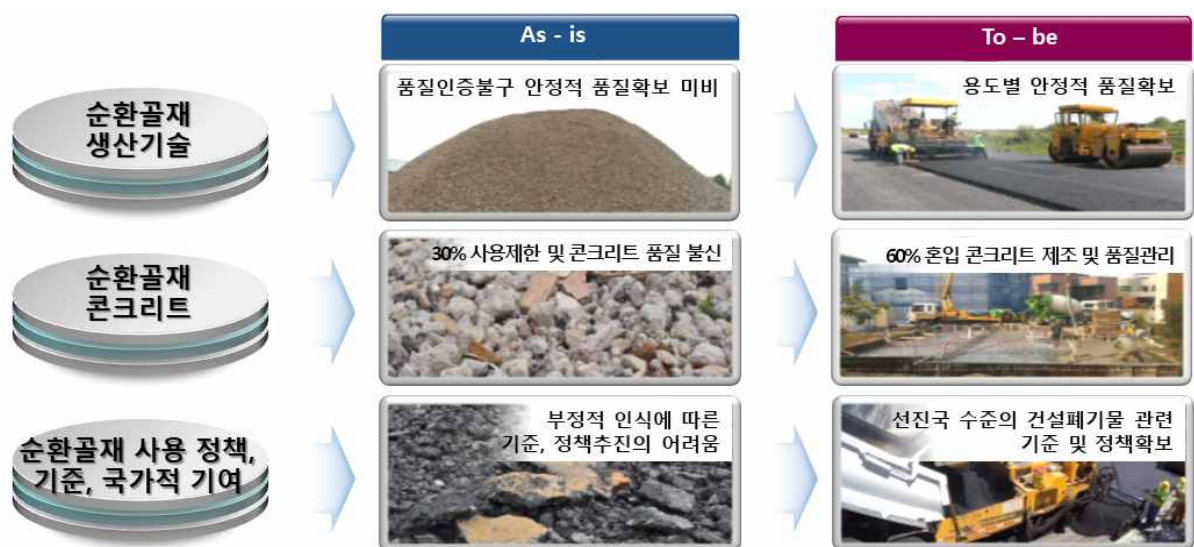
|                             |    |
|-----------------------------|----|
| 1. 연구개발과제의 개요 .....         | 5  |
| 2. 연구 수행 내용 및 성과 .....      | 9  |
| 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ..... | 87 |
| 4. 연구개발성과의 활용 계획 .....      | 95 |
| 붙임. 참고 문헌 .....             | 98 |

<별첨> 주관연구기관의 자체평가 의견서

# 1. 연구개발과제의 개요

## 가. 연구개발 최종 목표

- 고품질 순환골재 생산기술 개발
  - 밀도  $2.3\text{g/cm}^3$  이상, 흡수율 4% 미만 콘크리트용 순환 잔골재 생산기술 개발
  - 순환골재 이물질 제거(유기이물질 0.3% 미만) 생산공정 구축 및 기술개발
  - 순환골재 및 순환토사 안정적 품질관리 방안 제시
- 순환골재 콘크리트 생산 및 활용기술 개발
  - 순환 굵은골재 및 잔골재 혼입율 60% 이상 콘크리트 배합·생산기술 개발
  - 일반 강도 수준 콘크리트(최대 30MPa)에서 순환골재 사용 최대화 기술 개발
  - 순환골재 및 순환골재 콘크리트 품질관리 및 건축, 토목분야의 용도확대 방안 제시
- 순환골재 관련 국가 기준 재·개정 및 사용 활성화 방안 제시
  - 건설폐기물 및 순환골재 재활용의 경제성 및 환경부하 저감효과 분석
  - 연구결과의 “순환골재 품질기준(국토교통부 공고)”, “순환골재 용도(건설폐기물 재활용 촉진에 관한 법률 시행령 제4조)”, “콘크리트 표준시방서(국토교통부 제정)” 등 관련 기준 반영 추진



[그림 1-1-1] 고품질 순환골재 생산기술 개발 및 활성화에 따른 활용 전망

## 나. 연구개발 배경

### ○ 순환골재 품질 신뢰성 확보 미흡

- 2007년 순환골재 품질인증 제도의 시작 이후, 건설폐기물 처리업체는 지속적으로 증가하였으며, 순환골재 사용의무 대상공사 및 용도확대, 성상별 의무재활용율 증대, 순환골재 재활용 촉진을 위한 인센티브 부여 등 순환골재 인증제도의 활성화를 위한 정부의 정책이 지속적으로 추진됨
- 최근 환경보존 및 기존 골재원 고갈 등에 기인한 골재수급 문제는 건설산업의 위험요소로 평가되고 있으며, 정부의 골재수급기본계획에서 순환골재에 대한 비중이 점차 커지고 있으며, 건설폐기물에 대한 고부가가치 재활용을 촉진하고 있는 실정임
- 반면, 현재 생산되는 순환골재는 도로보조기층용 등 저부가가치의 활용이 대부분이며, 콘크리트용 순환골재 등 고부가가치의 활용은 미미한 실정임
- 순환골재는 원재료의 성상 불균형과 다양한 형태 폐기물이 조합되어 최종제품의 품질 편차가 커 처리업체의 철저한 품질관리가 요구되나, 현실적으로 순환골재 품질인증 후 인증관리 및 품질확인에 대한 상시성 부족, 처리업체의 품질관리 미흡 등으로 인해 순환골재의 품질에 대한 신뢰성을 확보하지 못한 것에 기인함

### ○ 콘크리트용 순환 잔골재 품질기준 강화

- 2016년 한국건설기술연구원 연구결과 및 관련의견을 반영하여 국토교통부 공고 「순환골재 품질기준」 개정(안) 제안
- 콘크리트 잔골재 밀도 2.3 이상, 흡수율 4% 이하로 품질기준 강화 제안
- 비구조용 콘크리트에 충골재 용적의 30% 이하 혼입사용에서 27MPa 이하 일반콘크리트에 충골재 용적의 60% 이하 혼입사용으로 활용기준 완화 제안
- 제안된 내용을 중심으로 「순환골재 품질기준」 2017년 12월 고시 및 시행

<표 1-1-1> 순환골재 품질기준 개정

| 구분            | 기존(2013년)                                                                                                                      | 개정(2017년)                                                                                                                                  |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 콘크리트용<br>순환골재 | <b>품질</b><br>순환 잔골재 : 밀도 2.2 이상<br>: 흡수율 5% 이하                                                                                 | <b>품질</b><br>순환 잔골재 : 밀도 2.3 이상<br>: 흡수율 4% 이하                                                                                             |
|               | <b>사용량</b><br><b>21~27MPa 콘크리트</b><br>→ 총 굵은골재 용적의 30% 이하<br>(순환 굵은골재만 사용)<br><b>21MPa 미만 콘크리트 (비구조용)</b><br>→ 총 골재 용적의 30% 이하 | <b>사용량</b><br><b>27MPa 이하 콘크리트</b><br>→ 순환 굵은골재만 사용시 총 굵은골재<br>용적의 60% 이하<br>→ 순환 잔골재만 사용시 총 잔골재 용적의<br>30% 이하<br>→ 혼합사용 시 총 골재 용적의 30% 이하 |

※ 출처 : 순환골재 품질기준(2013, 2017), 국토교통부

○ 콘크리트용 순환 잔골재 생산 미비

- 2016년 8월 기준, 콘크리트용 순환 잔골재에 대한 품질인증은 29건으로 전체 457건 중 6.3% 점유였으나, 2018년 12월 기준, 전체 475건 중 26건, 5.5%로 축소됨
- : 콘크리트용 순환골재 품질기준에 적합한 제품 생산 기술의 미비
- : 사용량 및 사용처 제한에 따른 관련 기술개발 저조
- 강화된 콘크리트용 순환 잔골재 품질을 만족하는 고품질 순환 잔골재 생산기술 필요

<표 1-1-2> 순환골재 품질인증 현황

| 구 분     | 계   | 도로공사용 | 콘크리트용 |      | 아스팔트<br>콘크리트용 |
|---------|-----|-------|-------|------|---------------|
|         |     |       | 굵은 골재 | 잔 골재 |               |
| 2016.08 | 457 | 334   | 72    | 29   | 22            |
| 2017.09 | 465 | 339   | 75    | 29   | 22            |
| 2018.12 | 475 | 340   | 88    | 26   | 21            |

※ 출처 : 순환골재·순환골재 재활용제품 우수활용사례집(2016, 2017) 및 한국건설기술연구원(2018)

○ 순환골재 콘크리트 생산 및 활용기술 개발 필요

- 순환골재의 일반콘크리트 사용량 증대
  - : 「순환골재 품질기준」 개정(안) 중 27MPa 이하 일반콘크리트 (구조용 포함)에 순환 잔골재 혼입사용 가능하도록 변경
  - : 국내에서 제조되어 판매되는 레디믹스트콘크리트의 95% 이상은 30MPa 이하의 일반 강도 콘크리트이며 40MPa 이상의 고강도 콘크리트의 사용은 낮은 편임
  - : 품질편차가 높고 천연골재에 비해 상대적으로 품질관리의 어려움이 높은 순환골재의 고강도 콘크리트 사용은 대상 구조물의 품질, 안전성, 내구성 등을 고려할 때 시급한 사항이 아니며 일반 강도수준에서 대량사용을 유도하는 것이 더욱 바람직함
- 일정기준 이상의 품질을 갖는 순환골재를 30MPa 이하 일반강도 콘크리트 사용 최대화 방안 및 관련 배합설계, 품질관리 방안 등 제시 필요

○ 순환골재 관련 기준 재·개정 및 사용 활성화 방안 필요

- 관련 기준 재·개정 필요
  - : 콘크리트용 순환 잔골재 품질강화와 사용량 및 사용처 확대에 대한 「순환골재 품질기준」 개정(안) 발의
  - : 「순환골재 품질기준」 개정에 따라 KS 및 콘크리트 표준시방서 등 관련기준 개정내용과 부합되도록 개정
- 순환골재 사용 활성화 방안 필요
  - : 조악한 품질과 폐기물이라는 인식으로 사용량 저조
  - : 고품질 순환골재 생산기술, 순환골재 콘크리트 품질확보 방안 제시
  - : 시범사업 및 홍보 등을 통한 인식전환 추진

<표 1-1-3> 순환골재 관련 기준 재개정 현황

| 항 목       | 반영내용                                              | 반영 국가기준                                  |
|-----------|---------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 순환골재 품질   | 콘크리트용 잔골재 밀도 2.3g/cm <sup>3</sup> 이상<br>흡수율 4% 이하 | 순환골재 품질기준 개정<br>(국토교통부 공고, 2017.12)      |
| 재 활용 용도   | 순환골재 적용 부위 확대                                     | 순환골재 적용부위 확대 개정<br>(국토교통부 공고, 2017.12)   |
| 순환골재 사용비율 | 건축기준 완화 조건을 위한 순환골재<br>사용비율 규정 통일                 | 재 활용 건축자재의 활용기준 개정<br>(국토교통부 고시, 2018.8) |
| 순환골재 콘크리트 | 순환골재 콘크리트 품질관리, 배합,<br>설계기준 등                     | KS 및 콘크리트 표준시방서 반영<br>(기술표준원, 국토교통부 제정)  |

## 다. 연구개발의 범위

- “고품질 순환골재 생산 및 콘크리트 활용기술 개발”은 고품질 순환골재 생산기술 개발, 순환골재 콘크리트 생산 및 활용기술 개발, 순환골재 관련 국가 기준 제·개정 및 사용 활성화 방안 제시 등을 목표로 하며, 구체적인 연차별 연구개발의 목표 및 범위는 <표 1-1-4>와 같음.

<표 1-1-4> 연구개발 세부목표 및 범위

| 연구개발의 세부목표                                         | 연구개발의 내용 및 범위                                                                    |
|----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| 순환골재 콘크리트 사용 활성화 방안                                | ■ 순환골재 · 순환토사 관련 국가기준 제·개정 및 사용 활성화 방안 수립                                        |
| 경제성 및 환경부하 저감 효과 분석                                | ■ 순환골재 활용에 따른 환경적, 경제적 효과 분석                                                     |
| 순환골재 이물질, 흡수율, 밀도 개선을 위한 공정 개발                     | ■ 유 · 무기 이물질 0.3% 미만, 밀도 2.3g/cm <sup>3</sup> 이상, 흡수율 4% 미만 콘크리트용 순환 잔골재 생산기술 개발 |
| 고품질 순환골재 생산 설비 및 공정 구축                             | ■ 순환골재 및 순환토사 품질향상 플랜트 설비 구축<br>■ 균일한 품질의 순환골재 및 순환토사 생산이 가능한 최적운전조건 확립          |
| 15톤/시간 처리용량의 실증 플랜트 제작 운영                          | ■ 순환골재 및 순환토사 안정적 생산 및 실용화 추진<br>■ 고품질 순환골재 및 순환토사 생산설비 운영 및 검증                  |
| 순환골재 60% 혼입 30MPa 콘크리트                             | ■ 콘크리트용 순환골재 시험배합 및 성능 평가<br>■ 강도별 최적 배합 표준안 제시                                  |
| 순환골재 혼입 콘크리트 시범적용, 배합설계                            | ■ 순환골재 콘크리트 B/P생산 및 Mock-up Test<br>■ 순환골재 콘크리트 현장적용 추진                          |
| 순환골재 및 순환골재 콘크리트 품질관리 방안                           | ■ 콘크리트용 순환골재 품질관리 방안 수립<br>■ 순환골재 및 순환골재 콘크리트 품질관리 방안                            |
| 순환골재 60% 혼입 압축강도 30MPa 내염 콘크리트 및 SOC구조물용 콘크리트 배합설계 | ■ 장기 내구특성 평가 및 구조용 콘크리트의 활용 배합 도출                                                |

## 2. 연구수행내용 및 성과

### 가. 순환골재 · 순환토사 관련 국가기준 재·개정 및 활성화 방안

#### (1) 순환골재 품질인증 제도의 문제점 및 개선 필요성

- 순환골재 품질인증제도는 도입 후 건설폐기물 처리업체 총 569개사 중 435개사(76%) 인증을 획득하였으며, “순환골재 품질확보”의 법적 목적 달성에 기여하였으나, 사용자의 신뢰성 확보 미비 등 순환골재의 품질신뢰성에 대한 문제점이 지속 발생하고 있다.
- 순환골재 품질인증의 사후관리 시정율 ‘14년도 15%→ ‘17년도 22%로 증가하는 추세이며, 심사 및 사후관리 시에만 품질유지(상시관리 및 품질확인)의 현실적 한계)가 가능한 실정이다.
- 건설폐기물 처리업체 대상으로 실태조사 결과, 건설폐기물 처리투입폐기물의 인위적 조치(인증업체), 시험결과의 상시성 문제(순환골재의 품질변화 문제) 등으로 인증 이후 품질에 대한 신뢰성 확보가 어려운 실정이다.
- 또한, 순환골재 품질확보와 건설폐기물 재활용 확대를 위한 산업적 기반 마련이라는 법적취지는 달성하였으나, 현실적인 한계로 실질적인 건설폐기물 재활용(순환골재 공급)과 연결이 미비하여 순환골재 공급실적이 없어도 인증유지와 입찰혜택만 유지하거나, 순환골재 품질인증 획득 후 품질미비시 시정요구에 국한(법률에 근거한 인증취소 및 골재공급중단 조치불가)되는 등의 규제조치의 한계가 있는 실정이다.
- 이에 순환골재 품질확보 및 활용을 실질적으로 향상시키기 위해 순환골재 품질인증의 제도적 목적(순환골재 품질확보) 부합성에 재검토가 필요하며, 이를 위한 법률과 규정 정비 등 제도적 보완이 필요한 상황이다.

<표 2-1-1> 순환골재 품질인증 사후관리 현황(2017년 12월)

| 연도    | 도로공사용<br>(도로보조기층용 등) | 콘크리트 및<br>콘크리트제품<br>제조용 굵은골재 | 콘크리트 및<br>콘크리트제품<br>제조용 잔골재 | 순환아스팔트<br>콘크리트용 | 합계   |
|-------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|------|
| 2014년 | 185건                 | 3건                           | 3건                          | 8건              | 199건 |
| 2015년 | 219건                 | 4건                           | 11건                         | 10건             | 244건 |
| 2016년 | 250건                 | 6건                           | 10건                         | 12건             | 278건 |
| 2017년 | 142건                 | 4건                           | 4건                          | 6건              | 156건 |

※ 출처 : 한국건설기술연구원

<표 2-1-2> 순환골재 품질인증 사후관리 시정조치 현황(2017년 12월)

| 연도    | 사후관리 대상업체 | 사후관리 시정조치업체          |                              |                             |                 |     | 시정율 (%) |
|-------|-----------|----------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----|---------|
|       |           | 도로공사용<br>(도로보조기층용 등) | 콘크리트 및<br>콘크리트제품<br>제조용 굵은골재 | 콘크리트 및<br>콘크리트제품<br>제조용 잔골재 | 순환아스팔트<br>콘크리트용 | 합계  |         |
| 2014년 | 199건      | 28건                  | 1건                           | 1건                          | 0건              | 30건 | 15      |
| 2015년 | 244건      | 38건                  | 2건                           | 2건                          | 1건              | 43건 | 18      |
| 2016년 | 278건      | 56건                  | 2건                           | 1건                          | 2건              | 61건 | 22      |
| 2017년 | 156건      | 30건                  | 1건                           | 2건                          | 1건              | 34건 | 22      |

※ 출처 : 한국건설기술연구원

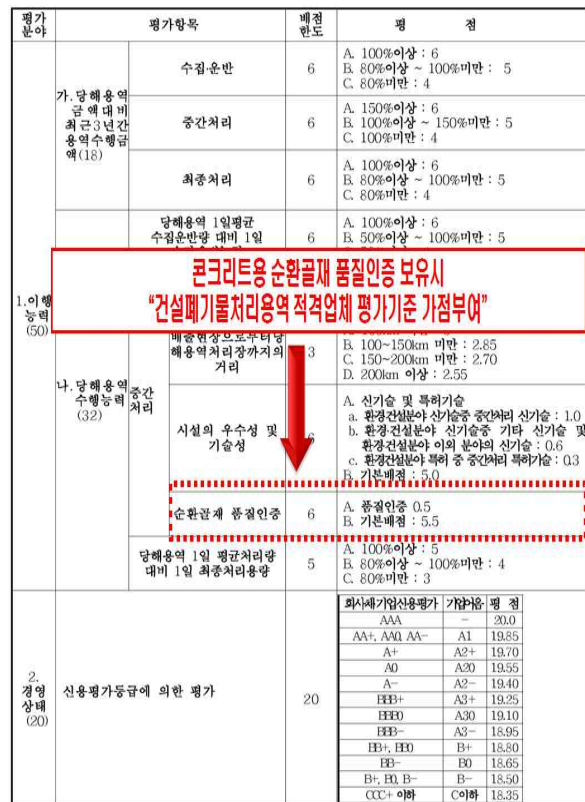
## (2) 기존 순환골재 품질인증 제도의 성과분석

### (가) 순환골재 품질인증의 현황분석

- 2018년 12월기준으로 순환골재 품질인증은 총 475건 부여, 도로공사용 72%(340건), 콘크리트용 굵은골재 19%(88건), 콘크리트용 잔골재 5%(26건), 아스콘용 4%(21건) 순으로 건설폐기물 처리업체가 대부분 보유하고 있으며, 2011년 10월부터 건설폐기물처리용역 적격심사기준의 배점 및 가점 개정(입찰시 배점·가점 등)으로 콘크리트용 순환골재 품질인증 업체가 증가추세에 있다.

### (나) 순환골재 품질인증 제도의 성과

- 순환골재 품질인증 제도의 시작으로 건설폐기물 처리업체는 순환골재 생산설비 및 기술에 대한 보완 및 개발을 지속적으로 수행하고 있으며, 순환골재 품질에 대한 중요성을 인식하고 있다. 이에 따라 건설폐기물 처리업체는 품질확보된 골재생산능력을 보유하게 되었으며, 정책추진으로서 순환골재 사용의무 대상공사 및 용도확대, 성상별 의무재활용을 증가, 순환골재 재활용 촉진을 위한 인센티브 부여 등 순환골재 인증제도 이행으로 인한 것으로 판단된다.
- 건설폐기물처리용역 적격심사기준의 배점 및 가점 개정으로 콘크리트용 순환골재 품질인증 업체가 증가추세에 있으며, 순환골재 품질인증제도는 2007년 1월부터 도입 후 건설폐기물 중간처리업체 총 569개사 중 435개사(76%) 인증을 획득, “순환골재 품질확보”의 법적 목적 달성에 기여하였다.
- 2015년 건설폐기물의 발생량은 약 72.4백만톤/년으로 이 중 약 55.1백만톤/년이 순환골재로 생산되어 47.8백만톤/년이 판매되었다. 도로기층용 및 도로보조기층용으로 재활용된 순환골재는 17.9백만톤/년으로 30%를 상회하고 있으며, 이러한 경향은 제1차 건설폐기물 재활용 기본계획의 시행이후 매년 지속적으로 상승하고 있다.



- 2017년 9월 환경부와 국토교통부가 공동으로 개정 고시한 “순환골재의무사용건설공사 및 의무사용량등에관한고시”에서는 기존의 순환골재 단일용도에서 “순환골재”와 “순환골재재활용 제품” 2가지로 크게 용도를 구분하여 확대하였다.
- 아울러 국토교통부에서는 순환골재 품질인증 제도를 도입하고 인증제도 활성화를 통한 품질향상을 위하여 순환골재 품질인증을 부여받은 업체에 한하여 능력평가 시 배점을 부여하는 방안으로 인센티브를 신설하였다.

[illegible]

|           |   |                                |
|-----------|---|--------------------------------|
| 순환골재 품질인증 | 5 | A. 납설인증 : 0.5<br>B. 기본배점 : 4.5 |
|-----------|---|--------------------------------|

[그림 2-1-2] 건설폐기물 처리용역 적격업체 평가기준상의 인센티브 사항

- 이러한 인센티브 부여에 따라 순환골재 품질인증을 부여받기 위하여 관련업계에서는 많은 시설투자와 품질관리 향상에 노력하였으며 2018년 12월 기준으로 약 475여개의 품질인증이 부여되었다.
- 용도별로는 도로공사용 품질인증이 340개 업체로 절대 다수를 점유하고 있으며 콘크리트용 88개 업체 정도로 나타났다. 이와 같이 인센티브제도 도입에 따라 많은 업체가 품질인증을 부여 받았으며, 이로 인하여 순환골재의 품질향상이 이루어지고 현장에서 안정적인 골재로 인식하는 계기가 된 것으로 판단한다.

<표 2-1-3> 지역별 순환골재 품질 인증 현황 (2017년 07월)

| 지역<br>용도                        | 서울       | 경기 | 인천 | 강원 | 충남 | 충북 | 경남 | 경북 | 전남 | 전북 | 대구 | 대전 | 광주 | 부산 | 울산 | 제주 | 합계  |
|---------------------------------|----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| 도로공사용<br>(도로보조기층용 등)            | 1        | 51 | 6  | 29 | 23 | 25 | 40 | 47 | 38 | 34 | 2  | 3  | 2  | 9  | 2  | 13 | 325 |
| 콘크리트 및<br>콘크리트제품<br>제조용<br>순환골재 | 굵은<br>골재 | 0  | 13 | 2  | 1  | 4  | 7  | 10 | 6  | 8  | 6  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 60  |
|                                 | 잔골<br>재  | 0  | 8  | 1  | 1  | 4  | 0  | 5  | 2  | 4  | 3  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 29  |
| 재생아스팔트<br>콘크리트 제조용              | 0        | 3  | 1  | 0  | 5  | 2  | 0  | 5  | 2  | 0  | 0  | 3  | 0  | 0  | 0  | 0  | 21  |
| 합계                              | 1        | 75 | 10 | 31 | 36 | 34 | 55 | 60 | 52 | 43 | 3  | 8  | 3  | 9  | 2  | 13 | 435 |

<표 2-1-4> 순환골재 의무사용 대상공사 및 용도확대 성과분석

| 구분                              | 제정당시<br>현황                          | 계획                                                     | 성과                                                                              | 비고       | 이행기관             |
|---------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|----------|------------------|
| 사용용도 및<br>의무사용량<br>확대           | 의무화율<br>15%                         | - 단계별로 40%까지 확대<br>- 사용용도 및 재활용 제품<br>확대               | - 2014년 의무사용량<br>40% 확대고시<br>- 콘크리트 2차제품<br>사용용도 별도 고시                          | 달성       | 환경부<br>국토부       |
| 공사확대                            | 6개대상공사<br>지정                        | - 6개 대상 공사 이외 활용<br>가능공사 추가                            | - 공공하수처리시설 등<br>확대                                                              | 달성       | 환경부<br>국토부       |
| 용도확대                            | 도로보조<br>기층용                         | - 도로보조기층용<br>- 아스팔트 콘크리트용<br>- 도로기층용<br>- 동상방지층 및 차단층용 | - 도로보조기층용<br>- 아스팔트 콘크리트용<br>- 기초다짐용 또는 채움용<br>- 표토용 또는 노반용                     | 달성       | 환경부<br>국토부       |
| KS F 2573<br>관련 2차제품<br>인용현황    | 4개 용도<br>한정                         | - 총 45개 KS 표준 2573 인용                                  | - 1단계 15개 규격인용<br>- KS F 2573 규격개정                                              | 부분<br>달성 | 환경부<br>기술<br>표준원 |
| 콘크리트용<br>등 고품질<br>순환골재<br>관련 기준 | 잔골재<br>흡수율 5%,<br>밀도 2.2<br>사용량 30% | - 잔골재 밀도 및 흡수율 강<br>화<br>- 사용범위 및 사용량 확대               | - 밀도 2.3, 흡수율 4%<br>미만으로 강화<br>- 사용량 최대 60% 상향<br>- 설계기준강도 27MPa까<br>지 모두 적용 가능 | 달성       | 국토부              |
| 순환골재<br>재활용을<br>위한<br>인센티브      | 발주자<br>용적율<br>완화제도                  | - 발주자 용적율 완화<br>- 경영평가 시 가점 부여                         | - 용적율 완화제도 유지                                                                   | 부분<br>달성 | 환경부<br>국토교통부     |
|                                 |                                     | - 시공사 입찰 시 가산점부여                                       | - 반영 없음                                                                         | 미달성      | 국토교통부            |
|                                 |                                     | - 순환골재 품질인증 배점                                         | - 건설폐기물 처리용역<br>적격업체 평가기준에<br>순환골재 품질인증에<br>따른 배점 부여                            | 달성       | 환경부              |

### (3) 건설폐기물 재활용 제품 인증제도 개선 방안

- GR인증과 환경표지인증은 심사기준 및 절차가 상이한 반면, 항목중복, 인센티브 동일 등이 중복되는 문제가 발생되고 있으며, 환경성 중심으로 평가되는 환경표지인증 보다 재활용제품 품질 중심으로 평가되는 GR인증의 심사기준, 품목 및 품질항목, 인센티브 등 일원화가 필요하다. 또한 재생아스콘 품질관리 강화방안 필요, 신뢰성 문제해소 방안 강구, 업체비용및 업무중복 피해발생 등을 고려한 개선방안이 요구된다.
- 이에 건설폐기물 재활용 관련 제품인증은 인증의 성격으로 볼 때, 재활용이므로 환경성 중심의 환경표지인증 보다 제품 중심의 GR인증 등으로 일원화가 필요할 것으로 판단되며, 환경표지인증의 골재, 건설폐기물 재활용 제품 등, 관련 품목 및 심사항목을 제외시키는 것으로서 골재 및 재활용 제품에 대한 인증중복방안으로 제시하였다.
- 또한 GR인증의 아스팔트콘크리트 품질기준은 2012년 국토교통부 “순환골재 등 의무사용 확대에 따른 품질관리 대책 마련” 에서 환경오염 방지를 위해 건설폐기물을 재활용한 순환골재 의무사용 비율의 확대에 따라 재활용 아스팔트포장의 시공 품질확보를 위한 품질관리 개선대책 마련을 시행하였다.
- GR 인증기준은 품질관리 수준이 낮아 도로공사 현장에서 요구하고 있는 “적정 품질 확보 어려움” 이 있으며, 품질기준을 통과하지 못하는 등의 문제점 발생시 책임소재 규명이 어려워 분쟁 발생이 우려된다. 이에 관급자재는 GR기준만 통과할 경우 별도 품질기준을 강제할 방법이 없어 아스팔트 콘크리트의 소성변형, 균열 저항성, 박리 등, 내구성 문제발생에 대한기준마련이 시급한 실정이다.
- 따라서 내구성 향상을 위하여 국외 아스팔트콘크리트 품질기준을 고려하여 이에 상응하는 GR품질기준(GR F 4005 재활용 가열 아스팔트 혼합물)의 표층에서는 현 KS규격 기준 간극률 13% 이상과 동등한 수준으로 적용하고 기층에서는 공극률 3-8%, 포화도 60-75%로 현 KS규격기준과 동등한 수준으로 적용하는 것으로 제시하였다.



[그림 2-1-3] 건설폐기물 재활용 관련 인증제도 개선방안

#### (4) 순환골재 품질인증 제도의 개선 방안

##### (가) 순환골재 품질인증의 “새로운 제도적” 방안 모색

- 순환골재 품질신뢰성 확보, 건설폐기물 재활용 기여 등의 개선을 위해 순환골재 품질 인증의 목적과 내용을 개선하는 것으로 제안하였으며, 건설공사의 품질확보를 위하여 건설 폐기물처리 사업장 대상으로 인증을 부여하는 제도로 전환하는 것으로 제안하였다. 이에 건설폐기물 적정처리를 위한 “새로운 제도적” 방안·정립이 필요하다.



[그림 2-1-4] 순환골재 품질인증제도 개선방안 검토

##### (나) 기존 순환골재 품질인증을 “사업장 인증제도”로 전환

- 순환골재 품질인증의 “새로운 제도적” 방안은 “사업장 인증제도 도입·방안”으로 전환하여 건설폐기물 적정처리와 동시에 재활용 능력 평가제도 방안이 요구된다.



[그림 2-1-5] 순환골재 품질인증제도 개선방안

<표 2-1-5> 사업장 인증제도 개요

| 구분   | 내용                                                 | 비고                                             |
|------|----------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 인증목적 | 건설공사의 품질확보를 위하여<br>건설폐기물처리 사업장 대상으로 인증을<br>부여하는 제도 | 기존에 순환골재 품질만 인증하는 것이 아니라<br>사업장 전체 인증평가        |
| 인증대상 | 건설폐기물 중간처리업체                                       | 기존 순환골재 품질인증 수요업체                              |
| 인증명  | 사업장 인증 또는 재활용 능력인증제도                               | 인증성격을 고려한 인증명칭 조정                              |
| 인증방법 | 등급제 인증                                             | 업체의 기술·품질관리 수준을 고려하여 등급제<br>적용                 |
| 심사기준 | 생산관리, 품질관리, 공급관리, 기술관리,<br>환경관리 등 배점제로 평가          | 객관적인 인증의 평가관리                                  |
| 인증기관 | 환경부 장관이 지정·고시하는 (위탁)기관<br>※ 품질관리부분은 국토부장관이 지정      | 건설폐기물 재활용이므로 담당부처인 환경부와<br>국토교통부가 협의하여 인증기관 지정 |

- “사업장 인증제도” 심사기준의 객관적 평가를 위하여 생산관리, 품질관리, 공급관리, 기술관리, 환경관리 등 배점제로 평가·도입하는 것이 바람직할 것으로 판단되며, 인증의 형평성을 고려하여 영세기업에 불리한 기준은 배제하고 생산능력 대비 공급량으로 공급능력을 평가하는 인증제도 전환이 요구된다.

<표 2-1-6> 사업장 인증제도 개요

| 심사기준    | 심사항목                         | 배점 |
|---------|------------------------------|----|
| 생산관리 도입 | 인력 / 설비 / 절차 / 시스템 등         | 10 |
| 품질관리 도입 | 시료채취 / 검사 / 품질관리인력계획 등       | 20 |
| 공급관리 도입 | 순환골재 공급·판매실적 등               | 30 |
| 기술관리 도입 | 신기술 / 특허 / 실용신안 / 연구소 및 인력 등 | 20 |
| 환경관리 도입 | 비산먼지 / 소음 / 진동 / 수처리 등       | 20 |

※ [배점예시] 90점 이상 1등급, 80점 이상 2등급, 70점 이상 3등급, 60점 이상 4등급, 60점 미만 5등급

#### ① 생산관리

- 순사업장인증제도의 생산관리는 인력, 설비, 건설 폐기물 야적시설, 순환골재 보관시설, 계량시설, 장비, 절차 등의 심사항목으로 평가되며, 사업장 인증제도의 생산관리 심사기준(안)의 일부는 <표 2-1-7>과 같다.

<표 2-1-7> 사업장 인증제도 개요

| 심사항목<br>(배점한도) | 심사기준                                                                                                                                  |                                                                                                                               | 배점                            |
|----------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 인력<br>(0점)     | ○ 순환골재 생산경력 10년 이상 2인 생산관리 업무수행<br>○ 순환골재 생산경력 5년 이상 2인 생산관리 업무수행<br>○ 순환골재 생산경력 3년 이상 2인 생산관리 업무수행<br>○ 순환골재 생산경력 3년 미만 1인 생산관리 업무수행 |                                                                                                                               | ○점<br>○점<br>○점<br>○점          |
| 설비<br>(0점)     | 파쇄 및 분쇄 시설                                                                                                                            | 분리·선별시설                                                                                                                       | 기준이상 ○점<br>기준적합 ○점<br>기준미만 ○점 |
|                | 1일 처리능력 600톤 이상(1일 8시간 작업기준)파·분쇄 시설을 갖추는 것<br>골재 최대치수 40mm 이하로 파쇄할 수 있는 시설을 갖추는 것                                                     | 이물질 선별횟수 2단계 이상을 갖추는 것 (인력 및 자력선별기에 의한 선별 제외) 스크린, 풍력 또는 자력 선별 시설 각 1식 이상을 갖추는 것(파쇄·분쇄 시설의 앞 또는 뒤에 설치하여 파쇄·분쇄 시설과 일체를 이루어야 함) |                               |
|                | 1일 처리능력 600톤 이상(1일 8시간 작업기준)파쇄·분쇄 시설을 갖추는 것<br>골재 최대치수 25mm 이하 (굵은골재), 5mm 이하(잔골재)로 파쇄할 수 있는 시설을 갖추는 것                                | 이물질 선별횟수 2단계 이상을 갖추는 것 (인력 및 자력선별기에 의한 선별 제외) 스크린, 풍력 또는 자력 선별 시설 각 1식 이상을 갖추는 것(파쇄·분쇄 시설의 앞 또는 뒤에 설치하여 파쇄·분쇄 시설과 일체를 이루어야 함) |                               |
| ...            | ...                                                                                                                                   |                                                                                                                               | ...                           |

## ② 품질관리

- 사업장인증제도의 품질관리는 시료채취, 품질관리인력, 품질교육계획 및 실적, 순환골재품질관리 실적, 품질관리 조직 및 활동, 품질관리 설비 및 시험능력 등의 심사항목으로 평가한다.

## ③ 공급관리

- 사업장인증제도의 공급관리는 순환골재 공급계획, 순환골재 공급실적, 순환골재 공급계획 대비 실적율, 순환골재 의무사용 건설공사 공급실적, 순환골재 의무사용 용도 공급실적, 순환골재 공급매출액, 순환골재 의무사용 용도의 공급실적 등의 심사항목으로 평가한다.

## ④ 기술관리

- 사업장인증제도의 기술관리는 신기술보유실적, 특허보유실적, 실용신안보유실적, 연구소보유 및 인력현황, 연구실적 등의 심사항목으로 평가한다.

## ⑤ 환경관리

- 사업장인증제도의 환경관리는 환경관리 계획 및 실적, 비산먼지관리, 소음관리, 진동관리, 수처리, 부적정처리가능성 등의 심사항목으로 평가한다.

## (5) 순환골재 활성화 추가 방안

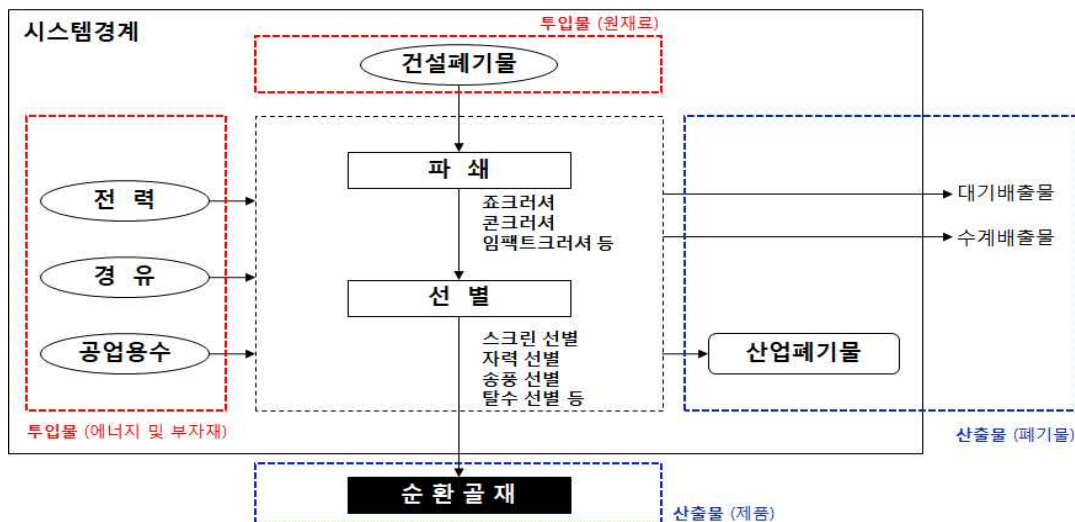
- 2015년 기준 건설폐기물 총 발생량 중 76.2%가 순환골재로 생산되었으며, 이중 약 87%가 판매되어 재활용되었으나, 콘크리트용 순환골재의 판매는 2% 수준으로, 순환골재의 단순 활용이 아닌 고품질 순환골재의 고부가가치적 활용 증대가 요구된다.
- 고품질 순환골재의 낮은 활용은 그간 순환골재의 낮은 품질 및 품질 균일성 확보 미흡 등에 기인하여 순환골재에 대한 낮은 신뢰성, 사용자측의 활용에 대한 거부, 시장 미형성에 따른 업계로의 수요 부족, 업체의 순환골재 품질 개선 의지 저하 등이 반복되어온 것에 의한 것이다.
- 이에 순환골재 업계의 순환골재 품질 개선 노력과 상시적 품질 균일성에 대한 신뢰성 확보가 선행되고, 이렇게 확보한 순환골재에 대한 인식 개선을 통해 시장으로의 적용성을 증대하여야 할 것이다.
- 따라서, 제안된 순환골재 관련 제도적 개선 방안 이외에 추가적으로 순환골재 활성화를 위한 다음의 사항들에 대한 검토 및 보완이 필요하다.
  - 고품질 순환골재 레미콘 적용을 위한 혼합골재에 대한 기준 정비
  - 고품질 순환골재 생산 시 발생하는 미분(석분)에 대한 처리 방안 마련
  - 순환골재 콘크리트의 배합 및 품질에 대해 사양기준이 아닌 성능기준으로 관리
  - 고품질 순환골재를 설계 및 시공에 반영하는 경우에 대한 인센티브 제도(재활용 건축 자재의 활용기준 등) 보완 및 홍보
  - 순환골재 품질 개선에 부합하는 적용대상 건설공사 확대 및 의무사용 예외규정(40km 거리 규정사항 등)에 대한 보완
  - 고품질 순환골재 생산시설에 대한 투자 및 기술개발 촉진을 위한 건설폐기물 처리비용, 골재 운반 및 처리비 등에 대한 현실화
  - 혼합 건설폐기물 관리 및 처리에 대한 기준 강화 및 분리 선별 기술 개발

## 나. 순환골재 활용에 따른 환경적, 경제적 효과 분석

### (1) 순환골재 활용에 따른 환경적 효과 분석

#### (가) 순환골재의 전과정 환경영향 평가

- 전과정 평가는 제품·서비스의 생산단계부터 사용 및 폐기단계 등을 포함하는 전체 과정을 대상으로 각 단계별 투입되는 자원 및 에너지와 배출되는 오염물질을 정량화하여 환경에 미치는 영향을 평가하고, 결과를 토대로 환경개선 방안을 모색하는 기법이다.
- 본 연구에서는 콘크리트 산업에서 순환골재의 활용을 증대를 위해 전과정 평가를 활용하여 개발 기술에 의한 개질 순환 잔골재의 환경영향 평가를 수행하고, 그 결과를 산림 모래, 바다모래, 하천모래의 환경영향 결과와 비교하였다.



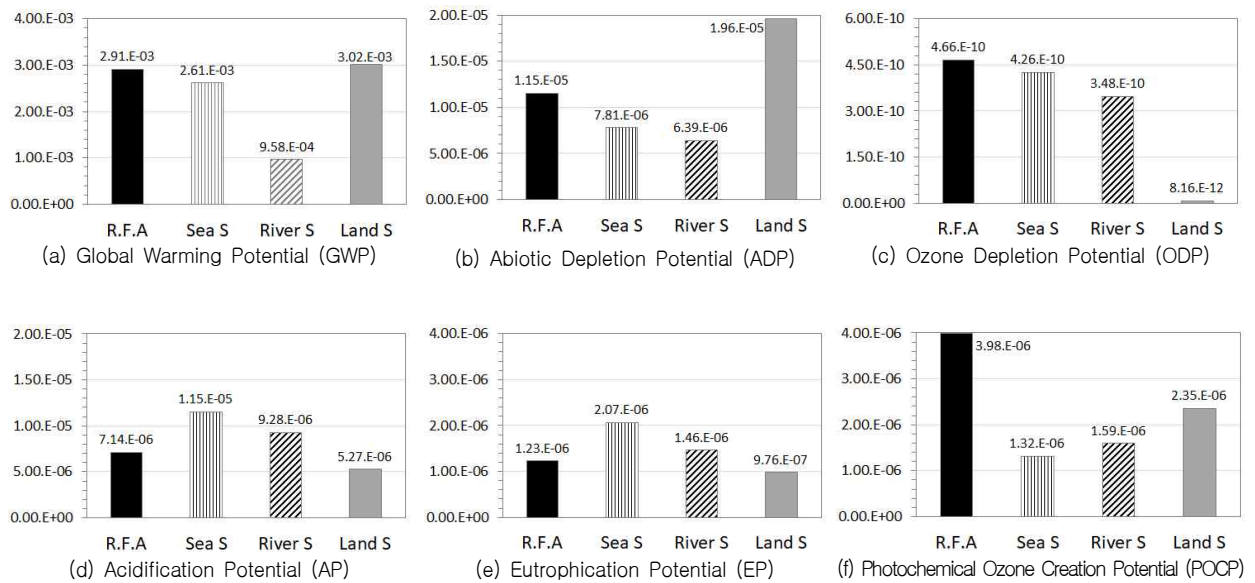
[그림 2-2-1] 순환골재 생산 공정에 따른 시스템 경계

- 개질 순환 잔골재의 전과정 환경영향을 환경성적표지제도(국가 LCI DB)에서 구축된 산림 모래, 바다모래, 하천모래와 비교한 결과는 <표 2-2-1> 및 [그림 2-2-2]와 같다.

<표 2-2-1> 개질 순환 잔골재와 천연골재의 환경영향 비교

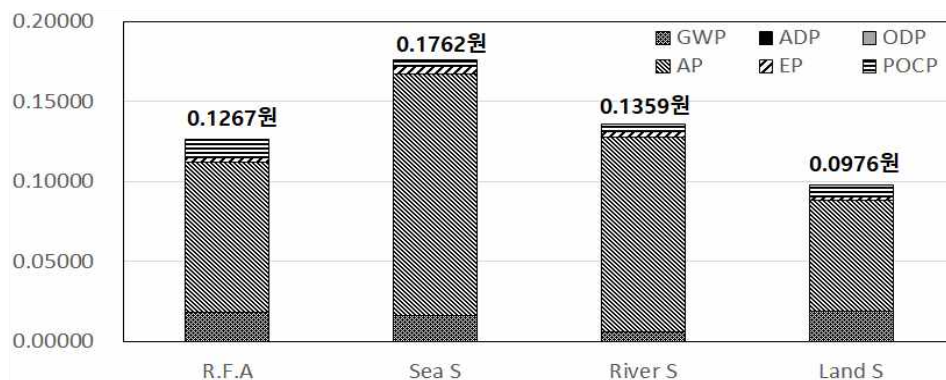
| Division     | GWP<br>(kg-CO <sub>2</sub> /kg) | ADP<br>(kg-Antimonyeq/kg) | ODP<br>(kg-CFC11eq/kg) | AP<br>(kg-SO <sub>2</sub> eq/kg) | EP<br>(kg-PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> eq/kg) | POCP<br>(kg-Ethyleneeq/kg) |
|--------------|---------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------|----------------------------|
| 개질<br>순환 잔골재 | 2.91E-03                        | 1.15E-05                  | 4.66E-10               | 7.14E-06                         | 1.23E-06                                       | 3.98E-06                   |
| 바다모래         | 2.61E-03                        | 7.81E-06                  | 4.26E-10               | 1.15E-05                         | 2.07E-06                                       | 1.32E-06                   |
| 하천모래         | 9.58E-04                        | 6.39E-06                  | 3.48E-10               | 9.28E-06                         | 1.46E-06                                       | 1.59E-06                   |
| 산림모래         | 3.02E-03                        | 1.96E-05                  | 8.16E-12               | 5.27E-06                         | 9.76E-07                                       | 2.35E-06                   |

\* R.F.A : Recycled Fine Aggregate



[그림 2-2-2] 개질 순환 잔골재와 천연골재의 환경영향 비교

- [그림 2-2-3]은 환경영향 정도를 파악할 수 있는 범주별 종말점 수준에서 환경영향을 집계한 후 보호대상(인체건강, 생물다양성, 사회자산, 일차생산 등)에 가중치(환경비용 단가)를 부여하여 화폐가치로 단일 지수화한 환경비용 평가결과이다.
- 그 결과, 개질 순환 잔골재의 환경비용은 0.1267원/kg으로 바다모래 0.1762원/kg, 하천모래 0.1359원/kg에 비해 적게 나타났다.
- 산림모래의 경우 환경비용은 0.0976원/kg으로 가장 낮은 편이나, 현재 자연훼손 및 자원 보호 차원에서 산림골재 개발 및 채취가 점차 어려워지고 있다.
- 상기 결과로 미루어 볼 때, 전과정 환경영향 평가 관점에서 개질 순환 잔골재의 사용이 타 골재를 대체하기 위한 재료로 유효할 것으로 판단된다.



[그림 2-2-3] 피해산정형 모델을 이용한 개질 순환 잔골재와 천연골재의 환경비용 비교

## (나) 순환골재의 천연골재 대체에 환경·사회적 편익 분석

- 천연골재 채취에 따른 사회적 비용 및 콘크리트용 고품질 순환골재(이하 고품질 순환골재) 생산 시 발생하는 제반 비용 등을 종합적으로 고려한 고품질 순환골재 활용에 따른 환경·사회적 편익을 분석하였다.
- 본 분석에서는 육상골재의 경우를 가정하여 환경·사회적 편익을 검토하였다.
- 천연골재 생산에 따라 소요되는 연간 사회적 비용은 <표 2-2-2>와 같이 산정하였다.

<표 2-2-2> 천연골재 채취에 따른 사회적 비용

(단위 : 원/년)

| 항목        | 450,000m³당 사회적비용 | m³당 사회적비용*<br>(2012년 기준) | m³당 사회적비용<br>(2018년 기준) |
|-----------|------------------|--------------------------|-------------------------|
| 생산비용      | 3,457,560,642    | 7,683                    | 10,226                  |
| 채석지 복구비용  | 1,458,947,363    | 3,242                    | 4,315                   |
| 하자보수비용    | 72,947,363       | 162                      | 216                     |
| 유지관리비용    | 470,184,757      | 1,045                    | 1,391                   |
| 임산물생산가치   | 3,201,485        | 7                        | 9                       |
| 산림의 공익적가치 | 80,994,619       | 180                      | 240                     |
| 합계        | 5,543,836,118    | 12,319                   | 16,397                  |

※ 출처 : 한국건설자원협회 순환골재 가치 적용 (2012)

- 이를 통해 고품질 순환골재의 생산가능량에 대한 천연골재 대체 시의 사회적 편익을 산출하면 <표 2-2-3>과 같이 연간 1,500억원으로 나타났으며, 천연골재를 대체한 순환골재 생산 및 판매에 따른 10년간의 환경·사회적 편익은 <표 2-2-4>와 같이 **1.2조원**으로 나타났다.

<표 2-2-3> 천연골재 대체에 따른 사회적 편익

| 항목                  | 수량              |
|---------------------|-----------------|
| 고품질 순환골재 생산가능량(m³)* | 9,261,732       |
| m³당 사회적 절감액(원)      | 16,397          |
| 사회적 편익(원)           | 151,864,619,604 |

<표 2-2-4> 천연골재 대체에 따른 10년간의 사회적 편익

(단위 : 원)

| 항목                   | 비용                |
|----------------------|-------------------|
| 현재절감액(원)             | 151,864,619,604   |
| 기간                   | 10년               |
| 실질할인율                | 4.50%             |
| 연등가액 현재가치 환산계수(PWAF) | 7.91              |
| 현재가치(원)              | 1,201,249,151,954 |

## (2) 고품질 순환골재 활용에 따른 경제적 효과 분석

### (가) 고품질 순환골재 활용에 따른 레미콘 생산비용 분석

#### 1) 골재 가격 비교 및 순환골재 사용 비율 검토

- 본 분석에서는 건설 현장에서 많이 쓰이는 25-27-180 규격의 레디믹스트 콘크리트(이하 레미콘) 생산을 가정하였다.
- 천연골재와 순환골재 단가는 현재 시중단가 및 시장의 일반적인 단가 및 개발 기술의 개질 순환 잔골재의 추가원가를 적용하여 <표 2-2-5> 및 <표 2-2-6>과 같이 나타내었다.

<표 2-2-5> 천연골재 종류별 적용단가

(단위 : 원/㎥)

| 명칭    | 규격        | 시중조사A  | 시중조사B  | 시중조사C  | 적용단가   |
|-------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 굵은골재  | #57(25mm) | 12,741 | 16,175 | 13,885 | 12,741 |
| 잔골재   | 중사        | 15,857 | 17,600 | 17,094 | 15,857 |
| 골재운반비 |           | 8,000  | 9,175  |        | 8,000  |

<표 2-2-6> 국내 골재별 가격 비교

(단위 : 원/㎥)

| 명칭    | 규격          | 천연골재(A) | 순환골재(B) | 비율(B/A) |
|-------|-------------|---------|---------|---------|
| 굵은골재  | #57(25mm)   | 12,741  | 5,000   | 39.2%   |
| 잔골재   | 중사(#4~#100) | 15,857  | 8,438   | 53.2%   |
| 골재운반비 |             | 8,000   | 8,000   | 100.0%  |

※ 순환 굵은골재 단가는 업체의 실거래 가격을 적용하고, 순환 잔골재는 실거래 가격에 개발 기술 적용에 따른 추가 원가를 합한 가격을 적용함

- 현재 「순환골재 품질기준」(국토교통부공고 제2017-1711호, 2017.12.15.) “3.5 콘크리트용 순환골재의 적용”에 따르면 굵은 골재만 사용 시 굵은 골재 용적의 60% 이하, 잔골재만 사용 시 용적의 30% 이하, 굵은골재와 잔골재를 동시에 사용 시에는 총 골재 용적의 30% 이내에서 사용하도록 하며, 굵은골재의 최대치수는 25mm로 제한하고 있다.
- 상기의 정책적 배경을 반영하여, 콘크리트용 순환골재의 사용비율을 다음과 같이 7가지의 경우로 가정하여 각 경우에 따른 콘크리트 1㎥ 제조원가를 산출하였다.

<표 2-2-7> 콘크리트용 순환골재 적용 비율별 분류

| 분류 | 굵은골재 |      | 잔골재  |      |
|----|------|------|------|------|
|    | 천연골재 | 순환골재 | 천연골재 | 순환골재 |
| 1안 | 100% |      | 100% |      |
| 2안 | 40%  | 60%  | 100% |      |
| 3안 | 100% |      | 70%  | 30%  |
| 4안 | 70%  | 30%  | 70%  | 30%  |
| 5안 |      | 100% | 100% |      |
| 6안 | 100% |      |      | 100% |
| 7안 |      | 100% |      | 100% |

## 2) 고품질 순환골재 활용비율에 따른 레미콘 생산비용 비교

- 순환골재의 활용비율에 따른 레미콘 생산비용을 비교하기 위해 골재의 단위용적중량은 1.7ton/m<sup>3</sup>로 가정하여 레미콘 1m<sup>3</sup>에 대한 원가계산을 진행하였다.
- 순환골재 활용비율별 레미콘 제조원가를 총원가를 기준으로 한 결과는 <표 2-2-8>과 같다.

<표 2-2-8> 콘크리트용 순환골재 활용비율에 따른 레미콘 생산비용

(단위 : 원)

| 분류 | 굵은골재 |      | 잔골재  |      | 금액     | 비율<br>(1대비) | 비율<br>차이 |
|----|------|------|------|------|--------|-------------|----------|
|    | 천연골재 | 순환골재 | 천연골재 | 순환골재 |        |             |          |
| 1안 | 100% |      | 100% |      | 81,398 | 100.0%      |          |
| 2안 | 40%  | 60%  | 100% |      | 77,178 | 94.8%       | -5.2%    |
| 3안 | 100% |      | 70%  | 30%  | 79,556 | 97.7%       | -2.3%    |
| 4안 | 70%  | 30%  | 70%  | 30%  | 77,449 | 95.1%       | -4.9%    |
| 5안 |      | 100% | 100% |      | 74,366 | 91.4%       | -8.6%    |
| 6안 | 100% |      |      | 100% | 75,253 | 92.5%       | -7.5%    |
| 7안 |      | 100% |      | 100% | 68,222 | 83.8%       | -16.2%   |

- 산출된 원가를 보면 천연골재만을 사용했을 때의 레미콘 생산비용은 81,398원으로 나타났다으며, 현행 규정의 순환골재 활용비율 내에서 최대치를 사용한다고 가정했을 때 굵은골재의 60%를 순환골재로 대체하는 것이 77,178원(천연골재 100% 대비 94.8% 수준)으로 비용이 가장 크게 절감되는 것으로 나타났다.
- 현행 규정외적으로는 100%의 순환골재 사용이 가장 높은 경제적 효과를 가지는데, 천연골재 100% 사용 대비 16.2% 정도가 절감되는 것으로 검토되었다.

### (나) 고품질 순환골재 활용에 따른 건설 산업 경제적 효과 분석

- 본 분석에서는 현행 건설 산업 내 연간 레미콘 산업규모를 파악하여 고품질 순환골재의 활용비율에 따른 순환골재 필요량을 산출하고, 건설폐기물 발생량을 기초로 산출한 고품질 순환골재 생산 가능량과 비교하여 순환골재 비율별 경제적 편익을 산출하였다.
- 먼저, 연도별 레미콘산업추이 통계에 따른 레미콘 출하실적은 다음과 같다.

<표 2-2-9> 연도별 레미콘 산업추이(한국레미콘공업협회)

(단위 : m<sup>3</sup>)

| 연도   | 금액          |
|------|-------------|
| 2015 | 152,154,068 |
| 2016 | 171,518,764 |
| 2017 | 174,291,322 |

- 순환골재 활용비율별 경제적 편익을 분석하기 위해, 레미콘 1㎥당 골재 소요량을 감안한 레미콘 출하실적에 따른 순환골재 활용비율별 필요량을 산출하면 <표 2-2-10>과 같다.

<표 2-2-10> 순환골재 활용비율별 필요량

(단위 : ㎥)

| 분류 | 굵은골재       |            | 잔골재        |            | 비고 |
|----|------------|------------|------------|------------|----|
|    | 천연골재       | 순환골재       | 천연골재       | 순환골재       |    |
| 1  | 95,142,557 |            | 83,147,213 |            |    |
| 2  | 38,057,023 | 57,085,534 | 83,147,213 |            |    |
| 3  | 95,142,557 |            | 58,203,049 | 24,944,164 |    |
| 4  | 66,599,790 | 28,542,767 | 58,203,049 | 24,944,164 |    |
| 5  |            | 95,142,557 | 83,147,213 |            |    |
| 6  | 95,142,557 |            |            | 83,147,213 |    |
| 7  |            | 95,142,557 |            | 83,147,213 |    |

- 순환골재는 건설폐기물의 발생량 및 그 성상에 따라 고품질 순환골재의 생산 가능량이 결정되며, 고품질의 순환골재의 생산에 모든 순환골재를 활용할 수는 없다.
- 이에 전국 폐기물 처리현황 및 순환골재 생산 시 골재 전환율을 고려하여 산출한 실질적인 고품질 순환골재 총 생산 가능량은 <표 2-2-11>과 같이 9,261,732㎥으로 나타났다.

<표 2-2-11> 고품질 순환골재 생산 가능량

(단위 : ㎥)

| 종류   | 폐콘크리트      | 생산비율 | 대상물량       | 전환율 | 생산가능량     |
|------|------------|------|------------|-----|-----------|
| 굵은골재 | 26,462,092 | 50%  | 13,231,046 | 40% | 5,292,418 |
| 잔골재  |            | 50%  | 13,231,046 | 30% | 3,969,314 |
| 합계   |            |      |            |     | 9,261,732 |

- 앞서 산출한 순환골재 활용비율별 필요 골재량과 생산 가능량을 비교하여 실제 고품질 순환골재 사용 가능량을 산출하고, 이를 고품질 순환골재 필요량과 비교하여 물량 충족률을 <표 2-2-12>와 같이 산출하였다.

<표 2-2-12> 고품질 순환골재 생산량의 물량충족률

(단위 : ㎥)

| 분류 | 골재 필요량     |            | 고품질 순환골재 생산량 |           | 물량충족률 |
|----|------------|------------|--------------|-----------|-------|
|    | 굵은골재       | 잔골재        | 굵은골재         | 잔골재       |       |
| 1안 |            |            |              |           |       |
| 2안 | 57,085,534 |            | 10,584,837   |           | 18.5% |
| 3안 |            | 24,944,164 |              | 7,938,628 | 31.8% |
| 4안 | 28,542,767 | 24,944,164 | 4,888,078    | 4,272,569 | 17.1% |
| 5안 | 95,142,557 |            | 10,584,837   |           | 11.1% |
| 6안 |            | 83,147,213 |              | 7,938,628 | 9.6%  |
| 7안 | 95,142,557 | 83,147,213 | 4,888,078    | 4,272,569 | 5.1%  |

- 상기의 물량충족률을 통해 2017년 레미콘 출하량을 다음과 같이 일반 레미콘 생산 물량과 고품질 순환골재 적용가능 물량으로 구분할 수 있다.
- 이에 연간 레미콘출하량을 순환골재 활용비율별 일반레미콘 생산량과 고품질 순환골재 활용 가능량으로 구분하고, 일반레미콘 생산비용을 81,398원으로 하고 <표 2-2-8>의 순환골재 콘크리트의 생산 비용을 적용하여 순환골재 활용 비율에 따른 예상 절감액을 산출 한 결과는 <표 2-2-13>과 같다.

<표 2-2-13> 고품질 순환골재 적용비율별 예상절감액

(단위 : 백만원)

| 분류 | 일반레미콘<br>생산비용 | 고품질 순환골재<br>적용 생산비용 | 전체 생산비용    | 예상절감액<br>(1 대비) |
|----|---------------|---------------------|------------|-----------------|
| 1안 | 14,186,965    |                     | 14,186,965 |                 |
| 2안 | 11,556,702    | 2,493,900           | 14,050,602 | -136,363        |
| 3안 | 9,671,254     | 4,413,522           | 14,084,776 | -102,189        |
| 4안 | 11,756,738    | 2,312,325           | 14,069,063 | -117,902        |
| 5안 | 12,607,956    | 1,442,598           | 14,050,554 | -136,411        |
| 6안 | 12,832,110    | 1,252,573           | 14,084,683 | -102,282        |
| 7안 | 13,457,755    | 611,172             | 14,068,927 | -118,038        |

- 산출결과, 현행 법령 내에서는 굵은골재에 순환골재를 60% 활용하는 2안이 천연골재를 100% 활용하는 1안 대비 1,363억원이 절감되어 가장 예상절감액이 큰 것으로 나타났으며, 이어서 순환 굵은골재와 순환 잔골재를 모두 30%씩 사용하는 4안이 1,179억원, 순환 잔골재를 30% 활용하는 3안이 1,022억원이 절감되는 것으로 나타났다.

#### (다) 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 경제적 효과 분석

- 고품질의 순환골재를 생산하는데 필요한 비용 및 판매에 따른 편익을 검토하여, 고품질 순환골재의 생산 및 판매에 따른 순환골재 생산 산업의 가치 증대 영향을 분석하였다.
- 먼저, 고품질 순환골재의 종류별 생산 시에 굵은골재와 잔골재 생산에 동일한 폐콘크리트 물량을 투입한다고 가정하면 전체 추가처리비용은 <표 2-2-14>와 같다.

<표 2-2-14> 고품질 순환골재 생산을 위한 추가처리비용

(단위 : 원)

| 분류   | 연간 폐콘크리트<br>발생량(㎥) | 추가처리비용<br>(원/㎥) | 연간추가처리비용      |
|------|--------------------|-----------------|---------------|
| 굵은골재 | 13,231,046         | 219             | 2,897,599,074 |
| 잔골재  | 13,231,046         | 438             | 5,795,198,148 |
| 합계   | 26,462,092         |                 | 8,692,797,222 |

※ 잔골재 단가는 「속도조절형 로터의 회전충격과 밀폐식 다단형 풍압처리에 의한 순환골재 품질개선 기술 원가계산 보고서」의 단가를 적용하였으며, 굵은골재 비용은 잔골재 생산비용의 50% 적용.

- 한편, 고품질 순환골재 생산으로 얻는 편익은 이를 판매하여 발생하는 매출액에 일반 순환골재를 판매할 때 발생하는 매출액을 차감한 금액이라고 할 수 있다.
- 이에 일반 순환골재 생산가능량을 산출하고, 성북토용, 도로공사용 등의 생산 가능량에 판매단가를 적용하여 예상매출액을 산출하여 <표 2-2-15> 및 <표 2-2-16>과 같이 나타내었다.

<표 2-2-15> 일반 순환골재 생산가능량

(단위 : m³)

| 종류    | 폐콘크리트      | 생산비율 | 대상물량       | 전환율 | 생산가능량      |
|-------|------------|------|------------|-----|------------|
| 도로공사용 | 26,462,092 | 50%  | 13,231,046 | 60% | 7,938,628  |
| 성북토용  |            | 50%  | 13,231,046 | 60% | 7,938,628  |
| 합계    |            |      |            |     | 15,877,256 |

<표 2-2-16> 일반 순환골재의 예상매출액

(단위 : 원)

| 종류    | 생산가능량(m³)  | 판매단가(원/m³) | 예상매출액          |
|-------|------------|------------|----------------|
| 도로공사용 | 7,938,628  | 5,000      | 39,693,140,000 |
| 성북토용  | 7,938,628  | 1,000      | 7,938,628,000  |
| 합계    | 15,877,256 |            | 47,631,768,000 |

※ 판매단가는 업체의 거래실례가격을 적용.

- 고품질 순환골재 생산 가능량을 기초로 예상매출액을 산출하면 <표 2-2-17>과 같다.

<표 2-2-17> 고품질 순환골재의 예상 매출액

(단위 : 원)

| 분류   | 생산가능량(m³) | 판매단가(원/m³) | 예상매출액          |
|------|-----------|------------|----------------|
| 굵은골재 | 5,292,418 | 5,000      | 26,462,090,000 |
| 잔골재  | 3,969,314 | 8,000      | 31,754,512,000 |
| 합계   | 9,261,732 |            | 58,216,602,000 |

※ 판매단가는 업체의 거래실례가격을 적용.

- 따라서, 일반 순환골재에 추가 처리를 하여 고품질 순환골재를 판매할 경우 발생할 것으로 예상되는 추가 편익은 <표 2-2-18>과 같으며, 이에 따른 비용-편익 비율(B/C ratio)은 1.2177로 나타나 고품질 순환골재 생산 및 판매에 따른 경제적 편익이 발생하는 것으로 판단 가능하다.

<표 2-2-18> 고품질 순환골재 및 일반 순환골재의 예상 매출액에 따른 편익

(단위 : 원)

| 분류                  | 예상매출액          | 비고                                     |
|---------------------|----------------|----------------------------------------|
| 일반 순환골재(A)          | 47,631,768,000 | 추가처리비용 : 8,692,797,222                 |
| 고품질 순환골재(B)         | 58,216,602,000 |                                        |
| 예상 편익(B)-(A)        | 10,584,834,000 | 고품질 순환골재 생산에 따른 추가매출                   |
| 비용-편익 비율(B/C ratio) | 1.2177         | $\frac{8,692,797,222}{10,584,834,000}$ |

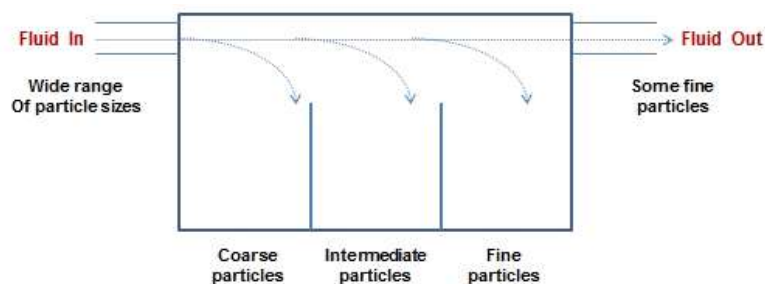
## 다. 순환골재 및 순환토사 품질 고도화 생산기술 개발

### (1) 순환골재 및 순환토사 품질 고도화 기술의 주요내용

- 골재 표면의 모르타르 제거를 위한 회전충격에 품질개선과 밀폐형 다단 송풍 장치를 융합한 순환골재 및 순환토사 품질개선 기술로 본 기술을 통하여 순환토사의 유기이물질의 양을 0.3% 미만으로 관리할 수 있고, 순환 잔골재의 밀도 및 흡수율을 국토교통부 개정 기준(밀도 2.3g/cm<sup>3</sup> 이상, 흡수율 4% 미만)으로 생산할 수 있는 기술임

#### (가) 유기이물질 분리를 위한 밀폐형 다단 송풍기술

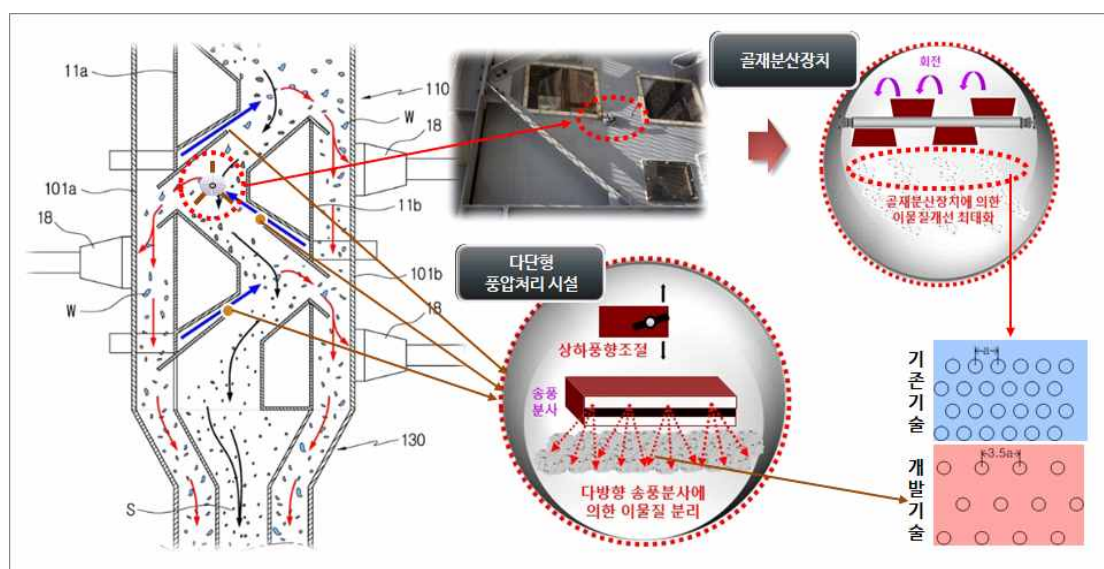
- 건설폐기물에 포함 된 이물질은 무기이물질과 유기이물질로 구분하며 KS F 2576 순환골재의 이물질 함유량 시험방법에 종류와 각각의 시험 방법을 규정
  - 무기이물질은 질량 기준으로 함유율 관리를 하며, 유기이물질은 대부분의 성상이 가볍고 밀도가 낮은 소재이기 때문에 용적으로 관리하고 있음
- 건설폐기물을 중간처리하는 과정에 사용되는 이물질 분리선별 방법은 인력선별, 비중선별, 스크린선별, 자력선별, 풍력 선별 등이 있음
  - 가연성 건설폐기물에 가장 많이 활용하는 분리방식은 송풍기에 의한 분리방식임
  - 일반적으로 직경이 25mm가 초과하는 가연성 이물질은 초기 트롬멜 등의 분리선별 장치를 통하여 분리되며, 10 ~ 25mm 정도의 가연성 이물질은 스크린 등을 통과할 때 분리됨. 10mm 이하의 가연성 이물질은 골재와 함께 이송되면서 송풍에 의한 선별됨



[그림 2-3-1] 송풍식 이물질 선별 원리

- 기존 송풍 이물질 분리선별 장치의 가장 큰 문제인 분진의 비산과 다량의 토사 및 골재 투입시 이물질 분리효과의 저하에 대한 문제를 극복하고자 함
  - 기존의 송풍은 단순히 후단에서 바람만을 부여하는 구조로 되어 있어 풍압이 강할 경우 이물질과 함께 골재 및 토사가 배출되며, 대량으로 투입될 시 물질간의 간격이 좁아 송풍에 의한 이물질의 분리가 어려움

- 차별화된 핵심 기술로 송풍방식의 선별기에서 가장 문제시되는 분진의 비산을 최소화하기 위해 밀폐형 구조를 적용함
- 토사 및 골재에서 이물질을 효율적으로 배출하기 위하여 낙하부에서 다단식 송풍을 실시하고 재분리된 이물질을 흡입하는 이중 구조를 적용함
- 최초 폭 600 ~ 900mm의 컨베이어를 통해 공급되는 토사 및 골재는 호퍼로 공급되면서 밀폐형 챔버로 투입됨
- 밀폐형 챔버의 상부에 놓인 상부 로터를 통해 1차적으로 토사 및 골재를 분산시키며 하부 다단식 송풍부로 공급함
- 연속적으로 낙하하는 토사 및 골재를 분산시킴으로써 2차원적 흐름을 3차원적인 공간 개념으로 분산하여 간격을 극대화하여 이후 송풍에 의한 이물질 분리 효율을 향상시킬 수 있음
- 이러한 효과는 다단 형태를 거치면서 지속적으로 이루어지며, 특히, 2단 부분에 설치된 분산 장치에 의하여 추가적인 분산이 이루어져 토사 및 골재의 이물질 효율을 극대화 함



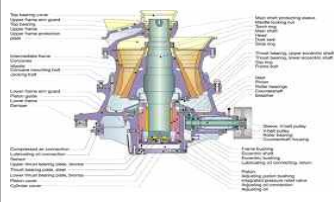
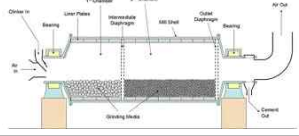
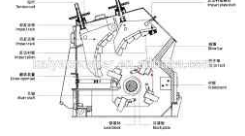
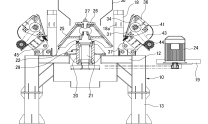
[그림 2-3-2] 이물질 분리 및 포집 기술

## (나) 골재 표면 페이스트 제거 기술

○ 골재 품질 향상을 위해서는 골재표면에 부착된 페이스트를 최대한 제거 필요

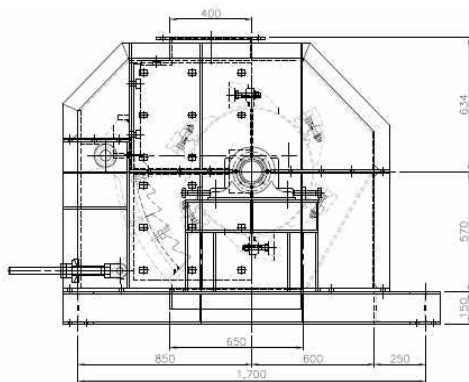
- 콘크리트용 순환골재는 골재 표면에 부착된 페이스트 함량에 따라 밀도 및 흡수율의 변동됨
- 즉, 페이스트 함량이 높아지면 밀도는 낮아지고 흡수율은 높아짐
- 표면 페이스트 제거 방법은 골재 파쇄과정에서 압축, 충격, 전단력 등을 부여하여 표면의 페이스트를 탈락시킴

<표 2-3-1> 순환골재 파쇄설비의 종류 및 기능

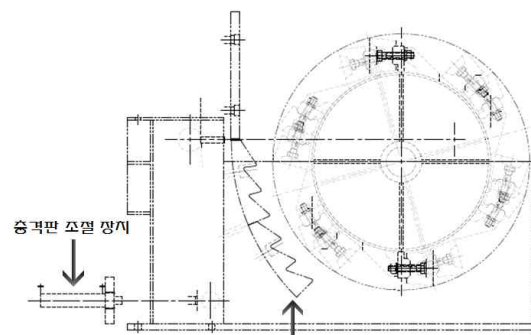
| 파쇄 원리 | 적용 가능성 | 파쇄기의 종류     | 특징                                                                                                                                                                                                                      | 형상                                                                                   |
|-------|--------|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| 압축력   | 낮음     | 조크러셔 및 콘크러셔 | <ul style="list-style-type: none"> <li>조크러셔는 콘크리트 덩어리를 일정 크기 이하 분쇄를 목적으로 하고 있음. 일반적으로 1차 파쇄장치에 적용되고 있음</li> <li>콘크러셔는 투입부와 배출부의 간극 차이와 표면의 나선형 요철홈을 통과하면서 일정크기의 입자로 골재를 생산하기 위하여 적용하는 설비. 일반적으로 2차 3차 파쇄에 적용</li> </ul> |   |
|       |        | 롤크러셔        | <ul style="list-style-type: none"> <li>2개의 원형봉을 동일방향으로 회전하면서 파쇄하는 장치로 석분 생산 등에 주로 사용하고 있음</li> </ul>                                                                                                                    |   |
|       |        | 로드밀         | <ul style="list-style-type: none"> <li>직경이 동일한 환봉을 여러개 겹쳐서 이부분을 통과하면서 파쇄하도록 한 것으로 주로 모래 생산 등에 사용</li> </ul>                                                                                                             |   |
| 충격력   | 중간     | 임팩트 해머      | <ul style="list-style-type: none"> <li>골재의 충격력을 이용하여 파쇄 또는 표면 박리를 실시하는 장치로</li> <li>회전력에 의해 골재를 빠르게 던져주고 이를 일정한 금속판 등에 충격하도록 설계한 설비</li> <li>고품질 순환골재 생산에 적용</li> </ul>                                                 |   |
| 전단력   | 높음     | 각종 박리기      | <ul style="list-style-type: none"> <li>골재간의 마찰 또는 골재 표면의 박리를 실시하는 장치로 기술이 특정되지 않았으나 표면 모르타르 제거가 효과적으로 작용</li> </ul>                                                                                                     |  |

○ 파쇄원리 중 충격력과 전단력을 이용한 골재 표면의 페이스트 제거 방법 채택

- 충격력 원리를 보면 컨베이어를 통하여 공급된 골재는 골재 투입구에서 상단의 로터로 공급
- 로터에 공급된 골재는 로터의 회전력에 의해 충격판의 상단에 타격되어 골재의 파쇄 또는 페이스트의 박리 발생
- 1차적으로 충격판 상단에 충격이 이루어진 골재는 하단의 배출구 부분으로 낙하
- 요철형 반발판 부분과 마찰 또는 전단이 일어나면서 골재 표면의 페이스트 박리 발생



회전로터 단면도



충격판의 구성

[그림 2-3-3] 표면 모르타르 제거를 위한 고속 로터의 구성

## 라. 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 설비 및 공정 구축

### (1) 고품질 순환골재 및 순환토사 생산설비 구축

#### (가) 설계계산서

##### 1) 설계용량

- 1일(8시간) 설계최대 처리량 240ton/day(30ton/hr)
- 투입원자재 : 폐콘크리트를 파쇄·분쇄하여 생산한 5mm 이하의 콘크리트용 순환 잔골재 및 순환토사(성토용 순환골재)
- 투입자재 최대크기 : 콘크리트용 순환 잔골재 5mm, 순환토사(성토용 순환골재) 6mm

##### 2) 설계 사양

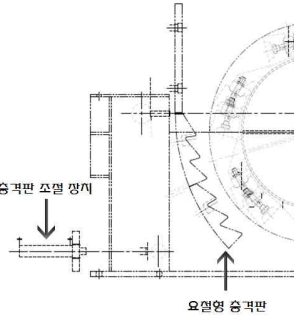
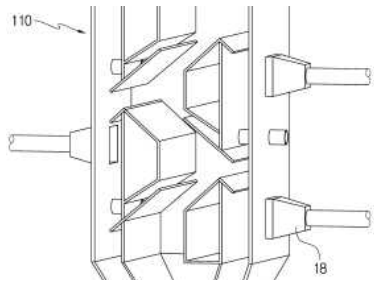
<표 2-4-1> 표준화 사양

| 설 비 명      |          | 규 격 (제 원)                                                                                                                                           | 단 위 | 수 량 |
|------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|-----|
| 호퍼         |          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Capacity : 10m³</li> <li>○ Size : 4,000(L)×3,000(W)×3,500(H)</li> <li>○ Power : 0.4X2(VIBRATOR)</li> </ul> | SET | 1   |
| 컨베이어       | 투입전 1단계  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Size : BW900 × 2,500L</li> <li>○ Power : 7.5Kw × 1/30 × 380V</li> </ul>                                    | SET | 1   |
|            | 투입전 2단계  | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Size : BW900 × 15,000L</li> <li>○ Power : 11Kw × 1/20 × 380V</li> </ul>                                    | SET | 1   |
|            | 배출 단계    | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Size : BW900 × 10,000L</li> <li>○ Power : 7.5Kw × 1/20 × 380V</li> </ul>                                   | SET | 1   |
| 골재<br>품질개선 | 속도조절형 로터 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Rpm capacity : 1200</li> <li>○ Power : 66.75Kw</li> <li>○ Material : SS400</li> </ul>                      | SET | 1   |
|            | 충격판      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Model : 요철형 6EA</li> <li>○ Material : SS400</li> <li>○ Size : 550 × 545mm</li> </ul>                       | SET | 1   |
| 이물질 선별     | 송풍팬      | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Size : Ø80mm × 250 ST</li> <li>○ Power : NONE</li> </ul>                                                   | SET | 1   |
|            | 나이프형 송풍구 | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Model : 직각와이드형 3EA</li> <li>○ Material : SS400</li> <li>○ Size : 480 × 80mm</li> </ul>                     | SET | 3   |
|            | 공급시설     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Size : Ø100mm × 232 ST, Ø100mm × 83 ST</li> <li>○ Power : NONE</li> </ul>                                  | SET | 1   |
|            | 배기시설     | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Model : HYOSUNG</li> <li>○ Power : 3.7Kw × 4P × 380V</li> </ul>                                            | SET | 1   |
| 집진설비       |          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Model : CAPS-200 BF/OT</li> <li>○ Power : NONE</li> </ul>                                                  | SET | 1   |
| 고압압축기      |          | <ul style="list-style-type: none"> <li>○ Model : AC-B15PA2</li> <li>○ Power : 15HP × 4P × 380V × 2SETS</li> </ul>                                   | SET | 1   |

## (나) 구조 및 특징

- 건설폐기물을 중간처리하는 과정에서 순환 잔골재 및 순환토사의 이물질 분리 및 골재 품질 개선시키는 생산기술로서 순환골재를 생산하는 공정 중 속도조절형 로터 해머와 밀폐식 다단형(3단) 송풍처리 설비로 구성

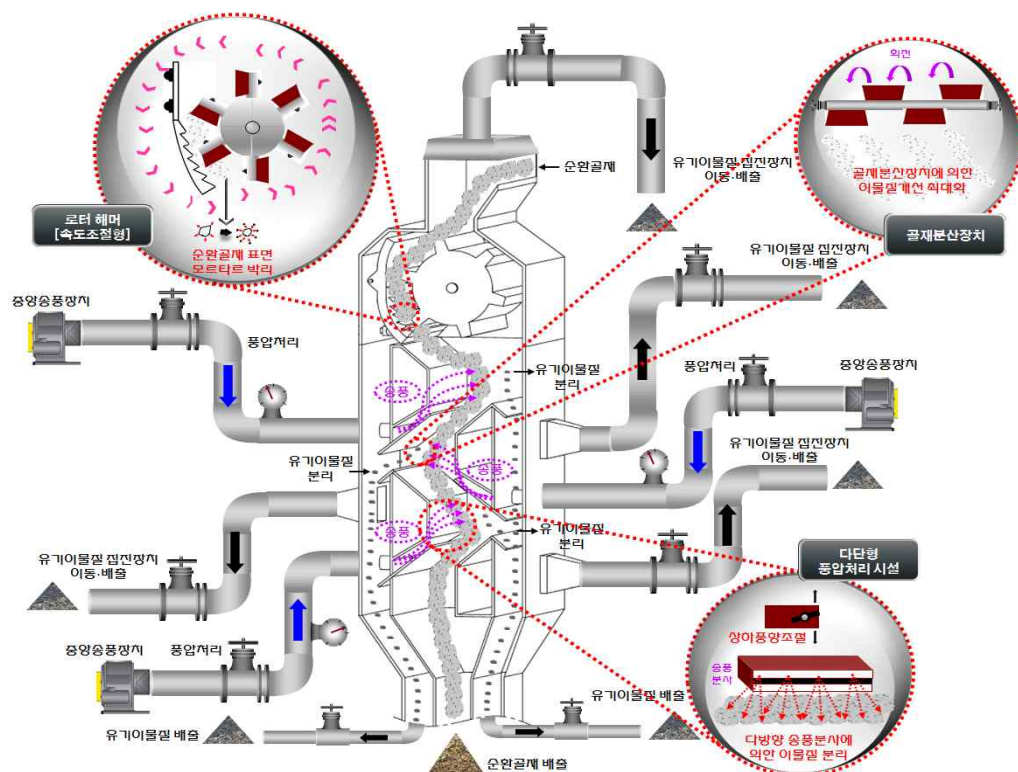
<표 2-4-2> 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 설비의 주요 구성부 및 현황

| 구 분   | 속도조절형 고속회전로터                                                                                                                           | 간격 조절 요철형 충격판                                                                                                        | 다단형 송풍 및 밀폐구조                                                                                                                  |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 기 능   | <ul style="list-style-type: none"> <li>최초 투입된 골재의 분산하여 상부 이물질 흡입장치에 의하여 유기이물질 분리</li> <li>투입된 골재를 최대 1200rpm으로 충격판으로 이송(파쇄)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>최소 4mm에서 최대 25mm까지 간격조절</li> <li>회전로터와 요철형 충격판을 이용하여 골재 표면 모르타르 제거</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>120m³/min 용량의 송풍팬은 3곳의 송풍과 3곳의 흡입을 실시</li> <li>송풍 및 흡입이 챔버 내부에서 이루어지는 밀폐식 구조</li> </ul> |
| 외 관   |                                                      |                                    |                                            |
| 구 분   | 송풍 및 흡입 조절 장치                                                                                                                          | 나이프형 송풍구                                                                                                             | 골재 분산 장치                                                                                                                       |
| 기 능   | <ul style="list-style-type: none"> <li>3단의 송풍장치와 3단의 흡입장치의 공기 흐름양 조절 밸브</li> </ul>                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>낙하 골재의 고른 이물질 배출을 위한 풍량 조절형 송풍구</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>낙하하는 골재를 분산하여 골재간의 간격을 최대화함으로써 송풍 효과를 최대화 함</li> </ul>                                  |
| 외 관   |                                                     |                                  |                                           |
| 설비 전경 |                                                    |                                                                                                                      |                                                                                                                                |

(다) 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 시스템의 공정



[그림 2-4-1] 생산시스템의 공정도 및 공정사진



[그림 2-4-2] 생산 시스템 공정 개념도

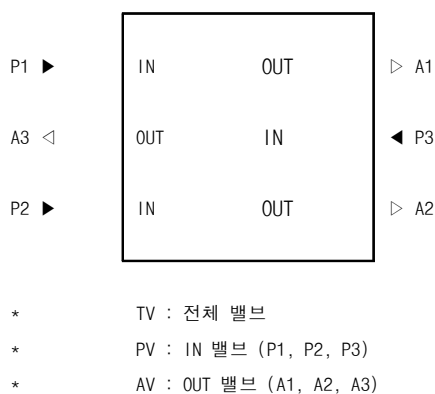
## (2) 균일 품질의 순환골재 및 순환토사 생산 가능한 최적운전조건 도출

### (가) 최적운전조건 확립을 위한 주요점검내용

- 기존의 송풍장치의 문제점을 개선하여 유기 이물질 개선에 활용
- 충격 및 마쇄에 의한 순환 잔골재의 박리 효과 활용
- 1차 생산한 순환 잔골재의 가변형 로터를 이용한 충격 및 마쇄 공정을 통하여 표면의 모르타르 제거 효과 상승
- (공정 및 장치) 투입호퍼 → 속도 조절형 로터 → 유격 조절형 박리 → 1차 송풍 → 2차 송풍 → 3차 송풍 → 배출
- 이물질 제거와 잔골재 입도개선 및 밀도, 흡수율 개선 효과 획득
- 골재의 박리장치부터 송풍이 끝나는 공정 중 분진발생 확인

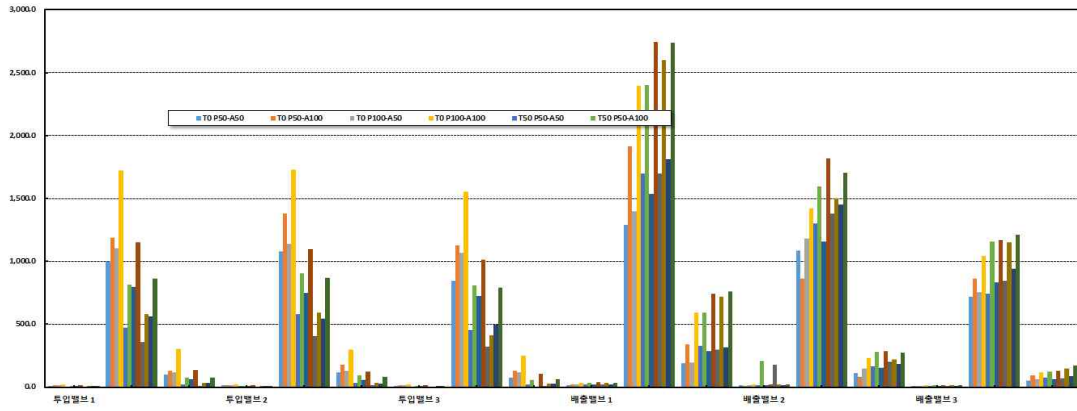
### (나) 이물질 분리 및 잔골재 품질 향상 최적조건 도출

- 송풍압에 의한 이물질 분리 최적 조건 도출
- 로터의 회전수 및 로터와 박리판의 간극 조절을 통한 골재 품질 향상 시험
- 송풍 유입 밸브와 배출 밸브 조절에 의한 풍량 실험

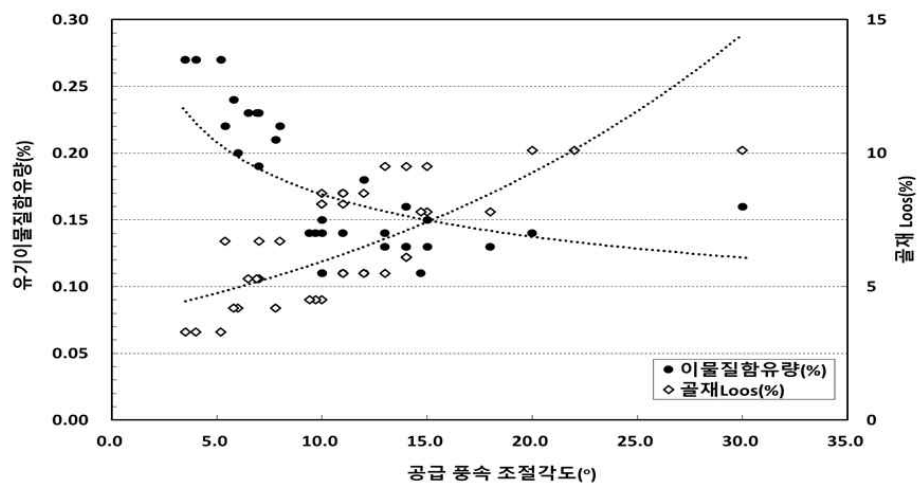


[그림 2-4-3] 송풍의 공급 및 흡입 방향

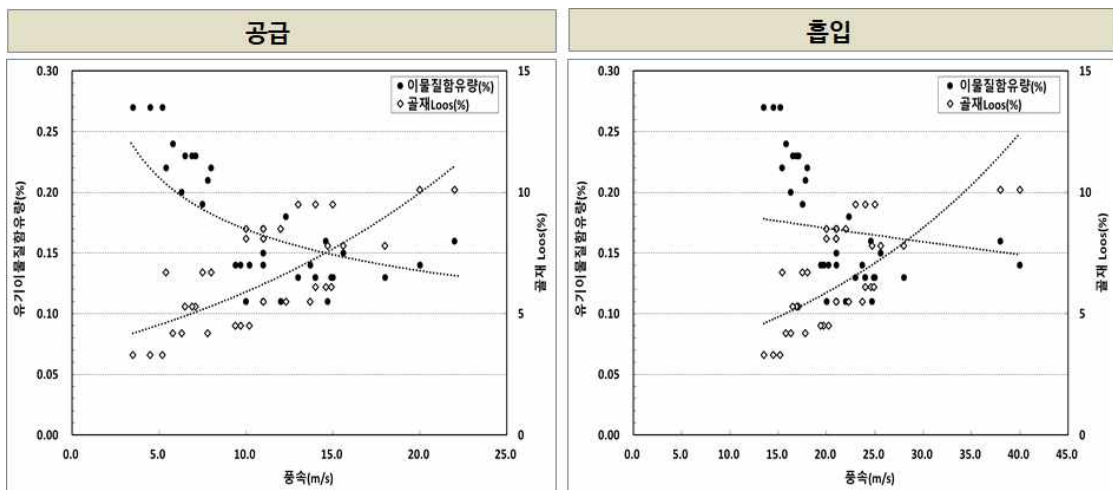
- 개발 설비의 공급 풍속조절각도를 분석하여 유기이물질 최적 각도는 15도로 나타남
- 유기이물질 제거 효율 및 골재 손실율을 감안하여 순환골재 품질개선을 위한 개발 설비의 공급풍속 및 흡입풍속에 대해 8~12 m/s, 13~18m/s 으로 최적조건을 도출함



[그림 2-4-4] 송풍의 공급 및 흡입 범위 실험결과

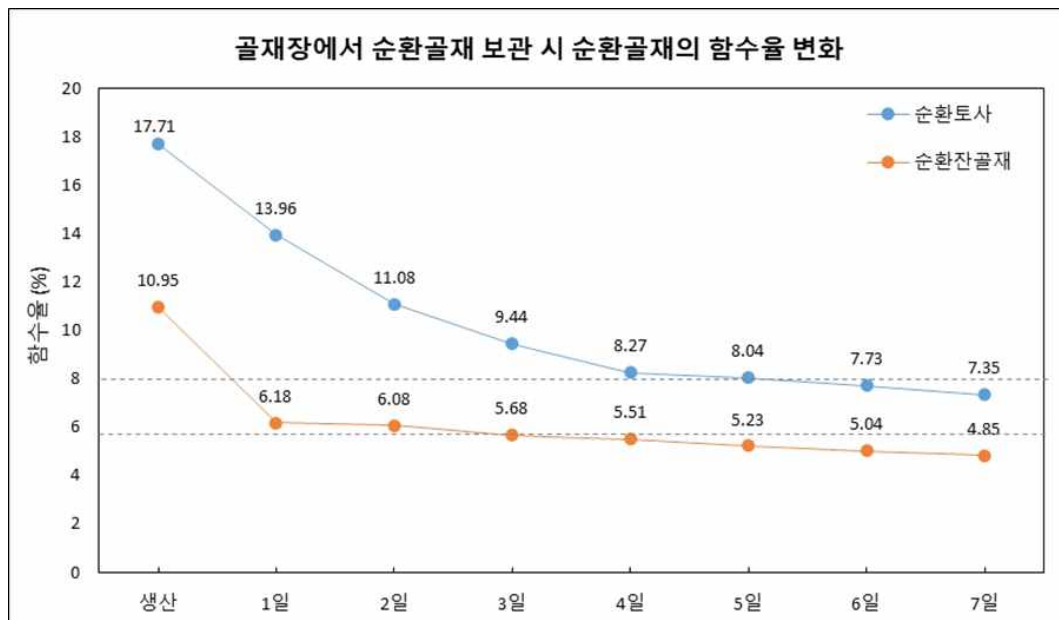


[그림 2-4-5] 공급 풍속 조절각도 분석



[그림 2-4-6] 공급 및 흡입의 풍속 최적화

- 골재 및 토사의 함수 상태에 따라 처리 및 작업 효율에 문제가 발생할 수 있어, 균일한 품질의 순환골재 및 순환토사의 생산을 위해서는 투입물의 적절한 관리가 필요함
- 순환 잔골재의 경우 6% 미만의 함수상태여야하며, 이를 위해서는 4일 이상의 적치장 적치 후 생산이 바람직함
- 순환토사의 경우 함수율 8% 미만의 건조된 상태로 장비에 투입되어야 원활한 이물질 선별이 균일한 품질의 순환토사의 생산이 가능함



[그림 2-4-7] 순환골재 보관시 함수율의 변화

### (3) 설비 가동 매뉴얼

- 설비 가동 매뉴얼은 예방 정비 및 점검, 운전 및 가동, 운전 단계별 점검, 처리방법 등으로 구성됨
- 예방 정비 및 점검운전은 설비의 운전애 앞서 상시적으로 갖추어야하는 정비 및 점검 사항을 설명함
- 운전 및 가동 절차는 장비의 효율적 운용을 위해 각 장치의 구동 순서, 장치별 특성, 운전조건, 고장시 복귀 방법 등으로 구성함
- 운전 단계별 점검은 작동전, 작업중 및 작업후에 대한 주요 장비에 대한 정비 및 점검사항을 설명함
- 처리방법은 장비의 주요 점검내용에 대한 원인 및 처리방법을 설명함

## 마. 고품질 순환골재 및 순환토사 생산설비 실용화 및 검증

### (1) 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 설비에 대한 신기술 인증

- 기술명 : 속도 조절형 로터의 회전충격과 밀폐식 다단형 풍압처리에 의한 순환 잔골재 품질개선 및 순환토사의 유기이물질 제거 기술
- 보유자 : 한국건설기술연구원 / 하나케이[주] / [자]금강개발 / 동성환경산업[주]
- 인증기관 및 인증번호 : 한국환경산업기술원(환경부), 환경신기술(NeT) 제542호
- 유효기간 : 2018년 4월 10일 ~ 2023년 4월 9일(5년)
- 기술개요 : 건설폐기물을 중간처리하여 순환골재를 생산하는 공정에서 속도 조절형 로터 해머와 반발판의 회전충격을 이용한 순환골재 표면 모르타르 박리 및 마모에 의한 순환 잔골재 품질개선과 동시에 밀폐식 다단형 풍압 처리에 의한 순환 토사의 유기이물질 제거 기술



제 542호

### 신기술인증서

- 기술명** : 속도 조절형 로터의 회전충격과 밀폐식 다단형 풍압처리에 의한 순환잔골재 품질개선 및 순환토사의 유기이물질 제거 기술
- 기술 보유자**
  - 가. 성명(법인명) : 한국건설기술연구원 / 하나케이[주] / (자)금강개발 / 동성환경산업[주]
  - 나. 생년월일(법인등록번호) : 111241-0002284 / 134411-0014463 / 141213-0003947 / 171511-0000007
  - 다. 주소(법인인 경우 소재지) : 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283 / 경기도 이천시 대월면 양녕로 57 / 강원도 원주시 지정면 질마재로 24-11 / 경상북도 의성군 단촌면 북부길 466-11
- 기술 개요**
  - 건설폐기물을 중간처리하여 순환골재를 생산하는 공정에서 속도 조절형 로터해머와 반발판의 회전충격을 이용한 순환골재 표면 모르타르 박리 및 마모에 의한 순환 잔골재 품질개선과 동시에 밀폐식 다단형 풍압 처리에 의한 순환토사의 유기이물질 제거 기술
- 신기술 범위**
  - 건설폐기물을 순환골재로 생산하는 공정에서 회전형 로터 해머 및 반발판과 밀폐식 다단형 풍압을 이용한 순환잔골재 품질개선 및 순환토사의 유기이물질 제거 기술
- 유효기간** : 발급일로부터 5년('18.04.10. ~ '23.04.09.)
- 기타**
  - 환경신기술은 유효기간 내에서만 인정됩니다. 유효기간 연장이 필요한 경우는 기간 만료일 120일 전까지 유효기간 연장신청서를 제출하시기 바랍니다.

『환경기술 및 환경산업 지원법』 제7조, 같은 법 시행령 제18조의5제1항 및 같은 법 시행규칙 제6조제3항에 따라 위의 기술을 환경 분야 신기술로 인증합니다.

2018년 04월 10일

**환경부장관**





[그림 2-5-1] 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 설비에 대한 신기술 인증 및 설치 현황

## (2) 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 기술 적용 결과

- 순환골재에 대하여 개발기술 통과 전·후의 품질을 평가하였으며, 대상으로 한 순환 잔골재 및 순환토사에 대한 주요 평가항목과 평가방법 및 평가결과는 <표 2-5-1>, <표 2-5-2>와 같음

<표 2-5-1> 순환 잔골재의 항목별 평가결과

| 평가항목   |                            |        | 평가방법      | 결 과  |      |      |       |
|--------|----------------------------|--------|-----------|------|------|------|-------|
|        |                            |        |           | 1차   | 2차   | 3차   | 평균    |
| 통과 전   | 절대건조밀도(g/cm <sup>3</sup> ) |        | KS F 2503 | 2.32 | 2.33 | 2.34 | 2.33  |
|        | 흡수율(%)                     |        | KS F 2504 | 4.81 | 4.70 | 4.64 | 4.72  |
|        | 입자모양 판정실적률(%)              |        | KS F 2527 | 57.6 | 57.8 | 58.1 | 57.8  |
|        | 0.08mm체 통과량(%)             |        | KS F 2511 | 2.9  | 2.4  | 2.6  | 2.6   |
|        | 알칼리골재반응(mmol/L)            |        | KS F 2545 | 무해함  | 무해함  | 무해함  | 무해함   |
|        | 점토덩어리량(%)                  |        | KS F 2512 | 0.2  | 0.4  | 0.5  | 0.4   |
|        | 안정성(%)                     |        | KS F 2507 | 7.3  | 7.6  | 7.1  | 7.3   |
|        | 이물질 함유량 (%)                | 유기 이물질 | KS F 2576 | 0.18 | 0.20 | 0.23 | 0.20  |
|        |                            | 무기 이물질 |           | 0.15 | 0.20 | 0.17 | 0.17  |
|        | 입도분포 (%)                   | 10mm   | KS F 2502 | 100  | 100  | 100  | 100   |
|        |                            | 5mm    |           | 99   | 100  | 100  | 100   |
|        |                            | 2.5mm  |           | 83   | 84   | 82   | 83    |
|        |                            | 1.2mm  |           | 55   | 55   | 56   | 55    |
| 0.6mm  |                            | 34     |           | 34   | 34   | 34   |       |
| 0.3mm  |                            | 13     |           | 14   | 14   | 14   |       |
| 0.15mm |                            | 4      |           | 4    | 4    | 4    |       |
| 통과 후   | 절대건조밀도(g/cm <sup>3</sup> ) |        | KS F 2503 | 2.39 | 2.41 | 2.41 | 2.40  |
|        | 흡수율(%)                     |        | KS F 2504 | 4.15 | 3.89 | 3.94 | 3.99  |
|        | 입자모양 판정실적률(%)              |        | KS F 2527 | 58.4 | 58.7 | 58.9 | 58.67 |
|        | 0.08mm체 통과량(%)             |        | KS F 2511 | 1.6  | 1.0  | 1.2  | 1.3   |
|        | 알칼리골재반응(mmol/L)            |        | KS F 2545 | 무해함  | 무해함  | 무해함  | 무해함   |
|        | 점토덩어리량(%)                  |        | KS F 2512 | 0.1  | 0.1  | 0.1  | 0.1   |
|        | 안정성(%)                     |        | KS F 2507 | 6.5  | 6.1  | 6.4  | 6.3   |
|        | 이물질 함유량 (%)                | 유기 이물질 | KS F 2576 | 0.07 | 0.07 | 0.05 | 0.06  |
|        |                            | 무기 이물질 |           | 0.10 | 0.11 | 0.14 | 0.12  |
|        | 입도분포 (%)                   | 10mm   | KS F 2502 | 100  | 100  | 100  | 100   |
|        |                            | 5mm    |           | 100  | 100  | 100  | 100   |
|        |                            | 2.5mm  |           | 86   | 86   | 86   | 86    |
|        |                            | 1.2mm  |           | 67   | 68   | 67   | 67    |
| 0.6mm  |                            | 42     |           | 43   | 42   | 42   |       |
| 0.3mm  |                            | 11     |           | 11   | 11   | 11   |       |
| 0.15mm |                            | 3      |           | 2    | 3    | 3    |       |

○ 순환 잔골재의 품질평가 결과

- 개발기술을 적용한 순환 잔골재의 품질을 평가한 결과, 밀도는 평균 2.32에서 2.41로 약 4% 증가하였으며, 흡수율은 평균 4.74%에서 3.95%로 약 16% 감소하여, 개정된 순환골재 품질기준에 적합하였음
- 순환 잔골재의 유기이물질은 평균 0.23%에서 0.10%, 무기이물질은 0.12~0.11%로 낮아짐
- 순환 잔골재의 0.08mm 체 통과율은 개발기술 통과 전 및 통과 후에서 2.3~2.7%에서 1.1~1.7%로 나타나 약 45%의 미분량이 감소됨

○ 순환토사의 품질평가 결과

- 순환토사의 유기이물질은 평균 0.54%에서 0.17%로, 무기이물질은 0.51~0.45%로 낮아짐
- 순환토사의 5mm 체 통과율은 개발기술 통과 전, 후에서 54~66%에서 72~79%로 나타나 개발기술에 의해 순환골재가 파쇄 및 마모되어 입도가 낮아진 것에 기인함
- 순환토사의 0.08mm 체 통과율은 개발기술 통과 전 및 통과 후에서 8.4~10.6%에서 6.2~8.4%로 나타나 약 22.4%의 미분량이 감소됨

<표 2-5-2> 순환토사의 항목별 평가결과

| 평가항목   |                 |        | 평가방법      | 결 과   |       |       |       |
|--------|-----------------|--------|-----------|-------|-------|-------|-------|
|        |                 |        |           | 1차    | 2차    | 3차    | 평균    |
| 통과 전   | 최대치수(mm)        |        | KS F 2303 | 10    | 10    | 10    | 10    |
|        | 수정CBR(%)        |        | KS F 2320 | 13.3  | 13.2  | 14.6  | 13.7  |
|        | 5mm체 통과율(%)     |        | KS F 2508 | 65    | 59    | 62    | 62    |
|        | 0.08mm체 통과율(%)  |        | KS F 2340 | 8.9   | 10.1  | 8.9   | 9.3   |
|        | 소성지수(%)         |        | KS F 2303 | NP    | NP    | NP    | NP    |
|        | 다짐 후 건조밀도(t/m³) |        | KS F 2312 | 1.767 | 1.723 | 1.740 | 1.743 |
|        | 이물질함유량(%)       | 유기 이물질 | KS F 2576 | 0.54  | 0.51  | 0.57  | 0.54  |
| 무기 이물질 |                 | 0.61   |           | 0.61  | 0.63  | 0.62  |       |
| 통과 후   | 최대치수(mm)        |        | KS F 2303 | 10    | 10    | 10    | 10    |
|        | 수정CBR(%)        |        | KS F 2320 | 14.7  | 14.6  | 14.1  | 14.5  |
|        | 5mm체 통과율(%)     |        | KS F 2508 | 69    | 71    | 66    | 69    |
|        | 0.08mm체 통과율(%)  |        | KS F 2340 | 7.6   | 8.5   | 6.5   | 7.5   |
|        | 소성지수(%)         |        | KS F 2303 | NP    | NP    | NP    | NP    |
|        | 다짐 후 건조밀도(t/m³) |        | KS F 2312 | 1.774 | 1.772 | 1.785 | 1.777 |
|        | 이물질함유량(%)       | 유기 이물질 | KS F 2576 | 0.19  | 0.15  | 0.17  | 0.17  |
| 무기 이물질 |                 | 0.48   |           | 0.52  | 0.55  | 0.52  |       |

### (3) 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 설비에 대한 기술 검증

#### (가) 기술 검증 개요

##### ○ 기술 검증 기관 : 한국환경산업기술원

- 기술 검증 : 환경신기술(NeT) 인증기술에 대하여 현장조사, 서류심사, 현장 평가 및 종합평가를 거쳐 기술의 성능, 경제성 등을 검증하는 활동
- 현장평가기관 : 한국환경산업기술원
- 시험분석기관 : 한국건설생활환경시험연구원

##### ○ 기술 검증 대상 :

- 하나케이(주) : 경기도 이천시 대월면 양녕로 57  
도로공사용 RSB-2, 40mm, 콘크리트용 굵은골재 20mm, 잔골재 5mm
- (자)금강개발 : 강원도 원주시 지정면 질마재로 24-11  
도로공사용 RSB-2, 40mm
- 동성환경산업(주) : 경상북도 의성군 단촌면 북부길 466-11  
도로공사용 RSB-2, 40mm

##### ○ 기술 검증 일정

- 본 기술에 대한 기술평가는 2019년 01월 24일부터 2019년 07월 26일까지 총 19회의 현장평가와 시험분석을 실시하였으며, 시험분석 부분에 대하여는 한국건설생활환경시험연구원에 측정 및 시험분석을 의뢰함
- 현장평가 : 총 19회
  - 1차 - 2019년 01월 24일 : (금강개발)현장평가 및 신청기술 내부 구조 조사(1일)
  - 2차 - 2019년 03월 27일 ~ 03월 29일 : (동성환경산업) 현장평가 및 시료샘플링(3일)
  - 3차 - 2019년 04월 17일 ~ 04월 19일 : (하나케이)현장평가 및 시료샘플링(3일)
  - 4차 - 2019년 05월 14일 ~ 05월 16일 : (하나케이)현장평가 및 시료샘플링(3일)
  - 5차 - 2019년 06월 25일 ~ 06월 28일 : (하나케이)현장평가 및 시료샘플링(4일)
  - 6차 - 2019년 07월 22일 ~ 07월 26일 : (금강개발)현장평가 및 신청기술 내부 구조 조사(5일)
- 종합평가 : 2019년 10월 17일

○ 현장평가 항목

<표 2-5-3> 개발 기술 검증을 위한 현장평가 항목

| 구 분           | 평가 항목 및 내용                                                                                                                                                                    | 하나 | 금강 | 동성 |
|---------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|
| 물질 수지         | ○ 물질 수지<br>- 1시간 동안 투입폐기물의 무게를 산출하여 1일 투입량 및 처리량 확인<br>※ 1일 8시간 가동 기준                                                                                                         | 3  | 1  | 1  |
| 환경성           | ○ 소음/진동(소음진동공정시험방법)<br>- 부지경계선 3지점<br>○ 비산먼지(대기오염공정시험방법)<br>- 부지경계선 3지점                                                                                                       | 3  | 1  | 1  |
| 경제성           | ○ 전력사용량 확인<br>○ 설비비 및 부품교체비용 등(신청자 제시 및 확인)                                                                                                                                   | 10 | 3  | 3  |
| 신기술공정         | ○ 신기술장치 내부 구조 조사<br>- 내부 구조, 두께변화 등 측정 마모정도 확인<br>· 평가시작 전·후 비교(2개월 가동)                                                                                                       |    | 2  |    |
|               | ○ 운전 조건 확인<br>- 로터 회전수, 풍속 등<br>○ 용량, 규격 및 정상 작동 여부 확인                                                                                                                        | 10 | 3  | 3  |
| 투입재료 및 최종 생산물 | ○ 통과 전 순환 골재에 대한 품질시험<br>- 입도, 흡수율, 절건밀도, 유기이물질(콘크리트용 순환 잔골재 품질)                                                                                                              | 10 |    |    |
|               | ○ 통과 전 순환 토사에 대한 품질시험<br>- 유기이물질 함유량                                                                                                                                          | 4  | 3  | 3  |
|               | ○ 최종생산 순환골재 품질기준(콘크리트용 순환 잔골재)<br>· 입도<br>· 절대 건조 밀도, 흡수율, 입자모양판정실적률, 0.08mm 체 통과량 시험에서 손실량, 알칼리 골재 반응, 점토덩어리량, 안정성, 유기이물질 함유량, 무기 이물질 함유량                                    | 10 |    |    |
|               | ○ 최종생산 순환골재 품질기준(도로공사용 순환골재)<br>· 입도<br>· 소성지수, 수정CBR치, 마모감량, 모래당량, 액성한계, 유기이물질, 무기이물질                                                                                        | 10 | 3  | 3  |
|               | ○ 순환토사 성복토용 품질 기준<br>· 최대치수, 수정CBR, 5mm체통과율, 0.08mm체통과율, 소성지수, 다짐 후 건조밀도, 유기이물질 함유량                                                                                           | 10 | 3  | 3  |
|               | ○ 최종 생산된 순환 골재에 대한 환경성 분석<br>- 폐기물공정시험기준(방법)<br>· 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 6가크롬화합물, 시안화합물, 유기인화합물, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 기름 성분<br>- 토양오염공정시험기준(방법)<br>· 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납 등 21개 항목 | 3  | 1  | 1  |
|               | ○ 최종 생산된 토사에 대한 환경성 분석<br>- 폐기물공정시험기준(방법)<br>· 납, 구리, 비소, 수은, 카드뮴, 6가크롬화합물, 시안화합물, 유기인화합물, 테트라클로로에틸렌, 트리클로로에틸렌, 기름 성분<br>- 토양오염공정시험기준(방법)<br>· 카드뮴, 구리, 비소, 수은, 납 등 21개 항목    | 3  | 1  | 1  |

## (나) 신기술에 대한 기술 검증 결과

### 1) 순환토사 품질

<표 2-5-4> 최종생산된 순환토사 품질 분석결과, 6회

| 평가항목          | 단위 | 품질 기준  | 최종생산 순환토사 결과 치           |                          |                          |
|---------------|----|--------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
|               |    |        | 평균                       | 최소                       | 최대                       |
| 골재최대치수        | mm | 100 이하 | -                        | 4.75                     | 19                       |
| 5.0mm 통과율     | %  | 25~100 | 82.9                     | 71.2                     | 97.0                     |
| 0.08mm 통과율    | %  | 0~25   | 10.8                     | 5.8                      | 17.2                     |
| 소성지수          | %  | 10 이하  | NP                       | NP                       | NP                       |
| CBR시험 (수정CBR) | %  | 10 이상  | 13.8                     | 12.1                     | 15.5                     |
| 이물질함유량(유기)    | %  | 1 이하   | 0.12(0.43) <sup>1)</sup> | 0.00(0.20) <sup>1)</sup> | 0.20(0.70) <sup>1)</sup> |

【주】 1) (괄호 안) : 신기술 공정 통과 전 순환토사의 유기 이물질 함유량

### 2) 순환 잔골재 품질

<표 2-5-5> 최종생산된 콘크리트용 순환 잔골재 품질 분석결과, 12회

| 평가항목              | 단위                | 품질 기준  | 콘크리트용 순환 잔골재 결과 치 |      |      |
|-------------------|-------------------|--------|-------------------|------|------|
|                   |                   |        | 평균                | 최소   | 최대   |
| 유기이물질             | %                 | 1.00이하 | 0.01              | 0.00 | 0.10 |
| 무기이물질             | %                 | 1.00이하 | 0.05              | 0.00 | 0.14 |
| 체가름(통과율) : 10mm   | %                 | 100    | 100               | 100  | 100  |
| 체가름(통과율) : 5mm    | %                 | 90~100 | 100               | 99   | 100  |
| 체가름(통과율) : 2.5mm  | %                 | 80~100 | 83                | 81   | 86   |
| 체가름(통과율) : 1.2mm  | %                 | 50~90  | 55                | 52   | 59   |
| 체가름(통과율) : 0.6mm  | %                 | 25~65  | 32                | 27   | 38   |
| 체가름(통과율) : 0.3mm  | %                 | 10~35  | 17                | 13   | 20   |
| 체가름(통과율) : 0.15mm | %                 | 2~15   | 6                 | 4    | 8    |
| 절대건조밀도            | g/cm <sup>3</sup> | 2.30이상 | 2.41              | 2.37 | 2.44 |
| 흡수율               | %                 | 4.00이하 | 3.73              | 3.48 | 3.92 |
| 0.08mm 체 통과량      | %                 | 7.00이하 | 2.8               | 1.9  | 3.7  |
| 점토덩어리             | %                 | 1.00이하 | 0.13              | 0.09 | 0.16 |
| 안전성               | %                 | 100이하  | 5.2               | 4.5  | 5.9  |
| 입자 모양 판정 실적률      | %                 | 53이상   | 58                | 56   | 59   |
| 알칼리 골재 반응         | -                 | 무해할것   | 무해                | 무해   | 무해   |

### 3) 검증 결과

- 신청기술 통과 후 최종 생산된 콘크리트용 순환잔골재(하나케이(주), (자)금강개발, 동성환경산업(주)) 및 도로공사용 순환골재(동성환경산업(주), (자)금강개발)은 관련 품질기준을 모두 만족하는 것으로 평가됨



**제237호**

**기술검증서**

| <b>기술명</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 속도 조절형 로터의 회전충격과 밀폐식 다단형 풍압처리에 의한 순환잔골재 품질개선 및 순환토사의 유기이물질 제거기술                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------|------------|-------|------|-------|------|-------|------------|----|----|-------|---------------|--------|------------|--------|-------|------|------|-------|-----|--------|------|------|------|-------|---|------------|------|------|------|
| <b>기술보유자</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>성명<br/>(법인명)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 한국건설기술연구원<br>하나케이(주)<br>(자)금강개발<br>동성환경산업(주)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <b>주민등록번호<br/>(법인등록번호)</b> | 111241-0002284<br>134411-0014463<br>141213-0003847<br>171511-0002007 |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>주소<br/>(소재지)</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283 / 경기도 이천시 대월면 양녕로 57 / 강원도 원주시 지정면 질마재로 24-11 / 경상북도 의성군 단촌면 북부길 466-16                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| <b>검<br/>증<br/>내<br/>용</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>기술개요</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>건설폐기물을 중간처리하여 순환골재를 생산하는 공장에서 속도조절형 로터해머와 반발판의 회전충격을 이용한 순환골재 표면 모르타르 박리 및 마모에 의한 순환잔골재 품질개선과 동시에 밀폐식 다단형 풍압 처리에 의한 순환토사의 유기이물질 제거기술</li> <li>전체공정 시간당 처리용량               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 하나케이(주) 평균 213.37 ton/hr(최소 209.90, 최대 218.20)</li> <li>- (자)금강개발 107.24 ton/hr</li> <li>- 동성환경산업(주) 190.23 ton/hr</li> </ul> </li> <li>신기술공정 시간당 처리용량 : 평균 33.29 ton/hr(최소 33.00 최대 33.65)</li> <li>하나케이(주) 물질수지 측정결과&lt;3회 평균&gt;</li> </ul> |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>검증결과</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th>구분</th> <th>합계</th> <th>순환잔골재</th> <th>15mm 이하 골재</th> <th>토사</th> <th>고철</th> <th>기타이물질</th> </tr> <tr> <td>배출량(ton)</td> <td>213.37</td> <td>102.96</td> <td>76.02</td> <td>33.71</td> <td>0.46</td> <td>0.22</td> </tr> <tr> <td>비율(%)</td> <td>100</td> <td>48.2</td> <td>35.7</td> <td>15.8</td> <td>0.2</td> <td>0.1</td> </tr> </table>                                                                                      |                            |                                                                      |            |       |      | 구분    | 합계   | 순환잔골재 | 15mm 이하 골재 | 토사 | 고철 | 기타이물질 | 배출량(ton)      | 213.37 | 102.96     | 76.02  | 33.71 | 0.46 | 0.22 | 비율(%) | 100 | 48.2   | 35.7 | 15.8 | 0.2  | 0.1   |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 구분                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 합계                         | 순환잔골재                                                                | 15mm 이하 골재 | 토사    | 고철   | 기타이물질 |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 배출량(ton)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 213.37                     | 102.96                                                               | 76.02      | 33.71 | 0.46 | 0.22  |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 비율(%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 100                        | 48.2                                                                 | 35.7       | 15.8  | 0.2  | 0.1   |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>신기술공정 RPM 측정결과 : 508 RPM(16회 평균)</li> <li>신기술공정 풍압 측정결과 : 공급(10회 평균) 11.15 m/s, 흡입(10회 평균) 14.96 m/s</li> <li>최종생산 콘크리트용 순환잔골재 주요 품질평가 결과&lt;12회 평균&gt;</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th rowspan="2">평가항목</th> <th rowspan="2">단위</th> <th rowspan="2">품질기준</th> <th colspan="3">시험결과</th> </tr> <tr> <th>평균</th> <th>최소</th> <th>최대</th> </tr> <tr> <td>절대건조밀도</td> <td>g/ml</td> <td>2.3 이상</td> <td>2.41</td> <td>2.37</td> <td>2.44</td> </tr> <tr> <td>흡수율</td> <td>%</td> <td>4.0 이하</td> <td>3.73</td> <td>3.48</td> <td>3.92</td> </tr> <tr> <td>유기이물질</td> <td>%</td> <td>1.0 이하(용적)</td> <td>0.01</td> <td>0.00</td> <td>0.10</td> </tr> </table> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            |       | 평가항목 | 단위    | 품질기준 | 시험결과  |            |    | 평균 | 최소    | 최대            | 절대건조밀도 | g/ml       | 2.3 이상 | 2.41  | 2.37 | 2.44 | 흡수율   | %   | 4.0 이하 | 3.73 | 3.48 | 3.92 | 유기이물질 | % | 1.0 이하(용적) | 0.01 | 0.00 | 0.10 |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 평가항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 단위                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 품질기준                       | 시험결과                                                                 |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            | 평균                                                                   | 최소         | 최대    |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 절대건조밀도                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | g/ml                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2.3 이상                     | 2.41                                                                 | 2.37       | 2.44  |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| 흡수율                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 4.0 이하                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 3.73                       | 3.48                                                                 | 3.92       |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| 유기이물질                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1.0 이하(용적)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.01                       | 0.00                                                                 | 0.10       |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>최종생산 성벽토용 순환토사 유기이물질 함유량 결과&lt;10회 평균&gt;</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| <table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th rowspan="2">평가항목</th> <th rowspan="2">단위</th> <th rowspan="2">품질기준</th> <th colspan="3">시험결과</th> </tr> <tr> <th>평균</th> <th>최소</th> <th>최대</th> </tr> <tr> <td>이물질함유량(유기이물질)</td> <td>%</td> <td>1.0 이하(용적)</td> <td>0.12</td> <td>0.00</td> <td>0.20</td> </tr> </table> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            | 평가항목  | 단위   | 품질기준  | 시험결과 |       |            | 평균 | 최소 | 최대    | 이물질함유량(유기이물질) | %      | 1.0 이하(용적) | 0.12   | 0.00  | 0.20 |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| 평가항목                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 단위                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | 품질기준                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 시험결과                       |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 평균                         | 최소                                                                   | 최대         |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| 이물질함유량(유기이물질)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1.0 이하(용적)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0.12                       | 0.00                                                                 | 0.20       |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| <b>검증시의 조건</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>검증장소 : 경기도 이천시 대월면 양녕로 57 소재 하나케이(주)</li> <li>검증장소 : 강원도 원주시 지정면 질마재로 24-11 소재 (자)금강개발</li> <li>검증장소 : 경상북도 의성군 단촌면 북부길 466-16 소재 동성환경산업(주)</li> <li>검증기간 및 현장평가 횟수 : 2019.01.24. ~ 2019.07.26. 17회 실시</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| <b>유효기간</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2018.04.10. ~ 2023.04.09.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| <b>기타</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>본 기술은 제542호로 신기술인증서가 발급되었으며, 기술사용과 관련된 상세한 내용은 기술검증보고서(www.koetv.or.kr에 게시)를 참조하시기 바랍니다.</li> <li>본 검증결과에 신청인이 제시한 평가요구항목을 심의하여 평가하였으며, 기술수요자가 평가완료기술에 대한 현장 적용시 현장여건이 평가 당시와 다를 경우 본 검증결과와 다른 성능을 보일 수 있습니다.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |
| <input type="checkbox"/> 상세한 평가 내용은 기술검증보고서를 참조하시기 바랍니다.<br><br>「환경기술 및 환경산업 지원법」 제7조, 같은 법 시행령 제18조의5제1항 및 같은 법 시행규칙 제6조제3항에 따라 위의 기술에 대한 현장평가를 실시하고 기술검증서를 발급합니다.                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |                            |                                                                      |            |       |      |       |      |       |            |    |    |       |               |        |            |        |       |      |      |       |     |        |      |      |      |       |   |            |      |      |      |

2019년 11월 06일

**환경부장관**



[그림 2-5-2] 고품질 순환골재 및 순환토사 생산 설비에 대한 기술 검증서

## 바. 순환골재 콘크리트 배합 및 성능평가

- 고품질 순환 잔골재 생산기술을 적용하여 생산된 개질 후 순환 잔골재(이후 개질 순환 잔골재) 및 개질 전 순환골재를 사용하여 3차에 걸친 콘크리트 실험을 통해 순환골재 콘크리트의 기초적 배합 구성 및 성능 평가를 실시함
- 순환골재를 활용한 콘크리트의 특성을 평가하기 위하여 순환골재 치환율을 0, 30, 60, 100% 수준으로 함
- 1차 실험은 2017.12년 이전 순환골재 품질기준에 적합한 골재(개질 전 순환골재) 사용에 대한 평가를 실시함
- 2차 및 3차 실험은 개발 기술을 통해 물리적 특성이 개선된 개질 순환 잔골재를 사용하여 개질 전·후의 순환골재 콘크리트 특성에 대한 비교평가를 실시함

### (1) 순환골재 콘크리트 1차 실험(개질 전 순환골재)

#### (가) 실험 계획

- 순환골재 콘크리트 1차 실험의 경우 개질 전 순환골재를 사용하여 실험을 진행하였으며, 실험 항목은 슬럼프, 공기량 및 재령별 압축강도로 하였으며, 단위시멘트량 320, 345 및 390kg/m<sup>3</sup>, 목표 슬럼프는 200±25mm, 목표 공기량 5.5±1.5% 설정하였다.

#### (나) 사용 재료

- 실험에 사용된 굵은골재는 20mm 부순자갈 및 순환 굵은골재, 잔골재는 세척사 및 순환 잔골재를 사용하였으며, 골재의 물리적 특성은 <표 2-6-1> 및 <표 2-6-2>와 같다.

<표 2-6-1> 천연골재 물리적 특성

| 구분   | 밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) | 단위용적중량 (kg/L) | 흡수율 (%) |
|------|-------------------------|---------------|---------|
| 세척사  | 2.56                    | 1.64          | 0.74    |
| 굵은골재 | 2.61                    | 1.52          | 0.67    |

<표 2-6-2> 순환골재(개질 전) 물리적 특성

| 항목                            |           | 순환 굵은골재 | 순환 잔골재 |
|-------------------------------|-----------|---------|--------|
| 절대 건조 밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) |           | 2.51    | 2.33   |
| 흡수율 (%)                       |           | 2.68    | 4.83   |
| 알칼리 골재 반응                     |           | 무해      | 무해     |
| 점토 덩어리량 (%)                   |           | 0.1     | 0.5    |
| 안정성 (%)                       |           | 7.8     | 7.4    |
| 이물질 함유량                       | 유기이물질 (%) | 0.03    | 0.04   |
|                               | 무기이물질 (%) | 0.32    | 0.62   |

## (다) 배합

- 개질 전 순환골재를 사용한 순환골재 콘크리트 1차 실험에서는 단위시멘트량에 따른 경화 전후 특성을 평가하기 위하여, 단위시멘트량 320, 345 및 390kg/m<sup>3</sup>에 대한 배합을 설정하였으며, 이에 따라 W/C와 S/A를 조정하였으며, 혼화제량은 레미콘 생산을 감안하여 0.7%로 고정하여 투입한 뒤 목표슬럼프(200±25mm) 범위 내에 들어가도록 물량을 추가하여 실시하였다.

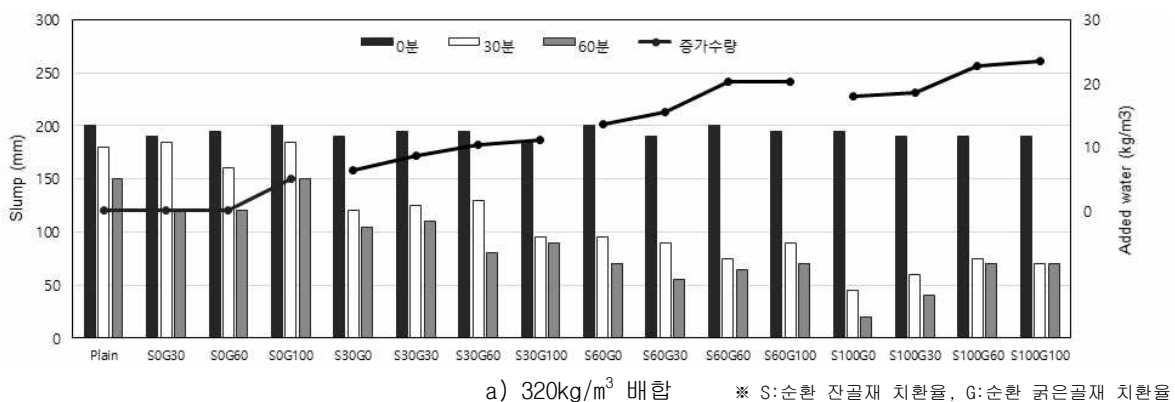
<표 2-6-3> 순환골재 콘크리트 1차 실험 배합표

| 단위시멘트량<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 단위수량<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C<br>(%) | S/A<br>(%) | 혼화제<br>(%) | 순환 굵은골재<br>치환율 (% , G) | 순환 잔골재<br>치환율 (% , S) |
|--------------------------------|------------------------------|------------|------------|------------|------------------------|-----------------------|
| 320                            | 148                          | 46.1       | 48.6       | 0.7        | 0                      | 0                     |
| 345                            | 151                          | 43.9       | 48.8       |            | 30                     | 30                    |
|                                |                              |            |            |            | 60                     | 60                    |
| 390                            | 132                          | 33.9       | 49.0       |            | 100                    | 100                   |

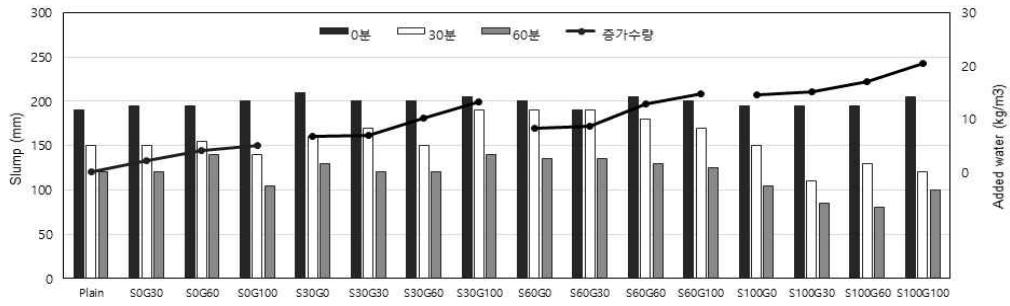
## (라) 실험 결과

### 1) 슬럼프

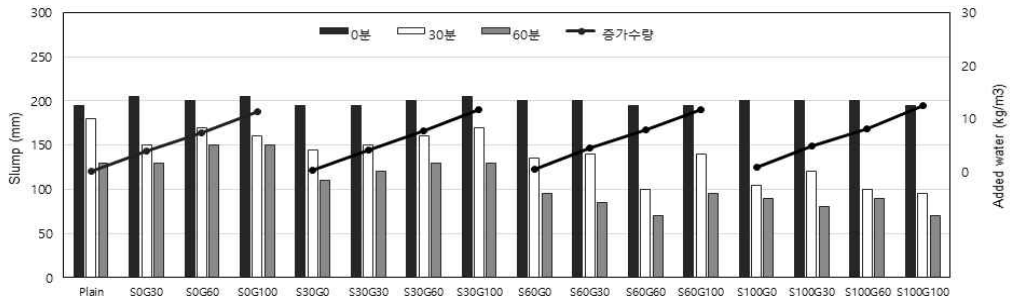
- 목표 슬럼프(200±25mm)를 확보하기 위한 추가 수량은 순환 굵은골재 및 순환 잔골재 모두 치환율이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다.
- 동일 슬럼프를 확보하기 위한 추가수량은 Plain 대비 320배합에서 최대 23.6kg/m<sup>3</sup>, 345배합에서 최대 20.5kg/m<sup>3</sup>, 390배합에서 최대 16.1kg/m<sup>3</sup>까지 요구되었다.
- 순환골재의 치환시 요구되는 추가 수량은 순환 굵은골재 순환 잔골재의 치환시 더 많이 요구되는 것으로 나타났으며, 목표강도가 높아질수록 추가 수량은 감소하는 것으로 나타났다.
- 경시에 따른 슬럼프 저하는 순환 굵은골재의 경우 100%를 제외하면 크게 나타나지 않았으나, 순환 잔골재의 경우 치환율이 증가할수록 커지는 것으로 나타났다.



[그림 2-6-1] 배합별 슬럼프 측정 결과



b) 345kg/m³ 배합

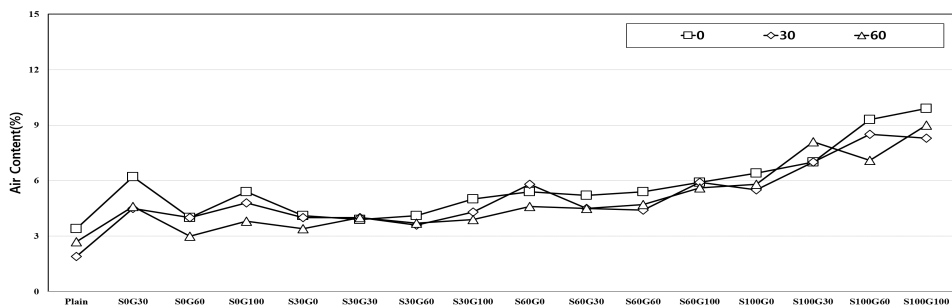


c) 390kg/m³ 배합

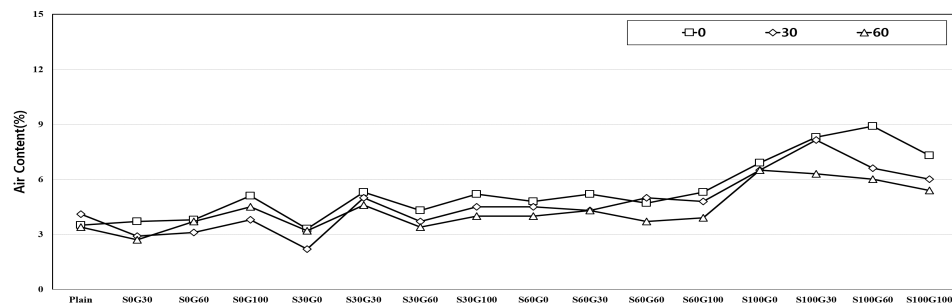
[그림 2-6-1] 배합별 슬럼프 측정 결과(계속)

## 2) 공기량

- 순환 잔골재 100% 치환 배합을 제외하면, 순환골재의 치환율이 증가할수록 굳지않은 콘크리트의 공기량은 유사하거나 소폭 증가하는 경향을 나타냈다.
- 순환 잔골재 100% 치환시 최대 9% 이상의 공기량을 나타내 적정 치환율은 60% 이하로 해야할 것으로 나타났다.



a) 320kg/m³ 배합

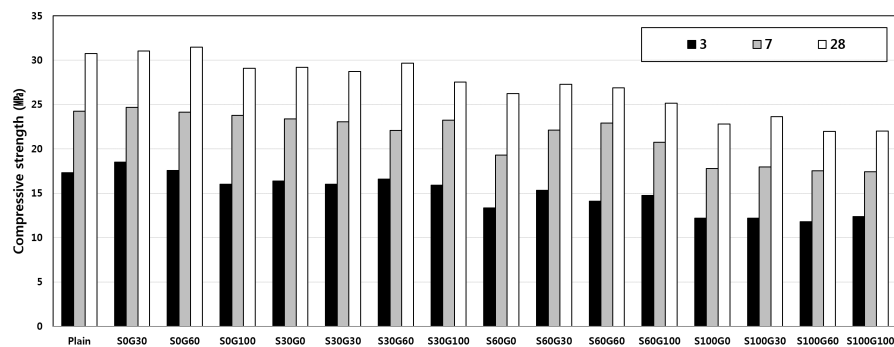


b) 345kg/m³ 배합

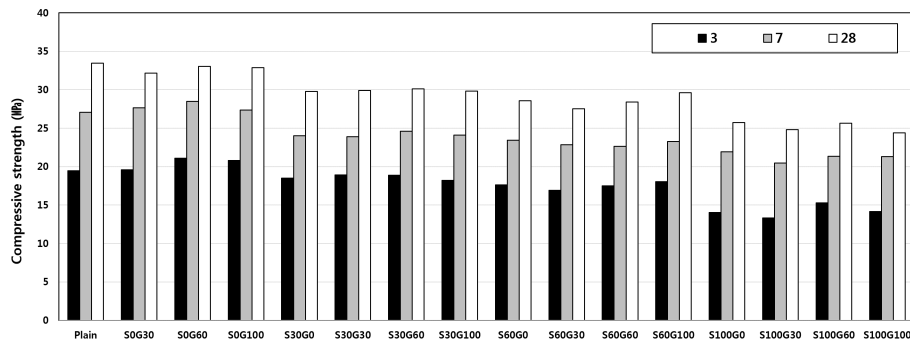
[그림 2-6-2] 배합별 공기량 측정 결과

### 3) 압축강도

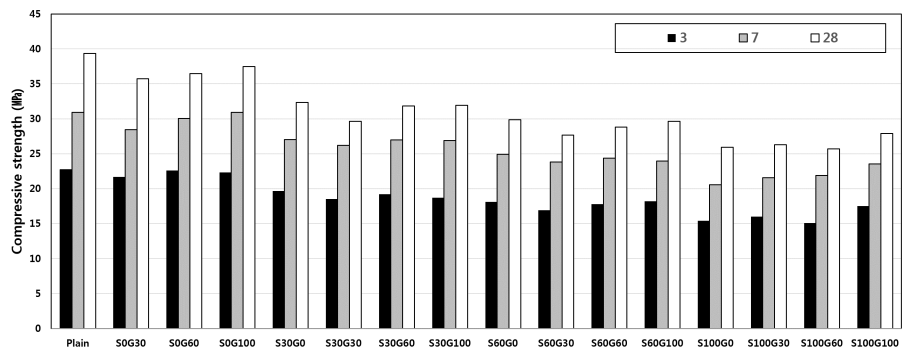
- 순환골재의 치환율이 증가할수록 압축강도 저하가 나타났으며, Plain 대비 최대 25%의 강도 저하가 나타났다.
- 순환 굵은골재의 경우 60% 치환까지는 유사한 수준을 나타내었으나, 100% 치환시 약 5%의 압축강도 저하가 나타났으며, 순환 잔골재의 경우 치환율이 30, 60, 100%로 증가함에 따라 평균 8, 15, 25% 압축강도가 감소하는 것으로 나타났다
- 이는 앞선 슬럼프 유지를 위해 투입되었던 추가 수량 및 순환 잔골재의 품질저하에 기인하는 것으로 판단되며, 순환 잔골재의 개질을 통해 품질개선이 필요함을 확인할 수 있었다.



a) 320kg/m³ 배합



b) 345kg/m³ 배합



c) 390kg/m³ 배합

[그림 2-6-3] 배합별 압축강도 측정 결과

## (2) 순환골재 콘크리트 2차 실험(순환골재 품질 개질 전/후 비교)

### (가) 실험 계획

- 개질 전/후 순환골재를 사용한 순환골재 콘크리트 2차 실험의 경우, 실험 항목은 슬럼프, 공기량 및 채령별 압축강도 등이었으며, 단위시멘트량  $315\text{kg/m}^3$ , 목표 슬럼프는  $200 \pm 25\text{mm}$ , 목표 공기량  $5.5 \pm 1.5\%$ 로 설정하였다.

### (나) 사용 재료

- 실험에 사용된 굵은골재는 20mm 부순자갈 및 순환 굵은골재를 사용하였으며, 잔골재는 세척사 및 개질 전·후 순환 잔골재를 사용하였다. 실험에 사용된 골재의 물리적 특성은 <표 2-6-4> 및 <표 2-6-5>와 같다.

<표 2-6-4> 천연골재 물리적 특성

| 구분   | 밀도 ( $\text{g/cm}^3$ ) | 단위용적중량 ( $\text{kg/L}$ ) | 흡수율 (%) |
|------|------------------------|--------------------------|---------|
| 세척사  | 2.56                   | 1.64                     | 0.74    |
| 굵은골재 | 2.61                   | 1.52                     | 0.67    |

<표 2-6-5> 순환골재 물리적 특성

| 항목                           |           | 순환 굵은골재 | 순환 잔골재 |      |
|------------------------------|-----------|---------|--------|------|
|                              |           |         | 개질 전   | 개질 후 |
| 절대 건조 밀도 ( $\text{g/cm}^3$ ) |           | 2.57    | 2.33   | 2.41 |
| 흡수율 (%)                      |           | 1.52    | 4.83   | 3.86 |
| 알칼리 골재 반응                    |           | 무해      | 무해     | 무해   |
| 점토 덩어리량 (%)                  |           | 0.08    | 0.5    | 0.2  |
| 안정성 (%)                      |           | 5.20    | 7.4    | 6.7  |
| 이물질 함유량                      | 유기이물질 (%) | 0.01    | 0.04   | 0.02 |
|                              | 무기이물질 (%) | 0.14    | 0.62   | 0.32 |

### (다) 배합

- 2차 실험의 경우 개질 전/후의 순환 잔골재 변화에 따른 순환골재 콘크리트의 품질변화를 확인하기 위해 단위시멘트량  $315\text{kg/m}^3$ 인 기본배합을 설정(W/C 49.5%, S/A 48.5%)하였으며, 목표 슬럼프 확보를 위해 혼화제 투입량을 조절하였다.

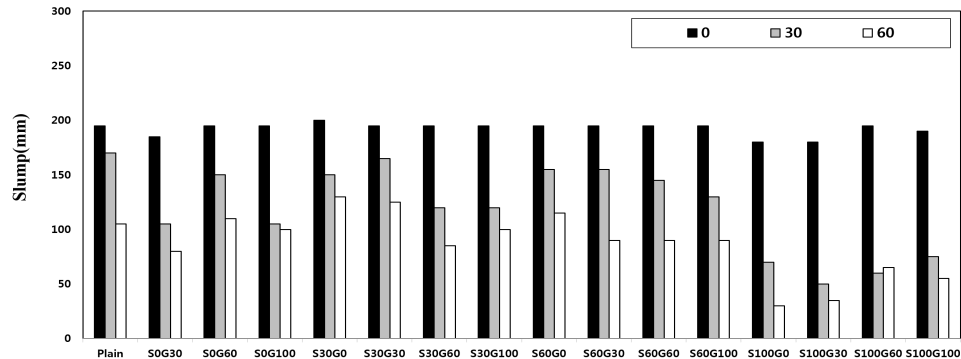
<표 2-6-6> 순환골재 콘크리트 2차 실험 배합표

| 단위시멘트량 (kg) | 단위수량 (kg) | W/C (%) | S/A (%) | 순환 굵은골재 치환율 (%) | 순환 잔골재 치환율 (%) | 순환 잔골재 유형  |
|-------------|-----------|---------|---------|-----------------|----------------|------------|
| 315         | 156       | 49.5    | 48.5    | 0, 30, 60, 100  | 0, 30, 60, 100 | 개질 전, 개질 후 |

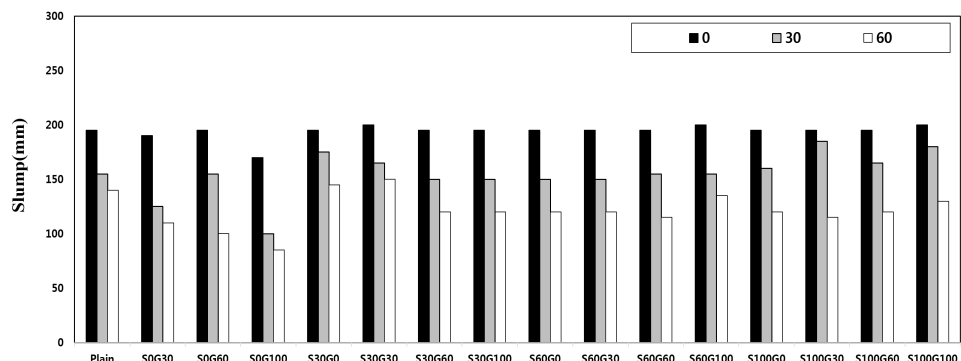
## (라) 실험 결과

### 1) 슬럼프

- 순환 잔골재 개질 전·후 콘크리트의 슬럼프 측정 결과는 [그림 2-6-4]와 같다.
- 개질 전 순환골재 콘크리트의 경시변화의 경우, 순환 잔골재의 치환율이 증가할수록 슬럼프가 저감율이 높은 것으로 나타났으며, 특히, 순환 잔골재 치환율이 100%인 경우 KS F 4009 레디믹스트 콘크리트에서 규정하고 있는 보통콘크리트 최저 슬럼프 값인 80mm 이하로 나타났다.
- 개질 순환 잔골재를 사용한 순환골재 콘크리트의 경시변화는 Plain배합과 유사한 슬럼프 저감을 보였으며, 개질 전 순환골재 콘크리트와 비교해서 전배합에서 낮은 슬럼프 저감율을 보였다.
- 개질 순환 잔골재를 사용한 배합에서 양호한 슬럼프 및 경시변화 성상이 나타난 것은 순환 잔골재의 품질개선에 따라 표면에 존재하는 모르타르 및 이물질 함유량 감소 등에 기인한 흡수율 및 입도개선에 의한 것으로 판단된다.
- 따라서 순환 잔골재의 품질 개선은 슬럼프 확보를 위한 혼화제 사용량의 증대 및 경시에 따른 슬럼프 저하 등의 문제점을 해결할 수 있는 방안임을 확인 할 수 있다.



a) 개질 전 순환 잔골재

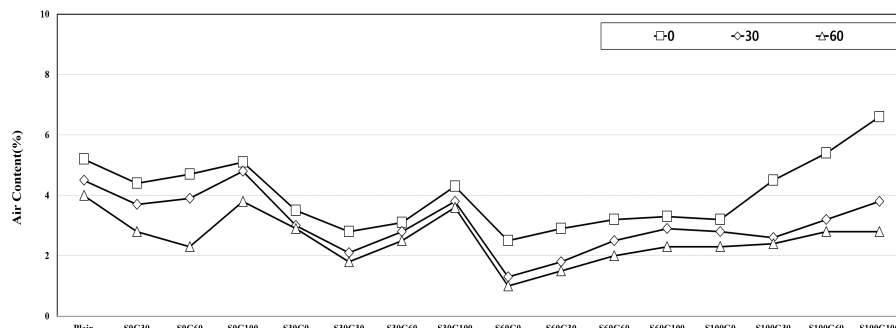


b) 개질 순환 잔골재

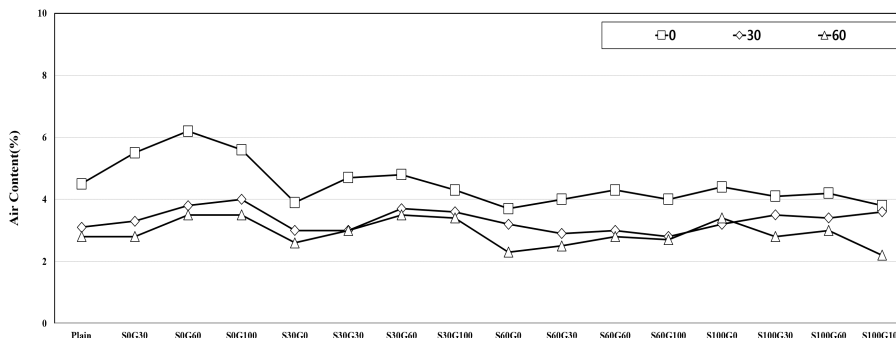
[그림 2-6-4] 순환 잔골재 개질 전·후에 따른 슬럼프 측정 결과

## 2) 공기량

- 순환 잔골재 개질 전·후에 대한 각 배합의 공기량 측정 결과는 [그림 2-6-5]와 같다.
- 개질 전 순환골재 콘크리트의 공기량은 배합별 많은 편차를 보였으며, 순환골재 콘크리트 품질기준인  $5.5 \pm 1.5\%$ 에 미치지 못하는 배합이 다수 나타났다. 이는 개질 전 순환골재 품질의 불안정성으로 인해 공기량 기준에 적합한 배합을 도출하는 것에 어려움이 따를 것으로 판단된다.
- 개질 순환 잔골재를 사용한 순환골재 콘크리트의 경우, 대부분의 배합에서 공기량 기준  $5.5 \pm 1.5\%$ 에 만족한 것으로 나타났으며, 개질 전 순환골재 콘크리트와 비교하여 개질 순환 잔골재 치환에 따른 공기량의 편차가 적은 것으로 나타났다.
- 따라서 순환 잔골재의 품질 개선은 그 사용량에 따른 큰 편차없이 공기량을 관리할 수 있으며, 공기량에 대한 문제는 없을 것으로 판단된다.



a) 개질 전 순환 잔골재



b) 개질 순환 잔골재

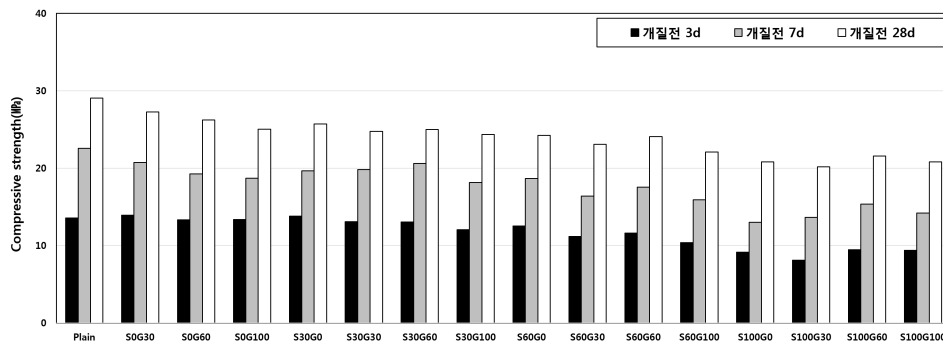
[그림 2-6-5] 순환 잔골재 개질 전·후에 따른 공기량 측정 결과

## 3) 압축강도

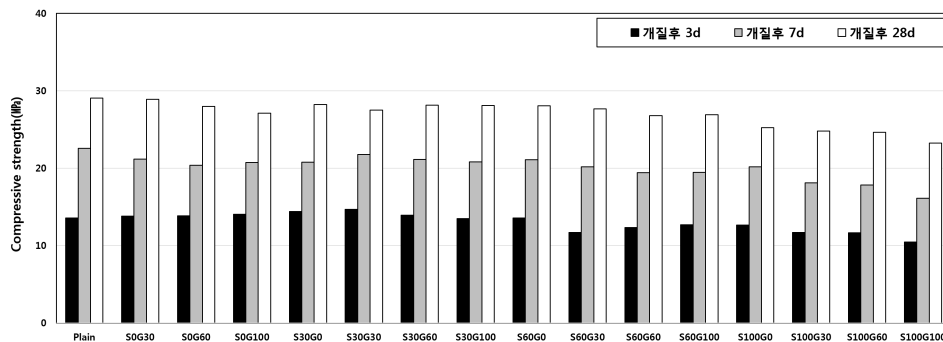
- 순환 잔골재 개질 전·후 콘크리트의 압축강도 측정 결과는 [그림 2-6-6] 및 [그림 2-6-7]과 같다.
- 개질 전 순환 잔골재를 사용한 순환골재 콘크리트의 경우, 순환 잔골재 치환율이 증가

함에 따라 압축강도의 저감이 크게 나타났으며, Plain 대비 순환 잔골재 100% 치환 시 최대 8.24MPa의 강도 저하가 나타났다.

- 개질 순환 잔골재를 사용한 경우, 순환 잔골재 치환율 60%까지는 Plain 배합과 유사한 수준을 보였으나 100% 치환시 최대 5.82MPa의 강도 저하를 나타냈다.
- 순환 잔골재 개질 전·후를 비교하면, 28일 압축강도의 경우 개질 후의 압축강도가 다수의 배합에서 약 20%가량 높은 것으로 나타났으며, 이는 압축강도에 영향을 미치는 순환 잔골재 표면에 존재하는 모르타르 및 유기물 함유량 등의 감소로 인해 개질 순환 잔골재의 물리적 특성이 개선되고, 이로 인해 순환골재 콘크리트의 압축강도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

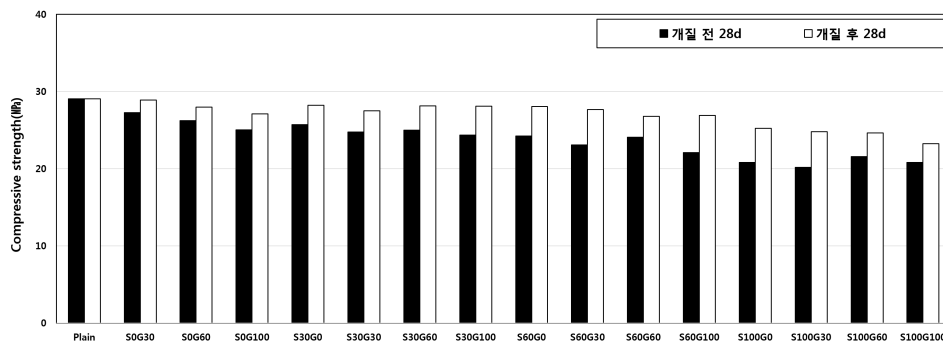


a) 개질 전 순환 잔골재



b) 개질 순환 잔골재

[그림 2-6-6] 순환 잔골재 개질 전·후에 따른 압축강도 측정 결과



[그림 2-6-7] 순환 잔골재 개질 전·후 28일 압축강도 비교

### (3) 순환골재 콘크리트 3차 실험(순환골재 품질 개질 전/후 비교)

#### (가) 실험 계획

- 순환 굵은골재 치환 및 개질 전/후의 순환 잔골재 변화에 따른 순환골재 콘크리트의 품질변화를 확인하기 위해 순환골재 콘크리트 3차 실험의 경우, 실험 항목은 슬럼프, 공기량 및 재령별 압축강도 등이며, 단위시멘트량  $330\text{kg/m}^3$  및  $425\text{kg/m}^3$ , 목표 슬럼프는  $200\pm 25\text{mm}$ , 목표 공기량 일반 콘크리트에 준하는  $4.5\pm 1.5\%$ 로 설정하였다.

#### (나) 사용 재료

- 실험에 사용된 굵은골재는 20mm 부순자갈 및 순환 굵은골재를 사용하였으며, 잔골재는 세척사 및 개질 전·후 순환 잔골재를 사용하였다. 실험에 사용된 골재의 물리적 특성은 <표 2-6-7>와 같다.

<표 2-6-7> 골재 물리적 특성

| 항목                         | 굵은골재       |            | 잔골재       |                |                |
|----------------------------|------------|------------|-----------|----------------|----------------|
|                            | 천연<br>굵은골재 | 순환<br>굵은골재 | 천연<br>잔골재 | 개질 전<br>순환 잔골재 | 개질 후<br>순환 잔골재 |
| 단위용적질량 ( $\text{kg/m}^3$ ) | 1,518      | 1,485      | 1,552     | 1,305          | 1,384          |
| 절건밀도( $\text{g/cm}^3$ )    | 2.59       | 2.55       | 2.61      | 2.21           | 2.33           |
| 흡수율(%)                     | 1.01       | 1.95       | 1.03      | 4.89           | 3.62           |
| 조립율(%)                     | 7.02       | 6.26       | 2.95      | 2.48           | 2.74           |
| 유기이물질(%)                   | -          | 0.53       | -         | 0.92           | 0.49           |

#### (다) 배합

- 실제 레미콘 생산 배합표를 적용하여 단위시멘트량  $330\text{kg/m}^3$  및  $425\text{kg/m}^3$ 에 대하여 <표 2-6-8>과 같이 실험배합을 구성하였다.

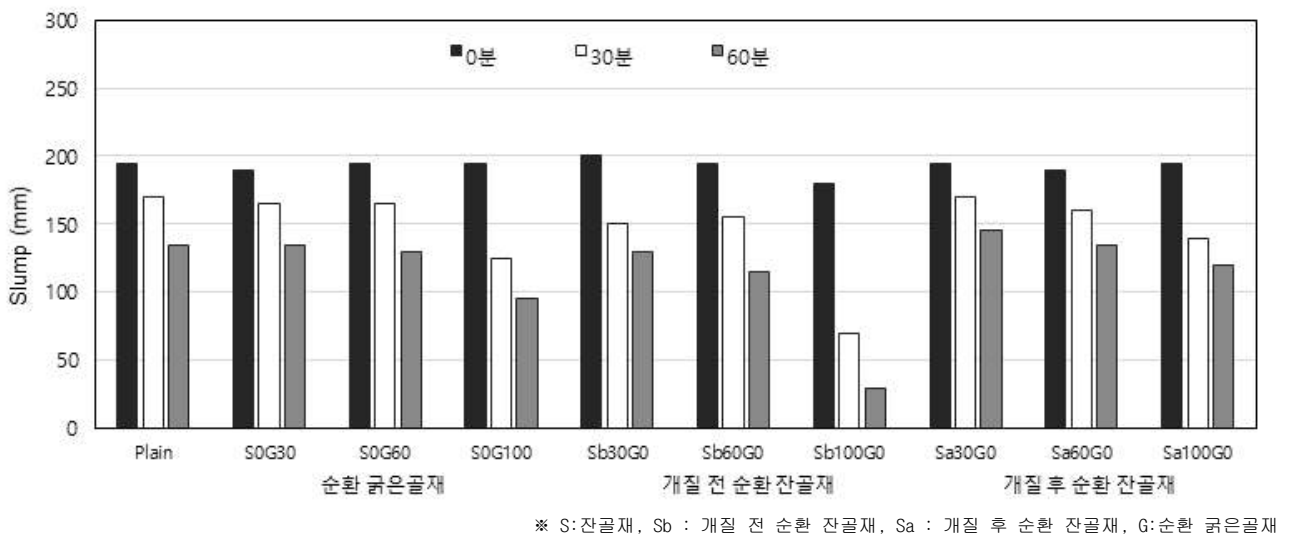
<표 2-6-8> 순환골재 콘크리트 2차 실험 배합표

| 단위시멘트량<br>(kg) | 단위수량<br>(kg) | W/C<br>(%) | S/A<br>(%) | 순환 굵은골재<br>치환율 (%) | 순환 잔골재<br>치환율 (%) | 순환 잔골재<br>유형  |
|----------------|--------------|------------|------------|--------------------|-------------------|---------------|
| 330            | 146          | 44.0       | 47.0       | 0, 30,<br>60, 100  | 0, 30,<br>60, 100 | 개질 전,<br>개질 후 |
| 425            | 167          | 39.0       | 48.0       |                    |                   |               |

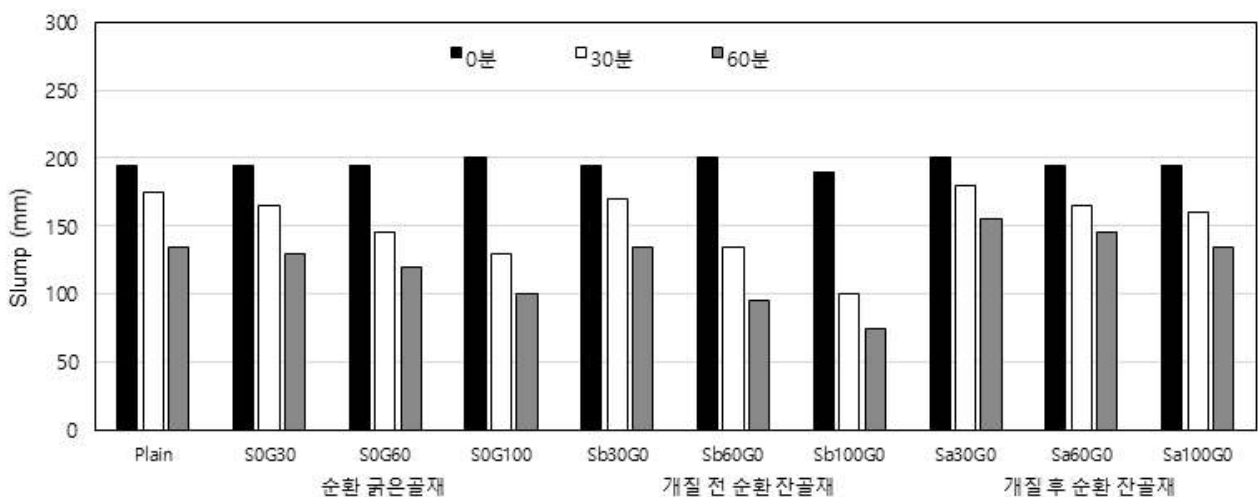
## (라) 실험 결과

### 1) 슬럼프

- 순환골재별 치환율에 따른 슬럼프의 경시변화 측정 결과는 [그림 2-6-8] 및 [그림 2-6-9]와 같다.
- 순환 굵은골재 치환에 따른 슬럼프의 경시변화는 60%까지는 큰 차이를 보이지 않았으나, 100% 치환시는 증가하는 것으로 나타났다.
- 개질 전 순환 잔골재 치환시 슬럼프 경시변화는 기준배합에 비해 큰 것으로 나타났으며, 특히 100%에서는 매우 낮아지는 것으로 나타났다.
- 개질 순환 잔골재 치환시 슬럼프 경시변화는 개질 전에 대해 크게 향상되었으며 30%는 동일, 60%는 다소 증가, 100% 증가하는 것으로 나타났다.



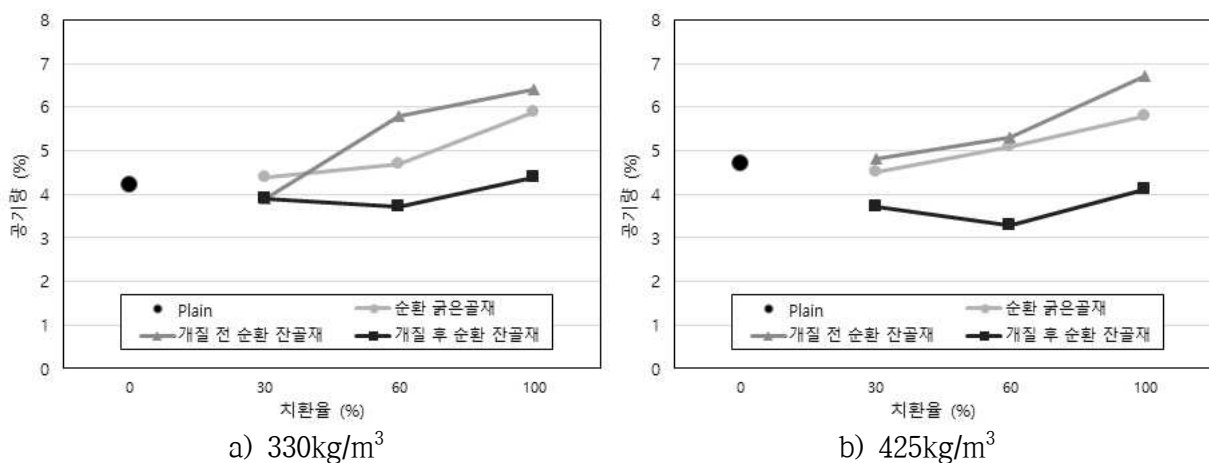
[그림 2-6-8] 슬럼프 경시변화(단위시멘트량 330kg/m³)



[그림 2-6-9] 슬럼프 경시변화(단위시멘트량 425kg/m³)

## 2) 공기량

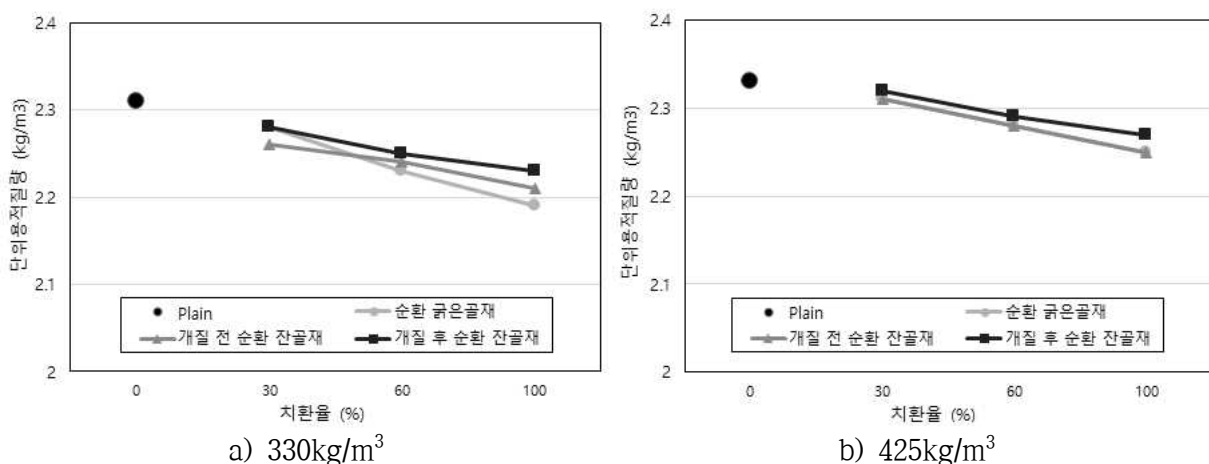
- 순환골재별 치환율에 따른 공기량에 대한 측정 결과는 [그림 2-6-10]과 같다.
- 순환 굵은골재 치환율이 증가함에 따라 공기량은 증가하는 것으로 나타났으며, 목표 공기량의 범위를 만족하는 것으로 나타났다.
- 순환 잔골재의 치환에 따른 공기량은 개질 전의 경우 30% 치환에서는 모두 만족하는 것으로 나타났으나 치환율이 증가함에 따라 공기량이 증가하여 100% 치환에서는 목표범위를 초과하는 것으로 나타났다.
- 개질 순환 잔골재의 경우 모든 치환율에서 공기량이 큰 변화는 없는 것으로 나타났으며, 모두 목표 공기량의 범위에서 나타났다.



[그림 2-6-10] 공기량 시험 결과

## 3) 단위용적질량

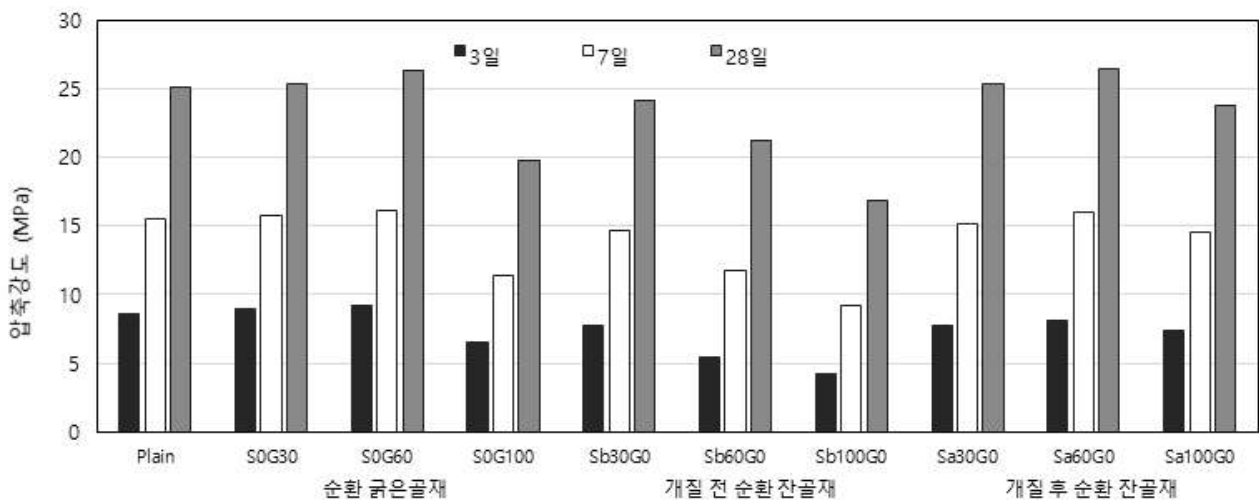
- 순환골재를 사용한 콘크리트의 단위용적질량은 Plain 배합에 비해 낮아졌으며, 치환율이 증가할수록 낮아지는 것으로 나타났다.



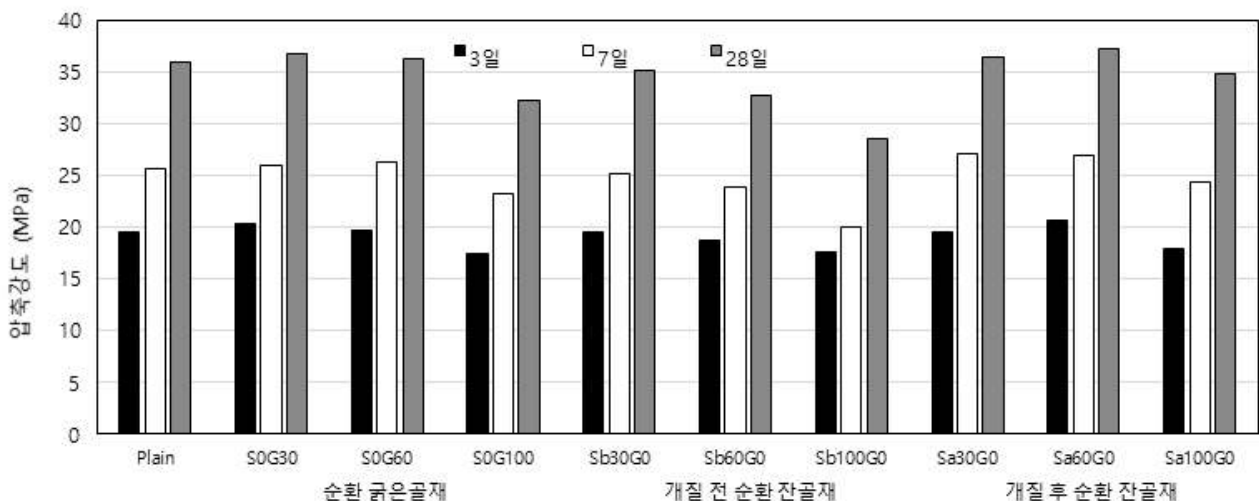
[그림 2-6-11] 단위용적질량 시험 결과

#### 4) 압축강도

- 순환골재별 치환율에 따른 콘크리트의 재령별 압축강도 측정결과는 [그림 2-6-12] 및 [그림 2-6-13]과 같다.
- 순환 굵은골재를 치환하는 경우 60%까지는 Plain배합에 대해 전 재령에서 동등 또는 상승하는 것으로 나타났으나, 100% 치환시에는 급격히 낮아지는 것으로 나타났다.
- 순환 잔골재를 치환하는 경우 개질 전 순환 잔골재의 경우 모두 압축강도가 저하되는 것으로 나타났으며, 치환율이 커질수록 압축강도의 저하도 커지는 것으로 나타났다.
- 개질 순환 잔골재의 경우 전체적으로 양호한 것으로 나타나, 60%까지는 Plain배합에 대해 전 재령에서 동등 또는 상승하는 것으로 나타났으며 100% 치환시에 다소 감소하는 것으로 나타났다.



[그림 2-6-12] 압축강도 측정결과(단위시멘트량 330kg/m³)



[그림 2-6-13] 압축강도 측정결과(단위시멘트량 425kg/m³)

#### (4) 소결

- 순환 굵은골재, 개질 전/후의 순환 잔골재를 사용한 순환골재 콘크리트에 대해 1~3차의 실험을 통해 순환골재 콘크리트의 기초적 성능에 대한 평가한 결과는 다음과 같다.
- ① 개질 전 순환 잔골재를 사용하는 경우, 순환골재 콘크리트는 목표 슬럼프를 확보하기 위해 단위수량의 증가 또는 혼화제 투입량의 증가가 필요하였으며, 이 경우에도 경시에 따른 슬럼프가 크게 변동하여 품질관리에 어려움이 발생하는 것으로 나타났다. 반면, 품질이 개선된 개질 순환 잔골재를 사용하는 경우, 초기 슬럼프 및 경시에 따른 슬럼프 변화가 일반 골재를 사용한 경우와 차이를 보이지 않아 레미콘 생산에 개질 순환골재를 적용하는 것에 대한 특기할 어려움은 없을 것으로 판단된다.
- ② 공기량의 경우 순환골재 콘크리트는 일반 콘크리트보다 1%p 높은 관리치를 준수하도록 하고 있으며, 이는 순환골재 표면의 제거되지 못한 모르타르에 기인한 것으로 순환 굵은골재 및 개질 전 순환 잔골재에서는 치환율에 따른 공기량이 증가하며, 공기량의 편차가 크게 발생하였다. 반면, 개질 순환 잔골재를 사용한 순환골재 콘크리트의 공기량은 일반 콘크리트의 범위에서 나타났으며, 순환 잔골재의 치환율에 따른 변화도 발생하지 않는 것으로 나타나, 레미콘 생산 및 품질관리에 문제점은 없는 것으로 판단된다.
- ③ 품질기준 내 순환 굵은골재를 사용한 순환골재 콘크리트는 Plain 배합의 압축강도에 대해 치환율 60%까지는 전반적으로 유사하거나 약간 낮아지는 것으로 나타났으나, 치환율 100%에서는 20%이상 저하하는 경우도 있어, 치환율 60%까지는 배합의 조정으로 관리가 능하나, 그 이상의 치환은 어려울 것으로 판단된다.
- ④ 품질 개선 전 순환 잔골재를 사용하는 경우, 순환 잔골재의 치환율이 증가함에 따라 압축강도의 감소가 크게 증가하는 것으로 나타났으며, 특히 순환 잔골재를 100% 치환하여 사용하는 경우 최대 30%의 압축강도 저하가 나타났다.
- ⑤ 개질 순환 잔골재를 사용하는 경우, 치환율 60%이내에서는 콘크리트 압축강도의 저하가 거의 발생하지 않거나 오히려 콘크리트의 압축강도가 증가한 수준을 보였으며, 개질 순환 잔골재 100% 치환에서도 콘크리트의 압축강도 저하율은 5~10% 이내의 양호한 수준인 것으로 나타났다.
- ⑥ 개질 순환 잔골재를 사용한 순환골재 콘크리트에 대한 다양한 배합 실험 결과, 개질 순환 잔골재를 60% 이내로 치환하는 것은 슬럼프, 공기량 및 압축강도 등의 품질특성에서 Plain 대비 동등 또는 양호한 것으로 나타나 레미콘 적용 가능한 수준인 것으로 판단된다. 더욱이, 최근 저품질의 잔골재를 대체하여 품질 개선된 순환 잔골재를 사용하는 것이 레미콘 적용 및 품질관리 측면에서 유리할 것이라 판단된다.

## 사. 순환골재 콘크리트 강도별 최적배합 표준안 및 B/P 생산

### (1) 순환골재 콘크리트 강도별 최적 배합 표준안 제시

#### (가) 개요

- 본 연구는 순환골재 콘크리트의 레미콘 실 생산 및 현장 적용을 위한 기초 연구로서, 한국토교통부공고 「순환골재 품질기준」에 따라 콘크리트용 순환골재 품질기준에 적합한 골재를 사용하여 골재별 최대 치환율을 적용하여 콘크리트 실험을 진행하였으며, 실험을 통해 도출된 결과를 통해 목표강도를 위한 순환골재 콘크리트의 최적 배합 및 최적 분체량을 선정하였다.
- 이렇게 도출된 결과를 통해 콘크리트 골재로서의 순환골재 적용 가능 여부 및 추후 순환골재 콘크리트를 적용한 건축물 활성화를 위한 데이터를 제공하고자 하였으며, 순환골재 품질기준에 적합한 골재 사용 시 천연골재 콘크리트와 동등한 콘크리트 생산 가능 여부를 제공하고자 하였다.

#### (나) 실험개요

##### 1) 실험계획

- 본 연구에서는 순환골재를 활용한 콘크리트의 최적배합 도출을 위해 순환 굵은골재 60%, 순환 잔골재 30%, 순환 굵은골재 및 순환 잔골재 각각 15%를 치환하여 실험을 실시하였다.
- 실험항목으로 경화 전 콘크리트 실험으로 슬럼프, 공기량을 측정하였으며, 슬럼프 기준  $200 \pm 15$ , 공기량  $5.0 \pm 1.5\%$ 를 기준으로 진행하였다. 또한 경화 후 콘크리트 실험으로 압축강도를 측정하였으며, 재령은 3, 7, 28일을 기준으로 실시하였다.

<표 2-7-1> 실험계획

| 구분                 | 분체량 (kg/m³)        | 실험 항목     | 기준            |
|--------------------|--------------------|-----------|---------------|
| 일반콘크리트             | 270, 280, 290,     | 슬럼프(mm)   | $200 \pm 15$  |
| 순환 굵은골재<br>60% 치환  | 300, 310, 320,     | 경시변화(mm)  | 0, 30, 60분    |
| 순환 잔골재<br>30% 치환   | 330, 340, 350,     | 공기량(%)    | $5.0 \pm 1.5$ |
| 순환골재<br>15%+15% 치환 | 360, 370, 380, 390 | 압축강도(MPa) | 3, 7, 28Day   |

## 2) 골재

- 본 연구에 사용된 천연골재로 잔골재는 세척사를 사용하였으며, 굵은 골재는 20mm 부순 자갈을 사용하였다. 또한 순환골재의 경우 콘크리트용 순환골재 품질기준에 적합한 H사 순환골재를 사용하였다. 천연골재 및 순환골재 함수상태는 포건상태로 실험을 진행하였다.

<표 2-7-2> 골재 물리적 특성

| 구분   |         | 밀도 (g/cm <sup>3</sup> ) | 단위용적중량 (kg/L) | 흡수율 (%) |
|------|---------|-------------------------|---------------|---------|
| 천연골재 | 세척사     | 2.56                    | 1.64          | 0.74    |
|      | 굵은골재    | 2.60                    | 1.52          | 0.67    |
| 순환골재 | 순환 잔골재  | 2.36                    | 1.41          | 3.82    |
|      | 순환 굵은골재 | 2.52                    | 1.48          | 2.53    |

## 3) 배합

- 본 연구의 순환골재 콘크리트 배합은 <표 2-7-3>에 나타났다. 본 연구는 분체량을 최소 270kg/m<sup>3</sup>을 적용하였으며, 분체량 10kg/m<sup>3</sup>씩 증가하여 최대 390kg/m<sup>3</sup>을 사용하였다. 물/시멘트 비는 최대 54.1%에서 최소 37.4%로 설정하였으며, 잔골재율은 최대 48.8%, 최소 46.3%로 설정하여 실험을 실시하였다.

<표 2-7-3> 순환골재 콘크리트 실험 배합표

| 구분<br>(G:S(%))      | 단위시멘트량<br>(kg/m <sup>3</sup> )                                              | 단위수량<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | W/C<br>(%)     | S/A<br>(%)     | 순환 굵은골재<br>치환율 (%) | 순환 잔골재<br>치환율 (%) |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------|----------------|----------------|--------------------|-------------------|
| Plain<br>(0:0)      | 270, 280, 290,<br>300, 310, 320,<br>330, 340, 350,<br>360, 370, 380,<br>390 | 146                          | 54.1 ~<br>37.4 | 48.8 ~<br>46.3 | 0                  | 0                 |
| FG60<br>(60:0)      |                                                                             |                              |                |                | 60                 | 0                 |
| RS30<br>(0:30)      |                                                                             |                              |                |                | 0                  | 30                |
| RG15RS15<br>(15:15) |                                                                             |                              |                |                | 15                 | 15                |

## (다) 실험결과

- 분체량에 따른 순환골재 콘크리트의 슬럼프, 공기량 및 재령별 압축강도를 평가한 결과는 <표 2-7-4>와 같다.

<표 2-7-4> 순환골재 콘크리트 실험 결과

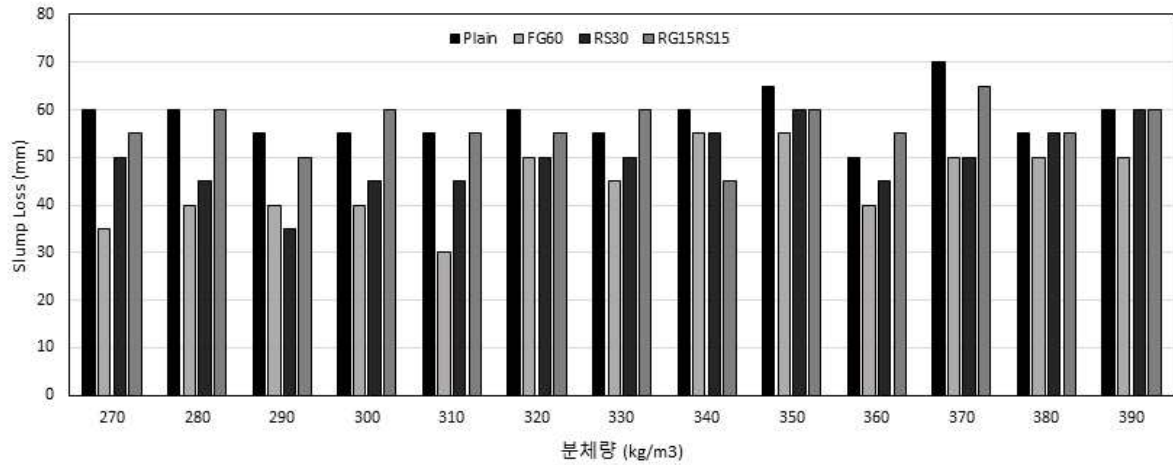
| 구 분                         |                       | 슬럼프 (mm) |     |     | 공기량 (%) |     |     | 압축강도 (MPa) |      |      |
|-----------------------------|-----------------------|----------|-----|-----|---------|-----|-----|------------|------|------|
| 분체량<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 순환골재<br>치환율<br>G:S(%) | 0분       | 30분 | 60분 | 0분      | 30분 | 60분 | 3일         | 7일   | 28일  |
| 270                         | 0:0                   | 195      | 135 | 105 | 5.3     | 4.6 | 4.3 | 6.7        | 10.5 | 16.9 |
|                             | 60:0                  | 200      | 165 | 140 | 5.7     | 5.5 | 5.2 | 5.1        | 8.9  | 15.8 |
|                             | 0:30                  | 195      | 145 | 120 | 5.6     | 5.0 | 4.6 | 4.4        | 8.6  | 16.0 |
|                             | 15:15                 | 195      | 140 | 105 | 6.2     | 5.3 | 5.0 | 7.1        | 11.2 | 17.3 |
| 280                         | 0:0                   | 195      | 135 | 100 | 6.3     | 5.4 | 5.2 | 7.6        | 11.7 | 18.2 |
|                             | 60:0                  | 200      | 160 | 135 | 5.9     | 5.8 | 5.4 | 7.6        | 11.8 | 17.5 |
|                             | 0:30                  | 195      | 150 | 120 | 6.0     | 6.1 | 5.7 | 7.1        | 11.0 | 18.0 |
|                             | 15:15                 | 195      | 135 | 105 | 4.9     | 4.6 | 4.6 | 8.5        | 12.0 | 18.5 |
| 290                         | 0:0                   | 200      | 145 | 115 | 5.7     | 5.2 | 4.7 | 8.0        | 12.2 | 18.7 |
|                             | 60:0                  | 200      | 160 | 135 | 6.1     | 6.0 | 5.3 | 7.7        | 11.5 | 17.1 |
|                             | 0:30                  | 195      | 160 | 125 | 5.5     | 5.1 | 4.6 | 7.9        | 11.8 | 17.2 |
|                             | 15:15                 | 200      | 150 | 130 | 5.1     | 4.5 | 4.1 | 8.2        | 12.4 | 18.5 |
| 300                         | 0:0                   | 195      | 140 | 105 | 5.6     | 5.1 | 4.5 | 9.5        | 13.2 | 20.5 |
|                             | 60:0                  | 195      | 155 | 130 | 5.9     | 5.5 | 5.3 | 8.1        | 12.6 | 19.9 |
|                             | 0:30                  | 190      | 145 | 110 | 4.8     | 5.2 | 4.6 | 9.2        | 14.0 | 21.4 |
|                             | 15:15                 | 195      | 135 | 100 | 5.2     | 4.8 | 4.2 | 10.0       | 13.1 | 20.6 |
| 310                         | 0:0                   | 200      | 145 | 125 | 5.6     | 4.8 | 4.4 | 10.6       | 14.6 | 22.0 |
|                             | 60:0                  | 200      | 170 | 145 | 5.7     | 5.0 | 4.5 | 11.0       | 15.3 | 22.8 |
|                             | 0:30                  | 195      | 150 | 125 | 5.4     | 4.5 | 4.4 | 12.2       | 15.8 | 23.3 |
|                             | 15:15                 | 195      | 140 | 115 | 4.9     | 4.2 | 3.9 | 11.1       | 15.2 | 21.9 |
| 320                         | 0:0                   | 190      | 130 | 95  | 4.9     | 4.7 | 3.8 | 10.3       | 14.0 | 21.2 |
|                             | 60:0                  | 195      | 145 | 120 | 5.2     | 4.6 | 4.3 | 10.8       | 14.9 | 22.7 |
|                             | 0:30                  | 195      | 145 | 110 | 4.8     | 4.2 | 3.8 | 12.3       | 15.7 | 22.4 |
|                             | 15:15                 | 190      | 135 | 100 | 5.6     | 4.9 | 4.7 | 10.1       | 15.0 | 21.0 |
| 330                         | 0:0                   | 200      | 145 | 125 | 4.4     | 4.0 | 3.7 | 11.6       | 16.7 | 23.7 |
|                             | 60:0                  | 195      | 150 | 130 | 4.9     | 4.7 | 4.2 | 12.0       | 16.9 | 24.5 |
|                             | 0:30                  | 195      | 145 | 125 | 5.1     | 5.0 | 4.3 | 12.5       | 16.7 | 24.9 |
|                             | 15:15                 | 195      | 135 | 110 | 4.8     | 4.5 | 4.0 | 11.2       | 15.8 | 24.4 |
| 340                         | 0:0                   | 195      | 135 | 105 | 4.7     | 4.5 | 4.0 | 13.3       | 17.2 | 25.1 |
|                             | 60:0                  | 190      | 135 | 110 | 6.1     | 5.8 | 5.5 | 12.8       | 16.3 | 24.8 |
|                             | 0:30                  | 195      | 140 | 110 | 5.6     | 4.9 | 4.4 | 13.5       | 16.8 | 25.0 |
|                             | 15:15                 | 200      | 155 | 120 | 4.9     | 4.5 | 3.9 | 13.2       | 18.6 | 26.3 |

<표 2-7-1> 순환골재 콘크리트 실험 결과(계속)

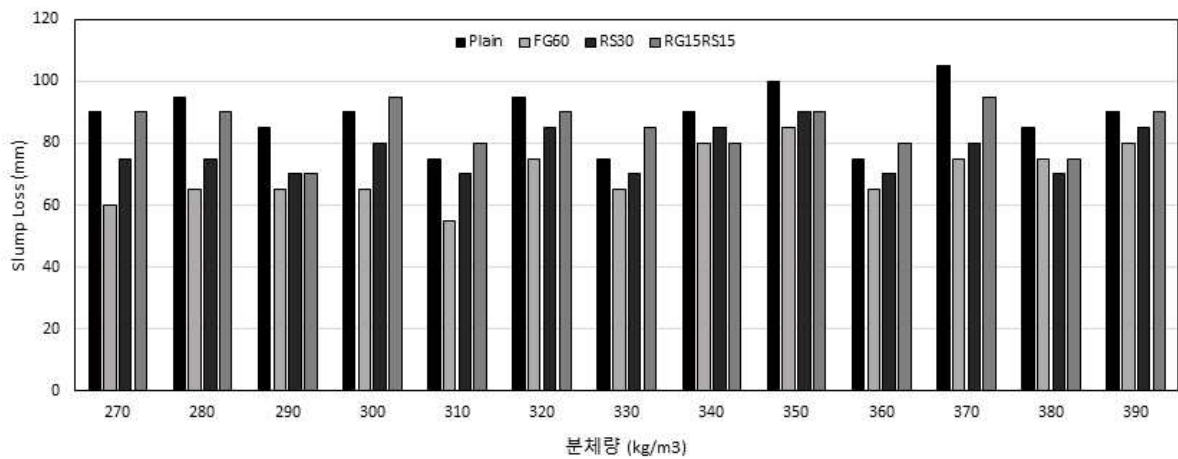
| 구 분            |                       | 슬럼프 (mm) |     |     | 공기량 (%) |     |     | 압축강도 (MPa) |      |      |
|----------------|-----------------------|----------|-----|-----|---------|-----|-----|------------|------|------|
| 분체량<br>(kg/m³) | 순환골재<br>치환율<br>G:S(%) | 0분       | 30분 | 60분 | 0분      | 30분 | 60분 | 3일         | 7일   | 28일  |
| 350            | 0:0                   | 195      | 130 | 95  | 4.2     | 3.5 | 3.3 | 15.0       | 20.4 | 27.6 |
|                | 60:0                  | 195      | 140 | 110 | 5.2     | 5.1 | 4.6 | 14.1       | 19.8 | 26.8 |
|                | 0:30                  | 195      | 135 | 105 | 4.4     | 4.6 | 4.1 | 13.1       | 19.6 | 25.7 |
|                | 15:15                 | 195      | 135 | 105 | 3.8     | 3.8 | 3.5 | 13.8       | 19.1 | 26.1 |
| 360            | 0:0                   | 200      | 150 | 125 | 3.5     | 3.0 | 2.6 | 14.2       | 20.6 | 27.4 |
|                | 60:0                  | 195      | 155 | 130 | 4.3     | 4.0 | 4.0 | 15.7       | 21.8 | 28.5 |
|                | 0:30                  | 190      | 145 | 120 | 3.8     | 3.2 | 2.9 | 16.1       | 21.1 | 28.1 |
|                | 15:15                 | 195      | 140 | 115 | 4.1     | 3.8 | 3.3 | 14.9       | 21.5 | 28.5 |
| 370            | 0:0                   | 190      | 120 | 85  | 3.2     | 2.8 | 2.8 | 17.3       | 22.5 | 29.8 |
|                | 60:0                  | 195      | 145 | 120 | 4.4     | 4.0 | 3.7 | 16.5       | 21.4 | 29.1 |
|                | 0:30                  | 195      | 145 | 115 | 3.8     | 3.6 | 3.5 | 19.3       | 23.8 | 30.7 |
|                | 15:15                 | 195      | 130 | 100 | 3.9     | 3.9 | 3.1 | 18.8       | 23.0 | 30.1 |
| 380            | 0:0                   | 195      | 140 | 110 | 3.8     | 3.2 | 3.0 | 16.5       | 23.1 | 32.0 |
|                | 60:0                  | 195      | 145 | 120 | 4.5     | 4.1 | 4.0 | 16.8       | 22.9 | 32.0 |
|                | 0:30                  | 190      | 135 | 120 | 4.0     | 3.6 | 3.5 | 18.0       | 24.6 | 34.0 |
|                | 15:15                 | 195      | 140 | 120 | 4.2     | 3.9 | 3.4 | 17.0       | 23.4 | 33.6 |
| 390            | 0:0                   | 195      | 135 | 105 | 3.7     | 3.3 | 3.1 | 18.7       | 26.8 | 35.4 |
|                | 60:0                  | 195      | 145 | 115 | 4.8     | 4.3 | 4.0 | 17.7       | 25.3 | 34.9 |
|                | 0:30                  | 195      | 135 | 110 | 4.2     | 4.0 | 3.9 | 20.0       | 29.7 | 36.6 |
|                | 15:15                 | 190      | 130 | 100 | 4.4     | 4.1 | 4.0 | 20.2       | 29.2 | 35.9 |

#### 가) 슬럼프 경시변화

- 각 분체량별 시간의 경과에 따른 슬럼프는 30분 경과시 최대 170mm에서 최소 120mm로 나타났으며, 60분 경과시 최대 145mm, 최소 85mm로 나타났으며, 콘크리트 슬럼프 1시간 후 기준인 80mm에 모두 만족하는 것으로 나타났다.
- Plain 배합 대비 시간 경과에 따른 슬럼프 변화는 순환골재 치환시 전반적으로 양호한 것으로 나타났으며, 순환 굵은골재 60% 치환 배합이 전반적으로 가장 큰 슬럼프 저하를 보이는 것으로 나타났다.
- 위의 결과를 토대로 초기 및 60분 경시변화 후 슬럼프는 기준 값에 만족하는 것으로 나타났으며, 순환골재 사용에 따른 슬럼프 저감이 낮아지는 것으로 나타나 순환골재를 콘크리트용 골재로 적용 시 슬럼프에 대한 문제는 없는 것으로 판단된다.



a) 경시 30분

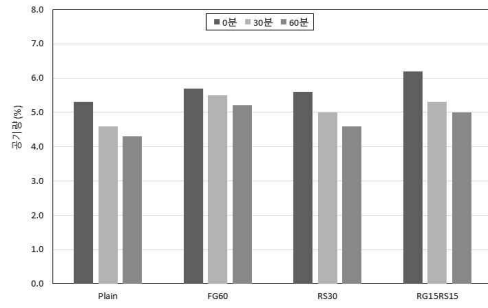


b) 경시 60분

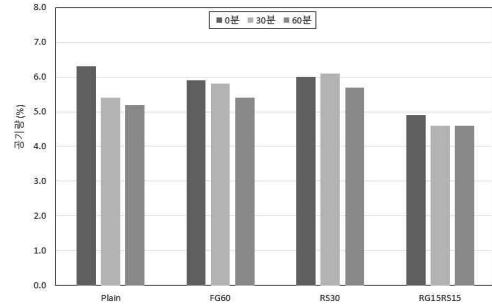
[그림 2-7-1] 슬럼프 측정 결과

## 나) 공기량

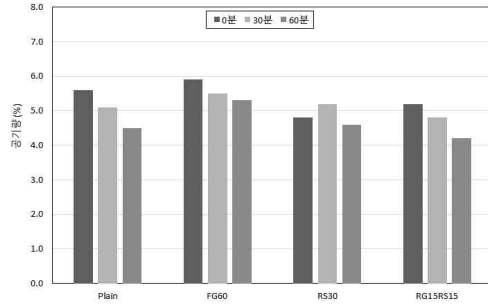
- 전 배합에서 초기 공기량의 경우 최대 6.3%, 최소 3.2%로 나타났으며, 대부분의 배합에서 기준인  $5.0 \pm 1.5\%$ 에 만족하는 것으로 나타남.
- 경시변화에 따른 공기량은 전 배합에서 평균 약 0.8%p의 공기량 저감이 나타났으나 초기대비 저감수준은 Plain과 유사한 수준으로 초기 공기량 확보시 공기량의 경시변화에는 문제가 없을 것으로 판단됨.



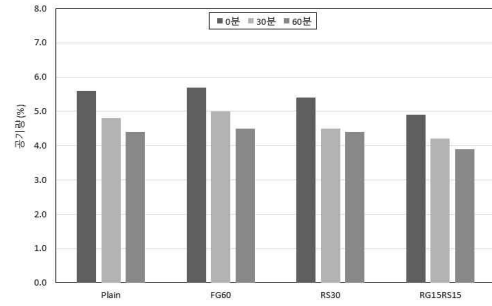
a) 분체량 - 270kg/m³



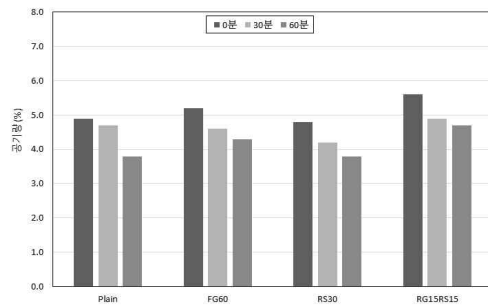
b) 분체량 - 280kg/m³



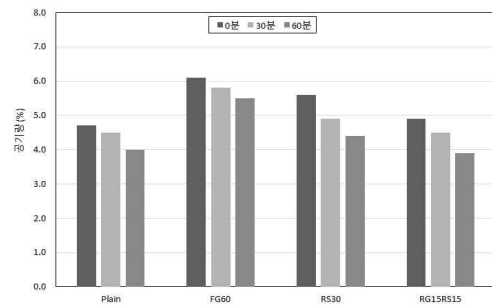
c) 분체량 - 300kg/m³



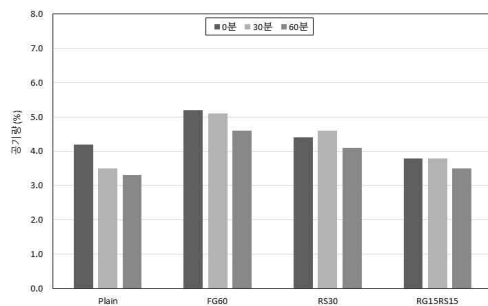
d) 분체량 - 310kg/m³



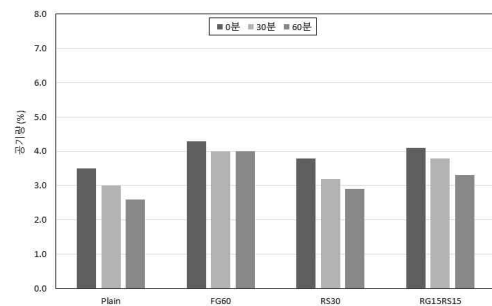
e) 분체량 - 320kg/m³



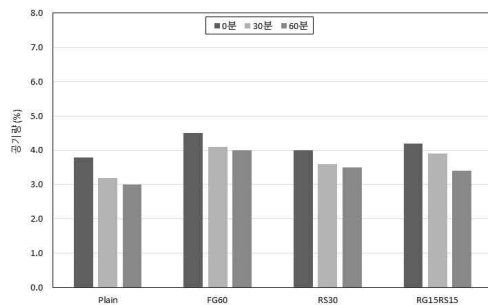
f) 분체량 - 340kg/m³



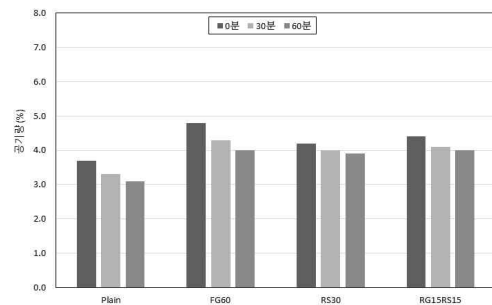
g) 분체량 - 350kg/m³



h) 분체량 - 360kg/m³



g) 분체량 - 380kg/m³

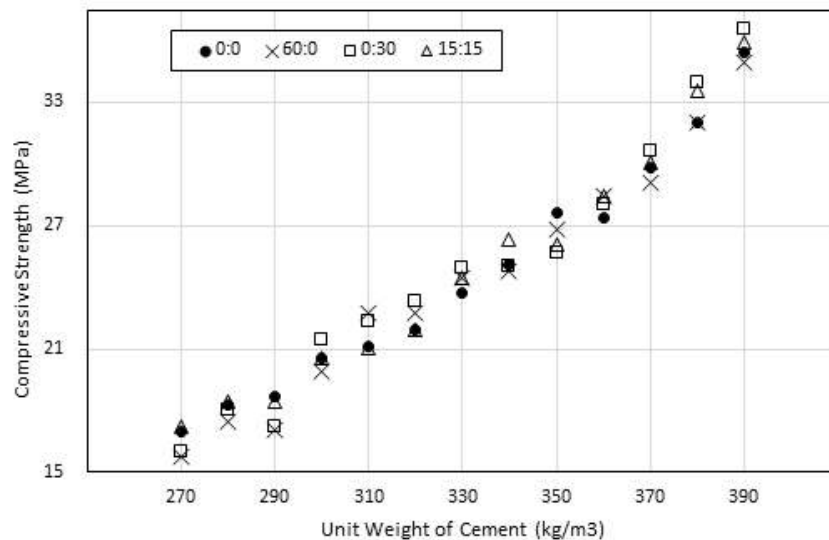


h) 분체량 - 390kg/m³

[그림 2-7-2] 분체량에 따른 공기량 측정 결과

## 다) 압축강도

- 순환골재 콘크리트의 분체량을 270kg/m<sup>3</sup>부터 단계적으로 10kg/m<sup>3</sup> 증가시켜 최대 390kg/m<sup>3</sup>로 하였으며, 단위수량은 146kg/m<sup>3</sup>으로 고정하여 실험을 실시하였으며 그 결과는 <그림 2-7-3>과 같다.
- 압축강도 측정 결과 분체량이 증가할수록 강도는 높아지는 것으로 나타났으며, 이는 단위수량 고정 대비 분체량 증가에 따른 물시멘트비 증가로 인한 강도상승으로 판단된다.
- 순환 굵은골재 60% 치환의 경우 전반적으로 Plain 배합과 유사하거나 다소 낮은 강도를 보이는 것으로 나타났다.
- 순환 잔골재 30% 치환의 경우 전반적으로 Plain 배합보다 높은 강도를 보이는 것으로 나타났다.
- 순환 굵은골재 15% 및 순환 잔골재 15%를 치환한 경우 Plain 배합과 유사한 강도를 보이는 것으로 나타났다.
- 순환골재 콘크리트의 경우 18~30MPa은 일반 콘크리트와 동등하거나 적은 분체사용으로 목표강도의 달성이 가능한 것으로 나타났다.



[그림 2-7-3] 분체량에 따른 압축강도 측정 결과

<표 2-7-5> 순환골재 콘크리트 최적 배합 분체량

| 구분              | 강도별 시멘트 최적 분체량 (kg/m³) |        |        |        |        |
|-----------------|------------------------|--------|--------|--------|--------|
|                 | 18 MPa                 | 21 MPa | 24 MPa | 27 MPa | 30 MPa |
| 일반콘크리트          | 280                    | 310    | 340    | 360    | 380    |
| 순환 굵은골재 60% 치환  | 300                    | 310    | 330    | 360    | 380    |
| 순환 잔골재 30% 치환   | 280                    | 300    | 330    | 360    | 370    |
| 순환골재 15%:15% 치환 | 280                    | 310    | 330    | 360    | 370    |

## (2) 순환골재 콘크리트 B/P생산 및 Mock-up Test

- 순환골재 콘크리트 강도별 최적 배합 실험을 토대로, 순환골재를 사용한 콘크리트의 B/P 생산 및 Mock-Up Test를 진행하여 순환골재의 실제 생산 및 건축물 적용에 따른 특성을 검토하였다.
- 이렇게 도출된 데이터를 통해 순환골재의 사용 활성화 및 콘크리트용 골재로서의 사용 가능 여부를 평가하였으며, 도출된 데이터의 활용으로 인해 순환골재의 사용 활성화에 기여하고자 하였다.

### (가) 실험개요

#### 1) 실험계획

- 목표압축강도 24MPa, 30MPa로 하는 순환 굵은골재 60% 및 순환 잔골재 30% 치환한 배합을 선정하여 순환골재 콘크리트의 B/P생산 및 Mock-Up Test를 실시하였다. 실험항목으로 경화 전 콘크리트 실험으로 슬럼프, 공기량을 측정하였으며, 슬럼프 기준  $200 \pm 15$  mm, 공기량  $5.0 \pm 1.5\%$ 를 기준으로 진행하였다. 또한 경화 후 실험으로 재령 3, 7 및 28일에 대한 압축강도를 측정하였으며, Mock-Up 시험체에 코어 시험체를 재령 28일에 채취하여 압축강도를 측정하였다.

<표 2-7-6> Mock-Up Test 실험계획

| 구분      | 목표강도      | 순환 굵은골재 치환율 (%) | 순환 잔골재 치환율 (%) | 실험 인자                       | 실험 수준            |
|---------|-----------|-----------------|----------------|-----------------------------|------------------|
| 일반 콘크리트 | 24, 30MPa | 0               | 0              | 슬럼프 (mm)                    | $200 \pm 15$     |
| 순환 잔골재  |           | 0               | 30             | 공기량 (%)                     | $5.0 \pm 1.5$    |
| 순환 굵은골재 |           | 60              | 0              | 압축강도 (MPa)<br>코어 압축강도 (MPa) | 3, 7, 28일<br>28일 |

#### 2) 사용재료 및 배합

- 사용재료는 시멘트, 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 바인더로 사용하고, 천연잔골재는 세척사, 천연굵은골재는 채석, 순환골재는 콘크리트용 순환골재 품질기준에 적합한 H사의 순환 잔골재 및 순환 굵은골재를 사용하였다. 혼화제는 고성능감수제를 사용하였다.
- 목표강도 24, 30MPa를 기준으로 Plain, 순환 잔골재 30%, 순환 굵은골재 60%를 치환하며, 30MPa의 물/바인더비는 42%, 잔골재율 48%를 적용하였으며, 24MPa에서 물/바인더비 50%, 잔골재율 51%를 적용하였다.

### 3) Mock-Up 부재 제작 및 코어 채취

- Mock-Up 부재는 기둥과 벽체를 모사한 형태로 제작
- Plain, RS30%, RG60% 각각 2수준 씩 총 6개 제작
- 거푸집을 이용하여 형틀을 제작하였으며, 코어 채취 후 압축강도 측정



a) Mock-Up 형틀 제작



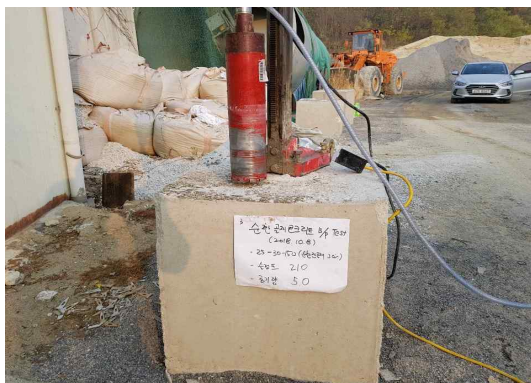
b) 순환골재 콘크리트 타설



c) Mock-Up 부재



d) Plain (30MPa) - 코어채취



e) RS30% (30MPa) - 코어채취



f) RG60 (24MPa) - 코어채취

[그림 2-7-4] Mock-Up test 현황

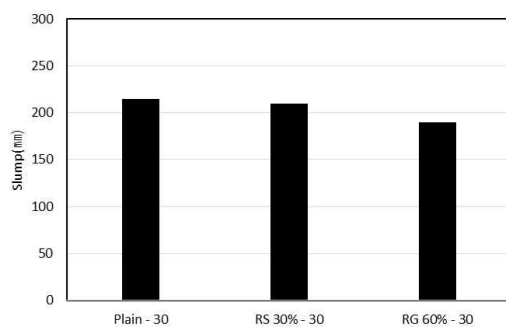
## (나) 실험결과

<표 2-7-7> 순환골재 콘크리트 실험결과

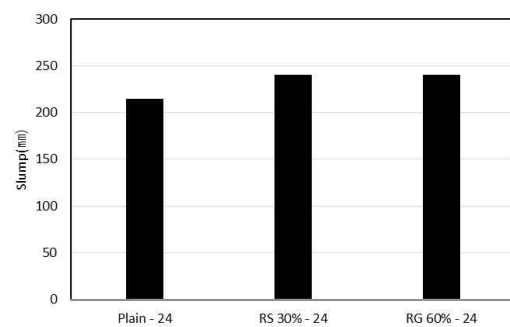
| 규격        |        | 슬럼프<br>(mm) | 공기량<br>(%) | 압축강도 (MPa) |      |      |         |
|-----------|--------|-------------|------------|------------|------|------|---------|
|           |        |             |            | 3일         | 7일   | 28일  | 코어(28일) |
| 25-30-150 | Plain  | 215         | 6.0        | 15.8       | 24.1 | 31.5 | 30.4    |
|           | RS 30% | 210         | 5.0        | 17.3       | 25.9 | 35.0 | 34.1    |
|           | RG 60% | 190         | 5.5        | 16.6       | 23.2 | 33.0 | 31.1    |
| 25-24-150 | Plain  | 215         | 5.6        | 10.2       | 18.6 | 25.0 | 23.9    |
|           | RS 30% | 240         | 6.2        | 9.4        | 16.2 | 23.7 | 24.5    |
|           | RG 60% | 240         | 5.7        | 10.8       | 17.7 | 24.0 | 22.8    |

### 1) 슬럼프

- 순환골재 콘크리트 B/P 생산 후 슬럼프 측정을 하였으며, 목표강도 30MPa의 경우 기준인  $200 \pm 15\text{mm}$ 에 만족하는 결과를 나타냄
- 목표강도 24MPa의 경우 일반 배합을 제외한 순환골재 치환 시 슬럼프 측정 결과 240mm로 나타남.
- 이는 순환골재를 콘크리트용 골재로서 사용 시 골재 함수율 및 표면수의 관리가 필요할 것으로 사료됨.



a) 30MPa

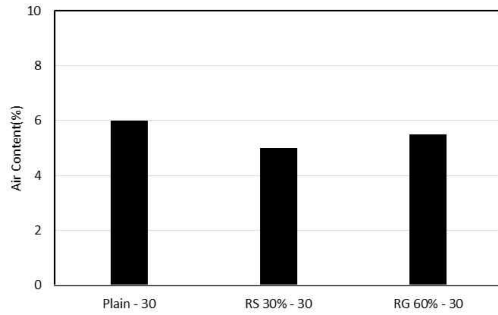


b) 24MPa

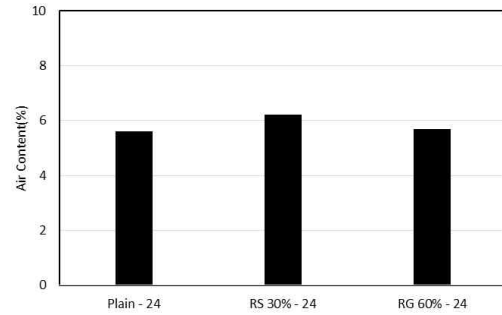
[그림 2-7-5] 슬럼프 측정 결과

### 2) 공기량

- 공기량 측정 결과 목표강도 30, 24MPa 전 배합에서 기준인  $5.0 \pm 1.5\%$ 에 만족하는 결과를 나타냄.
- 이는 순환골재를 「순환골재 품질기준」에 따른 최대 치환율 적용 시 일반 콘크리트와 동등한 공기량을 나타내 문제가 없을 것으로 판단됨.



a) 30MPa

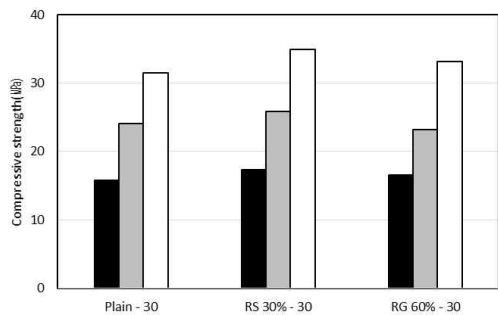


b) 24MPa

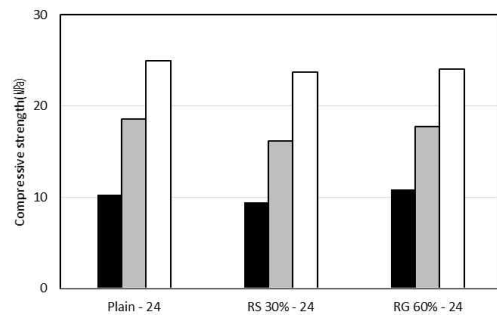
[그림 2-7-6] 공기량 측정 결과

### 3) 압축강도

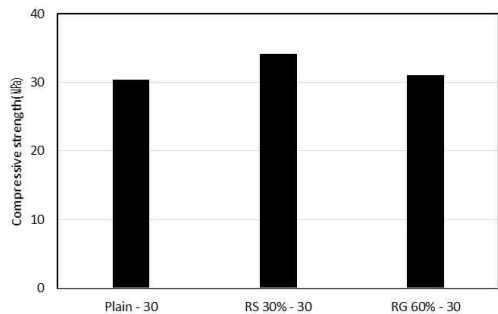
- 목표강도 30MPa의 28일 강도의 경우 Plain - 30.4MPa, RS30% - 34.1MPa, RG60% - 31.1MPa로 나타났으며, 순환골재 치환 시 목표강도 발현이 가능한 것으로 나타남.
- 목표강도 24MPa의 28일 강도의 경우 Plain - 23.9MPa, RS30% - 24.5MPa, RG60% - 22.8MPa로 나타났으며, Plain 대비 동등한 강도발현이 나타남.
- 순환골재 콘크리트 B/P 생산에 따른 압축강도 측정 결과 목표강도 30, 24MPa에서 순환 잔골재 30% 치환(RS30) 시 Plain 대비 압축강도 발현이 높은 것으로 나타남
- 코어압축강도의 경우 공시체 압축강도와 비슷한 양상을 나타냈으며, 순환 잔골재 30% 치환 시 Plain 대비 압축강도 발현이 높은 것으로 나타남



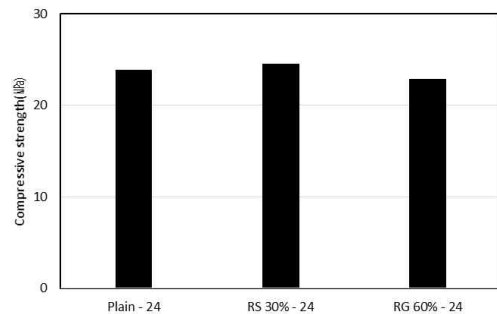
a) 30MPa



b) 24MPa



c) 30MPa(코어)



d) 24MPa(코어)

[그림 2-7-7] 압축강도 측정 결과 (30MPa)

## 아. 순환골재 콘크리트 실증사례 구축

### (1) 순환 잔골재 대량 활용(60% 이상) 콘크리트 현장 적용

#### (가) 현장개요

- 대지위치 : 경기도 화성시 우정읍 조암리 69-18번지
- 건물규모 : 지상 2층, 3개동
- 건물구조 : 철근콘크리트 구조
- 연면적 : 134 m<sup>2</sup>/동
- 건축면적 : 87 m<sup>2</sup>/동



a) 적용 건축물(안)



b) 도면



c) 1동 대지 전경



d) 2동 대지 전경

[그림 2-8-1] 현장 적용 부지 현황

## (나) 현장적용 및 실험 계획

1) 적용 건물 및 콘크리트 종류 : 총 3개동 (철근콘크리트구조)

- A동 : 일반콘크리트
- B동 : 순환 잔골재 30% 사용 콘크리트(일반혼화제), 순환 잔골재 30% 사용 콘크리트 (수축저감제)
- C동 : 순환 잔골재 60% 사용 콘크리트(일반혼화제), 순환 잔골재 60% 사용 콘크리트 (수축저감제)

2) 타설시기 : 2019년 7월 17일 ~ 8월 18일

3) 순환골재 종류 및 사용율 : 순환 잔골재 최대 60% 사용 콘크리트 (25-24-150)

4) 실험항목 : 슬럼프, 공기량, 압축강도, 건조수축(길이변화)



a) 시범적용 현장 1층 타설 (1)



b) 시범적용 현장 1층 타설 (2)



c) 시범적용 현장 2층 타설 (1)



d) 시범적용 현장 2층 타설 (2)

[그림 2-8-2] 순환골재 콘크리트 현장 적용 공사 현황

## 5) 현장 적용 콘크리트 배합

○ 본 시범적용 현장에 적용한 콘크리트의 배합표는 아래와 같다.

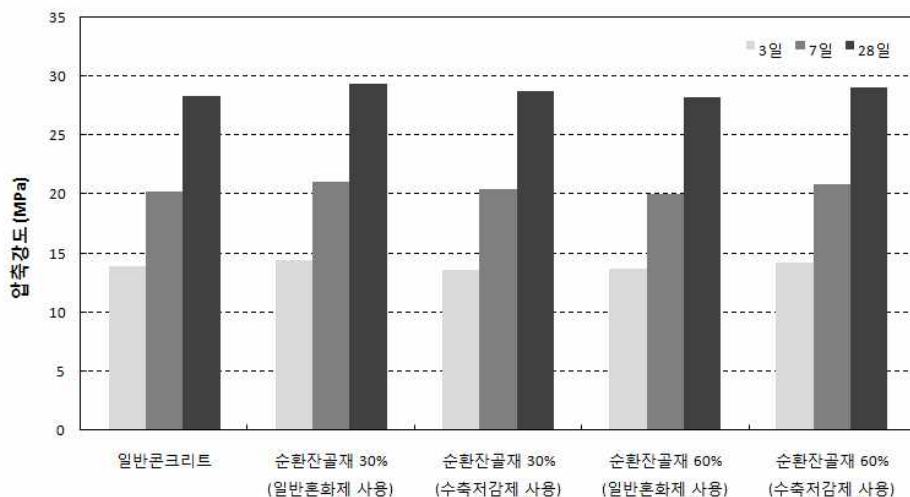
〈표〉 실험배합표

| 구분         | W/C (%) | S/A (%) | 질량배합 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |      |      |      |       |
|------------|---------|---------|---------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|
|            |         |         | 사용수                       | 시멘트 | 잔골재 |      | 굵은골재 | 혼화제  |       |
|            |         |         |                           |     | 쇄사  | 순환골재 |      |      |       |
| 일반콘크리트     | 47.5    | 49.8    | 156                       | 330 | 916 | 0    | 916  | 2.31 | -     |
| 순환 잔골재 30% | 44.0    | 47.0    | 146                       | 330 | 620 | 240  | 992  | 2.31 | 수축저감제 |
| 순환 잔골재 60% | 46.2    | 48.5    | 159                       | 345 | 356 | 482  | 939  | 2.31 | 수축저감제 |

## (다) 현장 적용 결과

### 1) 압축강도

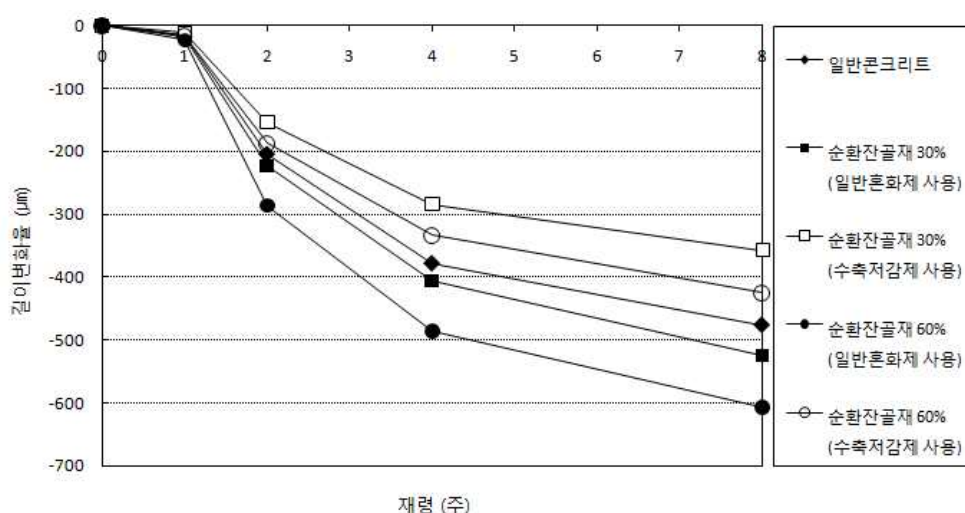
- 본 실험의 압축강도는 전 배합에서 유사한 결과를 나타내었다.
- 순환 잔골재 30 및 60% 사용 콘크리트(일반혼화제, 수축저감제)의 재령 28일 압축강도는 29.4, 28.8, 28.3, 29.1 MPa로 일반콘크리트의 재령 28일 압축강도 28.4 MPa와 동등한 수준을 나타내었으며, 수축저감제를 사용한 콘크리트에서의 차이도 미미하였다.
- 이에 양질의 순환 잔골재를 60%까지 사용하여도 물성 뿐만 아니라 압축강도에도 영향이 미미한 것으로 분석되어 순환 잔골재 60% 사용이 가능할 것으로 판단된다.



[그림 2-8-3] 일반 및 순환골재 콘크리트의 압축강도

## 2) 건조수축

- 콘크리트의 건조수축에 대해 알아보기 위한 길이변화 실험결과는 아래와 같다.
- 타설 후 1주는 순환 잔골재의 투입은 길이변화에 영향을 주지않는 것으로 나타났으며, 수축저감제를 사용하는 경우 길이변화가 미미하지만 다소 감소하는 것으로 나타났다.그러나 2주 이후부터는 일반혼화제를 사용하여 제조한 순환 잔골재 콘크리트가 건조수축이 증가되는 경향을 나타내었는데, 재령 8주에서 순환 잔골재 30% 콘크리트(일반혼화제)의 경우 약 9%, 순환 잔골재 60% 콘크리트(일반혼화제)의 경우 약 22% 정도 건조수축이 증가하였다.
- 이는 순환 잔골재 표면에 부착되어 있는 시멘트 모르타르의 공극 내에 함유되어 있던 물이 양생 초기에 콘크리트 내로 방출되고 방출된 물이 증발되면서 콘크리트 내 간극수가 증가됨에 따라 건조수축이 증가된 것으로 판단된다.
- 반면, 수축저감제를 사용한 순환 잔골재 콘크리트는 건조수축이 개선되는 결과를 나타내었다. 순환 잔골재 30% 콘크리트에서 일반혼화제와 수축저감제 혼화제를 사용 시 약 32%의 건조수축 개선 효과를 나타내었고 순환 잔골재 60% 콘크리트에서 일반혼화제와 수축저감제 혼화제를 사용 시에도 약 30%의 건조수축 개선 효과를 나타내었다. 또한 일반콘크리트하고 비교하였을 때도 순환 잔골재 30% 콘크리트(수축저감제)가 약 25%, 순환 잔골재 60% 콘크리트(수축저감제)가 약 11%의 건조수축 개선 효과를 나타내었다.
- 이와 같이 수축저감제 혼화제를 사용할 경우 건조수축을 개선할 수 있었던 것은 수축저감제 혼화제에 함유되어 있는 팽창제가 콘크리트의 건조수축을 억제하는 역할을 했기 때문이다.



[그림 2-8-4] 일반 및 순환골재 콘크리트의 길이변화

## (2) 현장 적용 순환골재 콘크리트의 건조수축 및 균열 특성 실험

### (가) 실험 계획 및 방법

- 현장 적용된 순환골재 콘크리트에 대해 건조수축 및 균열 특성에 대한 평가로서, 구속 건조수축 실험은 ASTM C-1581에 따라 강재 링을 활용하여 구속 변형률 및 균열 시점을 측정하였으며, 비구속 건조수축 실험은 KS F 2595에 따라 양생기간에 따른 건조수축 거동을 확인하였다.

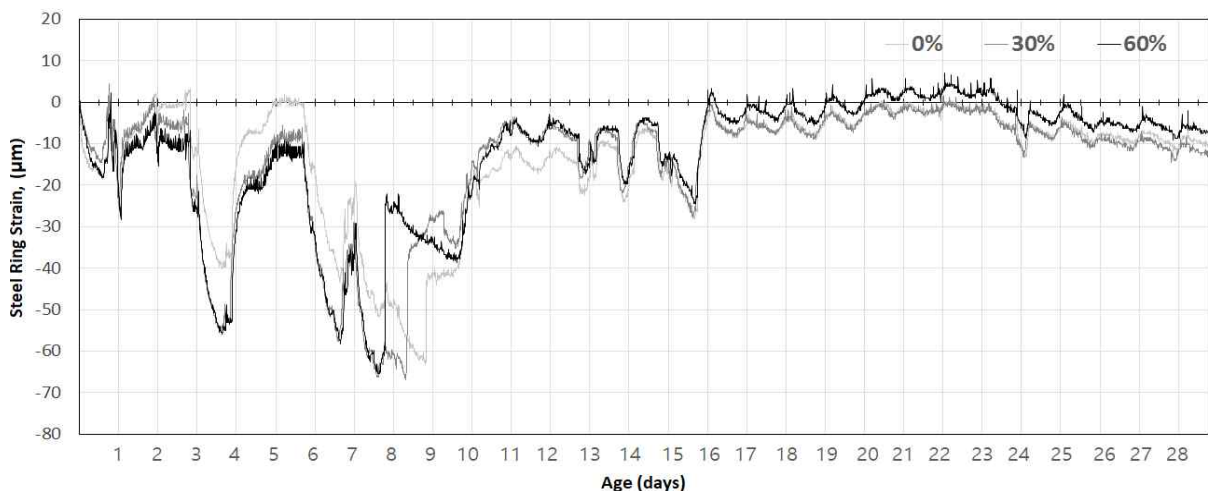


[그림 2-8-5] 건조수축 및 균열 특성 실험 전경

### (나) 실험 결과

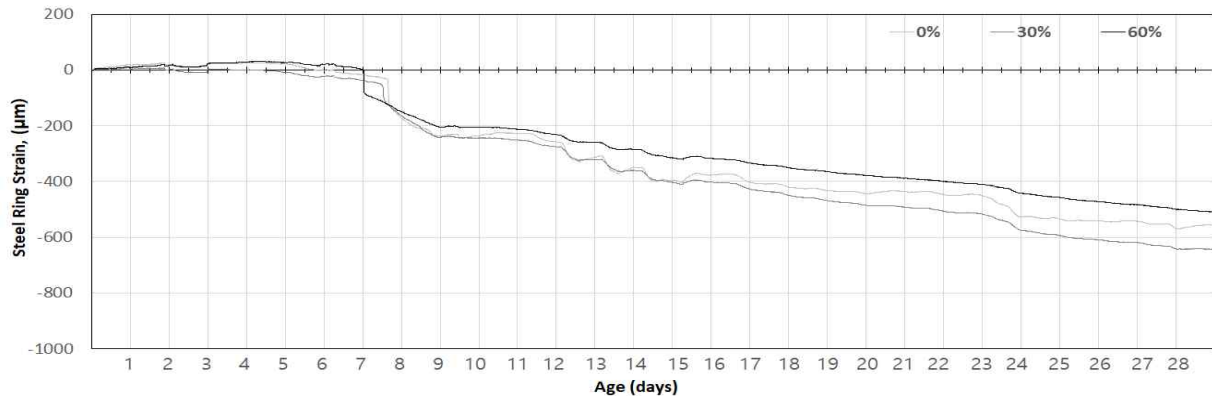
#### 1) 구속 건조수축 실험 결과

- [그림 2-8-6]은 순환 잔골재 혼입률 0%, 30%, 60%에 따른 내부 강재 링의 구속 건조수축 변형률 측정결과를 각각 평균하여 나타낸 것이다.
- 혼입률 0%일 때 약 8.9일, 30%일 때 약 8.4일, 60%일 때 약 7.9일 경과 후 균열이 발생하였으며, 순환 잔골재 혼입률이 0%일 때의 균열 발생시점을 1.00으로 가정하면, 혼입률 60%일 때 균열 발생은 약 0.89 지점, 혼입률 30%일 때 균열 발생은 약 0.94 지점으로, 순환 잔골재 사용에 따른 균열 발생 시점에는 큰 차이가 없는 것으로 확인되었다.



[그림 2-8-6] 순환 잔골재 혼입률에 따른 구속 건조수축 변형률 측정결과(내부 강재 링)

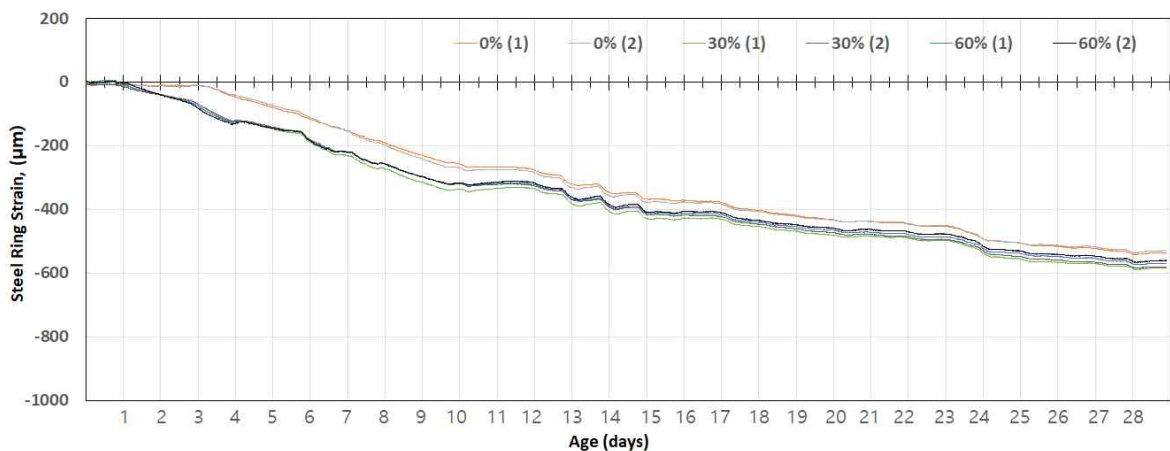
- [그림 2-8-6]은 혼입률 0, 30, 60%에 따른 변형률 측정결과를 비교하여 나타낸 것이다.
- 콘크리트 표면에서도 역시 순환 잔골재 혼입률이 0%일 때에 비해 혼입률 60%일 때 균열 발생은 약 0.92 지점, 혼입률 30%일 때 균열 발생은 무려 약 0.98 지점으로, 순환 잔골재 사용에 따른 균열 발생 시점에는 큰 영향이 없는 것으로 확인되었다.



[그림 2-8-7] 순환 잔골재 혼입률에 따른 구속 건조수축 변형률 측정결과(콘크리트 표면)

## 2) 비구속 건조수축 실험 결과 (길이변화)

- 비구속 건조수축 실험에 따른 재령 28일동안의 각 시험편 길이변화는 순환 잔골재 혼입률이 0%일 때  $-535.62\mu\text{m}$ ,  $-528.24\mu\text{m}$ 이었으며, 혼입률 30%일 때  $-583.02\mu\text{m}$ ,  $-579.76\mu\text{m}$ 을 나타내었고, 혼입률 60%일 때  $-568.79\mu\text{m}$ ,  $-561.32\mu\text{m}$ 을 나타내었다.
- 순환 잔골재 혼입률이 0, 30, 60%일 때 재령 28일 평균 변형률은 각각  $-531.93\mu\text{m}$ ,  $-581.39\mu\text{m}$ ,  $-565.05\mu\text{m}$ 로 순환 잔골재를 30% 및 60% 사용시 최대 변형률은  $50\mu\text{m}$  미만으로 그 차이는 미미한 것으로 나타났다.
- 따라서, 콘크리트의 건조수축 및 균열 발생 측면에서, 순환 잔골재 60%까지 적용하는 순환골재 콘크리트의 현장 적용은 무리가 없을 것으로 판단된다.



[그림 2-8-8] 순환 잔골재 혼입율에 따른 비구속 건조수축 변형률 측정결과

## 자. 순환골재 콘크리트의 내구성 평가

### (1) 실험 개요

- 순환골재 콘크리트에 대한 내구성 평가는 콘크리트의 밀실도, 염해, 탄산화, 동결융해 등을 통해 평가하였으며, 사용된 골재 및 배합은 다음 <표 2-9-1> 및 <표 2-9-2>와 같음.

<표 2-9-1> 골재의 물리적 성질

| 구분                     | 천연<br>굵은 골재 | 천연<br>잔골재 | 개질 전    |        | 개질 후    |        |
|------------------------|-------------|-----------|---------|--------|---------|--------|
|                        |             |           | 순환 굵은골재 | 순환 잔골재 | 순환 굵은골재 | 순환 잔골재 |
| 골재 치수(mm)              | <13         | <5        | <13     | <5     | <13     | <5     |
| 밀도(g/cm <sup>3</sup> ) | 2.66        | 2.6       | 2.48    | 2.34   | 2.54    | 2.44   |
| 흡수율(%)                 | 0.66        | 1.4       | 3.95    | 3.9    | 3.3     | 3.6    |

<표 2-9-2> 순환골재 콘크리트 내구성 평가 실험 배합

| 단위시멘트량<br>(kg) | 단위수량<br>(kg) | W/C<br>(%) | S/A<br>(%) | 순환 굵은골재<br>치환율 (%) | 순환 잔골재<br>치환율 (%) | 순환 잔골재<br>유형 |
|----------------|--------------|------------|------------|--------------------|-------------------|--------------|
| 345            | 152          | 44.0       | 48.8       | 0, 30, 60, 100     | 0, 30, 60         | 개질 전, 후      |

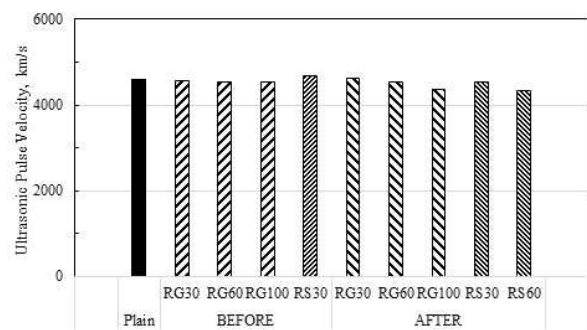
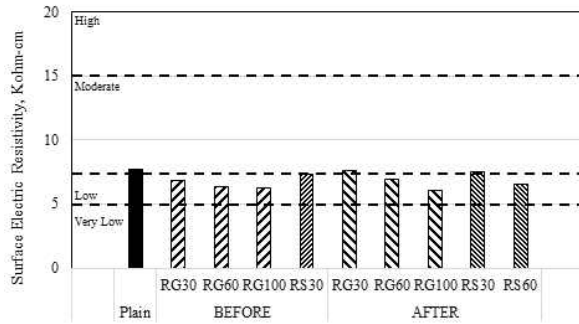
### (2) 순환골재 콘크리트의 밀실도 평가

#### (가) 표면전기저항성

- 개질 전 및 개질 순환골재 적용 콘크리트의 표면전기 저항성은 재령에 관계없이 배합별로 유사한 경향을 나타냄.
- 개질 전·후 순환골재 적용에 따른 콘크리트의 표면전기저항성은 개질 후 다소 증가하는 것으로 나타남.

#### (나) 초음파펄스속도

- 콘크리트 내부의 밀실도 측정을 위한 초음파 펄스 속도 측정 결과, 순환골재 콘크리트는 재령에 관계없이 4000m/s이상의 초음파 펄스 속도를 나타내었으며, 콘크리트의 초음파 펄스 속도는 순환골재 치환 및 품질에 관계없이 유사하게 나타나는 것으로 조사됨.
- 이를 통해 순환골재의 사용함으로 인해 콘크리트의 밀실도를 저하시킬 수 있는 내부공극, 균열 등이 발생하지 않음을 확인함.



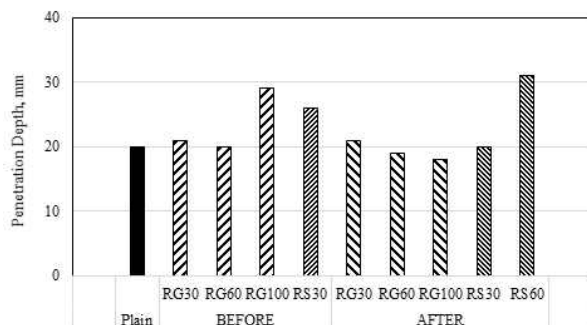
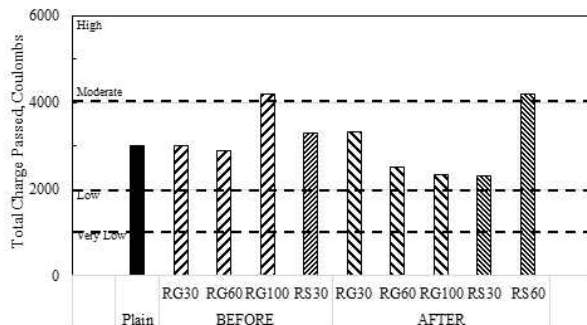
\*RG:순환 굵은골재, RS : 순환 잔골재

[그림 2-9-1] 콘크리트의 표면전기저항성 [그림 2-9-2] 콘크리트의 초음파 펄스 속도

### (3) 염해 내구성

#### (가) 염소이온 침투저항성

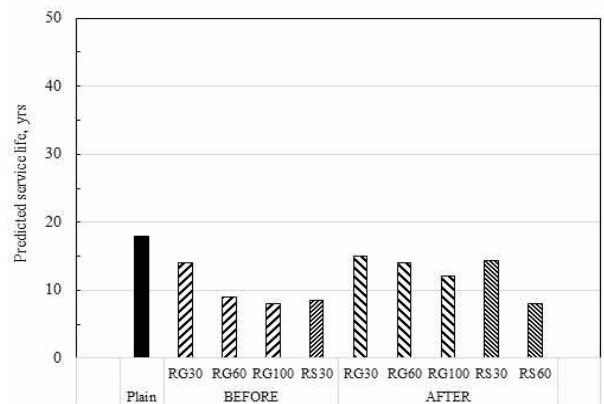
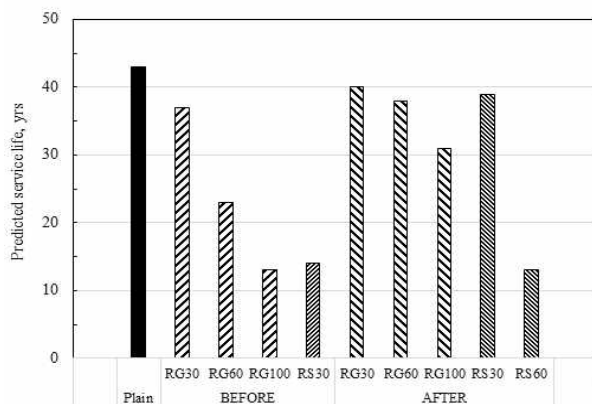
- 콘크리트의 내구성 평가 중 염해 내구성은 총 통과전하량 및 염소이온 침투깊이를 측정하여 확인함.
- 순환골재의 재령 28일 총 통과전하량을 측정한 결과, 개질 전 순환 굵은골재를 100% 치환한 RG100 및 개질 순환 잔골재 60% 치환한 RS60 배합이 ‘High’ 영역으로 염소이온 침투저항성이 낮게 나타났으나, 그 외 배합은 ‘Moderate’ 수준인 것으로 나타남.
- 개질 전, 후 순환골재 적용 콘크리트를 비교하면, 개질 후 콘크리트가 전반적으로 낮은 통과전하량을 보여 염소이온 침투 저항성이 향상되었음.
- 염소이온의 침투깊이 측정 결과는 총 통과전하량의 결과와 전반적으로 유사한 경향을 나타냄.
- 염소이온의 침투깊이를 측정한 결과, 개질 전 RG100, RS30 및 개질 후 RS60 배합의 매우 높은 침투깊이를 보였으며, 그 외 배합은 Plain 배합과 유사한 수준을 나타냈음.



[그림 2-9-3] 콘크리트의 통과전하량 [그림 2-9-4] 콘크리트의 염소이온 침투깊이

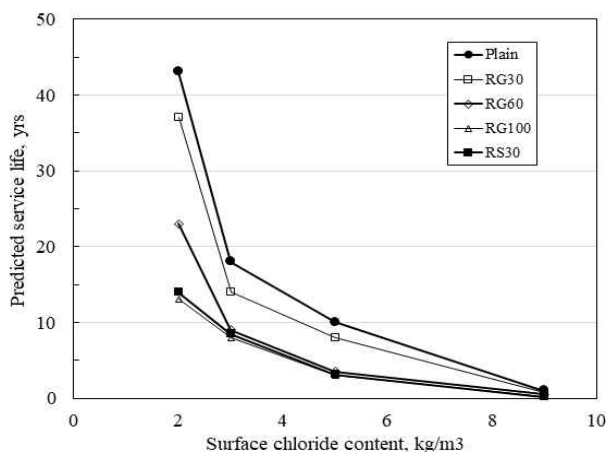
## (나) 염해 내구성 예측

- 비말대 조건 및 해안가로부터 100 ~ 500m 떨어진 철근콘크리트 구조물의 염해에 의한 내구성 예측결과, 개질 전 순환골재 사용 콘크리트의 내구수명은 개질 후 순환골재 사용 콘크리트에 비하여 작게 나타났으며, 이러한 결과는 순환골재 대체율이 증가함에 따라 더욱 뚜렷하게 나타남.
- 표면 염화물량에 따른 개질 전 순환골재 사용 콘크리트의 내구성 예측 결과, 순환골재의 대체율이 증가함에 따라 내구수명은 현저하게 감소하였음.
- 개질 순환 잔골재를 사용한 RG60 및 RS30 배합까지는 콘크리트의 내구수명의 저하가 크지 않았으나, RG100의 경우 20%, RS60의 70% 이상 감소하는 것으로 나타남.
- 내구성 저하가 우려되는 해양환경에서는 콘크리트용 순환골재로 순환 굵은 골재의 경우 60%, 개질 순환 잔골재의 경우 30%까지 적용하는 경우, 천연골재 콘크리트와 유사한 내구성능을 확보할 수 있을 것으로 평가됨.

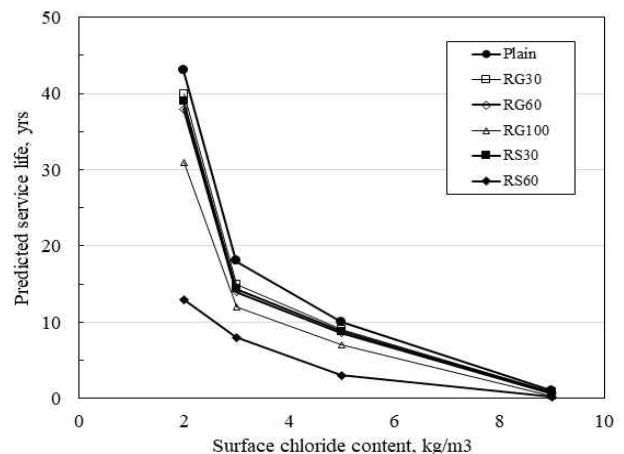


[그림 2-9-5] 순환골재 콘크리트의 내구성 예측 (해안 이격거리 500m,  $C_0 = 2.0 \text{ kg/m}^3$ )

[그림 2-9-6] 순환골재 콘크리트의 내구성 예측 (해안 이격거리 250m,  $C_0 = 3.0 \text{ kg/m}^3$ )



a) 개질 전 순환골재

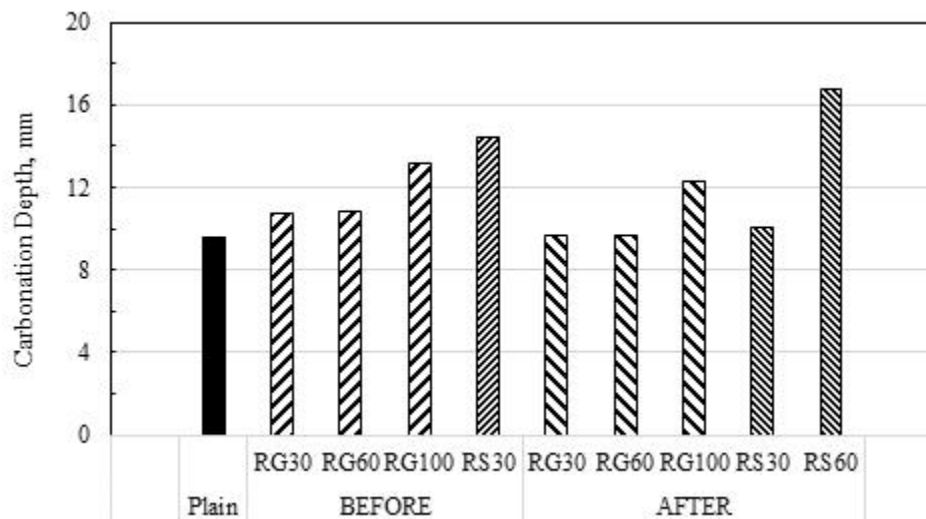


b) 개질 후 순환골재

[그림 2-9-7] 표면염화물량에 따른 순환골재 콘크리트의 내구성 예측(피복 두께: 100 mm)

#### (4) 탄산화 저항성

- 순환골재 콘크리트의 탄산화 깊이는 순환골재의 대체율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며, 순환골재의 개질에 따라 탄산화 침투깊이가 낮아지는 것으로 나타남.
- 순환 굵은골재 100% 치환, 개질 전 순환 잔골재 30% 치환, 개질 순환 잔골재 60% 치환의 경우, Plain 배합에 비해 낮은 탄산화 저항성을 보였으며, 개질 순환골재의 경우 개질 순환 굵은골재 60%, 개질 순환 잔골재 30%까지의 치환은 천연골재 콘크리트와 유사한 수준의 탄산화저항성이 있는 것으로 판단됨.



[그림 2-9-8] 콘크리트의 탄산화 침투깊이

#### (5) 동결융해저항성

- 동결융해 작용을 받은 순환골재 콘크리트의 상대 동탄성계수를 측정한 결과, 개질 전 순환골재를 사용한 RG100 및 RS30의 경우 150cycle에서 60%이하로 나타나 매우 낮은 동결융해저항성을 갖는 것으로 나타남.
- 개질 순환골재를 사용한 순환골재 콘크리트는 전반적으로 동결융해저항성이 상승하는 것으로 나타남.
- 개질 후 RG30, RG60 및 RS30의 경우 Plain 배합과 유사한 수준을 나타냈으며, RG100, RS60의 경우에도 180cycle까지는 60%를 넘지 않았음.

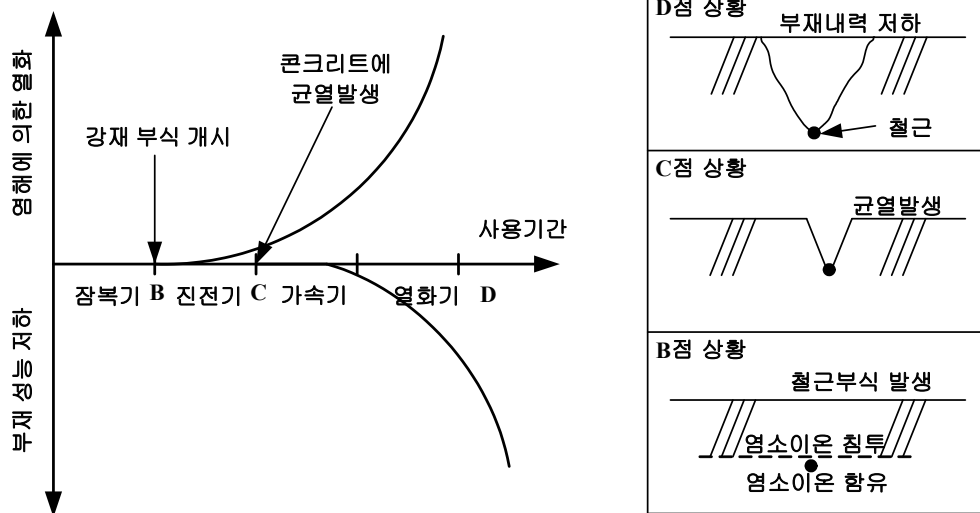
## (6) 소결

- 순환골재를 사용한 콘크리트의 밀실도, 염해저항성, 탄산화저항성 및 동결융해저항성 평가를 수행한 결과는 아래와 같음.
  - 표면전기저항 및 초음파 펄스 속도를 통해 콘크리트의 밀실도를 평가한 결과 순환골재를 사용하는 얇은 Plain 배합과 개질 전, 후 순환골재를 사용한 전배합이 유사한 수준을 나타내어, 순환골재의 사용이 콘크리트의 밀실도 측면에서의 내구성에는 영향이 없는 것으로 판단됨.
  - 총 통과전하량 및 염소이온 침투깊이 측정 시험을 통해 염해저항성을 평가한 결과, 개질 전 순환 굵은골재를 100% 치환한 RG100 및 개질 순환 잔골재 60% 치환한 RS60 배합의 경우를 제외하면 모두 적절한 수준인 것으로 판정되었으며, 순환골재의 개질에 따라 염해저항성이 증가하는 것으로 나타남.
  - 촉진탄산화 시험을 통해 순환골재 콘크리트의 탄산화저항성을 평가한 결과, 순환 굵은골재 60% 이하, 개질 순환 잔골재 30%이하의 치환은 Plain 배합과 유사한 것으로 나타남
  - 순환골재 콘크리트의 동결융해저항성을 평가한 결과, 순환골재의 개질에 따라 동결융해저항성은 전반적으로 상승하는 것으로 나타났으며, 순환 굵은골재 60% 이하, 개질 순환 잔골재 30%이하의 치환은 Plain 배합과 유사한 것으로 나타남.
- 강화된 품질기준에 현행 순환골재 콘크리트에 대한 다양한 내구성 평가를 수행한 결과, 개질 순환골재의 사용은 순환골재 콘크리트의 내구성을 전반적으로 향상시키는 것으로 나타났으며, 개질 순환 잔골재 30%의 치환까지는 콘크리트의 내구성 저하없이 적용가능한 것으로 판단됨

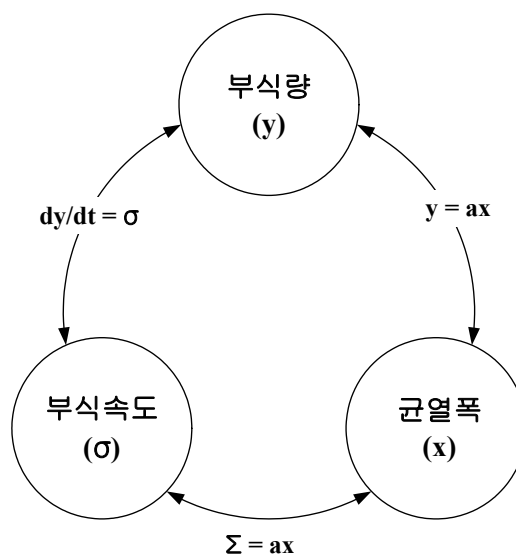
## 차. 순환골재 콘크리트의 내구성 설계 및 배합 제시

### (1) 내구성 설계

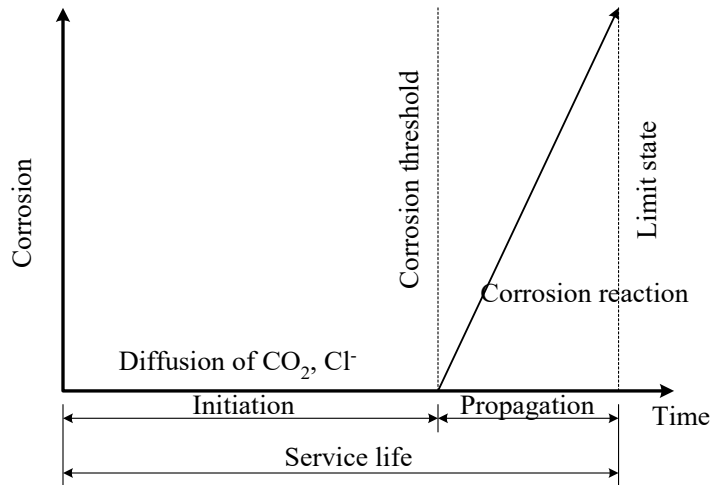
- 콘크리트 구조물의 종합적인 내구성 확보 측면에서 콘크리트 열화문제를 일으키는 원인을 근본적으로 규명하고 이를 시공이전에 설계 및 배합설계, 시공절차에 반영하기 위해 초기재령에서의 콘크리트의 거동과 균열저항성을 정량적으로 평가하고 조사하는 수법을 개발하는 것은 매우 필요한 실정



[그림 2-10-1] 철근 콘크리트 구조물의 염해와 철근 부식에 의한 내용년수 개념



[그림 2-10-2] 철근 콘크리트 구조물의 염해와 철근 부식에 의한 내용년수 개념

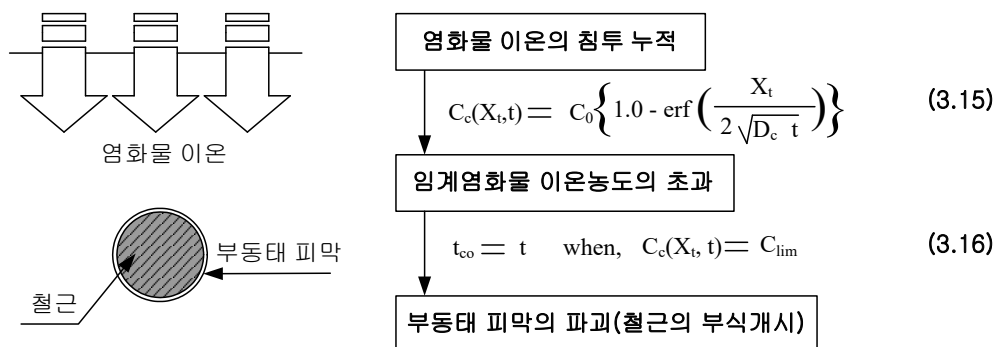


[그림 2-10-3] 콘크리트 구조물의 내구수명 예측모델

- 부식개시시기는 콘크리트에서 염소이온의 확산속도와 표면염화물 농도에 의해 영향을 받으며, 초기의 부식시기는 콘크리트 피복두께와 품질, 환경, 콘크리트의 확산계수, 철근의 임계염화물량, 균열 등과 밀접한 관련이 있음.
- 염소이온의 확산계수와 부식발생 염소이온의 농도에만 의존하는 것으로 단순화될 수 있고, 염소이온의 확산은 다음 식과 같은 Fick의 1차원 확산법칙을 따름.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

여기서,  $x$ 와  $t$  : 확산거리(m)와 확산시간(sec),  $C$  : 염소이온의 농도(kg/m<sup>3</sup>),  $D$  : 염소이온 확산계수(m<sup>2</sup>/sec)



[그림 2-10-4] 철근 부식의 개념도

- 임계염화물 이온농도는 구조물의 환경조건 등에 따라 달라지지만 콘크리트 표준시방서에는 1.2kg/m<sup>3</sup>로 규정.

<표 2-10-1> 콘크리트내 철근의 임계부식염화물량 연구결과

| Researcher       | Year | Critical chloride content |               |                   |
|------------------|------|---------------------------|---------------|-------------------|
|                  |      | kg/m <sup>3</sup>         | ppm(concrete) | %(wt., concrete)* |
| Lewis            | 62   | 0.7                       | 300           | 0.030             |
| Hausmann         | 67   | 0.2~2.8                   | 75~1,175      | 0.009~0.122       |
| Berman           | 72   | 0.77                      | 325           | 0.034             |
| Clear and Hay    | 73   | 0.6~0.9                   | 250~370       | 0.026~0.039       |
| Clear            | 74   | 0.66                      | 286           | 0.029             |
| Stratfull et al. | 75   | 0.66                      | 286           | 0.029             |
| Cady             | 78   | 0.6~1.3                   | 250~500       | 0.026~0.057       |
| Browne           | 80   | 1.33                      | 572           | 0.058             |
| Pfeifer et al.   | 86   | 0.5~1.33                  | 230~380       | 0.022~0.058       |

\* Density of concrete : 2,300kg/m<sup>3</sup>

- 국내의 경우 염화물량에 대한 규제값은 콘크리트 제조시 함유되는 염소 이온량은 국내외 기준을 고찰한 결과 염소 이온량 0.3kg/m<sup>3</sup> 이하로 규정.
- KS F 4009의 레디믹스트 콘크리트에서는 「잔골재의 경우 염화물량 (NaCl 환산)의 한도가 KS F 2515로 시험하였을 경우 0.04%를 넘지 않아야 하며, 0.04%를 넘은 경우는 주문자의 승인을 받고 0.1%는 넘지 않아야 한다.」고 규정.
- Dhir가 제안한 식에 의해 전기적 이동향을 고려한  $D_{migration}$ 의 확산계수식을 사용하여 통용 가능한 초기의 직선부분의(염화물이온의 이동도) 기울기에 따라 다음 식에 의해 염화물이온의 확산계수 산정.

$$D_{Cl} = \frac{RT}{Z_{Cl} \cdot F \cdot C_{Cl}} \frac{I}{\Delta E} \frac{V}{A} \frac{dC}{dt} \quad (\text{cm}^2/\text{sec})$$

## (2) 순환골재 콘크리트의 내구성 배합에 대한 제안

- 앞서 수행된 순환골재 콘크리트의 내구성 평가에서 순환골재 콘크리트에서의 적용가능한 순환골재 치환량은 순환 굵은골재 60%, 순환 잔골재 30%임을 확인하였다.
- 또한, 해양환경하에 건설되는 콘크리트 구조물은 내구성 저하의 가장 중요한 요인인 염분침투 저항성에 대한 재료적, 배합적 고려가 반드시 필요하며, 순환골재를 적용한 신설 콘크리트 구조물의 내염해성을 위해서 다음의 사항이 요구된다.
  - 순환골재의 고품질 확보(부착모르타르 저감, 밀도 향상 등)
  - 충분한 설계강도(내염 배합을 위한 설계기준강도 30MPa 이상)
  - 경제성 및 사용성을 고려한 최적 내염배합(순환골재 60% 이상 배합) 등
- 순환골재 적용 콘크리트 구조물의 내염성능 확보를 위한 고려사항 및 내염성능 실험결과 및 내구수명 예측결과를 바탕으로 순환골재 콘크리트의 내염배합을 아래와 같이 제시하고자 한다. 할 필요가 있다.

- (1) 국내 및 일본의 콘크리트 표준시방서에서 제시하는 해안에서부터의 거리별 표면염화물량 결정
- (2) 내구수명 평가를 위한 전위차 촉진법으로 구한 확산계수 산정 : 내염성 결합재를 적용한 콘크리트의 설계기준강도별 확산계수 저감방안 제시(콘크리트표준시방서의 내염시멘트 적용)
- (3) 일반골재 및 순환골재 적용 콘크리트의 내구수명 산정에 따른 최적 순환골재 대체율 적용

<표 2-10-2> 순환골재 적용 콘크리트의 내염배합

| Slump <sup>(1)</sup><br>(mm) | Air <sup>(2)</sup><br>(%) | W/C <sup>(3)</sup><br>(%) | S/a<br>(%) | Unit Weight(kg/m <sup>3</sup> ) |     |       |       |                   |                   |
|------------------------------|---------------------------|---------------------------|------------|---------------------------------|-----|-------|-------|-------------------|-------------------|
|                              |                           |                           |            | W                               | C   | G     | S     | RG <sup>(4)</sup> | RS <sup>(4)</sup> |
| 150±15                       | 4.5±1.5                   | 44.0                      | 48.8       | 152                             | 345 | 375.3 | 874.2 | 524.9             | 0.0               |
|                              |                           |                           |            | 152                             | 345 | 927.8 | 614.3 | 0.0               | 247.1             |

- (1) 콘크리트의 작업성을 고려한 값
- (2) 콘크리트의 내동해성을 고려한 값
- (3) 콘크리트의 강도/내구성/수밀성을 고려한 값
- (4) 품질이 확보된 순환골재 대체값

## 카. 순환골재 콘크리트 품질관리 방안

### (1) 순환골재 콘크리트의 사용 재료

#### (가) 일반 사용재료

- 시멘트
  - KS L 5201 『포틀랜드 시멘트』 기준에 적합한 시멘트
- 잔골재
  - KS F 2527 『콘크리트용 골재』 기준에 적합한 잔골재
- 굵은골재
  - KS F 2527 『콘크리트용 골재』 기준에 적합한 골재
- 고성능AE감수제
  - KS F 2560 『콘크리트용 화학 혼화제』의 고성능AE감수제 표준형

#### (나) 순환골재

- 순환 잔골재
  - KS F 2527 『콘크리트용 골재』 중 콘크리트용 순환 잔골재 기준에 적합한 골재  
(밀도 :  $2.3\text{g/cm}^3$  이상, 흡수율 : 4% 이하 등)
- 순환 굵은골재
  - KS F 2527 『콘크리트용 골재』 중 콘크리트용 순환 굵은골재 기준에 적합한 골재  
(밀도 :  $2.5\text{g/cm}^3$  이상, 흡수율 : 3% 이하 등)

### (2) 순환골재 특성 및 보관방법

#### (가) 순환골재 특성

- 순환골재는 폐콘크리트의 파쇄·처리에 의하여 생산되는 골재로서 골재의 표면에 모르타르가 붙어 있는 형상으로 생산된다.
- 순환골재는 골재표면에 부착된 모르타르에 의해 일반 콘크리트용 골재(천연골재)에 비하여 흡수율이 크고, 밀도가 낮은 특성을 갖는다.
- 순환골재는 다양한 형태의 이물질(적벽돌, 목재 등)이 포함되어 품질편차가 크다.
- 순환골재는 천연골재에 비하여 높은 흡수율 및 이물질 함유율 등으로 콘크리트용 순환골재 품질기준에 적합지 않은 골재를 사용하는 경우, 콘크리트의 유동성 및 강도, 내구성능이 크게 저하될 수 있다.



[그림 2-11-1] 순환골재에 포함된 이물질 및 부착 모르타르

### (나) 순환골재 보관방법

- 순환골재는 적용대상 콘크리트의 출하량을 고려하여 최소 1일분 이상의 충분한 양을 한번에 반입하고, 나누어 반입할 때는 반입 순서에 따라 구분하여 순환골재를 저장한다.
- 순환골재는 골재의 종류, 품질별로 분리하며, 대소의 입자가 분리되지 않도록 보관한다.
- 순환골재의 저장시설은 골재의 품질(표면수율, 흡수율 등)이 일정한 상태를 유지될 수 있도록 직사광선을 많이 받지 않는 장소를 선택한다.
- 순환골재의 저장시설은 프리웨팅(pre-wetting)이 가능하도록 살수설비를 갖추는 것이 필요하며, 바닥은 배수를 고려하여 적당한 경사를 갖는 콘크리트 바닥 등으로 한다.

### (다) 순환골재 재료관리

- 순환골재의 밀도 및 흡수율
  - : 골재의 밀도 및 흡수율은 콘크리트 단위용적에 투입될 재료의 표준배합 물량을 산출하는 기초값으로 사용되며, 순환골재의 반입 시 측정하여 납품업체에서 제공된 값과 비교하며, 「순환골재 품질기준」의 콘크리트용 품질기준과의 적합 여부를 확인한다.
  - KS F 2503 : 굵은 골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법
  - KS F 2504 : 잔골재의 밀도 및 흡수율 시험 방법
- 순환골재의 입도 및 실적률
  - : 콘크리트의 워커빌리티, 강도 등에 영향 요소인 순환골재의 입도 및 실적률은 반입 시 측정한 후, 레미콘 제조 시 배합 보정에 활용한다.
  - KS F 2502 : 굵은 골재 및 잔골재의 체가름 시험 방법
  - KS F 2505 : 골재의 단위용적질량 및 실적률 시험 방법
- 순환골재의 흡수율 및 표면수율
  - : 골재의 흡수율 및 표면수율은 배치플랜트에 투입되는 골재에 과다 포함되거나 부족한

물의 양을 추정하기 위한 것으로, 순환골재 콘크리트 제조 시 측정한 후, 이를 재료 (골재 및 물) 계량의 보정에 활용한다.

· KS F 2550 : 골재의 함수율 및 표면수율 시험방법

### (3) 순환골재 콘크리트 생산을 위한 배치플랜트 설비 관리

#### (가) 일반 재료 저장·이송설비

- 재료의 저장설비로는 시멘트 및 혼화재 사일로, 화학혼화제 및 사용수 등을 위한 탱크, 골재 야적장이 구비되어야 하며, 골재 야적장은 1일 최대 출하량 이상을 저장할 수 있는 용량(골재의 품질이나 표면수량의 변화에 대하여 미리 적절한 배합 조정이 이루어지도록 하기 위함)으로 골재 종류별로 구분하여 보관할 수 있어야 한다.
- 사일로 및 탱크는 재료의 비산 및 누출없이 믹싱설비로 투입되도록 구성한다.
- 골재의 운반은 벨트 컨베이어를 이용하며 환경적 문제로 인해 외부는 밀폐되거나 원통형 파이프에 내장되도록 설치하여야 한다.

#### (나) 순환골재 설비

##### ① 순환골재 야적장

: 순환골재 프리웨팅을 위해 스프링클러가 설치되어야 하며, 빠른 배수를 위한 경사진 콘크리트 바닥 및 배수 설비를 갖추어야 한다.

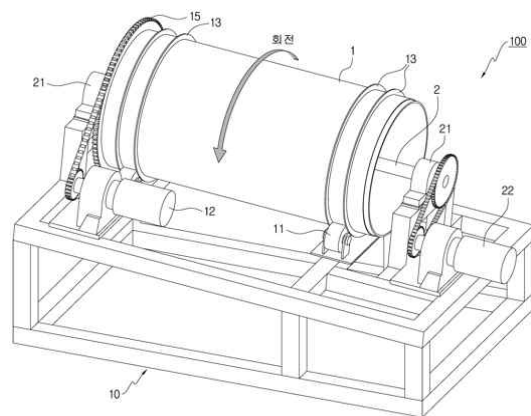
: 순환골재의 품질(표면수율, 함수율 등)이 일정한 상태를 유지될 수 있도록 직사광선을 많이 받지 않는 장소 또는 차양설비를 설치한다.

##### ② 순환골재 혼합설비

- 순환골재의 입도조정 또는 천연골재와의 적정 비율 혼합을 위해 배치플래트 투입 이전에 순환골재 혼합설비를 이용하여 사전 골재 혼합을 실시할 수 있다.



[그림 2-11-2] 야적장 내 프리웨팅 설비



[그림 2-11-3] 순환골재 혼합설비

## (다) 계량설비

- 계량장치는 계량조, 계량기 및 계량제어장치로 구성하고 계량조는 재료의 종류별로 설치하여야 하며 계량기의 로드셀은 1/10,000의 감도를 가져서 계량 공정시 가능한 정확하게 원재료를 계량해야 한다.
- 계량정밀도 관리
  - : 계량오차에 의해 분체량, 단위수량 등 배합에 변화가 생겨 품질에 문제가 발생할 수 있으므로 정하중 검사와 동하중 검사를 통해 각 재료의 계량오차가 KS F 4009(레드믹스트 콘크리트) 기준에 만족하도록 관리해야 한다.
  - 정하중 검사 : 계량기 자체의 문제로 인한 오차 검사
  - 동하중 검사 : 분동을 이용하는 방법과 로드셀에 검정장치를 부착한 전기식 검사기를 이용, 1회/6개월 이상 기준으로 검사
  - : 계량을 위한 동하중 설정 시 미계량과 낙차보정을 실시해야 한다.
  - 미계량 : 처음 대략적인 계량을 하여 계량값이 90% 정도가 되면 계량 낙하량을 줄이는 것임
  - 낙차 보정 : 계량 게이트에서 낙하 중인 재료가 계량 호퍼에 미쳐 이르지 않은 것을 예측하여 100% 계량 완료의 신호를 보내는 것을 말함
  - 레드믹스트 콘크리트(KS F 4009 : 2011) 계량오차의 허용차
    - (a) 시멘트, 골재, 물 및 혼화재료는 각각 별도의 계량기로 계량해야함
    - (b) 시멘트의 계량오차는 1회 계량 질량의 -1%, +2% 이내여야 함
    - (c) 일반골재의 계량오차는 1회 계량 질량의  $\pm 3\%$  이내여야 함
    - (d) 순환골재의 계량오차는 1회 계량 질량의  $\pm 4\%$  이내여야 함
    - ※ 순환골재는 천연골재의 일부를 치환하여 사용하므로 천연골재에 비해 사용량이 적어 현장 여건상 계량오차를  $\pm 3\%$ 로서 관리하기 힘들며, 이를 감안하여 순환골재의 계량오차는 1회 계량 질량의  $\pm 4\%$  이내로 함
    - (e) 물의 계량오차는 1회 계량 질량의 -2%, +1% 이내여야 함
    - (f) 혼화제 계량오차는 1회 계량 질량의  $\pm 2\%$  이내여야 함
    - (g) 혼화제 계량오차는 1회 계량 질량의  $\pm 3\%$  이내여야 함

## (라) 혼합설비(Mixer)

- 순환골재 콘크리트 생산을 위해서는 믹서의 혼합 성능이 매우 중요하며 생산 믹서기는 2축형 강제식 믹서를 사용해야 한다.
- 2축형 강제식 믹서는 KS F 2455(믹서로 비빈 콘크리트 중의 모르타르와 굵은골재량의 변화율 시험 방법) 기준을 만족해야 한다.

- 콘크리트 중의 모르타르의 단위용적질량 차 : 0.8% 이내
- 콘크리트 중의 단위 굽은골재량의 차 : 5.0% 이내

#### (4) 순환골재 콘크리트 제조/생산 관리

##### (가) 순환골재 콘크리트 배합 결정

- 배합설계란 양질의 순환골재 콘크리트를 만들기 위하여 구성재료의 혼합비율을 결정하는 작업이며 양질의 순환골재 콘크리트란 순환 굽은골재 및 순환 잔골재를 사용하여 워커빌리티, 균일성, 강도, 수밀성 및 내구성 등 구조물에 필요한 요구성능을 가장 경제적인 조건에서 접근시킨 것을 말한다.
- 순환골재 콘크리트 배합은 1m<sup>3</sup>에 대한 투입재료량이며, 절대용적배합을 통해 질량배합으로 결정한다.
  - 절대용적배합 : 각 재료를 콘크리트 1m<sup>3</sup>당 공극이 전혀 없는 상태로 가정한 절대용적(1)으로 표시한 배합임
  - 질량배합 : 절대용적배합에서 각 재료의 밀도를 곱한 것으로 콘크리트 1m<sup>3</sup>당 질량(kg)으로 표시한 배합임

##### (나) 순환골재 콘크리트 제조/생산 프로세스

<표 2-10-1> 순환골재 콘크리트 제조/생산 순서

- |                                                                                                                                                                                                                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ① 생산 PC의 생산 코드 입력 및 배합<br>② 골재 입도 및 표면수 보정<br>③ 재료 이송 및 계량<br>④ 믹서 내 투입 후 믹싱<br>1차 : 잔골재 + 굽은골재 + 순환 잔골재 + 순환 굽은골재<br>▼ ← 30s 믹싱<br>2차 : 시멘트 + 혼화제 + 사용수 2/3<br>▼ ← 60s 믹싱<br>3차 : 사용수 1/3<br>▼ ← 30s 믹싱<br>배출 : 순환골재 콘크리트 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

##### ① 생산 PC의 생산 코드 및 배합 입력

- 순환골재 콘크리트 생산 코드 및 시방배합 입력



[그림 2-11-4] 생산 PC의 구성

## ② 골재 입도 및 표면수 보정

- 순환골재 콘크리트 시방배합에서 골재 입도 및 표면수 보정을 통한 현장배합 도출

| 레미콘 현장배합표                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            | 견                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 당           | 실                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------------------------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            | 재                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 량           | 장                                                     |
| 현장명 : _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            | 시방 일자 : _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             |                                                       |
| 1. 규 격 : _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |            | 2. 시 방 자 : _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |             |                                                       |
| (1) 시방배합표                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            | 단위배합량 : kg/m³                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |             |                                                       |
| W/B (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | S/a (%)    | 단 위 재 료 량 (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            | W1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | W2          | C1 C2 C3 S1 S2 S3 19mm 25mm 40mm AD1 AD2              |
| (2) 현장 골재 상태 및 조건                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                       |
| S2 잔류율 (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | S3 잔류율 (%) | G 통과율 (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | S1 표면수율 (%) | S2 표면수율 (%) S3 표면수율 (%) G 표면수율 (%) 습러지율 (%) 취수수비율 (%) |
| ① %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ② %        | ③ %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ④ %         | ⑤ % ⑥ % ⑦ % ⑧ % ⑨ % ⑩ % ⑪ %                           |
| (3) 입도 보정                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                       |
| $X1 = \frac{100 \times S1 - \text{⑧} \times (S1 + G1)}{100 - (\text{⑧} + \text{⑩})} = \frac{100 \times 275 - 1.0 \times (275 + 285)}{100 - (1.3 + 1.0)} = \text{kg/m}^3$ $X2 = \frac{100 \times S2 - \text{⑨} \times (S2 + G2)}{100 - (\text{⑨} + \text{⑪})} = \frac{100 \times 646 - 1.0 \times (646 + 618)}{100 - (2.0 + 1.0)} = \text{kg/m}^3$ $X3 = \frac{100 \times S3 - \text{⑩} \times (S3 + G3)}{100 - (\text{⑩} + \text{⑫})} = \text{kg/m}^3$ $Y1 = \frac{100 \times G1 - \text{③} \times (S1 + G1)}{100 - (\text{③} + \text{⑩})} = \frac{100 \times 285 - 1.3 \times (275 + 285)}{100 - (1.3 + 1.0)} = \text{kg/m}^3$ $Y2 = \frac{100 \times G2 - \text{④} \times (S2 + G2)}{100 - (\text{④} + \text{⑪})} = \frac{100 \times 618 - 2.0 \times (646 + 618)}{100 - (2.0 + 1.0)} = \text{kg/m}^3$ $Y3 = \frac{100 \times G3 - \text{⑤} \times (S3 + G3)}{100 - (\text{⑤} + \text{⑫})} = \text{kg/m}^3$ $Y = Y1 + Y2 + Y3 = \text{kg/m}^3$ |            | S1 : 시방배합 S1량<br>S2 : 시방배합 S2량<br>S3 : 시방배합 S3량<br>G : 시방배합 골재 통과율<br>G1 : G의 S1비율만큼의 취수량<br>G2 : G의 S2비율만큼의 취수량<br>G3 : G의 S3비율만큼의 취수량<br>X1 : 제1항 취수량 S1입도 보정량<br>X2 : 제1항 취수량 S2입도 보정량<br>X3 : 제1항 취수량 S3입도 보정량<br>Y1 : 제1항 취수량 G1입도 보정량<br>Y2 : 제1항 취수량 G2입도 보정량<br>Y3 : 제1항 취수량 G3입도 보정량<br>Y : 제1항 취수량 골재 취수 입도 보정량<br>X1' : 제1항 취수량 S1표면수 보정량<br>X2' : 제1항 취수량 S2표면수 보정량<br>X3' : 제1항 취수량 S3표면수 보정량<br>Y' : 제1항 취수량 골재 골재 표면수 보정량<br>Z' : 표면수율 고려한 물의 양 |             |                                                       |
| (4) 입도 및 표면수율 고려한 보정                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                       |
| $X1' = \frac{X1}{100 - \text{⑧}} \times 100 = \frac{276}{(100 - 2.0)} \times 100 = \text{kg/m}^3$ $X2' = \frac{X2}{100 - \text{⑨}} \times 100 = \frac{653}{(100 - 3.0)} \times 100 = \text{kg/m}^3$ $X3' = \frac{X3}{100 - \text{⑩}} \times 100 = \frac{875}{(100 - 0.1)} \times 100 = \text{kg/m}^3$ $Y' = \frac{Y}{100 - \text{⑤}} \times 100 = \frac{875}{(100 - 0.1)} \times 100 = \text{kg/m}^3$ $Z = \frac{100 \times W - (\text{⑧} \times X1 + \text{⑨} \times X2 + \text{⑩} \times X3 + \text{⑪} \times Y)}{100 - \{100 \times 170 - (2.0 \times 276 + 3.0 \times 653 + 0.1 \times 875)\}} = \text{kg/m}^3$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                       |
| (5) 현장 배합표 [골재수정계수 : %]                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                       |
| W/B (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | S/a (%)    | 단 위 재 료 량 (kg/m³)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |             |                                                       |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |            | W1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | W2          | C1 C2 C3 S1 S2 S3 19mm 25mm 40mm AD1 AD2              |
| 비 고                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                       |
| 확인자 : _____                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |             |                                                       |

HCS-C-401-12 한라ENCOM(주) A<sub>0</sub> (210mm×297mm)

[그림 2-11-5] 레미콘 현장배합표

## (5) 순환골재 콘크리트 시험 방법

- 제조된 순환골재 콘크리트는 보통콘크리트와 동일한 항목 및 시험방법을 통해 콘크리트의 특성을 평가한다.
- 순환골재 콘크리트의 항목별 관리기준은 보통콘크리트와 동일하나, 다만 공기량의 경우, 「순환골재 품질기준」에 의거 보통콘크리트보다 1% 크게 한다.

### 3. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

#### 가. 목표 및 목표 달성도

##### (1) 연구목표 달성도

- 본 과제는 순환골재 및 순환골재 콘크리트의 활성화를 위해 크게 1) 고품질 순환골재 생산기술 개발, 2) 순환골재 콘크리트 생산 및 활용기술 개발, 3) 순환골재 관련 국가 기준 제·개정 및 사용 활성화 방안 제시를 목표로 함

| 연구 목표<br>(연구 계획서의 최종 목표)          | 비중<br>(%) | 달성도<br>(%) | 수행 내용 및 결과                                                   |
|-----------------------------------|-----------|------------|--------------------------------------------------------------|
| 고품질 순환골재 생산기술 개발                  | 40        | 100        | 고품질 순환골재 · 순환토사 생산을 위한 개발기술로 환경신기술(NeT) 인증 획득                |
| 순환골재 콘크리트 생산 및 활용기술 개발            | 40        | 100        | 시험배합 및 성능평가를 수행하고 그 결과를 B/P 생산 및 현장 적용을 실시함                  |
| 순환골재 관련 국가 기준 제·개정 및 사용 활성화 방안 제시 | 20        | 100        | KS, 표준시방서, 지침 등의 국가기준의 개정을 이루었으며, 순환골재 사업장에 대한 인증제도 개선안을 제안함 |
| 합계                                | 100점      | 100        |                                                              |

- 이를 위해 순환골재를 생산하는 하나케이(주)(참여기업-(자)금강개발, (주)동성환경산업)와 순환골재를 사용하여 콘크리트를 생산할 수 있는 한라엔컴(주)의 산업계와 순환골재 콘크리트의 재료적 특성 분석, 성능 개선 및 평가를 수행하는 군산대학교(학계), 그리고 순환골재의 품질향상을 위한 기술력 제공과 활성화를 위한 규격, 기준, 지침의 정비 및 제도화의 업무를 수행하는 연구소(한국건설기술연구원)가 연구진으로 구성되었음
- 연구 목표 및 계획에 따라 산학연이 함께 한 연구진 구성원들은 서로 융합되어 성실하게 과제를 수행해 왔으며, 그 결과 순환골재에 대한 많은 성과물을 얻어내면서 성공적으로 연구목표의 달성이 이루어졌다고 사료됨

## (2) 성과지표 달성도

○ 본 과제의 연구계획서 및 연차실적계획서를 중심으로 해당 연구의 정성적, 정량적 성과 지표의 달성도를 기술함

### < 정성적 성과지표 달성도 >

| 최종목표<br>(핵심성과)                                                 | 성과점검 기준              |               |         | 수행<br>년차 | 달성율  |
|----------------------------------------------------------------|----------------------|---------------|---------|----------|------|
|                                                                | 단위성과                 | 질적성과지표        | 목표치     |          |      |
| 순환골재 이물질,<br>흡수율, 밀도 개선을<br>위한 공정 설계기술                         | 이물질 선별개선             | 현장시험 결과       | 0.3% 미만 | 1,2      | 100% |
|                                                                | 순환 잔골재 밀도 흡수율<br>개선  | 순환 잔골재 밀도     | 2.3 이상  | 1,2      | 100% |
|                                                                |                      | 순환 잔골재<br>흡수율 | 4% 미만   |          |      |
| 경제성 및 환경부하<br>저감 효과 분석                                         | 경제성 분석               | 분석 결과         | 1식      | 1,2      | 100% |
|                                                                | 환경부하 및 환경피해 분석       | 분석 결과         | 1식      | 1,2      | 100% |
| 순환골재 콘크리트<br>사용 활성화 방안                                         | 정책반영                 | 정책반영 결과       | 2건      | 1,3      | 100% |
|                                                                | 시범적용                 | 시범적용          | 1건      | 4        | 100% |
|                                                                | 경제성, 환경성분석           | 분석 결과         | 1건      | 4        | 100% |
| 순환골재 설비 및<br>생산공정 구축                                           | 순환 잔골재<br>품질확보       | 유기이물질함유량      | 0.3% 미만 | 1,2      | 100% |
|                                                                |                      | 순환 잔골재 밀도     | 2.3 이상  | 1,2      | 100% |
|                                                                |                      | 순환 잔골재<br>흡수율 | 4% 미만   | 1,2      | 100% |
|                                                                | 신기술 신청               | 신기술 신청        | 지정신청    | 2        | 100% |
| 15톤/시간 처리용량의<br>실증 플랜트 제작<br>운영                                | 플랜트 제작               | 생산량           | 15톤/시간  | 1,2      | 100% |
|                                                                |                      | 환경성평가         | 1식      | 2        | 100% |
|                                                                | 플랜트 구축               | 신기술 인증/<br>검증 | 2건      | 3,4      | 100% |
| 순환골재 혼입<br>콘크리트 시범적용,<br>배합설계                                  | Mock-up 시험           | Mock-up 적용    | 1식      | 3,4      | 100% |
| 순환골재 60% 혼입<br>30MPa 콘크리트                                      | 시험배합 및 성능평가          | B/P 실험        | 1건      | 3,4      | 100% |
|                                                                |                      | 생산 매뉴얼        | 1건      |          |      |
| 순환골재 및 순환골재<br>콘크리트 품질관리<br>방안                                 | 순환골재 콘크리트<br>품질관리 방안 | 품질관리 매뉴얼      | 1건      | 4        | 100% |
| 순환골재 60% 혼입<br>압축강도 30MPa 내역<br>콘크리트 및<br>SOC구조물용 콘크리트<br>배합설계 | 콘크리트 배합              | 실험 결과         | 1건      | 1,2,3    | 100% |

< 정량적 성과지표 달성도 >

| 핵심성과<br>(CTE)                                                  | 양적 성과 지표 및 목표건수(달성건수)                                                                                                     |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                           | 달성율<br>(%) |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
|                                                                | 1차년도<br>(5개월)                                                                                                             | 2차년도<br>(9개월)                                                                                                                                                                            | 3차년도<br>(12개월)                                                                                                                                           | 4차년도<br>(9개월)                                                                                                                                                                                 | 총괄                                                                                                                                                                                                                                        |            |
| 순환골재 이물질,<br>흡수율, 밀도<br>개선을 위한 공정<br>설계기술                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 1(0) 건</li> <li>논문 :<br/>일반 1(0) 건</li> </ul>                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>등록 1(1) 건<br/>출원 0(1) 건</li> <li>논문 :<br/>SCI 1(1) 건<br/>일반 0(1) 건</li> </ul>                                                            |                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 0(1) 건</li> </ul>                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>등록 1(1) 건<br/>출원 1(1) 건</li> <li>논문 :<br/>SCI 1(1) 건<br/>일반 1(2) 건</li> </ul>                                                                                                             | 100        |
| 순환골재 콘크리트<br>사용 활성화 방안                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>기타 :<br/>제안 1 (1)건</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>기타 :<br/>홍보 1 (1)건</li> </ul>                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(2) 건</li> <li>기타 :<br/>1(3) 건</li> </ul>                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(1) 건</li> </ul>                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 2(3) 건</li> <li>기타 :<br/>1(5) 건</li> </ul>                                                                                                                                             | 100 ↑      |
| 순환골재 설비 및<br>생산공정 구축                                           |                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 1(0) 건</li> <li>신기술 :<br/>신청 1(1) 건</li> </ul>                                                                                        |                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 0(1) 건</li> <li>논문 :<br/>일반 0(2) 건</li> </ul>                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 1(1) 건</li> <li>논문 :<br/>일반 0(2) 건</li> <li>신기술 :<br/>신청 1(1) 건</li> </ul>                                                                                                             | 100 ↑      |
| 15톤/시간<br>처리용량의 실증<br>플랜트 제작 운영                                |                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 1(1) 건</li> </ul>                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>신기술 :<br/>인증 1(1) 건</li> </ul>                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>현장 적용<br/>1(1) 회</li> </ul>                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 1(1) 건</li> <li>신기술 :<br/>인증 1(1) 건</li> <li>현장 적용<br/>1(1) 회</li> </ul>                                                                                                               | 100        |
| 순환골재 혼입<br>콘크리트 시범적용,<br>배합설계                                  |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(1) 건</li> </ul>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>SCI 0(1) 건<br/>일반 1(0) 건</li> <li>기타 :<br/>0(3) 건</li> </ul>                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>SCI 0(1) 건<br/>일반 2(1) 건</li> <li>기타 :<br/>0(3) 건</li> </ul>                                                                                                                              | 100 ↑      |
| 순환골재 60% 혼입<br>30MPa 콘크리트                                      |                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(1) 건</li> </ul>                                                                                                                     |                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                                                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(1) 건</li> </ul>                                                                                                                                                                      | 100        |
| 순환골재 및<br>순환골재 콘크리트<br>품질관리 방안                                 |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(1) 건</li> </ul>                                                                                                                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(1) 건</li> </ul>                                                                                                                                                                      | 100        |
| 순환골재 60% 혼입<br>압축강도 30MPa<br>내염 콘크리트 및<br>SOC구조물용<br>콘크리트 배합설계 | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(0) 건</li> </ul>                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(2) 건</li> </ul>                                                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 1(0) 건</li> </ul>                                                                                     | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>SCI 0(1) 건</li> </ul>                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>SCI 0(1) 건<br/>일반 3(2) 건</li> </ul>                                                                                                                                                       | 100 ↑      |
| 계                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 1(0) 건</li> <li>논문 :<br/>일반 2(0) 건</li> <li>기타 :<br/>1(1) 건</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 2(2) 건<br/>등록 1(1) 건</li> <li>논문 :<br/>SCI 1(1) 건<br/>일반 2(4) 건</li> <li>신기술 :<br/>신청 1(1) 건</li> <li>학술대회 :<br/>발표 0(6) 건</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>논문 :<br/>일반 3(3) 건</li> <li>신기술 :<br/>인증 1(1) 건</li> <li>기타 :<br/>1(4) 건</li> <li>학술대회 :<br/>발표 0(6) 건</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 0(1) 건</li> <li>논문 :<br/>SCI 0(2) 건<br/>일반 3(5) 건</li> <li>신기술 :<br/>검증 0(1)</li> <li>현장 적용<br/>1(1) 회</li> <li>기타 :<br/>0(2) 건</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>특허 :<br/>출원 3(3) 건<br/>등록 1(1) 건</li> <li>논문 :<br/>SCI 1(3) 건<br/>일반10(12)건</li> <li>신기술 :<br/>신청 1(1) 건<br/>인증 1(1) 건<br/>검증 0(1) 건</li> <li>현장 적용<br/>1(1) 회</li> <li>기타 :<br/>1(7) 건</li> </ul> | 100 ↑      |

## 나. 연구개발성과

### (1) 국내외 논문 게재

| 번호 | 논문명                                                                              | 학술지명                | 주저자명 | 호       | 국명   | 발행기관             | SCI 여부 (SCI/비SCI) | 게재일      | 등록 번호                           |
|----|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|------|---------|------|------------------|-------------------|----------|---------------------------------|
| 1  | Properties of Extrusion Concrete Panel Using Waste Concrete Powder               | Applied sciences    | 김하석  | 7(9)    | 스위스  | MDPI             | SCI               | 2017. 09 | 10.3390/a pp 7090910            |
| 2  | 파쇄 방법에 따른 콘크리트용 순환골재의 품질 비교 연구                                                   | 한국건설 순환자원 학회논문집     | 최원영  | 5(2)    | 대한민국 | 한국건설 순환자원 학회     | 비SCI              | 2017. 05 | 1014190/JRCR201752 121          |
| 3  | 저품질 순환골재를 활용한 콘크리트 성능평가                                                          | 한국산학 기술학회 논문지       | 이승태  | 18 (11) | 대한민국 | 한국산학 기술학회        | 비SCI              | 2017. 11 | 10.5762/K AIS.2017. 18.11.7     |
| 4  | 순환 잔골재를 활용한 콘크리트의 물리, 역학적 특성에 관한 실험적 연구                                          | 한국건설 순환자원 학회논문집     | 김정호  | 5(4)    | 대한민국 | 한국건설 순환자원 학회     | 비SCI              | 2017. 12 | 10.14190/ JRCR.2017 .5.4.359    |
| 5  | 순환 굵은골재 사용 콘크리트의 성능향상을 위한 나일론 섬유의 적용성 연구                                         | 한국산학 기술학회 논문지       | 이승태  | 18 (12) | 대한민국 | 한국산학 기술학회        | 비SCI              | 2017. 12 | 105762/KA IS2017181 2785        |
| 6  | 순환 굵은골재를 활용한 콘크리트의 강도 특성 및 전과정 환경영향 평가에 관한 연구                                    | 한국건설 순환자원 학회논문집     | 최원영  | 6(1)    | 대한민국 | 한국건설 순환자원 학회     | 비SCI              | 2018. 02 | 10.14190/ JRCR.2018 .6.1.8      |
| 7  | 슬럼프 고정 순환골재 콘크리트의 물리적특성 및 압축강도 추정에 관한 실험적 연구                                     | 한국구조물진단유지관리공학 학회논문집 | 김상현  | 22 (2)  | 대한민국 | 한국구조물진단유지관리공학 학회 | 비SCI              | 2018. 03 | 10.11112/ jksmi.201 8.22.2.05 1 |
| 8  | 순환골재 사용 혼합골재의 품질 개선을 위한 실험적 연구                                                   | 한국건설 순환자원 학회논문집     | 김정호  | 6(4)    | 대한민국 | 한국건설 순환자원 학회     | 비SCI              | 2018. 12 | 10.14190/ JRCR.2018 .6.4.229    |
| 9  | Effect of Nylon Fiber Addition on the Performance of Recycled Aggregate Concrete | Applied Sciences    | 이승태  | 9(4)    | 스위스  | MDPI             | SCI               | 2019. 02 | 10.3390/a pp9040767             |

| 번호 | 논문명                                                                                    | 학술지명              | 주저자명 | 호      | 국명   | 발행기관           | SCI 여부 (SCI/비SCI) | 게재일      | 등록 번호                       |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------|-------------------|------|--------|------|----------------|-------------------|----------|-----------------------------|
| 10 | A Study on the Properties of Recycled Aggregate Concrete and Its Production Facilities | Applied Sciences  | 김정호  | 9(9)   | 스위스  | MDPI           | SCI               | 2019. 05 | 10.3390/app9091935          |
| 11 | 나일론 섬유를 적용한 순환 굵은골재 콘크리트의 성능평가                                                         | 한국구조물진단유지관리공학회논문집 | 이승태  | 23 (2) | 대한민국 | 한국구조물진단유지관리공학회 | 비SCI              | 2019. 03 | 10.11112/jksmi.2019.23.2.28 |
| 12 | 순환 잔골재 혼입 콘크리트의 강도 특성 및 전과정 환경영향 평가 연구                                                 | 한국건설순환자원학회논문집     | 최원영  | 7(2)   | 대한민국 | 한국건설순환자원학회     | 비SCI              | 2019. 06 | 1014190/JRCR201972123       |
| 13 | 상승송풍과 충격유도 회전체를 이용한 순환굵은골재 품질향상에 관한 연구                                                 | 한국폐기물순환자원학회지      | 윤상혁  | 36(5)  | 대한민국 | 한국폐기물순환자원학회    | 비SCI              | 2019. 07 | 10.9786/kswm.2019.36.5.487  |
| 14 | 로터해머의 회전충격과 다단형 풍압처리방법을 이용한 순환잔골재 품질개선에 관한 연구                                          | 한국폐기물순환자원학회지      | 이세현  | 36(6)  | 대한민국 | 한국폐기물순환자원학회    | 비SCI              | 2019. 09 | 10.9786/kswm.2019.36.6.560  |
| 15 | 회전체 충격 및 Bottom-up형 송풍장치를 적용한 도로공사용 순환골재 품질개선 연구                                       | 한국폐기물순환자원학회지      | 윤상혁  | 36(6)  | 대한민국 | 한국폐기물순환자원학회    | 비SCI              | 2019. 09 | 10.9786/kswm.2019.36.6.576  |

## (2) 국내 및 국제학술회의 발표

| 번호 | 회의 명칭                                                               | 발표자 | 발표 일시     | 장소          | 국명   |
|----|---------------------------------------------------------------------|-----|-----------|-------------|------|
| 1  | 한국콘크리트학회 2017 봄 학술대회 - 순환 굵은골재의 세척 유무에 따른 콘크리트의 역학적 특성              | 추영규 | 2017. 05  | 제주 휘닉스 아일랜드 | 대한민국 |
| 2  | 순환골재, 순환골재 재활용 제품 우수활용사례 발표 및 국제세미나 - 순환골재 시범사업 경과 및 건설폐기물 재활용 정책제안 | 이세현 | 2017. 11. | 제주 해비치호텔    | 대한민국 |
| 3  | 순환골재, 순환골재 재활용 제품 우수활용사례 발표 및 국제세미나 - 순환골재 품질기준 개정 주요내용             | 이세현 | 2017. 11. | 제주 해비치호텔    | 대한민국 |

| 번호 | 회의 명칭                                                             | 발표자 | 발표 일시     | 장소          | 국명   |
|----|-------------------------------------------------------------------|-----|-----------|-------------|------|
| 4  | 한국건설순환자원 학회 추계학술발표대회 - 순환골재 및 고로슬래그 미분말을 활용한 콘크리트 압축강도에 관한 기초적 연구 | 전찬수 | 2017. 11. | 제주 해비치호텔    | 대한민국 |
| 5  | 한국콘크리트학회 2017년도 가을 학술대회 - 순환골재를 사용한 콘크리트의 물리특성에 관한 연구             | 성중현 | 2017. 11. | 안동 그랜드호텔    | 대한민국 |
| 6  | 한국콘크리트학회 2017년도 가을 학술대회 - 콘크리트용 순환골재의 치환율에 따른 콘크리트의 역학적 특성        | 추영규 | 2017. 11. | 안동 그랜드호텔    | 대한민국 |
| 7  | 한국건축시공학회 춘계학술발표대회 - 다단형 풍압처리에 의한 순환골재 품질개선에 관한 연구                 | 전찬수 | 2018. 05  | 제주 신화월드     | 대한민국 |
| 8  | 한국건축시공학회 추계학술발표대회- 파 · 분쇄기와 박리 및 마쇄기 접목에 따른 콘크리트용 순환골재의 품질 비교 연구  | 최원영 | 2018. 10. | 제주 신화월드     | 대한민국 |
| 9  | 대한토목학회 학술대회 - 저급 순환골재의 콘크리트 활용을 위한 연구                             | 이승태 | 2018. 10  | 경주 화백컨벤션센터  | 대한민국 |
| 10 | 한국콘크리트학회 2018년도 가을 학술대회 - 순환골재 및 천연골재를 혼합한 혼합골재 콘크리트의 실험적 연구      | 성중현 | 2018. 11  | 평창 알펜시아 리조트 | 대한민국 |
| 11 | 한국콘크리트학회 2018년도 가을 학술대회 - 콘크리트용 순환골재의 치환율에 따른 콘크리트의 동결융해 저항성 평가   | 추영규 | 2018. 11  | 평창 알펜시아 리조트 | 대한민국 |
| 12 | 한국콘크리트학회 2018년도 가을 학술대회 - 순환골재를 사용한 모르타르의 역학적 특성에 대한 양생방법의 영향     | 권성대 | 2018. 11  | 평창 알펜시아 리조트 | 대한민국 |

### (3) 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신제품, 프로그램)

| 번호 | 지식재산권 등 명칭<br>(건별 각각 기재)                      | 국명   | 출원        |             |               |       | 등록        |             |            |       | 기여율  |
|----|-----------------------------------------------|------|-----------|-------------|---------------|-------|-----------|-------------|------------|-------|------|
|    |                                               |      | 출원인       | 출원일         | 출원번호          | 등록번호* | 등록인       | 등록일         | 등록번호       | 등록번호* |      |
| 1  | 회전타격체의 타격 및 낙하 충격을 이용한 건설폐토석의 이물질 제거장치 및 제거방법 | 대한민국 | 한국건설기술연구원 | 2017. 05.17 | 2017-0061104  |       | 한국건설기술연구원 | 2017. 11.09 | 10-1798044 |       | 100% |
| 2  | 골재 혼합기 및 이를 이용한 천연골재와 순환골재의 혼합방법              | 대한민국 | 한라엔컴      | 2017. 11.28 | 2017-0160828  |       |           |             |            |       | 100% |
| 3  | 파쇄 및 마쇄하기 위한 스크류형 회전체 및 이를 이용한 순환골재 생산장치      | 대한민국 | 한국건설기술연구원 | 2019. 09.25 | 2019-01-18227 |       |           |             |            |       | 100% |

#### (4) 신기술 지정

| 번호 | 명칭                                                               | 출원일         | 고시일         | 보호 기간                           | 지정 번호                |
|----|------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|---------------------------------|----------------------|
| 1  | 속도 조절형 로터의 회전충격과 밀폐식 다단형 풍압처리에 의한 순환잔골재 품질개선 및 순환토사의 유기이물질 제거 기술 | 2017.11.08. | 2018.04.10. | 2018.04.10.<br>~<br>2023.04.09. | 환경신기술<br>(NeT) 제542호 |

#### (5) 표준화

| 번호 | 수행 기관명        | 표준화 주제 | 표준화 기구              | 표준화 단계 | 관련 번호     | 제출(채택)일    | 국가   |
|----|---------------|--------|---------------------|--------|-----------|------------|------|
| 1  | 한국건설기술<br>연구원 | KS 규격  | 국가기술표준원<br>기계소재 표준과 | 개정안 채택 | KS F 2527 | 2018.12.27 | 대한민국 |

#### (6) 기술 거래(이전)

| 번호 | 기술 이전<br>유형 | 기술 실시 계약명          | 기술 실시<br>대상 기관 | 기술 실시<br>발생일 | 기술료<br>(해당 연도 발생액) | 누적<br>징수 현황 |
|----|-------------|--------------------|----------------|--------------|--------------------|-------------|
| 1  | 기술실시        | 고품질 순환잔골재<br>생산 기술 | 하나케이(주)        | 2020.02      |                    |             |

#### (7) 정책활용 내용

| 번호 | 구분<br>(제안/채택) | 정책명                | 관련 기관<br>(담당 부서) | 활용 연도 | 채택 내용                |
|----|---------------|--------------------|------------------|-------|----------------------|
| 1  | 채택            | 순환골재 품질기준 공고       | 국토교통부<br>(건설산업과) | 2017  | 순환골재 품질기준 변경         |
| 2  | 채택            | 재활용 건축 자재의<br>활용기준 | 국토교통부<br>(녹색건축과) | 2018  | 재활용 건축자재 활용<br>기준 변경 |

#### (8) 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

| 번호 | 구분<br>(설계 기준/설명서/<br>지침/안내서) | 활용 구분<br>(신규/개선) | 설계 기준/설명서/<br>지침/안내서 명칭   | 반영일            | 반영 내용                                         |
|----|------------------------------|------------------|---------------------------|----------------|-----------------------------------------------|
| 1  | 표준시방서                        | 개선               | KSC 14 20 21<br>순환골재 콘크리트 | 2018.<br>08.30 | 콘크리트용 순환골재 품질기준<br>강화 및 순환골재 콘크리트 용도<br>제한 변경 |

#### (9) 홍보

| 분류   | 명칭                                                     | 발행기관       | 발표일자       |
|------|--------------------------------------------------------|------------|------------|
| 기술기사 | 순환골재 사용 활성화를 위한<br>개선방향                                | 한국건설순환자원학회 | 2018. 06   |
| 기사   | 양질의 순환골재, 콘크리트용 골재로<br>본격적인 활용 추진                      | 한국건설신문     | 2019.08.28 |
| 기사   | 한라엔컴(주), 순환 잔골재 60%<br>치환한 '구조용 순환 잔골재 콘크리트<br>건축물 적용' | 한국건설신문     | 2019.08.28 |

## 다. 관련 분야 기여도

### ○ 순환골재 품질인증 제도의 개선 방안 제안

- 순환골재 인증제도, 품질기준 관리 등에 대한 정부부처의 활동을 통해 현재 건설폐기물 처리업체가 대부분 순환골재 품질인증을 보유하게 되었고, 순환골재를 폐기물에서 자원으로 활용함에 있어 큰 성과가 있었음
- 정부 부처의 지속적인 순환골재 사용의무 대상공사 및 용도확대, 성상별 의무재활용율 증가, 순환골재 재활용 촉진을 위한 인센티브 부여 등 순환골재 인증제도의 확대, 성숙을 기대하고 있으나, 업체는 입찰 자격 확보 등의 목적으로 제도를 활용하고 있을 뿐, 실질적인 순환골재의 생산 및 활용에는 미온적으로 대응하고 있음
- 현재 순환골재의 대부분이 매립용으로 활용되고, 특히 콘크리트용 순환골재로의 활용은 매우 미흡한 상황에서 천연자원의 고갈, 환경오염 방지 등 사회적, 환경적 가치 증진의 측면에서도 순환골재의 효율적 활용을 위한 정부의 노력이 필요함
- 건설폐기물의 분리선별, 혼합골재 활용 등 다양한 의견을 포함하여, 순환골재의 활용성을 확보하기 위한 정책, 제도로써 본 과제에서 제안한 재활용 제품 인증제도 개선, 사업장 인증제도 시행 제도 등을 제안함

### ○ 콘크리트용 순환골재에 대한 품질 및 안정성 확보를 통해 고부가가치의 순환골재 시장 확대 가능

- 현재 건설폐기물은 연간 7,000만톤 정도 발생하고 이중 순환골재로 활용가능한 폐콘크리트 및 폐아스팔트콘크리트는 이중 80% 가량이며, 특히 콘크리트용 골재로 활용하기 위한 폐콘크리트는 60%인 4,000만톤 이상이 발생하고 98%이상이 재활용 되고 있음
- 그러나, 생산된 순환골재의 60%정도는 성토/복토용으로 사용되고, 30%가 도로기층/보조기층용으로 활용되며, 콘크리트 또는 콘크리트 제품용의 고부가가치를 나타낼 수 있는 순환골재의 활용은 5%미만인 상황임
- 최근 콘크리트용 골재에 수급문제가 전국적, 상시적으로 발생하고 있으며, 품질기준에 미흡한 해사, 산사 등이 레미콘에 적용되어 품질 저하가 우려되고 있는 상황에서 일정한 품질관리가 가능한 순환골재를 콘크리트용 골재로 활용하는 것에 대해 관심이 높아지고 있음
- 본 과제를 통해 강화된 「순환골재 품질기준」에 부합한 고품질의 순환골재를 생산하기 위한 기술 검증, 순환골재 콘크리트의 현장 적용 사례 확보 등은 순환골재에 대한 인식을 개선하여, 지금까지 낮은 수준의 활용에 머물러 있던 순환골재 시장을 고부가가치의 콘크리트용 순환골재의 시장으로 빠르게 변화시킬 수 있을 것으로 기대함

## 4. 연구개발성과의 활용 계획

### 가. 실용화·제품화 방안

- 개발 기술의 적용을 통해 품질기준이 확보되어 생산된 고품질 순환골재는 이를 사용하는 레미콘, 2차제품의 품질 안정성 확보 가능
- 기존 순환골재가 주로 도로보조 기층용 및 버림콘크리트 등에 한정적으로 적용되었으나 개발 기술의 검증 및 실증화를 통해 구조용 콘크리트를 포함한 연간 2억4천만 $m^3$ 의 콘크리트시장에 진출가능한 순환골재 콘크리트의 레미콘 생산 가능
- 순환골재에 대한 신뢰성 확보 및 이에 대한 인식 증대를 통해 저비용의 순환골재 사용을 통한 경제성 확보를 기대하는 패널, 블록 등의 콘크리트 2차제품의 원재료로 고품질 순환골재 적용
- 비 시멘트계 결합재인 슬래그, 플라이애시 등의 사용으로 구조체의 내구성 증진 효과는 물론 수화열 저감의 큰 이점을 바탕으로 대형 구조물의 기초 매트, 단면이 큰 매스콘크리트 등에 적용 가능할 것으로 예상됨

### 나. 사업화 및 기술이전 방안

#### (1) 사업화 모형 수립(BM) 배경

##### (가) 천연골재 채취에 의한 환경피해

- 2019년도 전국 골재수요는 253,045천 $m^3$ 으로, 모래 121,462천 $m^3$ (48%), 자갈 131,583천 $m^3$ (52%)를 점유할 것으로 예측, 천연골재 부족현상과 골재채취에 따른 환경적문제와 사회적 갈등 심화
- 2019년도 국내 골재 수요에 따른 공급계획은 266백만 $m^3$ 으로 잔골재 127백만 $m^3$ , 굵은 골재 138백만 $m^3$ 으로 구성
- 대량 발생하는 폐콘크리트를 골재로 생산 할 경우 콘크리트용 골재 3천5백만톤(21백만 $m^3$ ), 도로공사용 골재 4억4천8백만톤(30백만 $m^3$ ) 생산 가능



- 폐콘크리트를 골재로 재자원화 할 경우 국내 골재 공급량의 20% 점유
- 따라서 순환골재 자원화는 골재채취에 따른 산림훼손과 바다 및 하천 생태계 파괴 등과 같은 환경피해 저감 기여가 큼

## (나) 건설공사 품질확보

- 레미콘 원자재 가격상승대비 레미콘 가격상승 저조에 따라 생산가격과 기업이윤을 목적으로 저가의 저품질 천연골재를 사용
- 레미콘 품질저하로 인한 콘크리트 강도저하, 내구성 저하 등 품질저하 문제점 발생
- 따라서 콘크리트용 품질기준에 적합하고 품질이 균일한 순환골재를 저렴하게 공급하여 조악한 천연골재 사용 억제를 통한 레미콘 품질과 품질관리 향상 유도

## (2) 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

### (가) BM 목표

- 이물질 0.3% 이하, 밀도  $2.3\text{g/cm}^3$  이상, 흡수율 4% 이하 품질이 확보된 콘크리트용 순환 잔골재
- 순환골재 60% 이상 사용한 일반강도 수준의 콘크리트

### (나) 핵심경쟁요인

- 순환골재는 건설폐기물을 활용하여 생산하는 골재로 해체단계에서 성상이 다른 여러 가지 물질이 혼합되어 순환골재 생산 공정에 반입 → 다량의 이물질과 불순물로 인한 균일한 품질의 순환골재 생산 저해 → 이물질 분리 및 품질개선 순환골재 생산 공정으로 균일한 품질의 순환골재 생산 가능
- 순환골재는 조악한 품질로 인하여 콘크리트용으로 30% 이내 사용으로 제한되어 있음 → 순환골재 60% 이상 다량 사용 일반강도 수준 콘크리트 배합, 생산, 품질관리 등 기술 보유 → 순환골재 콘크리트 제조기술 현장 생산 플랜트 접목 → 전국 19개 사업장을 통해 생산 및 보급 가능
- 순환골재 콘크리트 구조물 적용 시범사업을 통해 안정성 확보, 기술력 홍보, 순환골재에 대한 사용자 인식 변화

### (3) 목표 시장 구조

#### (가) 경쟁 기업 현황

##### 1) 순환골재 생산업체

- 국내 건설폐기물 중간처리 후 순환골재 생산하는 업체는 560개소가 존재하며 이중 콘크리트용 순환 잔골재 품질인증을 득한 업체는 31개소로 전체 업체 중 5.5% 점유
- 그러나 품질인증을 득하였어도 실제 생산하는 골재와 품질차이가 큼
- 균질한 품질의 순환골재를 생산가능 한 국내 업체는 전무함

##### 2) 순환골재 콘크리트

- 국내 콘크리트 생산업체 중 기술력이 높은 대형업체는 5개소 내외며 1,500 개소 이상의 군소업체는 기술력, 전문인력, 실험장비 등 열악
- 순환골재 60% 이상 다량 사용 일반강도 수준 콘크리트를 배합, 생산, 판매 실적을 가진 업체는 전무함

#### (나) 시장 진입 장벽

- 폐기물이라는 인식과 조악한 품질이라는 인식으로 인하여 사용자로 하여금 사용에 대한 거부감 확산
- 고품질 순환골재 생산 시 고도처리에 따른 비용 상승으로 골재 판매단가 상승

### (4) 수익 확보 전략

##### 1) 주요 고객군

- 건설사, 관급 및 민간 건설공사

##### 2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- 품질고도와 생산기술을 통한 균질한 순환골재 품질 확보
- 순환골재 60% 이상 다량 사용 일반강도 수준 콘크리트 배합, 시공, 안전성 등 기술력 확보
- 환경부, 국토교통부 연계 구조물 적용 시범사업을 통한 홍보
- 순환자원 사용에 따른 인센티브 부여 (정부 정책 지원)

## 참고 문헌

- 1) Barnhouse, P.W.; Srubar, W.V. Material characterization and hydraulic conductivity modeling of macroporous recycled-aggregate pervious concrete. *Constr. Build. Mater.* 2016, 110, 89 - 97.
- 2) Choi, W.Y., Lee, S.H. and Kim, S.H. (2017). A Comparative Study on the Quality of Recycled Aggregate for Concrete by Crushing Method, *Journal of the Korea Recycled Construction Resources Institute*, 5(2), 121-129
- 3) Chung, H.S., Yang, K.H. and Kim, H.H. (2006). The Influence of the Quality and the Replacement Level of Recycled Aggregate on the Mechanical Properties of Concrete, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 22(6), 71-78
- 4) Etxeberria, M.; Vázquez, E.; Marí, A.; Barra, M. Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete. *Cem. Concr. Res.* 2007, 37, 735 - 742.
- 5) Hanif, A.; Kim, Y.; Lu, Z.; Park, C. Early-age behavior of recycled aggregate concrete under steam curing regime. *J. Clean. Prod.* 2017, 152, 103 - 114.
- 6) Jeon, E., Yun, H.D., Ji, S.K., Choi, K.S., You, Y.C. and Kim, K.H. (2009). Mechanical Properties of Ready-mixed Concrete with Recycled Coarse Aggregates, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, 25(8), 103-110
- 7) Jo, H.D. Studies on the Development of Removal Technique of Attached Mortar of Recycled Aggregate for Concrete. Ph.D. Thesis, Daegu University, Daegu, Korea, 2012.
- 8) Kim, H.J. (2010) Compressive Strength of Concrete with Different Substitution Ratio of Recycled Fine Aggregates, *Jeju National University*.
- 9) Kim, S.C., Park, D.K. and Yoog, K.C. (2016). Characteristic of Cementitious Mortar Using High Volume of Recycled Fine Aggregate, *Journal of the Korea Recycled Construction Resources Institute*, 4(3), 235-242
- 10) Kim, S.H., Jeon, C.S., Lee, S.H., (2018) An Experimental Study on the Estimation of Compressive Strength and the Physical Properties of Recycled Aggregate Concrete of Fixed Slump, *Journal of Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 22(2), 51~58.
- 11) Kim, Y.; Hanif, A.; Usman, M.; Munir, M.J.; Kazmi, S.M.S.; Kim, S. Slag waste incorporation in high early strength concrete as cement replacement: Environmental impact and influence on hydration; durability attributes. *J. Clean. Prod.* 2018, 172, 3056 - 3065.
- 12) Kim, Y.; Hanif, A.; Kazmi, S.M.; Munir, M.J.; Park, C. Properties enhancement of recycled aggregate concrete through pretreatment of coarse aggregates—Comparative

assessment of assorted techniques. *J. Clean. Prod.* 2018, 191, 339 - 349.

- 13) Kim, Y.C.; Bae, J.H.; Shin, J.R.; Nam, J.S.; Yeo, J.D.; Gwag, Y.G. A study on the Mechanical Properties of Concrete According to Substitute Rate of Recycled Aggregate; Architectural Institute of Korea: Choongju, Korea, 2010;pp. 295 - 299.
- 14) Kim, Y.; Hanif, A.; Usman, M.; Park, W. Influence of bonded mortar of recycled concrete aggregates on interfacial characteristics – Porosity assessment based on pore segmentation from backscattered electron image analysis, *Constr. Build. Mater.* 2019, 212, 149 - 163.
- 15) Kou, S.C.; Zhan, B.J.; Poon, C.S. Use of a CO<sub>2</sub> curing step to improve the properties of concrete prepared with recycled aggregates *Cem. Concr. Compos.* 2014, 45, 22 - 28.
- 16) Lee, W.K., Choi, J.O. and Jung, Y.W. (2015). Effect of the Amount of Attached Mortar of Recycled Aggregates on the Properties of Concrete, *Journal of the Korea Recycled Construction Resources Institute*, 3(2), 132-139
- 17) Ogawa, H.; Nawa, T. Improving the Quality of Recycled Fine Aggregates by Selective Removal of Brittleness Defects. *J. Adv. Concr. Technol.* 2012, 10, 396.
- 18) Park, R.S. A Study on the Characteristics of Concrete Using the Surface Coated Recycled Aggregate. Ph.D. Thesis, Chonbuk National University, Jeonju, Korea, 2007.
- 19) Shima, H.; Matsushashi, R.; Yoshida, Y.; Tatayasiki, H. Life cycle Assesment of High Quality Aggregate Recovered from Demolished Concrete with Heat and Rubbing Method. *J. Clin. Investig.* 2001, 23, 67 - 72.
- 20) Sim, J.S.; Park, C.W.; Park, S.J.; Kim, Y.J. Characterization of Compressive Strength and Elastic Modulus of Recycled Aggregate Concrete with Respect to Replacement Ratios. *J. Korean Soc. Civ. Eng.* 2006, 26, 213 - 218.
- 21) Tam, V.W.Y.; Tam, C.M.; Le, K.N. Removal of cement mortar remains from recycled aggregate using pre-soaking approaches. *Resour. Conserv. Recycl.* 2007, 50, 82 - 101.
- 22) Tam, V.W.; Gao, X.F.; Tam, C.M. Microstructural analysis of recycled aggregate concrete produced from two-stage mixing approach. *Cem. Concr. Res.* 2004, 35, 1195 - 1203.
- 23) Yang, I.H. and Jeong, J.Y. (2016). Effect of Recycled Coarse Aggregate on Compressive Strength and Mechanical Properties of Concrete, *Journal of the Korea Concrete Institute*, 28(1), 105-113
- 24) Yang, I.H. and Kim, K.C. (2016). Mechanical Properties and Predictions of Strength of Concrete Containing Recycled Coarse Aggregates, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 20(2), 49-59
- 25) Yu, M.Y., Lee, J.Y. and Chung, C.W. (2009). The Property Estimation of Fine Aggregate Blended with Natural, Crushed, and Recycled Fine Aggregate, *Journal of the*

Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 25(11), 113–120

- 26) Zaharieva, R.; François, B.B.; Wirquin, E. Frost resistance of recycled aggregate concrete. *Cem. Concr. Res.* 2004, 34, 1927 - 1932.
- 27) KS F 2527 (2018), Concrete aggregate.
- 28) KS F 2573 (2014), Recycled Aggregate for Concrete.
- 29) KS F 4009 (2016), Ready-Mixed Concrete.
- 30) Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2017), Recycled aggregate quality standard, Ministry of Land, Infrastructure and Transport, 2017-1711.
- 31) Korea Institute of Civil engineering and Buiding Technology (2017), Final Report of Integrated Development of CO2 Management Technology for Construction Materials, Ministry of Land, Infrastructure and Transport.
- 32) Ministry of Environment. National Waste Generation and Disposal Status in 2016; Ministry of Environment: Seoul, Korea, 2017.

### 주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 건설기술연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발 성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.