건설교통기술촉진연구사업 최종보고서

R&D / 11기술혁신F05

순환자원을 활용한 Zero Emission Binder의 상용화 및 제조시스템 개발

2015. 1. .

주관연구기관 / (주)씨엠디기술단
협동연구기관 / (주)대웅

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 **“순환자원을 활용한 Zero Emission Binder의 상용화 및 제조시스템 개발”과제(세부과제 “Zero Emission Binder의 제조 시스템 구축”)**의 보고서로 제출합니다.

2015. 1 .

주관연구기관명 : (주)씨엠디기술단
주관연구책임자 : 문 경 주
연 구 원 : 김 소 정
〃 : 안 양 진
〃 : 김 이 진
〃 : 김 희 숙
〃 : 윤 성 현
〃 : 박 철 순
〃 : 오 용 훈
〃 : 이 영 원
〃 : 김 종 관
〃 : 음 현 미
〃 : 김 민 영
〃 : 문 형 모

협동연구기관명 : (주)대웅
협동연구책임자 : 고 형 우
연 구 원 : 전 한 준
〃 : 조 승 오
〃 : 이 채 규
〃 : 전 영 덕

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11기술혁신
F05</td><td>해당단계
연구기간</td><td>2011.12.23
~ 2014.12.22</td><td>단계
구분</td><td>3단계/
3단계</td></tr>
<tr><td>연구사업명</td><td colspan="5">건설교통기술촉진연구사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구과제명</td><td>최상위
과제명</td><td colspan="4">순환자원을 활용한 Zero Emission Binder의 상용화 및 제조시스템 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4">Zero Emission Binder의 제조 시스템 구축</td></tr>
<tr><td>연구책임자</td><td>문경주</td><td>총연구기간
참여
연구원수</td><td>총 : 22명
내부 : 22명
외부 : 0명</td><td>총연구비</td><td>정부:
559,000천원
기업:
327,700천원
계:
886,700천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및
소속부서명</td><td colspan="2">(주)씨엠디기술단
/ 임원실</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">(주) 대웅</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="5">상대국명 : 상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)</td><td>보고서면
수</td><td>135</td></tr>
<tr><td colspan="6">천연자원을 소비하지 않고 산업폐기물 및 부산물을 이용하여 제조되는 시멘트의 개발(CO2 무배출형 ZERO EMISSION BINDER의 개발)을 통해 환경부하 저감형 친환경 시멘트의 개발 및 제조시설을 구축하고, 이를 적용한 그린건설 재료 및 콘크리트 2차 제품의 개발 및 상용화를 목적으로 한다.</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색인어
(각 5개 이상)</td><td>한글</td><td colspan="4">시멘트, 무배출, 순환자원, 자극제, 콘크리트 2차제품</td></tr>
<tr><td>영어</td><td colspan="4">Cement, Zero Emission, Recycling Resource, Activator, Concrete 2th Products</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목

순환자원을 활용한 Zero Emission Binder의 상용화 및 제조시스템 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발의 최종 목표

천연자원을 소비하지 않고 산업폐기물 및 부산물을 이용하여 제조되는 시멘트의 개발(CO_2 무배출형 ZERO EMISSION BINDER의 개발)과 이의 적용 및 활용을 위한 상용화 시스템 구축을 최종목표로 하며, ZERO EMISSION BINDER의 개발을 통해 환경부하저감형 친환경 시멘트의 개발 및 제조시설을 구축하고, 이를 적용한 그린건설재료 및 콘크리트 2차 제품을 개발을 통해 친환경 콘크리트를 동시에 개발 및 상용화 하고자 한다.

2. 당해연도 목표

1차년도 : ZEB 사용 원재료 전처리 조건 규명 및 최적 배합 도출

2차년도 : Pilot Plant 설치 및 시제품을 이용한 시멘트 콘크리트 및 콘크리트 2차제품 특성 평가

3차년도: 상용화 시스템 개발 및 개발제품의 현장 적용성 평가

○ Zero Emission개념의 무기결합재 제조기술 개발

⇒ 포틀랜드 시멘트 클링커 제조 대비 1/10을 상회하지 않는 온실가스 배출 여부

⇒ 소성공정이 없이 단지 원료의 수분제거를 위한 건조공정 및 혼합·분쇄 공정 여부

○ 천연자원을 소비하지 않고 산업폐기물 및 부산물을 이용하여 제조되는 시멘트 개발

⇒ 석회석, 점토, 규사, 화석연료 등의 천연자원을 소비하지 않고 고로슬래그, 폐석고 및 석탄회 등을 주재료로 이용 여부

⇒ 무기계 산업폐기물의 혼합시멘트의 자극제로 활용성 평가

○ 기존 시멘트에 제품 제조원가 대비 80%의 범위에서 제조

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

천연자원을 소비하지 않고 산업폐기물 및 부산물을 이용하여 제조되는 ZERO EMISSION BINDER의 개발과 이를 적용한 그린건설재료 및 콘크리트 2차 제품을 개발을 통해 친환경 시멘트 및 콘크리트를 동시에 개발 및 상용화를 달성하기 위해 아래와 같은 내용의 연구를 수행하였다.

○ 자극제 및 결합재로 활용할 각종 산업부산물의 원시료 분석

⇒ 산업부산물 발생 업체 및 그 발생량과 품질에 관한 선행 조사

⇒ 자극제 및 결합재로 활용할 각종 산업부산물 선정(폐석고 및 고칼슘 플라이애시 등)

⇒ 산업부산물 원시료의 화학 · 물리 · 환경 특성 분석 및 전처리 방법 분석

○ ZEB의 적정 배합비 도출

⇒ 산업부산물의 전처리 방식에 따른 적정 배합비 도출

⇒ ZEB를 이용한 모르타르의 기초적 특성 및 안정성 평가

○ 알칼리 및 황산염 자극제 최적 전처리 조건 도출

⇒ 알칼리 및 황산염계 자극제의 원시료 분석

⇒ 자극제 전처리 방식에 따른 적정배합비 도출

⇒ 폐기물 복합처리에 따른 자극제의 혼합 및 분쇄 조건 확립

○ 상용화 Plant의 제작 및 설치 (생산량 60톤/시간 규모)

⇒ 상용화 Plant의 제작 및 설치

⇒ 상용화 Plant의 시운전

⇒ 상용화 Plant의 운용 미비점 보완

⇒ 상용화 Plant에서 시제품 생산

○ ZEB의 기존 시멘트 대체 및 용도 다양화를 위한 제반 성능 검증

⇒ 심층안정화용 토양 고결재로의 대량 활용 기술 개발

⇒ 표층안정화용 토양 고결재로의 대량 활용 기술 개발

⇒ 고부가성 건설재료(레미탈, 칼라시멘트 등)로서의 성능 평가

⇒ PHC 파일채움재로서의 활용성 평가

⇒ 콘크리트 2차제품용 결합재로서의 활용성 평가

○ ZEB기반 그린건설재료 제품화 요소기술 개발

⇒ ZEB를 이용한 경화체의 물리적/역학적 특성 평가

⇒ ZEB를 이용한 경화체의 내구성 평가

⇒ ZEB를 이용한 경화체의 환경안정성 평가

⇒ ZEB의 유해중금속 고정화 특성 검토

○ 상용화 시스템 최적 운전 조건 도출

⇒ 상용화 Plant 시제품의 제반 성능 평가

⇒ ZEB 제조 공정 및 제품 제조 기술의 재현성 평가

⇒ 운전 조건에 따른 ZEB의 품질 변화 특성 평가

⇒ Pilot Plant의 최적화 자료 확보

○ ZEB의 그린건설재료 실용화 기술개발

⇒ 콘크리트 2차제품의 현장 적용 및 미비점 보완

⇒ 개발 제품 상용화를 위한 종합적 타당성 검토 및 단위 요소기술의 조합

○ 개발 제품의 현장 적용성 평가

⇒ ZEB의 제반성능 종합평가 및 활용 제품 성능인증
(투수계수, 압축강도, pH, 내구성 등)

⇒ ZEB의 심층안정화용 토양 고결재로의 현장 실증

⇒ ZEB의 표층안정화용 토양 고결재로의 현장 실증

⇒ ZEB의 PHC 파일채움재로서의 현장 실증

⇒ ZEB의 콘크리트 2차제품용 결합재로서의 현장 실증

Ⅳ. 연구개발결과

본 연구개발을 통해 개발된 ZEB 제조 기술을 심층안정화용 토양고결재 , 표층안정화용 토양고결재, 레미탈, PHC파일 채움재, 콘크리트 2차제품용 결합재 등으로 활용하기 위한 일련의 평가 및 검토를 실시하였으며, 그 결과 기존의 보통포틀랜드 시멘트(OPC)와 비교하여 동등 이상의 성능을 발휘하고 있음을 확인하였다.

ZEB를 건설현장에 적용하여 시험시공한 결과, 종래의 보통 포틀랜드 시멘트나 고로슬래그 시멘트 고화재에서 나타난 유기물이 풍부한 고함수 해성점토에서의 강도발현 지연현상 문제와 지하수에 의해 고결능력이 상실되는 문제점이 발견되지 않았으며, 기존 지반 고화재와 달리 고화시 환경에 영향을 미치는 강알칼리 및 Cr6+ 용출이 거의 없어 지반환경의 오염 발생 가능성을 저감시킬수 있다. 또한, 내산성, 내해수성 및 일련의 환경안정성 실험을 통해 기존 OPC 대비 우수한 내구성 및 환경안정성 및 강도발현성상의 확보가 가능함을 확인하였다.

Zero Emission 개념을 적용한 CO2 무배출형 무기결합재를 개발 및 상용화하기 위해, 알칼리계 및 황산염계 산업폐기물/부산물을 자극제로 이용하여 무기결합재를 제조하였으며, 이를 활용한 콘크리트 2차제품 및 기타 지반 보강 안정재 실용화 기술을 확보하였으며, 이러한 ZEB는 지구온난화에 대응한 탄소배출 저감 기술로서 뿐만 아니라 경제적인 원가절감형 기술로서도 현장 실용화가 확대될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 탄소세 및 탄소배출권 거래제도 등의 도입에 대응한 건설현장의 녹색건축기술로서 인증 및 녹색성장에 대한 기여가 가능할 것으로 기대된다.

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

ZEB의 기술개발은 전력구조물 뿐만 아니라 일반 콘크리트 2차제품 분야에서의 새로운 수요와 기술을 창출하는 효과를 발휘하게 될 것으로 기대된다. 또한 이를 이용한 고성능 콘크리트 분야에파급력이 큰 원천기술 확보 가능성이 상당히 높다.

분쇄 또는 분급기술을 통하여 미연탄소분 저감 및 분말도 상향을 통한 ZEB용 고품질 플라이애시 생산기술 확보할 수 있으며, ZEB 배합설계에서 성능중심 설계법을 도입함으로써 ZEB의 성능을 향상시키고 선진국 수준의 배합기술을 확보할 수 있다.

저탄소 ZEB 활용기술개발은 건설 분야의 혁신적인 신수요 창출로 에너지/이산화탄소 다소비 건설의 패러다임의 변화를 가져올 수 있을 것으로 판단되며, 기존 콘크리트의 제조, 성능에 대한 원론적인 개념변화로 다양한 적용성의 확보가 가능하다.

또한 순환자원을 활용한 ZEB는 시멘트 및 생석회를 전혀 사용하지 않기 때문에 기존 콘크리트용 혼화재료 재료공정에 손쉽게 적용될 수 있는 특징을 지니고 있는 바, 당사에서 보유하고 있는 고화재 생산 공정(1,200톤/일 규모)을 이용하여 ZEB제품 양산에는 어려움이 없을 것으로 판단된다. 이러한 기술은 선진국에서도 개발된 적이 없는 우리나라의 고유기술로서 향후 더욱 더 지반에 대한 환경 안정성이 부각되는 시점에 반드시 필요한 소재가 될 것이며, 말뚝 관입용, 지하수의 유동 및 침출수의 유출을 방지하기 위한 차수용, 연약한 지반 보강용, 공동을 충전하거나 뒷채움을 위한 저강도 기포혼합 고화재로도 널리 활용이 기대되며, 또한 향후 개발한 기술의 활용분야로는 하천, 농로, 해안 간척지 등의 연약지반의 고화 및 터널 그라우팅, 하수관, 전기배선관 등 다양한 구조물의 뒷채움재 등으로의 용도확대가 기대된다.

SUMMARY

Ⅰ. Title

Development of the Commercialization & Manufacturing System of Zero Emission Binder utilizing Recycled Resources

Ⅱ. Purpose & Necessity of R&D

1. Final Goal of R&D

The final goal is to develop cement being produced by utilizing industry wastes and by-products without consuming natural resources (CO_2 zero emission binder) and establish an according commercialization system for its application and utilization. The zero emission binder will be used to develop environmental load reduction type eco-friendly cement and establish its development & manufacturing facilities, through which green construction materials & concrete secondary products will be developed for the development and commercialization of eco-friendly concrete.

2. Year-specific Goals

1st Year Goal: identification of ZEB use raw material pre-treatment conditions and deduction of optimum mix

2nd Year Goal: installation of pilot plant and evaluation of cement concrete and concrete secondary product characteristics using sample

3rd Year Goal: development of commercialization system and evaluation of the field applicability of the developed product

○ Development of the manufacturing technology of zero emission concept inorganic composite

⇒ Greenhouse gas emission status not exceeding 1/10 compared to the manufacturing of portland cement clinker

⇒ Drying process & mixing/pulverizing process status for simply removing moisture of raw

materials without calcination process

○ Development of cement manufactured by using industry wastes and by-products without consuming natural resources

⇒ Status of using blast-furnace slag, used plaster and coal ash as main materials without consuming natural resources such as limestone, clay, silica and fossil fuel

⇒ Evaluation of usability as a stimulant of mixed cement of inorganic industry wastes

○ Manufacturing of the product in 80% range compared to the manufacturing cost of existing cement product

Ⅲ. Contents & Scope of the R&D

Following researches were conducted to develop zero emission binder manufactured by using industry wastes and by-products without consuming natural resources to develop green construction materials and concrete secondary products through the zero emission binder to ultimately develop and commercialize eco-friendly cement and concrete.

○ Analysis of the raw sample of various industry by-products to be used as stimulant and binding material

⇒ Advanced research on the companies with industry by-products and the amount and quality of the by-products

⇒ Selection of various industry by-products to be used as stimulant and binding material (used plaster, high calcium fly ash, etc.)

⇒ Analysis of the chemical/physical/environmental characteristics of the raw sample of industry by-products and analysis of pre-treatment method

○ Deduction of appropriate mix ratio of ZEB

⇒ Deduction of appropriate mix ratio according to the pre-treatment method of industry by-products

⇒ Evaluation of the basic characteristics and stability of mortar using ZEB

○ Deduction of optimum pre-treatment condition of alkali & sulphate stimulant

⇒ Analysis of raw sample of alkali & sulphate stimulant

⇒ Deduction of appropriate mix ratio according to stimulant pre-treatment method

⇒ Establishment of mixing and pulverizing conditions of stimulant according to waste complex

treatment

○ Production and installation of commercialization plant (in the scale of 60 ton/hour production)

⇒ Production and installation of commercialization plant

⇒ Test operation of commercialization plant

⇒ Supplementation of operational area of improvement of commercialization plant

⇒ Product of sample from commercialization plant

○ Verification of overall performance of ZEB for the substitution of existing cement and diversification of usage

⇒ Development of mass utilization technology of deep stabilization purpose soil hardening material

⇒ Development of mass utilization technology of surface stabilization purpose soil hardening material

⇒ Evaluation of performance as high value construction material (remitar, color cement, etc.)

⇒ Evaluation of usability as PHC pile filler

⇒ Evaluation of usability as binding material for concrete secondary products

○ Development of ZEB-based green construction material commercialization component technology

⇒ Evaluation of physical/mechanical characteristics of hardening material using ZEB

⇒ Evaluation of durability of hardening material using ZEB

⇒ Evaluation of environmental safety of hardening material using ZEB

⇒ Review of fixation characteristics of harmful heavy metal of ZEB

○ Deduction of optimum operational condition of commercialization system

⇒ Evaluation of overall performance of commercialization plant sample

⇒ Evaluation of reproduction feasibility of ZEB manufacturing process and manufacturing technology

⇒ Evaluation of the quality change characteristics of ZEB according to operational conditions

⇒ Collection of optimization data of pilot plant

○ Development of commercialization technology of green construction material of ZEB

⇒ Field application of concrete secondary products and supplementation of areas of improvement

⇒ Review of comprehensive feasibility for developed product commercialization and combination of unit component technologies

○ Evaluation of field applicability of developed product

⇒ Comprehensive evaluation of overall performance of ZEB and performance certification of utilized product

(permeability coefficient, compressive strength, pH, durability, etc.)

⇒ Field verification of ZEB as deep stabilization purpose soil hardening material

⇒ Field verification of ZEB as surface stabilization purpose soil hardening material

⇒ Field verification of ZEB as PHC pile filler

⇒ Field verification of ZEB as concrete secondary product purpose binding material

Ⅳ. R&D Results

A series of evaluations and reviews was conducted to use the ZEB manufacturing technology developed through the R&D for various purposes such as deep stabilization soil hardening material, surface stabilization soil hardening material, remitar, PHC pile filler, concrete secondary product binding material. The results showed that it was displaying above equal performance compared to that of existing ordinary portland cement (OPC).

The test construction result of ZEB in construction field showed that the issue of strength manifestation delay phenomenon of high moisture content marine clay rich in organic matter that was found with conventional OPC or blast-furnace cement solidification agent was not found. In addition, the issue of loss of cementation capacity as a result of underground water was not found. It can reduce the possibility of polluting ground environment as there are hardly any strong alkali and Cr^{6+} emission that affect solidification environment contrary to existing ground hardening agent. In addition, it was verified through acid-resistance, seawater-resistance and a series of environmental safety experiments that it can ensure superior durability, environmental safety and strength manifestation compared to existing OPC.

For the development and commercialization of CO_2 zero emission inorganic binder applying the zero emission concept, inorganic binding material was manufactured by using alkali and sulphate industry wastes and by-products as stimulant. Based on this, a commercialization technology of concrete secondary product and other ground reinforcement stabilization agent was developed. Field commercialization of such ZEB is expected not only as a technology for reducing carbon emission in response to global warming but also as an economic cost-saving technology. It is also expected to contribute to be certified as a green construction technology of construction field in response to upcoming implementation of carbon tax and carbon emission trading scheme, while contributing to green growth.

Ⅴ. Utilization Plan of the R&D Results

The technological development of ZEB is expected to be effective in creating new demand and technology not only for electric power facilities but also in the area of ordinary concrete secondary products. In addition, it is highly likely to allow the assurance of original technology with a significant ripple effect in the area of high-performance concrete.

Using pulverizing or classification technology, a ZEB purpose high-quality fly ash production technology can be obtained through unburned carbon reduction and fineness improvement. The performance of ZEB can be enhanced while obtaining an advanced country's level mixing technology by implementing performance centered design method in the design of ZEB mix.

The development of low-carbon ZEB utilization technology is expected to bring a paradigm shift of energy/carbon dioxide excessive consumption construction by creating innovative new demands in construction area. In addition, various applications can become possible through theoretical concept change of the manufacturing and performance of existing concrete.

In addition, it is expected that there would be no difficulties in the mass production of ZEB products by using the solidification agent production process (1,200 ton/day capacity) of our company since ZEB utilizing recycled resource has the characteristic of easily being applied to existing concrete compound material process as it does not use any cement and quicklime. It is an original technology of our country that has yet to be developed even in advanced countries and expected to become a must material in the future where environmental safety of ground will be further emphasized. In addition, it is expected to be widely used for various purposes such as pile penetration, barrier for preventing the flow of underground water and leakage of leachate, reinforcement of fragile ground, low-strength air-mixed hardening material for cavity filling or back fill. As for areas of future usage, its use is expected to expand to the solidification of fragile ground such as river, farm road and coastal reclamation land and the back fill of various structures such as tunnel grouting, drain pipe, electric wiring ducts.

목 차

제1장 연구개발과제의 개요 ····· 17

제 1절 연구개발 개요 ····· 17

1. 연구개발 배경 ····· 17

2. 연구개발목적 및 필요성 ····· 18

제 2절 관련분야의 국내외 기술개발 현황 ····· 19

1. 국내 기술개발 현황 ····· 19

2. 국외 기술개발 현황 ····· 20

3. 특허 동향 ····· 23

제 3절 연구개발 결과의 차별성 ····· 26

제2장 연구개발수행 내용 및 결과 ····· 27

제 1절 연구방법 및 범위 ····· 27

1. 단계별 연구 내용 ····· 27

2. 단계별 연구개발 추진 체계 ····· 30

제 2절 연구 수행 과정 및 내용 ····· 31

1. 국내외 관련 기술동향 분석 ····· 31

2. ZEB의 적용 분야 및 사용처별 요구성능 분석 ····· 44

제 3절 연구수행 결과 ····· 53

1. 순환자원의 정제 및 품질안정화 방안 ····· 53

2. ZEB 최적 배합 도출 및 물성 평가 ····· 80

3. ZEB의 콘크리트 2차제품 적용성 평가 ····· 95

4. ZEB의 다양화를 위한 제반 성능 검증 ····· 97

5. ZEB 기반 제품화 요소 기술 개발 ····· 143

6. ZEB의 그린 건설재료 실용화 기술 개발 ····· 170

제3장 최종 연구성과 및 적용 실적 ····· 196

제 1절 Pilot Plant 설치 및 시제품 생산 ·····196
1. Pilot Plant 설치 ·····196
2. 시제품 생산 ·····201
제 2절 기술 실시 및 현장 적용 사례 ·····211
1. 표층처리 공법 ·····211
2. 사면안정재 ·····222
3. 심층혼합처리공법 ·····227
4. 기술시방서 ·····238
제 3절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망 ·····245
1. 지반고화재 관련 국내외 시장 현황 ·····245
2. 콘크리트 2차제품용 무기결합재 관련 국내외 시장 현황 ·····250
3. 경제성 분석 ·····252

제4장 연구목표 달성 및 효과 ·····257
제 1절 연구개발 최종목표 달성도 ·····257
제 2절 연구개발 성과의 효과분석 ·····260
1. 기술적 효과 ·····260
2. 경제적·산업적 효과 ·····260
3. 환경적 효과 ·····261

제5장 연구개발결과의 활용 및 추가연구 필요성 ·····262
제 1절 연구성과 향후 활용 방안 ·····262
1. 연구성과 활용 ·····262
2. 사업화 추진 방안 및 판매 계획 ·····263
제 2절 추가 연구 필요성 ·····264

참고문헌 ·····265

부록 ·····268

CONTENTS

Chapter 1. Overview of R&D Assignment ·····17

Paragraph 1. Overview of R&D ·····17

1. Background of R&D ·····17

2. Purpose & Necessity of R&D ·····18

Paragraph 2. Domestic/Int'l Technological Development in Related Area ·····19

1. Domestic Technological Development ·····19

2. Int'l Technological Development ·····20

3. Patent Trend ·····23

Paragraph 3. Differentiation of R&D Results ·····26

Chapter 2. Contents & Results of R&D ·····27

Paragraph 1. Research Method & Scope ·····27

1. Step-specific Research Contents ·····27

2. Step-specific R&D Implementation Scheme ·····30

Paragraph 2. Research Implementation Process & Content ·····31

1. Analysis of Domestic/Int'l Technological Trends ·····31

2. Analysis of ZEB Application Areas & Usage-specific Performance Requirement ····44

Paragraph 3. Research Implementation Results ·····53

1. Recycled Resource Purification & Quality Stabilization Plan ·····53

2. ZEB Optimum Mix Deduction & Properties Evaluation ·····80

3. ZEB Concrete Secondary Product Applicability Evaluation ·····95

4. ZEB Overall Performance Verification for Diversification ·····97

5. ZEB-based Commercialization Component Technologies ·····143

6. ZEB Green Construction Material Commercialization Technology Development ·····170

Chapter 3. Final Research & Application Results ·····196

Paragraph 1. Pilot Plant Installation & Sample Production ·····196

1. Pilot Plant Installation ·····196

2. Sample Production ·····201

Paragraph 2. Technological Implementation & Field Application Cases ·····211

1. Surface Treatment Method ·····211

2. Slope Stabilization Material ·····222

3. Deep Mix Treatment Method ·····227
4. Technical Specification ·····238
Paragraph 3. Technological Development Result and Domestic/Int'l Market Forecast ·245
1. Ground Solidification Material related Domestic/Int'l Market Condition ·····245
2. Concrete Secondary Product Purpose Inorganic Binding Material related Domestic/Int'l Market Condition ·····250
3. Economic Analysis ·····252

Chapter 4. Research Goal Achievement & Effect ·····257
Paragraph 1. R&D Final Goal Achievement Level ·····257
Paragraph 2. R&D Result Effect Analysis ·····260
1. Technological Effect ·····260
2. Economic/Industrial Effect ·····260
3. Environmental Effect ·····261

Chapter 5. R&D Result Utilization and Necessity of Additional Research 262
Paragraph 1. Research Result Future Utilization Plan ·····262
1. Research Result Utilization ·····262
2. Commercialization Implementation & Sales Plan ·····263
Paragraph 2. Necessity of Additional Research ·····264

References ·····265

Appendix ·····268

제 1장 연구개발과제 개요

제 1절 연구개발 개요

1. 연구개발 배경

Zero Emission은 한 생산과정에서 발생하는 폐기물을 다른 공정에 재사용하거나 다른 산업체에 유용한 자원으로 바꾸는 것을 추구한다. 기업 사이에 부산물을 사고-파는 거래가 이루어지고, 이런 거래들이 얽혀서 산업전체가 어떠한 종류의 폐기물도 내버리지 않는 순환체계에 도달하는 것을 추구한다. Zero Emission을 시멘트 업계에 적용했을 경우, 시멘트산업은 다른 여러 산업들과의 폐기물 교환 네트워크에서 중심기업의 역할이 가능한 산업이다. 현재 '저탄소 녹색성장' 이란 정부정책과 더불어 R&D사업에서도 CO_2가스방출 억제개발 기술과 천연자원 보전의 자원재활용의 기술개발이 요구되는 시점에 있다. 특히, 온실가스 중 55%를 차지하는 CO_2의 배출량 중 약 8%는 시멘트 제조 분야에서 배출되는 것으로 알려져 있다. 포틀랜드 시멘트는 고온(1,450℃)상태에서 용융시켜야만 생산할 수 있기에 대량의 에너지를 소비할 뿐만 아니라 1톤의 시멘트를 제조하는 경우 약 0.9톤의 이산화탄소가 배출된다. 따라서 향후 온실가스 감축은 시멘트 업계의 가장 큰 현안으로 등장할 것이며, 협약이 발효될 경우 한국 시멘트 산업은 시멘트 클링커 생산량을 50% 이상이나 감축해야할 것으로 예견된다.

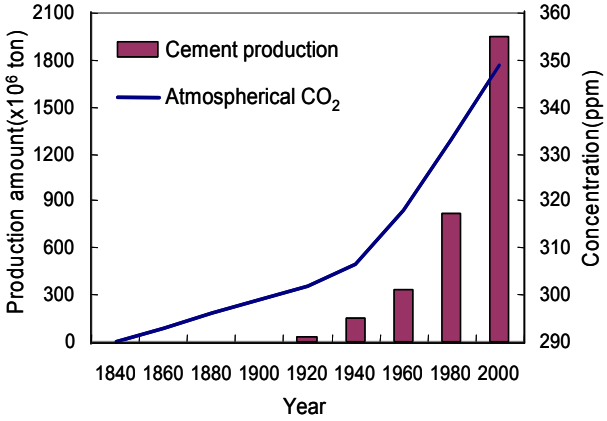
포틀랜드 시멘트 1ton 제조 시 발생되는 석탄 소비량 및 이산화탄소 배출량

항 목	환산량
이산화탄소 배출량	- 탈탄산으로부터의 CO_2 : 0.52톤 - 석탄연소로부터의 CO_2 : 0.32톤 - 현장 설비를 운전하기 위해 화력발전소에서 생산된 전력 CO_2 : 0.1톤 이상
기타 석탄 연소시 발생되는 가스발생	CO, SOx, NOx, 미세 Dust 등
필요 열용량	4GJ
석탄 소비량	132kg
시멘트 킬른에서 석탄 연소시 발생하는 CO_2	석탄 1톤 연소시 CO_2 2,418kg 2,418× 0.132 = 320kg

▶ 시멘트 킬른에서 사용되는 화석 연료인 석탄의 열량은 26GJ/t이며, CO_2 배출계수는 93kg/GJ로 환산

현재 연간 5,000만 톤에 달하는 시멘트 클링커를 생산하기 위해서 약 6,000만 톤의 석회석이 채굴되고 있다. 현재 우리나라의 석회석 매장량은 약 40억 톤에 불과한 데 이대로 가면 70년이 채 못가서 고갈될 상황이다. 이렇게 막대한 양의 석회석이 백두대간의 정상에서부터 층층이 계단식으로 깎여져 노천채굴 방식으로 채광된 결과, 수려한 자연경관이 황량하게 훼손되었음은 물론 수자원의 원천마저 고갈되고 있다. 따라서 이에 대한 근본적인 대책이 요구되는바 시멘트 생산에 따른 환경부하의 감소를 위해 산업부산물 및 폐기물의 활용도를 높이

는 것은 큰 효과를 나타낼 수 있다.



1840년부터 2000년까지의 대기 중의 CO_2 농도와 세계 포틀랜드 시멘트 생산량



석회석의 계단식 채굴 광경-충북 단양

2. 연구개발 목적 및 필요성

본 연구에서는 이러한 Zero Emission 개념을 적용한 CO_2 무배출형 무기결합재 제조를 하고자 하며, 기술의 개요는 다음과 같다.

고로슬래그 및 플라이애시 등의 비결정질 물질은 시멘트와 달리 자체적으로 물과 수화되지 않지만, 수산화물 또는 황산염과 같은 자극제의 첨가에 의한 수화반응 유도에 의한 경화특성을 지닌다. 이러한 수화특성은 비결정질 입자의 불규칙적 3차원 쇄상결합이 절단되면서 망상구조체 내부에 함유된 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} 등의 수식이온들이 용출되어 시멘트와 같은 경화특성을 지니게 된다.

따라서 본 연구에서는 알칼리계 및 황산염계 산업폐기물/부산물을 자극제로 이용하여 상온에서 제조가 가능한 무기결합재를 제조하고 이를 활용한 콘크리트 2차 제품 등 그린건설재료로의 실용화 기술을 개발하고자 하였다.

우리나라는 교토의정서상의 1차(2008~2012) 온실가스 배출감축 의무국가로 지정되지 않았지만 2008년부터는 점진적으로 의정서의 이행의무를 지니게 되었으며, 지난 10년간 온실가스 배출량 증가속도가 OECD 국가 중에서 1위, 배출총량이 세계 9위임을 감안할 때 교토의정서 2차 공약기간(2013~2017) 중에는 온실가스 감축 의무대상국으로 지정될 가능성이 확실시 되고 있는 실정으로, 전 산업분야에서는 더 이상 자발적 저감이 아닌 강제적 저감 상황에 직면하고 있으며, 이는 기업의 경제적 이익을 떠나 지구 환경 지속성을 위해 해결해야 할 당면 과제가 되었다.

미국 내 건축물에서 소모되는 에너지 소모량 및 CO_2 배출량이 미국 전체 에너지 소비량의 70%, CO_2 배출량의 38%를 차지한다는 미국 환경보호청의 보고에서도 알 수 있듯이 건축분야는 다량소비/대량폐기와 같이 반환경 산업으로 인식되어지고 있는바, 이를 지구환경 보존을 위한 친환경 산업으로 전환하기 위한 노력이 요구된다.

특히, 건설 산업의 주요자재인 콘크리트는 시멘트, 골재, 혼화재료 등의 자재 생산과정에서부

터 제조에 이르기까지 다량의 CO_2를 배출하고 있어, 환경 선진국에서는 저탄소 콘크리트 조달 시스템 등 CO_2 배출량 및 에너지 절약형 콘크리트 생산에 관한 연구가 진행되고 있으나 국내에서는 이에 대한 연구가 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 Zero Emission 개념을 적용한 CO_2 무배출형 무기결합재를 개발 및 상용화하기 위해, 알칼리계 및 황산염계 산업폐기물/부산물을 자극제로 이용하여 제조가 가능한 무기결합재를 제조하고 이를 활용한 콘크리트 2차 제품의 실용화 기술을 개발하고자 한다.

제 2절 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술개발 현황

가. 시멘트제로형 무기결합재

현재 국내에서는 친환경 건설재료 개발의 목적으로 고로슬래그 및 플라이애시의 강알칼리 자극(NaOH, KOH, Sodium-Silicate 등)에 의한 Geo-Polymer 개념의 친환경 소재 개발연구가 연구기관 및 대학을 중심으로 증기양생용, 자극제 종류에 따른 물리적 특성, 양생온도별 특성 등 실용화 연구가 진행 중에 있다. 외국의 경우 이미 일반 포틀랜드 시멘트의 성능만으로는 고성능을 발휘하기에는 부족하다는 것을 인지하여 알칼리 활성화 슬래그를 사용하였고, 특히, 구소련 같은 경우에는 시멘트 가격이 높기 때문에 시멘트 이외의 저렴하면서도 시멘트 동등 이상의 강도발현의 물질을 찾아 사용해야만 하는 상황이었음. 따라서 혼합시멘트의 사용이 우리나라보다 먼저 시작되었다.

현재 국내에서 Geo-Polymer 콘크리트에 관한 연구는 아주 미약한 상태이고, 대부분 알칼리 활성화 고로슬래그 또는 플라이애시를 시멘트의 일정비율로 대체하여 사용하는 혼합사용에 관한 기술이 주류를 이루고 있는바, 일례로 고로슬래그 시멘트 등의 무기결합재는 포틀랜드 시멘트에 비하여 저열, 고강도, 고유동, 내산성, 염화물 침투 저항성 등이 우수한 성질을 갖고 있지만 포틀랜드 시멘트에 비하여 사용실적이 미비하다. 그 이유는 보통 포틀랜트 시멘트(OPC)에 비하여 응결지연, 초기강도 저감, 건조수축 증대, 중성화 등 문제점도 내포하고 있기 때문이다.

빨리 굳고, 쓰기 편한 것만 추구하는 소비자인 건설업자의 취향에 맞추어 시멘트를 생산해온 결과, 보통 포틀랜드 시멘트 단일종이 전체 시멘트 생산량의 90% 이상을 차지하는 나라가 많게 되었는데 이러한 시멘트산업 구조는 산업부산물을 재활용하는데 장애로 작용한다.

따라서 국제 기후변화 협약을 고려하여 온실가스를 대량 배출하는 포틀랜드 시멘트의 생산량을 감축시킬 수 있는 방안으로 클링커를 전혀 사용하지 않으며 산업폐기물로 적치되어 있는 고칼슘연소재, 폐석고 등을 자극제로 사용할 수 있는 환경부하 저감형 무기결합재인 Geo-Polymer 콘크리트에 대한 연구가 절실히 요구되어 있다.

나. 무기결합재 활용기술 현황

고로슬래그 및 플라이애시 등 산업부산물을 시멘트 대체로 활용하는 콘크리트 기술은 세계적인 수준에 도달하였으나, 그러나 고로슬래그의 혼입률 60%, 플라이애시 혼입률 30% 이상인 High Volume에 대한 연구와 기준이 마련되지 않아 실용화 미흡한 상황이다.

국내에서는 무시멘트에 관련된 연구는 2000년대부터 이루어지고 있으며, 알칼리 활성화 고로슬래그를 사용하는 기술이 주류를 이루고 있다. 국내에서 무시멘트 기술에 대한 연구가 일부 수행되었으나, 구체적인 구조부재에 대한 적용연구 및 실용화 기술개발이 부족한 실정으로, 최근 사회적인 이슈인 친환경 녹색성장기술과 관련하여 에너지 절약기술 및 신재생에너지 기술과 더불어 친환경 및 이산화탄소 절감기술이 주목받고 있다.

대표적인 무기결합재인 시멘트 생산은 이산화탄소 배출의 주범이며, 1톤의 시멘트 생산에 대해서 약 950kg 정도의 이산화탄소를 배출하고 있으며, 온실가스 배출량 가운데 약 8%가 시멘트 제조 분야에서 발생되는 것으로 알려져 있으며, 시멘트 산업에서 에너지 및 CO_2를 절감하기 위하여 시멘트 modulus 조절 광화제를 활용한 저온소성 시멘트가 연구되어지고 있으며, 이산화탄소 포집기술에 대한 검토는 하고 있지만 실제로 시멘트 공정에 적용한 예는 아직 없다.

2. 국외 기술개발 현황

1939년 R. Feret에 의해 슬래그가 콘크리트의 혼화재로 처음 사용이 시도되었고, 1940년에는 A. O. Purdon이 고로슬래그를 이용한 알칼리 활성화의 가능성을 보여주었으며, 1959년에 Glukhosky가 최초로 알칼리성 시멘트의 이론적 근거를 마련하고 개발하여 주로 고로슬래그를 중심으로 수화반응을 활성화하기 위한 알칼리 활성화제의 개발 및 초기 급결문제의 완화방향으로 발전해 왔다.

1978년에는 프랑스의 Davidovits가 시멘트를 전혀 사용하지 않고 카올리나이트 광물질을 사용하여 중합반응(polymerization)에 의해 알칼리 활성화 콘크리트가 개발되었으나, 제조상의 문제와 경제성 등의 이유로 인해 연구가 이루어지지 않았다.

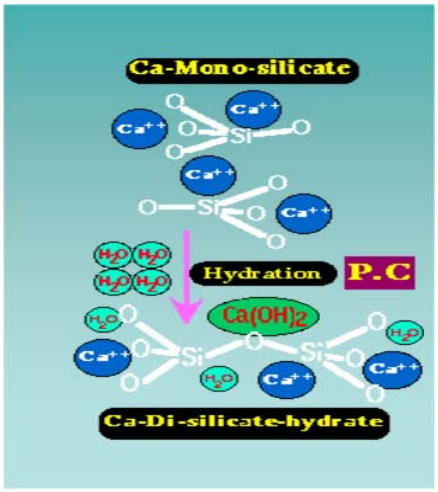
플라이애시의 활성화에 의한 지오폴리머 경화체는 결합재로서 포틀랜드 시멘트를 필요로 하지 않는 새로운 개념의 무기결합재로서 포틀랜드 시멘트를 사용하지 않는 대신에 Si와 Al이 풍부한 플라이애시와 같은 무기물이 알칼리성의 액체에 의해 활성화되어 결합재로서 적용된다.

Davidovits 등은 kaolinite와 같은 알루미노 규산염 광물이 비교적 저온에서 아주 빠른 시간 내에 3차원의 tecto-알루미노규산염으로 변환되는 열경화 과정은 고분자 수지의 축중합 과정과 유사하며 생성물은 자연계에서 보편적으로 생성되는 암석과 동일하다는 점에서 생성물을 지오폴리머(geo-polymer)라 명명하였으며 이것에 기초하여 SILIFACE process라는 제조 공정에 대한 특허를 출원하였다.

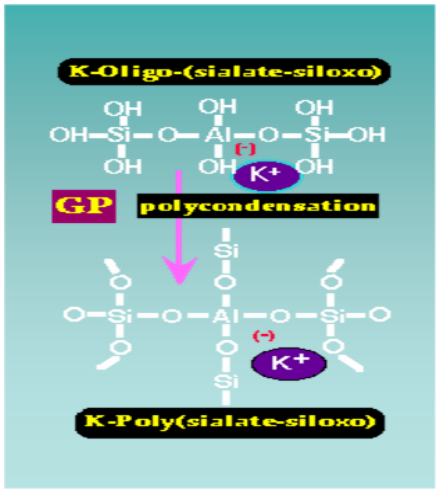
무기물 재료를 활성화하는 데에는 두 가지 모델이 있다. 첫 번째 모델은 Si와 Ca를 포함하는 활성재료가 중・저 농도의 알칼리 용액에 의해 활성화되는 것이다. 두 번째 모델은 Si와 Al을 포함하는 활성재료가 고농도의 알칼리 용액에 의해 활성화되는 것이며, 이 경우에 발생하는 화학적 반응이 중합(Polymerization)반응이다. 그리고 두 번째 모델에 의해 생성된 결합재를 Davidovits(1999)가 1978년에 지오폴리머(Geo-polymer)라고 명명하였다.

제조과정 중 Si와 Al을 포함하는 활성재료가 알칼리성 활성화제 용액에 의해 활성화되어 결합재로 작용하게 된다. 일반적으로 알칼리성 활성화제로는 수산화나트륨(또는 수산화칼슘)과 규산화나트륨(또는 규산화칼륨)의 화합물이 사용된다. 그러므로 지오폴리머에서 중합반응은 고알칼리 상태에서 Al-Si 광물에 화학적 반응이 일어나서 중합체의 Si-O-Al-O 결합을 구성하는

과정을 의미한다. 지오폴리머 재료의 구조모델은 여전히 연구 중에 있기 때문에 지오폴리머가 응결, 경화되는 정확한 메커니즘은 아직까지 명확하지 않다.



시멘트의 수화 모식도



지오폴리머의 경화모식도

1981년 핀란드의 Fross는 플라이애시의 알칼리성 혼합물로 바인더를 제조하여 특허를 출원하였는데, 시멘트 클링커 및 플라이애시의 혼합물과 NaOH와 알칼리염(규산염, 탄산염)을 사용한 것이었다. 또한 목재 부산물이나 톱밥 등으로 지오폴리머 콘크리트에 동결이나 풍화에 대한 저항성을 부여할 수 있으며, 강도도 우수하다고 보고되고 있다.

지오폴리머의 종류에는 메타카올린이나 고로슬래그, 플라이애시 등이 있으며 현재는 시멘트 혼화재료로 사용되고 있는 것들이다. 이들 지오폴리머물질의 혼화재료 혼입은 기존의 OPC의 성능을 향상 시켜 왔으며, 이를 단독으로 사용한 지오폴리머 콘크리트는 OPC 이상의 성능을 가지리라 보고되고 있다.

2000년 이후, 환경문제가 사회적으로 이슈화됨으로써 2001년 미국에서는 'Vision 2030: A Vision for the U. S. Concrete Industry'에서 친환경 콘크리트를 만들기 위한 계획을 발표하면서 본격적인 연구를 시작하였고, 호주에서는 2001년부터 'Low-Calcium Fly-Ash Based Geopolymer Concrete' 프로젝트를 수행하기 시작하여 개발, 제조, 활용기술 개발을 목표로 활발한 연구가 진행되고 있으며, 일본, 유럽 등 여러 나라에서 플라이애시, 고로슬래그 등 산업부산물을 이용한 알칼리 활성화 콘크리트 연구가 활발히 진행되어 일부 실용화가 이루어지고 있다.

현재 시멘트 Zero 콘크리트의 기술수준은 고로슬래그를 사용한 경우 수화반응을 활성화 시켜 약 40 ~ 70MPa 정도까지 고강도 콘크리트 제조 가능하며, 플라이애시를 사용한 경우, 상온에서는 강도발현이 30MPa을 넘지 못하는 수준으로 중합반응의 활성화를 위해서는 고온양생이 필요하나 아직까지 알칼리 활성화제, 양생온도와 양생시간에 대해 체계적으로 한 연구는 미비하다.

최근, 중국에서도 고로슬래그 및 석탄회를 활용한 무시멘트 콘크리트 관련 연구가 활발히 진행되고 있으며, 일부 블록 등 제작기술을 개발하여 현장적용 수준에 이르고 있다.

현재 고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 제조기술의 최고 기술보유국은 호주이고, 석탄회계와

천연재료계는 프랑스이고 구조부재 활용기술은 프랑스, 호주로서 전반적으로 무시멘트 콘크리트에 대한 최고 기술보유국은 프랑스와 호주로 분석된다. 현재 무시멘트 콘크리트 관련 사업을 수행하는 업체 중에서 Geopolymer Institute이라는 조직이 무시멘트 콘크리트 기술을 주도해가고 있으며, 호주의 Wopfinger사의 SLAGSTAR 제품도 무시멘트 콘크리트 일종으로 현장에 적용하고 있다. 그러나 이들 업체는 관련 서적 판매, 관련 제품의 샘플 판매 그리고 학술활동 등을 수행하고 있으며, 아직까지 무시멘트 콘크리트로 본격적으로 사업을 수행하는 업체는 없다.

따라서 무시멘트 콘크리트에 대해 집중으로 투자해서 기술개발이 이루어질 경우, 국내적용은 물론 해외시장에서도 충분히 기술을 선도가 가능할 것으로 예상된다.

국외 시멘트 제로형 무기결합재 연구 현황

업체 (국가)	보유 기술	기술 특징	기술적용 효과
Geopolymer Institute (프랑스)	석탄회 무시멘트 콘크리트 제조기술	고온에서 석탄회 활성화	압축강도 30MPa
Curtin대학 (호주)	저칼슘 플라이애시 기반 Geopolymer 콘크리트 (2000~현재)	-배합 및 제조기술 -장기거동 평가 -구조부재 활용성 평가	고온에서 50MPa
Yamaguchi대학 (일본)	상온에서 지오폴리머 제조 기술(2000~현재)	-플라이애시+석영+산화철 +쇼듐실리케이트 등으로 중합반응 - 온습도 조절 건설자재 개발	상온에서 20~30MPa
Monash대학 (호주)	고로슬래그계 무시멘트 콘크리트 기술	- 배합 및 제조기술 - 장기거동 및 내구성 평가 - 50~70MPa 강도	탄소배출을 감소시킨 친환경 콘크리트
Wopfinger (호주)	고로슬래그-황산염계 무시멘트 콘크리트 제조기술	- 황산염 활성화제와 고로슬래그 이용한 기술 - 압축강도 50MPa, 높은 화학저항성	
태평양시멘트 (일본)	고로슬래그-황산염계 무시멘트 콘크리트 제조기술	- 플라이애시와 고로슬래그 등 광물질 혼화재를 포함하지 않음	
	초속경 시멘트	- 호우인(C_3A_3, $CaSO_4$), 석고, 고로슬래그 미분말 등을 배합한 시멘트	

3. 특허 동향

가. 국내 특허 동향

국내에서는 고로슬래그 활성화에 의한 시멘트 관련 특허는 총 9건으로 분석되었으며, 기존 시멘트를 대체할 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다. 그러나 알칼리계 및 황산염계를 혼용한 Zero Emission Cement 무기결합재에 적용된 특허는 아직 출원되지 않았다.

출원 번호	발명 명칭	요약	출원인
2001-0029296 (2001.05.26)	고로슬래그와 자극알칼리제를 첨가한 환경친화형 점토조성물	본 발명은 고로슬래그와 자극알칼리제를 첨가한 점토조성물에 관한 것으로, 그 목적은 점토의 소성과정을 거치지 않고서도 고결하여 소정의 강도를 확보하며, 풀림을 방지할 수 있는 고로슬래그와 자극알칼리제를 첨가한 점토조성물을 제공하는 것이다. 본 발명은 상기 목적을 달성하기 위하여 점토 50~85wt%에 반응혼화재로 고로슬래그를 9.5~50wt% 첨가하고, NaOH, KOH, $Ca(OH)_2$, $CaSO_4$, NaCl, $CaCl_2$, 물유리(규산소다)로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상의 자극알칼리제를 3~9.8wt% 혼합하여 조성되어 이온응집반응, 포졸란 반응 및 고로슬래그의 잠재수경성 반응에 의해 점토를 소성하지 않고도 소정의 강도를 확보하고 풀림을 방지할 수 있는 고로슬래그와 자극알칼리제를 첨가한 점토조성물을 제공함에 있다.	(주) 지플러스
2001-0049168 (01-11-09)	시멘트무첨가형 환경친화성 점토 포러스콘크리트 조성물	시멘트를 전혀 사용하지 않고, 천연상태의 점토에 산업부산물인 고로슬래그와 고로슬래그의 약한 자경성을 촉진시키기 위한 알칼리성 자극제(NaOH, NaCl, $CaCl_2$, KOH, $Ca(OH)_2$, $CaSO_4$, 규산소다)를 단일 혹은 혼용 첨가한 후 물로 비벼 형성되어진 점토 페이스트를 굵은 골재에 피복하여 골재가 서로 접착된 조성물로서 공극이 5~40%인 연속공극 경화체로 이루어진 점토 포러스콘크리트 조성물	(주) 지플러스
2000-0069376 (2000.11.21)	고로슬래그를 주재료로 하는 비소성 시멘트 제조방법	본 발명은 산업부산물인 고로슬래그에 석고, 수산화나트륨, 생석회 혹은 소석회, 황산알루미늄 및 조경제를 자극제로 하여 제조한 것으로 일반 시멘트의 제조와 같은 소성과정이 필요 없이 단순한 분쇄과정과 혼합과정을 걸쳐 생산할 수 있으므로 자원과 에너지를 절약하고 제조단가를 크게 줄이며 강도 및 내구성을 향상시킬 수 있는 시멘트 제조방법에 관한 것이다.	(주) 씨엠디 기술단
2008-0016040 (2008-02-22)	고로슬래그·폐석고를 주재료로 이용한 콘크리트 2차제품	$CaSO_4$의 함유량이 85%이상인 폐석고의 대량 처리방안으로 폐석고 40~80중량%, 슬래그 분말 15~55 중량%, 시멘트 0~10중량%, 소석회 0~2중량%, 자극제 0~2중량%를 건식혼합한 후 물고형분비 20~30%의 범위로 습식혼합하여 상대습도 90%이상, 60~85℃의 온도에서 양생하여 콘크리트 2차제품을 제조하는 방법.	(주) 네오 이엔비
2005-0045677 (2005.05.30)	무기결합재 조성물 및 이를 이용한 경화체 제조방법	본 발명은 무기결합재 조성물 및 이를 이용한 경화체 제조방법에 관한 것으로서, 본 발명에 의한 무기결합재 조성물은 폐석고 미분말과 폐석회 미분말로 이루어진 수화반응 활성제 12~30중량%; 및 비표면적 6,000~12,000㎠/g인 고로슬래그 미분말 70~88중량%;로 이루어진다. 본 발명에 따르면, 클링커 생산에 필요한 석회석 등의 광물자원 고갈을 방지할 수 있고, 특히 환경문제를 야기하는 폐석고 및 폐석회를 고로슬래그의 수화반응 활성제로 이용하기 때문에 산업폐기물의 재활용 측면에서 매우 효과적이다.	전북 대학교 산학 협력단
2007-0065185 (2007.06.29)	무시멘트 알카리 활성 결합재	고로슬래그 ; 및 나트륨계를 포함하는 알카리성 무기질 재료;를 포함하는데, 상기 알카리성 무기질 재료는 규산나트륨 및 액상형의 물유리 중 어느 하나 이상이고,	전남 대학교 산학 협력단

		상기 알카리성 무기질 재료에 포함된 나트륨계 대 고로슬래그의 중량비가 0.038 내지 0.088로서, 상기 나트륨계의 중량은 Na_2O로 환산된 값인 것을 특징으로 하는 무시멘트 알카리 활성 결합재.	
2003-0023377 (2003.03.19)	수경성 바인더	블레인(Blaine) 분말도 5000 ㎠/g를 초과하는 정도로 분말화된 유리질 벌키 슬래그를 함유하는 수경성 바인더에 있어서, 잠재 수경성 고로 슬래그가 93%를 초과하는 유리질을 가지며, 34 내지 40 중량%의 이산화규소(SiO_2)와, 34 내지 37 중량%의 산화칼슘(CaO)과, 9 내지 13 중량%의 산화알루미늄(Al_2O_3)을 함유한다. (CaO+MgO)/(Al_2O_3+SiO_2) 비율은 0.88 내지 0.98이다. 상기 바인더가 0.5 내지 5 중량%의 포틀랜드 시멘트 클링커 또는 포틀랜드 시멘트를 포함하는 것이 바람직하다. 상기 조건은 여러 슬래그들을 혼합하여 충족될 수 있다.	보핑거 슈타인, 운트 칼크베르케 쉬미트 운트 콤파니
2005-0079529 2005.08.29	산업부산물을 이용한 다기능성 무기결합재 조성물	구성성분의 몰비가 SiO_2 33.6 ~ 61 , CaO 16.8 ~ 43.5 , Al_2O_3 13.0 ~ 29, MgO 2.0 ~ 5.2 및 Na_2O + K_2O 0.2 ~ 0.4 인 알루미노 실리케이트계 혼화재 100 중량부에 액상의 알칼리성 반응 활성화제 30 ~ 60 중량부가 포함되어 이루어지며, 이들을 수화반응시켜 얻어진 수화생성물 중 Ca/Si 몰비가 0.8 ~ 1.2 범위인 것을 특징으로 하는 다기능성 무기결합재 조성물.	기초소재 주식회사
2002-0008312 (2002.02.16)	알칼리 활성화 알루미노실리케이트계 초속경성 무기결합재조성물	본 발명은 알칼리 활성화 알루미노실리케이트계 초속경성 무기결합재 조성물에 관한 것으로서, 보다 상세하게는 무기결합재의 가공성과 물성을 향상시키기 위하여 첨가되는 혼화재의 경화반응을 알칼리성 반응 활성화제를 첨가하여 더욱 촉진시키므로써, 기존의 초속경성 무기결합재와 유사한 단시간에 초기 경화가 일어나며, 장기간의 재령에도 강도가 감소되지 않고 유지되는 등의 물성이 향상되고, 또한 산업 부산물을 원료로 사용하고, 기존의 시멘트에 혼합하여 사용함으로써 별도의 소성 설비가 필요없는 경제적이고 물성이 향상된 알칼리 활성화 알루미노실리케이트계 초속경성 무기결합재에 관한 것이다.	기초소재 주식회사

나. 국외 특허 동향

본 신청기술과 관련된 고로슬래그 활성화에 의한 Zero Emission Cement 특허가 총 25여건으로 분석되었으며, 기존 시멘트를 대체할 성능을 발휘하는 것으로 분석되었다.

따라서 본 연구팀에서 개발하고자 하는 기술은 현재까지는 국외 특허분쟁 문제는 고려하지 않아도 될 것으로 판단되나 조속히 본 기술에 대한 원천기술 확립이 절실히 필요하며 본 기술개발이 성공적으로 이루어질 경우 국제적으로도 독점적인 기술우위를 점할 수 있으리라 예상된다.

국가	출원 번호	발명 명칭	출원인
US	2005-547594	Hydraulic Binder	Holcim Ltd.
US	2004-862316	Method for preparing a building material	Optos Optimale Oszillationstechnick GmbH
US	2002-228008	Method for accelerating setting of cement and the compositions produced therefrom	ISG Resources, Inc.
US	2002-055554	Composition of materials for production of acid resistant cement and concrete and methods thereof	Advanced Materials Technologies, LLC
US	1995-473790	System for manufacturing sheets from hydraulically settable compositions	E. Khashogi Industries
US	1996-630210	Articles of manufacture and methods for manufacturing laminate structures including inorganically filled sheets	E. Khashoggi Industries, LLC
US	1995-487792	Methods for manufacturing containers and other articles from hydraulically settable mixtures	E. Khashoggi Industries, LLC
US	1993-157695	Methods for manufacturing articles from sheets having a highly inorganically filled organic polymer matrix	E. Khashoggi Industries, LLC
US	1997-789019	Cementitious systems and methods of making the same	Ash Grove Cement Company
US	1993-105741	Methods for manufacturing articles from sheets of unhardened hydraulically settable compositions	E. Khashoggi Industries
US	1995-390468	Cement mixtures with alkali-intolerant matter and method	Materials Technology, Limited
US	1995-486864	Cementitious packaging containers	E. Khashoggi Industries
US	1995-411391	Highly insulative cementitious matrices and methods for their manufacture	E. Khashoggi Industries
US	1995-427684	Laminate insulation barriers having a cementitious structural matrix and methods for their manufacture	E. Khashoggi Industries
US	1995-486865	Coated cementitious packaging containers	E. Khashoggi Industries
US	1993-101630	Sheets made from moldable hydraulically settable materials	E. Khashoggi Industries
US	1994-334820	Cementitious systems and novel methods of making the same	Ash Grove Cement Company
US	1995-477205	Sheets made from moldable hydraulically settable compositions	E. Khashoggi Industries
US	1995-504623	Alkali-activated glassy silicate foamed concrete	U.S. Army Corps of Engineers as represented by The Secretary of the Army
EP	99926679	ACTIVATED ALUMINOSILICATE BINDER	International Mineral Technology AG
EP	99926678	ALKALI ACTIVATED SUPERSULPHATED BINDER	International Mineral Technology AG
EP	91915283	PROCESS FOR MINERAL WOOL PRODUCTION	Paroc Group Oy Ab
EP	91917511	METHOD FOR IMPROVING THE ACTIVATION OF LATENTLY HYDRAULIC BASIC BLAST-FURNACE SLAG IN THE PRODUCTION OF A BUILDING MATERIAL	KURZ, Fredrik, W., A.
WO	PCT/KR08/01217	ALKALI-ACTIVATED BINDER WITH NO CEMENT, METHOD FOR FABRICATING MORTAR USING IT, AND METHOD FOR FABRICATING ALKALI-ACTIVATED REINFORCEMENT MORTAR WITH NO CEMENT	INDUSTRY FOUNDATION OF CHONNAM NATIONAL UNIVERSITY
WO	PCT/IB05/00878	HYDRAULIC BINDER	HOLCIM LTD.

제 3절 연구개발 결과의 차별성

본 연구개발은 선진국에서 활발히 수행되고 있는 Zero Emission Cement 무기계 결합재인 지오폴리머, 알칼리 활성화 슬래그(AAS), 고황산염 시멘트의 방식과 약간은 유사하지만 슬래그의 활성화 방식과 사용되는 자극제의 종류가 매우 상이하며, 클링커에 일부 포졸란 물질을 혼합하여 사용하는 혼합시멘트 개념이 아닌 국내에서 전혀 활용되지 못하고 대량으로 적치되어 있는 산업부산물인 폐석고 및 고칼슘 플라이애시를 시멘트의 부재료로 이용하는 클링커 무함유(憮含有) Zero Emission Binder 로서 이는 선진국에서도 선행 기술이 없는 국내 고유기술인 것이다.

본 연구개발은 코크스 연소 탈황 부산물 등을 활용하여 슬래그 미분말, 석탄회 등의 비정질 물질에 대해 알칼리 및 황산염 복합 자극제의 반응성에 의한 활성화를 통해 수화물 생성 및 강도 발현을 유도하는 메카니즘을 활용한 기술로, 산업부산물 및 산업폐기물을 단순한 물리적 치환이 아닌 개발제품의 결합재 및 자극제로 활용되는 환경 부하 저감형 제품이다.

기존 제품의 경우 시멘트를 활용하였으나, 본 개발기술은 시멘트를 전혀 사용하지 않고, 시멘트의 수화반응과 유사한 경화메커니즘(지오폴리머 및 포졸란 반응)을 유도하여 기존 시멘트 이외에도 얼마든지 수화를 통한 품질이 우수한 친환경 무기결합재를 제조할 수 있다. 또한, 구개발은 산업부산물 및 산업폐기물의 활용에 따른 잠재적 2차 환경오염을 유발시키는 물질을 포함하고 있지 않다. 본 연구개발은 기존기술과는 완전히 상이하게시멘트를 완전히 배제하고 비정질물질의 알칼리자극 및 산화칼슘의 발열 및 팽창을 이용하고, 장기강도의 향상을 발현하는 동시에 그라우팅재의 pH도 11 대로 유지하여, 기존 시멘트의 단점인 강알칼리의 폐해를 줄이는 차별성이 있다.

또한 본 개발기술은 기초개발단계부터 참여한 연구진에 의해 이뤄낸 연구결과물로 다른 특허청구범위 명확화 및 구성요소의 분해, 침해 대상물의 구성요소 분해 및 문언적 침해, 균등론을 통한 침해, 금반언 윈칙의 적용에 대한 특허침해를 판단할 수 있는 기준을 명확히 구분하고 있으며, 이를 통해 선행특허와의 회피가 가능하며, 사용재료 및 배합비에 따른 차별화로 인해 특허권 분쟁을 회피할 수 있다.

제 2장 연구개발수행 내용 및 결과

제 1절 연구 방법 및 범위

1. 단계별 연구 내용

본 기술개발 연구 방법에서는 ZEB(Zero Emission Binder)의 사용 원재료인 사업장 폐기물인 순환자원을 활용하여 비결정질 물질의 활성화 메커니즘과 산과 알칼리물질의 반응에 의한 중화열을 이용한 무기결합재를 개발하기 위한 최적 조건을 도출하고 제조된 무기결합재를 건설재료 활용하기 위해 각종 실험을 진행하였으며, 연구범위 및 내용은 다음과 같다.

먼저 1단계인 1차년도에 ZEB의 사용원재료 전처리 조건 규명 및 ZEB의 최적 배합비 도출을 목표로, 관련 기술동향 및 원료조사를 실시하였다. 기존의 연구 동향 및 선행 기술을 조사하고, 순환자원의 품질 데이터 및 활용 현황 분석을 실시하여 성상 및 안정화 검토를 실시하였다.

▢ 국내외 관련 자료 조사

■ ISO, JIS, EN, ASTM 등 관련 외국표준 조사 및 분석

■ 국내외 관련 법규, 표준 및 시방서 조사

■ 순환자원 분리선별 기술의 국내외 현황조사

▢ 석탄회 및 슬래그 기반 ZEB의 자극제 종류별 상관성 분석

■ 결합재의 초기재령 특성

■ 결합재의 겔 열화 특성

■ 활성화 Activating Solution 분석

■ 알루미노실리케이트계와 자극제와의 화학적 특성분석

▢ 석탄회, 슬래그의 자극제로서 활용을 위한 각종 폐기물의 분석

■ 물리적 특성 및 화학적 특성 평가를 위해 함수율, 비중, Particle Size Analysis, SEM, pH, XRF, XRD, DTA 분석 실시

■ 환경유해성 평가를 위해 유해 중금속 함유량 및 용출량 분석

▢ ZEB 제조시 품질 편차를 최소화하기 위한 기법 개발

■ 품질의 안정성 확보를 위해 XRF 분석 정량에 의한 성분관리 수치화 해석

※ 수경율, 규산율, 철율, 활동계수, 석회포화도라고 하는 비율이나 계수 활용

■ ZEB 경화체의 경화 메카니즘 규명

※ XRD, XRF, DTA, pH, SEM, EPMA, 살리산법에 의한 비결정질 분석 등

※ 조건 변화에 따른 수화생성물(ettringite, CSH gel, CAH gel, $Cs(OH)_2$ 등)

▢ ZEB의 내부 미세구조 및 세공구조 파악

■ 총세공용적, 세공경 분포, 염소이온 투과성, 투수·투기성 평가

■ 총세공용적 및 세공경 분포에 따른 압축강도와의 상관성 평가

▢ 자극제로서 활용을 위한 각종 폐기물의 정제 기법 도출

■ 폐기물의 건식, 습식 정제 방법에 의한 ZEB의 자극제로서 활용 기법 도출

▢ 자극제로서 활용을 위한 폐기물의 최적 건조 및 선별 조건 확립

■ 원료 습분 10~20 %, 건조후 습분 1% 이하, 원료투입량, Burner 온도제어, 유기물 성분 3% 이하, 건조로 Slop 조절 및 건조시간 제어, 자력선별(자성광물 선별)

■ 가열온도에 따른 결정형태에 따른 무기결합재의 물성 변화 검토

■ 폐기물(폐황산염 및 폐알칼리 자극제)의 분급 및 분쇄에 따른 최적 분말도 도출

■ 전처리 방식에 따른 폐기물의 용해도 평가에 의한 이온 방출량 규명

2단계(2차년도)에서는 순환자원을 활용한 Zero Emission Binder의 상용화 및 제조시스템(Zero Emission Binder의 제조시스템 구축)을 목표로 하였다. ZEB의 다양화를 위한 활용성 평가 및 성능 검증, 성능 검토를 실시하였다.

▢ ZEB의 다양화를 위한 제반 성능검증

■ 심층안정화용 토양고결재 활용성 평가

- 역학적 특성평가(압축강도)

■ 표층안정화용 토양고결재 활용성 평가

- 역학적 특성평가(일축압축강도, 직접전단, 장비재원 및 설계하중평가, 지지력 및 강도평가)

■ 레미탈 및 칼라시멘트 활용성 평가

- 역학적 특성평가(유동성, 압축강도, 균열저항성, 함수율, 화학수축량 평가)

■ PHC파일 채움재 활용성 평가

- 역학적 특성평가(유동성 압축강도)

■ 콘크리트 2차 제품용 결합재 활용성 평가

- 역학적 특성평가(분말도, 백색도 압축강도)

▢ ZEB기반의 제품화 요소기술 개발

■ 환경안전성 평가

- 환경친화성 : 용출 저항성

■ pH

- 시간 경과에 따른 경시변화

■ 내산성 평가

- 탄산화, 염해 저항성동결융해 저항성 : 내구성 지수 80%

- 화학저항성 : 제설제, 황산염, 알칼리 골재반응 등
- 내화 및 부식 저항성

■ 유해중금속 고정화 능력

- 유해 중금속을 다량으로 함유하고 있는 산업폐기물 처리 시 고화용 무기결합재로서의 활용 가능성을 평가
- 산업폐기물 중 가장 많은 양을 차지하며, 독성이 큰 Pb, Cr 의 고정화량 평가
- 유해 중금속이 초미립자 복합 시멘트의 수화반응에 미치는 영향 평가(압축강도, FT-IR, XRD, Porosity, SEM 등)
- 중금속 함유량이 높은 지정폐기물인 도시 쓰레기 소각 비산재, 도금 슬러지 및 EAF dust 등의 고화실험을 통한 용출량 평가(TCLP, EPT, KSLT법 이용)

▢ Pilot Plant의 설계 및 설치 시제품 생산(처리량 60톤/시간 규모)

■ Pilot Plant의 제작 및 설치

■ Pilot Plant의 시운전 및 최적 운전 조건 확립

■ Pilot Plant에서 분리·선별되는 시제품 현장 적용

3단계(3차년도)에서는 ZEB의 상용화 시스템 개발 및 개발 제품의 현장적용성 평가를 목표로 최적 운전조건 도출 및 현장 실증 등을 통해 현장 적용성 평가를 실시하였다. Pilot Plant에서 생산된 시제품의 제반 성능 평가 및, 제조 기술의 재현성 평가, Pilot plant의 최적화 자료 확보 등에 관한 연구를 실시하였다.

▢ Pilot Plant에서 생산된 시제품의 제반 성능 평가

■ 재료적 변형에 대한 거동 평가(압축강도, 건조수축, 팽창율, 수화열)

■ 실험적 변수를 고려한 성능평가(흙의 종류 증가 및 배합변화에 따른 물성평가)

■ 시제품의 이용한 ZEB의 내구성/환경성 종합 평가

▢ ZEB 제조 공정 및 제품 제조 기술의 재현성 평가

■ 원료별 단독분쇄 및 혼합분쇄 방식 결정을 위한 다양한 분쇄 및 분급 조건 파악 (분쇄 분급기 설치(볼밀 10ton/hr))

▢ Pilot Plant의 최적화 자료 확보

■ Pilot Plant에서 시제품 생산

■ 상용화를 위한 Scale-up연구

▢ 콘크리트 2차제품의 현장 적용 및 미비점 보완

■ ZEB의 콘크리트 2차제품 현장 적용(최적 혼합, 성형 및 양생조건 도출)

■ 제품 용도별 최적 분쇄, 분급 및 혼합 조건 결정

▢ 개발제품 실용화를 위한 종합적 타당성 검토 및 마케팅 계획 수립

■ 개발제품의 환경 유해성 평가

▢ 지속가능한 활용방안 개발

■ 개발품의 활용을 위한 관련 지침 및 표준시방서 검토

■ 품질기준(안) 정립

■ 개발품의 설계 시공 지침(안)작성

▢ 장기 현장적용 모니터링

■ 장기 모니터링결과에 대한 설계 Guide line 제시

▢ 현장 실증 평가

■ 심층안정화용 토양 고결재로의 현장 실증

■ 표층안정화용 토양 고결재로의 현장 실증

■ PHC 파일채움재로서의 현장 실증

■ 콘크리트 2차제품용 결합재로서의 현장 실증

▢ 개발제품 상용화를 위한 기반 구축

■ 설비조건에 따른 대량 생산체제 구축

2. 단계별 연구개발 추진체계

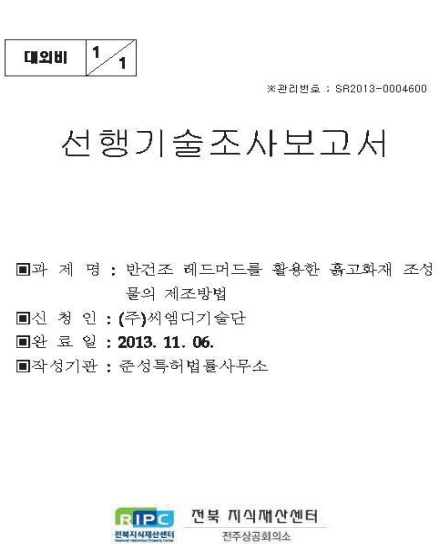
구 분	주관연구기관 (CMD기술단)	공동연구기관 (대응)
1차년도 ('11~' 12)	ZERO EMISSION BINDER의 개발 및 요소기술 확보	원재료의 최적분쇄 및 분급 조건 규명
2차년도 ('12~' 13)	ZERO EMISSION BINDER의 기존 시멘트 대체 기술 확보 및 용도 다양화를 위한 성능 검증	상용화 Plant의 설계 및 설치
3차년도 ('13~' 14)	ZERO EMISSION BINDER의 그린건설재료의 실용화 기술 개발 및 현장 적용성 평가	상용화 시스템 개발

제 2절 연구 수행 과정 및 내용

1. 국내외 관련 기술동향 분석

가. 선행기술조사

ZEB 상용화 및 제조 시스템 개발을 목적으로 기존의 기술 동향 및 기존 문헌조사를 실시하였으며, 결과 보고서를 아래의 그림에 정리하였다.



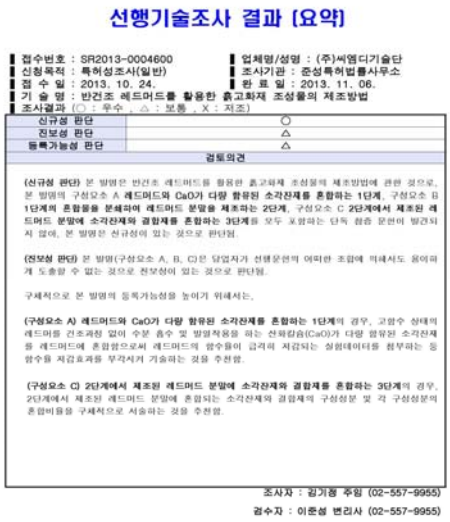
대외비 1/1

※관리번호 : SR2013-0004600

선행기술조사보고서

▣과 제 명 : 반건조 레드머드를 활용한 흡고화재 조성물의 제조방법
▣신 청 인 : (주)씨엠디기술단
▣완 료 일 : 2013. 11. 06.
▣작성기관 : 준성특허법률사무소

전북 지식재산센터
전주상공회의소



선행기술조사 결과 (요약)

접수번호 : SR2013-0004600	업체명/성명 : (주)씨엠디기술단
신청목적 : 특허성조사(일반)	조사기관 : 준성특허법률사무소
접 수 일 : 2013. 10. 24.	완 료 일 : 2013. 11. 06.
기 술 명 : 반건조 레드머드를 활용한 흡고화재 조성물의 제조방법	
조사결과 (○ : 우수 , △ : 보통 , X : 저조)	
신규성 판단	○
진보성 판단	△
등록가능성 판단	△

검토의견

(신규성 판단) 본 발명은 반건조 레드머드를 활용한 흡고화재 조성물의 제조방법에 관한 것으로, 본 발명의 구성요소 A 레드머드와 CaO가 다량 함유된 소각잔재를 혼합하는 1단계, 구성요소 B 1단계의 혼합물을 분쇄하여 레드머드 분말을 제조하는 2단계, 구성요소 C 2단계에서 제조된 레드머드 분말에 소각잔재와 결합재를 혼합하는 3단계를 모두 포함하는 단독 항을 문헌이 발견되지 않아, 본 발명은 신규성이 있는 것으로 판단됨.

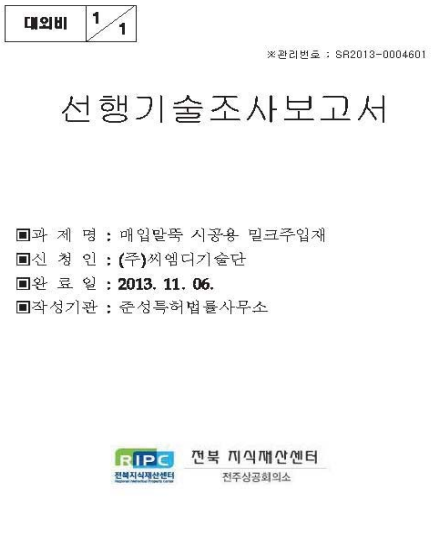
(진보성 판단) 본 발명(구성요소 A, B, C)은 당업자가 선행문헌의 여러한 조합에 의해서도 용이하게 도출할 수 없는 것으로 진보성이 있는 것으로 판단됨.

구체적으로 본 발명의 등록가능성을 높이기 위해서는,

(구성요소 A) 레드머드와 CaO가 다량 함유된 소각잔재를 혼합하는 1단계의 경우, 고압수 상태의 레드머를 건조과정 없이 수분 흡수 및 발열작용을 하는 산화칼슘(CaO)가 다량 함유된 소각잔재를 레드머드에 혼합함으로써 레드머드의 압수율이 급격히 저감되는 실험데이터를 첨부하는 등 압수율 저감효과를 부각시켜 기술하는 것을 추천함.

(구성요소 C) 2단계에서 제조된 레드머드 분말에 소각잔재와 결합재를 혼합하는 3단계의 경우, 2단계에서 제조된 레드머드 분말에 혼합되는 소각잔재와 결합재의 구성성분 및 각 구성성분의 혼합비율을 구체적으로 서술하는 것을 추천함.

조사자 : 김기정 주임 (02-557-9955)
검수자 : 이준성 변리사 (02-557-9955)



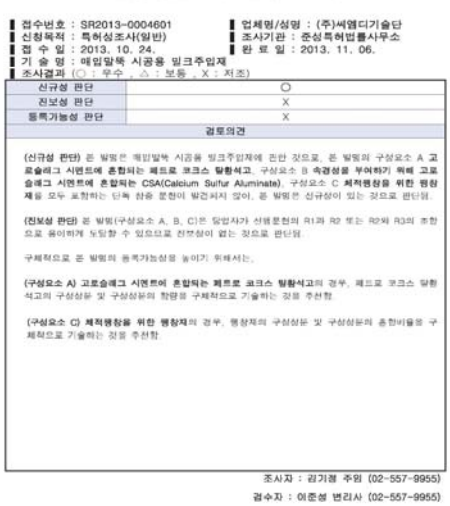
대외비 1/1

※관리번호 : SR2013-0004601

선행기술조사보고서

▣과 제 명 : 매입말뚝 시공용 밀크주입재
▣신 청 인 : (주)씨엠디기술단
▣완 료 일 : 2013. 11. 06.
▣작성기관 : 준성특허법률사무소

전북 지식재산센터
전주상공회의소



선행기술조사 결과 (요약)

접수번호 : SR2013-0004601	업체명/성명 : (주)씨엠디기술단
신청목적 : 특허성조사(일반)	조사기관 : 준성특허법률사무소
접 수 일 : 2013. 10. 24.	완 료 일 : 2013. 11. 06.
기 술 명 : 매입말뚝 시공용 밀크주입재	
조사결과 (○ : 우수 , △ : 보통 , X : 저조)	
신규성 판단	○
진보성 판단	X
등록가능성 판단	X

검토의견

(신규성 판단) 본 발명은 매입말뚝 시공용 밀크주입재에 관한 것으로, 본 발명의 구성요소 A 고로슬래그 시멘트에 혼합되는 폐트로 코크스 탈황석고, 구성요소 B 속경성을 부여하기 위해 고로슬래그 시멘트에 혼합되는 CSA(Calcium Sulfur Aluminate), 구성요소 C 체적팽창을 위한 팽창재를 모두 포함하는 단독 항을 문헌이 발견되지 않아, 본 발명은 신규성이 있는 것으로 판단됨.

(진보성 판단) 본 발명(구성요소 A, B, C)은 당업자가 선행문헌의 R1과 R2 또는 R2와 R3의 조합으로 용이하게 도입할 수 있으므로 진보성이 없는 것으로 판단됨.

구체적으로 본 발명의 등록가능성을 높이기 위해서는,

(구성요소 A) 고로슬래그 시멘트에 혼합되는 폐트로 코크스 탈황석고의 경우, 폐트로 코크스 탈황석고의 구성성분 및 구성성분의 함량을 구체적으로 기술하는 것을 추천함.

(구성요소 C) 체적팽창을 위한 팽창재의 경우, 팽창재의 구성성분 및 구성성분의 혼합비율을 구체적으로 기술하는 것을 추천함.

조사자 : 김기정 주임 (02-557-9955)
검수자 : 이준성 변리사 (02-557-9955)

선행기술 조사(1)

선행기술조사보고서

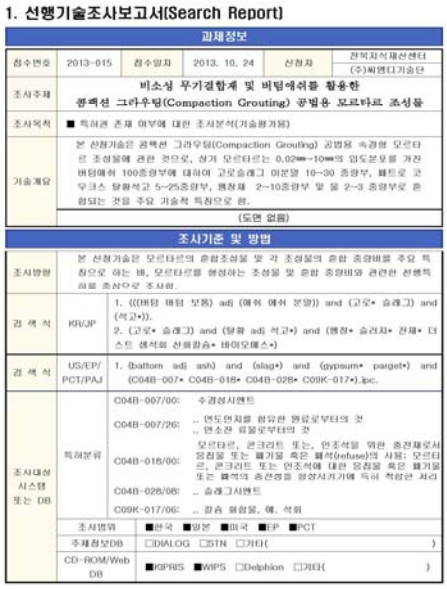
「비소성 무기결합재 및 버텀애쉬를 활용한 콤팩션
그라우팅(Compaction Grouting) 공법용 모르타르
조성물」에 관한 선행기술조사보고서

2013. 11. 04

신청기업(인) : 주식회사 씨엠디기술단
작성기관 : 알렉스국제특허법률사무소

전주상공회의소 전북지식재산센터

선행기술 조사(2)



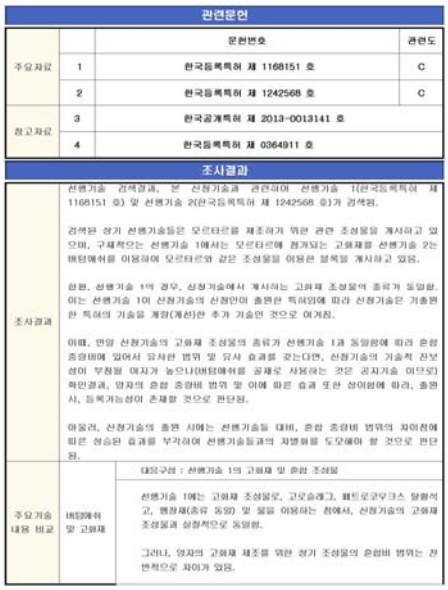
1. 선행기술조사보고서(Search Report)

과제정보

접수번호	2013-015	접수일자	2013. 10. 24	신청자	전북지식재산센터 (주)씨엠디기술단
조사주제	비소성 무기결합제 및 비팽creative를 활용한 콤파션 그라우팅(Compaction Grouting) 공법용 모르타르 조성물				
조사목적	■ 특허권 존재 여부에 대한 조사분석(기술평가용)				
기술개요	본 신청기술은 콤팩션 그라우팅(Compaction Grouting) 공법용 속경성 모르타르 조성물에 관한 것으로, 상기 모르타르는 0.02㎜~10㎜의 입도분포를 가진 바텀애쉬 100중량부에 대하여 고로슬래그 미분말 10~30 중량부, 폐트로 코우크스 탈황석고 5~25중량부, 팽창재 2~10중량부 및 물 2~3 중량부로 혼합되는 것을 주요 기술적 특징으로 함.				
	(도면 없음)				

조사기준 및 방법

조사방향	본 신청기술은 모르타르의 혼합조성물 및 각 조성물의 혼합 중량비를 주요 특징으로 하는 바, 모르타르를 형성하는 조성물 및 혼합 중량비와 관련한 선행특허를 중심으로 조사함.	
검색식	KR/JP	1. (((바텀 바텀 보톰) adj (애쉬 에쉬 분말)) and (고로• 슬래그) and (석고•)). 2. (고로• 슬래그) and (탈황 adj 석고•) and (팽창• 슬러지• 잔재• 더스트 레석회 산화칼슘• 바이오매스•)
검색식	US/EP/PCT/PAJ	1. (bottom adj ash) and (slag•) and (gypsum• parget•) and (C04B-007• C04B-018• C04B-028• C09K-017•).ipc.
조사대상 시스템 또는 DB	특허분류	C04B-007/00: 수경성시멘트 C04B-007/26: .. 연도연재를 함유한 원료로부터의 것 .. 연소잔 유물로부터의 것 C04B-018/00: 모르타르, 콘크리트 또는 인조석을 위한 혼전재로서 유칭물 또는 폐기물 혹은 폐석(refuse)의 사용; 모르타르, 콘크리트 또는 인조석에 대한 유칭물 혹은 폐기물 또는 폐석의 혼련을 용이시키기에 특히 적합한 처리 C04B-028/08: .. 슬래그시멘트 C09K-017/06: .. 칼슘 화합물, 예, 석회
	조사범위	■한국 ■일본 ■미국 ■EP ■PCT
	주제점보DB	□DIALOG □STN □기타( )
	CD-ROM/Web DB	■KIPRIS ■WIPS □Delphion □기타( )

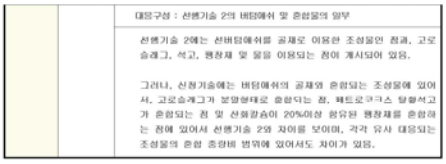


관련문헌

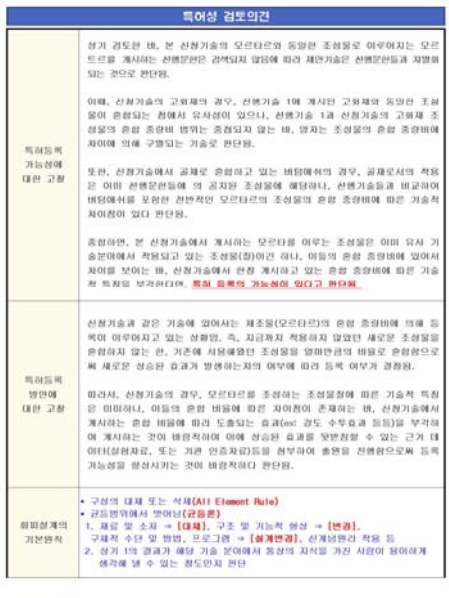
		문헌번호	관련도
주요자료	1	한국등록특허 제 1168151 호	C
	2	한국등록특허 제 1242568 호	C
참고자료	3	한국공개특허 제 2013-0013141 호	
	4	한국등록특허 제 0364911 호	

조사결과

조사결과		선행기술 검색결과, 본 신청기술과 관련하여 선행기술 1(한국등록특허 제 1168151 호) 및 선행기술 2(한국등록특허 제 1242568 호)가 검색됨. 검색된 상기 선행기술들은 모르타르를 제조하기 위한 관련 조성물을 개시하고 있으며, 구체적으는 선행기술 1에서는 모르타르에 첨가되는 고화재를 선행기술 2는 바텀애쉬를 이용하여 모르타르와 같은 조성물을 이용한 블록을 개시하고 있음. 한편, 선행기술 1의 경우, 상청기술에서 개시하는 고화재 조성물의 종류가 동일함. 이는 선행기술 1이 신청기술의 신청인이 출원한 특허임에 따라 신청기술은 기출원한 특허의 기술을 개량(개선)한 추가 기술인 것으로 여겨짐. 이때, 만일 신청기술의 고화재 조성물의 종류가 선행기술 1과 동일함에 따라 혼합 중량비에 있어서 유사한 범위 및 유사 효과를 갖는다면, 신청기술의 기술적 진보성이 부정될 여지가 높으나(바텀애쉬를 공재로 사용하는 것은 공지기술 이므로) 확인결과, 양자의 혼합 중량비 범위 및 이에 따른 효과 또한 상이함에 따라, 출원사, 등록가능성이 존재할 것으로 판단됨. 아울러, 신청기술의 출원 시에는 선행기술들 대비, 혼합 중량비 범위의 차이점에 따른 상승한 효과를 부각하여 선행기술들과의 차별점을 도모해야 할 것으로 판단됨.
주요기술 내용 비교	바텀애쉬 및 고화재	대응구성 : 선행기술 1의 고화재 및 혼합 조성물 선행기술 1에는 고화재 조성물로, 고로슬래그, 폐트로코우크스 탈황석고, 팽창재(조류 등탄) 및 물을 이용하는 점에서, 신청기술의 고화재 조성물과 실질적으로 동일함. 그러나, 양자의 고화재 제조를 위한 상기 조성물의 혼합비 범위는 전반적으로 차이가 있음.



		대응구성 : 선행기술 2의 바텀애쉬 및 혼합물의 일부 선행기술 2에는 선바텀애쉬를 공재로 이용한 조성물인 점과, 고로슬래그, 석고, 팽창재 및 물을 이용되는 점이 개시되어 있음. 그러나, 신청기술에는 바텀애쉬의 공재와 혼합되는 조성물에 있어서, 고로슬래그가 보양형태로 혼합되는 점, 폐트로코크스 탈황석고가 혼합되는 점 및 산화칼슘이 20%이상 함유된 팽창재를 혼합하는 점에 있어서 선행기술 2와 차이를 보이며, 각각 유사 대응되는 조성물의 혼합 중량비 범위에 있어서도 차이가 있음.



특허성 검토의견

특허등록 가능성에 대한 고찰	상기 검토한 바, 본 신청기술의 모르타르와 동일한 조성물로 이루어지는 모르타르를 개시하는 선행문헌은 검색되지 않음에 따라 제안기술은 선행문헌들과 차별화되는 것으로 판단됨. 이때, 신청기술의 고화재의 경우, 선행기술 1에 개시된 고화재와 동일한 조성물이 혼합되는 점에서 유사성이 있으나, 선행기술 1과 신청기술의 고화재 조성물의 혼합 중량비 범위는 중첩되지 않는 바, 양자는 조성물의 혼합 중량비에 차이에 의해 구별되는 기술로 판단됨. 또한, 신청기술에서 공재로 혼합하고 있는 바텀애쉬의 경우, 공재로서의 적용은 이미 선행문헌들에 의 공지된 조성물에 해당하나, 선행기술들과 비교하여 바텀애쉬를 포함한 전반적인 모르타르의 조성물의 혼합 중량비에 따른 기술적 차이점이 있다 판단됨. 종합하면, 본 신청기술에서 개시하는 모르타를 이루는 조성물은 이미 유사 기술분야에서 적용되고 있는 조성물(점)이긴 하나, 이들의 혼합 중량비에 있어서 차이를 보이는 바, 신청기술에서 한정 개시하고 있는 혼합 중량비에 따른 기술적 특징은 부과된다면 **특허 등록의 가능성이 있다고 판단됨**
특허등록 방안에 대한 고찰	신청기술과 같은 기술에 있어서는 제조물(모르타르)의 혼합 중량비에 의해 등록이 이루어지고 있는 상황임. 즉, 지금까지 적용하지 않았던 새로운 조성물을 혼합하지 않는 한, 기존에 사용해왔던 조성물을 얼마만큼의 비율로 혼합함으로써 새로운 상승한 효과가 발생하는지의 여부에 따라 등록 여부가 결정됨. 따라서, 신청기술의 경우, 모르타르를 조성하는 조성물간에 따른 기술적 특징은 미미하나, 이들의 혼합 비율에 따른 차이점이 존재하는 바, 신청기술에서 개시하는 혼합 비율에 따라 도출되는 효과(ex: 강도 수두효과 등등)을 부각하여 개시하는 것이 바람직하며 이에 상승한 효과를 뒷받침할 수 있는 근거 데이터(실험자료, 또는 기관 인증자료)등을 첨부하여 출원을 진행함으로써 등록가능성을 향상시키는 것이 바람직하다 판단됨.
위피성계의 기본원칙	• 구성의 대체 또는 삭제(All Element Rule) • 균등범위에서 벗어남(균등론) 1. 제품 및 소자 ⇒ **[대체]**, 구조 및 기능적 형상 ⇒ **[변경]**, 구체적 수단 및 방법, 프로그램 ⇒ **[설계변경]**, 선계넘버리 적용 등 2. 상기 1의 결과가 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 사람이 용이하게 생각해 낼 수 있는 정도인지 판단

선행기술 조사(2)

선행기술조사보고서

「시멘트의 사용량을 최소화 할 수 있는 결합재 조성물」에 관한 선행기술조사보고서

2013. 11. 04

신청기업(인) : (주)씨엔디기술단
작성기관 : 알렉스특허법률사무소

전주상공회의소 전북지식재산센터

- 3 -

1. 선행기술조사보고서(Search Report)

과제정보					
접수번호	전북2013-017	접수일자	2013.10.24	신청자	전북지식재산센터 (주)씨엔디기술사업단
조사주제	시멘트 사용량을 최소화 할 수 있는 결합재 조성물				
조사목적	■ 특허권 존재 여부에 대한 조사분석 (기술평가용)				
기술개요	※ 결합재 조성물 (1) 비표면적인 3,500㎠/g 이상인 고로슬래그 미분말 100중량부 (2) 비표면적인 3,000㎠/g 이상인 1종 보통시멘트 5 내지 42.5중량부 (3) 비표면적인 2,000㎠/g 이상이며 함습 옥사이드 함량이 30% 이상, 실페이트 옥사이드 5% 이상인 소각재 40 내지 1,000 중량부를 포함하는 결합재 조성물 (도면없음)				

- 4 -

조사기준 및 방법			
조사방향	시멘트 관련 조성물의 중심으로 유사 조성의 선등록여 유무를 조사함		
검색식	KR/JP	(시멘트 cement) and ((고로 용라스* blast*) adj (슬래그 슬러그 slag)) and (소각재 소각의 cinder)	
검색식	US/EP/PCT/PAJ	(cement) and (blast* adj slag) and (cinder)	
조사대상 사스템 또는 DB	특허분류	C04B	석회; 마그네시아; 슬래그; 시멘트; 그 조성물, 에. 모르타르, 콘크리트 또는 유사한 건축재료; 인조석; 세라믹
		C09K	그 밖에 분류되지 않는 용품되는 물질 : 그 밖에 분류되지 않는 물질의 용품
	조사범위	■한국 ■일본 ■미국 ■EP ■PCT	
	주제정보DB	□DIALOG □STN □기타( )	
	CD-ROM/Web DB	■KIPRIS ■WIPS □Delphion □기타( )	

관련문헌			
		문헌번호	관련도
주요자료	1	일본공개특허 제2010-202462호	C
	2	일본공개특허 제2001-247351호	C
참고자료	1	일본공개특허 제2007-176793호	
	2	일본등록특허 제4030636호	

조사결과	
조사결과	선행기술 검색결과, 본 신청기술과 관련하여 일본공개특허 제2010-202462호(선행기술 1), 일본공개특허 제2001-247351호(선행기술 2)가 검색됨

- 5 -

	선행기술 1, 2의 경우, 본 신청기술과 유사한 기술분야에서, 모래의 냉각성능 향상이라는 본 신청기술과 동일한 기술적 목적을 가짐	
주요기술 내용 비교	고로슬래그 미분말	대등구성: 선행기술 1의 고로 슬래그 분말, 선행기술 2의 고로 슬래그 성분
		상분상 선행기술 1의 고로 슬래그 분말이나, 선행기술 2의 고로 슬래그 성분이 대등되나, 본 발명의 경우 고로 슬래그 분말의 "비표면적"을 수치 한정하고 있다는 점에서 차이점 있음
	시멘트	대등구성: 선행기술 1의 이크 시멘트, 선행기술 2의 수경화성 물질
		상분상 선행기술 1의 이크 시멘트나, 선행기술 2의 수경화성 물질이 대등되나, 본 발명의 경우, 시멘트의 "비표면적"을 수치 한정하고 있다는 점에서 차이점 있음
	소각재	대등구성: 선행기술 1의 소각재, 선행기술 2의 소각재
		선행기술 1, 2의 시멘트 조성물이 소각재를 원료로 소성되는 점과 대등되나, 본 발명의 경우 "비표면적"을 수치 한정하는 점, 소각재에 "함습옥사이드 및 실페이트 옥사이드"의 상보 함량을 수치 한정하는 점에서, 차이점 있음

특허성 검토의견	
특허등록 가능성에 대한 고찰	선행기술 검색결과, 본 발명과 유사 기술분야인 시멘트 조성물 등의 분야에서, 고로 슬래그 분말, 시멘트, 소각재를 상분으로 하는 선등록여가 상부 검색되었으나, 본 발명의 경우, 각 상분의 "비표면적"을 수치 한정하는 점 및 소각재에 함유된 "함습 옥사이드 및 실페이트 옥사이드"의 상보 함량이 수치 한정된다는 점에서, 검색된 선행기술들과 차이점이 있는 것으로 판단됨 따라서 상기와 같은 비표면적이나 함습 옥사이드 및 실페이트 옥사이드의 상보 함량이 특수한성이 수치 한정되고, 상술 데이터 등을 통해 상한한 기술적 효과가 입증될 수 있다면, 본 발명은 특허 등록의 가능성이 있다고 판단됨
특허등록 방면에 대한 고찰	수치 한정 발명의 경우, 해당 수치 범위에서 상한한 기술적 효과가 있음을 입증하거나, 적어도 이를 상사한 측이 납득시킬만한 데이터를 확보함이 요구되는바, 등록 가능성 향상을 위하여는 상술 데이터 등의 충분한 확보가 요구될 것으로 판단됨

선행기술 조사(3)

회피설계의 기본원칙	• 구성의 대체 또는 삭제(All Element Rule) • 균등범위에서 보어남(균등론) 1. 재료 및 소자 ⇒ [대체], 구조 및 기능적 형상 ⇒ [변경], 구체적 수단 및 방법, 프로그램 ⇒ [설계변경], 신개념원리 적용 등 2. 상기 1의 결과가 해당 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 사람이 용이하게 예각해 낼 수 있는 정도인지 판단
특허성확보 회피설계방안 (구체적인예)	선행기술 1, 2의 경우 일본 출원된 특허등로 국내 산업된 바 없으며, 일본 내에서도 현재 유효한 특허권이 존재하는 것은 아닌다. 본 발명과 관련하여 특허 관련 문제나 회피 상기 등이 문제될 소지는 낮을

등록가능성표기	등록가능성 있음 ○
관련도	정 의
A	제안기술과 매우 유사한 선행기술
B	제안기술과 유사한 선행기술
C	제안기술과 유사하지는 않으나 제안기술과 같은 기술분야에 속하는 선행기술
용어정의	이건 - 의의 건, 가호 - 선행특허 또는 조선

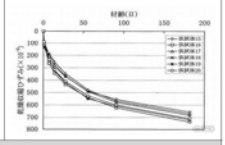
위와 같은 선행기술 조사결과를 통보하오니 과제 수행(또는 거래) 및 특허 출원 시 반드시 상기 자료를 참고하시기 바랍니다.

2013 년 11월 04일

조사기관(기업)명 : 양학소특허법률사무소 (직인) 조사자 : 박 수 인 (인)

※ 본 조사 결과는 권리 취득과 관련된 법적 효력을 갖고 있지 않습니다.

2. 주요 선행특허와의 기술비교

관련도	C	일본등록특허 제2010-202462호		
출원일자		2009.03.04	공개일자	2010.09.16
출원인		太平洋セメント株式会社 (TAIHEIYO CEMENT CORP)		
제목		시멘트 조성물 및 시멘트질 경화체		
구 성 대 비				
제안기술		선행기술		
(도면없음)				
검 토 의 견				
기술구성요소		선행기술과의 유사점		선행기술과의 상이점
고로슬래그 미분말		고로 슬래그 분말의 조성		비표적적의 수치한정에 대한 관련기재 없음
시멘트		에코 시멘트의 조성		비표적적의 수치한정에 대한 관련기재 없음
소각재		소각재를 원료로 소성		비표적적의 수치한정에 대한 관련기재 없음, 함습 목사이드 및 설퍼이트 목사이드의 성분

선행기술 1은 시멘트 경화체의 장기 강도를 개선 가능한 시멘트 조성물을 개시함

선행기술 1의 시멘트 조성물은,

소각재가 소정되어 이워지고, 10~25 질량%의 C3A, 10~20 질량%의 C4AF, 0.1 질량%이하의 염소, C3S 및/또는 C2S를 함유하고 C3A와 C4AF와의 합계량이 35 질량% 이하인 소성물질 및 석고를 포함한 에코 시멘트; 및 석고를 포함한 고로 슬래그 분말;로 조성되고,

고로 슬래그 분말의 함유량이 시멘트의 함유량 이하로 이워짐을 특징으로 함

상기와 같은 선행기술 1의 시멘트 조성물은, 소각재를 원료로 소성되는 점, 에코 시멘트 및 고로 슬래그 분말이 소정비율로 함유된 구성인 점에서, 본 발명의 결합재가 소각재, 시멘트, 고로 슬래그 미분말을 주성분으로 하는 것과 성분상 일부 유사점 있음

다만, 본 발명의 결합재는 고로 슬래그 미분말, 시멘트, 소각재 각각의 "비표면적"을 수치한정하고 있으나, 이러한 비표면적에 대한 수치한정사항이나 관련기재는 선행기술 1에서 찾아볼 수 없으며, 본 발명의 소각재와 관련된 "함습 목사이드 및 설퍼이트 목사이드" 또한 대응 성분을 선행기술 1에서 찾아볼 수 없음

관련도	C	일본공개특허 제2001-247351호		
출원일자		2000.03.03	공개일자	2001.09.11
출원인		株式会社建材技術研究所 (KENZAI GIJUTSU KENKYUSHO:KK)		
제목		시멘트계 조성물		
구 성 대 비				
제안기술		선행기술		
(도면없음)		(도면없음)		
검 토 의 견				
기술구성요소		선행기술과의 유사점		선행기술과의 상이점
고로슬래그 미분말		고로 슬래그의 성분		비표적적의 수치한정에 대한 관련기재 없음
시멘트		석고를 포함한 수경화성 물질		비표적적의 수치한정에 대한 관련기재 없음
소각재		소각재를 원료로 하는 소성물질이 성분		비표적적의 수치한정에 대한 관련기재 없음, 함습 목사이드 및 설퍼이트 목사이드의 성분

선행기술 2는 습라리 상태에서 유동성이 양호하고 경화 후 치수 변화가 작은 시멘트 경화체 내지 시멘트 조성물에 관한 것임

선행기술 2의 시멘트 조성물은,
소각재를 원료로 하는 것으로, C11A7CaCl2를10~40중량%, C3S 및 C2S로부터 선택되는 1종 이상을 포함하는 소성물질; 석고를 포함한 수경화성 물질; 고로 슬래그; 및 황산나트륨을 0.1~2%중량을 함유함을 특징으로 함

상기와 같은 선행기술 2의 시멘트 조성물은, 고로 슬래그, 수경화성 물질을 성분으로 함유하고 있으며, 소각재를 원료로 한다는 점에서, 고로 슬래그 미분말, 시멘트, 소각재를 주요 성분으로 하는 본 발명과 성분상 일부 유사점 있음

다만, 본 선행기술 2 또한 앞서 상술본 선행기술 1과 마찬가지로, "비표면적"에 대한 수치한정이나, "함습 목사이드 및 설퍼이트 목사이드" 성분 함유에 대하여는 관련 기재를 찾아볼 수 없음

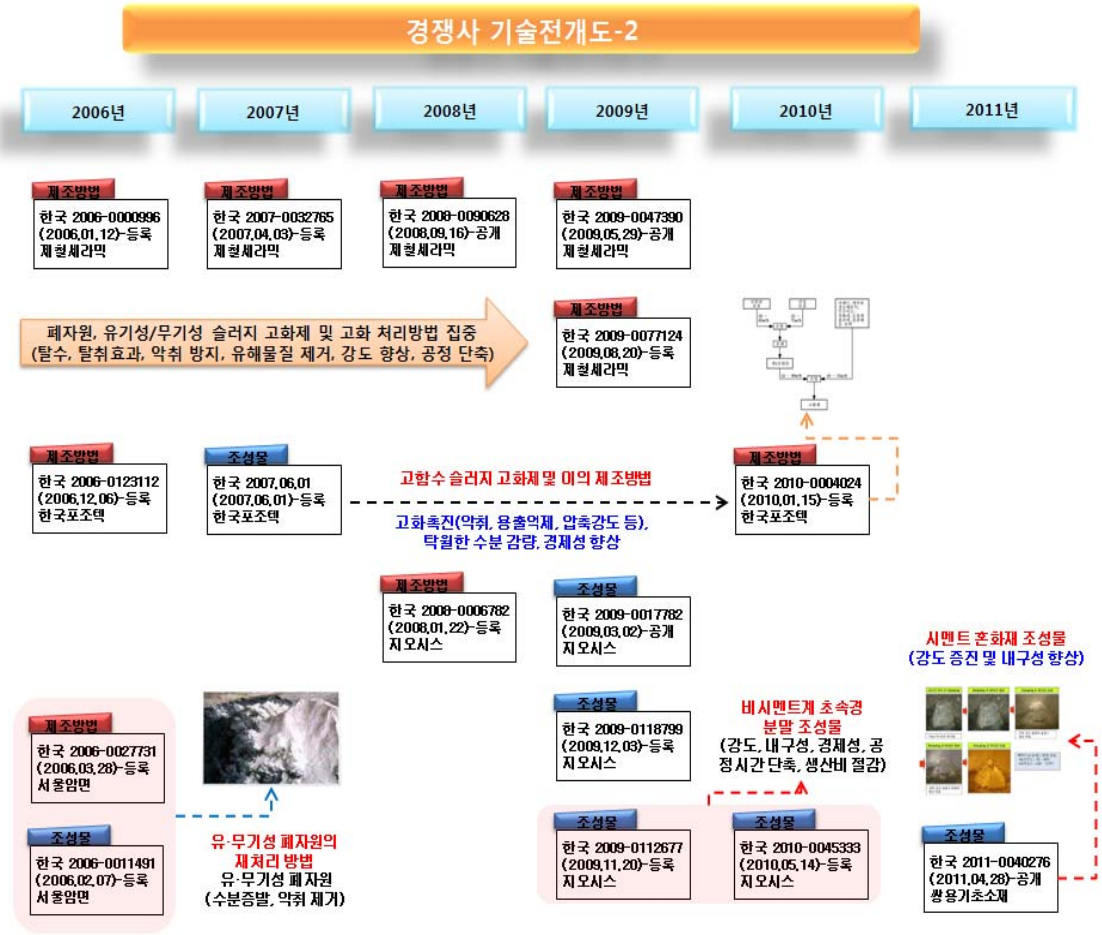
선행기술 조사(3)

국내 경쟁사의 연도별 기술 흐름을 살펴보면, (주)지오시스는 압축강도, 처리비용 감소 접착력 향상을 위한 고화재 조성물 기술 분야에 집중 분포되어 있으며, 쌍용은 1998년 이전부터 조성물 및 제조방법에 관한 특허 출원이 이루어지고 있어, 타사에 비해 특허 출원이 앞서고 있는 것으로 확인되었다.



경쟁사 기술 흐름 발전도-1

2006년부터 최근까지 기술 흐름을 살펴보면, 지오시스는 2006년부터 최근까지 폐자원, 유기성/무기성 슬러지 고화 처리방법에 관한 특허가 집중분포 되어 있으며, 1998년부터 최근까지 활발히 특허출원을 하고 있는 것으로 나타났다. 포조텍의 경우 고화 촉진(악취, 용출억제, 압축강도 등)을 위한 고함수 슬러지 고화제 및 이의 제조방법에 집중 분포되어 있으며, 경쟁사 대부분 특허 출원 건수는 저조하나, 폐자원을 이용한 고화재 기술에 대해 최근까지 꾸준하게 특허 출원을 하고 있으며, 해당 기술 분야에서 연구개발이 활발히 이루어지고 있는 것으로 판단되었다.



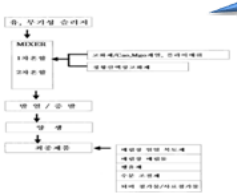
경쟁사 기술 흐름 발전도-2

주요 경쟁사별 기술을 분석한 결과, 제철세라믹은 자원 활용 극대화, 유해물질 제거, 안정성 및 강도 향상 등을 해결하기 위해 유기성/무기성 슬러지, 준설토, 수재 슬래그를 이용한 고화제 및 고화 처리 방법 기술에 대한 특허를 보유하고 있어, 전반적인 고화제 기술에 대해 개량 기술을 확보하고 있는 것으로 판단된다.

반면, 서울암면은 유기성/무기성 폐자원용 고화제 제조 기술 특허를 보유하고 있으며, 황산염 화합물과 강알칼리계 분말을 이용하는 기술로 권리를 확보하고 있는 것으로 나타났다.

제철세라믹

10-2008-0090628
(2008.09.16)



정황산액상고화제를 이용한 유, 무기성 슬러지의 고화처리방법

▷ 함수율 제거, 환경오염 방지, 악취 방지
◈ 유,무기성 슬러지와 플라이애쉬를 혼합 한 후 정황산 액상 고화제를 혼합하여 건조
정황산 액상 고화제(황산 제일철 일수화물, 황산 제인철 칠수화물)

10-2005-0021964
(2005.03.16)

수재 슬래그를 이용한 흙포장재용 조성물 및 그를 이용한바닥 포장방법

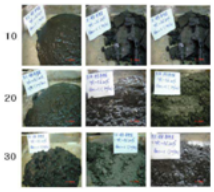
▷ 산성화 토양을 개질, 투수성 향상, 안정성 및 강도 향상
◈ 토양 30~70중량%에 수재 슬래그 30~70중량%를 첨가(배합토)
배합토 78~90%, 경화제 5~20% 및 안료 2~5%(흙포장용 조성물)

10-2007-0032765
(2007.04.03)

준설토의 고화방법 및 이에 사용되는 준설토용 고화제

▷ 탈수 및 탈취 효과, 고온의 열발생으로 유해한 미생물 사멸
◈ 황산염 화합물을 첨가하여 준설토 수분 제거
준설토에 C4AF(칼슘알루미노페라이트) 및 Ca(OH)2 로 구성되는 고화제를 첨가하여 준설토 고화 시킴

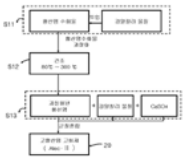
10-2009-0047390
(2009.05.29)



준설토의 고화방법 및 이에 사용되는 준설토용 고화제

▷ 자원 활용 극대화
◈ 함수율 50~90%의 준설토 100 중량부에 준설토용 전용고화제(Alec-CH) 10~30 중량부를 첨가하여 준설토와 고화제를 연속 혼합하는 혼합 시스템에서 혼합한 고화처리 후 3일 이내에 45% 이하의 함수율을 갖는 준설토를 제조하는 방법

10-2009-0077124
(2009.08.20)



유,무기성 폐자원의 고화처리를 위한 고화제 제조방법

▷ 유해물질 제거, 조기고화, 강도 발현, 공정 단축, 비용절감
◈ 황산염 수화물 괴질화 과정,
열 건조시켜 분말 상의 무수 황산염으로 생성하는 건조과정
무수 황산염에 강알카리 물질과 CaSO4를 균질 혼합하여 고황산염 고화제를 제조

주요 경쟁사 상세분석(제철세라믹)

서울암면

10-2006-0011491
(2006.02.07)



유·무기성 폐자원의 재처리 방법

▷ 유·무기성 폐자원(수분증발, 악취 제거)
◈ 황산염 화합물과 강알칼리계 분말 동시
- 황산염 화합물 20 ~ 35 중량부,
- 강알칼리계 분말 10 ~ 15 중량부

10-2006-0027731
(2006.03.28)

	함수율(%)	악취발생정도
실시예 1	42.0	1.8
비교예 1	48.3	2.4
비교예 2	47.1	3.7
실시예 2	36.1	1.8
비교예 3	42.0	1.8
비교예 4	33.4	2.7

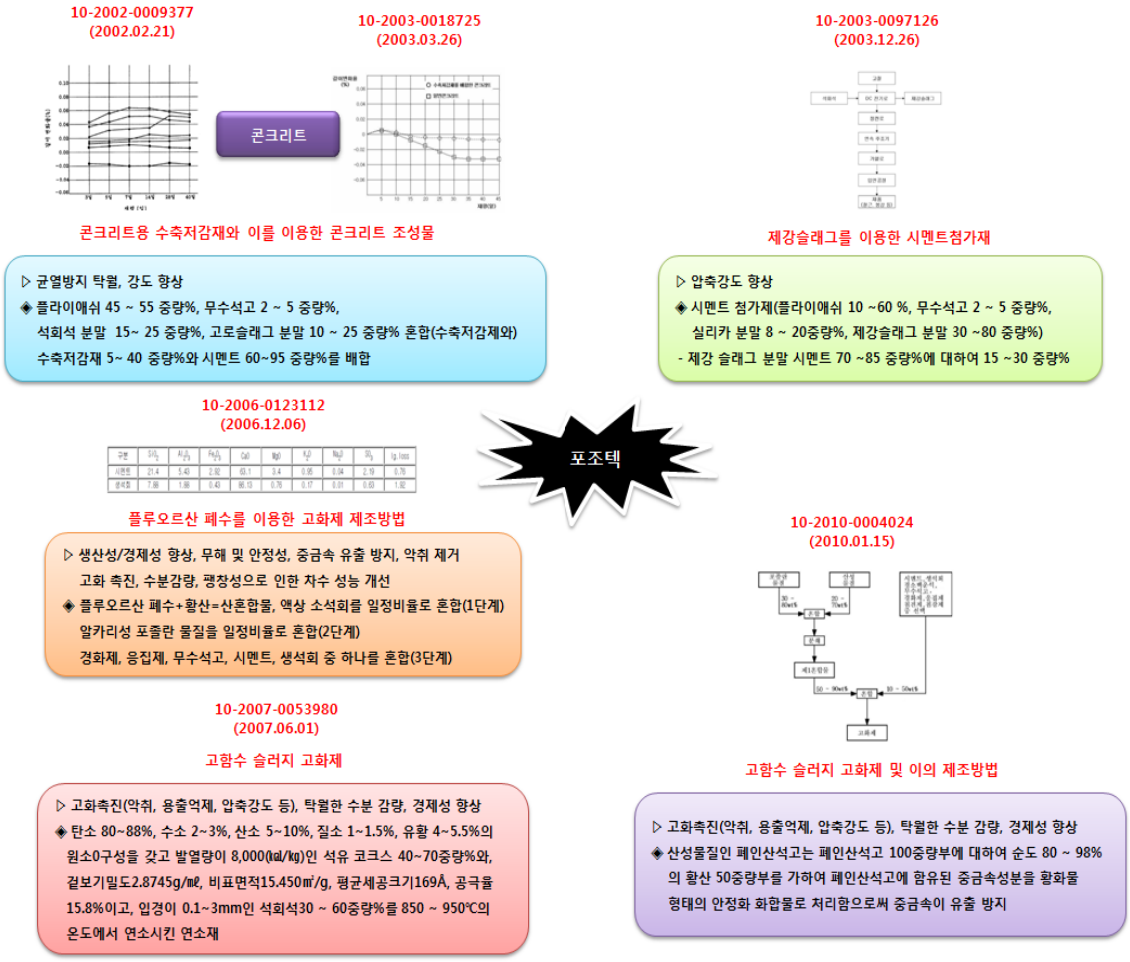
유·무기성 폐자원용 고화제의 제조방법

▷ 유·무기성 폐자원(수분증발, 악취 제거)
◈ 황산염 화합물과 강알칼리계 분말 동시
- 황산염 화합물 50 ~ 95 중량부,
- 강알칼리계 분말 5~ 50 중량부

1. 황산칼슘(CaSO4), 황산칼륨(K2SO4), 황산나트륨(Na2SO4), 황산제일철(FeSO4), 황산제이철(Fe2(SO4)3)
2. 산화칼슘, 산화마그네슘, 수산화칼슘, 탄산칼슘, 경소 백운석, 도로마이트, 시멘트, 생석회, 소석회 및 석회석

주요 경쟁사 상세분석(서울암면)

포조텍은 콘크리용 수축 저감재를 이용한 콘크리트 조성물 기술, 제강 슬러그를 이용한 시멘트첨가제 기술, 고함수 슬러지 고화제 및 제조방법 등의 기술에서 특허를 보유하고 있으며, 총 6 건을 출원하여 현재 등록된 상태이다.

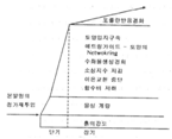


주요 경쟁사 상세분석(포조텍)

지오시스는 타 경쟁사에 비해 특허를 가장 많이 보유하고 있으며, 총 9 건 중 공개 1건 등록 8건인 것으로 나타났다. 전반적으로 토양 콘크리트 첨가재, 속경성 및 고강도 특성을 가지는 흙포장용 조성물, 비시멘트계 초속경 분말 조성물, 토양 고화재 및 이를 이용한 연약 지반 처리 공법에 관한 특허이며, 압축강도, 내구성, 생산비 절감 등을 해결하기 위한 제조 기술인 것으로 확인되었다.

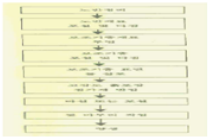
쌍용은 폐기물을 안정적으로 처리하기 위한 시멘트계 고화처리재, 고내구성 시멘트 조성물, 저가의 폐기물 고형화용 고기능 특수 시멘트, 시멘트 혼화재 조성물 관련 기술에 대해 특허를 보유하고 있으며, 전반적으로 재료 성분 비율에 관련된 기술인 것을 알 수 있었다.

10-1998-0018245
(1998.05.20)



지오시스

10-2005-0097259
(2005.10.15)



토양 콘크리트용 첨가재 및 그 토양 콘크리트

▷ 압축강도, 폐기물 처리비용 절감
◈ 칼슘설포알루미네이트계 광물을 주성분으로 하는 클링커 분말 10 내지 60 중량%, 포틀랜드 시멘트 5 내지 30 중량%, 생석회 또는 소석회 10 내지 40 중량%, 천연무수석고 5-40 중량%, 규불화염 0.1 내지 5.0 중량%

환경친화적이며, 속경성 및 고강도 특성을 가지는 흙포장용 조성물

▷ 경제적, 고강도, 압축강도, 친환경적, 처리비용감소
◈ 아윈계 광물을 주성분으로 하는 클링커 분말 25 내지 45%; 시멘트 10 내지 30%; 고로 슬래그 미분말 10 내지 40%; 무수석고 10 내지 30%;강도촉진제 0.1 내지 3%; 응결지연제 0.1 내지 3중량%로 이루어진 첨가물을 흙 1m3에 80~250kg 포함

10-2009-0112677
(2009.11.20)

비시멘트계 초속경 분말 조성물

▷강도, 내구성, 경제성, 공정시간 단축, 생산비 절감
◈ CSA계 클링커를 분쇄한 분말은 블레인 비표면적이 3,000~8,000cm2/g 이며, 분쇄한 석고분말은 반수석고 100중량%에 대해 무수석고 1~100 중량%를 혼합분쇄하여 블레인 비표면적이 3,000~8,000cm2/g 인 비시멘트계 초속경 분말 조성물

10-2008-0006782
(2008.01.22)

토양 고화재 및 이를 이용한 연약지반 처리공법

▷ 혼합성, 압축강도, 작업성, 사용량 저감, 친환경적
◈ 포졸란 물질 10~90중량%; 포틀랜트시멘트 5~50중량%; 무수석고 1~50중량%;칼슘설포네이트계 화합물 1~10중량%; 포졸란 물질의 점성을 저감하는 표면장력 저감제인 알콜류 또는 알칸올아민 화합물을 포졸란 물질의 0.01~5중량%; 강도 증진용 화합물 0.1~10중량%; 및토양과 고화재의 혼합성을 증진시키는 유동화제를 0.01~5중량%를 포함

주요 경쟁사 상세분석(지오시스)

쌍용

10-1996-0053891
(1996.11.14)



중금속을 함유한 폐기물의 안정적 처리를 위한 시멘트계 고화처 리재

▷ 안정적인 고형화
◈ 보통의 포틀랜드 시멘트 60 내지 90중량% 시멘트 킬른 집진더스트 40 내지 10중량%로 이루어진 조성물 100중량%에 대해 칼슘설포알루미네이트 1 내지 10 중량부, 소석회 1 내지 10 중량부, 무수 석고 1 내지 10중량부

10-1996-0062254
(1996.12.06)



고내구성 시멘트 조성물

▷ 압축강도, 휭강도, 내산성 우수
◈ 고로슬래그 미분말 50내지 85중량%, 이수석고(CaSO4·2H2O) 5 내지 20중량% 칼슘 실리코설페이트(CaO·SiO2·CaSO4) 칼슘 설포알루미네이트(3CaO·3Al2O3·CaSO4) 함유한 특수 클링커 10 내지 30중량%

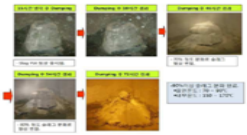
10-2005-0083083
(2005.09.07)



저가의 폐기물 고형화용 고기능 특수시멘트

▷ 비용절감, 수화 반응 촉진 시켜 요구 강도 확보
◈ 1종 보통포틀랜드시멘트 37~97중량%, 클링커 파우더 3~20중량%, 4200㎠/g이상의 분말도를 갖는 슬래그 미분말 0~60 중량% 석고 미분말 0~10 중량%를 혼합

10-2011-0040276
(2011.04.28)



시멘트 혼화재 조성물

▷ 강도 증진 및 내구성 향상
◈ 고로슬래그 90~98중량부와 석고 2~8 중량부를 혼합=> 고로슬래그혼합물
고로슬래그혼합물 90~95 중량부와 제강 2차 정련 슬래그 5~10 중량부를 혼합(시멘트 혼화재 조성물)

주요 경쟁사 상세분석(쌍용)

현재 다양한 경쟁사(기업, 개인 출원)에서 지반 고화 및 지반 개량용 고화제 기술 에 대한 개량기술 확보에 집중되어 있으며, 전반적으로 조성물 성분 비율을 한정하여 특허 출원을 하고 있는 것으로 나타났다. 특히, 산업 폐기물(부산물), 유기성/무기성 슬러지, 해양 부산물 등의 이용하여 자원 재활용에 대한 관심이 집중되어 있으며, 최근 들어 플라이 애쉬, 고로 슬래그를 이용한 무시멘트 콘크리트 제조 방법에 대한 개량 기술들이 보이고 있으며, 다양한 한국 내 기업이 폐기물을 활용하는 기술에 관심이 집중되어 있는 것으로 나타나고 있다.

나. 지반고화재 기술 동향

지반고화는 자연상태의 흙을 공학적인 목적에 맞게 물리적, 화학적, 생물학적 방법 또는 그 방법을 조합하여 고화하는 것

이다. 지반고화의 목적은 강도나 지지력 그리고 인위적이거나 자연적인 환경에 저항하는 내구성을 증가시키고, 투수성과 체적변형, 침하를 감소시켜서 장기적으로 안정성을 향상시키는데 있다.

현장에서 지반고화의 안정을 고려할 때, 흙과 자연환경 사이의 동적인 관계에 주의하는 것이 중요하다. 지반고화는 단지 흙의 물리적 성질의 개선이나 압축강도, 전단저항의 증가에만 그치는 것이 아니므로 지반의 안정은 반드시 하루 또는 계절적인온도변화와 습도변화, 미생물이나 다른 생물학적인 작용, 그리고 인위적이거나 자연적으로 야기되는 화학적 불균형에서 오는 연속적인 작용력에 저항하여 내구성을 가져야 한다.

(1) Soil cement

Soil cement는 높은 밀도를 얻기 위해 흙과 일정량의 포틀랜드 시멘트와 물을 섞어 다진 혼합물이다(ACI 116R, 1988). 그러나 좀 더 넓은 의미로는 특정한 공학적 성질에 부합하는 강성체를 형성하기 위해 흙, 포틀랜드 시멘트, 포졸란 물질을 포함하는 첨가제, 그리고 물을 섞어 다짐과 양생을 통하여 형성된 복합체를 뜻한다(ACI 230.1R-90, 1998). 흙 입자는 시멘트 페이스트(paste)에 의해 결합되지만, 콘크리트와는 달리 개개 흙 입자는 시멘트 페이스트에 완전히 둘러 쌓이지는 못한다.

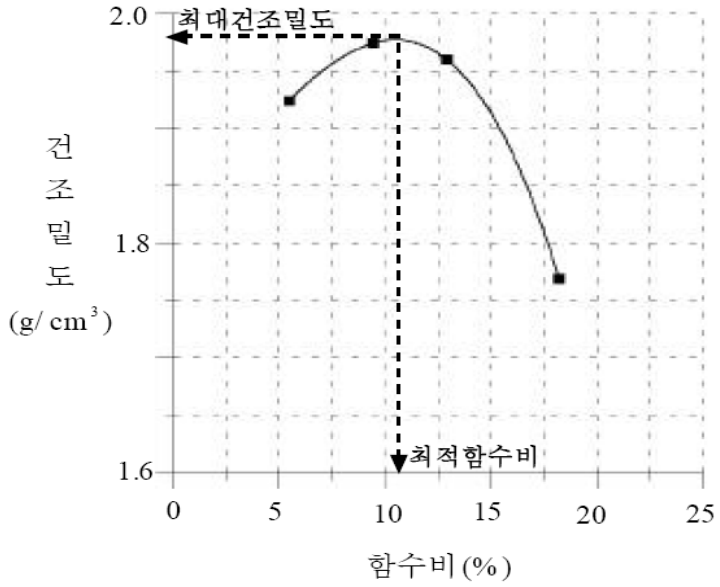
Soil cement는 아스팔트 콘크리트 또는 콘크리트 포장의 기초(기층 혹은 보조기층)로 널리 사용되고 댐이나 제방의 사면보강(slope protection), 저수지나 수로의 라이너(liner) 그리고 우리나라에서는 매립지의 차수재로서 지난 수년간 널리 사용되고 있다.

(가) Soil cement의 특성

Soil cement의 특성은 흙이나 시멘트의 종류, 함수비, 다짐, 균일한 혼합, 양생조건, 양생기간 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다. 이러한 요소 때문에 soil cement의 특성은 일정하지 않으며 그 결과 큰 편차를 나타내는 것이 일반적이다.

① 밀 도

Soil cement의 밀도는 일반적으로 건조밀도로 표시하며 현장에서는 시공품질관리용으로 습윤밀도로 표시하기도 한다. 다짐시험은 최적 함수비와 최대 건조밀도를 구하기 위해 수행되며, 전형적인 다짐곡선은 그림 2.5과 같다. 다짐에너지가 일정할 때 시멘트 량이 증가하면 최적 함수비와 최대 건조밀도가 바뀌는데, 이 변화가 예측한 경향을 따르지 않는다. 시멘트의 면모화(綿毛化, flocculation) 작용은 최적 함수비를 증가시키고, 최대 건조밀도를 감소시킨다. 일반적으로 일정한 시멘트 혼합비에서, 밀도가 높을수록 soil cement의 압축강도도 증가한다.



Soil cement의 일반적인 다짐곡선

② 강 도

Soil cement의 강도는 흙-시멘트-물 혼합물의 반응과 경화의 정도에 따라 다르며 다짐 시 밀도와 직접적으로 관련이 있기 때문에 함수비와 다짐의 정도에 영향을 받는다. Soil cement의 강도특성은 일축압축강도(unconfined compressive strength)로 표현하는 것이 가장 일반적이다. Rad와 Clou gh (1982)는 지층에서의 고결처리공법의 효과를 파악하기 위해서는 일축압축실험이 적당하다고 하였으며, Schwart와 Krizec(1994)도 직접 현장에서 고화효과를 측정하였을 때 고화의 정도는 흙의 간극내에 존재하는 결합재 입자의 농도, 흙 입자 표면이나 간극내에서 결합재의 분포양상에 따라 다르게 나타날 수 있으며 같은 토질의 경우에도 시공방법에 따라서 soil cement가 다른 역학적 성질을 나타낼 수 있기 때문에 현장과 실내실험간의 상호관계를 파악하기 위해서는 일축압축강도실험이 신속하고 경제적이라고 보고하였다.

(2) 고화재의 종류와 특성

고화재는 세계적으로 종류가 다양하고 적용용도도 다양하여 수요가 증가하고 있는 실정이다. 최근 국내에서도 고화재에 대한 연구가 증가하고 있으나 흙의 구성광물 등 고화효과에 영향을 주는 요인에 대해서는 아직 해결되지 못한 점이 많이 있고, 고화지반 및 토질에 적합한 고화재 사용과 혼합율 결정시 사전에 배합시험을 실시하기 때문에 수요가 미흡한 실정이다. 현재 국내

에서는 주로 시멘트계 고화재가 사용되고 있으며 이런 고화재에 의한 연약지반 고화방법은 모래보다 작은 입자의 실트질, 점토질 흙에 적당한 고화재를 혼합하여 소요강도를 얻을 수 있는 방법으로써 고화재의 작용에 의하여 고화효과가 나타난다. 따라서 고화처리 결과를 효과적으로 얻기 위하여 고화에 유효한 성분을 첨가하기도 하고 성분을 조정하여 일반 연약지반, 고유기질토, 초고유기질토, 산업폐기물 등의 고화에 적용하기도 한다.

(가) 고화재의 장・단점

① 생석회계

- 생석회는 물과 접촉하면 발열을 동반하며 급격한 반을을 일으키는 것이 특징으로 함수비를 급격하게 저하시키는 효과를 발휘하나 다음과 같은 단점이 있다.

㉠ 물과 접촉시 고온이 발생하는 위험물로 특별한 취급이 요구됨

㉡ 함수비를 저하시켜 고화가 진행된 후 물과 재접촉시 진탕화됨

㉢ 고화반응에 장시간 소요

㉣ 시공시 미소화 생석회가 남지 않도록 2차 혼합으로 인한 시공시간 필요

② 시멘트계

- 시멘트는 공급의 원활함과 단가의 저렴함으로 널리 사용되나 다음의 단점이 있다.

㉠ 수화반응이 유기질에 의하여 방해됨

㉡ 강도확보를 위한 다량 혼합으로 건조수축의 우려가 있음

㉢ 시멘트의 성능을 개선하기 위한 성분조정으로 경제성이 감소함

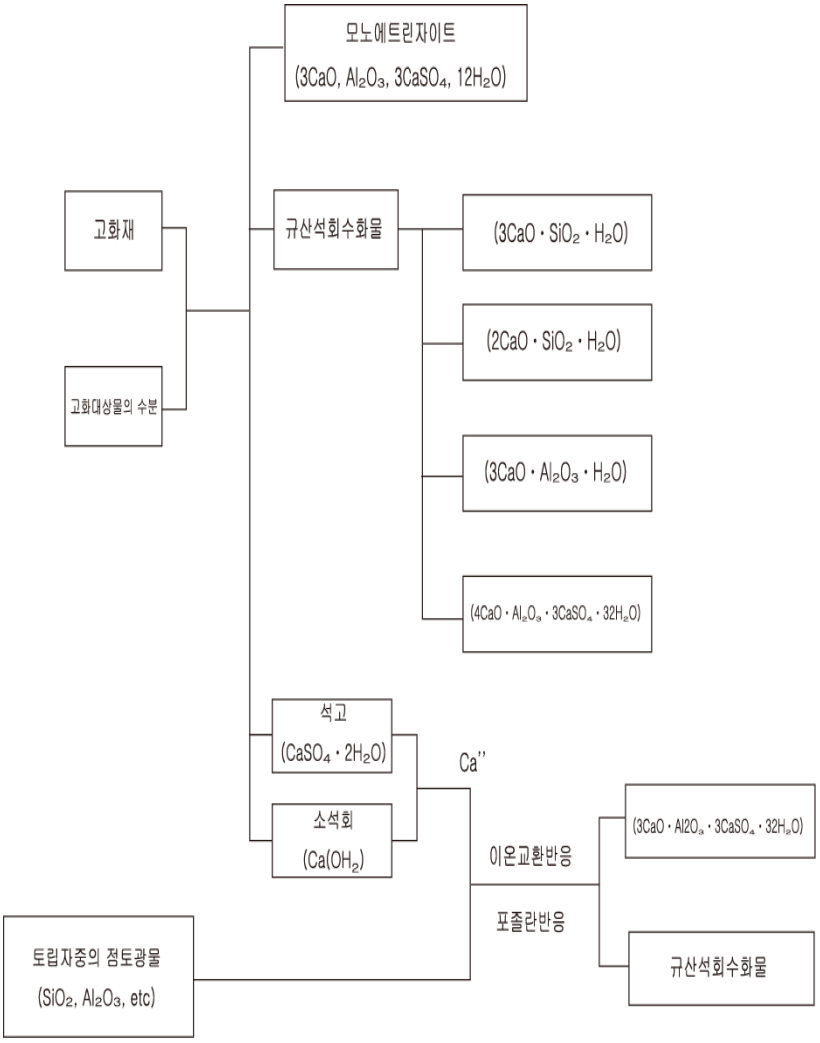
㉣ 육가크롬 등의 중금속 용출 우려가 있음

(나) 고화재의 구성성분

고화재의 작용은 주로 고화재의 성분에 의하여 이루어진다고 할 수 있으며 흙과 흙속의 간극수, 성분의 반응에 의하여 강도발현이 발생된다. 널리 사용되는 시멘트는 산화칼슘(CaO), 이산화규소(SiO_2) 및 산화알루미늄(Al_2O_3)의 3가지 성분의 합계가 90% 이상으로 구성되어 있고 생석회는 순수한 산화칼슘이 90% 이상을 차지하고 있으며, 이산화규소 및 산화알루미늄 등이 소량으로 구성된다. 이와같이 시멘트나 생석회는 구성성분은 거의 동일하나 구성성분의 비율이 다르고 이에 따라서 고화효과에 차이점이 발생하게 된다. 이러한 원리 때문에 고화처리 목적과 용도에 따라서 시멘트나 생석회에 고화에 유효한 성분을 첨가하여 효과를 높이려는 시도가 이루어지고 있으며, 일반적으로 고화재는 시멘트계 고화재가 주로 사용되고 있다.

(다) 고화재의 고화원리

고화재는 연약한 흙 뿐 아니라 갯벌, 고유기질토 및 산업폐기물에 이르기까지 다종다양한 토질을 고화・처리하고자 하는 목적으로 사용하는 것이라고 말할 수 있다. 자연 점성토의 고결력은 확산이중층에 의한 토립자간 인력, 화학물질에 의한 고결화, 모세관 현상에 의한 흡인력 등에서 이루어지며, 함수비가 높은 충적점토에도 크지는 않지만 고결력(Cementation)이 존재하고 있다.



고화재와 흙과의 반응

위의 그림과 같이 흙 자체의 강도를 기본으로 하여 고화재 첨가하여 교반하면 당초의 고결력은 소실되나, 시간이 흐름에 따라 고화재와의 반응에 따른 고결력이 재생되며, 대상토 및 대상지반의 함수비 저하, 이온교환반응, 단립화 등에 의하여 소성한계가 높아지고 물성의 개선이 우루어진다. 시멘트의 수화반응이 진행되면 강도가 증가되고, 또한 장기의 양생에서 포졸란 반응이 진행되면 강도가 증가되고, 또한 장기의 양생에서 포졸란 반응이 발생하여 안정적인 강도의 개선이 이루어진다. 고화재에 의한 흙의 강도개선효과의 대부분은 수화물 생성에 의하여 발생한다.

2. ZEB의 적용 분야 및 사용처별 요구 성능 분석

가. 사용목적별 요구성능 분석

본 연구기관은 클링커를 사용하지 않고 산업부산물을 이용한 시멘트 즉, CO_2 무배출형 Cement-Zero형 무기결합재의 제조 기술을 보유하고 있으며 보유기술인 무기결합재는 고강도를 바탕으로 뛰어난 내화학성, 내약품성, 수밀성, 저수축성, 동결융해저항성 및 저알칼리성 등

의 물성을 지니고 있어,

◎ 건축용 및 토목용으로 건설현장 및 콘크리트 2차 제품 공장
◎ 내구성을 요하는 해상구조물, 항만건축, 간척지 공사
◎ 생활폐수를 취급하는 도시하부 구조물 및 공장폐수로, 폐기물의 고화재 등
◎ 수중 및 해중 구조물

등에 매우 적합하게 사용될 수 있다. 또한 ZEB는 분쇄 및 혼합공정도 단일공정으로 가능하며 소요원료도 석회석 대신에 산업부산물 및 폐기물을 주재료로 사용하는 것을 감안할 때 대폭적인 원가절감 효과가 예상된다.

본 장에서는 ZEB의 이러한 특성을 활용하여, 유 · 무기성 슬러지 고화재 및 지반고화재, 소일시멘트(Soil Cement)용 결합재 그리고 파일 뒤채움재 등 지반분야에 적용에 대한 타당성을 검토하고자 하는 연구의 일환으로 사용목적에 따른 요구 성능을 조사·요구 spec.에 부합하는 성능 만족 연구에 활용하고자 한다.

(1) 지반 고화재 및 소일시멘트의 요구성능 및 시방 규정

흙과 고화재가 혼합된 경화체의 압축강도가 10~30kg/㎠, 고화처리 대상토질 1㎥에 첨가되는 시멘트량이 100kg 이하로서 그 용도가 도로기층 안정처리에 사용되는 경우 soil-cement 라는 명칭으로 일반적으로 적용되고 있다. 이와 같은 종래의 soil-cement는 고화재를 일정량 첨가한 후 최적함수비와 건조밀도를 측정하는 다짐시험을 통해서 배합설계를 하는 것이 일반적이다. 그러나 압축강도를 50~150kg/㎠, 대상토질 1㎥ 고화재 첨가량을 100~300kg으로 확대하고 유동성이 있는plastic soil-cement로서 그 용도가 공원 산책로와 같은 경관포장의 표층재, 지반개량공법에 적용되는 표층혼합처리재의 경우 다짐시험을 통한 배합설계는 적용하기 어렵다.

한편, 고강도형 soil-cement는 종래의 soil-cement와는 역학적인 특성에 상당한 차이가 있으며, 오히려 빈배합 콘크리트의 물성과 유사한 강성을 갖고 있기 때문에 soilcrete라고 명칭한다.

soilcrete는 도로기층처리, 초연약 표층안정처리, soil mixing wall 또는 column, soil mixing block 등 사용범위가 광범위하고 오래된 재료이지만 동결융해저항성, 수축균열, 표면마모 저항성 등의 측면에서 내구서이 떨어지고, 품질의 균질성을 확보하기 힘들기 때문에 내구적인 목적으로 사용하기 어려웠다.

또한 함수율, 토질의 종류, 고화재 종류 및 함량 등에 따라서 작업성과 강도발현 특성이 크게 영향을 받기 때문에 사용성이 떨어지는 문제점이 있었다. 그러나 최근 환경 친화적인 목적에 관심이 커지면서 공원 산책로, 농로, 임로, 골프장 보행로 등 경포장에 자연감을 유지하고, 파손된 후 짧은 시간에 자연으로 안전하게 회귀될 수 있는 soilcrete 포장의 적용사례가 증가하고 있다.

시멘트계 경화제의 대표적인 것으로 포틀랜드 시멘트, 고로 시멘트 등이 있다. 포틀랜드 시멘트는 당초부터 사용되어 왔으나, 시멘트계 고화재의 사용은 얼마 되지 않았다. 시멘트계 고화재는 시멘트에 석고, 슬래그, 플라이애시, 알루미나 시멘트를 첨가한 것이다.

연약 지반 고화재(개량제) 및 각종 공법에 따른 Soil Cement의 시방 규정은 아래에 정리 해 놓은 내용과 같으며, 각종 일반 및 전문시방서상 소일시멘트의 재료로는 KS L 5201 포틀랜드 시멘트에 적합한 재료를 사용하도록 하며, 동등 이상의 성능을 가지고 있는 경우 감독의 권한으로 사용할 수 있도록 하고 있다.

(가) 토목공사 일반표준시방서

02611 소일시멘트 안전처리공

제 1항 일반사항

1.1 적용범위

1.1.1 이 시방서는 본바닥에 이어지는 설치 공사전에 본바닥흙, 시멘트, 골재, 모래 및 물로 혼성된 소일 시멘트 혼합재를 포설하여 물리적으로 안정시키는 지반처리에 관한 시방을 제시한다.

제 2항 기자재

1. 2.1 혼합재료

2.1.1 굵은 골재 : 02212 골재재료에 명시된 A2 종의 골재재료

2.1.2 잔골재: 02212 골재재료에 명시된 A6 종의 골재재료

2.1.3 바닥 흙 : 02211 흙재료에 명시된 S2 종의 흙재료

2.1.4 시멘트 : KS L 5201 포틀랜드시멘트, 보통시멘트 또는 내황산 시멘트

2.4 소일시멘트 혼합제

2.4.1 파낸 흙, 시멘트 및 골재는 도로공사 시방서의 해당요건에 따라 혼합해야 한다.

1. 시멘트량은 무게로 마른 혼합재료의 10%를 넘어서는 아니된다.

2. 혼합재의 7일 압축강도는 30kgf/㎠ 이상이라야 한다.

2.4.2 물을 혼합물에 넣고 균질하고 덩어리가 없는 것은 혼합물이 되게 하고 젖은 소성재가 되지 않게 해야 한다.

2.4.3 혼합재료를 치기 전에 감리자의 승인을 받아야 한다.

(나) 건축공사 표준시방서

03015 흙막이공사

8. 소일시멘트(soil cement) 주열식 흙막이벽

2. 8.3 재료

8.3.1 소일 시멘트를 사용할 때 시멘트는 03125.2(재료 및 허용응력도)에 따른다.

8.3.2 시멘트계 고화재 및 혼화재에 대해서는 공사시방서에 따른다.

8.5 시공

8.5.2 계획서에 따라 소일 시멘트 기둥의 시공순서에 주의하여 소정의 강도, 지수성을 확보하도록 신중히 시공하여야 한다.

3. 8.5.3 시멘트 밀크의 조합 및 주입량은 지반·지하수의 상태를 고찰하여 조성된 소일 시멘트의 강도나 지수성이 확보되도록 결정하여야 한다.

8.5.4 시멘트 밀크의 주입에 있어서 그 지반의 최적압력·토출량을 유지하면서 공내의 균일한 소일 시멘트가 되도록 충분히 고려하여 시공하여야 한다.

현장 요건 즉, 현장 지질 및 적용 공법에 따른 요구 성능 및 시방 규정은 각각의 공법 시방서에 따른다. 각 공법 및 지질 조건에 따른 시방 규정은 다음과 같다.

(다) T.D.R 공법 시방서

① 품질 요구조건

1) 본 공사에서 규정한 심층혼합처리(∅550mm×3축) 개량체는 재령 28일(개량깊이나 계절적인 요인에 따라 미소한 차이를 보임)을 기준으로 설계기준강도를 산정한다.

2) 다음의 설계기준강도는 재령 28일을 기준으로 하며, 시멘트의 종류, 시멘트 배합량, 물:시멘트 중량비 등에 따라 토질조사결과에 의한 원지반의 상태를 감안하여 개략적으로 평가한 값으로 개량대상 원지반 흙에 대한 실내배합시험을 실시하여 변경할 수 있다.

지층별 시멘트 페이스트 표준 배합비 (재령28일을 기준)

토 질	재 료(㎥당)			실내배합강도 (kg/㎠)	현장강도 (kg/㎠)	비고
	시 멘 트	벤토나이트	물			
점 성 토	400	10	550	1~20	0.5~10	S.C.W 표준 배합비
사 질 토	350	20	550	20~80	10~40	
사 력	350	20	550	60~120	30~60	

① 실내배합강도는 원지반 흙과 시멘트 슬러리를 실내에서 배합한 후 28일간 습윤양생된 공시체에 대해 실시한 일축압축강도의 평균값으로 공시체의 최소 수량은 3개로 한다.

② 현장강도는 확인(조사개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 평균값으로 공시체 수량은 최소 3개로 한다.

③ 설계기준강도는 확인(조사개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 최소기준값이다.

④ 확인조사 결과 (현장강도일축압축강도)의 평균값이 <표 1>에서 제시한 현장강도값 이상이면 설계기준강도를 만족하는 것으로 평가한다.

3) 설계기준강도의 신뢰성을 확보하기 위해서는 원지반에서 시험시공을 실시하여 배합비와 시공속도를 확정하는 것이 바람직하다.

4) 시험시공으로 배합비와 시공속도를 확정하는 경우에는 재령 28일의 설계기준강도를 적용하기 어려우므로 7일 강도에 의한 재령 28일강도를 추정하도록 한다. 고로 슬래그 시멘트에 대해서는 재령 7일의 일축압축강도에 1.20~3.40를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하고, 보통 포틀랜드 시멘트는 재령 7일의 일축압축강도에 1.17~3.00를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하도록 한다.

5) 시험시공 개량체의 재령 7일 강도를 기준으로 본 시공을 실시하며, 추가적으로 재령 28일과 90일 강도를 확인하여 설계기준강도의 만족여부를 확인한다.

(라) S.C.W 공법 시방서

① 설계 및 시험

1) 소일시멘트벽은 현위치의 토사를 그대로 골재로서 사용하는 공법이기 때문에 시멘트 용액의 배합계획에는 현위치 토사를 점성토, 사질토, 사력토로 대별하여 강도, 지수성 등을 생각하여 시멘트량을 결정한다.

2) 현장조건을 고려하여 축압용 응력재(H형강등)를 삽입하여 설계하거나 지수벽으로 응력재 없이 설계하되 보일링이나 파이핑의 방지에 유용한 경제적인 공법이 되게 설계하여야 한다.

3) S.C.W의 시멘트 슬러리의 W/C비와 설계배합비는 다음표를 표준으로 하되 S.C.W 강도 건 토질과 지하수의 상황에 따라서 양질의 균일한 벽체가 축조되는 혼합조건을 가하여 결정되어야 하며 미리 조사된 토질조사서에 따라 조합을 계획하여 감독자의 지시에 따라 최종적인 조합을 결정하여야 한다.

토 질	배 합 비 (kg)			압축강도 (kg/㎠)
	시 멘 트	벤토나이트	물	
보 통 토 사	400~700(550)	5~15(10)	800~1400(800)	20~80
사력토 및 풍화대	300~600(450)	10~30(15)	600~1200(600)	60~120

※ ( )안은 표준안, W/C : 100~200%

② 강도시험

S.C.W의 선정 및 관리시험을 행하되 다음 중 일정한 품질관리가 될 수 있도록 사전 시험 계획서를 제출하여 감독자의 승인을 득하고, 이 계획서에 의거하여 강도시험을 행한 후 결과를 정리 제출하여야 한다.

1) 시공하기전에 원위치의 토사를 채취하여 실내시험반죽을 하는 방법 (실내시험법)

2) 시공시에 시료 채취봉을 소일시멘트 혼합토중의 소정심도까지 삽입하여 시료를 채취하여 강도시험을 하는 방법 (시료채취 시험법)

3) 근입 시공시에 소정의 깊이에서의 벽면에 코아를 채취하여 그 강도시험을 하는 방법(현장코아 시험법)

4) 공시체는 직경 100M, 높이 200M 굴하고 일축압축강도의 평가는 동일 공시체 3본 이상의 시험결과에 의한다.

(2) 채움재로서 요구성능 분석

(가) 파일 채움재

최근 건설 현장에 있어서, 파일기초공사시의 소음과 진동 규제 강화 추세에 따라 매입공법의 파일공사가 증가하고 있다. 또한, 최근의 대규모 건설공사가 진행되고 있는 곳은 대부분이 매립지 또는 해안가 및 4대강 유역이 주를 이루고 있으며, 이 지역은 기초 지반이 연약한 경우가 대부분이다. 이 지역의 기초 시공 시에는 매입말뚝의 설치를 위한 천공 시 현장 발생토가 대량으로 생기고 있는데, 일반적인 토사와는 달리 매립지의 뻘과 슬러리와 같은 현장 발생토는 폐기물로서 처리되어지고 있는 실정이다.

매입공법은 필연적으로 굴착토가 발생되어 폐토사 반출을 위한 공사비(운반비)가 발생하며, 파일 주면에는 시멘트 페이스트 주입에 따른 비용이 추가 된다. 특히, 폐토사는 해양 매립토 등으로 일부 처리되고 있지만 환경적인 문제를 야기할 수 있기 때문에 굴착토의 재활용을 위한 새로운 방안이 요구되어지고 있다.

천공 홀과 파일사이에 충전재는 하중 재하 초기 단계에서 파일의 자립을 위한 채움재 및 파일 주면마찰력의 기능을 발휘하는 것이 기본 역할이며, 파일 주면 흙이 지니고 있는 역학적 특성 이상의 성능에서는 파일 주면채움재로서의 기능이 상대적으로 저하되어 장기적인 기여도 측면에서 큰 역할을 하지 않을 것으로 판단된다. 따라서 역학적으로 큰 의미가 없는 파일 주면 채움재 부분에 환경 부하를 유발시키는 시멘트 페이스트의 다량 주입을 저감시켜야 할 필요가 있다.

채움재의 배합 및 요구성능은 한국토지주택공사의 전문시방서에 의해 작성되고 있다.

● 한국토지주택공사 주택건설공사 전문시방서

30535 말뚝 선굴착 공법

1. 일반사항

1.1 적용범위

이 시방서는 지반을 천공한 후 기성말뚝을 타입하는 선굴착 말뚝기초공법에 대하여 규정하며, 천공 및 말뚝타입방법에 따라 천공 후 직항타 공법, 천공 페이스트 주입 후 최종 항타 공법 및 천공 페이스트 주입 후 경타 공법으로 분류하여 적용한다.

2. 자 재

2.2 시멘트 페이스트

2.2.1 재료

가. 시멘트 : KS L 5201의 보통 포틀랜드 시멘트에 적합한 것으로 한다.

나. 물 : 물을 청정하고 유해함유량의 염분, 철분, 이온 및 유기물 등이 포함되지 않은 것이어야 한다.

다. 배합 : 특기가 없는 경우 시멘트와 물은 물시멘트비 83%로 배합한다. 표준배합비는 1㎥당 시멘트 880kg, 물 730ℓ의 비율로 한다.

(나) 매설관 등의 채움재

지중에 매설되는 각종 관들은 그 위험성이 쉽게 노출되면 피해가 엄청나게 발생할 수 있으

며, 집중강우강도, 빗물의 적절한 배수로 미확보, 관로의 파손, 연결부의 결함 등으로 인한 피해사례가 발생하고 있는 실정이다.

이러한 문제를 해결하기 위해 선진국에서는 최근 파형강관(corrugated steel pipe)를 이용하고 있다. 파형강관은 1896년 미국에서 개발된 이래로 북미지역, 유럽 및 아시권에서는 일본 등에서 주로 배수관으로 널리 이용되고 있다. 파형강관 구조물은 인적, 물적 교통을 원활하게 하기 위해서 필요한 최적의 구조물이다.

파형강관 지중구조물은 아연 도금한 강판을 주름 성형하여 휨강성과 단면적을 증가시킨 파형강관을 볼트로 조립하여 지중에 설치한 구조물로써, 특히 최근의 대단위 택지개발 현장이 주로 연약지반 등과 같이 토질조건이 비교적 열악한 지역의 경우 침하문제 등에 있어서 기존의 관로에 비해 상대적으로 침하에 대한 문제가 작은 기술로 보고되고 있다.

국내의 경우 1990년 포항제철에 용융아연 도금처리를 하는 설비를 설치하여 파형강관이 보급되었고, 그 사용량이 증가하고 있는 추세이다. 그러나, 국내외 파형강관과 관련된 연구, 설계 및 시공 등은 주로 선진외국의 연구결과 및 설계기술을 그대로 국내에 도입한 것으로 국내실정에 맞는다고 할 수 없을 것이다. 특히, 배수관로의 뒤채움재의 경우 외국의 경우에서도 그 사례 및 연구결과를 찾아보기 힘들다.

국내의 지하매설관의 시공은 주로 모래를 이용하여 시공하고 있다. 특히, 지하매설관의 경우 그 형상이 주로 원형으로, 관의 하단부의 뒤채움재의 다짐이 매우 어려운 실정이다. 부적절한 다짐을 개선하기 위하여 물다짐공법과 같은 방법을 이용하기는 하나, 다짐의 품질관리 및 관주변의 변형 및 파손을 방지 하는 데는 다소 어려움이 있다. 이러한 부적절한 다짐문제를 해결할 수 있는 방안 중 하나가 유동성 뒤채움재의 활용이다. 유동성 뒤채움재는 주로 모래, 플라이애시, 시멘트 및 물을 적절히 혼합하여 만들고, 초기에는 물과 플라이애시의 영향으로 충분한 유동성을 가지고, 시간이 지나면서 시멘트 성분이 양생되고 원하는 강도까지 강도를 증진시킨다. 특히, 초기 유동성은 기존의 뒤채움재 다짐의 문제를 해결할 수 있는 중요 요소가 된다.

매설관 채움에 관한 시방 규정은 특별히 정해진 것이 없다.

나. 현장요건(적용 공법, 지질)별 요구성능 및 시방규정

현장 요건 즉, 현장 지질 및 적용 공법에 따른 요구 성능 및 시방 규정은 각각의 공법 시방서에 따른다. 각 공법 및 지질 조건에 따른 시방 규정은 다음과 같다.

(1) T.D.R 공법 시방서

1) 본 공사에서 규정한 심층혼합처리(∅50mm×3축) 개량체는 재령 28일(개량깊이나 계절적인 요인에 따라 미소한 차이를 보임)을 기준으로 설계기준강도를 산정한다. 2) 다음의 설계기준강도는 재령 28일을 기준으로 하며, 시멘트의 종류, 시멘트 배합량, 물:시멘트 중량비 등에 따라 토질조사결과에 의한 원지반의 상태를 감안하여 개략적으로 평가한 값으로 개량대상 원지반 흙에 대한 실내배합시험을 실시하여 변경할 수 있다.

<지층별 시멘트 페이스트 표준 배합비 (재령28일을 기준)>

토질	재 료(㎥당)			실내배합강도 (kg/㎠)	현장강도 (kg/㎠)	비고
	시멘트	벤토나이트	물			
점성토	400	10	550	1-20	0.5-10	S.C.W 표준 배합비
사질토	350	20	550	20-80	10-40	
사 력	350	20	550	60-120	30-60	

① 실내배합강도는 원지반 흙과 시멘트 슬러리를 실내에서 배합한 후 28일간 습윤양생된 공시체에 대해 실시한 일축압축강도의 평균값으로 공시체의 최소 수량은 3개로 한다.

② 현장강도는 확인(조사개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 평균값으로 공시체 수량은 최소 3개로 한다.

③ 설계기준강도는 확인(조사개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 최소기준값이다.

④ 확인조사 결과 (현장강도일축압축강도)의 평균값이 현장강도값 이상이면 설계기준강도를 만족하는 것으로 평가한다.

3) 설계기준강도의 신뢰성을 확보하기 위해서는 원지반에서 시험시공을 실시하여 배합비와 시공속도를 확정하는 것이 바람직하다.

4) 시험시공으로 배합비와 시공속도를 확정하는 경우에는 재령 28일의 설계기준강도를 적용하기 어려우므로 7일 강도에 의한 재령 28일강도를 추정하도록 한다. 고로 슬래그 시멘트에 대해서는 재령 7일의 일축압축강도에 1.20~3.40를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하고, 보통 포틀랜드 시멘트는 재령 7일의 일축압축강도에 1.17~3.00를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하도록 한다.

5) 시험시공 개량체의 재령 7일 강도를 기준으로 본 시공을 실시하며, 추가적으로 재령 28일과 90일 강도를 확인하여 설계기준강도의 만족여부를 확인한다.

(2) S.C.W 공법 시방서

① 설계 및 시험

1) 소일시멘트벽은 현위치의 토사를 그대로 골재로서 사용하는 공법이기 때문에 시멘트 용액의 배합계획에는 현위치 토사를 점성토, 사질토, 사력토로 대별하여 강도, 지수성 등을 생각하여 시멘트량을 결정한다.

2) 현장조건을 고려하여 축압용 응력재(H형강등)를 삽입하여 설계하거나 지수벽으로 응력재 없이 설계하되 보일링이나 파이핑의 방지에 유용한 경제적인 공법이 되게 설계하여야 한다.

3) S.C.W의 시멘트 슬러리의 W/C비와 설계배합비는 다음표를 표준으로 하되 S.C.W 강도 건 토질과 지하수의 상황에 따라서 양질의 균일한 벽체가 축조되는 혼합조건을 가하여 결정되어야 하며 미리 조사된 토질조사서에 따라 조합을 계획하여 감독자의 지시에 따라 최종적인 조합을 결정하여야 한다.

토질	배합비(kg)			압축강도 (kg/㎠)
	시멘트	벤토나이트	물	
보통토사	400 ~ 700(550)	5 ~ 15(10)	800 ~ 1400(800)	20 ~ 80
사력토 및 풍화대	300 ~ 600(450)	10 ~ 30(15)	600 ~ 1200(600)	60 ~ 120

※ ( )안은 표준안, W/C : 100 ~ 200%

② 강도시험

S.C.W의 선정 및 관리시험을 행하되 다음 중 일정한 품질관리가 될 수 있도록 사전 시험계획서를 제출하여 감독자의 승인을 득하고, 이 계획서에 의거하여 강도시험을 행한 후 결과를 정리 제출하여야 한다.

1) 시공하기전에 원위치의 토사를 채취하여 실내시험반죽을 하는 방법 (실내시험법)

2) 시공시에 시료 채취봉을 소일시멘트 혼합토중의 소정심도까지 삽입하여 시료를 채취하여 강도시험을 하는 방법 (시료채취 시험법)

3) 근입 시공시에 소정의 깊이에서의 벽면에 코아를 채취하여 그 강도시험을 하는 방법(현장코아 시험법)

4) 공시체는 직경100M, 높이 200M 굴하고 일축압축강도의 평가는 동일 공시체 3본 이상 의 시험결과에 의한다.

(3) D.C.M 공법의 품질 요구 조건

① 본 공사에서 규정한 심층혼합처리공의 개량체 제원은 다음과 같다.

시멘트 종류	시멘트 배합량 (kg/㎥)	물:시멘트 중량비	실내배합 강도	설계기준 강도	허용압축 응력	허용전단 응력
고로 슬래그 시멘트	250	1:0.7 ~ 1:1.2	26.0	8.67	4.33	2.17

② 상기에 규정된 실내배합(26.0kgf/㎠) 및 설계기준강도(8.67kgf/㎠)는 재령 28일 강도를 기준으로 한 것이며 시멘트 배합량, 물-시멘트 중량비는 참고사항이므로 심층혼합공 실시공전에 반드시 원지반 흙(점성토층)에 대한 시험시공 및 실내배합 시험을 실시하여 공사감독자 또는 발주자의 승인을 받은 후 최적의 시멘트 배합량, 물-시멘트 중량비를 확정하여야 한다

③ 설계기준강도는 확인조사(개량체 시공후 28일이상 경과한 시점에 실시함)에서 채취된 개량체 코어의 일축압축강도 최소 기준값이다.

④ 허용압축응력과 허용전단응력은 DCM을 4축으로 시공할 경우에 대해 설계기준강도에 따라 정의한 것이다.

⑤ 설계기준강도의 신뢰성을 확보하기 위해 원지반에서 시험시공을 실시하여 배합비와 시공속도를 확정하도록 한다.

⑥ 시험시공으로 배합비와 시공속도를 확정하는 경우에는 재령 28일의 설계기준강도를 적용하기 어려우므로 7일 강도에 의한 재령 28일강도를 추정하도록 한다. 고로 슬래그 시멘트에 대해서는 재령 7일의 일축압축강도에 1.49를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하고, 보통 포틀랜드 시멘트는 재령 7일의 일축압축강도에 1.59를 곱하여 재령 28일 강도를 추정하도록 한다.

⑦ 시험시공 개량체의 재령 7일 강도를 기준으로 본 시공을 실시하며, 추가적으로 재령 28일 강도를 확인하여 설계기준강도의 만족여부를 확인한다.

(4) 흙포장(경화토포장 설계기준) - 한국토지주택공사

◦ 이 시방서는 공원 및 녹지, 아파트 단지내 보행로, 광장, 자전거도로, 관리차량 등 조경공간 내 경화토 포장의 일반에 관한 사항에 적용한다.

◦ 흙의 표면질감을 그대로 표현하고, 설계서에서 요구하는 품질기준을 충족하며 폐기시 흙으로 재활용하

여 2차적 환경오염을 방지할 수 있는 자연친화적인 흙포장이여야 한다.

◦ 동일수준 품질기준으로 볼 때 시멘트, 혼화제, 안료의 배합비율은 적을수록 좋다.

◦ 경화토 포장에 사용되는 흙은 물을 제외한 전체 중량에 따른 각 재료의 표준배합시 70%이상을 기준으로(황토를 사용한 경우 마사토 또는 골재와의 혼합량 기준)하며 결합제로 시멘트 또는 석회를 사용할 경우의 시멘트 또는 석회량은 혼합재료의 10%를 초과하지 않아야 한다.

◦ 풍속 15km/h이상, 온도 4°C이하일 때 시공해서는 안 된다.

◦ 제품별 특기시방서 내용 및 품질기준을 반드시 확인하여야 한다.

◦ 공시체(몰드)로 일축압축강도시험(3일 강도, 7일 강도)을 하도록 하며 7일 압축강도는 3MPa 이상이여야 한다.

제 3절 연구수행 결과

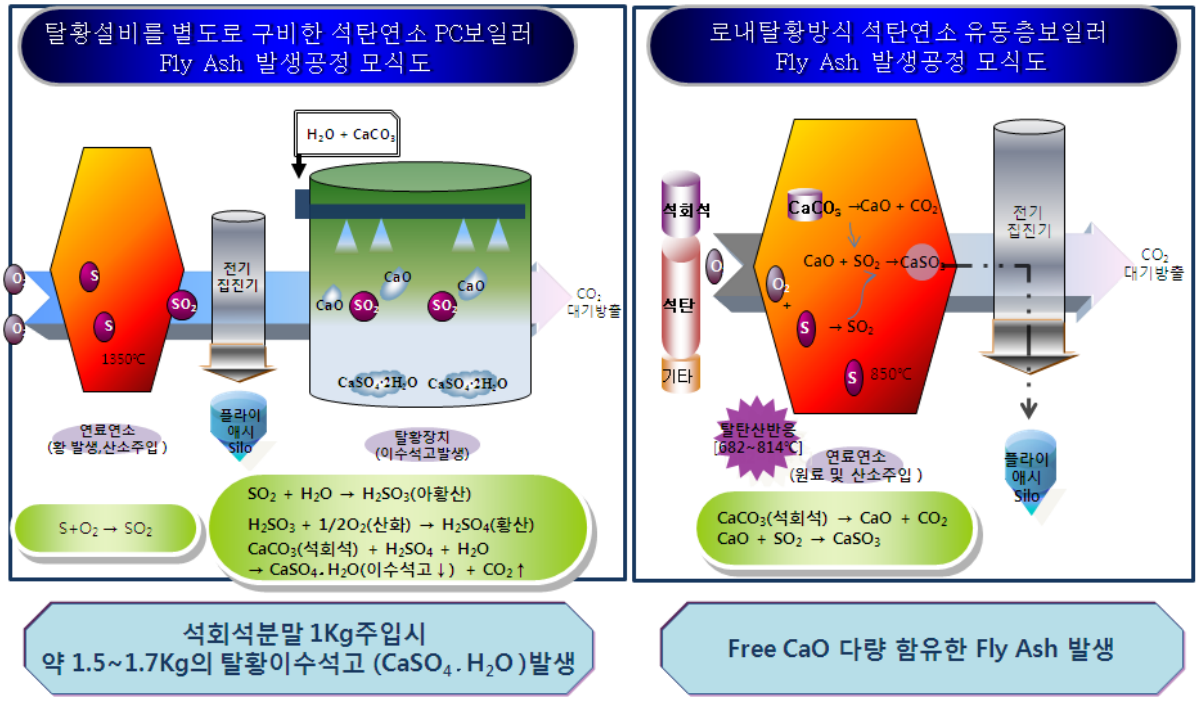
1. 순환자원의 정제 및 품질 안정화 방안

가. 순환유동층 보일러 플라이애시(고칼슘 플라이애시)

중소규모 유동층보일러는 1990년대에 최초로 설립되기 시작하였으며 최근에는 산업단지가 조성되면서 단지 내의 전력 및 steam 공급을 목적으로 건설이 증가하고 있는 추세이다. 또한 이러한 유동층보일러는 대기환경규제에 맞는 배출가스를 유지 및 황산화물의 배출을 막기 위해 석탄과 석회석을 혼소하고, 질산화물의 배출을 막기 위해 연소온도를 저온으로 유지하고 암모니아를 분무하는 등의 공정관리로 유동층보일러 석탄재는 화학적 특성이 한국전력의 화력발전소에서 발생하는 F급 석탄재와 완전히 상이하며, 이에 대한 재활용에 관한 연구가 미흡한 편이다.

현재 국내에는 15곳의 유동층보일러에서 약 30만톤/년 이상 배출되고 있으며 주된 처리 방법은 폐기물 매립장에 높은 비용(약 35,000원/톤)을 주고 처리하거나 장거리 운송을 통하여 강원도 지역의 시멘트 공장에서 시멘트 원료로 일부 재활용되고 있다.

아래 그림에 나타낸 바와 같이 열병합 발전에서는 석탄이외에 탈황반응을 위해 석회석을 혼소하고 질산화물의 발생을 억제하기 위하여 저온연소를 하고 있어 그 결과 높은 강열감량 및 Free CaO 다량 함유 등 KS L 5405의 기준에 적합하지 못한 석탄재가 발생되어 화력 발전소에서 발생되는 석탄재와 같이 재활용이 원활하게 되지 못한다.



석탄연소 발전소 연소방식별 발생 플라애시의 차이

석탄이외에 탈황반응을 위해 석회석을 혼소하고 질산화물의 발생을 억제하기 위하여 저온 연소를 하고 있어 발생되는 석탄재는 높은 강열감량 및 Free CaO 다량 함유 등의 이유로 KS L 5405의 기준에 적합하지 못해 화력 발전소에서 발생되는 석탄재와 같이 재활용이 원활하게 되지 못한다. 화력 및 유동층보일러 발생되는 석탄재의 차이점을 아래의 그림에 나타내었다. 유동층보일러 석탄재는 KS L 5405에 부합하지 않아 콘크리트 혼화재료로는 활용하기 어려우나 아래 그림에서와 같이 Free CaO 성분이 높아 고함수 상태의 유·무기성 슬러지의 고화처리에는 매우 적합한 성질을 가지고 있다 할 수 있다.

화력 및 유동층보일러 발생되는 석탄재의 차이점을 아래의 표에 나타내었다. 유동층보일러 석탄재는 KS L 5405에 부합하지 않아 콘크리트 혼화재료로는 사용되고 있지는 않으나 아래 그림에서와 같이 Free CaO 성분으로 인한 슬래그 활성화 반응 촉진이 기대되어 무기결합재에 팽창으로 인한 손실이 일어나지 않는 범위에서 알칼리 자극제로의 활용이 가능할 것으로 판단되었다.

화력발전소 석탄재와 유동층보일러 석탄재의 물성 비교

항 목	화력 발전소 석탄재	유동층보일러 석탄재
연소 온도	약 1,350℃	약 850℃
배기가스 탈황설비	별도 습식탈황설비 구비	석회석 혼소로 탈황반응
배기가스 탈질설비	별도 탈질설비 구비	낮은 연소온도 유지 및 암모니아 분무
화학성분	SiO_2·Al_2O_3·Fe_2O_3	석회석 혼소로 Free CaO 성분이 높음
유리화 정도	높음	낮음
주 재활용 용도	콘크리트 혼화재로 성수기 발생전량 재활용	점토 대체용 시멘트 원료, 장거리 운송을 통해 폐기물 처리장 매립
장점 및 문제점	- 포졸란 활성으로 장기강도 증진 - 작업성 개선 - 단위수량 감소 (내구성, 강도증진) - 수화열 감소 (구조물 크랙방지)	- Free CaO 발열반응 - 단위수량 증가(강도, 내구성 감소) - 수화열 증가(구조물 크랙방지) - 작업성 감소
기 타	KS L 5405 적합 제품 발생	KS L 5405 화학성분 물리성능에 만족하지 않음

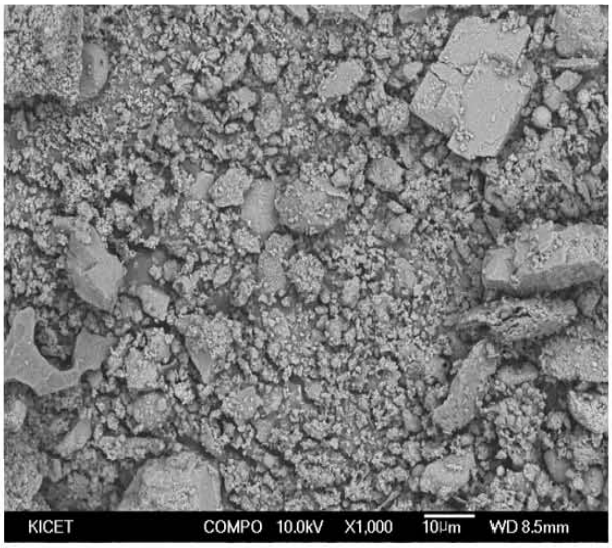
유동층보일러 플라이애시를 산지별, 월별로 샘플링하여 XRF 분석을 실시한 결과를 표2.16에 나타내었다. 고칼슘 연소재의 주성분은 CaO, SiO_2, Al_2O_3 로, 함량은 CaO는 45~60%, SiO_2 16~25%, Al_2O_3 5~16%이다. 주 성분 비율은 비슷하나 산지별, 월별 그 함량이 달라 원료의 품질에 편차가 발생할 가능성이 있음을 확인할 수 있다.

약 50% 가까운 높은 CaO 성분은 간극수의 소화와 함께 포틀랜다이트($Ca(OH)_2$)를 생성하게

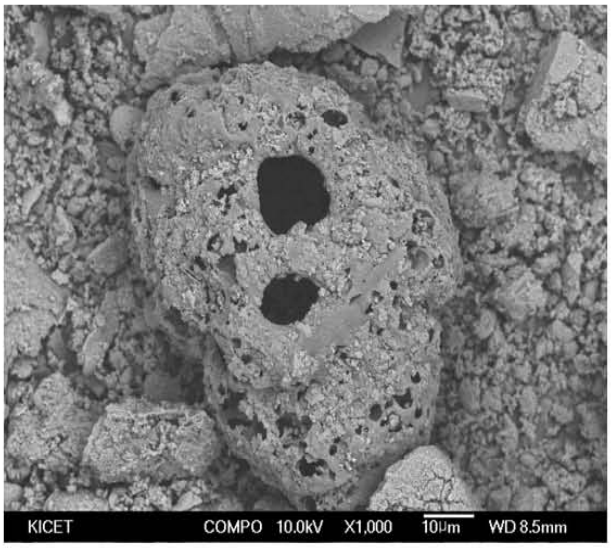
되고 자경효과에 의한 초기 강도를 결정짓게 되며 포틀랜다이트에서 방출되는 Ca^{2+} 이온은 대상토의 포함되어 있는 규산염(SiO_2)이나 알루민산염(Al_2O_3)과 반응하여 역시 칼슘실리케이트 수화물(CSH) 및 칼슘알루미네이트 수화물(CAH) 등을 생성하게 된다. 이러한 반응은 결국 시멘트를 사용하지 않아도 시멘트와 본질적으로 동일한 수화 메커니즘을 가지게 된다.

유동층보일러 플라이애시의 발생원별 화학성분

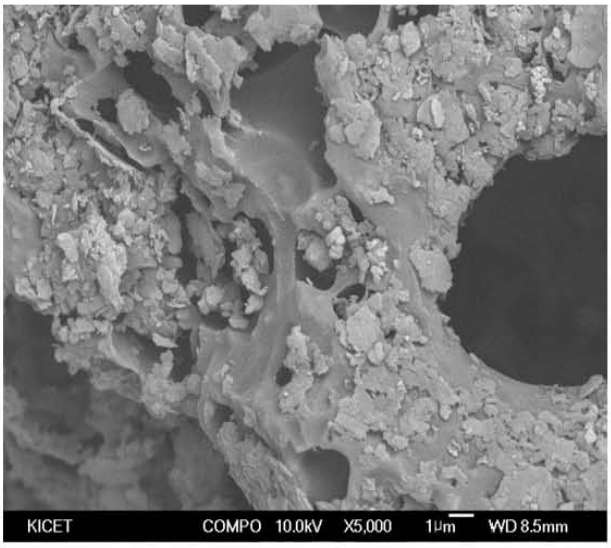
유동층 보일러 플라이애시	화학성분						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Cl
H발전소	17.40	8.41	5.88	56.60	4.92	5.66	0.03
Y발전소	24.20	11.80	5.69	46.70	5.13	4.01	0.05
K발전소	20.50	10.20	5.90	45.90	8.50	7.11	0.03
B발전소	18.90	5.09	5.38	51.40	5.47	9.95	0.15



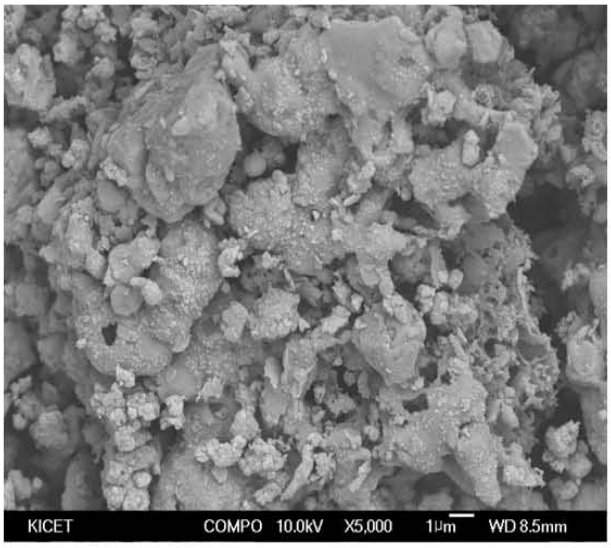
×1000



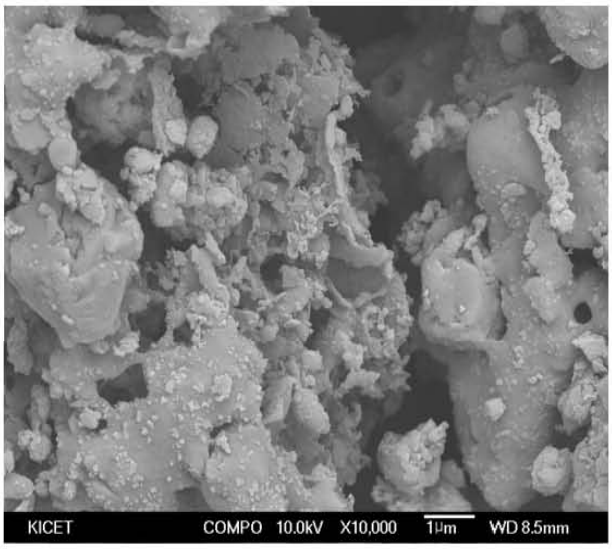
×1000



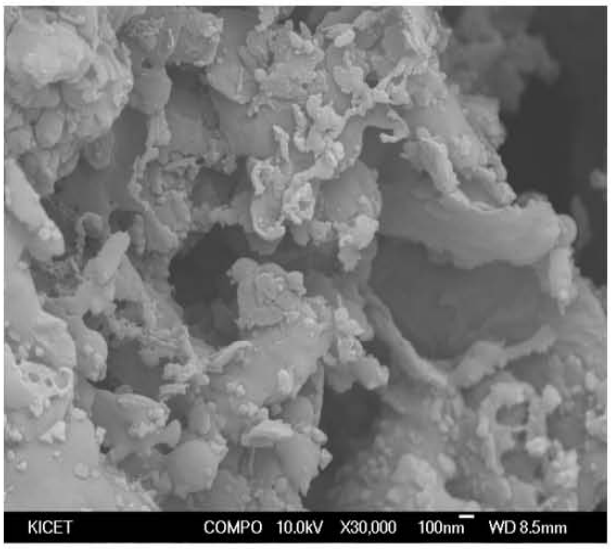
×5000



×5000

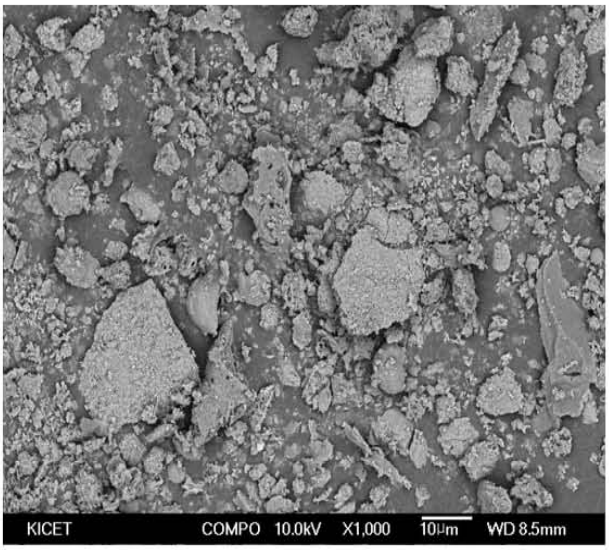


×10000

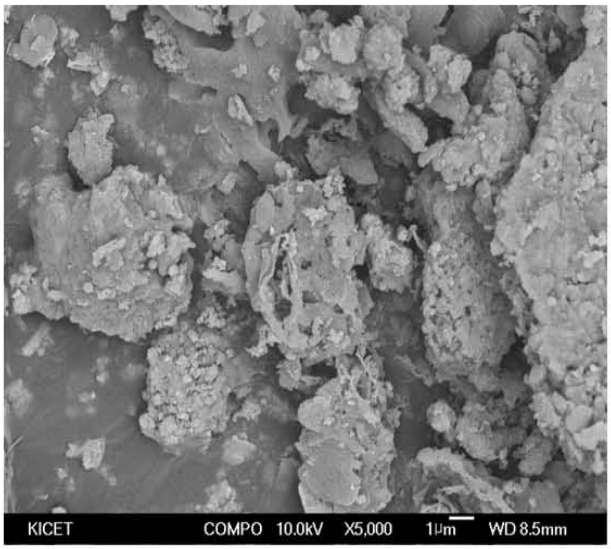


×30000

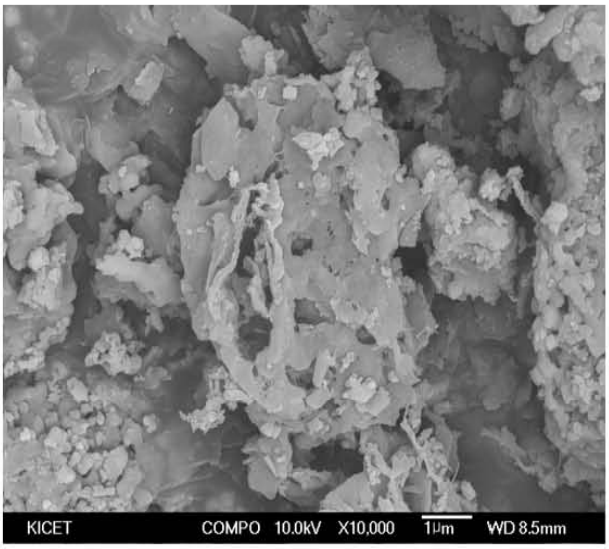
H발전소 CFBC-FA SEM 이미지



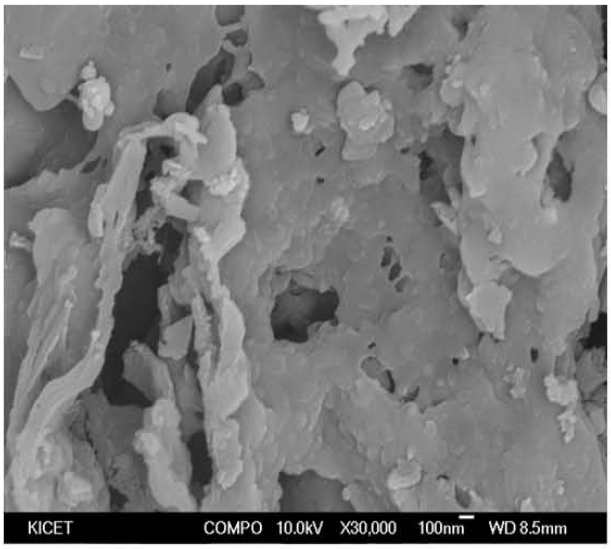
×1000



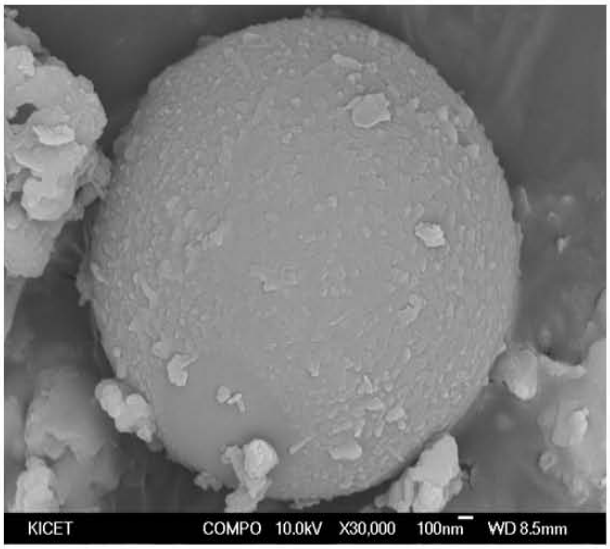
×5000



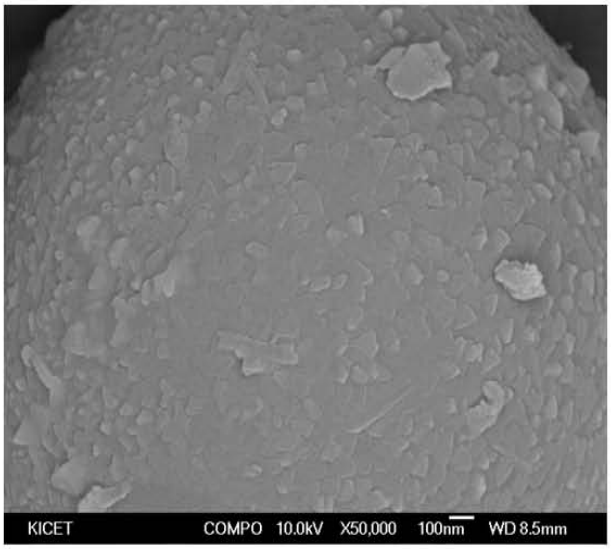
×10000



×30000

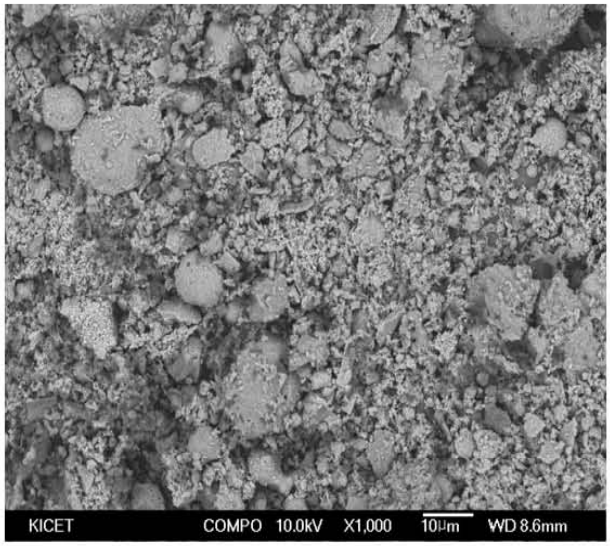


×10000

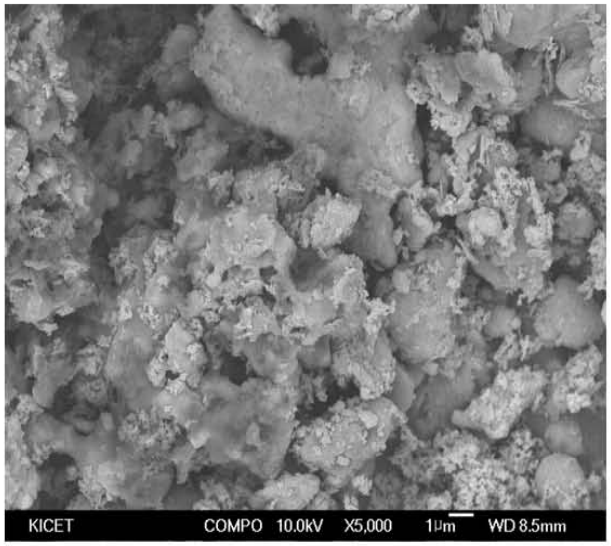


×30000

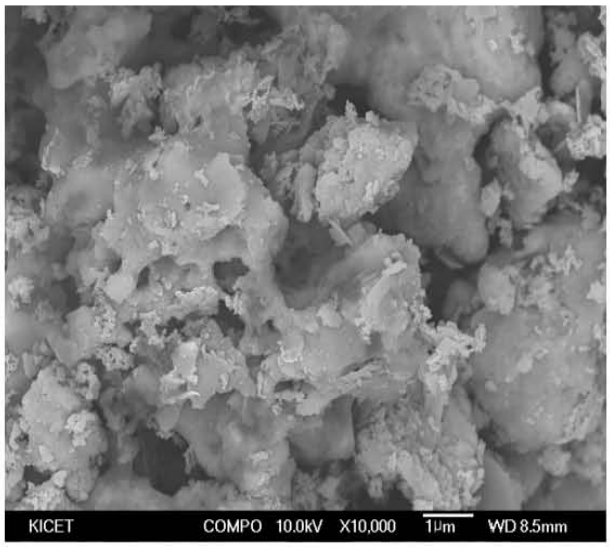
Y 발전소 CFBC-FA SEM 이미지



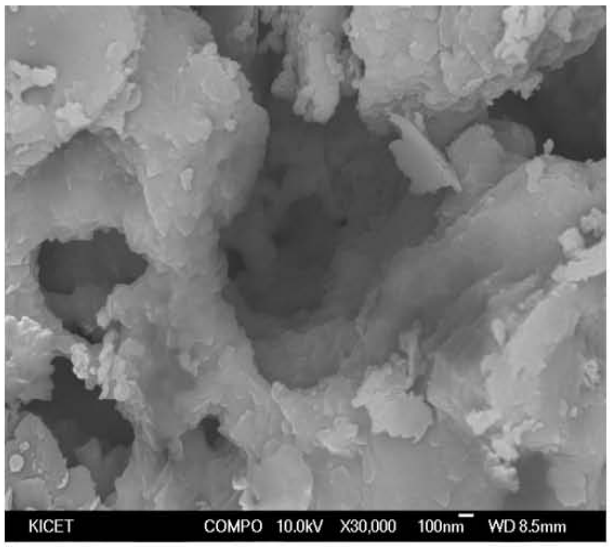
×1000



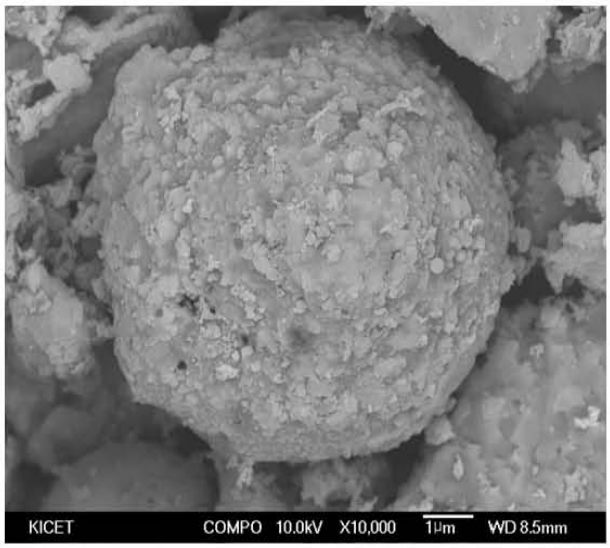
×5000



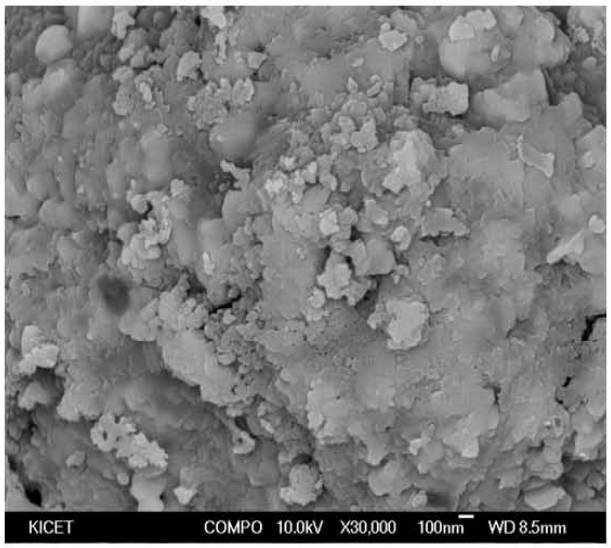
×10000



×30000

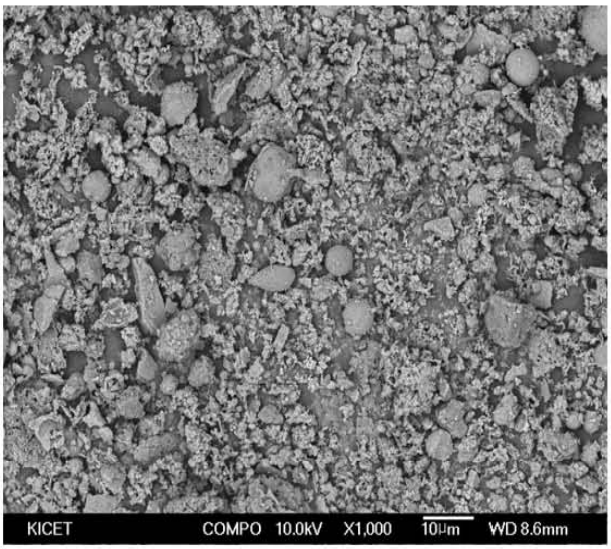


×10000

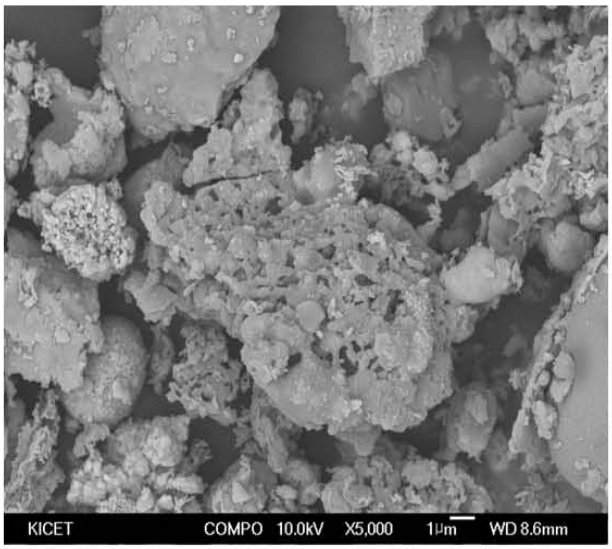


×30000

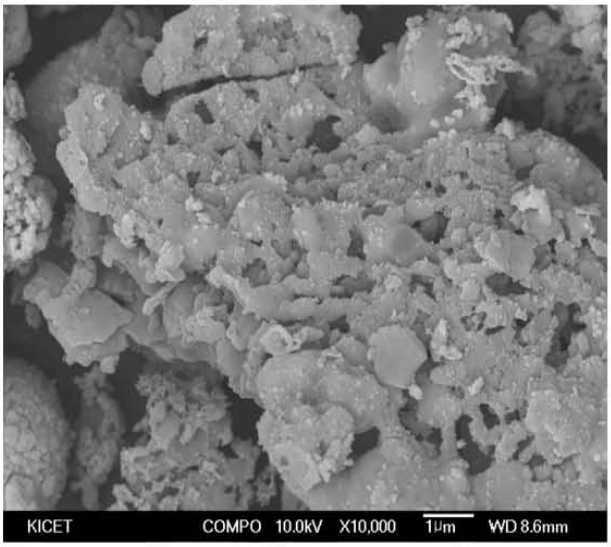
K 발전소 CFBC-FA SEM 이미지



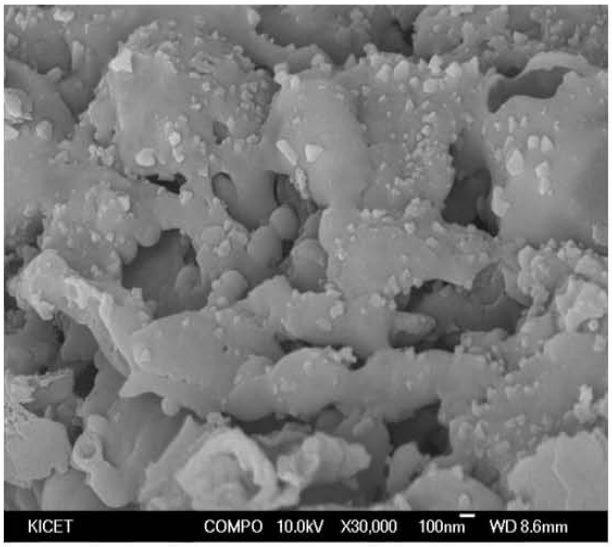
×1000



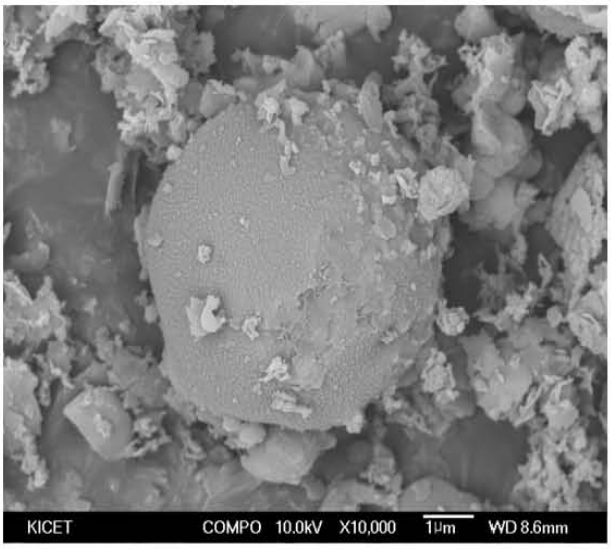
×5000



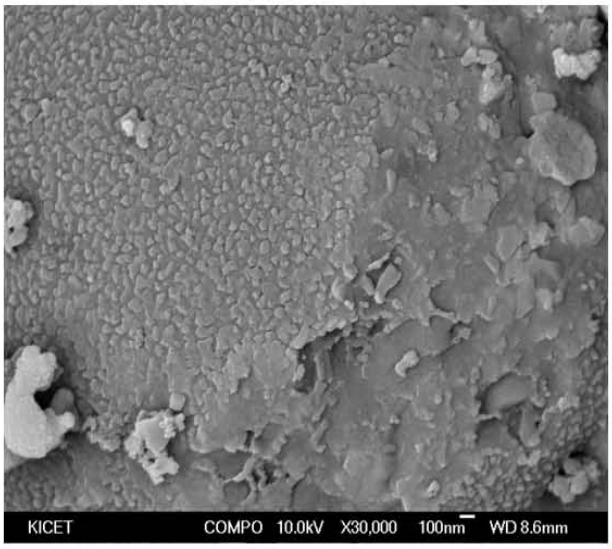
×10000



×30000

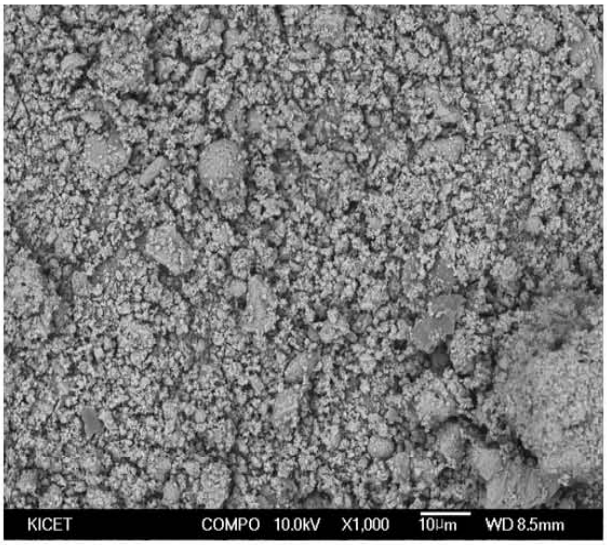


×10000

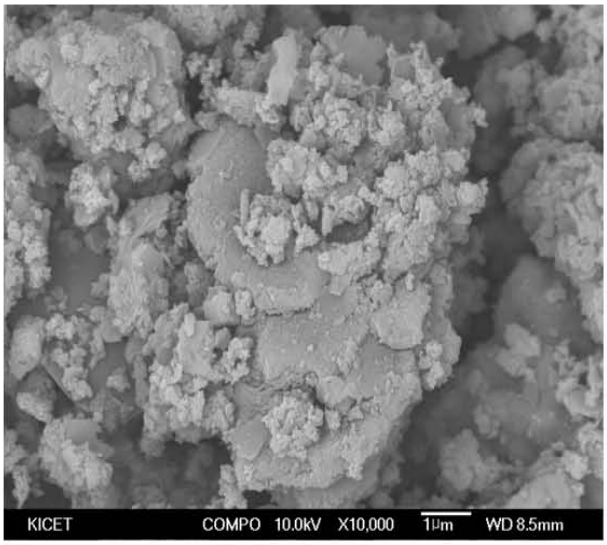


×30000

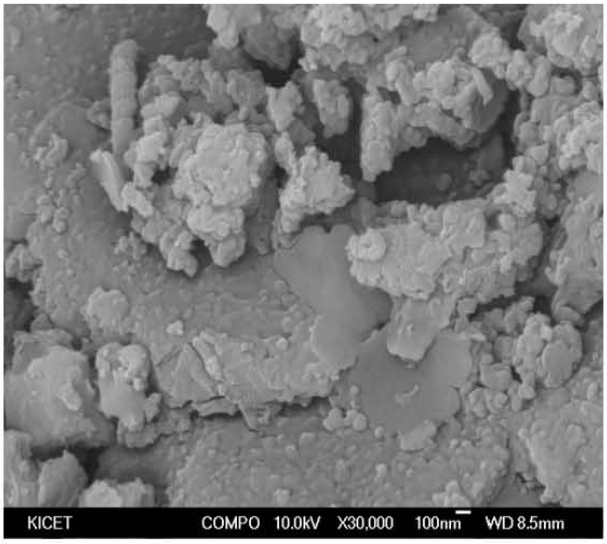
B 발전소 CFBC-FA SEM 이미지



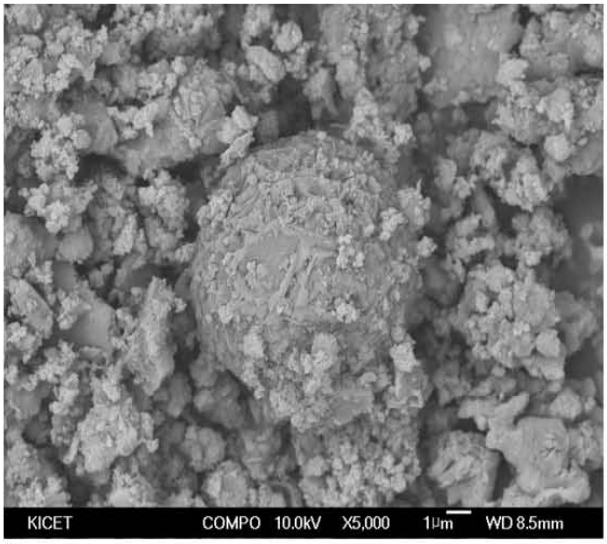
×1000



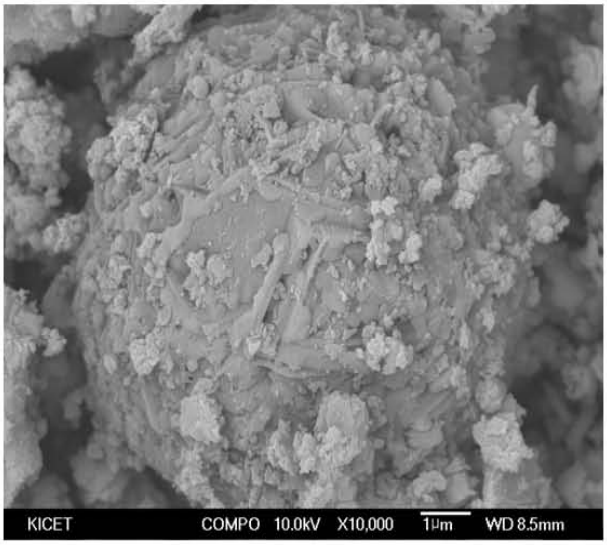
×10000



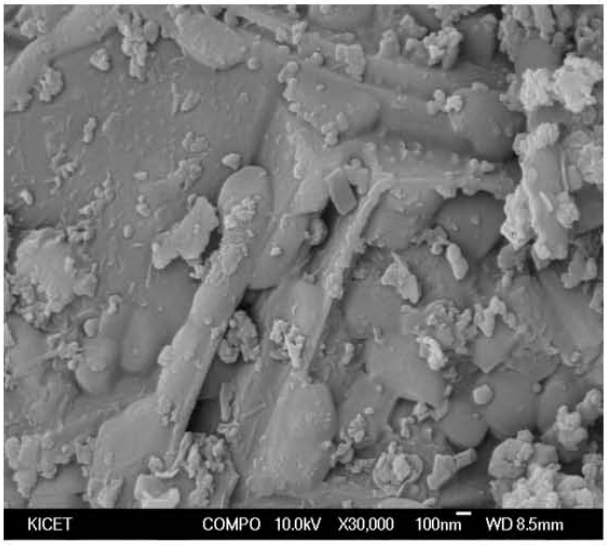
×30000



×5000

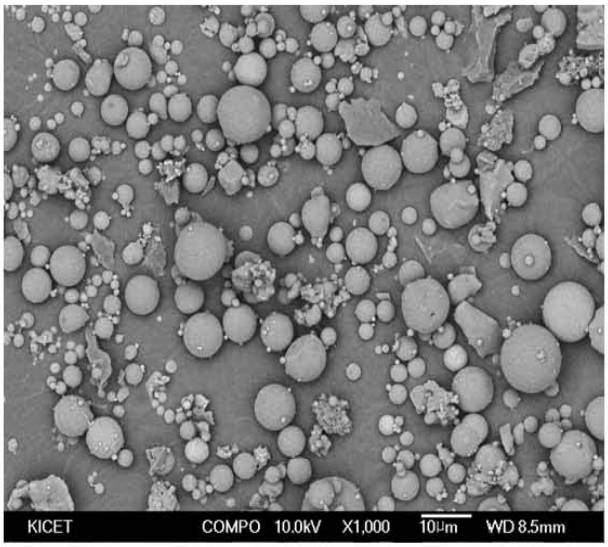


×10000

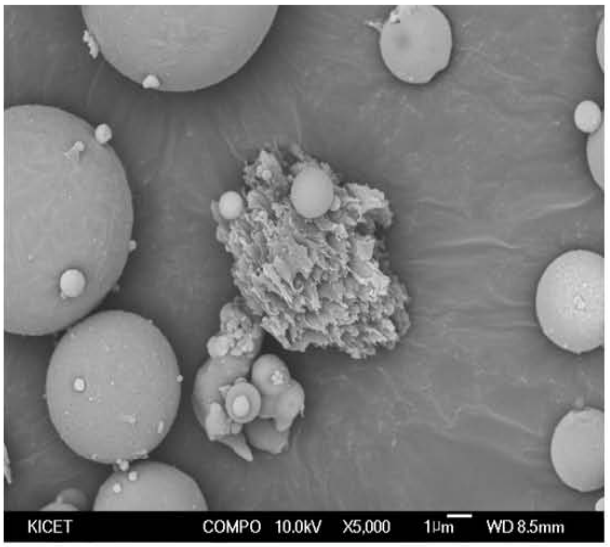


×30000

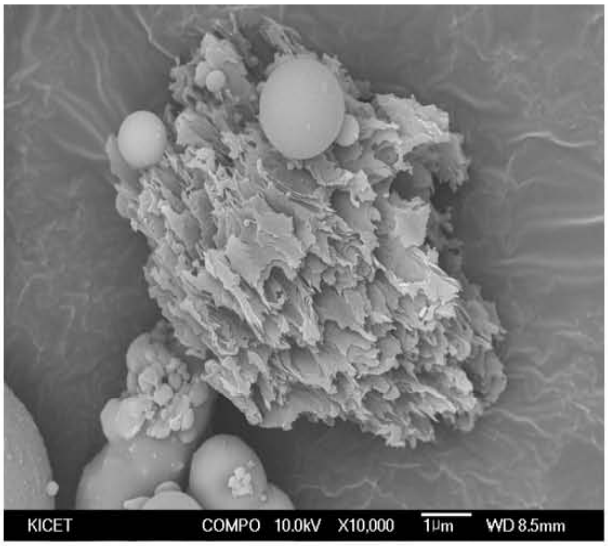
J 발전소 CFBC-FA SEM 이미지



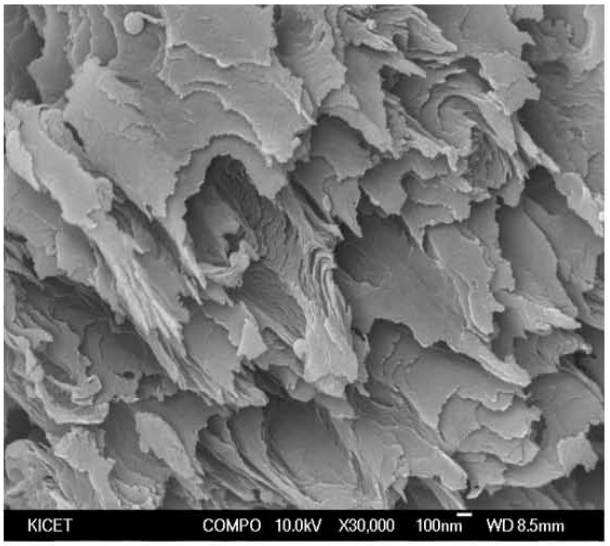
×1000



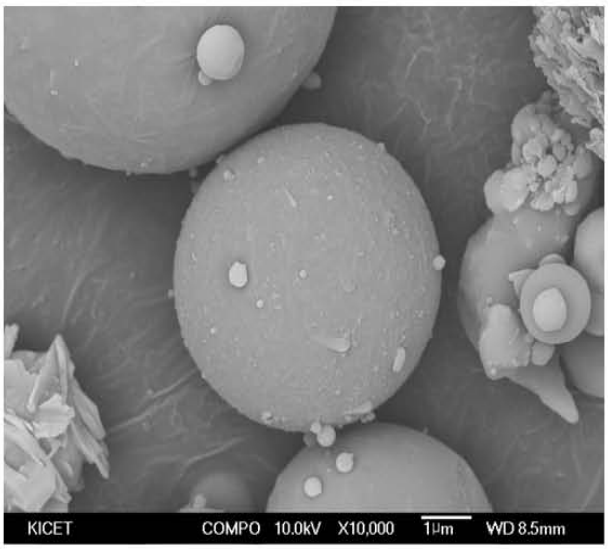
×5000



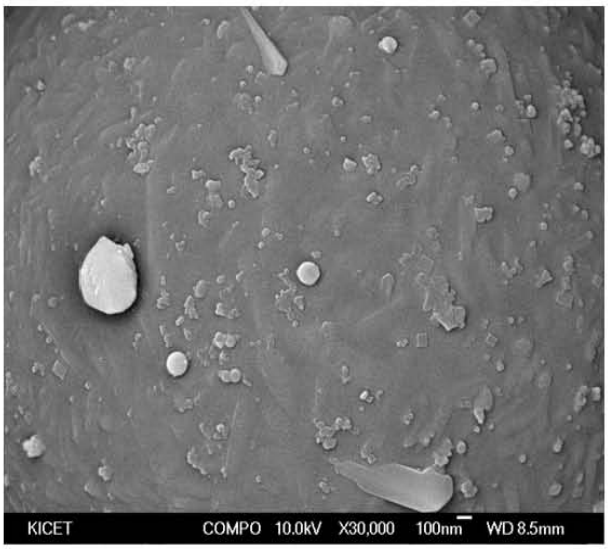
×10000



×30000

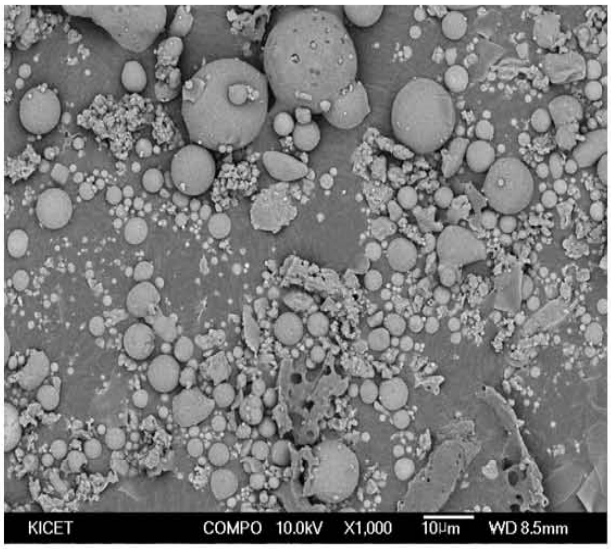


×10000

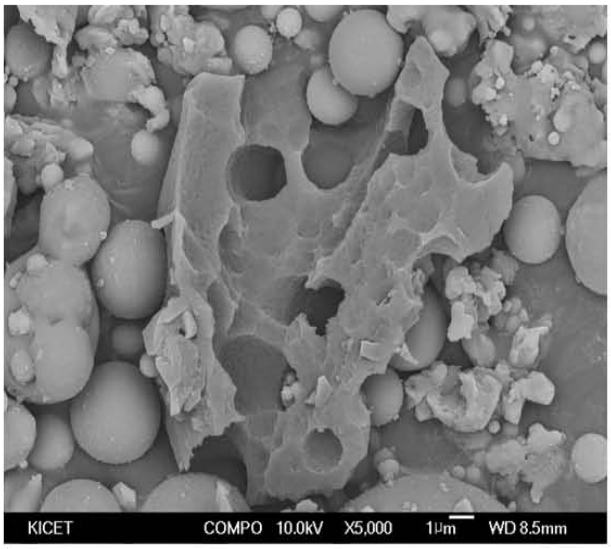


×30000

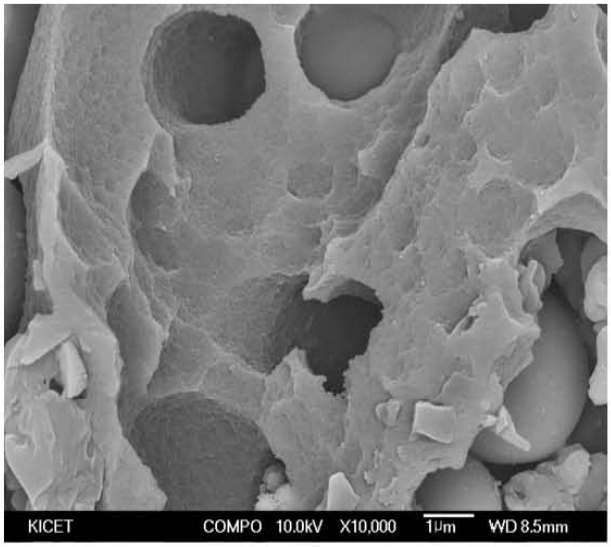
S 발전소 PFBC-FA SEM 이미지



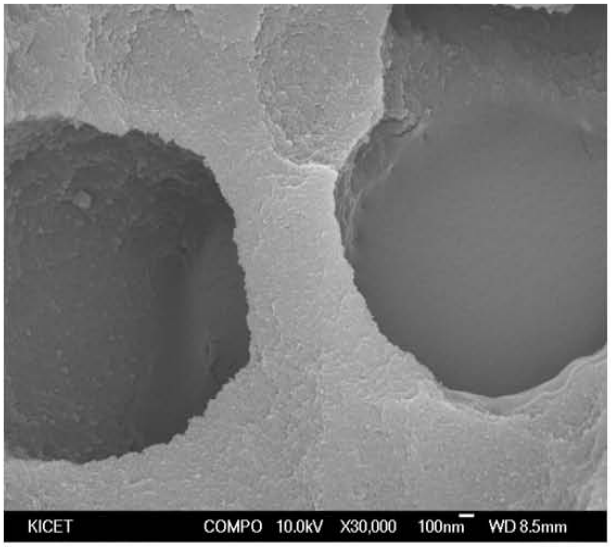
×1000



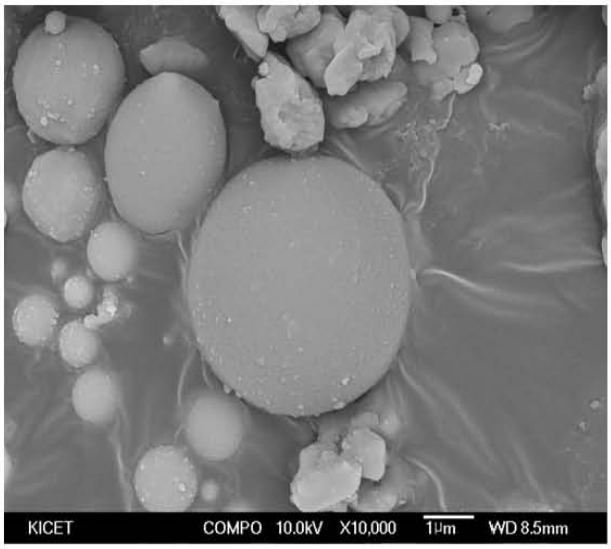
×5000



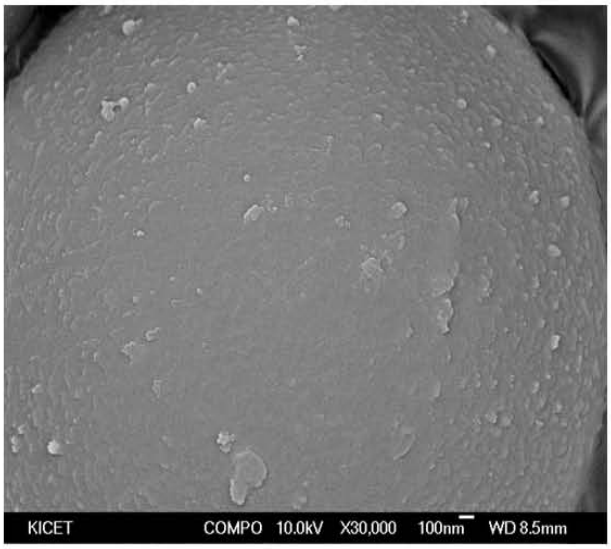
×10000



×30000

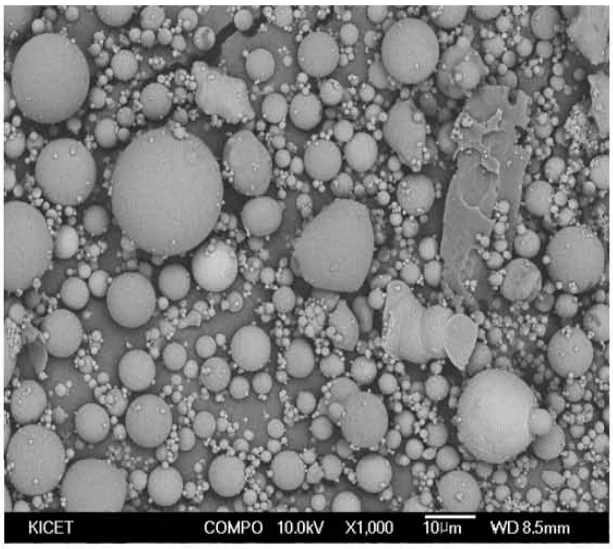


×10000

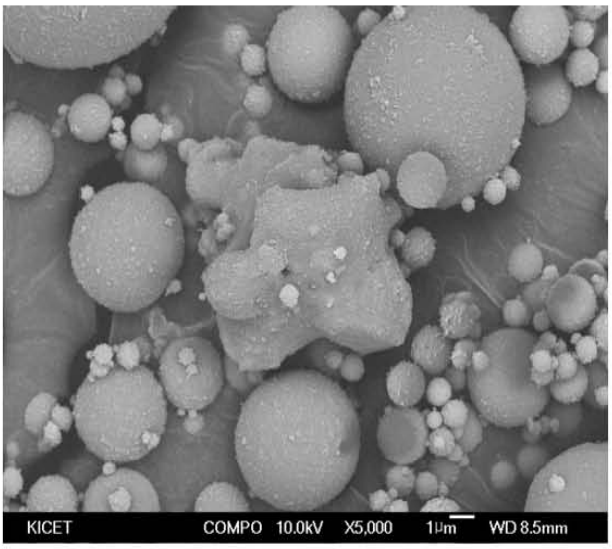


×30000

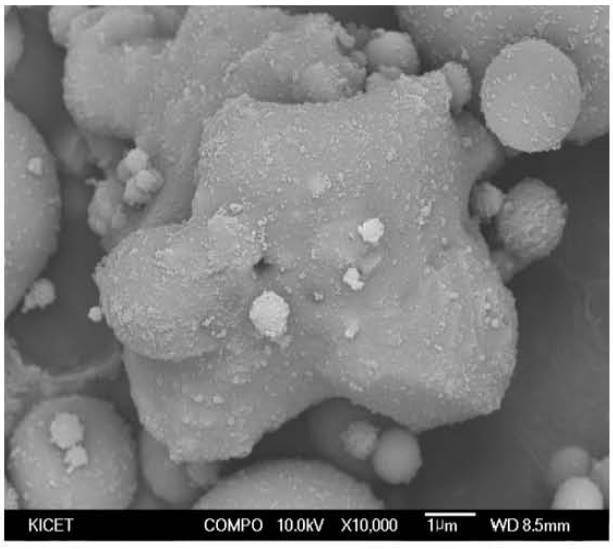
SC 발전소 PFBC-FA(비정제) SEM 이미지



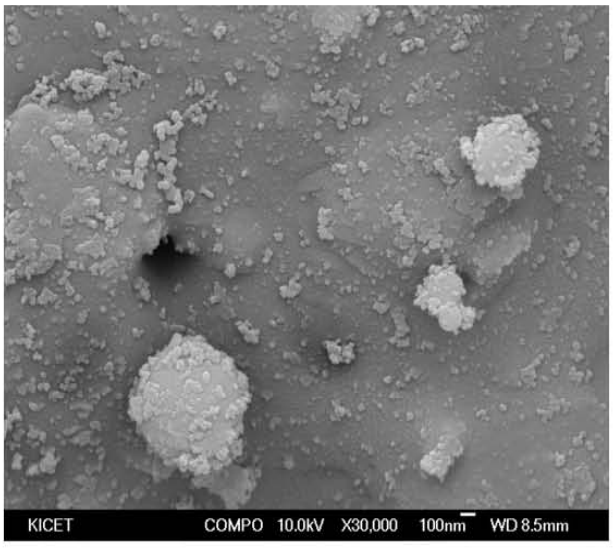
×1000



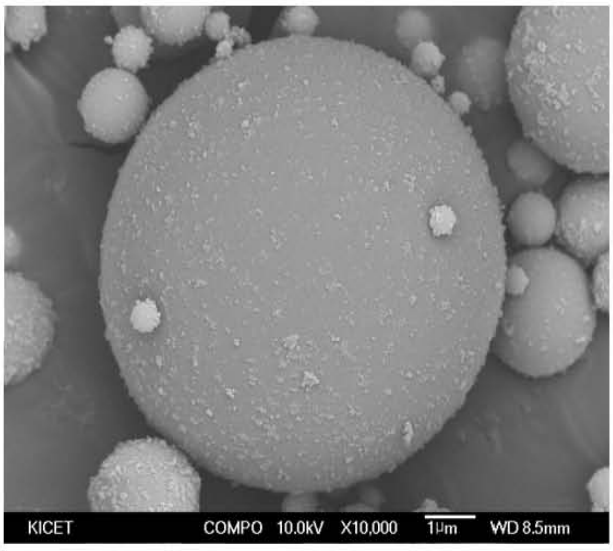
×5000



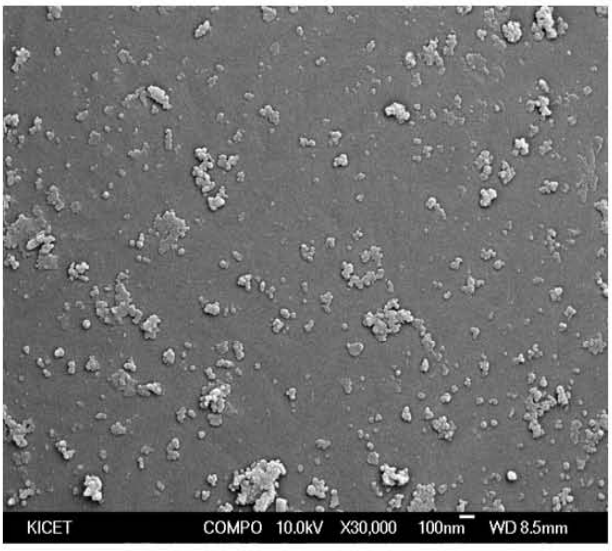
×10000



×30000

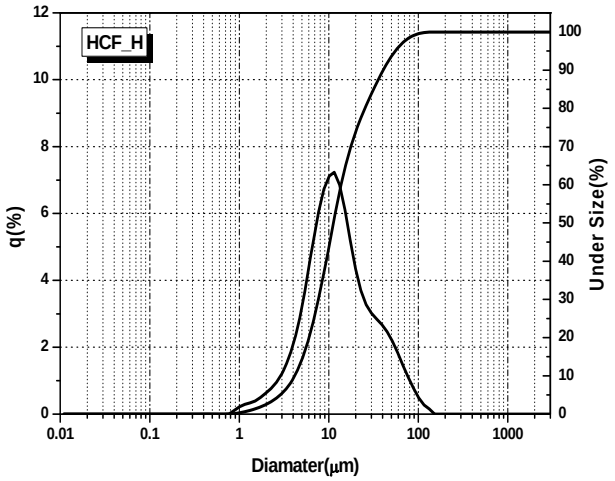


×10000

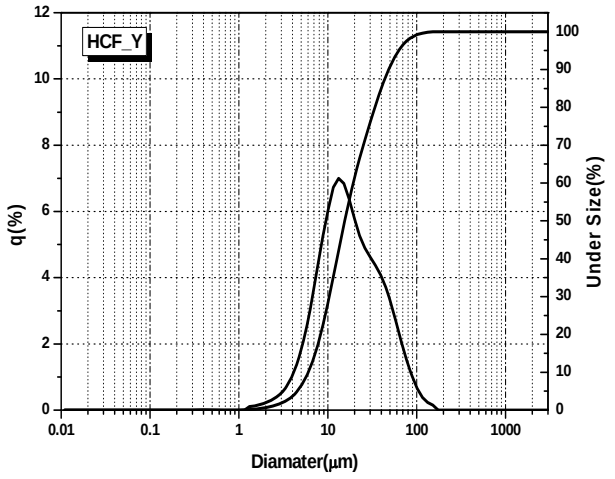


×30000

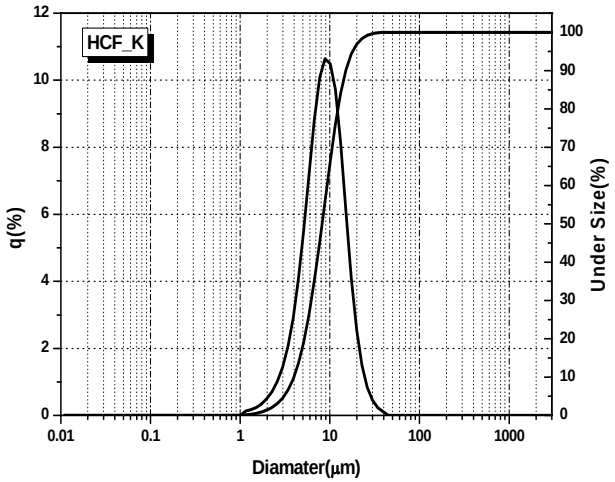
HN 발전소 PFBC-FA SEM 이미지
노내탈황방식 유동층 보일러 저품위 석탄재의 입형



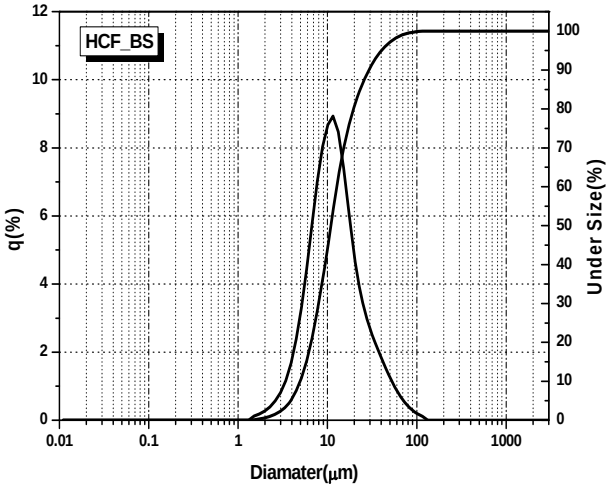
H발전소 CFBC-FA 입도분포



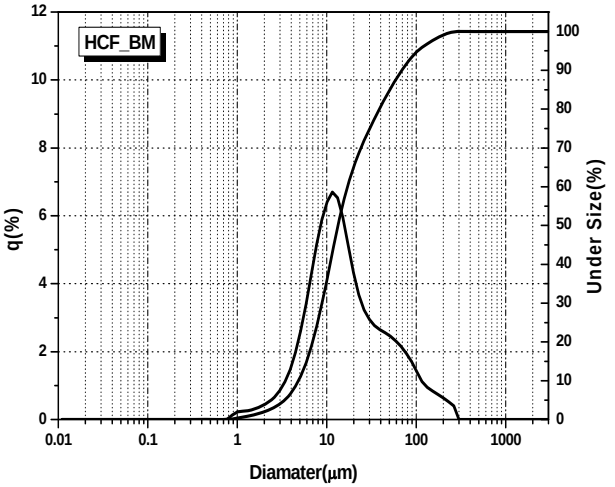
Y발전소 CFBC-FA 입도분포



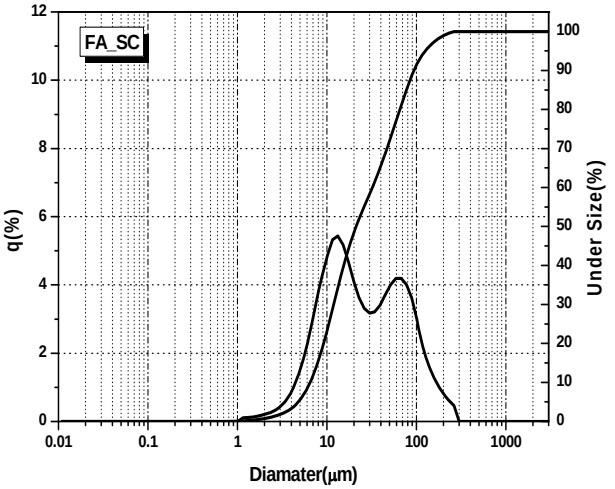
K발전소 CFBC-FA 입도분포



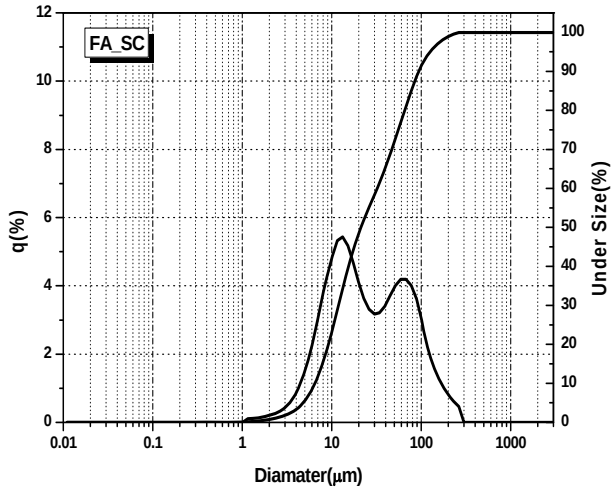
B발전소 CFBC-FA 입도분포



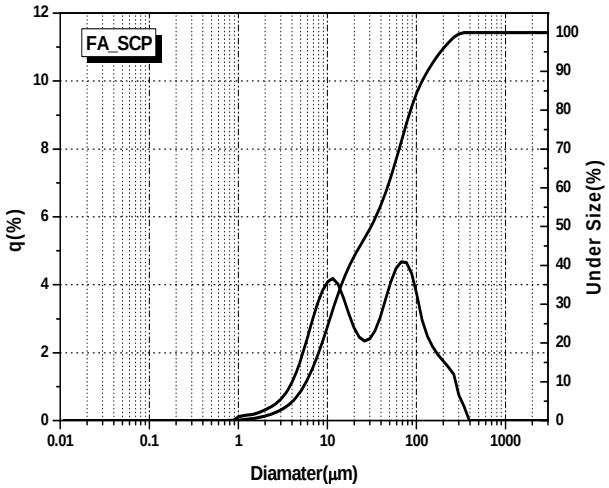
J사 CFBC-FA 입도분포



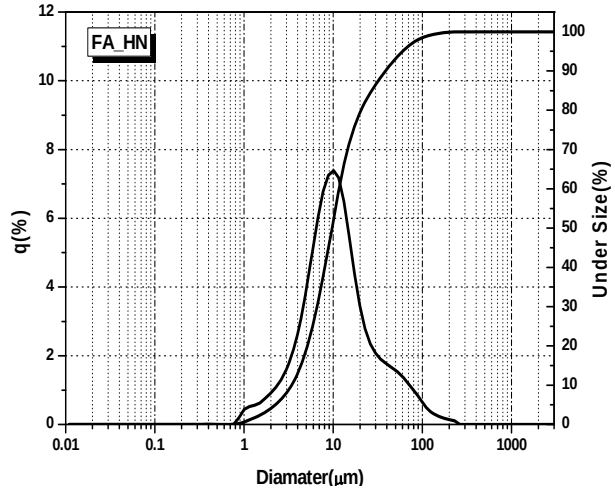
Y발전소 CFBC-FA 입도분포



S 발전소 PFBC-FA 입도분포

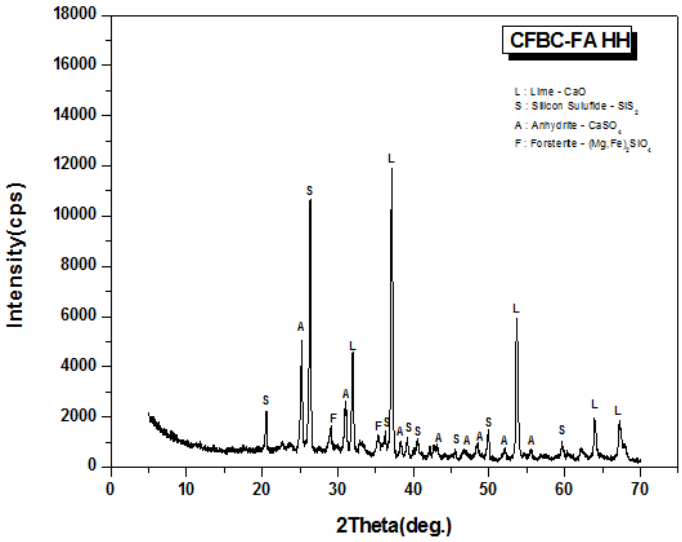


SC 발전소 PFBC-FA(비정제) 입도분포



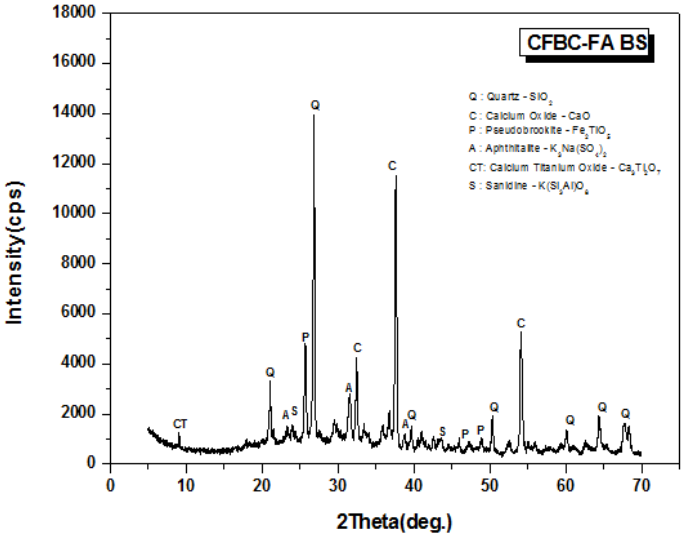
HN 발전소 PFBC-FA 입도분포

노내탈황방식 유동층 보일러 저품위 석탄재의 입도분포



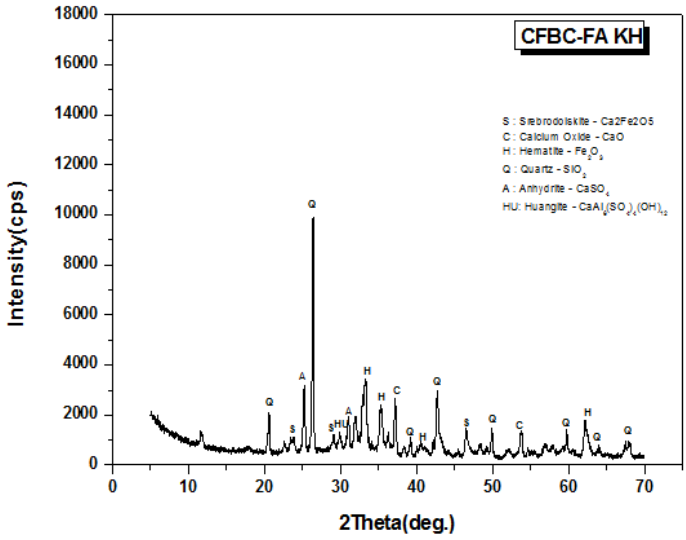
H 발전소 PFBC-FA XRD

Quartz[SiO_2], Silicon Sulfide[SiS_2], Anhydrite[$CaSO_4$],
Forsterite[Mg_2SiO_4]결정상을 갖는 물질임.



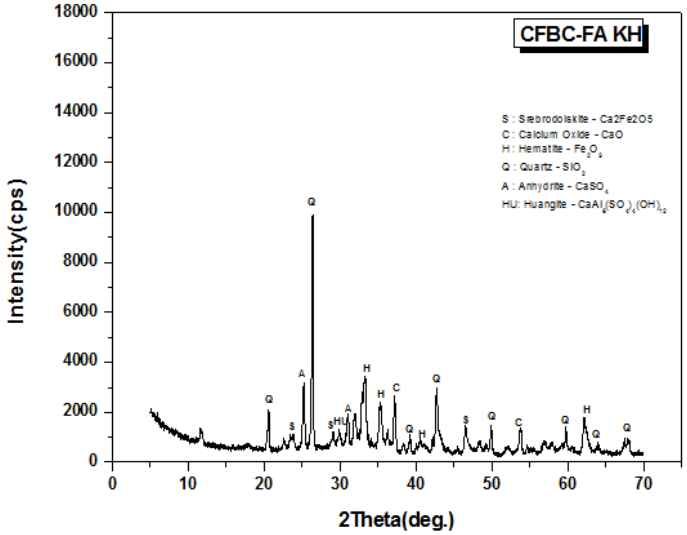
B 발전소 PFBC-FA XRD

Quartz[SiO_2], Calcium Oxide[CaO], Pseudobrookite[Fe_2TiO_5], Aphthitalite[$K_3Na(SO_4)_2$], Calcium Titanium Oxide[$Ca_3Ti_2O_7$], Sanidine[$K(Si_3Al)O_8$]결정상을 갖는 물질임.



K 발전소 PFBC-FA XRD

Srebodolskite[$Ca_2Fe_2O_5$], Calcium Oxide[CaO], Hematite[Fe_2O_3], Quzrtz(SiO_2], anhydrite[$CaSO_4$], Huangite[$CaAl_6(SO_4)_4(OH)_{12}$]결정상을 갖는 물질임.



Y 발전소 PFBC-FA XRD

Quartz[SiO_2], Latiumite[$(Ca,K)_4(Si,Al)_5O_{11}(SO_4,CO_3)$], Aluminum Magnesium[$Al_{0.56}Mg_{0.44}$], Huntite[$Mg_3Ca(CO_3)_4$]결정상을 갖는 물질임.

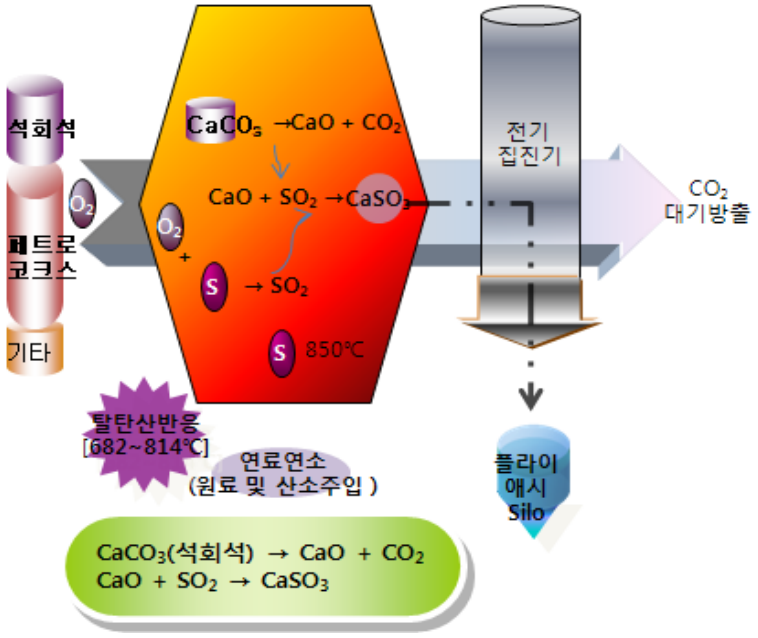
나. 페트로코크스 탈황석고

페트로코크스는 석유 부산물로, 정유공장에서 원유를 정제하는 과정에서 상압 및 감압 중유를 고온 열분해하여 경질부분 LPG·나프타 등유·경유를 만들고 남은 부산물로 코킹과정을 통해 생산된 고체형태의 석유 제품으로, 열량은 석탄 1.5배 이상으로 순환 유동층 보일러의 연료로써 사용량이 증가추세에 있다.

순환유동층 보일러의 탈황공정은 연소실 내에 석회석을 주입하여 연료와 함께 연소시켜 연소가스 중의 인산화황과 석회석이 노내에서 반응하여 연소가스 중의 황은 제거되고 석고가 생성되어 연소재와 함께 배출(페트로코크스 탈황석고)된다. 페트로코크스 탈황석고는 CaO 및 $CaSO_4$ 성분으로 구성되어 있으며, 일부 시멘트 첨가제로 재활용되고 있으나 대부분 매립처분되고 있다.

정제 석유 제품에 대한 수요 증가와 잠재 성장 지속성, 원유의 점진적 품질저하로 보다 많은 코크스 원료화의 필요성이 대두됨에 따라 연료와 에너지원으로서의 생산량 및 소비량의 증가로 인한 페트로 코크스 탈황부산물의 발생량이 증가할 것으로 예상됨에 따라 이에 대한 활용방안이 필요한 실정이다.

페트로코크스 탈황석고는 노내탈황을 하는 유동층 보일러를 운전하는 발전소에서 페트로 코크스+석회석을 혼합 연소하고 남은 산업부산물로 아래 그림과 같이 석회석의 탈탄산 과정 및 탈황반응으로 석회 및 석고 성분인 CaO 성분과 $CaSO_4$ 등이 다량 함유되어 있다. 이들 성분이 많기 때문에 KS L 5405 물리·화학적 성능에 만족하지 못하고 콘크리트 혼화재료로는 재활용이 불가능 하지만 이들은 고로슬래그와 같이 활용될 경우 결합재 및 자극제로서 동시 역할을 수행할 수 있는 성질을 가지고 있다.



페트로 코크스 탈황부산물의 발생 공정

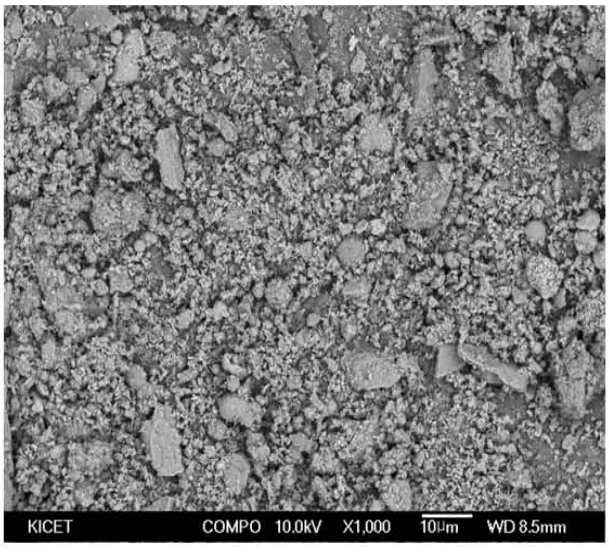
국내 화력발전소에 설치된 모든 탈황설비는 흡수제로 석회석을 사용하고 부산물로 석고를 생산하는 석회석-석고 공정으로 석고는 이수석고의 형태로 생성되며 일반적으로는 탈황석고로 불린다.

페트롤 코크스 탈황석고는 페트롤 코크스를 원료로 하는 보일러에서 노내 탈황을 위해 석회석을 혼소하는 과정에서 페트롤 코크스에 포함되어 있는 황 성분과 석회석이 고온에서 탈탄산된 CaO 성분이 반응하여 생성된 분진과 같은 입자상 석고 물질로서 pH가 11.5 이상의 강알칼리 물질이다. 상기 석고에 포함된 황산염과 높은 pH가 황산염자극 및 pH에 따른 알칼리 자극을 고로슬래그 미분말에 가하게 되면 고로슬래그 미분말이 활성화되어 잠재수경성 반응을 개시하여 고결강도를 발현한다.

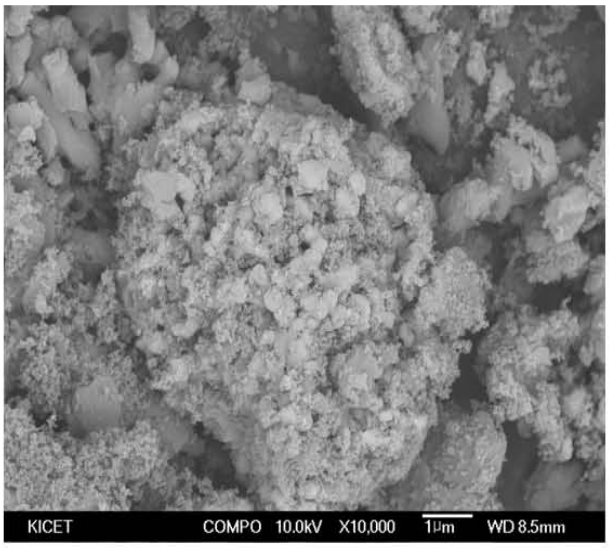
코크스 탈황석고의 산화물 조성비를 분석한 결과 발생처별, 계절별로 그 조성에 차이가 있으며 평균적인 조성비는 아래의 표와 같다.

코크스 탈황석고 연소재의 산화물 조성

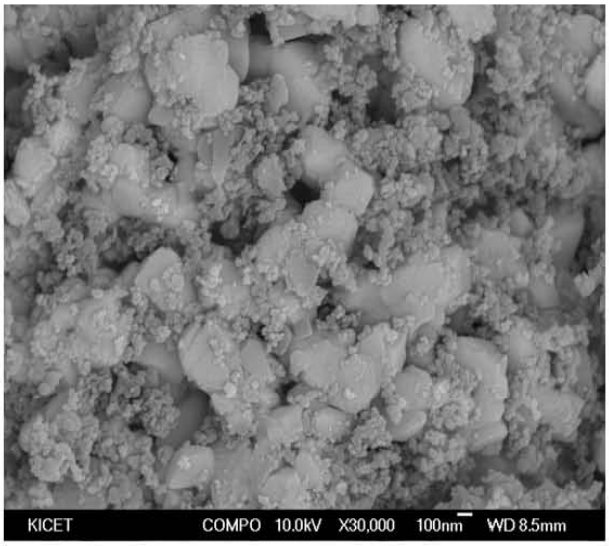
명칭	산화물 조성비 (%)						
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O
코크스 탈황 석고	1.1 ~ 2.3	0.2~0.8	0 ~ 1.7	68.0~70.0	0.6 ~ 1.5	25.5~25.8	0.1~0.2



×1000



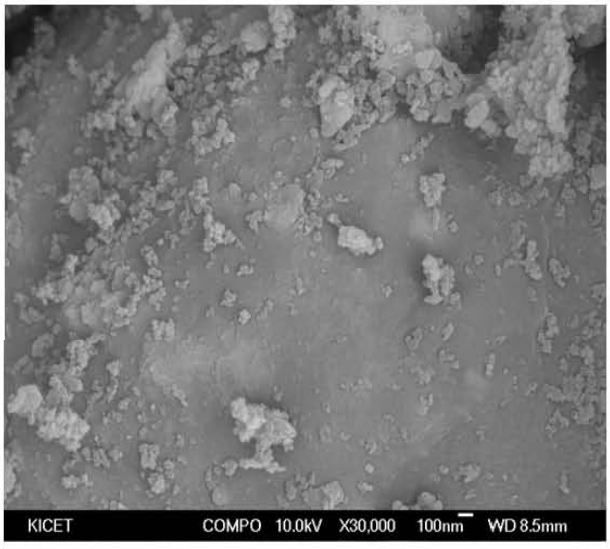
×10000



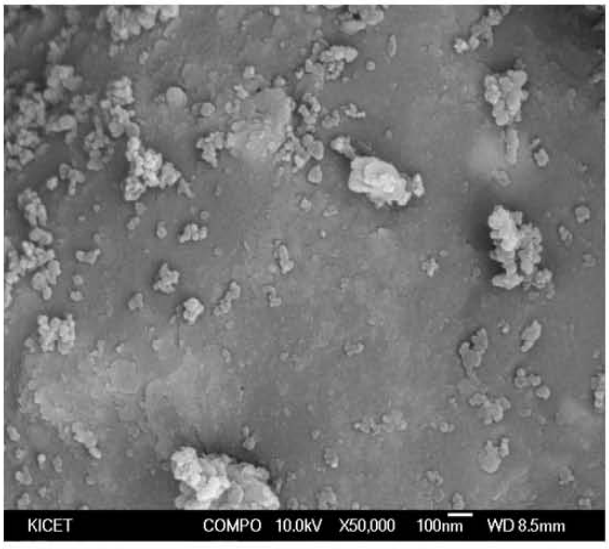
×30000



×10000

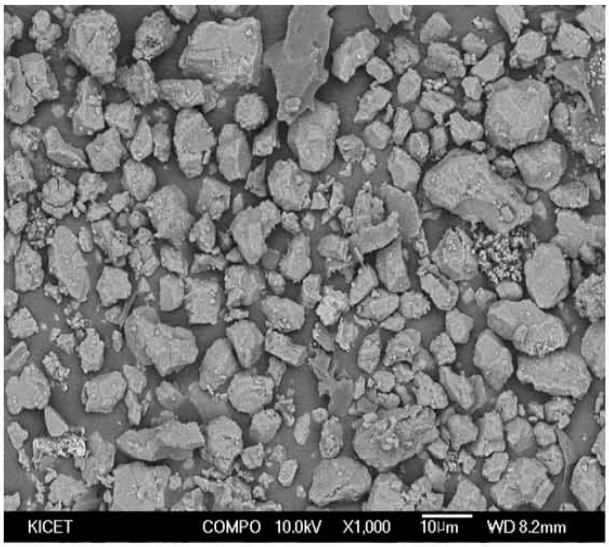


×30000

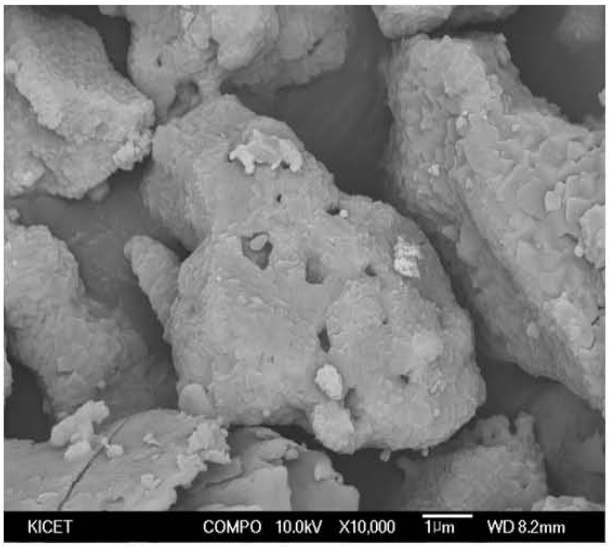


×50000

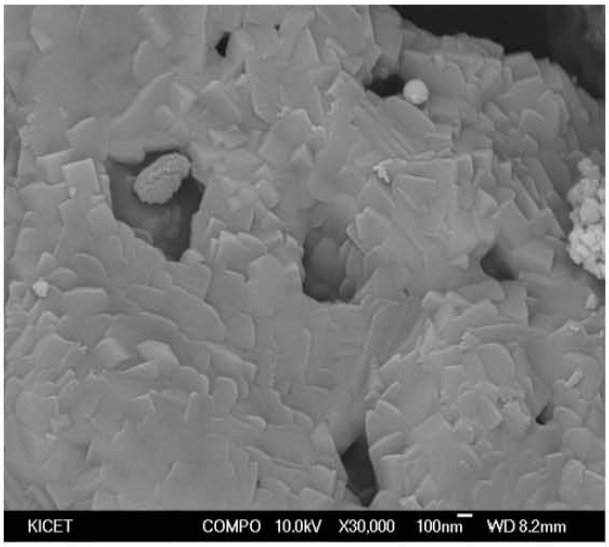
K 발전소 TDF연소재 SEM 이미지



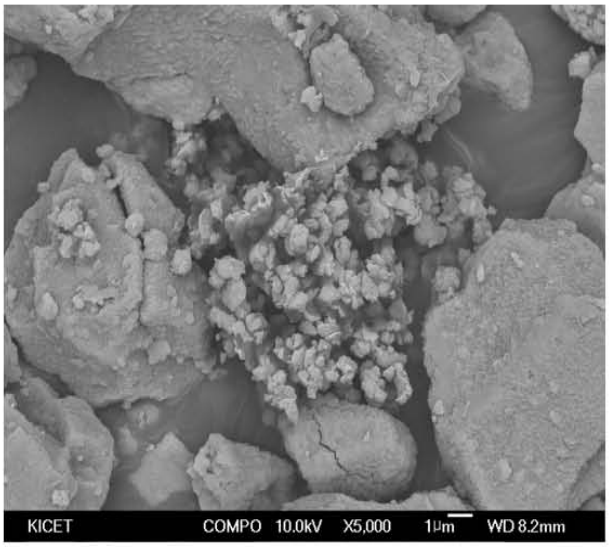
×1000



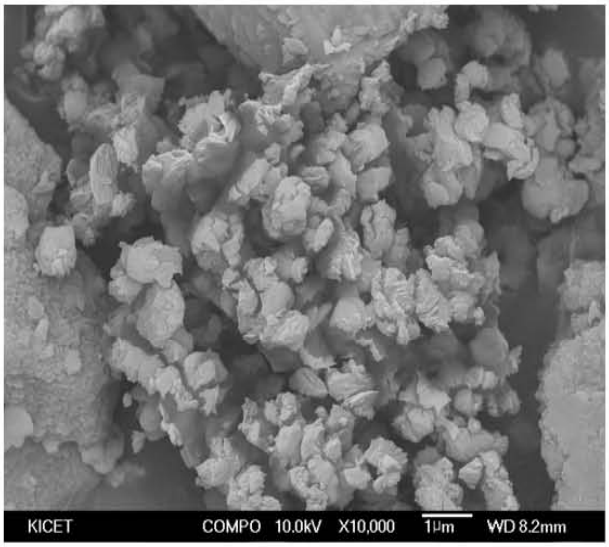
×10000



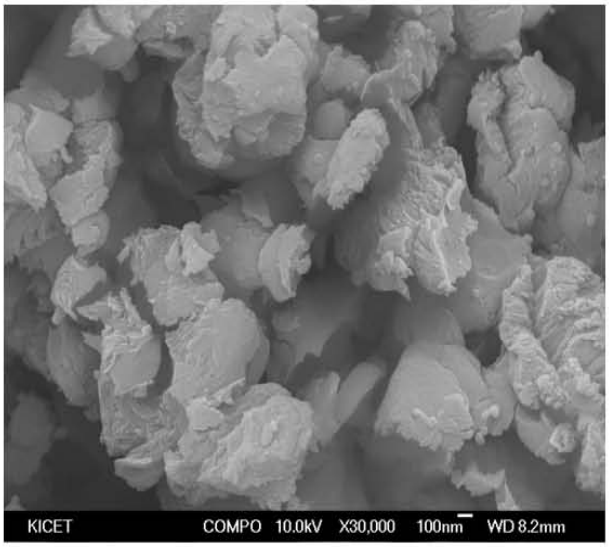
×30000



×5000

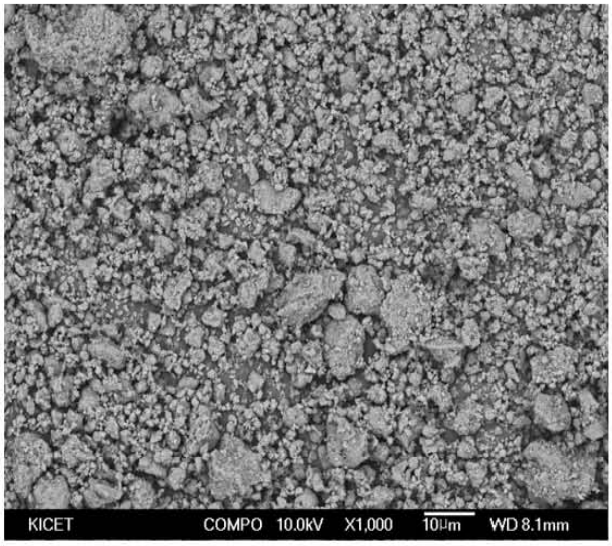


×10000

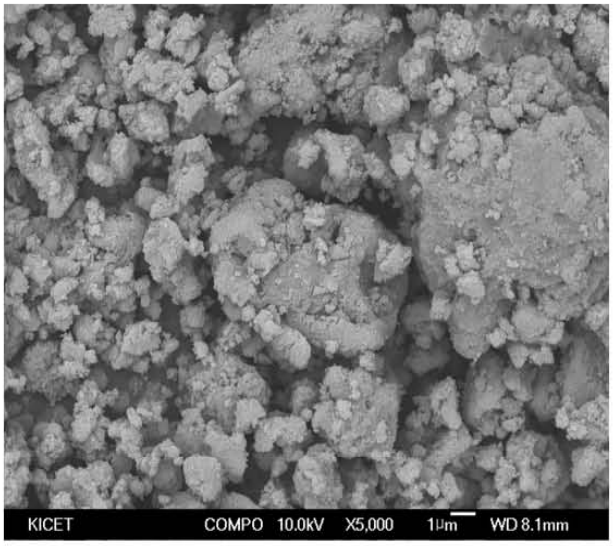


×30000

H사 코크스 연소재 SEM 이미지



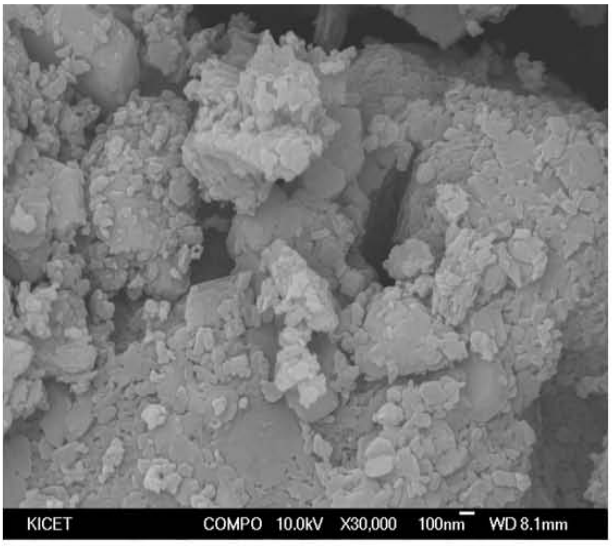
×1000



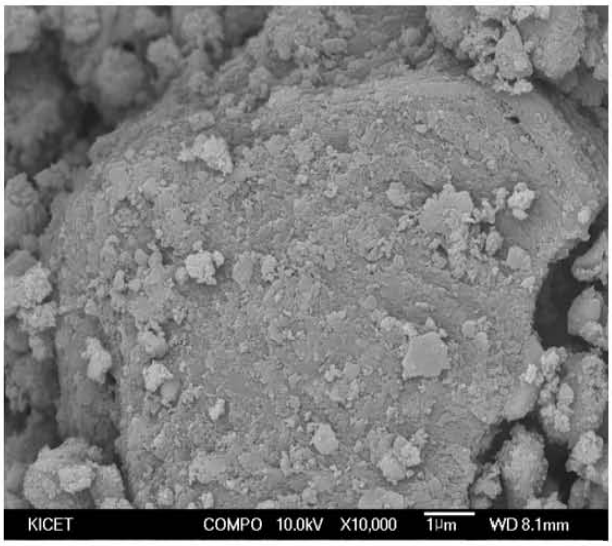
×5000



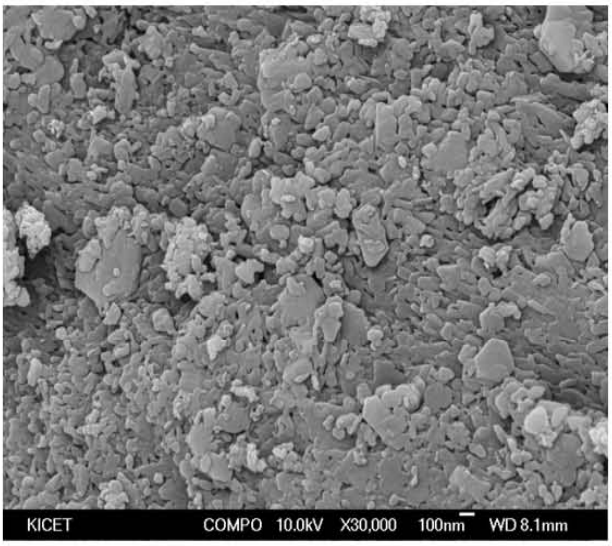
×10000



×30000

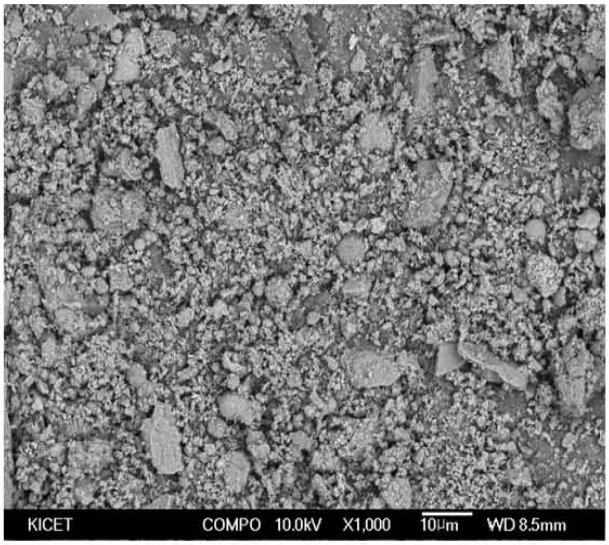


×10000

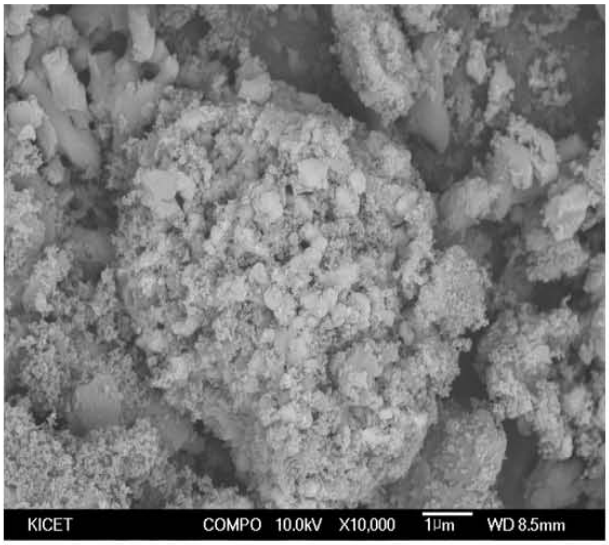


×30000

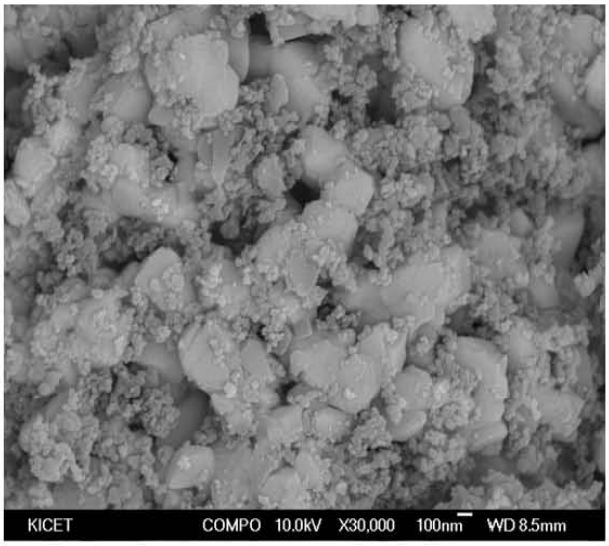
P사 산업부산물 CH SEM 이미지



×1000



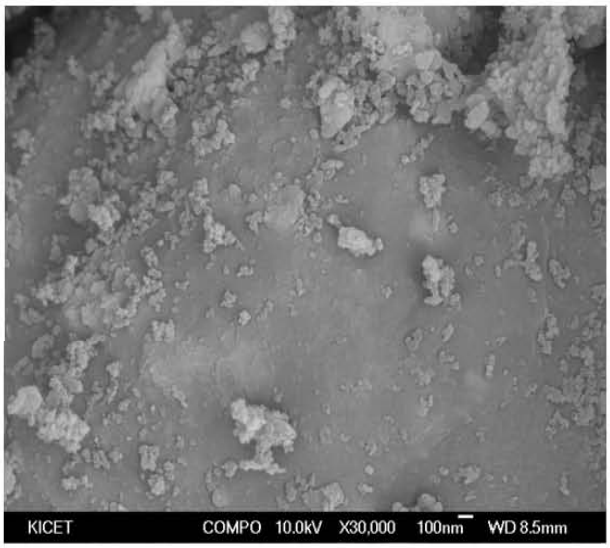
×10000



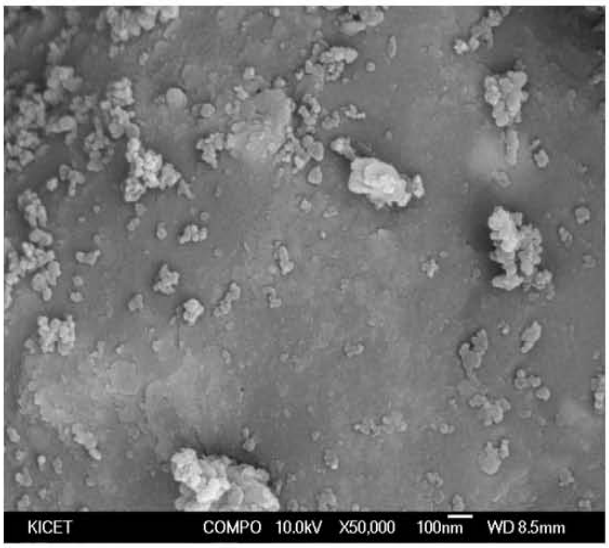
×30000



×10000

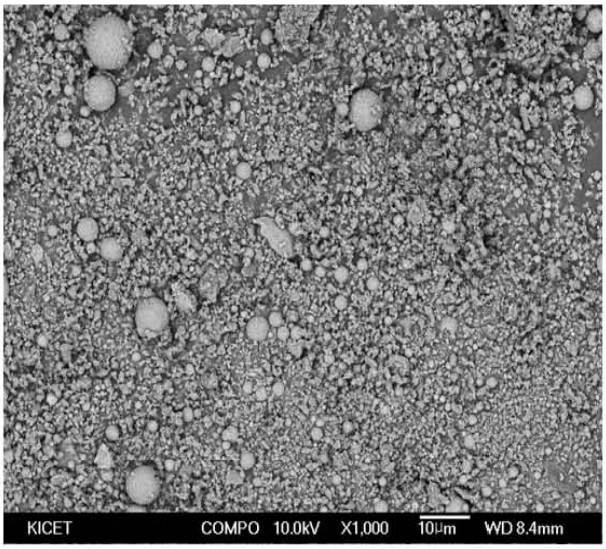


×30000

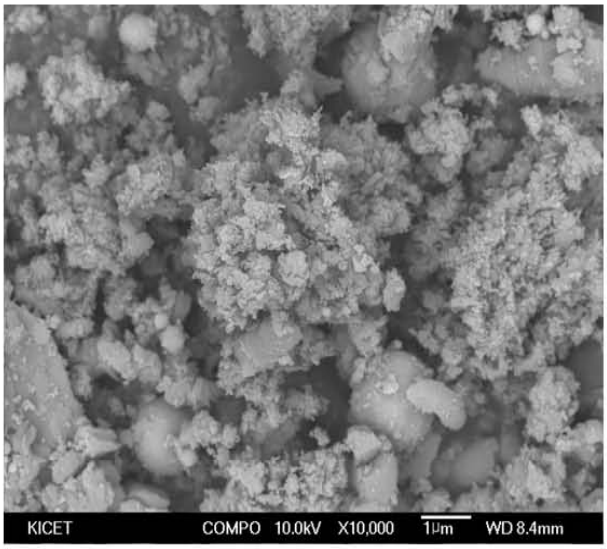


×50000

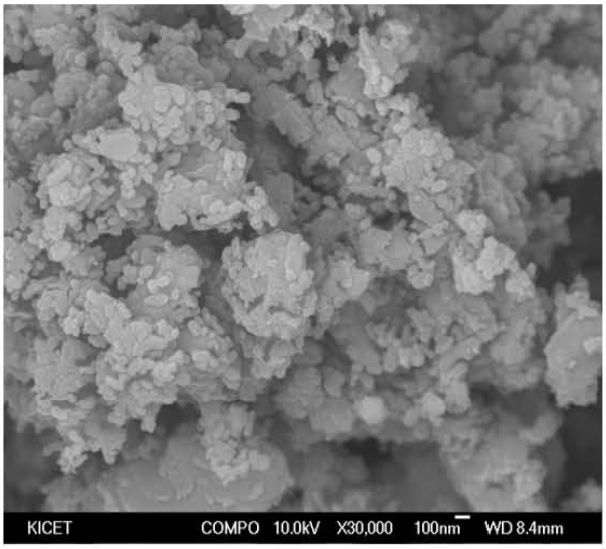
K 발전소 TDF연소재 SEM 이미지



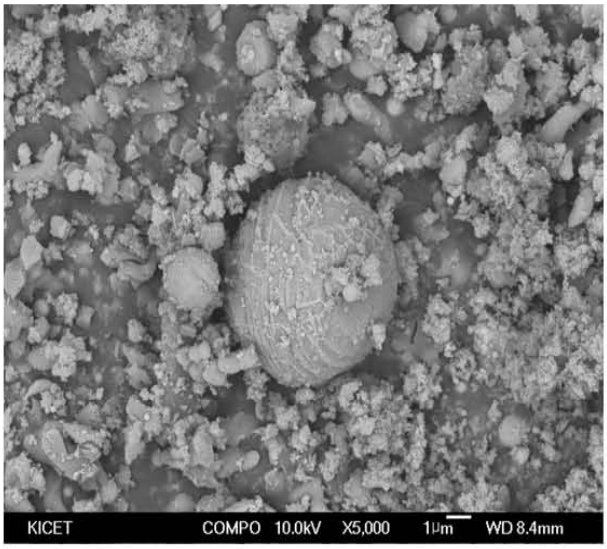
×1000



×10000



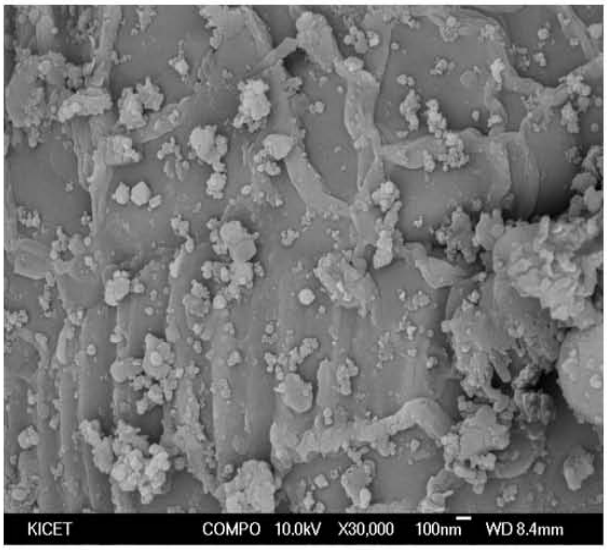
×30000



×5000

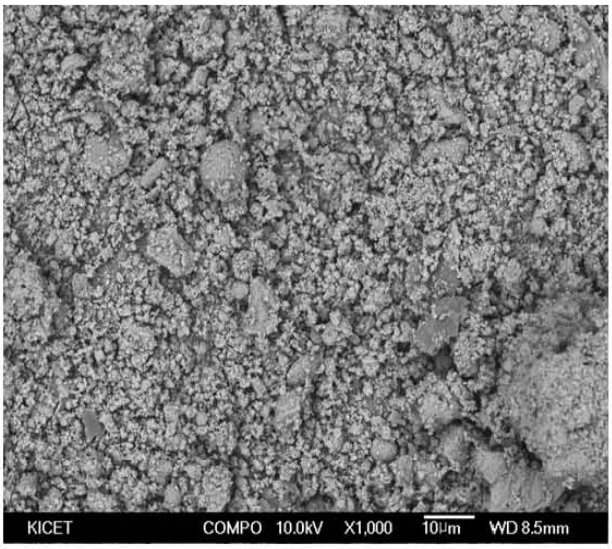


×10000

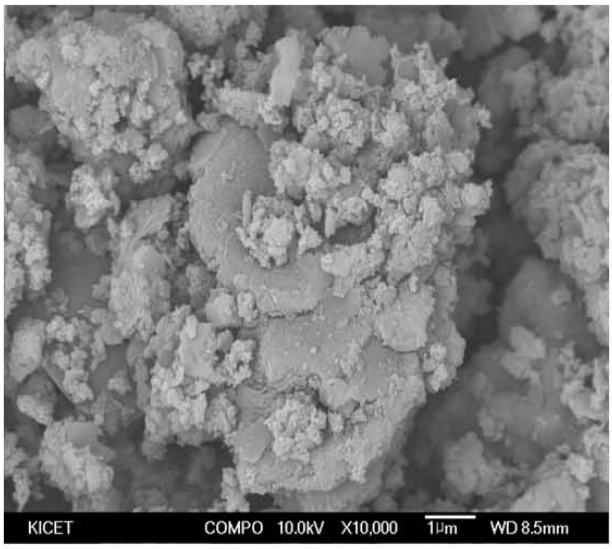


×50000

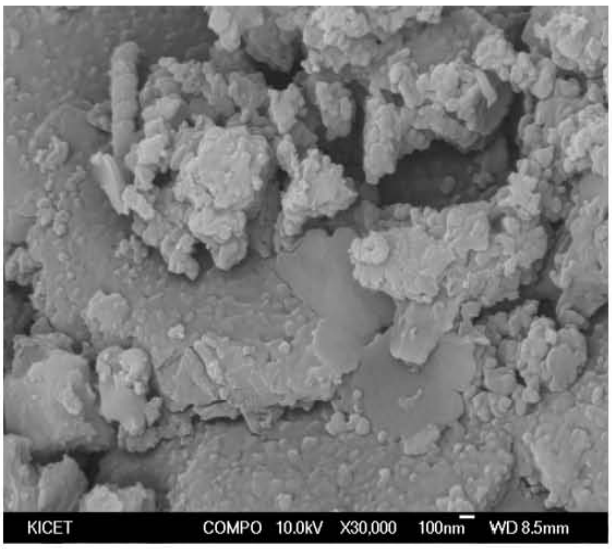
P사 산업부산물 SEM 이미지



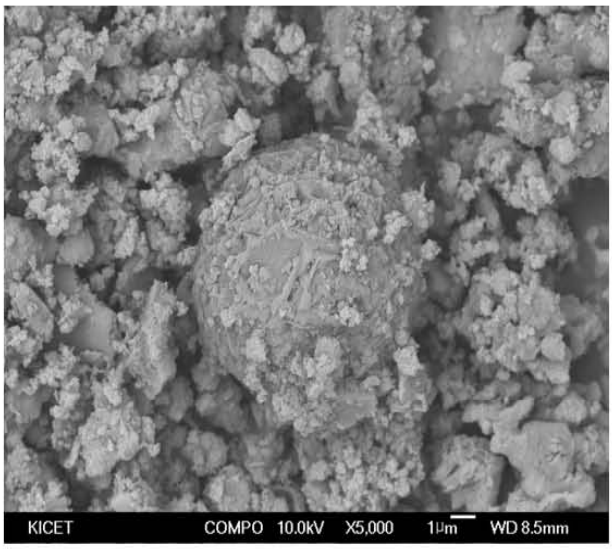
×1000



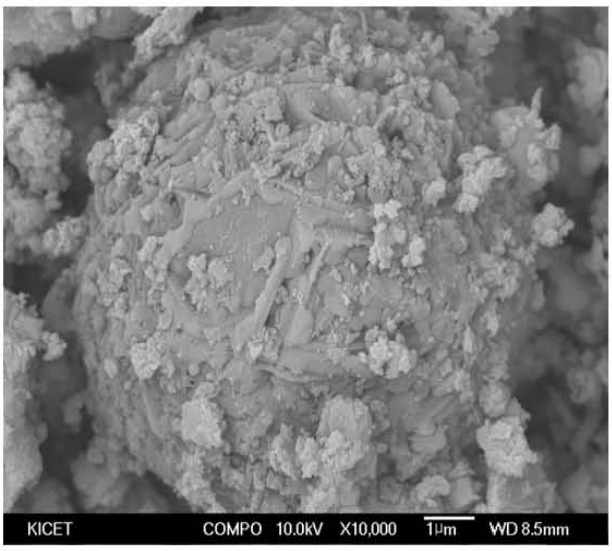
×10000



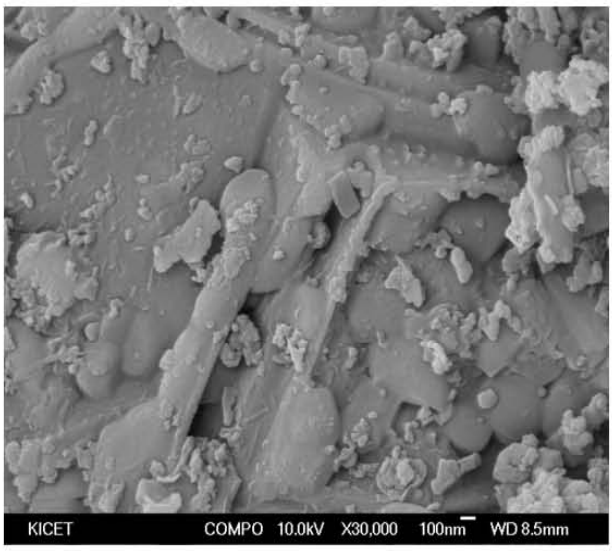
×30000



×5000



×10000



×30000

J사 산업부산물 SEM 이미지

다. 폐석회 및 소석회

폐석회(Waste Lime)는 소다공장을 비롯한 화학공장, 폐수처리장, 제철소 등에서 부산물로 발생되는 무기성 슬러지로서 pH가 약 12.0 ~ 12.2의 알칼리성 물질이며 잠재적으로 좋지 않은 영향을 주는 불순물을 함유하고 있는 등 각종 오염원의 발생가능성을 많이 내포하고 있다. 현재 폐석회는 국내에서 연간 약 20만톤 정도 발생되고 있는데 전체 폐석회의 95%(19만톤/년)가 화학공장에서 발생되고 있다. 그러나 현재 시멘트, 타일 등의 제조원료로 일부 사용되는 것을 제외하고 적당한 처리방안이 없어 거의 재활용되지 못하고 있으며 320만톤 이상의 폐석회를 자체보관(사업장내 적치)하고 있는 실정이다.

그러나 폐석회 주성분이 소석회, 탄산칼슘, 석고 및 염화물 등으로 이루어져 이들 구성성분의 특성을 적절히 활용한다면 건설재료로서의 재활용이 가능하리라 판단된다.

아래의 표와 같이 폐석회의 수분함량은 평균 48%로 전반적으로 균일하게 나타났다. 일반적으로 폐석회는 무기성 슬러지 형태로 배출되나 적치된 후 표층부가 건조되면 백색의 분말형태로 비산되어 주변환경을 오염시키는 것으로 알려져 있다. 이때 하천이나 해안을 크게 오염시키는 것 중 하나가 높은 pH인데 분석 결과 평균 12.1로 강알칼리성 물질임을 알 수 있다.

비중은 2.22로 시멘트의 3.13~3.15보다 가볍고 일반적인 소석회의 비중인 2.23~2.25와 비슷하게 나타났다. 폐석회의 구성광물의 상당량이 탄산칼슘($CaCO_3$) 형태로 존재하고 있는데 그 비중이 일반적인 탄산칼슘의 비중인 약 2.90~2.93에 비해 매우 낮게 나타난 것은 폐석회의 주요 구성성분인 탄산칼슘 외에 소석회, 염화칼슘, 염화나트륨, 석영 등 다양한 무기계 성분으로 구성되어 있기 때문이다.

폐석회의 물리적 성질

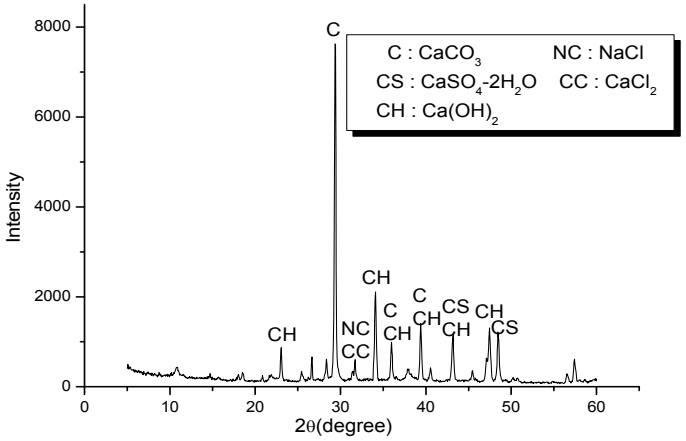
구분	1	2	3	4	5	평균
함수량(%)	48.2	48.8	47.6	49.4	47.6	48.3
pH	12.3	11.9	12.2	12.0	12.2	12.1
비중	2.23	2.21	2.24	2.22	2.21	2.22

아래의 표는 수분이 제거된 폐석회의 XRF 분석 결과로, 폐석회 중의 CaO 함량은 약 40 ~ 42%정도였으며, 그 외에 MgO, SiO_2, Al_2O_3 등이 소량 함유되어 있다. 그러나 강열감량 수치가 약 33%로 나타나 실제로는 상당량이 탄산칼슘의 형태로 존재할 것으로 판단된다. 따라서 폐석회를 고로슬래그의 알칼리 자극제로 사용하기 위해서는 소석회를 일부 첨가하거나 폐석회의 혼입량을 많게 해야 할 것으로 판단된다.

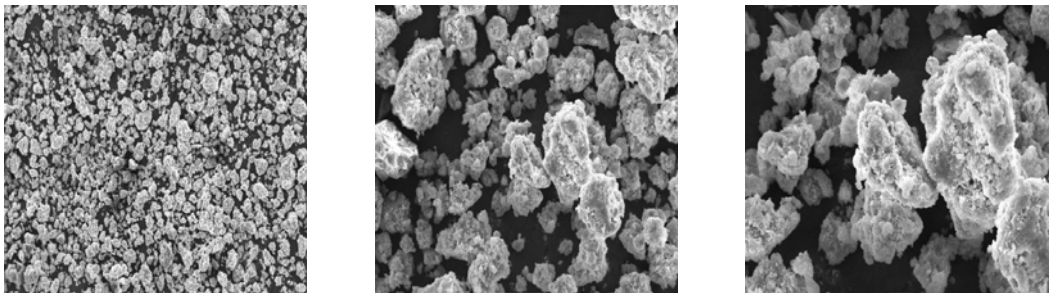
폐석회의 화학적 조성

Item / Sample	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	MgO	K_2O	Na_2O	P_2O_5	TiO_2	SO_3	LOI
1	4.88	1.56	40.59	1.55	6.35	0.10	2.13	0.03	0.05	3.81	33.12
2	4.21	1.84	41.37	1.68	6.85	0.07	3.41	0.05	0.06	3.04	33.25
3	4.88	1.62	42.12	1.35	6.89	0.11	1.89	0.02	0.02	3.12	33.17

폐석회의 X선회절 분석 분석결과 아래의 그림과 같이 $CaCO_3$의 형태로 상당량 존재함을 확인할 수 있으며 그 외에 $Ca(OH)_2$, $CaCl_2$, $CaSO_4$, NaCl 등의 피크가 나타났다. 이는 폐석회는 석회석($CaCO_3$), 소금(NaCl), 물(H_2O)을 반응시켜 소다회(Na_2CO_3)를 형성하는 과정에서 배출되는 석회 잔류물로서 배출되기 때문으로 미반응 석회석 및 염화물 등이 존재하기 때문이다. 폐석회의 입형은 매우 거칠고 부정형을 취하고 있으며 폐석회 입자들이 심한 각형으로 형성되어 시멘트 모르타르 및 콘크리트의 유동성을 저하시킬 것으로 사료된다.



폐석회의 XRD 분석 결과



× 100 × 500 × 1,000

폐석회의 입형

폐석회의 중금속량 분석결과, 아래의 표와 같이 폐석회는 높은 pH로 인하여 대부분의 중금속은 검출되지 않았고 검출되더라도 환경적으로 매우 안전한 수치를 나타내고 있다.

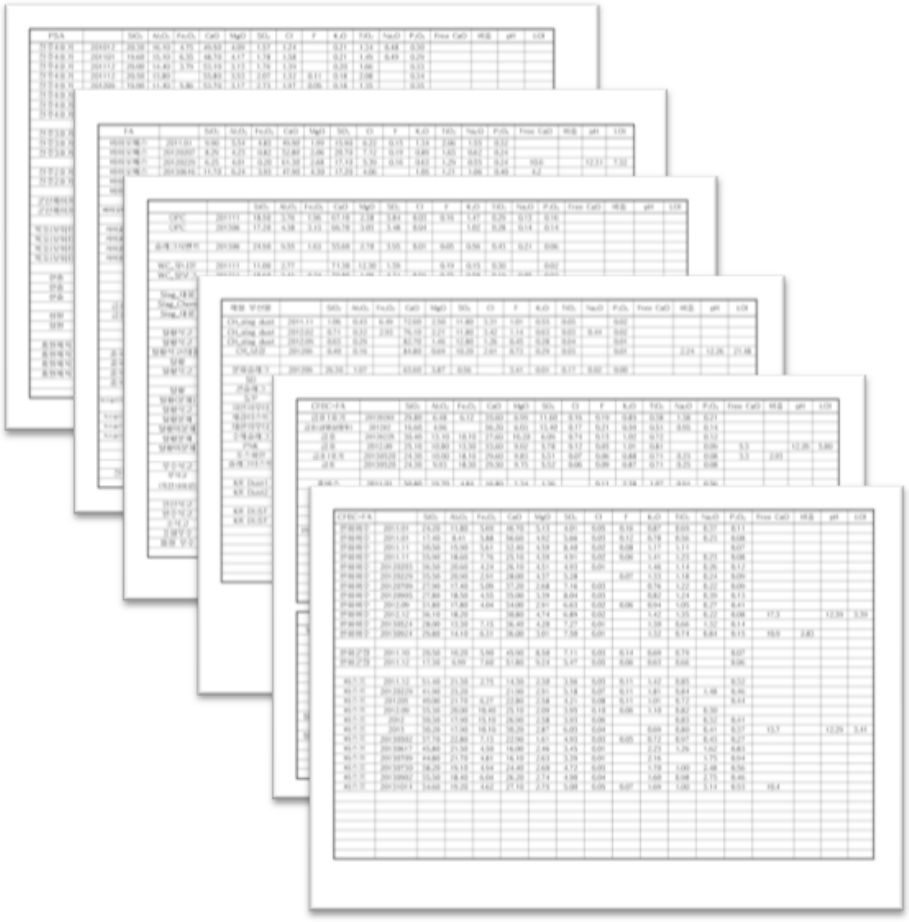
폐석회의 중금속 분석

명칭	중금속 함량 (ppm)						
	Cd	Pb	Cu	As	Co	Hg	Cr
폐석회	0.05	ND	ND	0.09	ND	ND	0.18

소석회(Slaked lime)를 자극제로 사용하는 목적은 고로슬래그의 수화반응에 필요한 강알칼리성을 부여하는데 있다. 소석회는 생석회의 수화에 의하여 생성되는 결정체로서 온도의 변화에 따라 형성되는 결정도는 서로 다른 형태를 나타낸다.

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2 + 15.6kcal\ mol^{-1}$$

소석회의 용해도는 일반적으로 온도상승에 따라 감소하는데 이는 산화칼슘이온과 수산이온이 재결합하여 결정체로 석출하기 때문이다. 따라서 온도상승이 일정한 정도를 초과하면 고로슬래그의 수화반응에 필수적인 pH가 저감하기 때문에 인위적인 첨가에 따른 자극작용은 미비하거나 발휘하지 못한다. 그러나 소석회의 용해도는 매우 작지만 높은 pH를 유지하는 특성이 있으므로 고로슬래그의 자극제로 사용할 경우에 소량 첨가하여도 수분과의 접촉에서 생성되는 산성피막을 빠른 속도로 파괴할 수 있으므로 수화반응의 가속화에 따른 초기압축강도는 훨씬 증가된다.



사용 재료 물성 data

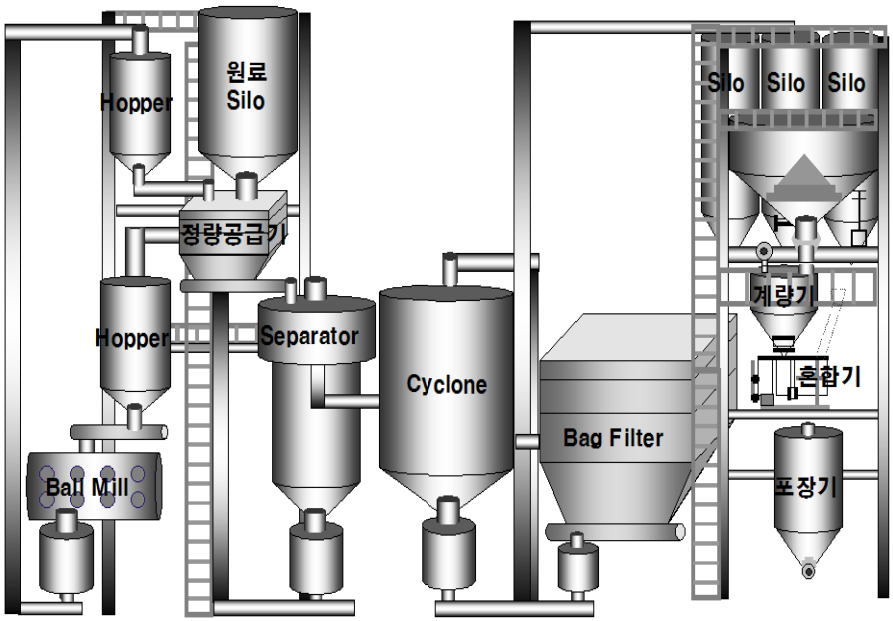
라. 분급 정제 등 전처리 방법

순환자원은 그 발생과정 상 발생처별, 사용되는 연료별 그리고 계절별로 품질이 상이하기 때문에 그 품질편차에 대한 검토와 그 활용법 그리고, 타 재료와의 혼합 안정화 및 선별분리 방법을 통한 안정화 등의 연구를 위해 원료 특성을 검토할 필요가 있다.

(1) 다중자연낙하 분급에 의한 전처리

사용 순환자원 원재료는 아래의 그림과 같이 다중자연낙하 공기흡입형 분급기를 통해 분급되어 정분은 싸이클론에 의해 회수되고, 초정분은 집진기에 의해 회수되며, 회수되지 않은 조분은 입도를 증가시키기 위하여 분쇄용 볼밀로 압송되어 진다. 볼밀에서 분쇄된 조분은 원료와 함께 다시 분급기로 공급되어 입도 분급되는 공정을 거친다.

고칼슘 소각재를 공정에 투입하여 정분과 초정분 미립화하지 않은 조분에 대한 비율분석을 실시한 결과를 아래 표에 나타내었다. 슬래그 미분말의 경우 정분은 77%로 나타났고 초정분은 20%로 나타난 반면 제지슬러지 소각재의 경우 정분 72%, 초정분 24%로 초정분의 회수율은 슬래그 미분말의 경우가 우수한 것으로 나타났다. 조분은 큰 차이가 없었다.



ZEB 제조용 무기결합재 제조공정

미세분급 물질의 회수율 분석

시료의 종류	정분	초정분	회수율
슬래그 미분말	77%	20%	3%
고칼슘 연소재	72%	24%	4%

(2) 폐석고의 분급 및 전처리

본 연구에서는 폐석고를 비중선별 및 원심분리과정에 의해 분급하여 분류하였다. 또한 $CaSO_4 \cdot 2H_2O$(이하 이수석고, Dihydrate라 함)상태에서 450℃에서 하소하여 II형 $CaSO_4$(이하 II형무수석고, Type II-Anhyrite라 함)의 형태로 전이시켰다.

아래의 표에 나타낸 바와 같이 폐석고의 주성분은 CaO 와 SO_3으로 그 함량은 CaO 가 약 30~2%정도였으며, SO_3 함량은 약 43~4%로 분급에 따라 화학성분은 크게 변하지 않음을 알 수 있었다. 또한 비중은 약 2.2~.6 이상이었으며, 폐인산석고의 pH는 2.91~.66 정도로 매우 강산성을 나타내었다.

정제된 폐석고의 종류별 중금속 함량을 측정한 결과로 분급된 폐석고의 중금속 함량이 Cd는 1ppm 이하, Pb은 4ppm 이하, Cr은 0.8ppm 정도로 중금속 함량이 분급 전(원광물, PG1)에 비해 확연하게 낮아짐을 확인할 수 있었으며, 더욱이 우려되었던 As, Hg가 불검출이 된 것으로 보아 건식분급만으로도 경제적인 폐인산석고의 대량 정제 처리가 가능할 것으로 판단된다.

폐석고의 분급에 의한 화학적 구성성분 및 물리적 특성

명칭	산화물 조성비 (%)							비중	pH
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Ig. Loss		
PG1	1.53	0.08	0.08	32.50	0.01	44.19	21.12	2.25	2.91
PG2	1.52	0.23	0.05	31.51	-	43.12	21.29	2.63	3.26
PG3	1.72	0.20	0.12	32.63	-	43.33	21.22	2.22	2.93
PG4	1.72	0.15	0.05	32.50	0.01	43.69	21.16	2.34	3.09
PG5	1.17	0.15	0.04	29.61	0.03	43.28	21.17	2.31	3.66

폐석고의 중금속 함량

명칭	중금속 함량 (ppm)						
	Cd	Pb	Cu	As	Co	Hg	Cr
PG1	3.02	5.24	2.62	2.94	ND	ND	2.62
PG2	0.30	2.80	2.30	ND	ND	ND	0.75
PG3	1.00	4.10	1.30	ND	ND	ND	0.80
PG4	ND	1.70	0.63	ND	ND	ND	0.78
PG5	0.20	1.70	0.73	ND	ND	ND	0.75

ZEB는 고로슬래그 및 고칼슘플라이애시 등의 비결정질 물질을 주재료로 한다. 고로슬래그 및 고칼슘플라이애시 등은 시멘트와 달리 자체적으로 물과 수화되지 않지만, 수산화물 또는 황산염과 같은 자극제의 첨가에 의한 수화반응 유도의 경화특성을 갖고 있으며, 이러한 수화특성은 비결정질 입자의 불규칙적 3차원 쇄상결합이 절단되면서 망상 구조체 내부에 함유된 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} 등의 이온들이 용출되어 시멘트와 같은 경화특성을 지니게 된다.

이러한 특성을 이용하여 무기계 순환자원인 고로슬래그 및 고칼슘플라이애시 등 환경적으로 안정성이 입증된 재료들을 활용하여 ZEB 무기결합재를 제조하게 된다.

2. ZEB 최적 배합도출 및 물성 평가

가. 사용순환재료의 성능 평가

(1) 황산염 자극제의 평가

본 연구에서는 ZEB를 제조하기 위한 예비실험으로 슬래그의 황산염 자극제로 폐석고 및 태양광 폴리실리콘의 사용성을 평가하고자 하였다.

본 실험의 배합은 KS L ISO 675 기준에 의하여 물 바인더비 50%, 바인더 골재비를 1:3으로 하였으며 그 자세한 배합은 아래의 표와 같다. 배합을 통한 공시체 제작 후 3일간 밀봉양생을 실시한 후 각 재령까지 수중 양생을 실시하였다.

황산염 자극제 적용 실험의 배합 1

	OPC	Slag	황산염 자극제
1	100	0	0
2	50	45	5
3	50	47	3
4	50	46	2

황산염 자극제 적용 실험의 배합 2

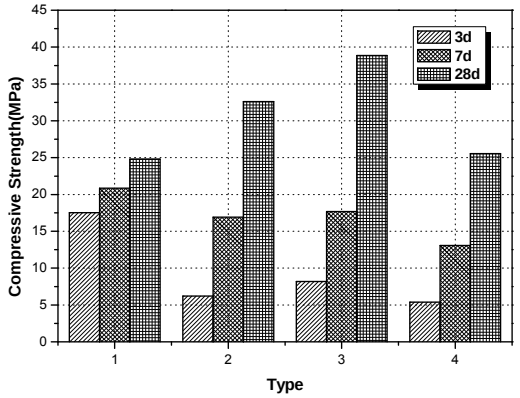
	OPC	Slag	SAS
1	100	0	0
2	95	0	5
3	65	30	5
4	65	25	10

황산염 자극제 적용 실험의 배합 3

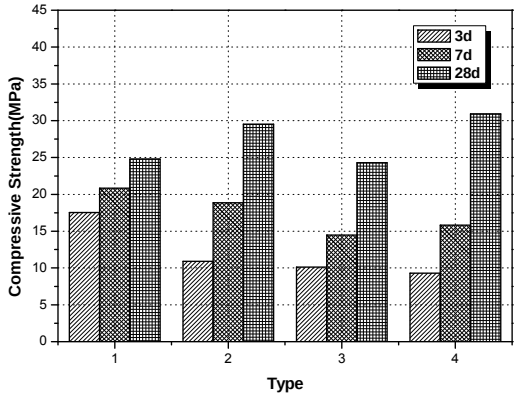
	OPC	Slag	SAF
1	100	0	0
2	95	0	5
3	65	30	5
4	65	25	10

실험 결과 황산염 자극제로 폐석고와 태양광 폴리실리콘 부산물인 SAS를 동일한 배합으로 혼입한 경우 그 압축강도 발현 특성은 거의 동일하여 SAS를 ZEB의 황산염 자극제로의 사용이 가능함을 확인할 수 있었다. SAS를 혼입한 결과 폐석고를 혼입한 경우에 비해 초기강도는 작은 값을 보였으나, 장기강도에서는 높은 값을 나타내었으며 혼입량이 클수록 초기강도의 발현이 좋으나 장기강도는 떨어지는 것을 알 수 있었다. 이는 슬래그와 반응하는 최적 SO_4^{2-} 이온의 양 때문인 것으로 판단된다.

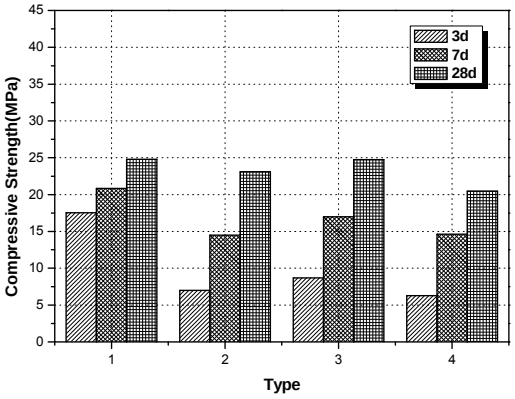
SAF의 황산염 자극제로서의 활용성을 평가하기 위한 예비실험 결과, 1일 재령에서 SAF를 혼입한 경화체의 응결이 일어나지 않아 탈형이 불가능하였으며, 3일 강도 또한 작은 값을 나타내었다. 슬래그에 대한 반응성을 검토한 결과 28일 강도는 SAS와 비슷한 성향을 나타내었으나, SAF 중에 포함된 불소(F) 성분에 의한 응결지연 현상이 두드러져 슬래그 활성화 황산염 자극제로의 사용은 불가능한 것으로 판단되었다.



폐석고 적용 결과



SAS 적용 결과



SAF 적용 실험 결과

(2) 알칼리 자극제의 사용성 평가

문헌 고찰 결과 고로슬래그와 폐석회, 폐석고 만으로도 소성과정이 필요 없이 무기결합재의 제조가 가능함을 확인할 수 있었으며, 더욱이 고로슬래그는 장기적으로 자체 질량의 약 10%에 해당하는 수산화칼슘과 결합할 수 있으며, 클링커의 수화반응에서 생성되는 수산화칼슘 [$(Ca(OH)_2$]이 25~27% 정도인 것을 감안하면 고로슬래그를 완전히 활성화시키는데 필요한 알칼리 자극제의 비율을 예측할 수 있었다.

순환유동층 보일러 플라이애시의 시멘트 혼화재료 및 슬래그 자극제로의 활용성을 평가하기 위한 기초 실험을 실시하였다. 그 배합은 아래의 표와 같다.

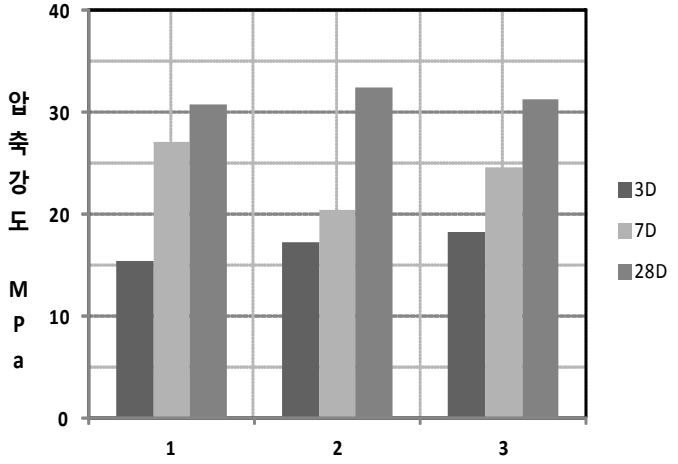
순환유동층 보일러 플라이애시 적용 실험의 배합

	OPC	Slag	순환유동층 플라이애시 1	순환유동층 플라이애시 1
1	80		10	10
2	90		5	5
3	20	70	5	5

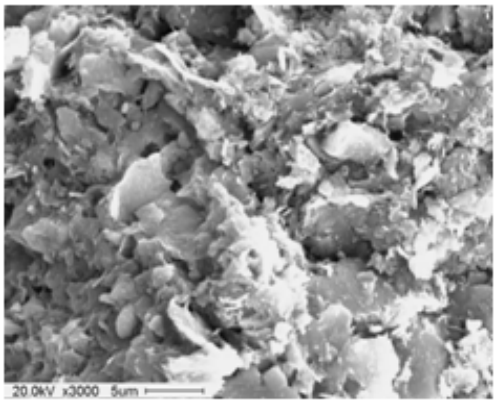
시멘트에 순환유동층 보일러 플라이애시 각각 20%, 10%를 적용한 결과 우려했던 free CaO 성분에 의한 팽창파괴는 일어나지 않았으며, 전재령에서 보통포틀랜드 시멘트와 비슷한 경향의 압축강도를 나타내어 시멘트 혼화재 및 슬래그의 알칼리 자극제로의 활용성을 확인할 수 있었으나, 각 결합재의 pH가 각각 12.7, 12.8, 12.9로 강알칼리성이 확인되어 에코콘크리트 등 친환경 콘크리트의 바인더로 사용할 경우 순환유동층 보일러 플라이애시의 단독 혼입은 배제되어야 할 것으로 판단되었다.

또한 순환유동층 보일러 플라이애시의 슬래그 자극제로서 최적 혼입율을 산정하기 위해 슬래그 중량에 대해 각각 10, 20, 30%를 혼입한 경우 혼입률이 증가할수록 초기 및 장기재령에서 압축강도가 감소하는 현상을 나타냈으며 30% 이상 혼입한 경우 3일 강도가 8.1MPa로 측정되어 슬래그에 대한 순환유동층 보일러 플라이애시의 적정 혼입률은 20%이하인 것을 확인할 수 있었다.

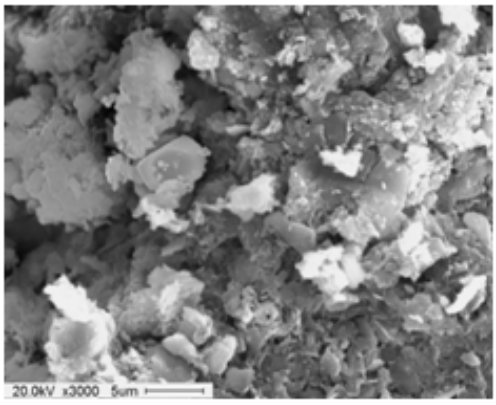
또한 35일 재령의 경화체의 SEM 분석을 통한 수화생성물 관찰 결과 순환유동층 보일러 플라이애시를 혼입한 경화체에서도 보통 포틀랜드 시멘트 같이 수화반응에 의한 수화생성물이 존재함을 확인할 수 있었다.



순환유동층 보일러 플라이애시 적용

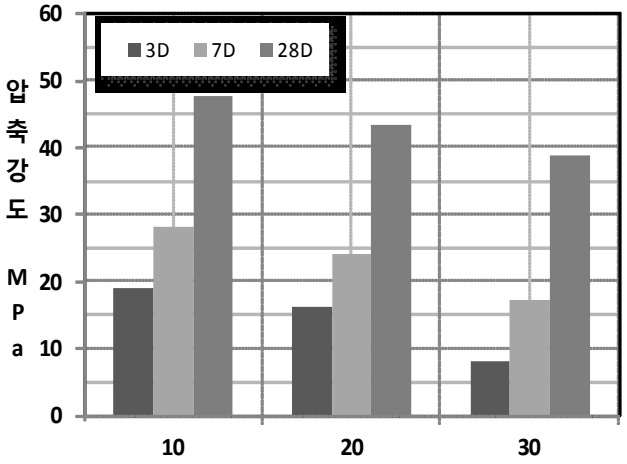


Type 1



Type 2

순환유동층 보일러 플라이애시를 혼입한 공시체의 수화생성물



순환유동층 보일러 플라이애시 적용 2

나. ZEB의 최적 배합 도출

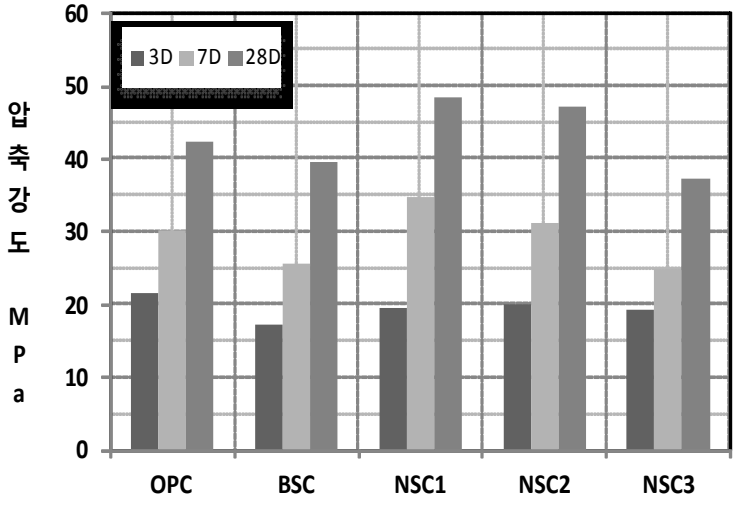
(1) 고로슬래그 폐석회, 폐석고를 적용한 무기결합재 압축강도

선행 연구결과와 같이 고로슬래그의 자극제로 폐석회와 폐석고만을 활용한 ZEB의 압축강도를 KS L ISO 675 기준에 의하여 측정하였다. 실험결과 3일 강도가 19~20MPa 정도로 고로슬래그 시멘트 이상 보통 포틀랜드 시멘트 이하이었으며, 장기강도는 폐석회의 혼입률이 가장 높은 NSC3를 제외하고 모두 45MPa 이상의 값을 기록하였다.

응결시간 측정 결과 NSC의 초결은 4:30~4:50 정도로 OPC, BSC에 비해 느렸으며, 종결은 폐석회의 혼입률이 클수록 빨라졌으나 9:00 ± 10 정도였다.

폐석회, 폐석고 적용 실험의 배합

	OPC	Slag	폐인산석고 (무수석고)	폐석회
OPC	100			
BSC	50	50		
NSC1		86	12	2
NSC2		84	12	4
NSC3		80	12	8



고로슬래그 폐석회, 폐석고를 적용한 무기결합재 압축강도

(2) 순환유동층 보일러 플라이애시를 활용한 알칼리 자극제의 혼입

상기 실험 결과 알칼리 자극제로 순환유동층 보일러 플라이애시를 단독 혼입할 경우 결합재의 pH가 12.5 이상으로 강알칼리성을 나타내며, 혼입량이 클수록 압축강도가 작아지는 경향을 나타내어, 초기 반응 촉진을 위한 순환유동층 보일러 플라이애시의 혼입량은 슬래그 중량에 대해 5~15%가 적정할 것으로 판단되었다.

따라서 본 실험에서는 고로슬래그의 알칼리 자극제로 순환유동층 보일러 플라이애시와 폐석회 및 기타 알칼리 계열의 자극제를 혼합한 바인더를 사용하였으며, 황산염 자극제로는 폐석고를 혼입하여 그 최적 배합비 및 순환유동층 보일러 플라이애시의 최적 혼합비를 평가하였다.

실험 배합 및 인자

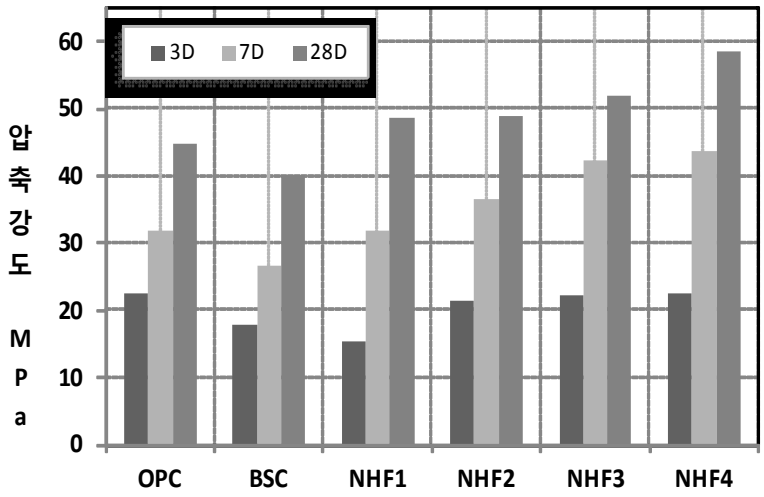
명칭	무기 결합재(%)			모래	물
	고로슬래그	알칼리 자극제	폐석고		
NHF1 시리즈	80	10	10	300	50
NHF2 시리즈	85	15	10		
NHF3 시리즈	70	20	10		
NHF4 시리즈	65	25	10		

실험결과, 시리즈 모두에서 순환유동층 보일러 플라이애시의 혼입률이 5% 이하일 때 압축강도 발현 특성이 우수한 것으로 나타났으며, 알칼리 자극제의 혼입률이 20~25%인 NHF3 및 NHF4에서 가장 높은 압축강도 값을 나타내었다.

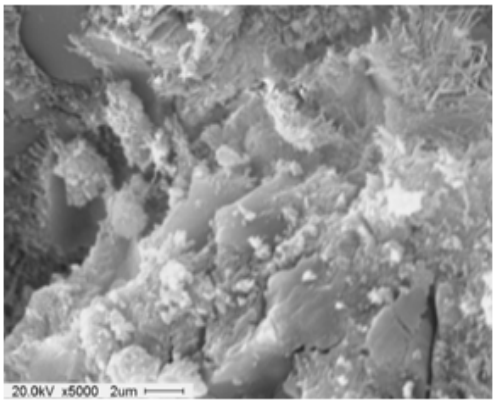
알칼리 자극제의 혼입률이 10%인 NHF1 시리즈의 경우 3일강도가 15.5MPa로 17.8MPa을 발현한 고로슬래그 시멘트에 비해 작게 나타났으나 지속적인 압축강도의 증진으로 7일 재령에서 고로슬래그 시멘트 이상 및 보통 포틀랜드 시멘트와 동등한 압축강도를 발현하였으며, 28일 강도에서는 48.6MPa로 OPC 및 BSC 보다 큰 압축강도 값을 나타내었다.

NHF1~4 모든 경우의 28일 강도는 OPC 및 BSC 보다 우수하였으며, 알칼리 자극제의 혼입률이 20~25%인 NHF3 및 NHF4는 OPC와 동등한 압축강도 값을 발현하였다. 이는 열병합 발전소 플라이애시의 중화열 발생에 의한 수화촉진 효과 때문인 것으로 판단되며, ZEB 무기결합재의 수화반응 순서에 의해 초기강도 및 장기강도의 발현에 영향을 미치는 특정 이온이나 생성물, pH 등의 요인이 작용했을 것으로 사료되었다.

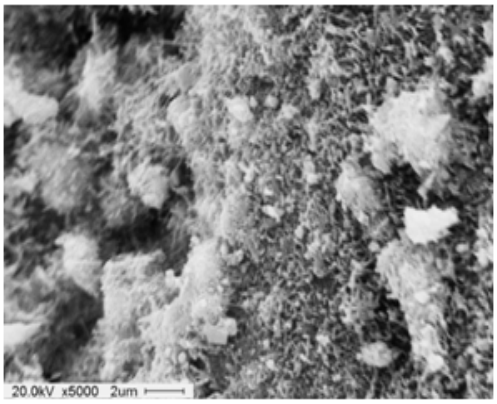
또한 28일 재령의 압축강도를 측정한 공시체를 대상으로 수화생성물을 관찰한 결과 아스펙트비(aspect ratio)가 작고 시멘트 메트릭스의 공극을 충전하도록 생성된 고강도화에 의한 에트링가이트가 생성되어 있음을 확인할 수 있었다.



알칼리 자극제 종류에 따른 압축강도



NHF2 28일 재령 SEM 관찰



NHF3 28일 재령 SEM 관찰

(3) 탈황석고 및 SAS를 적용한 비소성 무기결합재

알칼리 및 황산염 복합자극제로 탈황석고를 황산염 자극제로 SAS 및 폐인산석고를 적용한 무기결합재의 최적 배합을 도출하였다.

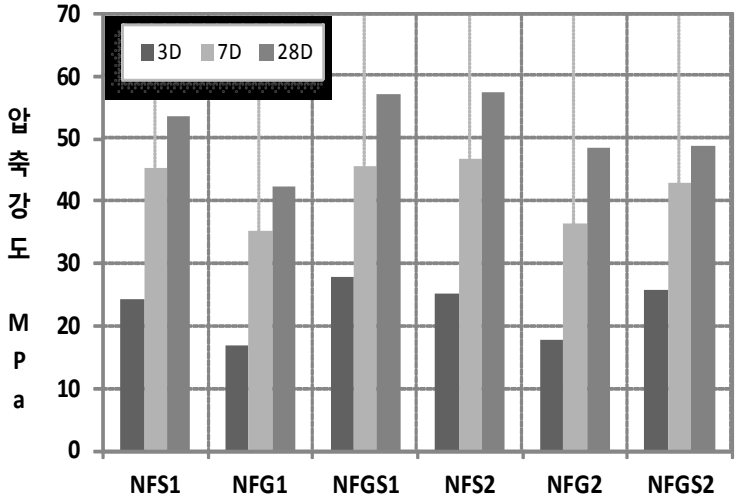
실험 배합 및 인자

명칭	무기 결합재(%)				모래	물
	고로슬래그	알칼리 자극제	황산염자극제	탈황석고		
NFS1 시리즈	70	20	10		300	50
NFG1 시리즈	70	20		10		
NFGS1 시리즈	70	20	6	4		
NFS2 시리즈	65	25	10			
NFG2 시리즈	65	25		10		
NFGS2 시리즈	65	25	6	4		

황산염 자극제의 종류에 따른 압축강도 측정 결과 탈황석고 만을 혼입한 NFG 시리즈의 압축강도가 제일 작았으며, 3일 강도 또한 각각 16.8, 17.8MPa로 황산염 자극제로 폐석고, SAS, 그리고 탈황석고를 단독 또는 복합적으로 사용한 경우 중 초기강도 발현이 가장 낮았다. 이는 일반적으로 황산염 자극제를 혼입할 경우, SO_4^{2-}이온에 의해 고로슬래그 중의 Al_2O_3 활성 성분에 흡착되어 ettringite의 생성과 함께 공극 중에 석출되므로 초기 수화반응은 가속화 되지만 황산염 자극제의 혼입량이 적으면 고로슬래그에 함유되어 있는 CaO 및 Al_2O_3 성분이 완전히 ettringite로 전환되지 못하고, 강도발현이 ettringite보다 훨씬 작은 monosulfate가 생성되기 때문으로 즉, 슬래그 활성화 시멘트의 초기 압축강도에 가장 큰 영향을 미치는 SO_4^{2-}이온의 양이 적었기 때문으로 판단된다. 28일 재령의 수화생성물 관찰결과 NHF시리즈와 같이 고강도화 에트링가이트 생성을 확인할 수 있었다.

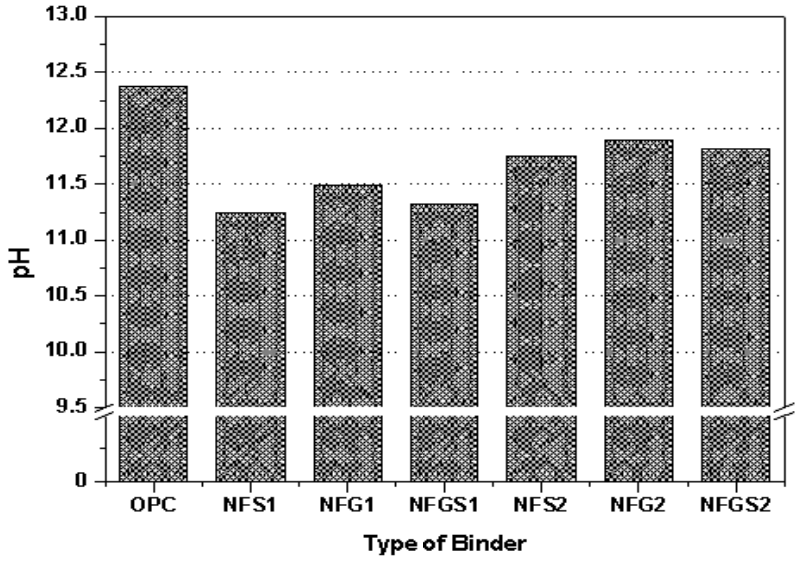
황산염 자극제와 탈황석고를 복합적으로 사용한 NFGS 시리즈의 경우 25MPa 이상의 높은 초기강도와 꾸준한 강도의 증진으로 인해 비소성 무기결합재의 최적 배합으로 적정해 보였으나, 알칼리 자극제의 비율이 25%인 NFGS2의 경우 탈황석고의 혼입에 의한 알칼리 성분의 증가로 인해 장기강도의 발현이 좋지 못하였다.

황산염 자극제로 폐인산석고와 SAS를 혼입한 경우, 폐석고만을 혼입한 NHF 시리즈에 비해 초기 및 장기강도 발현성이 우수하여, 황산염 자극제로는 폐석고 단독 혼입보다는 폐석고, SAS 및 탈황석고를 복합적으로 사용하는 것이 압축강도 발현 면에서는 유리할 것으로 판단되었다.

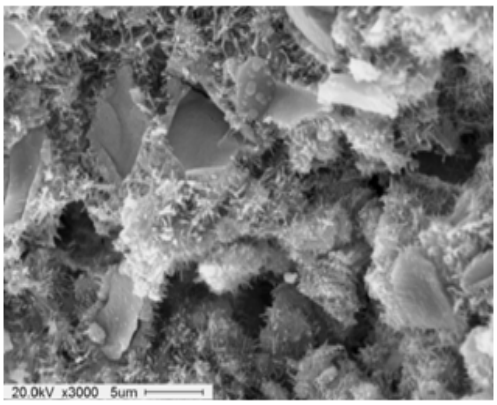


황산염 자극제 및 탈황 석고 혼입에 따른 압축강도

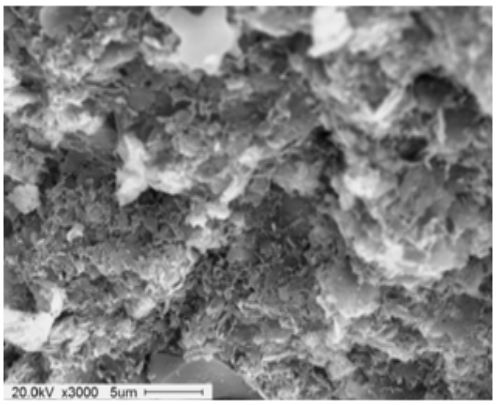
3일 재령 압축강도 측정 후 시편을 대상으로 pH를 측정한 결과는 아래의 그래프와 같았다. ZEB의 pH는 알칼리 자극제의 첨가량이 가장 적은 NFS1이 11.24로 가장 낮게 측정되었으며, 탈황석고를 포함한 알카리 자극제의 혼입량이 늘어날수록 pH 측정치가 높아짐(NFG2 11.89)을 확인하였다. 이는 12.37을 기록한 OPC에 비해 낮은 측정치로 생태 콘크리트 2차 제품 및 지반용 건설재료로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 활용 시 주변 토양의 알칼리화 및 중금속 용출 등의 문제가 없는 친환경 재료가 될 것으로 사료된다.



ZEB의 pH(3일 재령)



NFG1 28일 SEM 관찰



NFGS1 28일 SEM 관찰

나. ZEB의 양생조건 도출

콘크리트 2차 제품에 가장 널리 사용되는 촉진양생법은 증기양생이다. 증기양생은 ①양생 대기시간(Preset period), ②상승단계(Heating), ③최고온도 유지(Maintenance), ④하강단계(Cooling), ⑤후치양생(Postpose)의 5단계로 이루어지는데, 이는 고온증기를 주입하여 콘크리트의 양생을 촉진시켜 초기에 압축 강도를 향상시키는 양생방법이다.

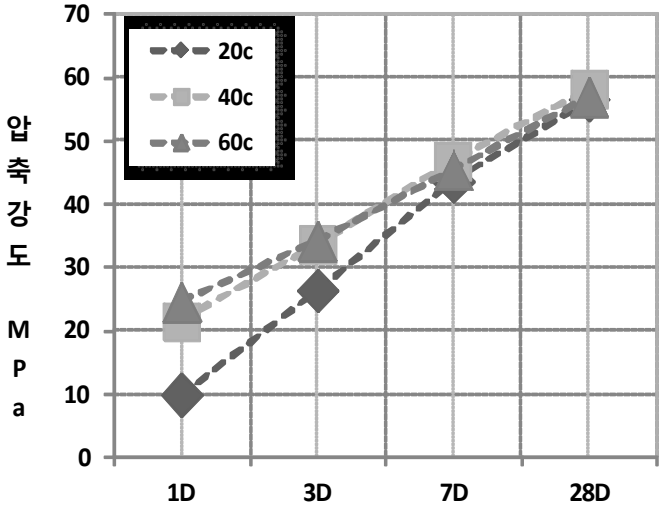
증기양생에 의한 촉진양생을 실시할 때의 최고온도는 60~65℃ 이하로 정해져 있다. 그러나 물-시멘트비가 낮을 경우에는 가압한 상태에서 촉진양생을 하면 온도가 상승하여도 큰 영향이 없다. 즉, 최고온도를 높이면 촉진양생 완료 후 단시간 강도는 온도에 따라 증가되지만, 그 이후 시간에 따른 강도 증진율은 적어진다.

최고온도를 유지하는 시간이 길수록 수화반응의 성숙도가 증대되어 콘크리트 강도가 높아지지만, 실제의 제품을 제조하는 경우에는 경제성 및 생산성 등을 고려하여 규제하여야 한다.

본 실험에서는 증기양생을 통한 무기결합재의 강도 발현 특성을 검토하였다.

(1) ZEB의 최적 양생 조건 도출

ZEB를 사용한 콘크리트 2차 제품 제작 시 초기 강도 확보(탈형강도 확보)는 제작기간 및 비용을 줄이기 위한 필수 요소이므로, 초기강도의 확보와 동시에 장기강도를 확보할 수 있는 2차 제품용 양생조건을 설계하기 위해, 동일한 배합비로 제작한 모르타르 공시체를 상이한 온도조건에서 1일간 습윤양생한 후에 표준양생을 실시하여 압축강도 및 pH를 측정하였다.



상압 증기양생 온도에 따른 압축강도

최고 온도를 달리한 상압증기 양생 결과 모두 1일에서 20MPa 이상의 압축강도를 나타냈으며, 온도 40℃ 및 60℃에서 양생한 공시체는 상온양생에 비하여 압축강도가 초기 재령에서는 큰 폭으로 증진되나 재령이 지남에 따라 그 증진 폭이 서서히 감소되어 28일 재령에서는 비슷한 압축강도 값을 나타내 증기양생에 의한 강도 증진 효과는 거의 없는 것으로 판단되었다. 또한 장기재령에서는 60℃에서 보다 40℃에서 양생한 결합재의 압축강도가 크게 나타났다. 이는 고로슬래그의 수화반응은 온도변화에 민감하기 때문에 온도상승에 따라 내부구조 내의 각종 이온들의 이동이 가속화되면서 수화반응은 빠르게 진행되나 온도상승이 일정한 범위를 초과하면 각종 자극제의 용해도가 감소함에 따라 자극작용 또한 감소하고, 온도상승에 따른 수화생성물의 급격한 생성으로 여분의 수화물이 입자표면에 두터운 수화물 피막을 형성하여 물의 침투와 내부수화물의 용출을 억제하거나 혹은 수화생성물의 확산이 균일하지 않기 때문으로 사료된다.

증기양생을 실시한 공시체의 7일 재령의 압축강도를 측정한 공시체를 대상으로 pH를 측정한 결과 pH 값이 10.6~10.9를 기록하여 증기양생과 재령의 경과에 의해 pH가 감소하여 보다 친환경적인 무기결합재의 제조가 가능할 것으로 예측되었다.

다. ZEB의 환경안정성 평가

(1) ZEB의 중금속 용출 특성

환경정책 기본법 시행령 제2조의 수질환경 기준에서는 국내 해역에서의 유해물질에 대한 환경기준을 제시하고 있으며, 해양오염방지법 시행규칙 제35조 제2항에서는 해양에 배출되는 폐기물에 대해서는 해양배출 처리기준에 적합한 경우에 한하고 이에 대한 고상 및 액상 폐기물에서 용출되는 유해물질의 용출량을 제한하고 있다. 그리고 폐기물 관리법과 시행령(법률 제8613호, 대통령령 제20290호)에서는 폐기물의 유해물질 함유량 기준을 규정하고 있다.

무기결합재의 환경안정성 시험, 즉 유해물질 용출량 측정은 제작 후 28일 재령의 압축강도

측정 후 파괴된 공시체의 시험편을 대상으로 환경부의 폐기물공정시험방법에 준하여 시험을 실시하였다.

시험방법은 시료의 입경을 0.5~5㎜로 분쇄하여 pH 5.8~6.3인 용매와 1 : 10의 비율로 혼합한 후 상온상압 하에서 진폭이 4~5㎝인 교반기를 사용하여 200회/분으로 6시간 연속 교반한 후 여과하여 그 여액 중의 Cr^{6+}, As, Cd 그리고 Pb 등의 함량을 ICP 및 AA기기 등을 이용하여 분석함으로써 각각 중금속량의 허용기준치와 비교하여 그 안정성을 평가하는 것이다.

국내 유해물질 함유량 기준

구분	항목								(단위 : ㎎/ℓ)	
	Cr^{6+}	As	Cd	Pb	Cu	CN	Hg	TCE	PCE	etc.
폐기물공정시험방법	1.5	1.5	0.3	3	3	1	0.005	0.1	0.3	Solid Wastes

ZEB 공시체의 폐기물 공정법에 의한 유해물질의 용출량 시험결과 수은(Hg)을 포함한 총 7개의 중금속 성분을 비롯하여 발암성의 유해 염소화합물인 삼염화에틸렌(TCE, Trichloroethylene) 및 사염화에틸렌(PCE, Tetrachloroethylene) 등 모든 유해물질 성분이 용출되지 않는 것으로 나타났다. 따라서 OPC대신에 ZEB를 활용할 경우 OPC에서 문제시 되었던 6가 크롬의 경우도 용출되지 않아 보다 친환경적인 무기결합재의 제조가 가능 할 것으로 판단되었다.

개발 무기결합재의 중금속 용출 결과

구분	시험항목 (단위 : ㎎/ℓ)								
	Cr^{6+}	As	Cd	Pb	Cu	CN	Hg	TCE	PCE
NSB1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NSB2	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NSB3	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
NSB4	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

(2) ZEB의 어독성 평가

(가) 실험 방법 및 기준

KS I 3217의 '70 어류에 의한 급성 독시험' 시험법에 근거하여 어독성 평가 수조를 제작하고, 시험법 중 사용 수조의 오염도 측정을 제외하고 공시어의 폐사를 관찰하는 간이 실험을 실시하였다.

KS 규준의 어독성 시험 방법을 아래 표에 정리하였다.

어류에 의한 급성 독시험 방법

a) 기구 및 장치

1) 시험 수조 깨끗한 유리제 또는 스테인리스 강제 수조. 용량 약 30L(같은 모양인 것.)

2) 항온 설비 항온실 또는 항온 수조. 12℃에서 18℃ 또는 20℃에서 28℃의 지정 온도를 ±2℃로 유지하는 것.

3) 순응 수조 공시어를 사육해 두기 위해서 필요한 부피를 가지고(100L에서 200L 정도인 것 몇 개) 필요에 따라서 온도 조절 및 공기 송풍이 가능한 것을 준비

b) 공시어 공시어종은 다음의 기본 조건을 고려하여 결정한다. 수온, 먹이, 취급 등 시험실 내의 사육 관리 조건에 적합한 것 및 크기가 고르고 건강하며 한번에 다수 채집할 수 있는 것으로서 연어과(옥새송어, 송어, 연어 등), 잉어과(잉어, 붕어, 납자루, 피라미 등), 송사리과(송사리, 뽀돌치 등) 등을 들 수 있다.

또한 시험 전에 공시어의 종류를 정확히 조사하여야 한다. 공시어를 준비하려고 할 때 주의해야할 것은 1) 동시에 사용되는 물고기의 몸 크기가 거의 일정한 것을 사용하고 가장 큰 것의 길이가 가장 작은 것의 1.5배 이상이 되지 않을 것. 2) 되도록 전체의 길이가 평균 50㎜ 이하의 작은 물고기를 사용할 것(공시어가 특히 클 경우에는 그에 따라서 커다란 시험 수조를 사용할 필요가 있다). 3) 같은 시험에 사용하는 물고기는 같은 조건에서 얻은 것을 사용한다. 즉 같은 수역 또는 같은 양어장에서 같은 시기에 채취한 것을 사용한다. 얻어진 공시어는 먼저 적당한 연못 또는 시험할 때는 적어도 1주간(가능하면 10일 또는 그 이상) 순응 수조에서 사육하고 시험할 때의 수온 및 수질(희석수와 동일 수질)에 맞게 할 필요가 있다. 순응시키는 기간 중에는 되도록 하루에 한 번 먹이를 주고 시험 이틀 전부터 먹이를 주지 않는다. 시험할 때 물고기를 건강한 조건에서 사용하도록 하고 시험 전의 4일간에 있어서 폐사하거나 발병하는 물고기가 10 % 이하의 상태가 아니면 사용해서는 안 된다.

이 시험에서는 질병 또는 겉보기나 행동에 이상이 있는 물고기는 사용하지 않도록 주의한다.

c) 폐수 및 희석수 준비 방류되는 폐수의 수질이 일정하지 않을 때에는 시간을 바꿔서 물을 채취하고, 가장 독성이 강한 폐수에 대해서 시험 결과를 구한다.

희석수로서 특정 수역의 물을 고려하지 않을 경우에는 특히 이상한 성분을 함유하지 않은 pH 7 전후의 단물을 사용하면 된다. 희석수는 폭기를 잘해서 산소를 충분히 용해시켜 둘 필요가 있다.

d) 시험 조건의 결정

1) 시험할 때의 수온은 온수어는 20℃에서 28℃, 냉수어는 12℃에서 18℃ 범위의 일정한 온도로 한다. 시험 중에 수온의 변화가 생기지 않도록 주의하고, 그 최고와 최저 온도차는 4℃이하에 머물도록 한다.

2) 시험 수조 속의 수량은 공시어 몸의 무게에 따라서 결정한다. 각 농도에 대해서 동시에 시험하는 어체의 수는 적어도 10마리 이상으로 한다. 다만 시험할 때 필요하다면 같은 농도의 몇 가지 수조에 같은 마리씩 나누어 시험해도 된다(각 시험을 하는 것이나 어체수를 늘림으로써 시험 정밀도는 올라간다). 물고기 몸의 무게는 물 1L에 대해서 2g 이하로 하고, 가능하면 1L에 1g 이하로 하는 것이 좋다.

e) 조작

1) 먼저 5~10단계의 희석수를 만들어 유리 수조에 넣는다. 폐수를 희석할 때에는 균일하게 혼합하기 위해 현탁물이 있으면 그것도 고르게 섞어야 한다. 그러나 필요 이상으로 공기와 섞지 않는 편이 좋다.

2) 희석 폐수의 준비가 끝나면 가급적 빠르게(30분 이내에) 공시어를 수조 속에 넣는다 (공시어를 수조에 넣을 때까지의 시간은 기록해 둔다) 공시어를 옮길 때는 어체가 다치지 않도록 부드러운 조리 같은 것을 사용해서 떠낸다. 물고기를 마른 것의 표면에 놓거나 또는 필요 이상으로 오랫동안 외기에 노출시키지 않도록 한다. 옮길 때에 솜씨가 표면에 놓거나 또는 필요 이상으로 오랫동안 외기에 노출시키지 않도록 한다. 옮길 때에 솜씨가 서툴게 다루어진 것은 공시어에서 빼낸다.

3) 시험 시작 후 4시간 및 8시간 후의 공시어의 상태를 보아 두는 것은 결과를 검토할 때 필요하다. 즉 공시어가 독물의 영향 때문에 옆으로 구르거나 이상한 동작을 보이거나 하는 사항을 기록해 둔다.

공시어의 폐사를 확인하려면 유리 막대기로 가볍게 건드려 어체가 반응을 나타나지 않을 때에 폐사한 것으로 인정한다.

4) 폐사한 공시어는 되도록 빨리 수조에서 꺼낸다.

5) 시험 결과로서 24시간, 48시간(또는 96시간)의 죽은 어체수를 기록한다.

6) 동시에 하는 시험마다 희석수만을 사용한 대조 시험을 병행해서 한다. 이 대조 시험에서 10%가 넘는 폐사어 또는 불건전어가 있을 때에는 그 시험 결과를 사용해서는 안 된다.

7) 시험 도중에 분석하기 위해 채수할 때에는 가급적 소량을 채취하고, 미리 준비한 같은 희석 농도의 폐수를 보충해 둔다. 폐수에 관한 분석은 용존산소, pH, 기타 주요 독 성분에 대해서 한다. 또한 용존산소의 측정은 되도록 자주한다.

f) 시험 결과의 기록 시험 결과에는 다음의 사항을 기록한다.

1) 각 농도에 있어 물고기의 수와 사망률

2) 공시어의 종류, 입수 경로, 평균 몸길이, 평균 몸무게, 시험수 온도

3) 희석 시료의 교환, 기타 관리 방법

4) 시험 수조의 수량, 수심, 시험에 사용된 각 수조 중의 공시어체와 무게, 공시어를 넣은 시간, 4시간 및 8시간 후 또는 기타 시간에 관찰된 공시어의 상태

(나) 실험 결과

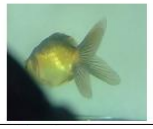
ZEB의 상온에서의 최적 배합(NSB1)과 증기양생용 최적 배합(NSB2)를 선정하여 보통 포틀랜드 시멘트와 그 어독성을 비교 평가한 결과 아래 그림과 같은 현상을 관찰할 수 있었다.

개체를 투입한 지 36시간까지 OPC와 NSB1은 지느러미 부분에 흰색 반점이 생기고, 움직임이 둔해지는 등 비슷한 경향을 나타내었으나, NSB2의 개체는 변화가 없었다.

48시간이 경과한 후 OPC와 NSB1와 개체가 죽기 시작하여 OPC는 120시간 경과 후 무든 개체가 죽어 실험이 종료 되었으며, NSB1은 실험 종료까지 192시간이 경과 하였다. 그러나 NSB2는 실험 개시 120시간 경과 후에야 개체의 이상이 발견되었으며, OPC와 NSB1의 실험이 종료된 후에도 개체가 죽지 않아 456시간 경과 후 실험을 강제 종료하였다.

이러한 결과로 미루어 개발 ZEB는 OPC에 비해 보다 친환경적인 것으로 판단되었다.

개발 무기결합재의 어독성 실험 결과

경과 시간	OPC	NSB1	NSB2
Start			
6시간 경과	  움직임이 둔화됨. 지느러미 부분에서 흰색 반점 발생	  지느러미 부분에서 흰색 반점 생김	변화 없음
24시간 경과	  개체의 아가민 부근이 붉게 변함 개체의 움직임이 둔화됨	  개체의 움직임이 둔화됨	 변화 없음.
36시간 경과	  개체 움직임 거의 없음	 전체적으로 움직임 둔화	 변화없음

48시간 경과후	  개체 1 죽음	  개체 1 죽음. 움직임 둔화	 변화 없음.
72시간 경과후	  개체 1죽음	 남은 개체의 움직임 둔화	 변화 없음.

3. ZEB의 콘크리트 2차 제품 적용성 평가

선행 실험 결과 순환자원을 활용한 무기결합재 개발 결과 소정의 압축강도를 발현하며 pH 또한 보통 포틀랜드 시멘트에 비해 약알칼리 특성을 나타내 콘크리트 2차 제품 결합재로의 활용이 가능할 것으로 판단되어, 2차 제품 제작 시설에 개발 무기결합재를 적용한 콘크리트 2차 제품을 시험 생산하여 그 적용성을 살펴보았다.

가. 적용 제품 및 품질 기준

2차 제품의 제작 공정은 재료계량 → 재료혼합 → 성형 → 양생 → 세부작업 → 적재의 단계를 선택적으로 거쳐 제품을 제조, 생산한다.

본 연구에서는 콘크리트 2차 제품인 생태블록 및 투수블록, 어도, 수로관 제조 공정에 개발 무기결합재를 적용 하였으며, 이 경우 품질 기준은 한국콘크리트공업협동조합에서 정한 단체 표준에 의한다. 단체 표준에서는 아래의 표와 같은 성형성을 점검하는 중간검사 기준과 28일 후 흡수율 및 압축강도를 측정하는 제품검사를 실시하며, 흡수율의 기준은 7% 이하이며, 블록의 압축강도 기준은 21MPa 이상의 확보이다.

블록의 겉모양 기준

구분	표면에 노출하는 부분	표면에 노출하지 않은 부분
기포	지름 5~10mm, 깊이 10mm 이하 10×10㎠에 5개 이하	지름 5~10mm, 깊이 10mm 이하 10×10㎠에 10개 이하
잔금가기	길이 30mm이하, 폭 0.25mm 이하, 전면()에 대해서 5개 이하	길이 30mm이하, 폭 0.25mm 이하, 전면()에 대해서 7개 이하
모서리결손	2㎠ 이내 1개소 까지	3㎠ 이내 2개소 까지
골재의 노출	없을 것	없을 것
균열	없을 것	없을 것
페이스트 누출	한 변 길이의 1/3이내 폭 20mm 이하	한 변 길이의 2/3이내 폭 20mm 이하
파손	없을 것	없을 것
유색층의 벗겨짐	없을 것	지름 10mm 이내 1개소 까지

나. 적용 결과

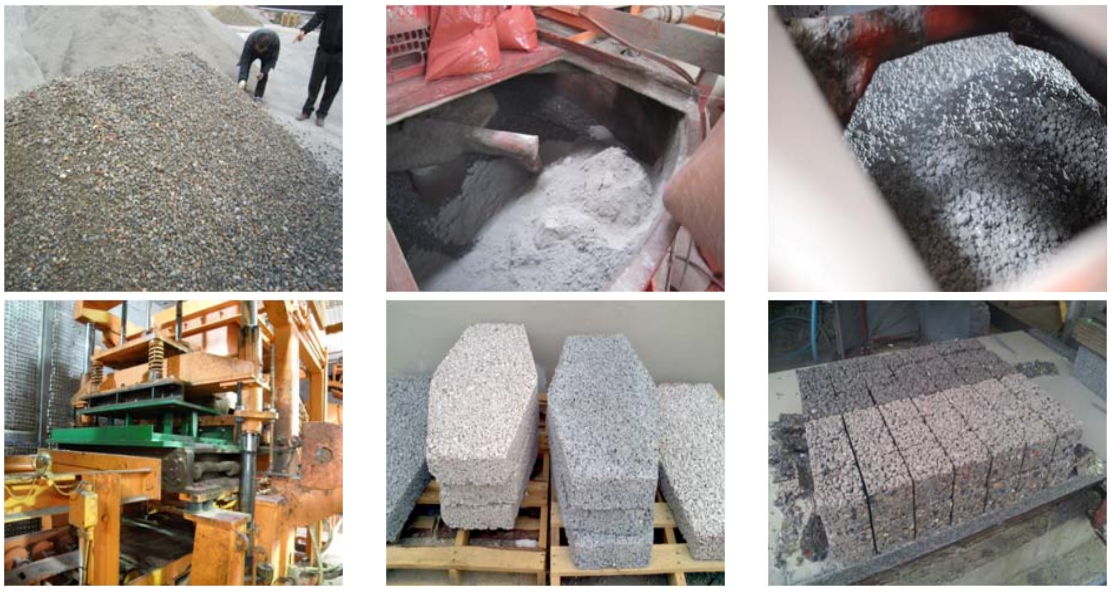
(1) 생태 블록

개발 무기결합재를 활용한 생태블록 제작 실험 결과 겉모양을 평가하는 중간 검사에서 모두 합격하였으며, 제품 검사에서도 28일 압축강도는 21.4~22.5MPa, 흡수율은 5~6%정도로 모두 생태블록 제품 검사 기준에서 합격하였다.



생태블록 생산 공정

(2) 투수 블록



투수 블록 제작 전경

개발 무기결합재 및 순환골재를 적용한 투수블록을 제작하고 이를 절단한 공시체를 대상으로 압축강도 및 흡수율을 평가한 결과 28일 압축강도는 27.6MPa, 흡수율은 4.3~4.8로 단체표준 기준을 만족하였다.

4. ZEB의 다양화를 위한 제반 성능 검증

최근 지구온난화 등의 문제가 부각됨에 따라 전 세계적으로 온실가스 배출 저감을 위한 노력이 진행되고 있으며, 온실가스의 상당 부분을 배출하는 건설산업 분야, 특히 건축재료 분야에서도 탄소배출 저감을 위한 다양한 기술개발이 요구되고 있다.

건축재료 분야의 경우 전체 산업분야 중 탄소배출량이 많은 것으로 보고되고 있는 시멘트를 대체할 수 있는 무기결합재에 관한 관심과 기술개발이 증가되고 있는 상황이지만, 성능 검증 및 경제성 부족 등의 이유로 아직까지 실용화되고 있는 사례가 많지 않다.

무기결합재가 콘크리트로 적용된 사례는 구소련에서 22층의 건축물을 포함하여 약 300만m^3가 적용된 것으로 보고되고 있으며, 우크라이나의 Kiev 시멘트 공장에서는 고강도 콘크리트를 생산하여 구조체에 적용한 실적도 있는 것으로 보고되고 있다.

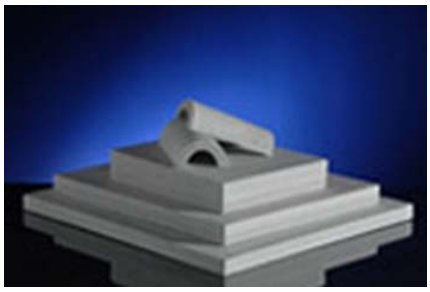
또한, 미국에서는 걸프전 당시에 사우디아라비아에서 군사용 공항 건설시 공기단축을 목적으로 지오폴리머 콘크리트를 사용하였으며, 기름 저장탱크 건설을 위해 적용된 것으로 알려져 있다.

중국에서도 속경성이 요구되는 구조물이나 내산성이 요구되는 시설물들에 실용화가 되고 있으며, 최근 무기결합재에 관련된 연구개발이 가장 활발한 것으로 보고되고 있는 유럽 및 호주에서는 다양한 분야에서 무기결합재를 활용한 건설재료가 제품화 및 실용화되고 있는 것으로 알려져 있다.

국외에서 건설재료로 실용화되고 있는 무기결합재 활용 제품의 사례를 나타낸 것으로서, 시멘트를 대체하는 무기결합재 자체, 내화보드, 내오염성 타일 줄눈재, 인조석재, 블록, 보수재료

등의 다양한 분야에서 제품화가 된 것을 알 수 있으며, 특히 호주의 경우 ZEOBOND사에서는 E-Crete라는 제품명, WAGNERS사에서는 EFC (Earth Friendly Concrete)라는 제품명으로 레미콘으로도 실제 실용화가 되고 있는 것을 알 수 있다.

국외의 무기결합재를 활용한 건설재료 제품화 사례

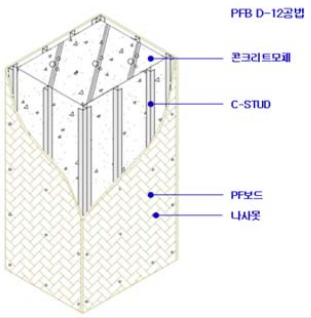
회사명	제품사진	내 용
inomat		□ 제품명 : inoFLAMM □ 제품 형태 : 무기결합재 □ 2007년부터 내화 모르타르, 내화보드, 내화도료 등으로 실용화
BASF The Chemical Company		□ 제품명 : Peciclean □ 제품 형태 : 무기결합재 □ 내오염성 및 발수성이 있는 줄눈재로 제품화(2011년) □ 백화 미발생, 내열성 우수
Ashlam ECO CEMENTS		□ 제품명 : ECOTOP, ECOPATCH, ECOFILL, ECOROCK □ 제품 형태 : 페이스트, 모르타르 □ 단면복구재, 바닥마감재, 균열주입재, 그라우트재, 급결 지수재 등의 용도로 제품화
banah UK Ltd SUSTAINABLE BUILDING PRODUCTS		□ 제품명 : banahCEM, banahCRETE, banahBLOCK □ 제품 형태 : 결합재, 콘크리트, 블록 □ 시멘트 대체용 결합재, 기초, 바닥, 패널용 콘크리트, 블록 등의 용도로 제품화
WAGNERS		□ 제품명 : EFC (Earth Friendly Concrete) □ 제품 형태 : 콘크리트 □ 고로슬래그와 플라이애시를 기반재로 한 무기결합재를 활용한 레미콘으로 제품화

국외의 무기결합재를 활용한 건설재료 제품화 사례 (계속)

회사명	제품사진	내 용
Zeobond GROUP		□ 제품명 : E-Crete □ 제품 형태 : 콘크리트 □ 플라이애시를 기반재료로 한 지오 폴리머 결합재를 사용한 콘크리트로 도로 포장, 바닥, 벽체 등에 실용화
Zeostone		□ 제품명 : Zeostone □ 제품 형태 : 인조석재 □ 지오폴리머를 결합재로 사용한 바닥 포장용 인조석재로 실용화
Schlumberger		□ 제품명 : EverCRETE □ 제품 형태 : 시멘트 대체재 □ CO_2 저감이 가능한 결합재로서 시멘트를 대체할 수 있는 제품화
Rocla		□ 제품 형태 : 프리캐스트 콘크리트 □ 2011년 무기결합재를 사용한 프리캐스트 콘크리트로 실용화되고 있고, 약 2,500t의 무기결합재가 적용됨

국내의 경우 바이오하우징 사업단 등의 연구결과를 기초로 하여 호안블록, 옹벽블록, 벽돌 등으로 무기결합재를 제품화하고 있으며, 일부 연구전문 업체에서는 블록 외에 인조석, 패널 등의 시제품을 제작한 것으로 조사되었다.

국내의 무기결합재를 활용한 건설재료 제품화 사례

회사명	제품사진	내 용
ERAE 이레콘텍주식회사		□ 제품명 : 무시멘트 벽돌 □ 제품 형태 : 블록 □ 바이오하우징사업단과 기술이전을 통하여 무시멘트 벽돌, 옹벽 블록, 호안 블록 등으로 제품화
REEM RnD		□ 제품 형태 : 블록, 인조석재, 패널 □ 지오폴리머를 결합재로 사용한 호안 블록은 시공실적이 있으며, 인조석재, 패널의 경우 시작품으로 제작
(주)인토켐		□ 제품명 : PF보드, 이노탑PM400 □ 제품 형태 : 보드, 모르타르 □ 지오폴리머 결합재를 이용한 내화 보드로 건설신기술 취득 및 일부 현장 실용화되었으며, 모르타르의 경우 보수용 제품으로 적용 중
CMD GROUP		□ 제품명 : CMD-Soil, CMD-NSB □ 제품 형태 : 무기결합재 □ 유무기성 슬러지 고화재, 친환경 지반재료 형태로 시공실적이 있으며, 2차 제품용 혼화재로 시험 적용

또한, 본 연구과제의 주관기관인 CMD기술단에서는 무기결합재를 활용하여 지반고화재, 흙포장재 등의 용도로 사업화가 진행 중에 있으며, 프리캐스트콘크리트 제품 용도로 무기결합재를 개발하여 시제품을 생산한 사례도 있다.

그러나 국내에서는 무기결합재를 사용하는 콘크리트의 배합 설정, 품질 관리 방안 등이 체계적으로 정립되어 있지 않고, 실험실적 검토 수준에서 실용화를 위한 재현성 부족, 장기적인 내구성에 관한 검증 부족 및 오히려 시멘트에 비해 비용이 증가되는 이유 등으로 로 아직까지 레미콘 형태로의 실용화는 이루어지고 있지 않다.

이는 무기결합재를 사용한 건축재료 중 레미콘 제품의 경우 장기적인 내구성에 관한 검증이 부족하고, 알칼리 활성화제 적용시 오히려 보통포틀랜드시멘트보다 높은 단가로 경제성이 낮기 때문이며, 무기결합재의 실용화 확대를 위해서는 이와 같은 조건이 필요하지 않은 건축재료 분야로의 활용 또는 보통포틀랜드시멘트 대비 경제성 향상 등이 반드시 필요할 것으로 판

단된다.

또한 무기 무기결합재에 대한 활용성 평가시 최적 조성을 검토하기 위한 실험을 1차년도 ZEB의 최적 배합 도출 및 물성 평가를 통하여 열병합 발전소 플라이애시를 활용한 알칼리 자극제와 탈황석고를 적용한 알칼리 및 황산염 복합자극제를 적용한 최적의 배합을 아래와 같이 선정하여 각각의 건설재료에 적용하였다.

최적 배합 1

명칭		무기결합재(%)		
		고로슬래그 미분말	알칼리자극제	폐석고
NSB 1	NHF4 시리즈	65	25	10
NSB 2	NHF3 시리즈	70	20	10

최적 배합 2

명칭		무기결합재(%)			
		고로슬래그 미분말	알칼리자극제	황산염자극제	탈황석고
SOIL 7000 -1	NFGS1 시리즈	70	20	6	4
SOIL 7000 -2	NFS2 시리즈	65	25	10	

위와 같은 무기결합재의 최적배합을 통하여 심층안정화용 토양고결재 활용성 평가, 표층안정화용 토양고결재 활용성 평가, 레미탈 활용성 평가, PHC파일 채움재 활용성 평가, 콘크리트 2차제품용 결합재 활용성 평가를 보통포틀랜드 시멘트(OPC)와 비교하여 동등 이상의 성과를 이루고자 하였으며, 건축재료로서 무기결합재의 활용 분야 및 경제적인 무기결합재 적용 방안이 도출된다면, 지구온난화에 대응한 탄소배출 저감 기술로서 뿐만 아니라 경제적인 원가절감형 기술로서도 현장 실용화가 확대될 수 있을 것으로 판단되며, 향후 탄소세 및 탄소배출권 거래제도 등의 도입에 대응한 건설현장의 녹색건축기술로서 인증 및 녹색성장에 대한 기여가 가능할 것으로 기대된다.

가. 심층안정화용 토양 고결재 활용성 평가

일반적으로 연약지반을 개량하기 위한 심층혼합공법은 점성토 및 사력토 지반에서 토류벽체를 형성하거나 차수를 위하거나 연약지반을 보강하기 위한 목적으로 시공되고, 시공 순서에 따라 고결재를 주입하며, 고결재는 일반적으로 시멘트와 벤토나이트를 혼합하여 사용되어 왔다.

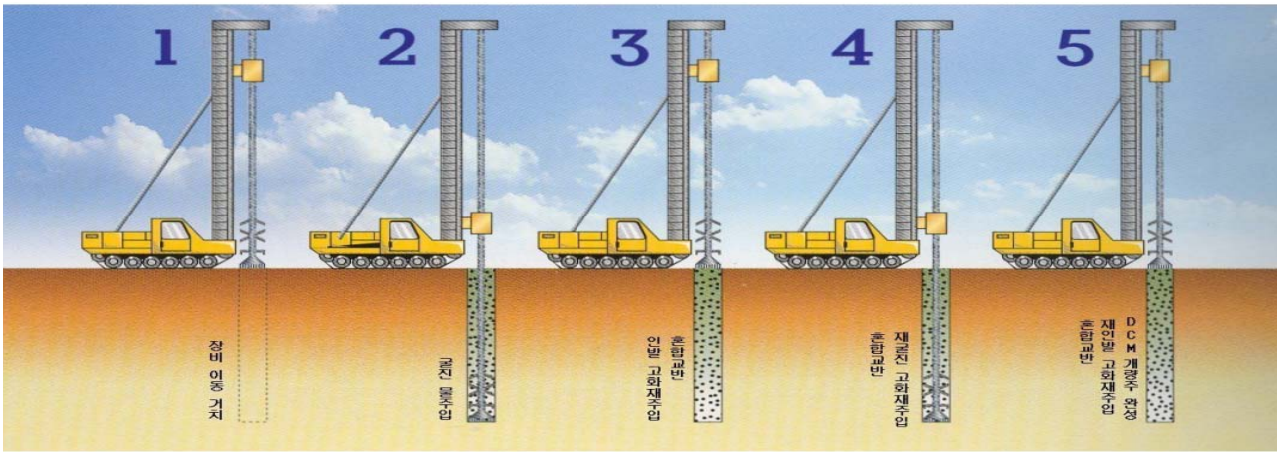
이 중 시멘트의 경우 수화하면서 수축을 하는 특성 때문에 차수 목적을 위하여 벤토나이트를 사용하는데 상기 벤토나이트는 국내에 천연자원으로 부존하지 않는 광물로서 전량 수입에 의존하고 있는 고가의 재료이며 염분과 접촉하면 그 팽윤도가 현저히 떨어져 차수성이 크게

저하되는 문제점이 있어 해상 심층혼합공법용으로는 적절하지 않다.

또한 시멘트의 경우 주원료인 석회석을 채광하여 1,450의 고온에서 소성하여 제조되는 관계로 석회석의 탈탄산 과정에서 온실가스의 주원인인 다량의 CO_2 가스가 발생하여 대기환경에 치명적인 해를 준다. 또한 시멘트의 경우 pH가 12 이상에 달할 정도로 강한 알칼리이기 때문에 토양에 사용하였을 경우 바람직하지 않다.

이러한 문제점을 해결하고자 본 실험에서는 시멘트 및 석회계 재료를 사용하지 않는 친환경 무기결합재로 고로슬래그 및 플라이애시 등의 비결정질 물질을 주재료로의 사용을 주목적으로 하며, 고로슬래그 및 플라이애시 등은 시멘트와 달리 자체적으로 물과 수화되지 않지만, 수산화물 또는 황산염과 같은 자극제의 첨가에 의한 수화반응 유도의 경화특성을 갖고 있으며, 이러한 수화특성은 비결정질 입자의 불규칙적 3차원 쇄상결합이 절단되면서 망상 구조체 내부에 함유된 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} 등의 수식이온들이 용출되어 시멘트와 같은 경화특성을 지니게 된다.

이러한 특성을 이용하여 무기계 순환자원인 고로슬래그 및 플라이 애시 등을 활용한 무기결합재를 1차년도 최적배합으로 선정된 SOIL 7000-1, SOIL 7000-2를 심층 안정화용 고결재로 활용하기 위하여 일축압축시험를 실시하고 심층안정화용 토양 고결재로 적용하여 활용성을 평가 하고자 한다.



DCM 공법의 시공순서(육상)

(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

본 실험에서는 부산항 신항 송도 준설토 투기장 현장에 심층혼합처리공법(SCW:Soil Cement Wall, DCM : Deep Cement Mixing, DSP : Deep Soil Mixing Pile, DSM : Deep Soil Mixing 등)용 고결재를 적용함에 있어 결합재 종류에 따른 고결재의 일축압축강도에 미치는 영향을 파악하기 위하여 실험을 실시하였으며, 물/결합재비와 단위 결합재량, 점토함수비, 결합재 종류에 대한 각각의 시험 조건에 대하여 재령일을 7일과 14일, 28일로 구분하여 시료를 분리 제작하였으며 모든 조건에 대하여 일축압축강도시험을 3회 실시하고 그 평균값으로 파괴강도를 결정하였다.

실험계획

물/결합재비	결합재량 (kg/㎥)	점토함수비 w_n (%)	결합재 종류	재령일			각 공시체 개수	수량 (EA)
				7	14	28		
0.7	200	75	SOIL 7000-1	◎	◎	◎	3	9
			SOIL 7000-2	◎	◎	◎	3	9
			고로슬래그 시멘트	◎	◎	◎	3	9
총 수량 (EA)								27

② 사용재료

주 재료인 점토는 송도 지역의 점토시료를 사용하였으며, 혼합용수는 오렴되지 않은 해수를 사용하였다. 재료를 사용하여 배합시험을 실시하였으며 공시체 경화를 위한 고결재로 SOIL 7000-1, SOIL 7000-2, 고로슬래그 시멘트를 사용하였다.

사용재료

사용재료	내용	비중
점토	부산항 신항 송도 준설 점토	2.72
혼합용수	오염되지 않은 해수	-
결합재	SOIL 7000-1, SOIL 7000-2, 고로슬래그 시멘트	-

③ 실험방법

무기결합재를 심층안정화 고결재로 활용하기 위한 평가 방법으로 KS F 2314(일축압축시험)를 아래와 같이 실시하였다.

○ 양생이 완료된 공시체를 분리한 후 탈형
○ 두부 정리 후 버니어 켈리퍼스를 이용하여 공시체의 높이 측정
○ 공시체를 압축시험기에 정치 후 1mm/min의 재하 속도로 하중 재하
○ 경과 시간 별 공시체 내부 발생 응력 측정 및 극한강도 산정



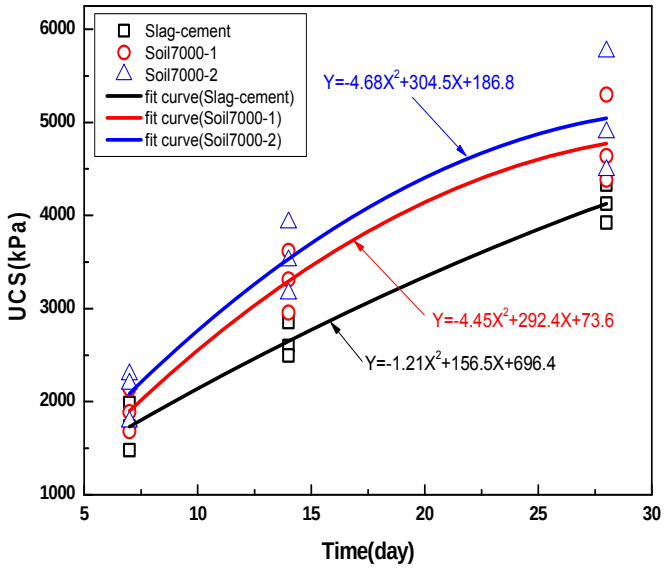
일축압축강도 측정 장치(UTM)

(2) 실험결과 및 고찰

일축압축강도의 재령일에 따른 변화를 고결재 종류별 측정결과, 공시체의 일축압축강도는 고결재 종류와 관계없이 재령일이 경과할수록 증가하고 있음을 알 수 있다.

일축압축강도 시험 결과

물/결합재비	결합재량 (kg/㎥)	점토 함수비 w_n (%)	고결재 종류	일축압축강도 (kPa)		
				재령 7일	재령 14일	재령 28일
0.7	200	75	고로슬래그 시멘트	1732.5	2649.7	4127.2
			SOIL 7000-1	1902.3	3295.1	4772.8
			SOIL 7000-2	2089.2	3532.9	5044.6



슬래그시멘트와 무기결합재의 압축강도 비교

결합재의 종류에 따른 일축압축강도의 변화를 나타낸 것이다. 전체적으로 일축압축강도는 SOIL 7000-2, SOIL 7000-1, 고로슬래그 시멘트를 사용한 공시체 순으로 크게 나타났다.

또한 결합재 종류와 관계없이 재령일이 경과할수록 증가하였으며, 14일과 28일 일축압축강도의 재령 7일 강도 대비 강도증가율은 SOIL 7000-1의 경우 1.73과 2.51, SOIL 7000-2의 경우 1.69과 2.41, 고로슬래그 시멘트의 경우 1.53, 2.38로 나타났다.

SOIL 7000-1과 SOIL 7000-2의 일축압축강도는 고로슬래그 시멘트를 사용한 공시체의 강도 대비 재령 7일의 경우 1.10배와 1.21배, 재령 14일의 경우 1.24배와 1.33배, 재령 28일의 경우 1.16배와 1.22배로 크게 나타났다.

(3) 소결

심층혼합교반용 고결재로서 연약지반을 심층까지 천공하고 원지반과 고결재를 혼합하여 지반을 개량 시 목적으로 활용하고자 활용성을 평가하였으며 그 결과는 다음과 같다.

① 결합재 종류와 관계없이 재령일이 경과 후 일축압축강도는 모두 증가하고 있는 것으로 나타났다.

② 일축압축강도는 CMD-SOIL 2, CMD-SOIL 1, 고로슬래그 시멘트를 사용한 공시체 순으로 크게 나타났다.

③ 이는 일반적 고결재인 시멘트와 벤토나이트 결합재 보다 지하수 및 염분으로 인한 팽윤도가 높은 것으로 사료된다.

④ 또한 다양한 점토에 대한 실험이 실시 되어야 할 것으로 사료 되며, 시멘트 대체시 토양오염 등에 대한 친환경성, 단가 경쟁력으로 기술적 상용화가 이루어 질수 있을 것으로 기대된다.

나. 표층안정화용 토양 고결재 활용성 평가

지반고화용 재료로 보통포틀랜드 시멘트(OPC)가 일반적으로 사용되는데, OPC는 토질의 영향을 많이 받으며, 특히 니분이 많은 토질의 경우 시멘트의 응결 지연현상이 나타나는 경우가 있어, 이를 해결하기 위해 혼화제가 사용된다. 더욱이 OPC와 함께 사용되는 벤토나이트 현탁액은 콘크리트 중의 Ca^{2+} 이온을 흡착하기도하고 염분이 포함되어 있는 경우에는 Na^{+}이온을 흡착하여 응집반응을 일으켜서 안정액으로서의 성질이 저하되는 경향을 보이기도 한다.

보통포틀랜드 시멘트를 지반재료로 사용할 경우 주변 토양 및 지하수의 2차 오염 문제가 언급되고 있으며, 일반적인 시멘트의 제조공정은 석회석, 점토, 철광석 등의 원료를 소정의 배합 비율로 혼합하여 분쇄하는 원료 처리 공정과 분쇄된 원료를 소성로에 투입하여 예열, 소성, 냉각 등을 거쳐 입상의 클링커로 만드는 소성공정, 그리고 이것을 다시 석고와 함께 곱게 부수어 건축용 시멘트로써 완제품이 만들어지는 분쇄공정으로 분류되고 있다. 이 가운데 소성 공정은 원료가 고온에 의해 복잡한 화학반응을 거쳐 클링커가 만들어지는 시멘트 제조 공정 가운데 가장 중요한 공정이 킬른(Klin)에서 이루어지는데, 여기 1,000℃ 이상의 고온에

서도 구조물이 연화되지 않으면서 강도를 유지하고 화학적 작용에 견딜 수 있도록 각종 내화물이 사용된다.

보통 시멘트 킬른은 온도가 낮은 로의 압부분에는 내화 점토질 벽돌이 사용되며, 온도가 높고 클링커의 마찰에 의한 마모와 반용융 상태의 클릴커와 화학반응이 이루어지는 부분에는 마그네시아와 크롬이 함유된 마그-크롬질 벽돌이 사용되고 있으며, 이 과정에서 이 마그-크롬질 내화벽돌에 함유된 크롬이 클링커가 생성되는 과정 중에 함유되는 것으로 알려지고 있다.

연구결과에 따르면 내화벽돌 중의 크롬 성분이 제조과정 중에 포함되어 질수 있으며, 이에 따라 보통포틀랜드 시멘트에 약 10ppm 정도가 포함되며, 국내 · 외 요업 업계 및 연구계에서는 친환경적인 크롬-프리(Chrome-Free)마그네시아질 벽돌 또는 스피넬(Spinel)질 벽돌의 개발연구가 이루어지고 있으며, 일부 선진국에서는 일부 상용화가 이루어지고 있으나, 국내의 경우 대부분의 시멘트 로타리 킬른에는 마그네시아질 내화벽돌이 주로 사용되고 있는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 1차년도 최적배합으로 선정된 SOIL 7000-1, SOIL 7000-2를 표층 안정화용 고결재로 활용하기 위하여 일축압축시험를 실시하고 이에 따른 장비 주행성 검토를 실시하여 시멘트 대체 건설재료로의 활용성을 검토하였다.

(1) 실험계획 및 방법

본 연구에서 수행한 일축압축강도실험은 KS F 2314에 준하여 수행하였으며 공시체 직경(d) 5cm, 높이(h) 10cm로 제작하였다. 해양준설토의 자연함수비(68.4%)를 구하고 준설 시 함수비를 모사하는 함수비(150%)로 수량을 더하여 교반하였다. 하부를 밀봉한 PVC몰드에 150% 초기함수비로 맞춘 재료를 5, 8, 11, 14%로 혼합하여 주입하였다. 이 때 몰드 내면은 혼합토가 양생되면서 부착되는 것을 방지하기 위하여 그리스(grease)를 얇게 도포하였으며, 재령별로 7일, 14일, 28일동안 습윤양생하여 일축압축강도실험을 실시하였다.

사용재료

사용재료	내용	비중
점토	서울 마곡지구 00건설 신축현장 채취	2.72
혼합용수	오염되지 않은 지하수	-
결합재	SOIL 7000-1, SOIL 7000-2, 고로슬래그 시멘트	-

(2) 실험결과 및 고찰

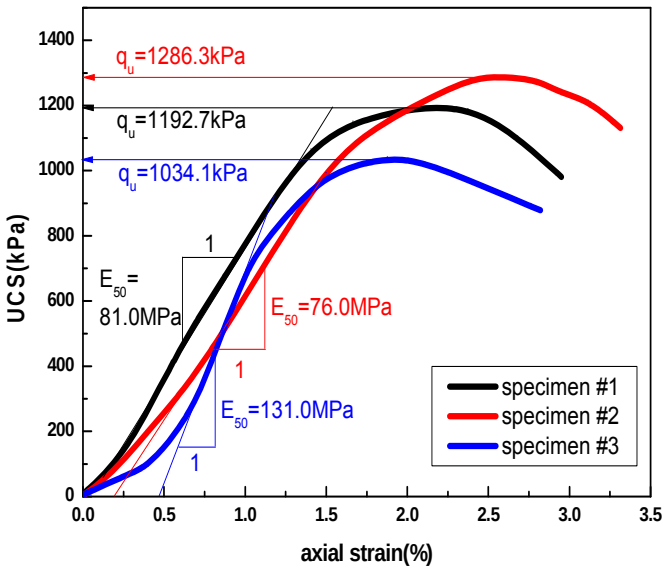
① 일축압축시험

연약지반을 무기결합재로 개량하기위해 원지반과 고화제첨가에 따른 개량토의 일축압축시험을 수행하였다. 고화제의 중량비 10%를 섞어 일주일간 고화시킨 후 3개의 시료를 가지고 평균

값을 예측하기 위하여 실내시험을 실시하였다. 여기에서 변형계수(E_{50})에 대한 값은 일축압축강도 실험그래프에서 탄성계수의 초기 기울기를 측정한 값을 의미한다.

개량토의 일축압축시험 결과

종류	$q_u(kPa)$	$q_u(average)$	변형계수 (E_{50}, MPa)	$E_{50}(average)$
개량토	1286.3	1171.0	81.0	102.7
	1192.7		96.0	
	1034.1		131.0	



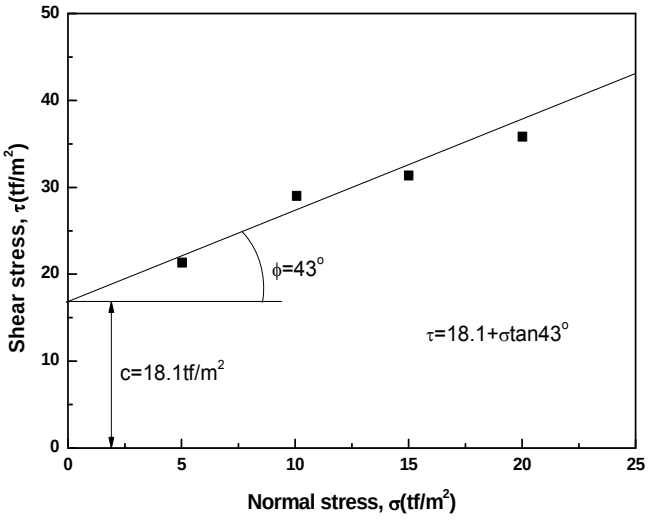
고화토의 일축압축강도시험 결과

② 직접전단시험

원지반 및 고화 처리지반의 지지력검토에 필요한 지반정수(c, ϕ)의 산정을 위해 실내 직접전단시험을 실시한 결과를 아래와 같이 정리하였다.

원지반 및 개량토(10%)의 직접전단시험을 통한 점착력 및 내부마찰각

종 류	$c\ (tf/m^2)$	$\phi(^\circ)$	비고
원지반	0.5	20	원 설계도서
개량토	18.1	43	실내시험



개량토의 직접전단시험 결과

③ 장비제원 및 설계하중

본 현장에서 파일기초 시공시 사용된 장비의 제원은 장비의 주행시나 파일 항타시 야기되는 충격에 대한 계수 및 리더위치에 따른 궤도하중분담비를 이용하여 설계하중을 산정하였다.

장비 및 철판 제원

장비명	궤도 규격(m)		최대하중 (tf)	충격계수	설계하중 (최대하중×[1+충격계수])		비고
	폭	길이			철판 사용시	철판 미사용시	
DH608	0.8	4.9	120	0.3	156.0	117.0	궤도하중분담비 0.75
DH758	0.8	5.225	162		210.6	158.0	
철판	2.0	6.0					$t = 25 \sim 30mm$

④ 지지력 및 강도 평가

- 원지반 지지력 평가

원지반의 극한지지력(q_u) 평가를 위해서 Meyerhof(1951)의 지지력 공식을 이용하였다.

$$q_u = cN_c + qN_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma$$

여기서, c : 원지반의 점착력

N_c, N_q, N_γ : 지지력계수

$q = \gamma D_f$ (기초상부의 상재하중으로 D_f=0)

B : 기초 폭(궤도 폭)

Meyerhof(1951)의 지지력 계수

지지력계수	내부마찰각(ϕ)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
N_c	5.1	6.5	8.3	11.0	14.8	20.7	30.1	46.1	75.3	133.9
N_q	1.0	1.6	2.5	3.9	6.4	10.7	18.4	33.3	64.2	134.9
N_γ	0.0	0.1	0.4	1.1	2.9	6.8	15.7	37.2	93.7	262.7

원지반의 극한지지력은 지지력에 대한 안전율(단기안전율 1.5)을 적용하여 허용지지력(q_a)을 산정하였다. 산정결과와 수직응력(σ_z=장비접지압)을 비교한 결과 모든 조건에서 허용지지력보다 수직응력이 크게 나타나 원지반의 지지력에 대한 개량이 필요한 것으로 나타났다.

원지반의 지지력 평가 결과

장비명	철판 사용여부	$q_u(tf/m^2)$	$q_a(tf/m^2)$	$\sigma_z(tf/m^2)$	평가
DH608	미사용	9.3	6.2	29.8	NG
	사용	12.0	8.0	13.0	NG
DH758	미사용	9.3	6.2	37.8	NG
	사용	12.0	8.0	17.6	NG

- 개량지반 지지력 평가

개량지반에 대한 지지력 검토는 층상지반에서의 연속기초 지지력 산정방법인 Meyerhof & Hanna(1978) 식을 이용하였다.

$$q_u = q_b + \frac{2c_\alpha H}{B} + \gamma_1 H^2\left(1+\frac{2D_f}{H}\right)\frac{K_s \tan\phi_1}{B} - \gamma_1 H \le \sigma_z$$

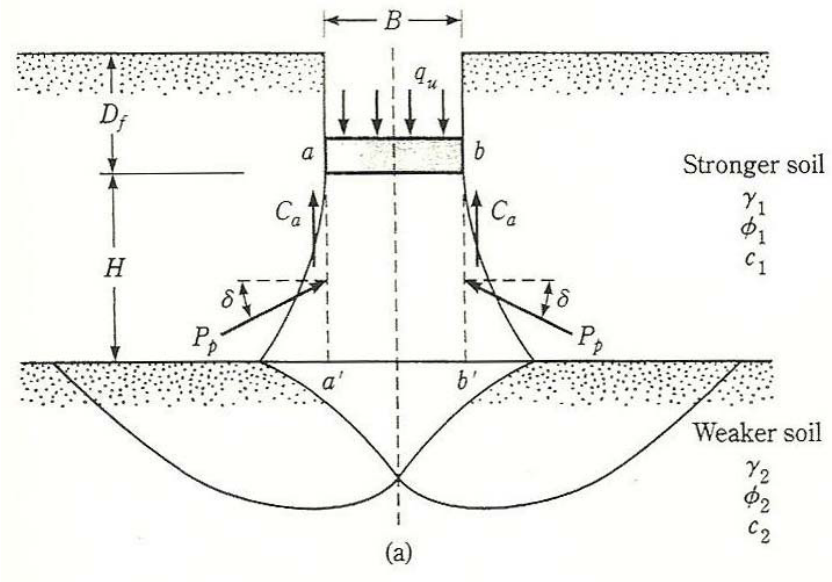
$$q_b = c_2 N_{c(2)} + \gamma_1 (D_f + H) N_{q(2)} + \frac{1}{2}\gamma_2 B N_{\gamma(2)}$$

여기서, $N_{c(2)}$, $N_{q(2)}$, $N_{\gamma(2)}$: 하부지반의 지지력계수

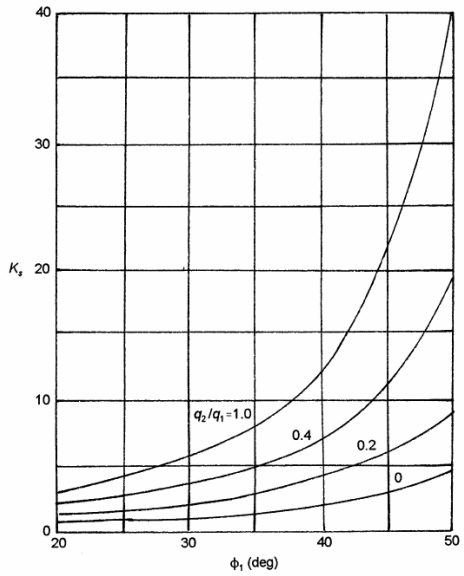
K_s : 상하부 지반의 지지력비

$$q_1 = c_1 N_{c(1)} + \frac{1}{2}\gamma_1 B N_{\gamma(1)}$$

$$q_2 = c_2 N_{c(2)} + \frac{1}{2}\gamma_2 B N_{\gamma(2)}$$



(a)



파일시공 장비는 DH608, DH758을 적용하였으며, 장비아래 철판의 사용유무에 따른 개량 심도별 극한지지력, 허용지지력을 산정하여 접지압에 의한 수직응력과 비교하여 개량 심도를 산정하였다.

개량 심도 산정결과 DH608에 대한 개량심도는 0.7m이며, 철판을 사용시에는 0.3m로 나타났다. DH758에 대해서는 0.9m, 철판사용시 0.6m의 개량이 필요한 것으로 나타났다.

개량지반의 지지력 평가 결과(DH608 철판 미사용시)

장비명	q_1	q_2	K_s	H	q_b	q_u	q_a	σ_z	평가
DH608 (철판 미사용)	1426	9.3	2.5	0.1	10.3	14.7	9.8	29.8	NG
				0.2	11.4	20.3	13.6		NG
				0.3	12.5	26.0	17.4		NG
				0.4	13.6	31.8	21.2		NG
				0.5	14.7	37.7	25.1		NG
				0.6	15.8	43.7	29.1		NG
				0.7	**16.9**	**49.8**	**33.2**		OK
				0.8	18.0	56.0	37.3		OK
				0.9	19.0	62.3	41.5		OK
				1.0	20.1	68.6	45.8		OK

개량지반의 지지력 평가 결과(DH608 철판 사용시)

장비명	q_1	q_2	K_s	H	q_b	q_u	q_a	σ_z	평가
DH608 (철판 사용)	1522	12.0	2.5	0.1	13.1	14.8	9.9	13.0	NG
				0.2	14.2	17.6	11.7		NG
				0.3	**15.3**	**20.4**	**13.6**		OK
				0.4	16.4	23.3	15.5		OK
				0.5	17.5	26.2	17.5		OK
				0.6	18.6	29.1	19.4		OK
				0.7	19.7	32.1	21.4		OK
				0.8	20.7	35.1	23.4		OK
				0.9	21.8	38.2	25.5		OK
				1.0	22.9	41.3	27.5		OK

개량지반의 지지력 평가 결과(DH758 철판 미사용시)

장비명	q_1	q_2	K_s	H	q_b	q_u	q_a	σ_z	평가
DH758 (철판 미사용)	1426	6.4	2.5	0.1	10.3	14.7	9.8	37.8	NG
				0.2	11.4	20.3	13.6		NG
				0.3	12.5	26.0	17.4		NG
				0.4	13.6	31.8	21.2		NG
				0.5	14.7	37.7	25.1		NG
				0.6	15.8	43.7	29.1		NG
				0.7	16.9	49.8	33.2		NG
				0.8	18.0	56.0	37.3		NG
				0.9	**19.0**	**62.3**	**41.5**		OK
				1.0	20.1	68.6	45.8		OK

개량지반의 지지력 평가 결과(DH758 철판 사용시)

장비명	q_1	q_2	K_s	H	q_b	q_u	q_a	σ_z	평가
DH758 (철판 사용)	1522	12.0	2.5	0.1	13.1	14.8	9.9	17.6	NG
				0.2	14.2	17.6	11.7		NG
				0.3	15.3	20.4	13.6		NG
				0.4	16.4	23.3	15.5		NG
				0.5	17.5	26.2	17.5		NG
				0.6	**18.6**	**29.1**	**19.4**		OK
				0.7	19.7	32.1	21.4		OK
				0.8	20.7	35.1	23.4		OK
				0.9	21.8	38.2	25.5		OK
				1.0	22.9	41.3	27.5		OK

- 개량지반 강도 평가

일반적으로 장비의 주행 가능성 판단은 콘관입시험에 의한 콘지지력으로 나타내는 경우가 많다. 미국에서는 실험 결과로부터 차량의 여러 치수, 중량 등을 지수화하여 주행 가능한 콘 지수의 한계치를 산정하는 방법을 제안하고 있는데 그것을 받아들여 국내에서도 많은 실례를 참고로 하였다. 이와 같은 콘 지지력 q_c는 일축압축강도와 다음과 같은 상관관계가 있다.

$$q_c \fallingdotseq 5q_u$$

건설기계의 주행성을 표시하는 콘 지수

건설기계명	콘지수 q_c	비고
초습지 불도우저	1.5 ~ 2	
습지 불도우저	2 ~ 4	
바킽 도우저	3 ~ 4	습지형
보통 불도우저	4 ~ 7	
스크레이프 도우저(4m^3)	3 ~ 5	습지형
〃 (6m^3)	5 ~ 6	보통형
모터 스크레이퍼	3 ~ 5	자주식
피견인식 스크레이퍼(6m^3)	5 ~ 7	보통 불도우저 견인
자주식 스크레이퍼	10이상	
덤프트럭	10이상	

위와 같이 나타나듯이 토공작업에 필요한 덤프트럭과 같은 장비는 콘지수가 10 이상으로 매우 큰 지지력을 요한다. 따라서 덤프트럭 이상의 건설장비의 주행성확보를 위한 고화처리지반의 일축압축강도는 $2kgf/cm^2$ 이상으로 목표강도를 설정하는 것이 필요한 것으로 판단된다. 또한, 이 기준에 의하면 일주일동안 고화시킨 시료의 일축압축강도가 약 $12kgf/cm^2$이므로 충분한 강도를 나타내고 있다.

현장 시공시에는 현장배합에 따라 강도저하의 요인이 발생할수 있으므로, 개량토의 시료를 채취하여 실내시험을 실시해 압축강도에 대한 검증이 필요하다.

(3) 소결

① 원지반의 허용지지력(q_a)을 산정한 결과와 수직응력(σ_z=장비접지압)을 비교한 결과 모든 조건에서 허용지지력보다 수직응력이 크게 나타나 원지반의 지지력에 대한 개량이 필요한 것으로 나타났다.

② 파일시공 장비는 DH608, DH758을 적용하였으며, 장비아래 철판의 사용유무에 따른 개량 심도별 허용지지력을 산정하여 수직응력과 비교하여 개량 심도를 산정한 결과 DH608에 대한 철판 미사용시 개량심도는 0.7m이며, 철판을 사용시에는 0.3m로 나타났다. DH758에 대해서는 0.9m, 철판사용시 0.6m의 개량이 필요한 것으로 나타났다.

③ 건설장비의 주행성확보를 위한 고화처리지반의 일축압축강도는 $2kgf/cm^2$ 이상으로 목표강도를 설정하는 것이 필요한 것으로 판단되며, 일주일동안 고화시킨 시료의 일축압축강도가 약 $12kgf/cm^2$이므로 기준을 충족시키고 있다고 볼 수 있다.

다. 레미탈 및 칼라시멘트 활용성 평가

온돌미장용 모르타르는 시멘트, 모래, 물을 기본 구성재료로 하는 시멘트계 재료로써, 그 기본적 성능에 대한 경향은 콘크리트와 동일하다. 단, 모르타르에는 굵은골재가 포함되지 않고, 사용부위, 적용부재, 사용 환경 등 많은 점에서 콘크리트와 다른 점이 있다. 최근에 많이 쓰이고 있는 ‘레미탈’이라 부르는 건조모르타르는 균열문제에 대응하기 위해 시멘트와 모래 이외에도 무기질 혼화제, 균열방지제 등을 첨가하여 현장에서 기계 비빔하여 용이하게 쓰이고 있다.

기존의 레미콘 모르타르와 레미탈의 차이점은 모래의 입도관리와 혼화제 첨가 여부이다. 레미탈의 생산방식은, 모래를 건조기에서 완전 건조시키고, 선별기에서는 모래를 입도별로 분류하여 각 Silo에 저장한 후, 시멘트, 규격별 모래, 혼화제 및 각종 특성 개선제를 계량 후 혼합기

에서 혼합하여 포장 및 벌크 제품으로 출하한다.

과거에는 현장에서 시멘트와 모래에 물을 혼합한 현장배합모르타르가 사용되어 왔으나, '96년부터는 온돌바닥 모르타르에 관한 실험적 비교검토를 통하여 균열방지의 목적으로 폴리프로필렌 섬유를 첨가한 모르타를 사용하게 되었으며, 최근에는 공장에서 미리 혼합된 레미탈을 현장에서 혼합장비로 혼합 · 타설하는 방법이 일반화 되어 있다. 전국적으로는 신도시 건설 등의 고층화에 편승하여 공기단축, 인건비 절감을 위하여 펌프압송 등의 기계화 시공으로 전환되어 급속타설, 대량타설 및 시공의 간편화가 이루어졌지만, 반면에 물시멘트비가 증대하여 균열이 많이 발생됨으로서 공동주택의 중요한 하자문제로 등장하게 되었다.

이러한 하자문제를 해결하고자 시멘트를 온돌 미장용 모르타르에 사용하지 않고, 그 대신 사업장 폐기물로서 열병합발전소에서 발생하는 고칼슘 플라이애시, 고로슬래그 등의 순환자원을 복합적으로 이용하여 황산염 및 알칼리의 복합 자극에 의한 비정질 물질의 활성화 메커니즘과 포졸란 반응 활성화를 통한 신개념의 친환경 무기결합재를 활용한 온돌 미장용 모르타르로서, 적용 시 경제적이면서도 시공의 효율성 및 성능 향상과 함께 시멘트 사용량을 100% 대체하는 친환경 건설 환경을 확보할 수 있다.

또한 건설현장에 적용되는 재료 중 CO_2와 가장 관련이 깊은 시멘트의 사용량을 감소시키는 방안모색과 현장적용성이 우수한 시공에 관련된 연구의 필요성을 인식하고 이에 공동연구를 계획 하여 시멘트 100% 대체기술인 무기결합재를 활용한 온돌 미장용 모르타르의 실용화 연구를 협약을 통하여 D사에 현장 시공하였다.

(1) 실험계획 및 방법

① 실험계획

무기결합재의 바닥용 모르타르로의 적용 가능성을 평가하기 위해 1차년도 최적 배합으로 선정된 무기결합재와 보통 포틀랜드 시멘트를 결합재로 한 레미콘 모르타르, 그리고 H사 레미탈 제품의 성능을 비교하고자 하였다.

유동성을 평가하기 위해 플로우를 측정하였으며, 목표 플로우 200±20mm를 만족하는 물 모르타르비(W/R 비)를 선정하여, 동일한 시공성에서 각 결합재의 압축강도, 함수율, 균열특성을 살펴보았다.

② 배합

본 실험을 위한 결합재로는 국내 S사의 보통 포틀랜드 시멘트와 H사의 레미탈 일반형과 고급형 두 가지, 그리고 무기결합재 두 가지를 사용하여 그 성능을 비교하였으며, 잔골재는 절건상태의 골재를 사용하였다. 또한 플로우 200±20mm를 만족하는 W/R 비를 선정하였다.

실험 배합

NO.		배합	B : S	W/R
1	OPC	보통포틀랜드 시멘트	1:3	24%
2	NSB1	NHF4 시리즈		24%
3	NSB2	NHF3 시리즈		24%
4	H-1	H사의 기성 제품(고급형)		21%
5	H-2	H사의 기성 제품(일반형)		24%

- 균열저항성 평가 방법

균열특성 평가 방법으로는 1m×1m×0.5m의 목재 몰드를 제작하여, 숙련자의 바닥용 모르타르 미장작업을 통한 작업성과 함수율, 균열특성을 육안으로 평가하는 방법과 ASTM C 1581-04 기준의 링형 몰드를 통한 균열 특성을 평가하는 방법을 채택하였다.



(a) 판상형 균열평가



(b) 링형 균열평가

균열특성 평가 방법

- 화학수축량 평가

결합재의 수화과정 중 발생하는 체적변화를 측정하기 위해 피펫을 이용한 방법을 선정하였으며, 실험 방법 및 절차는 아래의 ①에서 ⑨와 같다.

· 측정 피펫(용량 5ml, 정확도 0.05ml)을 실리콘 마개 중앙에 삽입하여 설치한 후 피펫의 입구 부분이 실리콘 마개 하단부에서 약 2mm 정도 돌출되도록 한다. 그리고 실리콘 마개와 피펫을 방수접착제로 고정한다.

· 샘플 유리병(높이 50mm정도, 용량은 50ml)의 무게를 0.1g까지 측정한다.(M1)

· 샘플 유리병에 시멘트 페이스트를 넣고 무게를 측정한다.(M2)이때 진동 다짐 등을 통해 페이스트 내부의 공기를 최대한 제거한다.

· 석회 포화수 또는 물을 시멘트 페이스트의 표면을 유지하면서 주의 깊게 샘플 유리병에 채운다. 이때 사용되는 물은 24시간전 100℃정도에서 끓인 후 식혀 내부의 공기를 제거한 후 사용한다.

· 측정 피펫이 고정된 실리콘 마개를 샘플 유리병에 수직으로, 샘플 유리병에 공기가 생기지 않도록 조심히 고정시킨다.

· 측정 피펫에 석회 포화수 또는 물을 추가한다.

· 유색의 파라핀 오일을 넣어 수분의 증발을 막는다. 또는 파라핀 랩으로 피펫의 윗부분을 포장하여 수분의 증발을 막는다.

· 시험체를 20±3℃에 보관하면서, 측정피펫의 윗부분의 물의 눈금을 기록한다.(H0)

· 적정한 시간간격으로 물의 눈금을 기록한다.(Hn)

계산은 시멘트 페이스트의 초기 부피(ml)를 아래 식에 의해 산정하며,

$$V_P = \frac{(M_2 - M_1) \times (W/C + 1/G_9)}{W/C + 1}$$

여기서 W/C는 물시멘트비, Gg는 시멘트 단위중량 화학 수축 비율은 아래의 식으로 산정한다.

$$S_{hyn} = \frac{Hn - Ho}{Vp} \times 100\ (\%)$$

여기서 Shyn은 재령 n에서의 화학적 수축 비율이다.



피펫법에 의한 화학적 수축량 측정

3) 실험결과 및 고찰

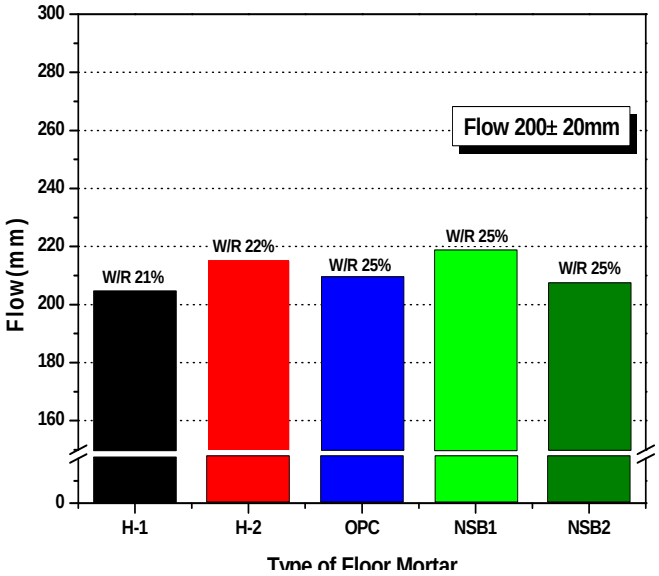
① 유동성 및 강도 평가 결과

LH 전문 시방서에 제시되어있는 Flow 200±20㎜을 확보하기 위해서는 OPC 및 NSB의 경우 기성제품과 비교하여 가수량이 3~4%정도 더 필요하였는데 이는 유동성 증진을 위한 혼화제 첨가 등을 하지 않았기 때문으로 사료되었으며, 기존 제품 대비 모르타르 흐름성은 유사한 수준이며, 판상형 균열 평가시 정성적인 마감성 평가를 실시한 결과 다른 결합재와 유사한 작업성을 확인할 수 있었다.



OPC NSB1 NSB2 H-1 H-2

시공성 평가 결과

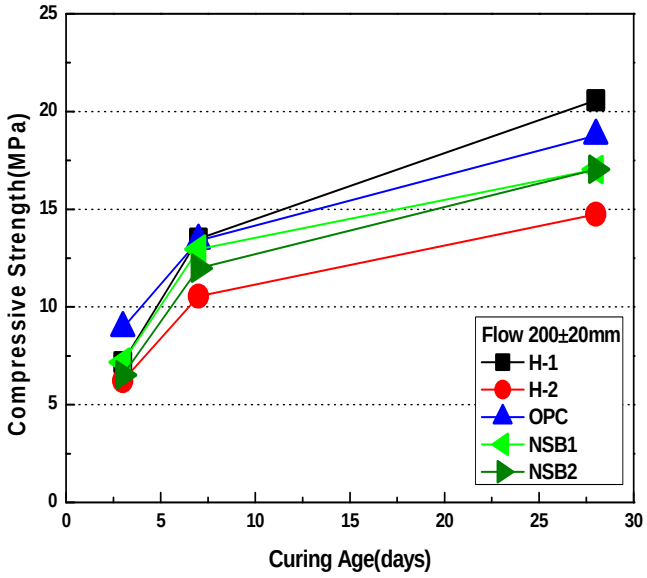


유동성 측정 결과

바닥용 모르타르의 압축강도 측정결과로, 강도발현 성상은 H-2가 가장 낮게 측정되었으며, NSB1, 2의 강도는 OPC와 거의 유사한 측정값을 보였으며, 휨강도 역시 같은 경향을 나타내었다. 또한 모든 경우에서 LH공사 전문시방서 기준인 28일 강도 14.7MPa 이상을 만족하였다.

재령별 압축강도 및 휨강도 측정 결과

구분	압축강도(MPa)			휨강도(MPa)		
	3일	7일	28일	3일	7일	28일
H-1	8.37	12.84	16.24	1.71	2.02	2.93
H-2	4.65	8.91	14.37	1.04	1.92	2.57
OPC	10.16	13.94	17.96	2.42	2.94	3.48
NSB1	9.17	14.87	18.49	2.54	2.81	3.14
NSB2	8.45	16.23	18.79	2.06	2.54	3.00



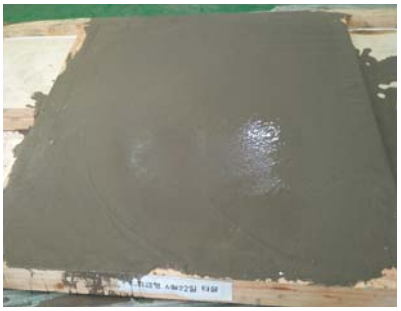
압축강도 측정 결과

② 균열저항성 평가 결과

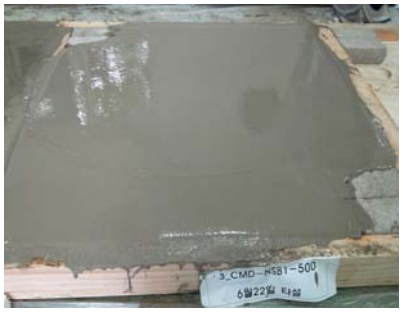
1m×1m×0.5m의 판상 몰드를 제작, 구속조건과 비구속 조건의 바닥용 모르타르 미장작업을 실시한 후 그 균열특성을 육안으로 평가한 결과, 타설 2주 후에도 모든 경우에서 균열이 발생하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

레미탈 일반형		
	구속 조건	비구속 조건
타설 직후		
타설 1주일 후		

판상 균열특성 평가결과 1-H사 레미탈 일반형

레미탈 고급형		
	구속 조건	비구속 조건
타설 직후		
타설 1주일 후		

판상 균열특성 평가결과 2 - H사 레미탈 고급형

NSB1		
	구속 조건	비구속 조건
타설 직후		
타설 1주일 후		

판상 균열특성 평가결과 3 - NSB1

NSB2		
	구속 조건	비구속 조건
타설 직후		
타설 1주일 후		

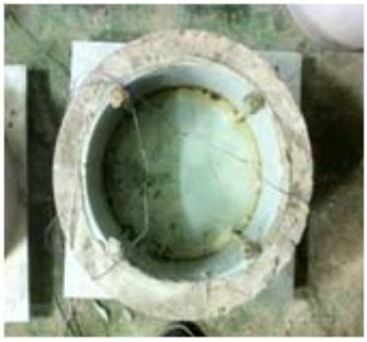
판상 균열특성 평가결과 4 - NSB2

OPC		
	구속 조건	비구속 조건
타설 직후		
타설 1주일 후		

판상 균열특성 평가결과 5 - 일반 레미콘 모르타르

ASTM C 1581-04 기준의 링형 몰드를 통한 균열 저항성을 평가한 결과, H사 레미탈 제품은 제품 제조시 수축저감형 재료가 프리믹스 되어 있으며, 고급형의 경우 감수효과에 의해 건조수축 저감을 유도한 제품으로, 무기결합재 NSB2의 경우 시판 레미탈과 유사한 균열 저항성

의 확보가 가능한 것을 확인할 수 있었다.

OPC	H-1	H-2
		
균열 발생(10일경과 후)	균열 미발생	균열 미발생

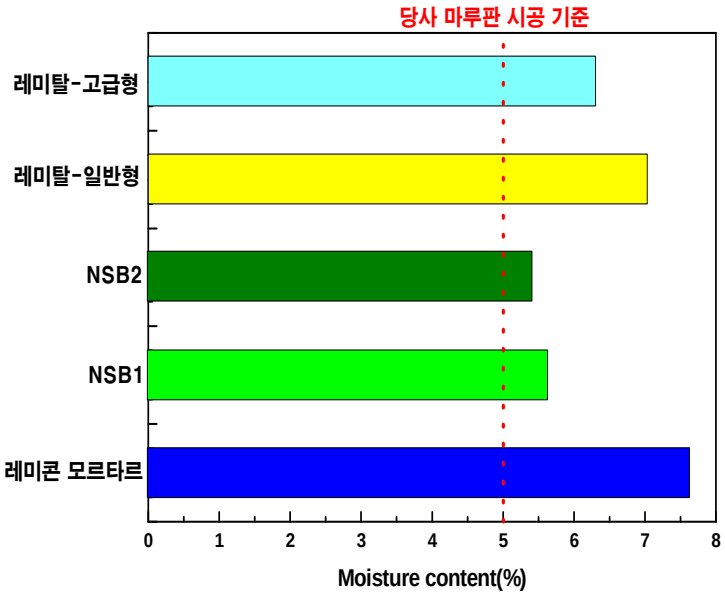
링형 균열 저항성 평가 결과

NSB1	NSB2
	
균열 발생(12일 경과 후)	균열 미발생

링형 균열 저항성 평가 결과(계속)

③ 함수율 평가 결과

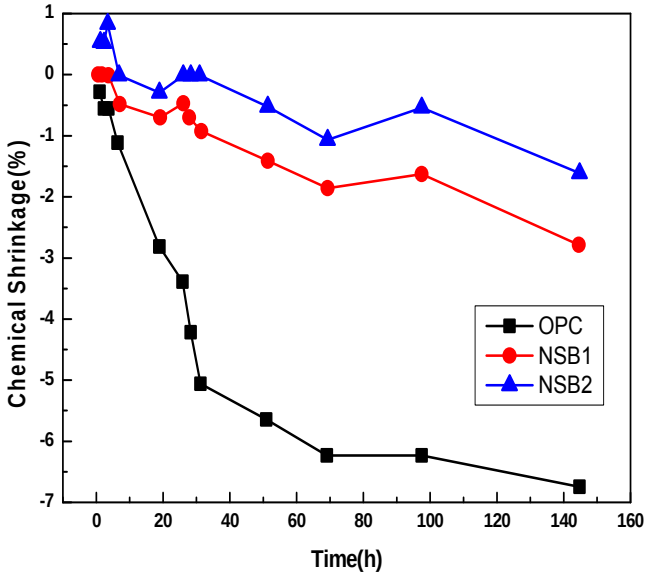
당사 마루판 시공 기존에 의하면 바닥 모르타르의 함수율은 최소 5% 확보 후에 마루공사를 착수하는 것이 기준으로, 시공한지 56일이 경과한 시험체의 함수율을 측정한 결과 NSB의 경우 5.4~5.6%로 기존 레미탈 제품에 비해 우수한 수준의 함수율을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.



함수율 측정 결과

④ 화학적 수축 평가 결과

피펫법에 의한 무기결합재 수화반응 과정 중 발생하는 체적 변화를 측정한 결과 OPC에 비해 수축량이 매우 적으며, NBS2의 경우 배합 후 10시간 전까지는 오히려 체적이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 알칼리자극제로 활용한 열병합발전소 플라이애시에 포함된 CaO의 영향 때문으로 판단되었으며, CaO 성분이 물과 반응하여 $Ca(OH)_2$를 형성할 때 생기는 체적 팽창으로 인해 결합재의 수화반응 메커니즘에 의한 수축량을 보상하여 타설 직후 2~4시간에 일어나는 소성 수축을 저감하는 효과가 발현될 것을 예측할 수 있었다.



화학적 수축 평가 결과

⑤ 현장 시험시공

- 표준 바닥 구조

본 연구를 통하여 개발된 무기결합재를 현장 시험시공을 하기위하여 대전광역시 유성구 신성동 217-3 대림산업대덕연구소 건축환경연구센터 1층에 위치한 현장에 개발 제품인 무기결합재와 일반 레미탈을 각각 세대 내에 구분하여 타설 후 비교실험을 실시하였다.

현장 시험시공계획

적용일시	2012년 9월 24일(월)
적용 재료	개발 제품(무기결합재(NSB 1) VS 일반 레미탈
적용 방법	세대 내를 1/2로 구분하여 타설 후 비교



1.층간차음재 설치　　2.기포콘크리트 타설　　3. 온수 배관 설치



4. 바닥모르타르 타설　　5. 타설 완료

현장 시공 장면



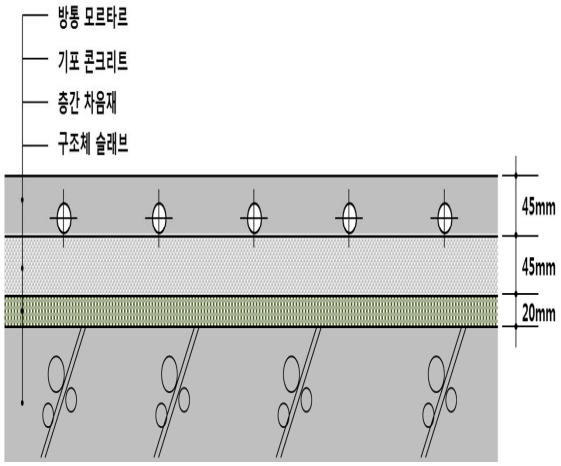
균열 모니터링

- 반건식 바닥 구조

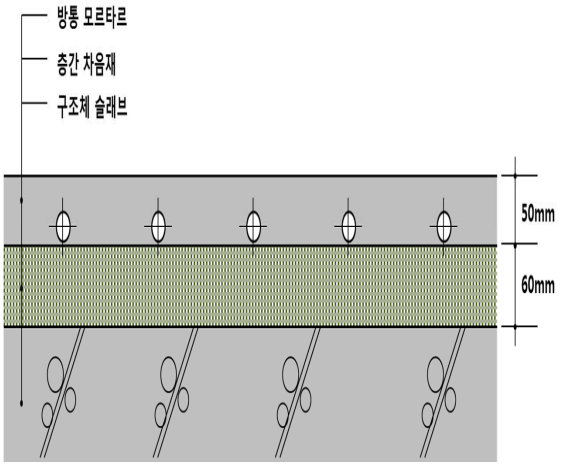
본 현장 시험시공은 기존의 표준 바닥 구조 보다 층간 차음재를 선 시공 후 개발되 무기결합재를 타설하는 신공법으로서 층간의 차음 성능을 향상 시킬 목적으로 기포콘크리트 대신 층간 차음재의 두께를 증가시켜 선시공 후 타설 시킨 바닥재로 이러한 공법을 적용시켜 무기결합재(NSB 1)을 시공하였다.

현장 시험시공계획

적용일시	2012년 12월 14일(월)
적용 재료	개발 제품(무기결합재(NSB 1)
적용 방법	반건식 층간 차음재 시공 후 모르타르 시공



표준바닥구조



반건식 바닥구조



반건식용 층간 차음재 단면



반건식용 층간 차음재 시공장면



무기결합재 모르타르 레미콘 공장 생산



타설 장비



무기결합재 모르타르 타설



미장



바닥 시공 완료 후 장면 (2012년 12월 26일)

(3) 소결

무기결합재를 활용한 바닥용 모르타르에 대한 실험결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

① 무기결합재를 활용한 바닥용 모르타르의 경우 기존 레미탈 제품에 비해 동등한 유동성을 확보하기 위해서는 3~4% 정도 가수량을 늘려야 하고, 같은 배합 조건에서 압축강도는 동등 이상을 발현하였다. 이는 무기결합재의 경우 별도의 혼화제를 첨가하지 않은 결과로 레미탈 제품에 비해 보다 경제적인 방법으로 유동성 및 시공성 확보가 가능함을 확인할 수 있었다.
② 또한 작업성 및 함수율 평가결과 기존 제품 동등이상으로 바닥용 모르타르 요구성능에 맞는 결과를 확인할 수 있었다.
③ 무기결합재의 화학수축량 평가 결과 OPC에 비해 수축량이 매우 적으며, NBS2의 경우 배합 후 10시간 전까지는 오히려 체적이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 이는 알칼리자극제로 중의 CaO 성분으로 인한 팽창성 때문으로 판단되었으며, 이로 인해 타설 직후 2~4시간에 일어나는 소성 수축을 저감하는 효과가 있어 균열저항성이 증가한 것으로 판단되었다.

라. PHC파일 채움재 활용성 평가

최근 건설공사는 원가절감을 위해 파일의 수량을 감소시킬 목적으로 기성 PHC 말뚝의 선단 확장을 통해 선단지지력을 증가시켜 파일의 수량을 감소시킬 목적으로 선단확장형(SPHC) 파일을 도입하여 대부분의 건설현장에 적용하고 있다. 그러나 파일의 선단이 확장되면서 천공크기가 비례적으로 커지기 때문에 주입해야 할 시멘트 페이스트의 주입량 또한 증가하는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 기존 시멘트 페이스트를 대체할 저가형 파일 채움재의 개발이 절실히 필요한 시점이다.

파일기초공사시의 소음과 진동의 규제가 강화되는 추세에 따라 매입공법의 파일공사가 증가하고 있으며, 최근 대규모 건설공사가 진행되고 있는 곳의 대부분이 매립지 또는 해안가 및 4대강 유역이 주를 이루고 있다. 이 지역들은 기초 지반이 연약하여 기초 시공 시에는 매입말뚝의 설치를 위한 천공 시 현장 발생토가 대량으로 생기고 있는데, 일반적인 토사와는 달리 매립지의 뻘과 슬러리와 같은 현장 발생토는 폐기물로 처리되어지고 있는 실정이다.

매입공법은 필연적으로 굴착토가 발생되기 때문에 폐토사 반출을 위한 공사비(운반비)가 발생하며, 파일 주면에는 시멘트 페이스트 주입에 따른 비용이 추가 된다. 특히, 폐토사는 해양매립토 등으로 일부 처리되고 있지만 환경적인 문제를 야기할 가능성이 있어 굴착토의 재활용을 위한 새로운 방안이 요구되어지고 있다.

대부분 파일채움재로 포틀랜드 시멘트를 사용하고 있으나 토질의 영향을 많이 받는 특성으로 인하여 니분이 많은 토질에 적용하였을 때 시멘트의 응결 지연 문제가 발생할 우려가 있다. 포틀랜드 이 외에도 연약지반보강 및 차수재에 고결재의 부원료로 벤토나이트, 무수석고, 생석회가 사용되고 있다. 그러나 벤토나이트와 석고는 국내에 부존하고 있지 않은 수입 광물이며, 생석회 또한 석회석과 같은 문제가 제기되고 있다. 기존의 대체 재료는 가격이 비싸고 가공방법이 어려워 한정적으로만 사용되고 있다.

이에 본 실험에서는 시멘트를 대체할 수 있는 친환경 파일 채움재를 적용하고 효과적인 재활용 기술을 적용하고 시멘트의 동등 이상의 강도를 발현시키고자 한다.



PHC 파일 문제점

(1) 실험 계획 및 방법

① 실험계획

본 연구에서 적용된 PHC 파일 채움재는 기존에 사용되고 있는 시멘트 페이스트와 대체재로서 활용하고자 하였으며, 한국토지주택공사의 전문시방서 중 주택건설공사 전문시방서 30535에 준하여 유동성 및 압축강도를 실시하였다. 또한 현장 적용을 위하여 서울시 마곡지구 00건설현장에 발생토를 5mm 체를 이용하여 분리한 다음 5mm 체를 통과한 자연상태의 토사만을 사용하였다.

실험계획

NO.	흙 혼합율	W/B	시험방법
OPC	0	· 68% · 83%	· 유동성 · 압축강도
	50		
	60		
	70		
	100		
NSB	0		
	50		
	60		
	70		
	100		
SOIL 7000	0		
	50		
	60		
	70		
	100		

② 실험방법

PHC 파일 채움재의 성능을 확인하기 위해 ASTM D6103에 준하여 80mm(직경)×80mm(높이) 원형 실린더로 유동성을 평가하였으며, 압축강도는 KS F 2405에 준하여 측정 하였다.

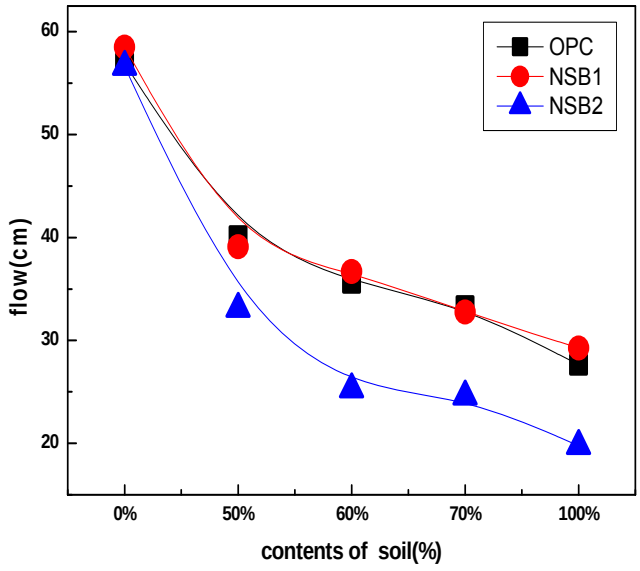


유동성평가 시험장치

(2) 실험 결과 및 고찰

① 유동성

PHC 파일채움재의 유동성은 원형실린더를 이용하여 평가하였으며, 일반적인 다짐 없이 잘 채워지기 위해서는 플로우가 실린더 직경의 2배 이상을 만족하여야 한다. 흙의 혼합비에 따른 무기결합재의 유동성 측정 결과 OPC, NSB 1, NSB 2의 0%에서는 실린더 직경 80mm의 약 7.2배를 만족하였으며, 100%의 경우 OPC 대비 NSB 2에서 약 10cm 정도 적은 것으로 나타났으며, NSB 1에서는 OPC와 동등한 유동성을 나타내었다.



흙의 혼합비에 따른 채움재의 유동성

② 압축강도

압축강도의 측정은 50ton 용량의 U.T.M(만능시험기)을 이용하여 측정하였으며, 각각의 재료에 흙을 0%, 50%, 60%, 70%, 100%를 실내 실험을 통하여 압축강도 측정 결과를 나타내었다. 그 결과 NBS 경우 OPC와 유사한 압축강도를 보이고 있으며, NSB를 현장에 적용하였을 경우 일정 강도를 발현하여 주면 마찰력에 영향을 미칠 수 있겠지만, 소요강도 이상에서는 채움재가 주변 지반의 강도 이상이 되기 때문에 채움재와 주변 지반 사이의 마찰력 향상에는 큰 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다.

- 혼합비에 따른 고화토의 압축강도

OPC의 경우 흙 혼합비 0%와 비교하여 50%, 60%, 70%, 100%에서 약 1.5배의 낮은 강도를 보이고 있으며, 50% 이상 혼입 하였을 때 혼합비 따른 차이는 유사한 것으로 나타났다.

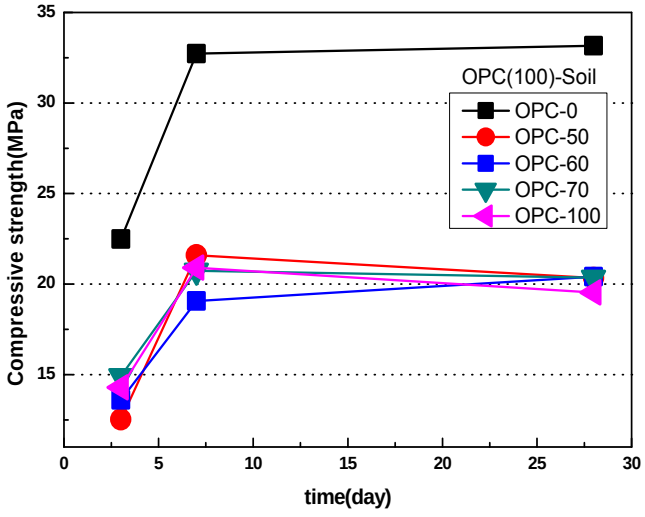
NSB의 경우 OPC와 마찬가지로 흙 혼합비 0%와 비교하여 50%, 60%, 70%, 100%에서 낮은 강도를 보이고 있으며, 흙 혼합비 50%에서 60%, 70%보다 낮은 강도를 보이고 있으나 이는 혼합비에 따른 영향 보다 실험적 오차인 것으로 판단된다.

SOIL-7000의 경우 흙 혼합비 0%와 비교하여 흙 혼입에 따른 압축강도는 증가하는 것으로 나타났다.

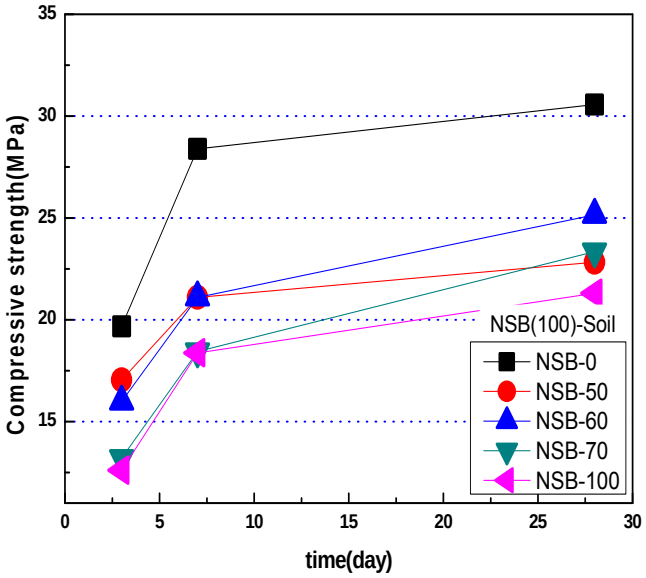
- W/B 에 따른 압축강도

물 결합재비에 따른 압축강도 측정 결과 W/B=68%에서는 OPC와 비교하여 SOIL-7000의 경우 7.4 MPa로 가장 낮은 압축강도를 보이고 있으나 NSB의 경우 OPC과 유사한 강도를 보이고 있다.

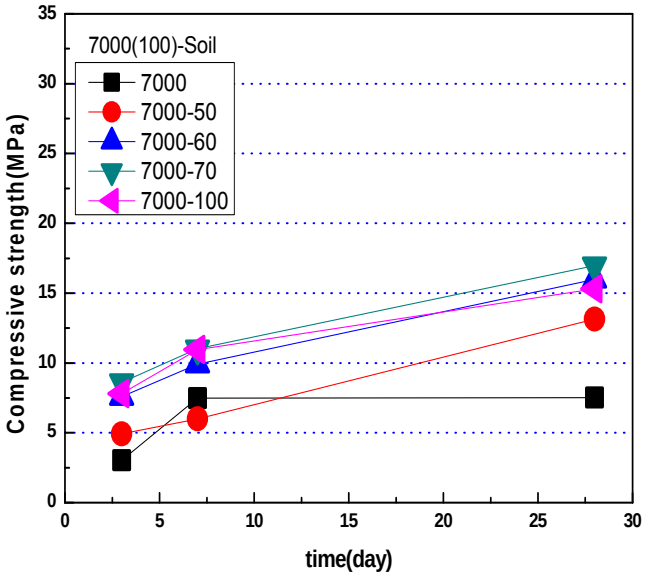
또한 W/B=83%에서도 68%와 유사한 경향을 보이고 있으며, 물 결합재비가 높을수록 낮은 압축강도를 나타내었다.



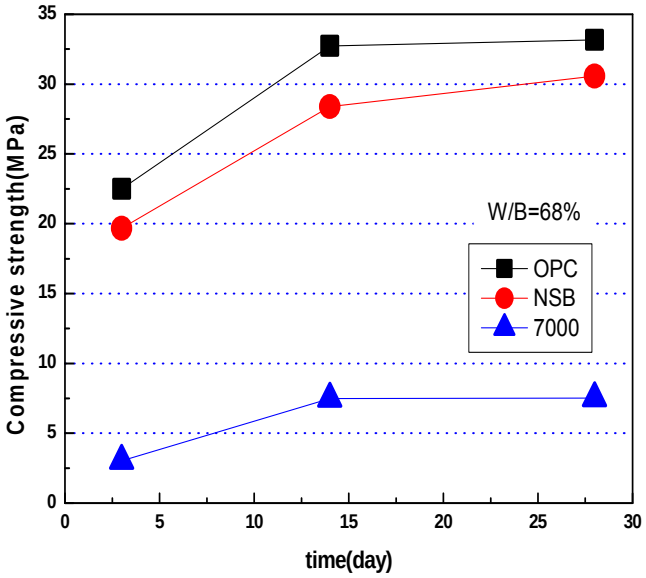
흙의 혼합비에 따른 흙-OPC 고화토의 압축강도



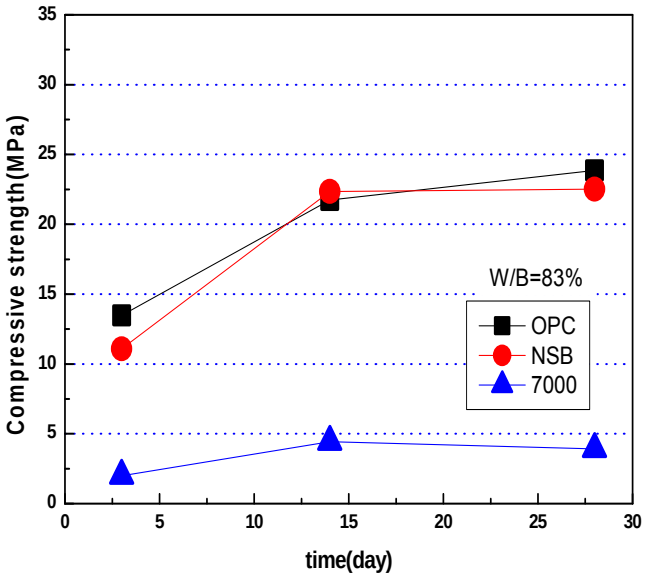
흙의 혼합비에 따른 흙-NSB 고화토의 압축강도



흙의 혼합비에 따른 SOIL-7000 고화토의 압축강도



채움재(W/B=68%)의 압축강도



채움재(W/B=83%)의 압축강도

(3) 소결

본 실험에서는 PHC 파일 채움재로서 사용되는 기존의 시멘트 페이스트를 대체함과 동시에 경제성과 환경성을 고려하여 현장에서 발생되는 발생토를 파일 채움재로서 재활용하기 위한 현장 적용성을 평가를 다음과 같은 결론을 나타내었다.

① 유동성에서 OPC, NSB 1, NSB 2의 0%에서는 실린더 직경 80mm의 약 7.2배를 만족하였다.

② 또한 NSB 1에서는 OPC와 동등한 유동성을 나타내었다.

③ 압축강도에서 NBS 경우 OPC와 유사한 압축강도를 보이고 있다.

④ 또한 NSB를 현장에 적용하였을 경우 일정 강도를 발현하여 주면 마찰력에 영향을 미칠 수 있겠지만, 소요강도 이상에서는 채움재가 주변 지반의 강도 이상이 되기 때문에 채움재와 주변 지반 사이의 마찰력 향상에는 큰 영향을 미치지 못할 것으로 판단된다.

마. 콘크리트 2차 제품용 결합재 활용성 평가

1990년대 이후 산업발달로 인하여 고층아파트 및 주상복합건물의 지속적인 증가와 실내공간이 대형화됨에 따라 실내용 바닥재의 수요가 증가하면서 기성테라조에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

기성테라조는 인조석의 일종으로 화강암과 같은 돌 조각에 백색시멘트를 넣어 견고하게 굳힌 후 미려한 무늬와 광택이 나도록 연마해서 제작된 것으로 기성테라조 표면은 60%정도의 대리석 종석과 40%의 백색시멘트로 이루어져있으며, 특히 백색시멘트는 주성분이 실리카, 알루미나 및 석회를 함유하는 원료를 적당한 비율로 충분히 혼합한 후 용융, 소결의 과정을 거쳐 얻어진 클링커에 적당량의 석고를 첨가하여 분쇄과정을 거쳐 얻어진다.

이러한 백색시멘트는 시멘트와 제조 공정은 같으나 원재료에 대한 요구가 까다로워 보통 포틀랜드 시멘트를 사용할 때보다 제조원가가 높으며, 국내 백시멘트 생산업체의 독점과 해외 백시멘트 업체들의 덤핑수입으로 인한 국내산업의 실질적 피해가 우려되어 이에 대한 대체 재료가 필요한 실정이며, 시멘트의 경우 시멘트 1톤 생산시 약 0.8톤을 상회하는 CO_2가스를 발생하며, 현재 많은 연구의 경우 기존 보통포틀랜드시멘트 중심에서 무기결합재인 슬래그나 플라이애시를 치환하여 사용하거나 각각의 재료를 혼합하여 사용하는 방법을 그 대안으로 제시하고 있다.

따라서 산업부산물의 안정적 처리와 더불어 이를 기성테라조로 상용화 하기 위해 기존 백색시멘트를 전혀 사용하지 않고 환경적으로 안정성이 확인된 순환자원을 적극적으로 활용하고자 한다.



NSB를 활용한 콘크리트 2차제품 활용도

(1) 실험 계획 및 방법

① 실험 개요

본 연구에서 백색도가 높은 고로슬래그 미분말을 바탕으로한 무기 무기결합재를 백색시멘트로 활용하기 위해 KS L 5204 백색포틀랜드 시멘트와 KS L 5113 백색포틀랜드 시멘트의 백색도 시험 방법, KS L 5106 공기 투과 장치에 의한 포틀랜드 시멘트의 분말도 시험방법을 중심으로 전문기관에 의뢰하여 각 제품이 가지는 물리적 특성을 분석하였으며, 기존 백색시멘트와 비교하여 압축강도를 측정하였다. 또한 분석 결과를 토대로 시제품 생산을 전북 김제시 흥사동에 위치하고 있는 H사와 경기도 평택시 청북면에 위치한 S사에서 주로 생산하고 있는 테라조 타일과 보도블록을 무기결합재를 적용하여 생산 하였다.

실험계획

결합재 종류	2차제품 종류	측정항목
● 기존 백색시멘트 ● 무기결합재(NSB 1)	● 테라조 타일 ● 테라조 블록	● 분말도 ● 백색도 ● 압축강도

② 사용재료

본 연구에서 사용된 재료로는 당사에서 개발한 고로슬래그 미분말을 바탕으로 한 NSB 1과 국내 U사의 백색시멘트를 사용하였으며, 제품에 대한 화학적 성질은 아래와 같다.

화학적 성질

	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	Ig.loss
KS규정백색시멘트	-	-	0.5	-	5.0	3.0	3.0
U사 백색시멘트	20.60	4.52	0.36	68.69	1.26	3.94	1.7
NSB 1	30.84	13.48	0.45	46.02	5.1	5.1	0.79

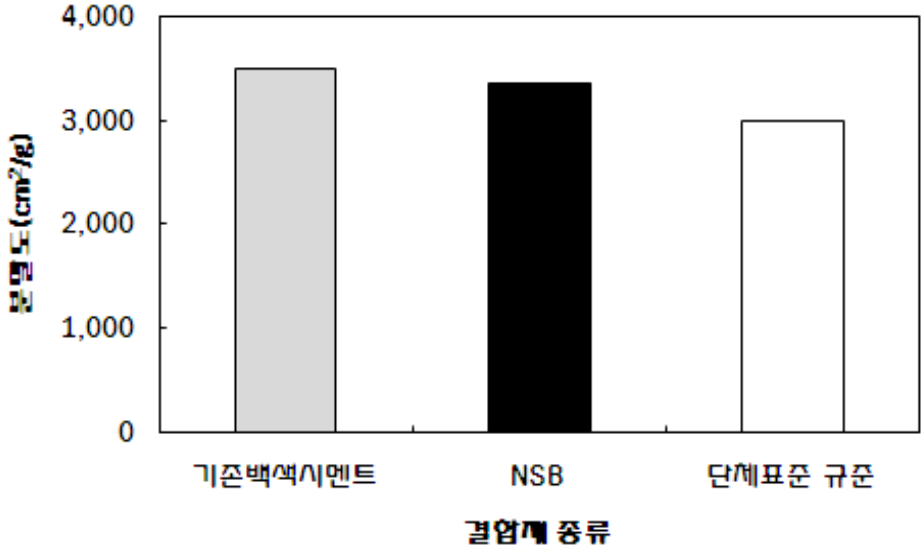
(2) 실험 결과 및 고찰

① 기본 물리적 성질 및 물리적 평가

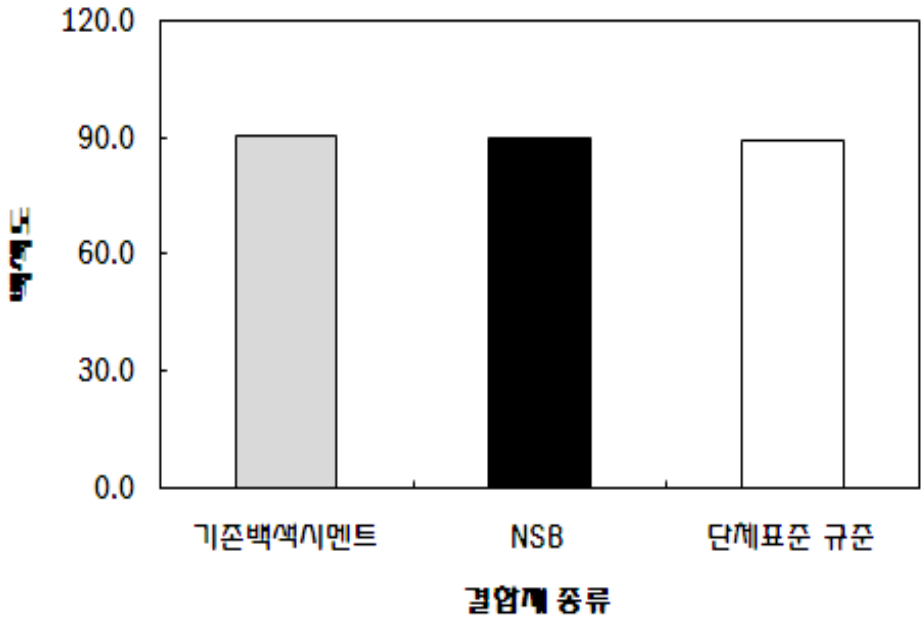
기본 물리적 성질은 기존 백색시멘트와 비교하여 고로슬래그 미분말, 플라이애시를 활용한 무기결합재의 분말도에서는 기존 백색시멘트 3,500㎠/g, NSB 1 3,350㎠/g으로 약간의 차이를 보이고 있으나, 백색도에서는 유사한 것으로 나타났으며, KS 기준에 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한 물리적 평가로서 압축강도에서는 기존 백색시멘트와 비교하여 3일 강도에서 약 33% 감소하였으나, 28일 강도에서 약 27% 증가하는 것으로 나타났다.

실험 결과

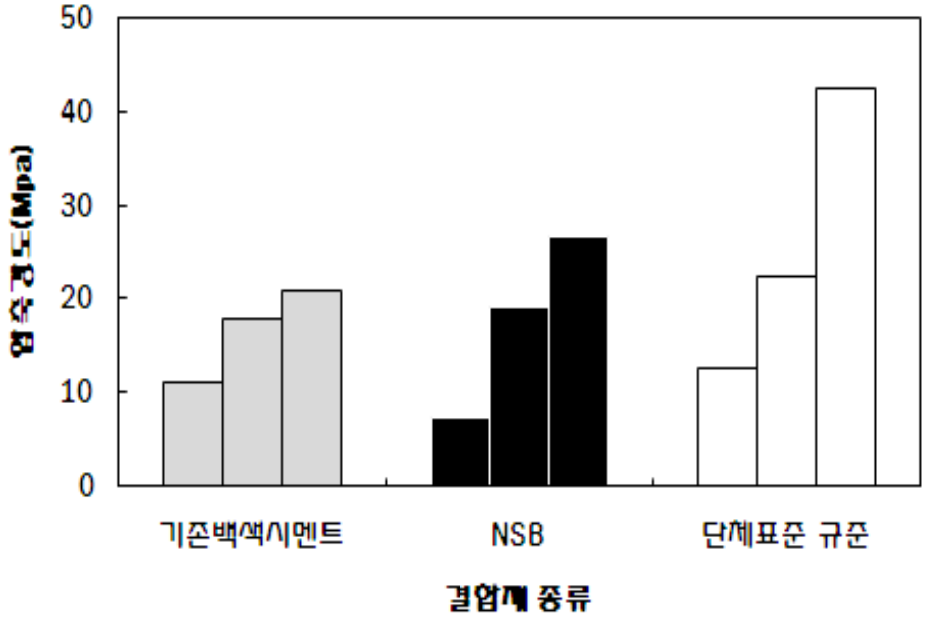
물리적 성질평가		기존 백색시멘트	NSB 1	단체 표준 규격
분말도(㎠/g)		3,500	3,350	3,000 이상
백색도		90.5	90.1	89 이상
압축강도 (MPa)	3일	11.01	7.27	12.50
	7일	17.88	19.17	22.50
	28일	20.78	26.59	42.50



분말도 시험 결과



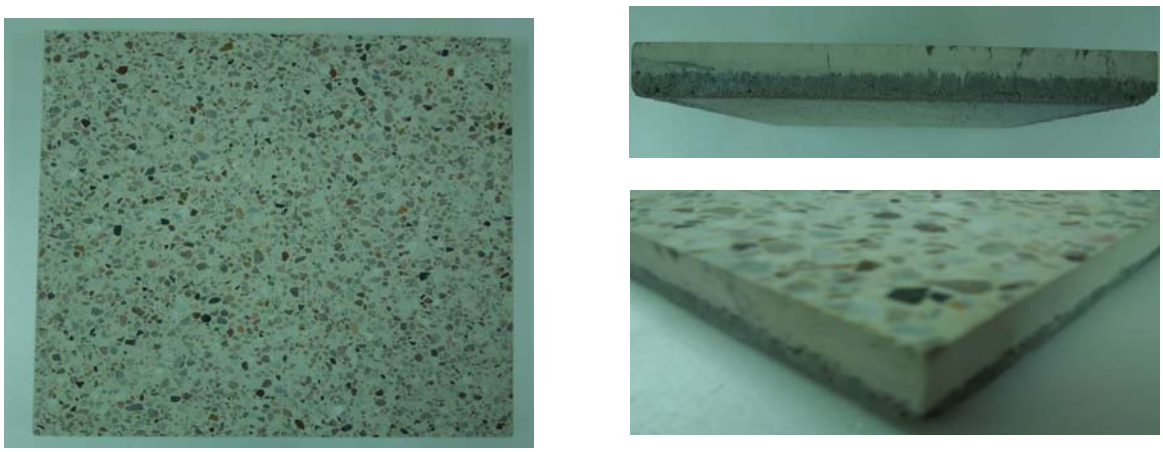
백색도 시험 결과



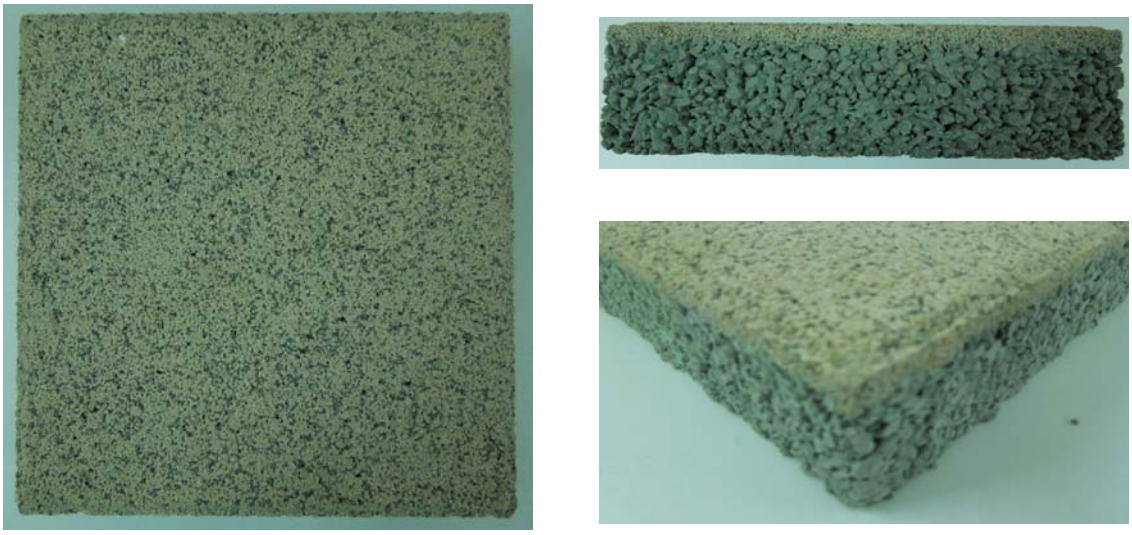
압축강도 시험 결과

② 시제품 생산

본 연구에서 생산한 무기결합재를 사용한 시제품 생산은 KS F 4018에 적합한 것으로 끝마무리 종석과 무기결합재를 혼합 후 표면에 깔고 강철제 흙손으로 끝손질한 다음 충분한 경화 후 탈형시켜 5일 정도 수중양생을 하였다. 마무리면은 표면갈기 하거나 반듯하고 매끈하게 하여 수산 및 왁스로 광택을 낸 400mm×400mm×25mm의 테라조 타일과 200mm×200mm× 60mm의 보도블록 제품으로 이러한 기본물리적 성질을 분석한 결과를 토대로 시제품을 생산한 결과 무난하게 생산이 가능할 것으로 나타났으며, 기성테라조의 다양한 제품에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.



테라조 타일



보도블록

(3) 소결

무기결합재를 활용한 콘크리트 2차 제품용 결합재 활용성 평가에 대한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

① 물리적 성질 측정결과 기존 백색시멘트와 비교하여 분말도 및 백색도에서 약간의 차이를 보이고 있으나 유사하다.

② KS 기준에 모두 만족하는 것으로 나타난다.

③ 압축강도측정결과 단체 표준 규준에 미치지 못하였으나 기존 백색시멘트와 비교하여 3일 강도에서 약 33% 감소, 28일강도에서 약 27% 증가하는 것으로 나타났다.

④ 기본물리적 성질을 분석한 결과를 토대로 시제품을 생산한 결과 무난하게 생산이 가능할 것으로 나타났다.

⑤ 또한 기성테라조의 다양한 제품에 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

the way to trust KCL

6639-8107-2248-6996

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT14-083742
2. 의 뢰 자
   - ○ 업 체 명 : (주) 씨엠디기술단
   - ○ 주 소 : 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443 우석대학교 본관 808호
   - ○ 의뢰일자 : 2014.08.07
   - ○ 시험발급일 : 2014.09.29
3. 시험성적서의 용도 : 품질관리
4. 시 료 명 : NSB-2A(백색무기결합재)
5. 시험방법
   (1) KS L 5210 : 2006 (2) KS L 5113 : 2008
   (3) KS L 5120 : 2004 (4) KS L 5201 : 2013

확인	작성자 성 명	김재신	기술책임자 성 명	조민정

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

한국건설생활환경시험연구원장

전북지원 : 561-330 전라북도 전주시 덕진구 여산로 136 (여의동) 063-271-9942
결과문의 : 전북지원 ☎ (063)271-9942

백색 무기결합재 공인시험성적서

the way to trust KCL

시험성적서

성적서번호 : CT14-083742

6. 시험결과

1) NSB-2A(백색무기결합재)

시험항목	단위	시험방법	시험결과
안정도	%	(1)	0.06
백색도	-	(2)	90.0
SO3	%	(3)	2.78
강열 감량	%	(3)	1.65
응결시간-초결	분	(4)	160
응결시간-종결	시간:분	(4)	4:30
압축강도-재령 3일	N/㎟	(4)	25.3
압축강도-재령 7일	N/㎟	(4)	34.0
압축강도-재령28일	N/㎟	(4)	51.9
분말도(브레인)	㎠/g	(4)	4 200

※ 시험편 의뢰자 제시

---- 이 하 여 백 ----

백색 무기결합재 공인시험성적서

the way to trust KCL

8231-7097-6943-6675

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT14-086992
2. 의 뢰 자
   - ○ 업 체 명 : (주) 씨엠디기술단
   - ○ 주 소 : 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443 우석대학교 본관 808호
   - ○ 의뢰일자 : 2014.08.19
   - ○ 시험발급일 : 2014.09.26
3. 시험성적서의 용도 : 품질관리
4. 시 료 명 : 기성테라조
5. 시험방법
   (1) 폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2014-31호) (2) KS F 4035 : 2012

확인	작성자 성 명	한소애	기술책임자 성 명	조민정

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

한국건설생활환경시험연구원장

전북지원 : 561-330 전라북도 전주시 덕진구 여산로 136 (여의동) 063-271-9942
결과문의 : 전북지원 ☎ (063)211-0326

콘크리트 2차제품(기성테라조) 공인시험성적서

the way to trust KCL

시험성적서

성적서번호 : CT14-086992

6. 시험결과

1) 기성테라조

시험항목	단위	시험방법	시험결과
납-ES 06402.2	㎎/L	(1)	불검출 (정량한계 0.04)
카드뮴-ES 06405.2	㎎/L	(1)	불검출 (정량한계 0.002)
비소-ES 06403.2	㎎/L	(1)	불검출 (정량한계 0.005)
수은-ES 06404.1	㎎/L	(1)	불검출 (정량한계 0.0005)
흡석률	%	(2)	51
휨강도	N/㎟	(2)	5.6
내마모성	g	(2)	0.08

---- 이 하 여 백 ----

콘크리트 2차제품(기성테라조) 공인시험성적서

5. ZEB기반 제품화 요소기술 개발

대부분의 건설현장에서 결합재로 사용하는 시멘트를 제조하기 위해서는 많은 자원과 에너지를 소비하여야 한다. 특히 시멘트 제조는 지구온난화의 주요 원인으로 지적되고 있고, 시멘트 1kg을 제조하는데 CO_2가스를 약 950g을 방출하는 것으로 알려져 있으며, 시멘트의 제조과정에서 발생하는 온실가스 배출량은 연간 약 135만톤 정도로 대기 중에 배출되는 전 세계 온실가스 배출량의 7%를 차지하고 있다. 또한 시멘트를 생산함에 있어 주원료는 석회석이며 이를 채광하는 과정에서 발생되는 산림의 훼손이나 부산물은 환경에 보다 많은 부담을 주고 있는 실정이다.



무분별한 석회석 채굴현장

이와 관련된 문제를 해결하는 방안의 일환으로 고로슬래그와 같은 산업부산물을 활용하여 시멘트 대체재로 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있다. 포틀랜드 시멘트에 치환되어 사용되는 고로슬래그의 양만큼 포틀랜드 시멘트 클링커의 생산량을 저감시킬 수 있기 때문에 이들의 제조 원료인 석회석의 열분해시 발생되는 이산화탄소의 발생을 감소시킬 수 있는 환경친화적인 재료이다.

고로슬래그, 플라이애시 등의 산업부산물을 활용한 Cement-Zero형 무기결합재는 잠재수경성을 가지고 있어 보통 포틀랜트 시멘트와 비교하면 초기강도는 미약하지만, 알칼리 자극에 의해 경화와 시멘트 수화물인 수산화칼슘이나 황산염의 작용에 의해 경화가 촉진되어 보통 포틀랜드시멘트만으로는 얻을 수 없는 우수한 특성을 확보할 수 있다. 즉, 수화발열속도의 저감 및 온도상승의 억제, 장기강도의 향상, 수밀성의 향상, 염화물 이온 침투억제에 의한 철근의 발청억제, 황산염 등에 대한 화학저항성의 향상 및 알칼리실리카 반응의 억제에 효과가 있다.

또한 순환자원을 활용한 Cement-Zero형 무기결합재 개발에 성공하면 클링커 생산에 필요한 석회석 등의 광물자원 고갈을 방지하고, 클링커 제조에 소모되는 연료/동력을 절약 할 수 있으며, 더 나아가 석회석 채광 및 운송에 따른 비산분진, 진동, 소음 등 환경부하를 줄일 수 있고 석회석 채굴에 따른 산림자원의 훼손 방지에도 도움을 줄 것으로 생각된다. 또한, 산업폐기물의 매립에 따르는 환경적, 경제적 부하를 감소시킬 수 있다.

최적 배합 1

명칭		무기결합재(%)			
		OPC	고로슬래그 미분말	알칼리자극제	폐석고
OPC	보통포틀랜드 시멘트	100	-	-	-
NSB 1	NHF4 시리즈	-	65	25	10
NSB 2	NHF3 시리즈	-	70	20	10

이러한 본 연구개발 1차년도 개발 배합인 NSB 1, NSB 2를 OPC 대비 환경안전성평가, pH, 내산성 평가, 유해 중금속 고정화 능력에 대하여 요소 기술을 기준치 적합한 우수한 품질을 알리고 각각의 제품의 성능을 보완하고자 한다.

가. 환경안정성 평가

1차년도에서 실시한 중금속 용출을 재실시하여 1차 2차 평가를 통한 현장에서 요구되어진 제품 안전성을 만족시키고자 하였다. 무기결합재의 친환경성을 평가하기 위해 폐기물공정시험법에 의한 유해물질 용출실험을 공인기관에 의뢰한 결과 수은(Hg)을 포함한 총 7개의 중금속 성분을 비롯하여 발암성의 유해 염소화합물인 삼염화에틸렌(TCE, Trichloroethylene) 및 사염화에틸렌(PCE, Tetrachloroethylene) 등 모든 유해물질 성분이 용출되지 않는 것으로 나타났다.

국내 유해물질 함유량 기준

구분	항목 (단위 : ㎎/ℓ)								
	Cr^{6+}	As	Cd	Pb	Cu	CN	Hg	TCE	PCE
기준	1.5	1.5	0.3	3	3	1	0.005	0.1	0.3
결과	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출	불검출

시험성적서

1. 성적서번호 : JBR2A04006
2. 의뢰자
   - o 업 체 명 : (주)씨엠디기술단 문경주
   - o 주소 : 전북 완주군 삼례읍 후정리 490 우석대학교 본관 808호
   - o 의뢰일자 : 2012년 10월 04일
   - o 시험발급일 : 2012년 10월 25일
3. 시험성적서의 용도 : 품질관리
4. 시료명 : CMD NSB
5. 시험결과

시험항목	단위	구분	시험결과	시험방법
Pb	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.04)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
Cd	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.01)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
Cr^{6+}	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.008)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
Cu	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.002)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
Hg	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.005)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
As	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.0005)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
CN^-	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.01)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)

- - - - 첨부 페이지 참조 - - - -

확 인	작성자 성 명	하현재	기술책임자 성 명	정만기

비고: 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료 명으로 시험한 결과로서 전체제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용은 금합니다.

한국건설생활환경시험연구원장

전북지원 : 561-330 전북 전주시 덕진구 여의동 552-2
결과문의 : 전북지원 ☎063-271-9944

환경안정성 평가 시험 성적서

the way to trust KCL

시험성적서

성적서번호 : JBR2A04006

시험결과

시험항목	단위	구분	시험결과	시험방법
유기인	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.0005)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
트리클로로에틸렌	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.008)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
테트라클로로에틸렌	mg/L	1	불검출 (정량한계:0.002)	폐기물공정시험기준 (환경부고시 제2011-3호)
			불검출 (정량한계:0.1)	

- - - - 이 하 여 백 - - - -

총 2 페이지 중 2 페이지

양식QP-20-01-06(0)

환경안정성 평가 시험 성적서

나. NSB의 pH 경시변화

최근 환경문제에 대한 관심이 고조됨에 따라 미국이나 일본 등 선진국에서는 친환경 시멘트에 대한 연구 뿐만 아니라 콘크리트 제품 등의 적용되는 실용화가 활발히 진행되고 있으나, 실제 하천제방 및 도로사면 등에 적용되면서 심각한 수질오염 문제가 제기되고 있다. 시멘트 사용으로 인한 십여년 전부터 우리나라에서도 식생콘크리트 사용 등의 표면을 치장하는 수단으로 밖에 되지 못하는 실정이다. 근본적으로 시멘트를 사용하면서 pH를 낮추는 것은 어려운 문제이며, pH 저감을 위한 배합은 강도 및 내구성을 저하시킬 수 있기 때문이다. 1차년도 1차 pH 실험으로 황산염자극제 및 탈황석고 혼입에 따른 3일 재령 압축강도 측정 후 pH측정 결과 알칼리 자극제의 첨가량이 가장 적은 NFS1이 11.24로 가장 낮게 측정 되었으며 탈황석고를 포함한 알칼리 자극제의 혼입량이 늘어날수록 pH 측정치가 높아짐을 확인하였으며, OPC에 비해 낮은 측정치로 콘크리트 2차제품 및 지반용 건설재료로 활용이 가능할 것으로 판단하였다.

이러한 내용을 뒷받침하여 본 실험에서 NSB 1, NSB 2의 시 경과에 따른 pH 경시변화를 측정 하고자 하였다.

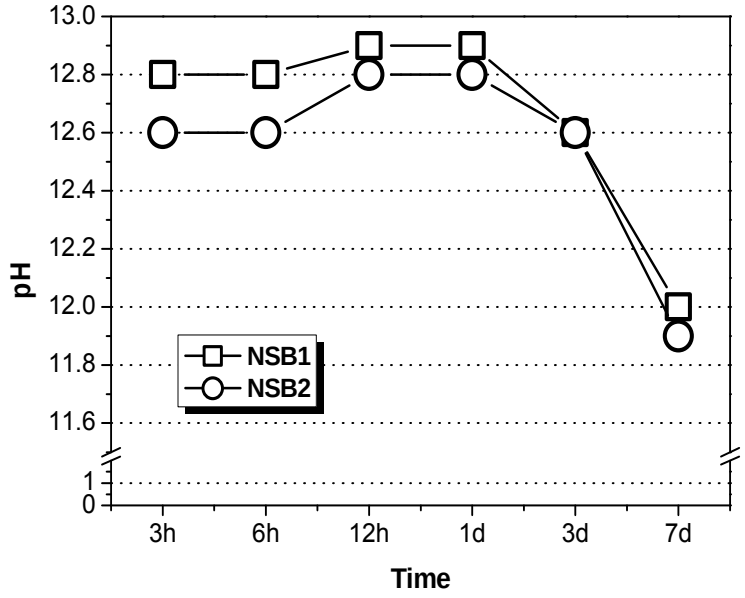




시멘트로 인한 수질오염

NSB의 시간의 경과에 따른 pH를 나타낸 것으로 수화 12시간까지는 증가하는 경향을 보이다가 그 이후는 서서히 감소하는 경향을 나타낸다.

초기에 자극제에서 용출된 OH-에 의해 pH 12 이상의 강알칼리성 분위기가 형성되어 고로슬래그 입자표면의 피막형성을 억제하거나, 이미 형성된 산성피막을 빠른 속도로 파괴하여 내부의 수식이온을 용출시키며 고로슬래그의 수화반응에 따른 C-S-H, C4AH13과 같은 수화물의 생성을 촉진한다. pH가 높은 액상 중에서 생성한 ettringite가 미반응 고로슬래그 입자의 주위에 치밀하게 생겨나 물질이동을 방해하므로 CaO 성분의 용출이 원활하게 일어나지 못하다가 재령이 경과함에 따라 pH가 12.5 이하로 낮아지면서 즉, 고로슬래그로부터 CaO의 용출이 원활하게 되면서 결정성이 좋은 ettringite가 대량 생성하게 되며 동시에 액상조성은 높은 CaO 농도에 의해 SiO_2 농도 또한 서서히 증가시킬 수 있어 칼슘실리케이트 수화물도 동시에 생성시킬 수 있다.



시간경과에 따른 pH 변화(NSB)

다. ZEB의 화학침투 저항성 평가

(1) 내산성 시험

침지용액은 시약용 염산과 황산을 각각 5% 및 10%로 희석시켜 사용하였다. 침지기간이 경과함에 따라 용액이 묽어지는 점을 고려하여 침지 재령 3개월까지는 4주마다, 3개월 이후에는 12주마다 수용액을 교체하여 침지실험을 실시하였다.

내산성 실험은 28일 재령의 시멘트 모르타르를 이용하여 ASTM C 267, 579에 준하여 실시하였다. 양생된 공시체의 표면 물기를 제거한 후 중량을 측정하고 $H2SO_4$, HCl의 5%와 10% 수용액에 침지시켰다. 내산성의 비교는 일정한 기간 침지시킨 시편을 꺼내어 흐르는 물에서 부드러운 솔을 이용해 표면을 닦아냄으로써 훼손된 표면부분을 제거하고 표면의 물기를 제거한 후 중량을 측정하였다. 침지에 의한 중량 감소율을 이용하여 산출하였다.

$$\text{중량감소율}(\%) = \frac{W_n - W_o}{W_n} \times 100$$

여기서, Wn : 침지재령에서의 공시체 중량(g)

Wo : 침지전의 공시체 중량(g)

내산성 실험결과, 무기결합재를 이용한 경화체는 OPC만을 이용한 경화체에 비하여 무기산 수용액 중에서 높은 내화학성을 지니고 있음을 알 수 있다. 특히 침지 기간 28일까지는 HCl에 비하여 $H2SO_4$에 대한 저항성이 매우 우수하게 나타나는데 $H2SO_4$ 침지 기간 28일까지는 오히려 중량이 증가되거나 동일하여 전혀 침식되지 않음을 확인할 수 있다. 침지 기간 28일 이후부터 서서히 중량이 감소하는 경향을 보이며 90일 이후 급격히 감소하는 경향을 보였으나, 전반적으로 OPC와 비교하여 높은 내산성을 나타냈다.

이는 시멘트 수화물의 XRD 및 DTA 분석결과에서 예측할 수 있듯이 NSB 1의 경우 OPC에 비해 산에 침식이 매우 용이한 $Ca(OH)_2$를 거의 생성하지 않기 때문이다.

실험을 통해, NSB를 이용한 경화체는 각종 무기산에 대한 저하성이 높음을 확인 하였으며, 생활폐수를 취급하는 도시하부 구조물 및 공장폐수로, 폐기물의 무기결합재 등에 적용이 가능할 것으로 생각된다.



a) OPC

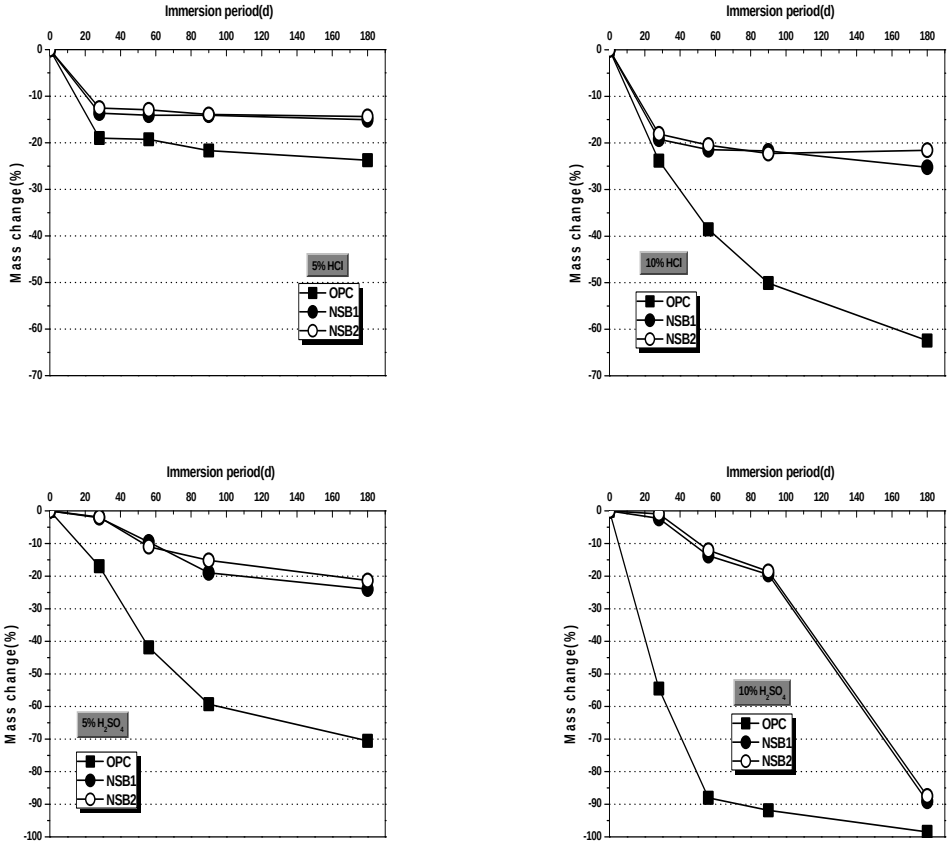


b) NSB1



c) NSB2

내산성 시험체



내산침지 시험체의 중량 변화율

(2) 내해수성 시험

인공해수는 ASTM D 1141에 준하여 2배 농도의 인공해수를 제조하였으며, 침지기간이 경과함에 따라 용액이 묽어지는 점을 고려하여 4주마다 인공해수를 교체하여 침지실험을 실시하였다.

내해수성 실험은 28일 재령의 시멘트 모르타르를 인공해수에 침지시켜 소정의 재령에서 압축강도 및 휨강도를 KS L 5105에 의거하여 측정하였다. 성능저하 지수(Deterioration Factor)를 이용하여 산출하였다.

$$DF(\%) = \frac{F_w - F_s}{F_w} \times 100$$

여기서, DF : 성능저하 지수(%)

Fw : 담수에 침지한 콘크리트의 압축강도(kgf/㎠)

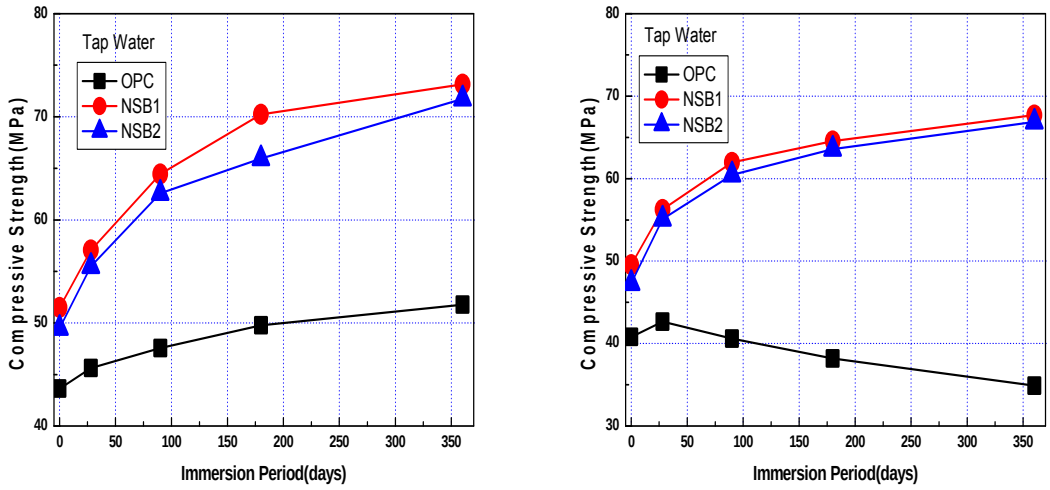
Fs : 인공해수에 침지한 콘크리트의 압축강도(kgf/㎠)

(가) 인공해수 침식에 의한 모르타르의 압축강도 변화

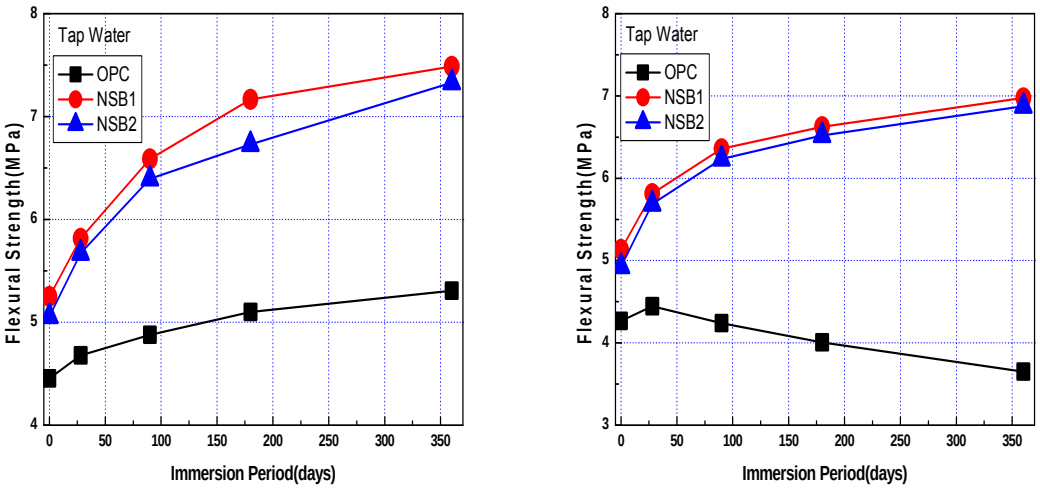
담수에 침지한 모르타르의 압축강도는 기간이 경과함에 따라 증가하였으며 특히, NSB는 OPC와 비교하여 높은 강도 발현 성상을 보였다.

한편 인공해수에 침지한 시멘트 모르타르는 침지 기간 90일에서 해수 중의 유해이온에 의한 침식으로 압축강도가 감소하는 현상이 나타남을 알 수 있다. 특히 OPC의 경우 침지 재령 90일에서 강도가 저하하는 경향을 보이며 침지 기간 1년에서의 압축강도는 360kgf/㎠로 침지 기간 28일의 압축강도보다 약 15% 정도 저하했다. 이는 OPC의 조성광물 중 C_3S 및 C_2S의 수화반응으로 생성된 $Ca(OH)_2$가 해수 중의 SO_4^{2-} 및 Mg^{2+} 이온과 반응하여 $CaSO_4{\cdot}2H_2O$ 및 $Mg(OH)_2$를 생성함으로써 콘크리트의 조직구조를 연화시키기 때문으로 생각된다. 반면 NSB의 경우 침지 기간이 경과함에 따라 지속적으로 강도가 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 내부조직이 밀실하여 해수 중의 유해이온의 침투가 억제될 뿐만 아니라, 수화과정 중 $Ca(OH)_2$가 생성되지 않기 때문에 해수 중의 SO_4^{2-} 및 Mg^{2+} 이온과 반응하지 않기 때문으로 판단된다. NSB2, NSB3의 경우에도 NSB1과 거의 유사한 특성을 보였으며 인공해수에 1년 침지한 NSB1 모르타르의 압축강도는 673kgf/㎠, 담수에 침지한 경우의 압축강도는 721kgf/㎠로 나타나 인공해수 침적에 의한 강도저하 영향은 거의 받지 않음을 확인 할 수 있었다.

전반적으로 압축강도와 유사한 경향을 보였으며, NSB 모르타르는 OPC에 비하여 월등히 높은 휨강도를 나타내었다. 인공해수에 침지에 의한 시멘트 모르타르의 휨강도 저하율이 압축강도에 비하여 크지 않음을 알 수 있다.

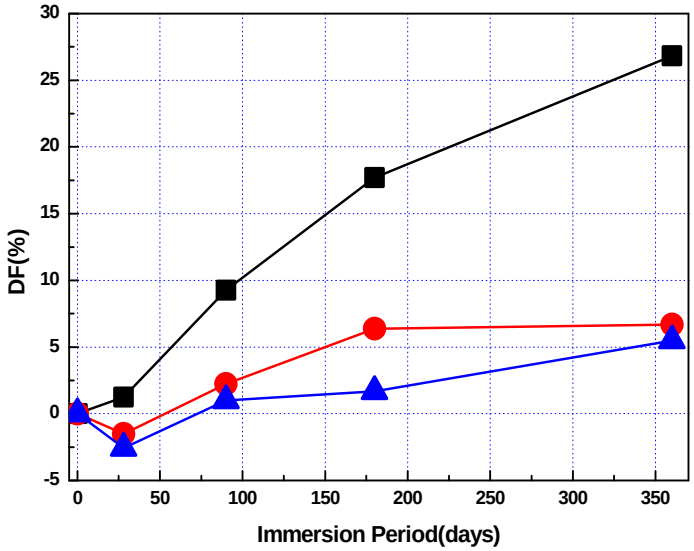


해수 침지 기간에 따른 압축강도 측정 결과



해수 침지 기간에 따른 휨강도 측정 결과

담수에 침지한 모르타르의 압축강도에 대한 인공해수에 침지한 모르타르의 압축강도를 성능저하지수(DF)로 나타내어 정리한 것으로, 침지 기간에 관계없이 OPC 모르타르의 DF가 NSB 모르타르보다 크게 나타남을 알 수 있다. 한편 NSB의 경우, 초기 침지재령에서 해수의 유해이온과의 반응생성물이 표면에 부착하여 시험체의 공극 차단효과로 침지 기간 28일까지의 DF가 음(-)의 값으로 나타났으며, 침지 기간 1년에서 OPC 모르타르의 DF는 26.9%로써 NSB 모르타르의 5.4 ~ 6.6%보다 각각 4 ~ 5배 높게 나타났다.

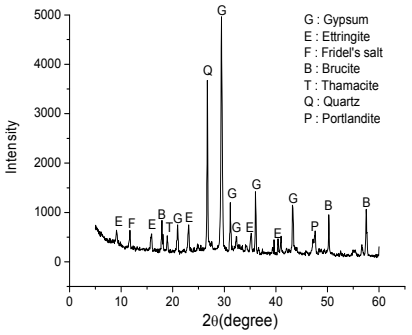


해수 침지에 따른 DF

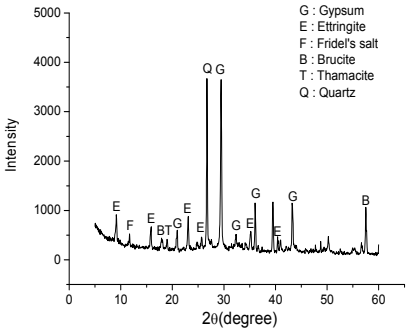
(나) XRD 및 SEM 분석

인공해수 중에 함유되어 있는 SO_4^{2-} 이온의 영향으로 ettringite 및 석고의 피크가 나타났으며 특히 석고의 피크가 가장 강하게 나타남을 알 수 있다. Mg^{2+} 이온과 NSB에서 용출된 칼슘

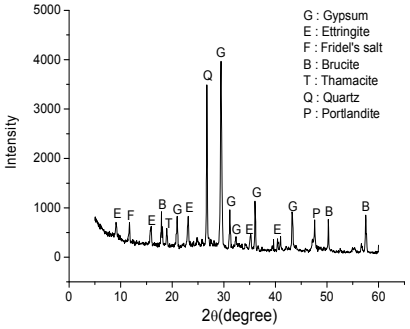
이온의 반응으로 생성된 brucite의 피크도 관찰되었다. 또한 인공해수 중의 Cl- 이온이 시멘트 경화체 속으로 침투함으로써 생성된 Fridel's salt도 확인 되었으며, 해수의 작용으로 인한 thaumasite의 피크도 확인할 수 있었고, OPC는 portlandite이 관찰되었다. 분석결과, OPC가 NSB와 비교하여 석고, brucite 및 thaumasite 등의 피크가 강하게 나타남에 따라 해수이온에 의한 침식이 더욱 큰 것으로 판단된다.



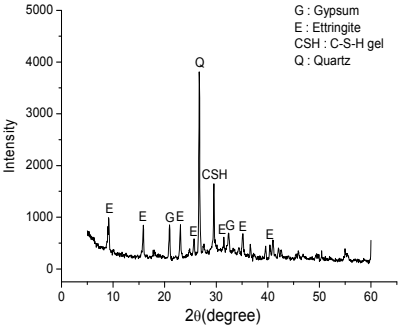
X-ray diffraction patterns of surface of OPC mortar after 1-year artificial sea water immersion.



X-ray diffraction patterns of surface of NSB1 mortar after 1-year artificial sea water immersion.



X-ray diffraction patterns of inner 5mm from surface of OPC mortar after 1-year artificial sea water immersion.

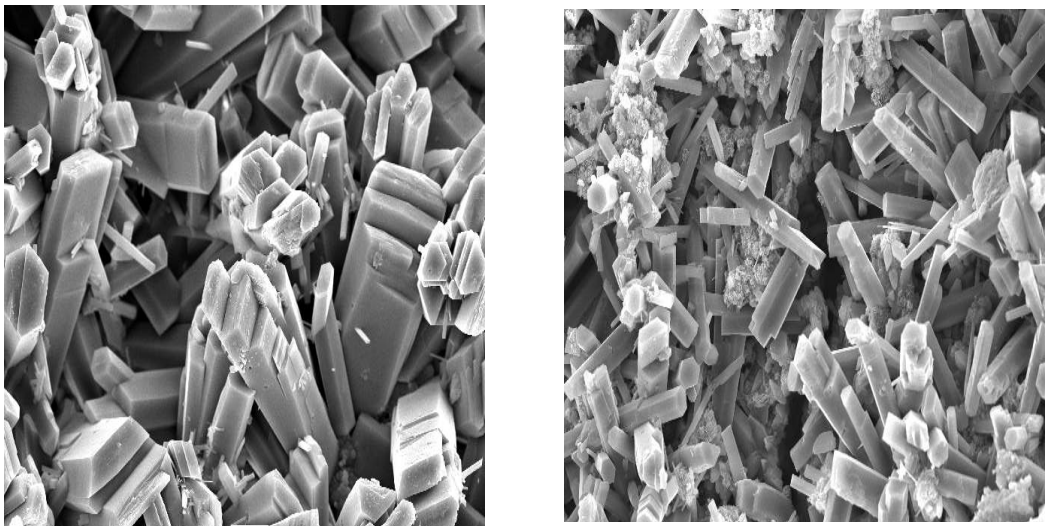


X-ray diffraction patterns of inner 5mm from surface of NSB1 mortar after 1-year artificial sea water immersion.

OPC 모르타르는 표면부에 비하여 피크 강도가 약간 감소했을뿐 거의 동일하게 나타나 시험체의 내부도 해수 중의 이온에 의해 침식된 것으로 나타났다. 더욱이 portlandite 피크 강도가 표층부에 비하여 크게 관찰됨으로써 이후의 기간에서 해수 중 유해 이온과의 반응으로 인한 성능저하 현상이 더욱 심화될 것으로 예상된다. 반면, NSB 모르타르는 인공해수 중에 함유되어 있는 이온의 영향을 거의 받지 않은 것으로 나타났으며 NSB의 주요 수화물인 ettringite 및 C-S-H(Ⅰ)겔 등의 피크가 강하게 나타났다. NSB 모르타르의 XRD 분석결과에서 나타난 석고는 인공해수에 의한 SO_4^{2-}보다는 NSB에 함유된 미반응 DPG인 것으로 판단된다. 따라서 NSB 모르

타르는 표층부만이 해수 중의 이온과 반응할 뿐 치밀한 내부조직에 의해 내부로의 확산이 억제된 것으로 생각되며, 내해수성이 매우 우수한 것으로 판단된다.

다음은 1년간 침지시킨 모르타르 표면의 SEM 분석 결과이다. 양쪽 모두 석고의 결정이 확연하게 관찰되었으나, 결정 크기에서 상당한 차이를 보였다. 동일한 침지기간과 동일한 배율의 분석임에도 불구하고 OPC가 NSB에 비하여 석고 결정이 더욱 발달해 있는 것으로 미루어보아 OPC 모르타르가 인공해수 중에 함유되어 있는 SO_4^{2-} 이온에 의한 침식현상이 더욱 큰 것으로 판단된다.



(a) OPC (b) NSB1

해수 침지 1년 경화 시험체의 미세 구조

the way to trust KCL

7464-8679-8430-7182

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT14-123838
2. 의 뢰 자
   - ○ 업 체 명 : (주) 씨엠디기술단
   - ○ 주 소 : 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443 우석대학교 본관 808호
   - ○ 의뢰일자 : 2014년 12월 09일
   - ○ 시험기간 : 2014년 12월 09일 ~ 2015년 01월 28일
3. 시험성적서의 용도 : 품질관리
4. 시 료 명 : 슬래그시멘트
5. 시험방법
   (1) ASTM C 267 : 2001

6. 시험결과

1) 슬래그시멘트

시험항목	단위	시험방법	시험결과	시험환경
황산 5%수용액 2주 침지후 질량감소율	%	(1)	-7.4	온도 : (20±5) ℃ 습도 : (50±20) % R.H.

※ 시험용 공시체는 의뢰자가 제작/양생하여 제공한 것임.

---- 이 하 여 백 ----

확인	작성자 성 명	김재신	기술책임자 성 명	조민정

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2015년 01월 28일

한국건설생활환경시험연구원장

전북지원 : 561-330 전라북도 전주시 덕진구 여산로 136 (여의동) 063-271-9942
결과문의 : 전북지원 ☎ (063)271-9942

내산성 시험 공인시험성적서(슬래그시멘트)

the way to trust KCL

7049-9806-8997-2555

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT14-123839
2. 의 뢰 자
   - ○ 업 체 명 : (주) 씨엠디기술단
   - ○ 주 소 : 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443 우석대학교 본관 808호
   - ○ 의뢰일자 : 2014년 12월 09일
   - ○ 시험기간 : 2014년 12월 09일 ~ 2015년 01월 28일
3. 시험성적서의 용도 : 품질관리
4. 시 료 명 : 씨엠디 쏘일
5. 시험방법
   (1) ASTM C 267 : 2001

6. 시험결과

1) 씨엠디 쏘일

시험항목	단위	시험방법	시험결과	시험환경
황산 5%수용액 2주 침지후 질량감소율	%	(1)	-3.3	온도 : (20±5) ℃ 습도 : (50±20) % R.H.

※ 시험용 공시체는 의뢰자가 제작/양생하여 제공한 것임.

---- 이 하 여 백 ----

확인	작성자 성 명	김재신	기술책임자 성 명	조민정

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2015년 01월 28일

한국건설생활환경시험연구원장

전북지원 : 561-330 전라북도 전주시 덕진구 여산로 136 (여의동) 063-271-9942
결과문의 : 전북지원 ☎ (063)271-9942

내산성 시험 공인시험성적서(개발 ZEB -씨엠디쏘일)

the way to trust KCL

5736-8949-8744-6606

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT14-123841
2. 의 뢰 자
   - ○ 업 체 명 : (주) 씨엠디기술단
   - ○ 주 소 : 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443 우석대학교 본관 808호
   - ○ 의뢰일자 : 2014년 12월 09일
   - ○ 시험기간 : 2014년 12월 09일 ~ 2015년 01월 28일
3. 시험성적서의 용도 : 품질관리
4. 시 료 명 : 슬래그시멘트
5. 시험방법
   (1) KS L ISO 679 : 2011

6. 시험결과

1) 슬래그시멘트

시험항목	단위	시험방법	시험결과	시험환경
압축강도-인공해수 침지 전	MPa	(1)	14.7	온도 : (20±5) ℃, 습도 : (50±20) % R.H.
압축강도-인공해수 4주 침지 후	MPa	(1)	10.5	온도 : (20±5) ℃, 습도 : (50±20) % R.H.

※ 인공해수 배합비 :
NaCl : MgCl2 : Na2SO4 : CaCl2 : KCl : 증류수 = 203.44 : 41.6 : 32.72 : 9.28 : 5.52 : 7,707

※ 시험용 공시체는 의뢰자가 제작양생하여 제공한 것임.

---- 이 하 여 백 ----

확인	작성자 성 명	김재신	기술책임자 성 명	조민정

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2015년 01월 28일

한국건설생활환경시험연구원장

전북지원 : 561-330 전라북도 전주시 덕진구 여산로 136 (여의동) 063-271-9942
결과문의 : 전북지원 ☎ (063)271-9942

내해수성 시험 공인시험성적서(슬래그시멘트)

the way to trust KCL

4721-2399-6620-6351

시험성적서

1. 성 적 서 번 호 : CT14-123840
2. 의 뢰 자
   - ○ 업 체 명 : (주) 씨엠디기술단
   - ○ 주 소 : 전라북도 완주군 삼례읍 삼례로 443 우석대학교 본관 808호
   - ○ 의뢰일자 : 2014년 12월 09일
   - ○ 시험기간 : 2014년 12월 09일 ~ 2015년 01월 28일
3. 시험성적서의 용도 : 품질관리
4. 시 료 명 : 씨엠디 쏘일
5. 시험방법
   (1) KS L ISO 679 : 2011

6. 시험결과

1) 씨엠디쏘일

시험항목	단위	시험방법	시험결과	시험환경
압축강도-인공해수 침지 전	MPa	(1)	37.9	온도 : (20±5) ℃, 습도 : (50±20) % R.H.
압축강도-인공해수 4주 침지 후	MPa	(1)	31.5	온도 : (20±5) ℃, 습도 : (50±20) % R.H.

※ 인공해수 배합비 :
NaCl : MgCl2 : Na2SO4 : CaCl2 : KCl : 증류수 = 203.44 : 41.6 : 32.72 : 9.28 : 5.52 : 7,707

※ 시험용 공시체는 의뢰자가 제작양생하여 제공한 것임.

---- 이 하 여 백 ----

확인	작성자 성 명	김재신	기술책임자 성 명	조민정

비고 : 1. 이 성적서는 의뢰자가 제시한 시료 및 시료명으로 시험한 결과로서 전체 제품에 대한 품질을 보증하지는 않습니다.
2. 이 성적서는 홍보, 선전, 광고 및 소송용으로 사용될 수 없으며, 용도 이외의 사용을 금합니다.

2015년 01월 28일

한국건설생활환경시험연구원장

전북지원 : 561-330 전라북도 전주시 덕진구 여산로 136 (여의동) 063-271-9942
결과문의 : 전북지원 ☎ (063)271-9942

양식QP-20-01-05(3)

내해수성 시험 공인시험성적서(개발 ZEB -씨엠디쏘일)

① NSB의 주요 생성광물은 GBFS의 유리질 피막이 알칼리 자극 및 황산염 자극을 받아 파괴되면서 GBFS 내부에서 용출된 이온이 PG와 반응하여 ettingite를 생성시키고 GBFS 중의 남은 성분은 서서히 C-S-H(Ⅰ)계의 겔상의 수화물을 형성하며, 이때 PG는 단순 자극작용뿐만 아니라 GBFS와 반응하는 결합재 역할도 동시에 수행하는 것으로 생각된다.

② NSB 결합재 페이스트의 내부미세구조를 관찰한 결과 수화반응에 따른 초기재령에서의 강도 발현은 다량의 ettringite를 골격으로 이와 동시에 생성된 C-S-H겔에 의해 이루어진다. C-S-H겔은 ettringite를 감싸며 재령이 경과함에 따라 생성량이 지속적으로 증가하며 C-S-H겔이 경화된 페이스트의 공극을 밀실하게 채우게 되어 ettringite와 치밀한 네트워크식 망상구조를 형성하고 있음을 확인하였다.

③ OPC 모르타르는 인공해수 침지 기간이 경과함에 따라 강도가 감소하였으나 NSB 모르타르는 인공해수 침지 재령이 경과함에 따라 지속적으로 강도가 증가하였다. 이는 내부조직이 치밀하여 해수 중의 유해이온 침투가 억제될 뿐만 아니라 수화과정 중 $Ca(OH)_2$가 생성되지 않아 해수 중의 SO_4^{2-} 및 Mg^{2+} 이온과 반응하지 않기 때문으로 판단된다.

④ 인공해수에 침지한 OPC 모르타르의 성능저하지수는 침지 재령 1년에서 26.9%로써 NSB 모르타르의 5.4 ~ 6.6%보다 약 4 ~ 5배의 높은 값을 나타내었다.

⑤ XRD 및 SEM 분석 결과 인공해수 중에 함유되어 있는 SO_4^{2-}, Mg^{2}, Cl- 이온의 영향으로 ettringite, 석고, brucite, thaumasite Fridel's salt가 관찰되었다. OPC는 NSB에 비하여 석고, brucite 및 thaumasite 등의 피크강도가 강하고 결정이 잘 발달한 것으로 미루어보아 해수이온에 의한 영향이 더 큰 것으로 판단된다.

⑥ OPC 모르타르의 내부는 인공해수 중에 함유되어 있는 이온의 영향을 받은 것으로 나타났으나 NSB 모르타르의 내부는 치밀한 내부조직에 의해 해수 중 이온의 영향을 거의 받지 않은 것으로 나타났다.

라. ZEB의 유해중금속 고정화 특성

유해 중금속을 함유하는 폐기물을 안정화시키는 가장 유력한 방법의 하나로 고형화(solidification)를 들 수 있는데, 이것은 유해 폐기물을 최종적으로 고체상의 덩어리로 고화시키거나 표피를 입혀서 외부와 차단시키는 처리 방법을 말하며, 결국 고체상의 폐기물을 매립하기 전에 좀 더 무해한 고체로 전환시키고자 하는 과정이라 할 수 있다.

이를 위한 여러 가지 방법 중 시멘트나 포졸란 물질을 이용한 고형화 방법이 경제적으로나 그 효율에 있어서 가장 적합한 방법 중의 하나로 평가받고 있다. 그러나 시멘트를 이용한 중금속 이온의 고정화는 시멘트의 수화기구가 복잡할 뿐만 아니라 중금속 종류에 따라 고정화되는 기구와 시멘트 수화반응에 미치는 영향이 다르기 때문에 시멘트에 의한 고정화 기구는 명확하게 규명되고 있지 않고 있다. 일반적으로 알려진 시멘트에 의한 고정화기구는 시멘트 수화물에의 흡착, 이온교환, 수화물 구조와의 solid solution 형성 또는 metal complex의 형성 등이 있다.

한편 시멘트 이용에 따른 비용적인 문제와 함께 환경적인 요구에 따라 중금속 폐기물의 고

화에 쓰이는 OPC의 일부를 폐자원으로 대체하려는 시도가 진행중에 있으며, 본 실험에서는 본 연구를 통해 개발 된 NBS의 유해중금속 고정화 능력을 평가하고자 하였다. 중금속 용출 실험을 통한 결합재 종류에 따른 중금속 고정화 능력 및 중금속 이온이 시멘트의 수화반응과 수화물의 미세구조에 미치는 영향을 검토하였으며, 고화제로서의 활용가능성을 살펴보기 위해 기계적인 물성을 검토하였다.

중금속 시약을 혼입한 모르타르의 압축강도 시험용 배합표이며, 중금속 고정화율을 평가하기 위한 시험체는 페이스트의 형태로 제작하였으며, 시멘트 종류에 따른 중금속 고정화 효과를 정량적으로 평가하기 위해 사용된 중금속은 산업폐기물 중 가장 많은 양을 차지하며, 독성이 큰 Pb, Cr에 대하여 각각 일급시약인 $PbCl_2$, $C_2Cr_2O_7$를 사용하였다.

제작된 공시체는 표준양생(20℃, RH 50%)의 조건에서 소정 재령기간 습공양생을 실시, 공시체의 재령 14일, 28일, 49일에 KS L 5105에 의거하여 압축강도를 측정하였다.

중금속 고정화 특성을 살펴보기 위한 공시체는 ⌀50×100mm의 PS bottle을 이용하여 밀봉 제작하였으며, 경화시 공시체 내의 블리딩수를 제거하고 공시체 내의 고른 수화를 위해 초기 재령 24시간까지 공시체 회전기를 이용하여 경화시켰다. 밀봉한 공시체는 20±2℃의 양생실에서 양생을 실시하였다.

Mix proportions of mortars for evaluation of compressive strength.

Binder(g)	Sand(g)	W/B(%)	Content of heavy metal(%)	Type of heavy metal
100	245	45	5	$PbCl_2$
			0.5	$C_2Cr_2O_7$



Appearance of rotator for making of specimens



Appearance of ICP



Appearance of FT-IR.

시험체 제작 및 시험방법

(1) 시약용 중금속 혼입에 따른 경화체의 압축강도

중금속 혼입이 시멘트 모르타르의 강도 특성에 미치는 영향을 살펴보기 위해 중금속을 혼입하지 않은 모르타르와 Cr과 Pb를 혼입한 모르타르의 압축강도를 비교하여 나타낸 것이다.

중금속을 혼입하지 않는 모르타르의 압축강도를 살펴보면, 전재령에 걸쳐 NSB1, 2가 OPC와

비교하여 높은 강도를 발현하고 있음을 확인할 수 있었다.

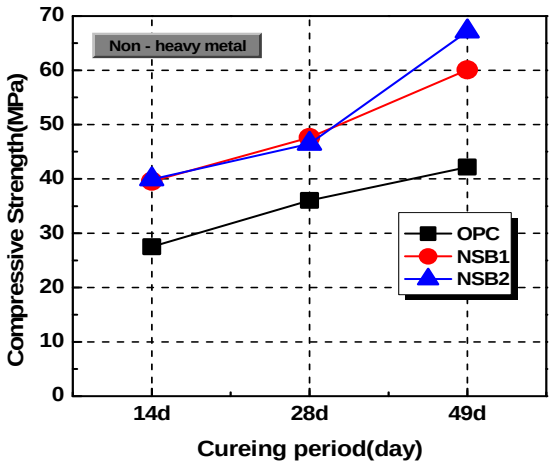
이는 ettringite와 겔상의 C-S-H 등이 생성되면서 진행되며 이들 수화생성물은 C-S-H겔을 골격으로 ettringite 등의 치밀한 미세구조를 형성하여 강도를 발현하는 것으로 사료된다.

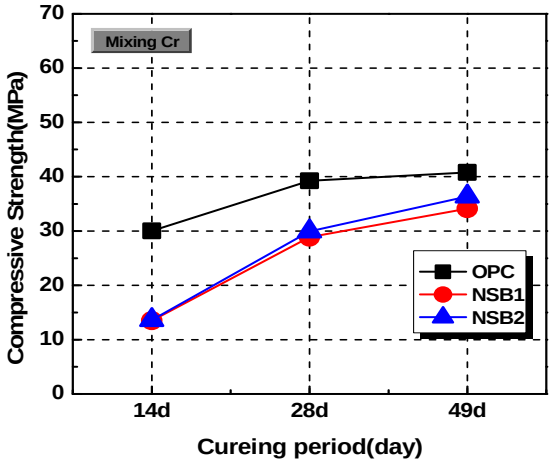
Cr을 혼입한 모르타르의 압축강도를 살펴보면, 전 재령에 있어 OPC＞NSB1≒NSB2의 순으로 나타났으며, Pb를 혼입한 모르타르의 압축강도는 Cr을 혼입한 경우와는 달리 NSB1≒NSB2＞OPC의 순으로 강도를 발현하고 있었다.

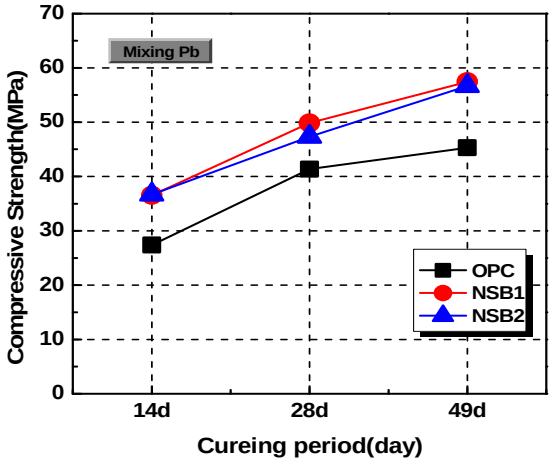
OPC의 경우 중금속을 혼입하지 않은 모르타르와 Cr과 Pb를 혼입한 모르타르의 압축강도 발현이 거의 유사하게 나타났다.

중금속의 혼입은 시멘트의 수화반응을 지연하여 불안정한 수화물을 생성하고, 이에 따른 pore structure의 변화는 시멘트 모르타르의 기계적 물성에 영향을 미친다. Cr을 혼입한 모르타르의 경우 초기 정상적인 수화반응으로 공극의 형성 등 수화물 생성에 영향을 끼치지 않지만, Pb은 수화초기에 불투성막을 형성하여 수화를 지연시켜 초기의 압축강도는 낮으나 장기 재령에 있어서는 물리적 성질 등이 복원되는 것으로 알려져 있다. 이에 반해 NSB Type의 모르타르는 중금속을 혼입하지 않은 모르타르와 Pb를 혼입한 모르타르의 압축강도는 OPC보다 높은 강도를 보였으나, Cr을 혼입한 모르타르의 압축강도는 OPC보다 낮은 경향을 보이고 있었다.

기계적인 특성을 고려한다면 NSB Type의 무기결합재는 Pb이온을 다량 함유하고 있는 폐기물의 고화제로서의 활용이 가능할 것으로 사료된다.







Compressive strength of cement mortar containing heavy metals with elapsed curing age

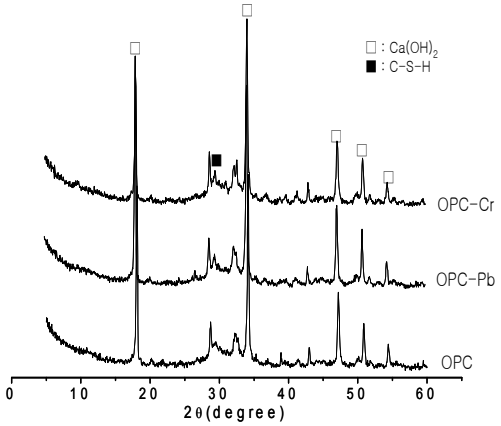
(2) 시약용 중금속 혼입에 따른 경화체의 X선 회절 분석 및 적외선 흡수 스펙트럼 분석

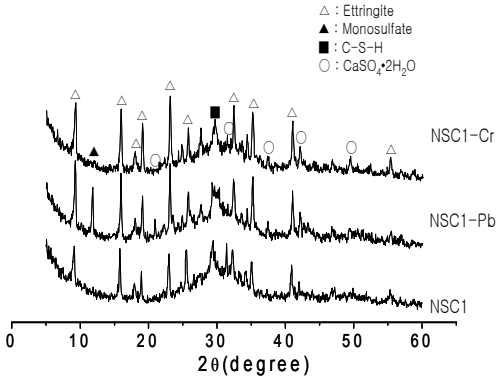
Cr 0.5%, Pb 5%의 중금속을 혼입한 재령 28일 경화체의 X선 회절 분석결과를 나타낸 것이다. 일반적으로 Pb를 혼입하면 시멘트 입자 주위에서 불투수층의 겔이 형성되어, 물과의 접촉을 방해하여 수화가 서서히 진행하여 수화물의 생성 및 생성량이 중금속을 혼입하지 않은 경우나 Cr을 혼입한 경우와 비교하여 적은 것으로 알려져 있다.

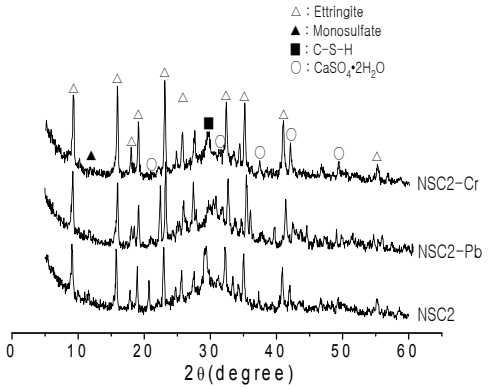
그러나 OPC의 경우에는 Pb을 혼입하지 않은 경우나 혼입한 경우 거의 유사한 X선회절 분석결과를 나타내고 있다. 이는 Pb의 지연작용이 초기에서만 일어나며 이후 경화체 내의 Ca2+, OH-이온의 농도가 충분하게 존재하게 되면 metal 수화물은 수산화칼슘-metal 형태의 결정질로 전이하게 되어 정상적인 시멘트의 수화가 진행되었기 때문으로 사료된다.

Cr을 혼입한 경우 OPC의 경우에는 큰 차이를 보이지 않았으나 전반적으로 ettringite의 피크가 약간 증가하는 경향을 보였다. 이는 Al3+ 이온과 Cr3+ 이온이 치환 고용체를 형성함으로써 ettringite 피크 위치에 중첩되어 나타났기 때문으로 판단된다.

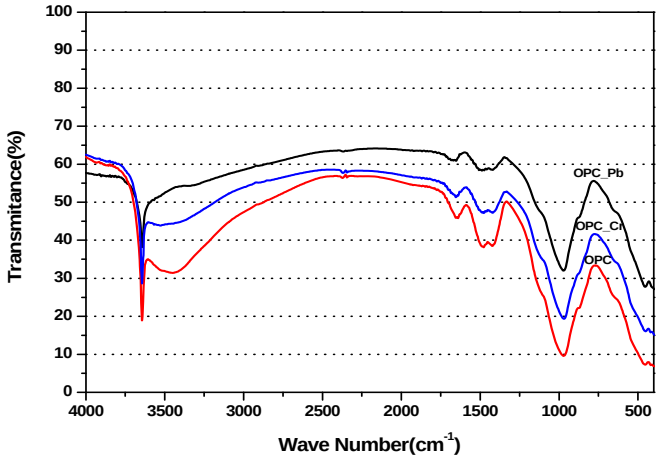
Cr 0.5%, Pb 5%의 중금속을 혼입한 재령 28일 경화체의 적외선 흡수 스펙트럼의 분석 결과를 나타낸 것이다. 전반적으로 중금속을 혼입하지 않은 경화체 및 중금속을 혼입한 경화체는 큰 차이를 보이지 않았다. 시멘트의 적외선 흡수 스펙트럼은 3,200㎝-1~3,600㎝-1의 파장영역에서 나타나는 흡수대는 수소결합에 의한 O-H의 신축진동이며, 1,600㎝-1의 흡수대는 H2O의 굽힘진동과 ettringite 및 monosulfate의 피크로 추정되어진다. OPC는 3,640㎝-1에서는 Ca(OH)2의 O-H 신축진동에 의한 흡수피크가 나타났으나 NSB의 경우에는 나타나지 않았다.

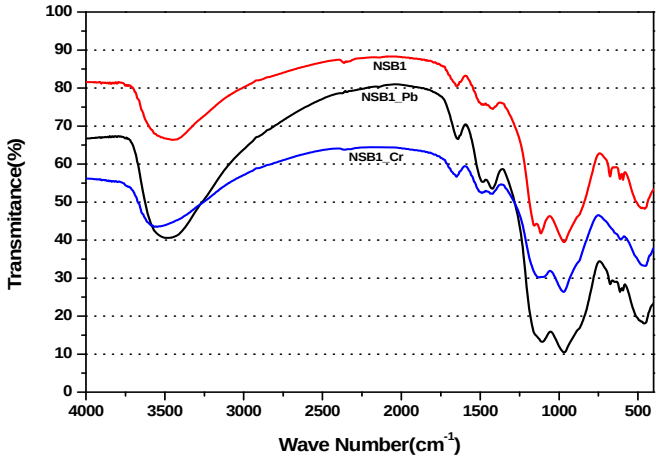


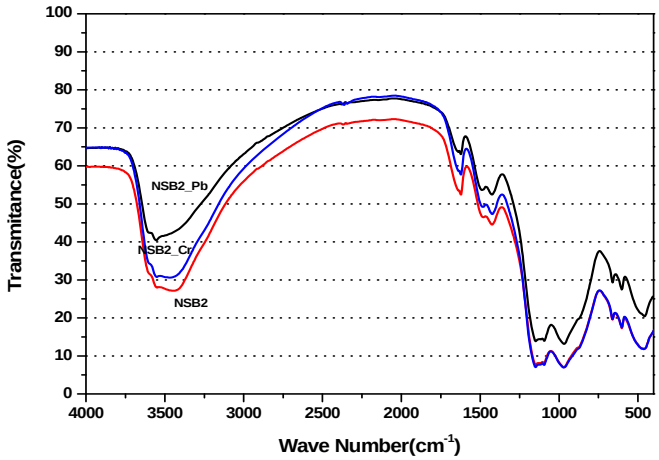




X-ray diffraction patterns of cement pastes containing heavy metals(28d).







FT-IR spectra of cement pastes containing of heavy metals(28days).

(3) 시약용 중금속 혼입에 따른 경화체의 중금속 용출 특성

무기계 결합재를 이용한 중금속 이온의 고정화 및 용출 특성은 수화물의 미세구조에 영향을 받으며, 특히 calcium aluminate 수화물과 calcium silicate의 미세구조는 중금속 이온의 안정화 및 고정화에 큰 기여를 한다.

시멘트를 이용하여 중금속을 처리하면 이 중금속은 matrix의 공극내에서 encapsulation 되거나 공극벽에 흡착하거나 시멘트의 구성물질과 화학적으로 착화합물을 형성하여 고정화 된다. 시멘트의 수화과정 중 tricalcium aluminate와 gypsum의 반응에 의해 생성되는 calcium sulpho alumate(ettringite, monosulfate)수화물은 Fe, Cr, Pb 등을 효과적 고정화하는 것으로 알려져 있다.

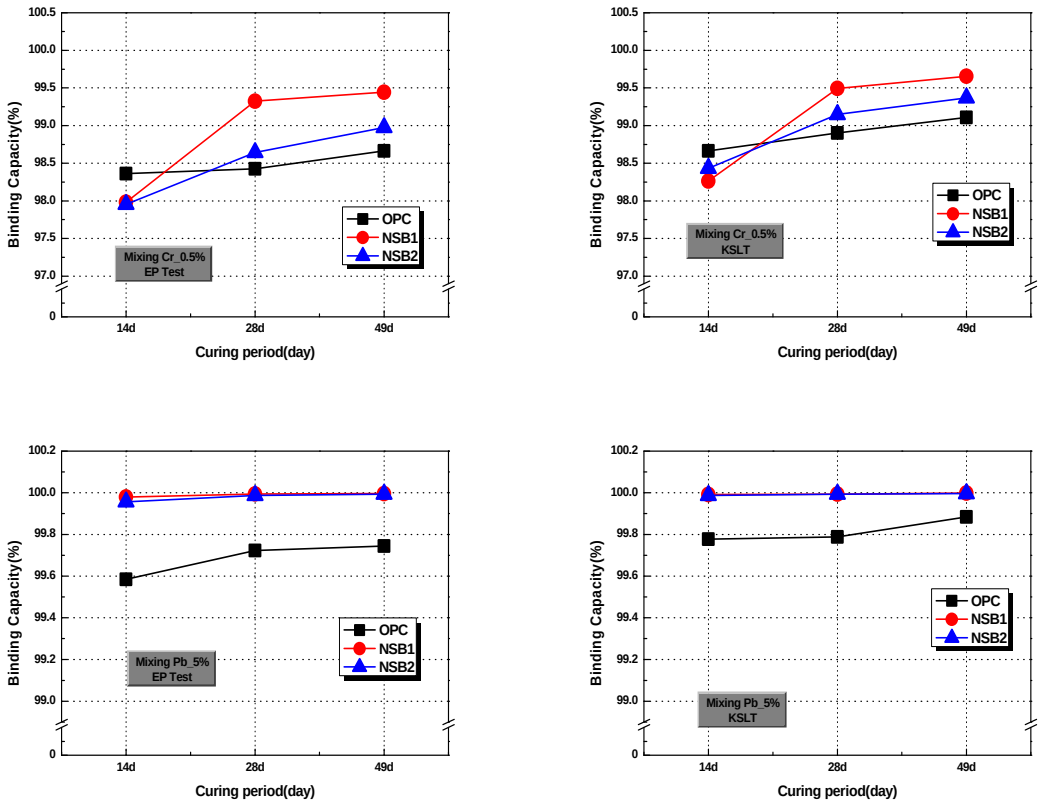
시멘트 경화체는 산에 의해 초기균열 및 붕괴 등의 현상이 일어나며, 시멘트 경화체의 대부분을 차지하고 있는 silicate의 수화는 $Ca(OH)_2$의 형성에 의해 염기성 분위기하에서 일어난다. 그러나 산성용액과 접촉하면 $Ca(OH)_2$는 중화되어 용해하게 되고, silicate가 H+ 이온에 노출하게 된다. 이때 silicate와 중합하고 있는 OH-가 H+과 반응하여 수화물의 구조를 붕괴시키게 된다.

EP Test 및 KSLT 규준에 의거하여 시료의 중금속 용출 실험을 실시한 결과이다. 중금속의 종류에 관계없이 재령이 경과함에 따라 중금속 용출값은 감소하는 경향을 보이고 있었다. 이는 재령이 경과함에 따라 경화체 수화조직의 치밀화에 의한 것으로 사료된다. 재령이 경과함에 따라 경화체의 공극감소와 불연속적 공극이 형성된 수화물 경화체에 의해 중금속의 이동 및 용출을 억제시켜 중금속을 고정화시키기 때문이다.

Cr의 혼입량에 대한 용출량의 비율을 살펴보면 재령 28일 이후의 중금속 용출량은 OPC가 가장 높게 나타났다. 이는 경화체 내에 ettringite 및 기타 수화물 생성으로 인해 경화체 내부가 치밀해졌기 때문인 것으로 사료된다.

Takahashia는 ettringite에 의해 Cr의 용출이 억제되며, 이는 ettringite 결정은 원자간의 결합에 약간의 자유도가 있기 때문에 Al 원자가 이온반경이 비슷한 Cr 등과 치환하고 또 SO_4^{2-}는 CrO_3^{3-}등과 쉽게 치환하는 성질이 있기 때문이라고 하였다.

Pb의 혼입량에 대한 용출량의 비율을 살펴보면 양생 재령에 관계없이 전반적으로 NSB Type 경화체 낮게 측정되었다. 이는 수화물에 의해 경화체 내부의 조직이 치밀화되기 때문에 Pb이 silicate matrix에 의해 강하게 고정화되고 또한 양쪽성 물질(amphoteric metals)인 Pb은 폐기물 또는 고형화된 시료의 pH에 따라 용해도가 달라져 그에 따른 용출특성을 갖기 때문이다. 즉, Pb의 경우 pH 약 10 정도에서 가장 낮은 용해도를 가지며, pH가 낮은 경우와 높은 경우 다같이 용출농도가 높게 나타나게 되는데 OPC만을 이용할 경우에는 $Ca(OH)_2$를 다량 생성함으로써 pH 13 이상의 강알칼리성을 나타내어 Pb의 용출을 더욱 가속화 시킬 수 있는 것이다.

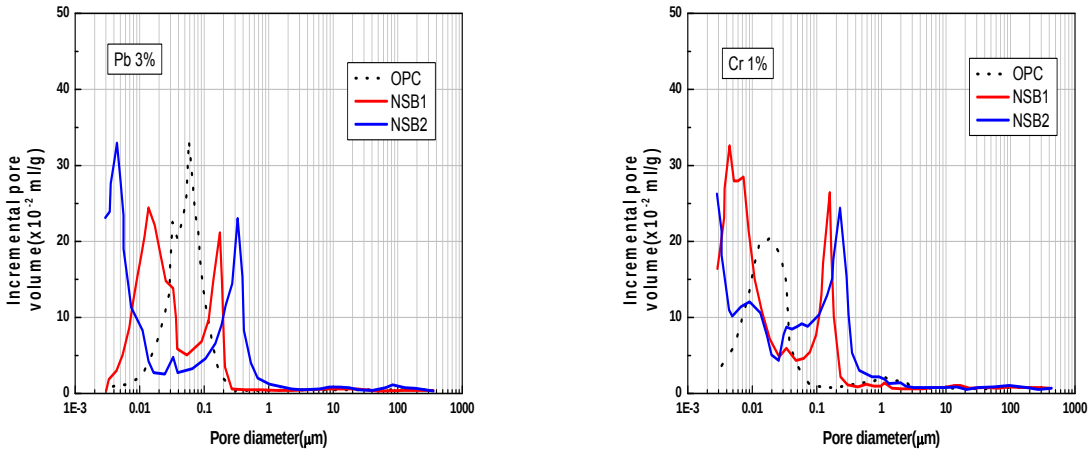


Binding capacity of heavy metal ion of
cement pastes with different mixing contents of Cr ion.

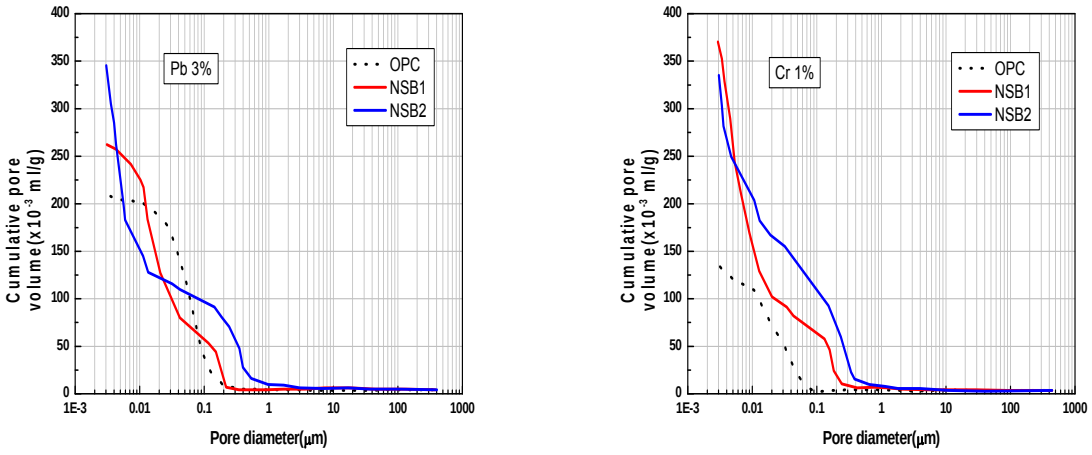
(4) 시약용 중금속 혼입에 따른 경화체의 미세구조

Pb 및 Cr 이온을 혼입한 시멘트 경화체의 세공경 분포 측정 결과를 나타낸 것이다. NSB의 경우 중금속 종류에 관계없이 OPC에 비하여 30nm 이하의 미세 세공용적 점유율은 높게 나타났으나 100nm 이상의 비교적 큰 세공용적은 높게 나타났다. 이는 NSB의 GBFS 입자에 Pb, Cr 이온이 흡착되어 자극제로부터의 OH- 이온 및 SO_4^{2-} 이온과의 접촉을 저해함으로써 초기 재령에서 수화가 지연되었기 때문으로 판단된다. 즉, 초기 재령의 느린 수화에 의해 불균질한 이온이 확산되어 비교적 큰 세공의 양이 증가된 것으로 판단된다. 그러나 재령이 경과함에 따라 수화생성물을 다량으로 생성함에 따라 미세 세공용적이 증가하여 용출액의 이동을 허용하는 open pore의 발생을 제한하게 되어 경화체와 용출액의 접촉에 의한 중금속 이온의 용출 기회가 줄어들어 실제 용출량은 작게 나타난 것으로 판단된다.

Pb 및 Cr 이온을 혼입한 시멘트 경화체의 누적 세공용적을 나타낸 것으로 NSB의 경우 총세공용적은 OPC에 비하여 크게 나타나는 경향을 보였다. 그러나 이는 30nm 이하의 미세세공이 증가하였기 때문이며 전술한 압축강도와 중금속 이온 용출결과에서 알 수 있듯이 총세공용적의 증가에 따른 과다한 중금속 용출은 없었던 것으로 판단된다.



Pore size distribution of cement paste containing different mixing contents of heavy metal ion.

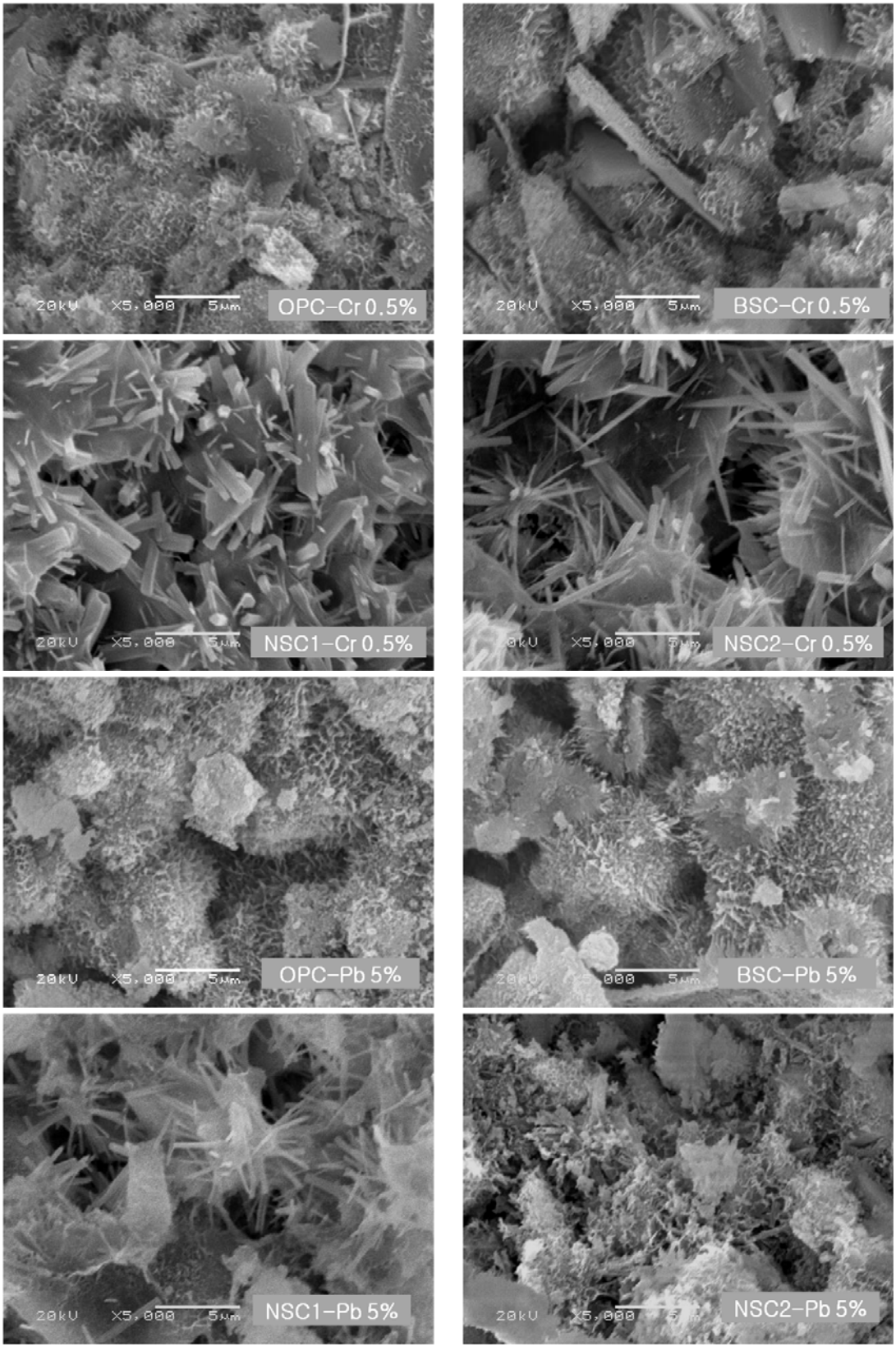


Cumulative pore volume of cement paste containing different mixing contents of heavy metal ion.

중금속 혼입에 따른 경화체의 재령 28일의 SEM 관찰 결과를 나타낸 것이다.

Cr을 혼입한 OPC의 경우 수화물 결정이 활발하게 성장된 것을 확인할 수 있으며 특히 침상의 ettringite가 다량 생성되어 있음을 확인할 수 있다. Pb을 혼입한 NSB의 경우 ettringite 및 벌집모양의 네트워크를 이루는 C-S-H(Ⅰ)겔이 주로 관찰되었는데 특히 NSB의 C-S-H(Ⅰ)겔은 OPC와 비교하여 볼 때 그 생성정도가 더욱 발달해 있음을 확인할 수 있다.

실험 결과, NSB는 Pb 및 Cr 이온의 존재시 초기에는 수화반응에 영향을 받을지라도 지속적으로 ettringite 및 C-S-H(Ⅰ)를 위주로 하는 수화생성물을 생성하여 이들을 물리·화학적으로 안정하게 고정화하는 것으로 판단된다.



SEM images of cement paste containing heavy metal ion.

6. ZEB의 그린 건설재료 실용화 기술 개발

가. 지반고화재의 물리적/역학적 특성 종합 평가

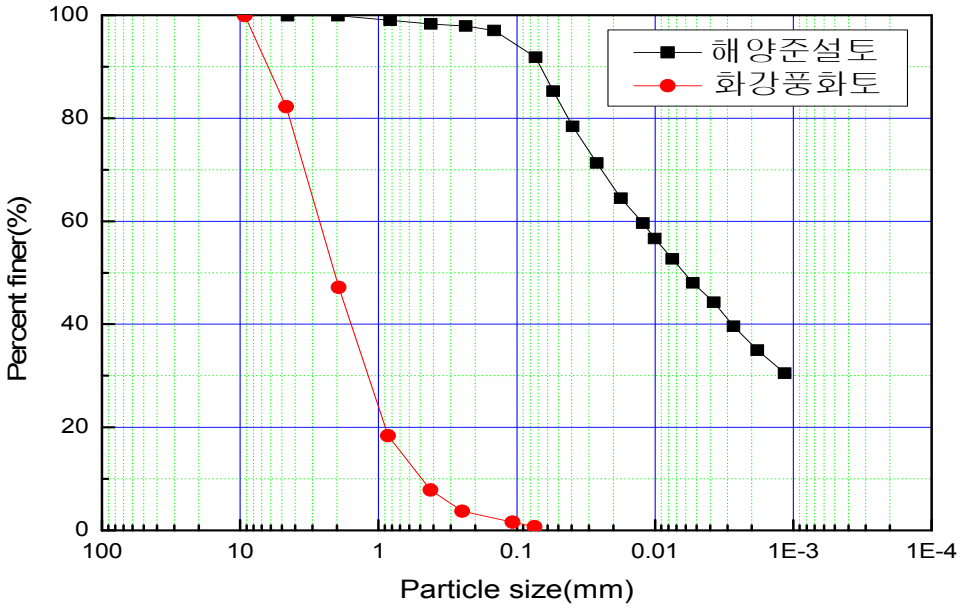
순환자원을 이용하여 개발된 제품의 지반고화재로써 적합성을 검토하기 위하여 본 연구에서는 광양만에서 채취한 해양준설토와 화강풍화토를 이용하여 실내시험을 실시하였다. 대상토의 물리적 성질을 파악하기 위해 한국 공업규격에 정해진 절차에 준하여 시료를 함수비(KS F 2306), 비중(KS F 2308), 입도(KS F 2302), 액·소성(KS F 2303, KS F 2304)을 실시하였으며, 강도특성을 파악하기 위해 일축압축시험(KS F 2314)을 투수특성을 파악하기 위해 변수위투수시험(KS F 2322)를 실시하였다.

(1) 대상토의 물리적특성

광양만 해양준설토와 화강풍화토의 물리적시험 결과를 표 2.35에 요약하였으며, 입도분포곡선을 그림 2.16에 나타내었다. 해양준설토의 자연함수비는 68.4%로 높게 나타났으며, 액성한계 43.7% 소성한계 21.9%, 소성지수 21.8%로 통일분류법(USCS) 상 저소성점토(CL)로 분류되었다. 반면에 화강풍화토는 통일분류법상 입도분포가 양호한 모래(SW)로 분류되었다.

해양준설토의 물리적특성

구분	자연함수비 ω(%)	비중 Gs	LL (%)	PL (%)	PI (%)	USCS
해양준설토	68.4	2.60	43.7	21.9	21.8	CL
화강풍화토	-	2.72	N.P	N.P	N.P	SW



대상토의 입도분포 곡선

(2) 고화제의 기본특성 및 메카니즘

본 연구에서 대상으로 하는 산업부산물 기반 지반고화제의 각 원료들의 특성을 간단히 정리하였다. 제철산업에서 다량 발생하는 슬래그는 산업부산물 발생량의 98.7%를 자원으로 재활용하고 있어 비교적 재활용율이 높은 산업부산물이다. 고로슬래그가 물과 접촉하면 입자표면에 치밀한 불투성의 산성피막이 생기기 때문에 반응을 이어가기 위해서는 강알칼리에 의한 피막파괴가 필요하며 잠재수경성을 촉진시켜 초기강도를 개선시키는 알칼리 자극조건으로서 수산화칼슘, 수산화나트륨, 석고 등의 알칼리 자극제가 사용되고 있다. 본 연구에서 사용한 고로슬래그 미분말은 팽창안정성이 높아 장기적인 안정성에 문제가 없다.

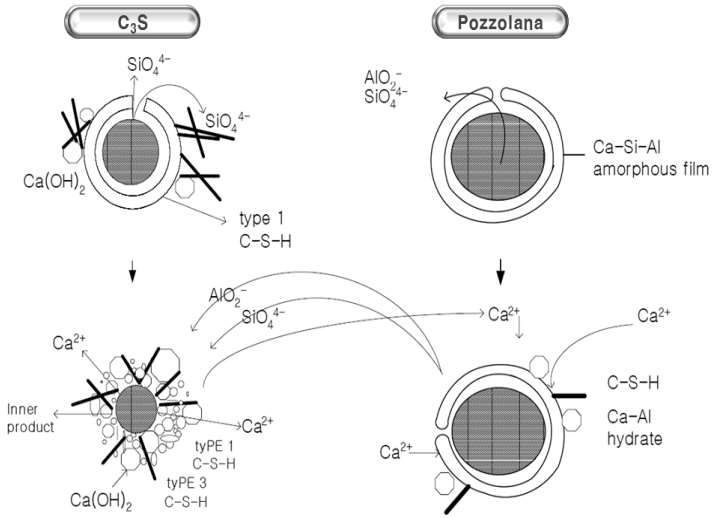
한편 중·소규모 유동층보일러에서 막대한 투자가 소요되는 탈황설비 및 탈질설비를 구비하지 못해 탈황반응을 위해 석회석을 혼소하고 질산화물의 발생을 억제하기 위하여 저온연소를 하여 발생하는 고칼슘플라이애시가 있다. 이 고칼슘플라이애시는 높은 강열감량 및 다량의 Free CaO 함유 등의 이유로 KS L 5405의 기준에 적합하지 못해 일부 시멘트 공장에서 점토 대용으로 소비되는 것을 제외하고는 전량 매립되고 있어 재활용에 대한 연구가 필요하다.

폐석고인 인산석고는 인산비료 생산과정에서 발생되는 산업부산물로 연간 약 60만톤 이상이 매립되고 있다. 이용수 등(2001)은 인산석고를 화강풍화토 또는 준설토와 혼합하여 활용하는 경우에 대한 환경적 영향을 분석하여 인산석고와 혼합하는 화강풍화토와 준설토의 비율이 증가함에 따라 pH가 증가하는 경향이 나타나 중화된다고 보고하였다. 그리고 용출시험결과 모든 항목에 있어서 토양오염우려기준, 국내 용출시험기준 그리고 미국 RCRA기준치 이하로 보고하였다.

방사능 시험결과는 미국 EPA 방사능 기준의 1/4정도로 나타나 자연적 상태의 방사능으로 위해성이 적은 것으로 보고하였다. 또한 김영상 등(2009)은 인산석고를 도로성토재료 및 뒤채움재로 활용하기 위하여 화강풍화토 및 EPS를 혼합하여 새로운 형태의 경량혼합토를 제작하였으며 성토재료로서 충분한 성능이 확보됨을 보고하였다.

이상의 산업부산물 중 대부분 여수광양지역에서 주로 발생되는 개별 산업부산물들로 본 연구의 주관 연구기관에서 제조한 지반 고화제 및 주입재는 단순한 물리적 혼합이 아니라 화학적 상호작용에 의한 고화 메카니즘을 이용하였으며, 그 메카니즘을 정리하면 다음과 같다. 고로슬래그와 같은 비결정질물질은 그 자체로 물과 접촉하면 수화되지 않지만 아래의 그림과 같이 수화물과 같은 알칼리 자극제를 첨가하면 수화반응하여 경화되는 특성이 있다. 이는 고칼슘플라이애시의 불규칙적 3차원 쇄상결합이 절단되면서 망상구조체 내부에 포위되어 있던 Ca^{2+}, Mg^{2+}, Al^{3+} 등의 이온들이 용출되어 포졸란 반응이 이루어지기 때문이다. 포졸란은 그 자신만으로는 수경성을 갖지 않지만, 물에 용해되어 있는 수산화칼슘과 상온에서 서서히 반응하여 물에 녹지 않는 화합물을 만들 수 있는 미분상태의 물질을 일컫는다.

본 연구에서 사용된 지반 고화제는 고로슬래그 미분말, 인산석고, 유동층보일러 고칼슘플라이애시, 기타 혼합물을 기본재료로 하며 아래의 표 및 그림과 같은 성분비로 제조되었고 총 2가지 종류의 고화제에 대한 지반개량 특성을 검토하였다.



C_3S와 포졸란 물질과의 수화반응 모식도

고화제의 구성

	Type	슬래그 미분말	석고	By-pass Dust	Fly ash	자극제*
고화제(%)	B-1	50	0	15	15	20
	B-2	55	5	0	0	40

(3) 고화제 혼합토의 실험방법

(가) 혼합비

지반개량공법 적용시 지반개량재의 배합비에 대한 여러 가지 정의가 있는데, 일반적으로 현장에서 적용하는 개량재의 투입량은 다음의 식과 같이 정의 된다.

$$a_w^{'} = \frac{\delta}{\gamma_t} \times 100(\%) \qquad \text{(식 1)}$$

여기서 $a_w^{'}$: 흙의 습윤단위중량에 대한 개량재의 중량백분율(%)

γ_t : 원지반 흙의 습윤단위중량(tf/m^3)

δ : 개량대상토 $1m^3$당 개량재 혼합량(tf/m^3)

한편, 본 실험에서는 지반개량재의 배합비를 다음과 같이 정의하였다.

$$a_w = \frac{\text{개량재의 중량}}{\text{건조한 흙의 중량}} \times 100(\%) \qquad \text{(식 2)}$$

따라서, 현장에서의 지반개량재 투입량$(a_w^{'})$과 실내배합실험에서의 지반개량재 배합비(a_w)는 다음의 식의 관계가 있어 서로 변환이 가능하며 본 연구의 실험시공과 실내실험에서 투입되는

개량재의 양을 비교함에 있어 유용하다.

$$a_w^{'} = \frac{a_w}{(1+w/100)} (\text{단 } w(\%)\text{는 원지반 흙의 함수비}) \qquad \text{(식 3)}$$

문헌에서는 적용 대상토와 개량재에 따라서 그 배합비를 여러 가지로 실험하였는데 이를 간단히 정리하면 아래의 표와 같다. 적용 대상토가 함수비가 높고 매우 연약한 준설토의 경우 10%를 넘는 높은 배합비를 적용하기도 하지만 일반적인 지반 개량재의 경우 경제성을 고려하여 10%를 넘지 않는다고 한다.

이에 본 연구에서는 산업부산물 자원임을 고려하여 높은 배합비인 5, 7, 10%의 배합비로 화강풍화토 실험을 수행하며 준설토 의 경우는 실험을 위해 150% 함수비로 높여 함수비에 대해 5, 8, 11, 14%로 구분하여 혼합하였다.

대상토와 지반개량재를 고려한 배합비

실험자	고화제	함수비(%)	배합비(%)	대상토
나진성 (2002)	MCG	건조	5~20	화강풍화토
이종구 (2000)	ESC-S2 ESC-S3 GH	건조	1~10	
정치복 (2000)	(CSA +microsilica +기타) +Cement	건조	0~10	
한상천 (2002)	GH	건조	0~15	
김윤태 (2008)	Bottom Ash +Cement	140	Bottom Ash100 +Cement 20	준설토
김윤태 (2006)	Cement	125~250	8~20	
김주철 (2002)		100~160	4~10	
송준호 (2008)		200~300	2~3	
윤길림 (2002)		90~180	1~3	
윤길림 (2004)		125~200	6~18	
윤길림 (2004)	굴패각	50~150	3~12	

(4) 일축압축강도실험

일축압축실험은 점착력이 있는 시료를 원추형 공시체로 만들어 측압을 받지 않는 상태에서 축하중으로 압축하여 시료의 압축강도를 결정하는 방법으로 한국산업규격 KS F 2314에 규정되어 있다. 강도를 실내실험으로 평가하는 이유는, 현장에서 직접 개량효과를 측정하였을 때 개량의 정도는 흙의 간극내에 존재하는 결합재 입자의 농도, 흙 입자 표면이나 간극 내에서 결합재의 분포양상이 혼합정도에 따라 다르게 나타날 수 있으며 또한 같은 토질의 경우에도 시공방법에 따라서 처리토가 다른 역학적 성질을 나타낼 수 있기 때문에 현장과 실내 실험간의 상호관계를 파악하기 위해서이다. 실내에서 수행하는 여러 가지 강도실험방법 중 일축압축강도실험은 비교적 신속하고 경제적이기 때문에 널리 이용되고 있다(Schwarz and Krizek, 1995). Rad와 Clough(1982)도 지층에서의 고결처리공법의 처리효과를 파악하기 위해서는 일축압축실험이 적당하다고 하였다.

본 연구에서 수행한 일축압축강도실험은 KS F 2314에 준하여 수행하였으며 공시체 직경(d) 5cm, 높이(h) 10cm로 제작하였다. 해양준설토의 자연함수비(68.4%)를 구하고 준설 시 함수비를 모사하는 함수비(150%)로 수량을 더하여 교반하였다. 하부를 밀봉한 PVC몰드에 150% 초기함수비로 맞춘 재료를 5, 8, 11, 14%로 혼합하여 주입하였다. 이 때 몰드 내면은 혼합토가 양생되면서 부착되는 것을 방지하기 위하여 그리스(grease)를 얇게 도포하였으며, 재령별로 7일, 14일, 28일동안 습윤양생하여 일축압축강도실험을 실시하였다. 실험과정은 아래의 그림과 같다.



(a) 150% 함수비 조정



(b) 혼합 및 몰드 성형



(c) 습윤양생 전경



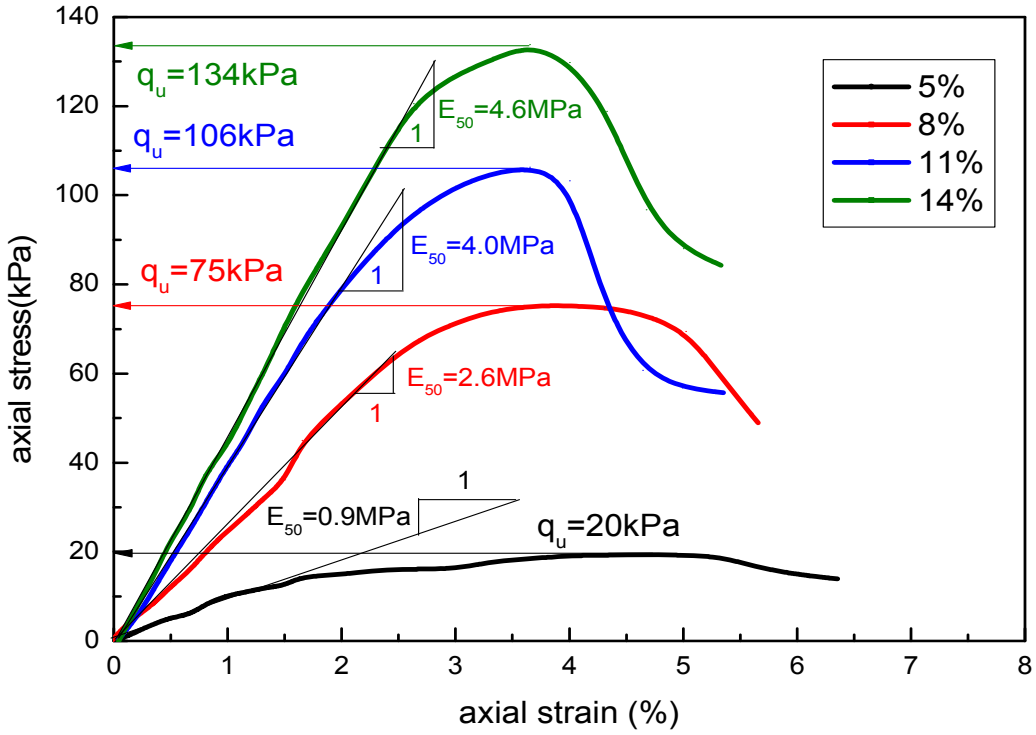
(d) 일축압축실험

해양준설토의 일축압축실험 과정

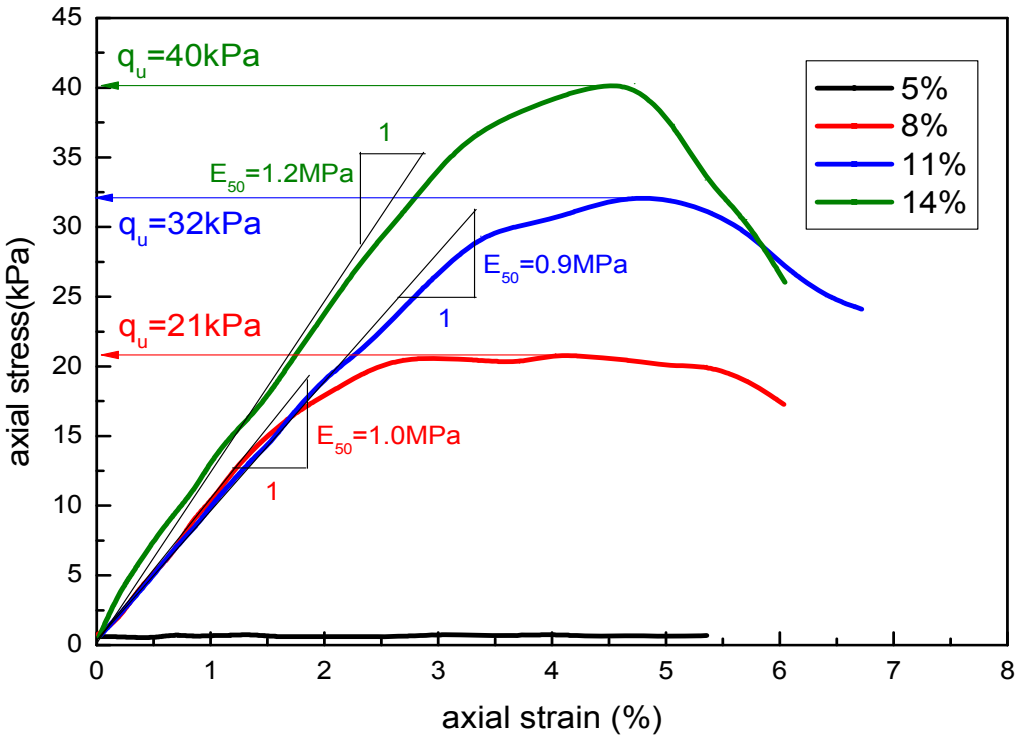
1) 고화제 혼합토의 강도 특성

아래의 그림에 대상토인 광양만에서 채취된 해양준설토에 대하여 재령기간 7일, 14일 및 28일

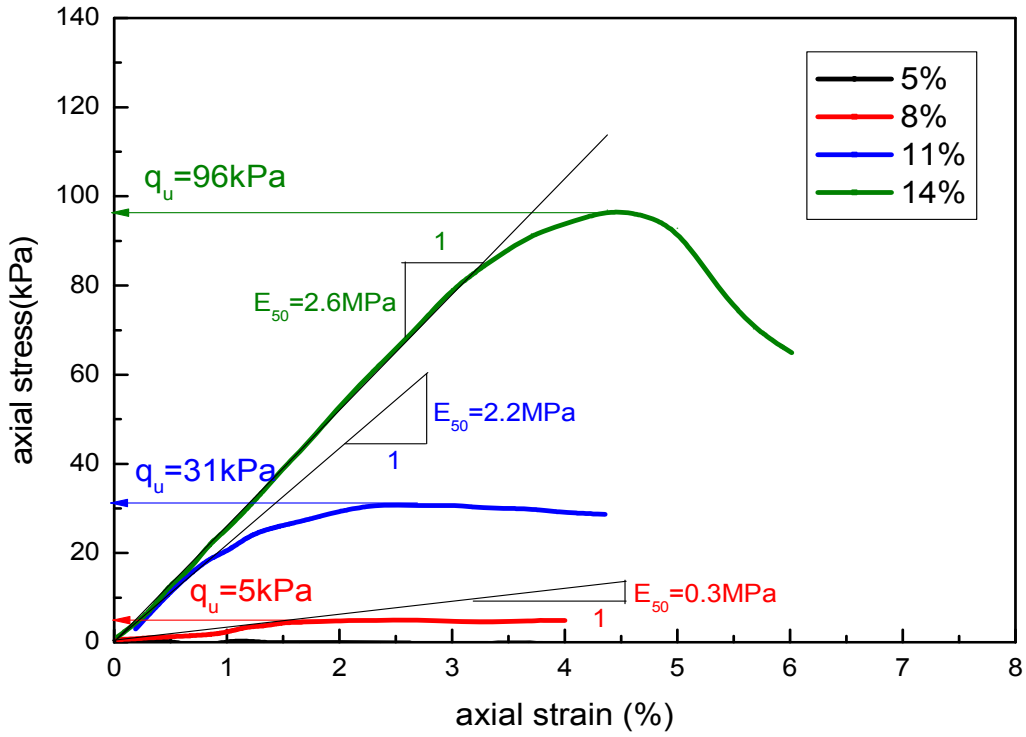
후의 각각의 응력-변형거동을 나타내었다. 일축압축강도는 시멘트 및 고화제의 함유량이 많이 포함 될수록 강도는 크게 나타나며 재령기간 7일 대한 혼합토의 응력-변형거동은 혼합비에 관계없이 뚜렷한 파괴양상은 나타나지 않고 일반 흙과 유사한 응력-변형거동을 보이고 있다. 이것은 공시체의 재령기간이 짧기 때문에 고화제에 의한 고형화(cementation) 작용이 충분히 발휘되지 않았기 때문이라고 판단된다. 반면, 재령기간 14일에 대한 응력-변형거동에서는 고화제 혼합비 14%인 경우, 3가지 고화제 혼합토 모두 뚜렷한 취성적인 파괴양상을 보이고 있으며, OPC는 11%에서도 뚜렷한 파괴양상을 보이고 있다. 재령기간 28일에 대한 혼합토의 응력-변형거동은 B-1혼합토의 경우 11%까지 뚜렷한 파괴양상을 나타내며 B-2혼합토는 14%혼합비에서 매우 뚜렷한 취성파괴양상을 보였다. 그러나 B-1은 8%이하, B-2는 11%이하와 OPC 5%혼합비에서는 뚜렷한 파괴양상이 나타나지 않았다. 즉, 재령기간 28일 후에도 B-1의 경우 혼합비 8%이하에서와 B-2의 경우 혼합비 11%이하에서는 압축강도가 작으며, 뚜렷한 파괴양상이 나타나지 않는 일반 흙과 유사한 응력-변형거동을 보이는 것으로 판단된다.



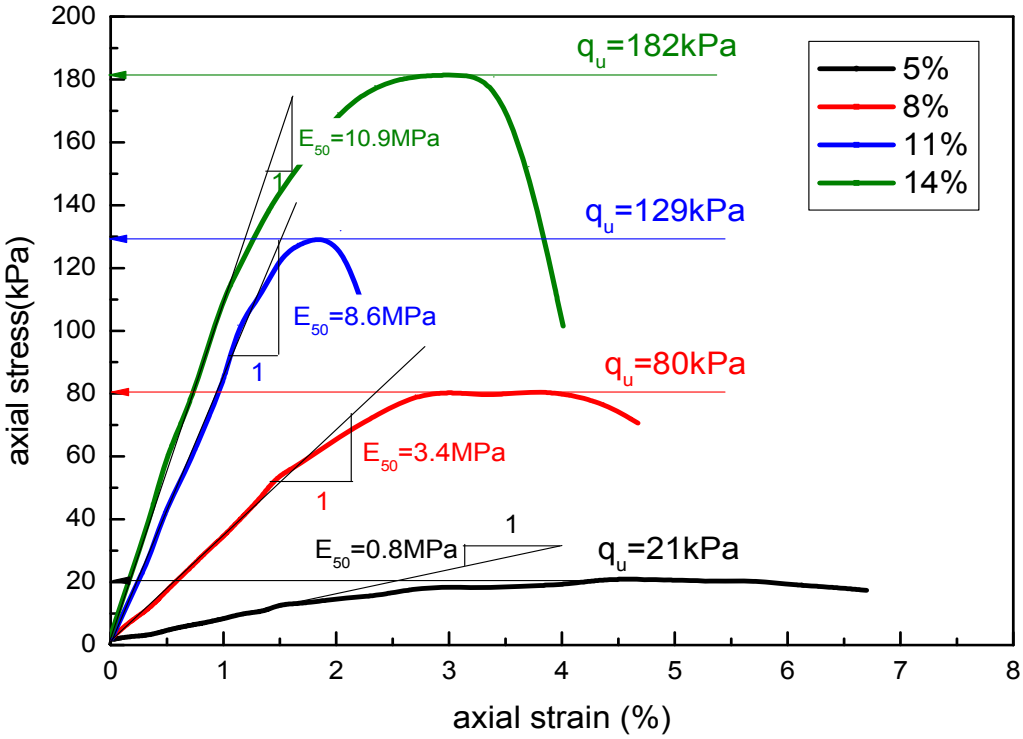
7일 양생 OPC 혼합토의 응력-변형거동



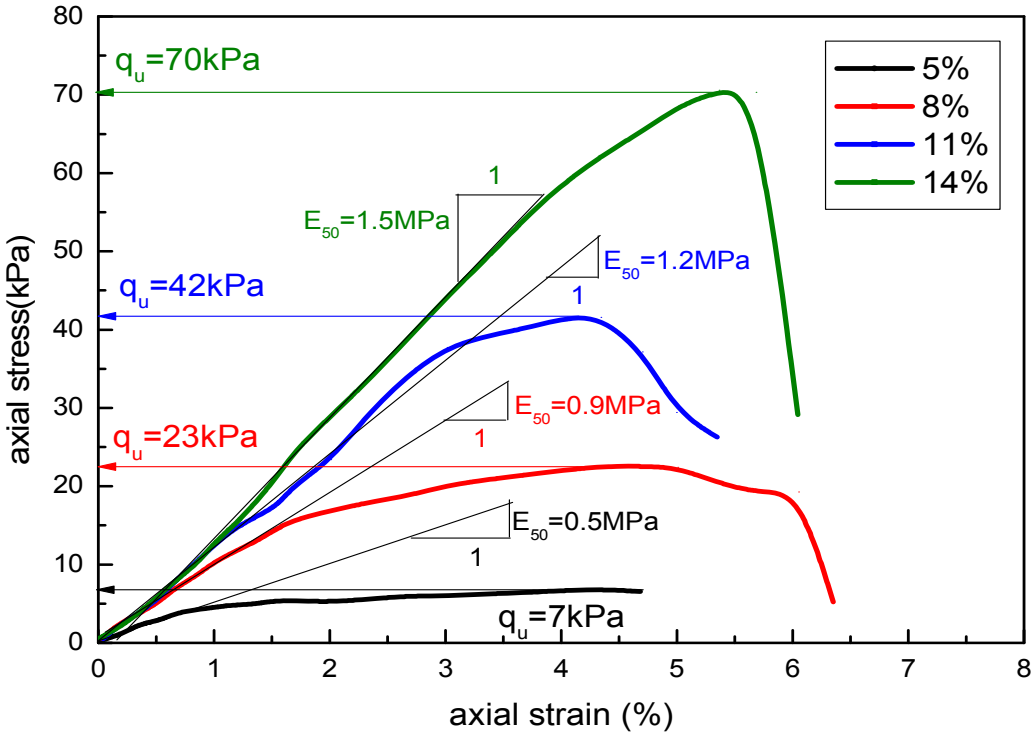
7일 양생 B-1 혼합토의 응력-변형거동



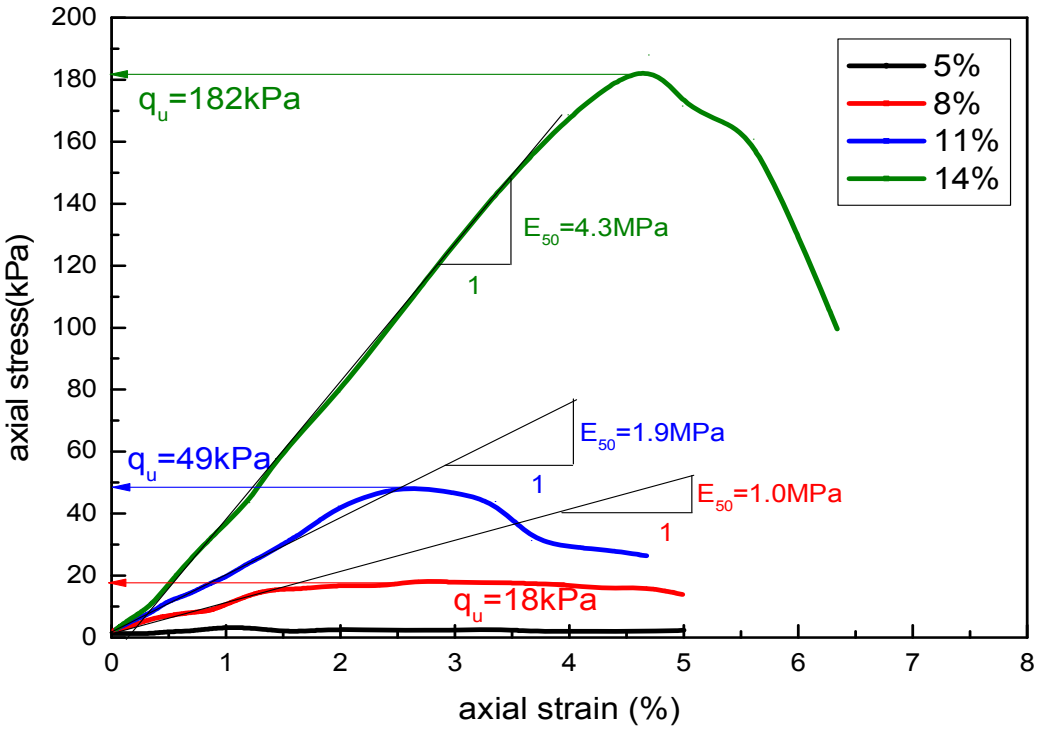
7일 양생 B-2 혼합토의 응력-변형거동



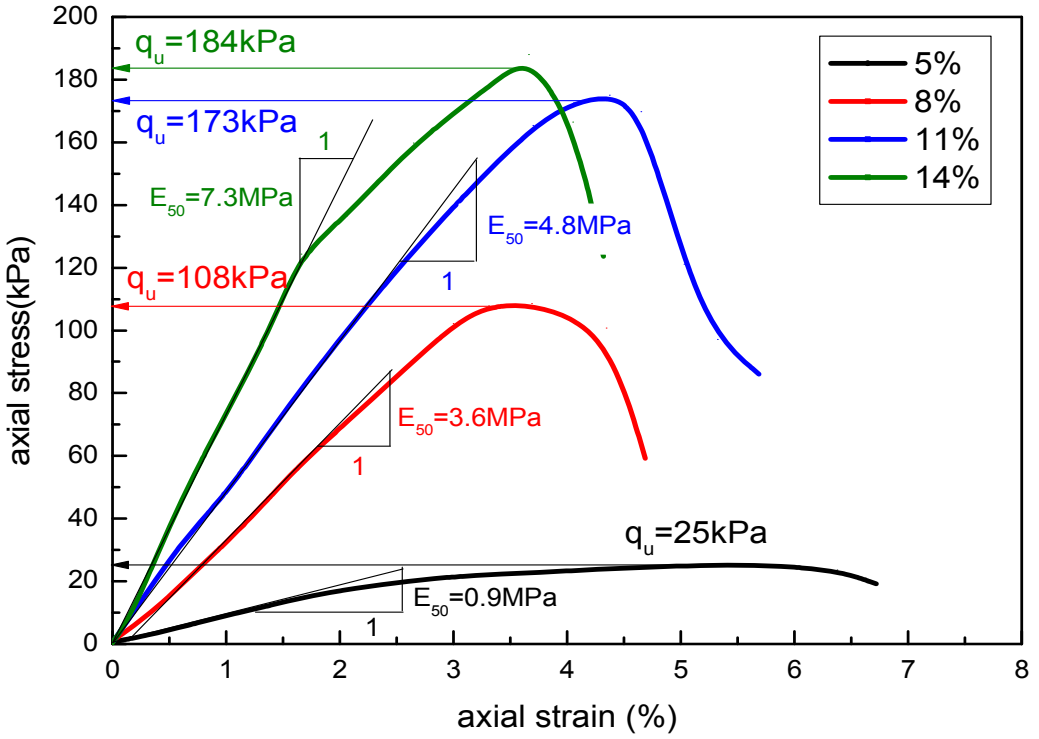
14일 양생 OPC 혼합토의 응력-변형거동



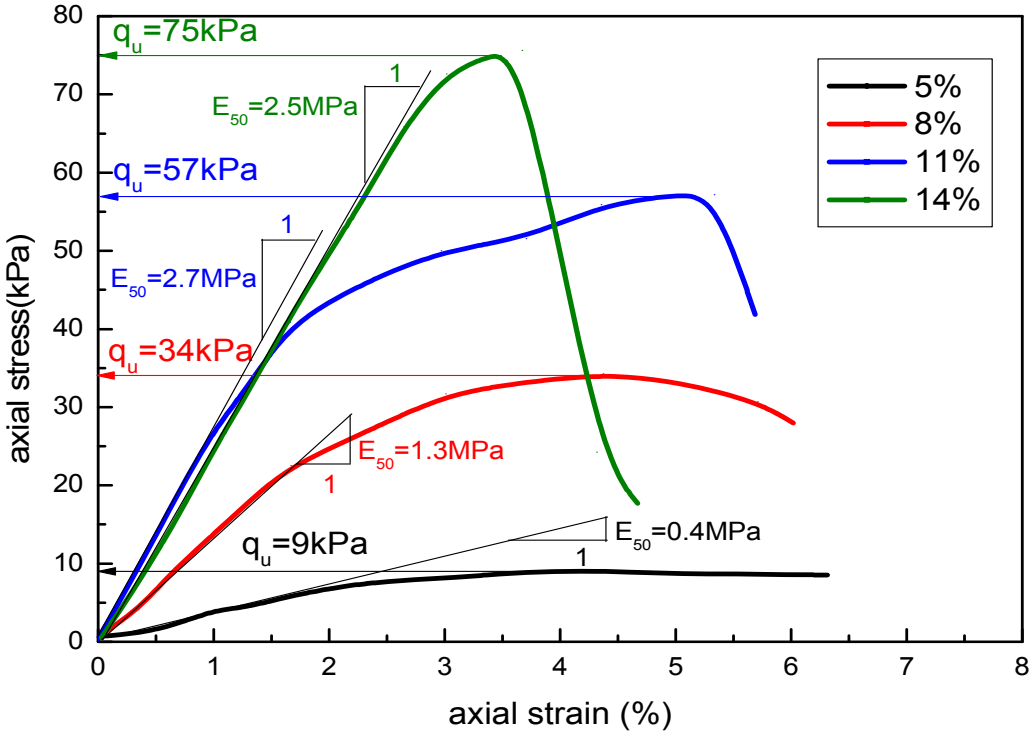
14일 양생 B-1 혼합토의 응력-변형거동



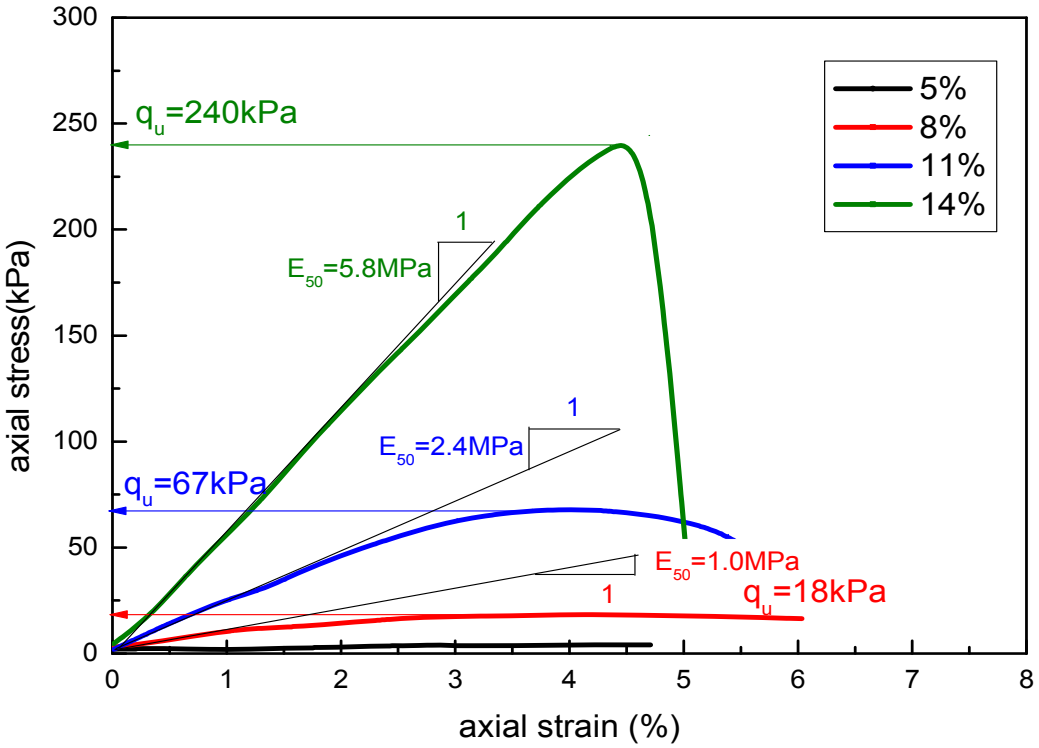
14일 양생 B-2 혼합토의 응력-변형거동



28일 양생 OPC 혼합토의 응력-변형거동



28일 양생 B-1 혼합토의 응력-변형거동

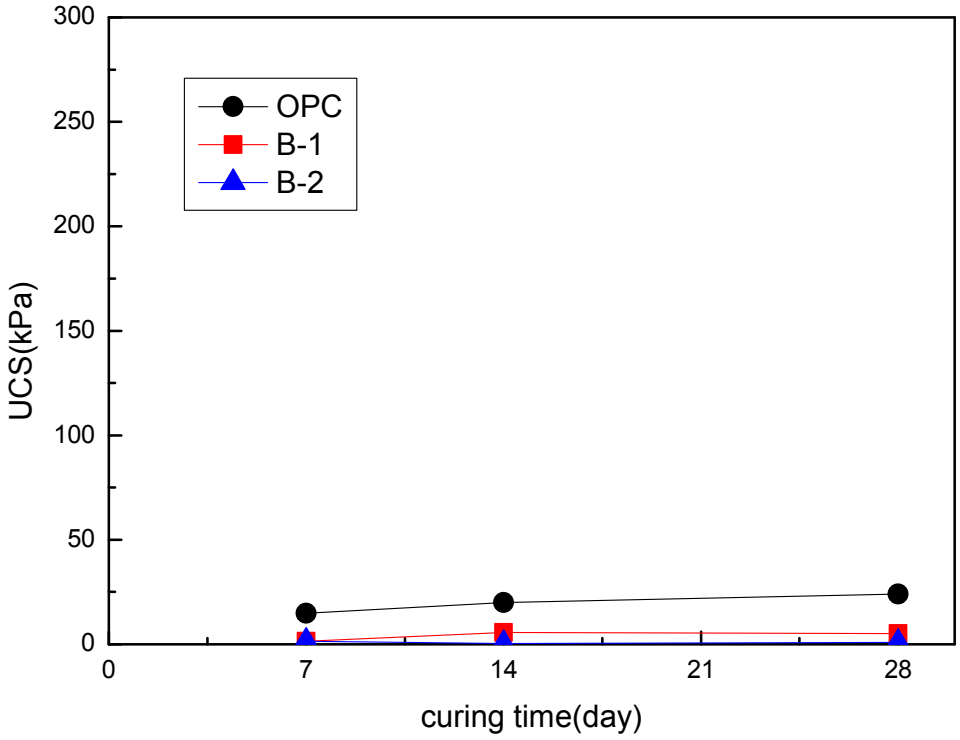


28일 양생 -2 혼합토의 응력-변형거동

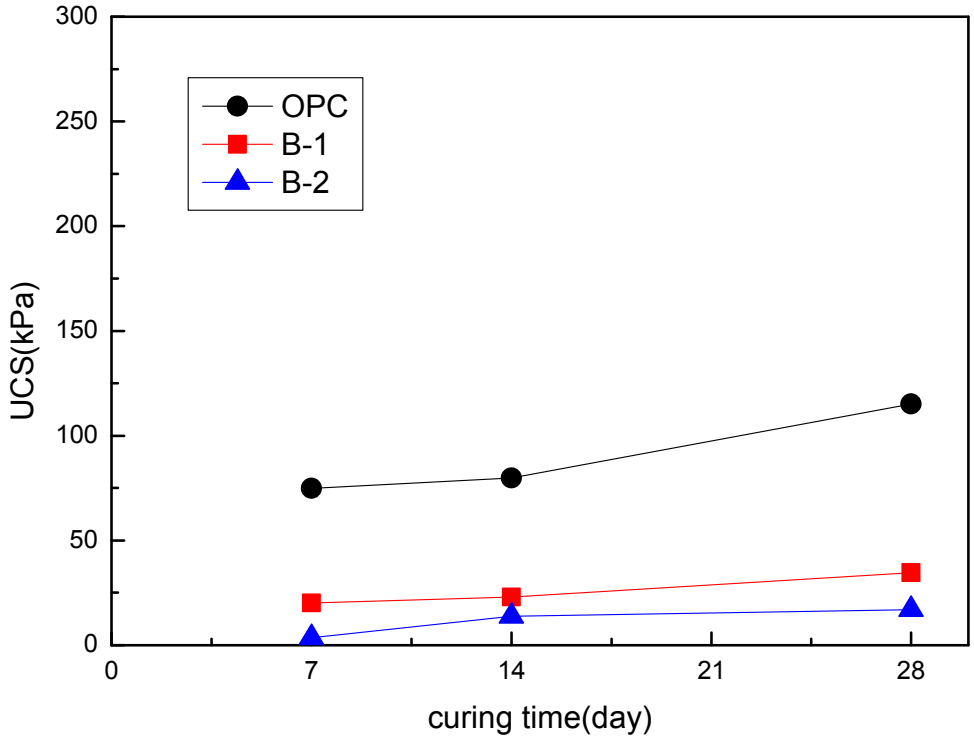
해양준설토와 본 연구의 대상 고화제의 혼합비별 양생일에 따른 일축압축강도의 증가를 아래의 그림과 같이 나타냈다. B고화제의 혼합비 5%에서는 B-2 혼합토와 B-1 혼합토 모두 자립하지 못하거나 매우 낮은 강도를 보였다. 그러나 혼합비가 증가하면 B-1 혼합토는 양생일에

따라 선형적으로 증가하여 28일 후에는 OPC혼합토의 40%강도를 발현하였다. B-2혼합토 역시 양생일에 따라서 선형적으로 증가하며, 11% 이하에서는 각 양생일마다 B-1과 비슷한 강도를 보이나 14%에서는 B-1 혼합토에 비해 탁월하게 강도가 크고 OPC 혼합토와 비교할만한 높은 강도를 발현하였다.

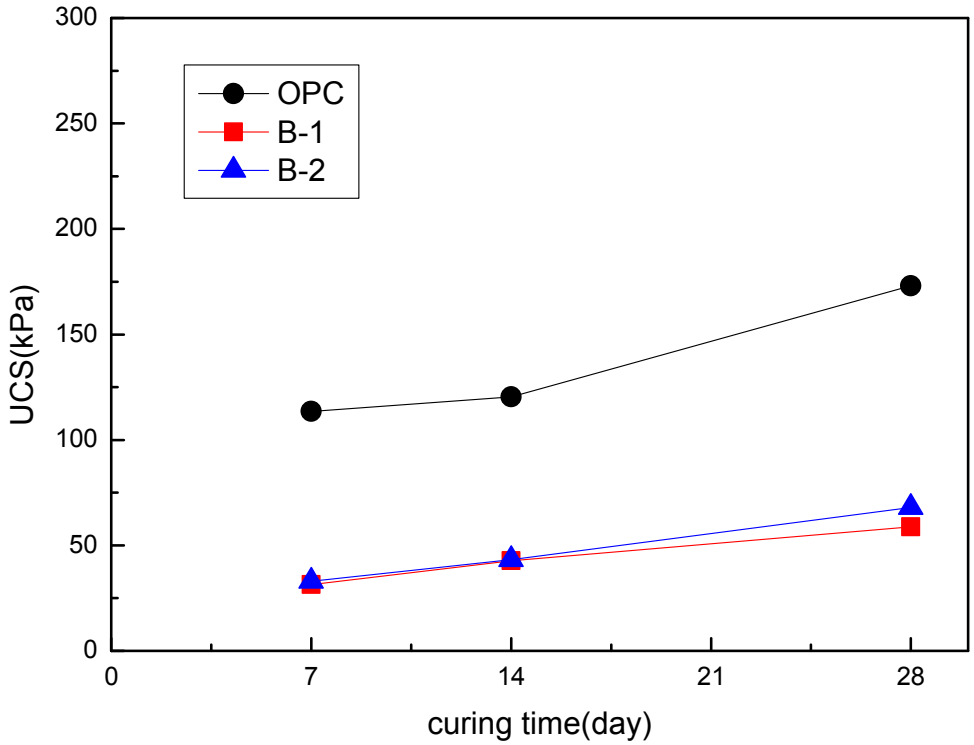
이와 같은 특성을 볼 때 B고화제는 함수비가 높은 해성 준설토의 개량을 위해서는 다소 높은 혼합비의 사용이 요구되며, 사용량이 많은 경우 B-2 고화제의 경우는 시멘트의 강도를 넘어서는 정도의 개량효과가 있는 것으로 나타나 경제적으로 활용 가능한 것으로 판단된다.



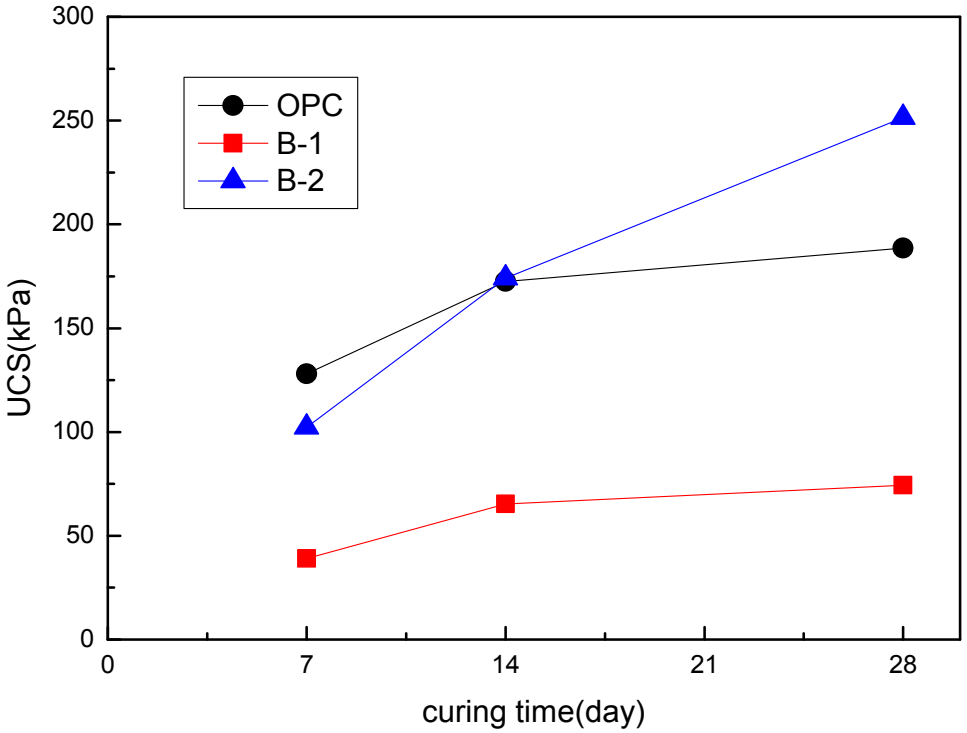
혼합비별 양생일 증가에 따른 일축압축강도 변화 (혼합비 5%)



혼합비별 양생일 증가에 따른 일축압축강도 변화 (혼합비 8%)



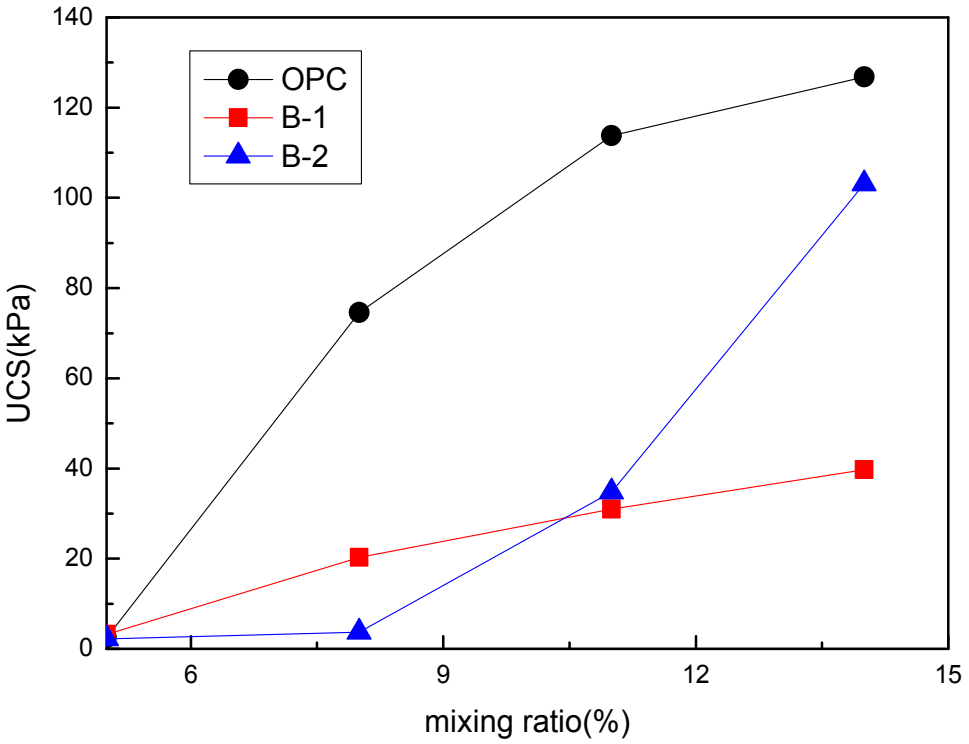
혼합비별 양생일 증가에 따른 일축압축강도 변화 (혼합비 11%)



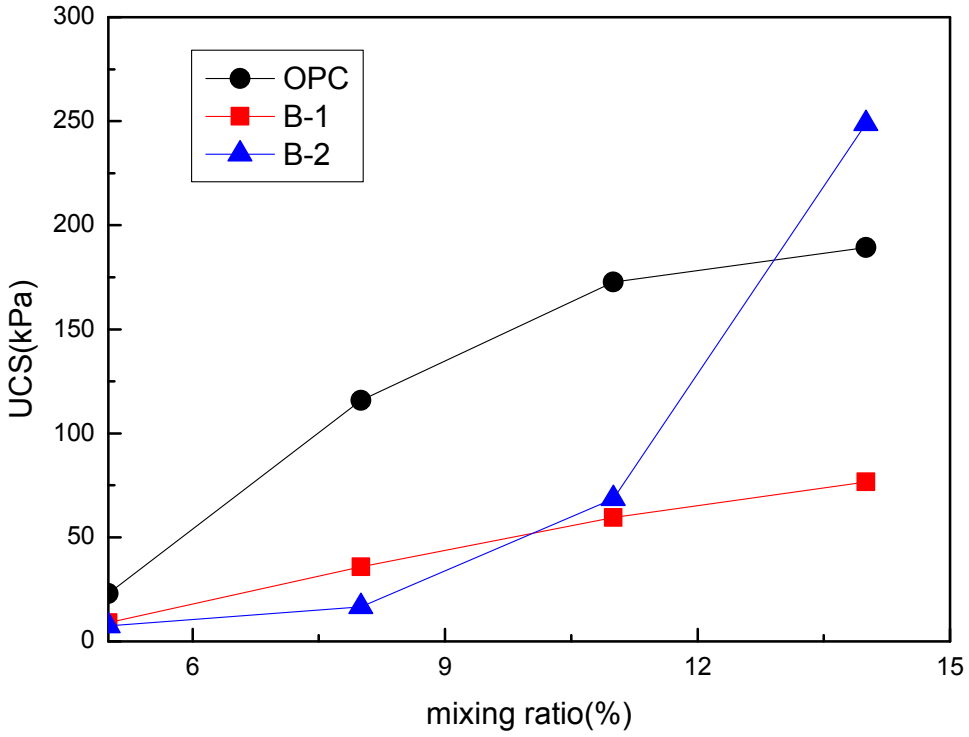
혼합비별 양생일 증가에 따른 일축압축강도 변화 (혼합비 14%)

해양준설토와 고화제 양생일별 혼합비 증가에 따른 일축압축강도 증가를 7일 양생과 28일 양생 공시체에 대한 결과를 아래의 그림 2.32 ~ 그림 2.33에 나타냈다. B-1 고화제와 해양준설토 혼합토는 혼합비에 따라 선형의 증가폭을 보였다. 그러나 B-2고화제와 해양준설토 혼합토의 일축압축강도는 혼합비 증가에 따라 2차 곡선 형태로 급속히 증가하며 14% 혼합비의 공시체를 28일 양생한 경우에는 오히려 시멘트 혼합토의 강도를 넘어서는 것으로 나타났다.

양생일 7일에서 혼합비 14%의 OPC 혼합토와 비교하면 B-1 혼합토는 31%이며, B-2 혼합토는 82%의 강도를 보이나 양생일이 28일로 증가할 경우 B-1 혼합토는 OPC 혼합토 기준 40%까지, B-2 혼합토의 경우 28일 양생 후에는 OPC 혼합토 기준 133%로 매우 큰 강도를 발현한다. 한편 비교를 위하여 함께 나타낸 일반 시멘트 혼합토의 경우는 혼합비 증가에 따라 강도 증가폭이 줄어드는 경향을 보여 11% 이상의 혼합비는 개량의 효과가 거의 없어 그 이상의 혼합은 효과가 없는 것으로 나타났다.



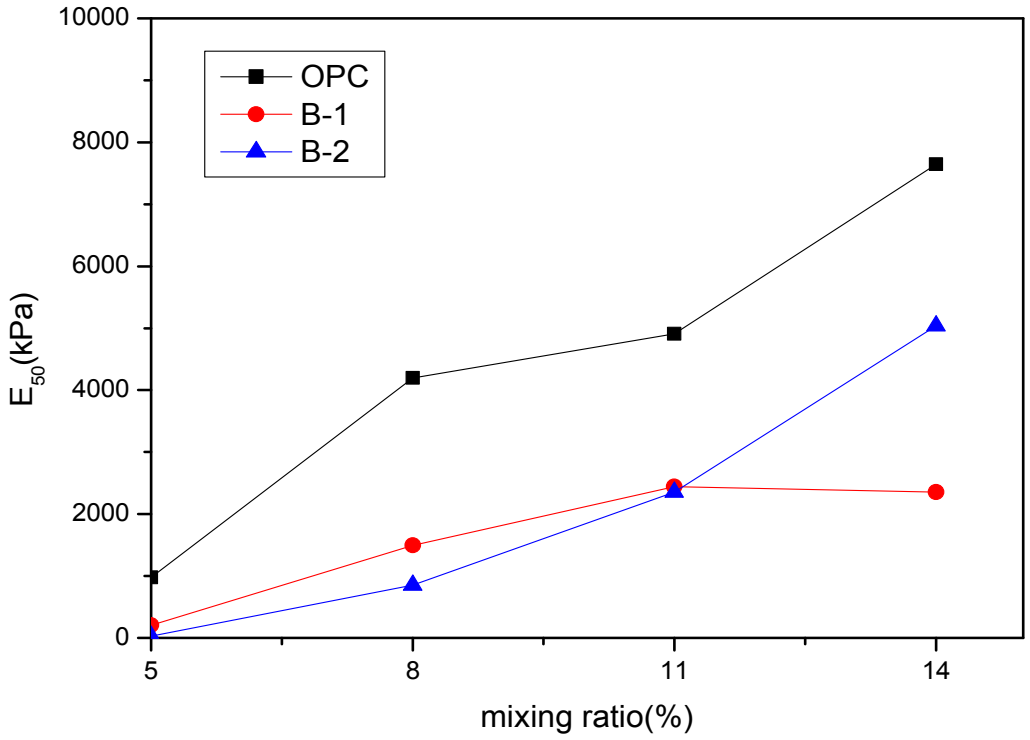
혼합비 증가에 따른 7일 양생의 일축압축강도 변화



혼합비 증가에 따른 28일 양생의 일축압축강도 변화

변형해석에 주로 이용되는 파괴응력의 50%에 해당되는 변형계수(E_{50})와 재령기간 28일 강도 고화제 혼합비의 관계를 아래의 그림 2.33에 나타냈다. 고화제 혼합비가 증가하면서 변형계수의 크기도 증가하는 경향이 나타났으며 B고화제는 OPC혼합토에 비해서는 B-1 및 B-2 혼합토

의 변형계수가 전반적으로 작게 나타났다.



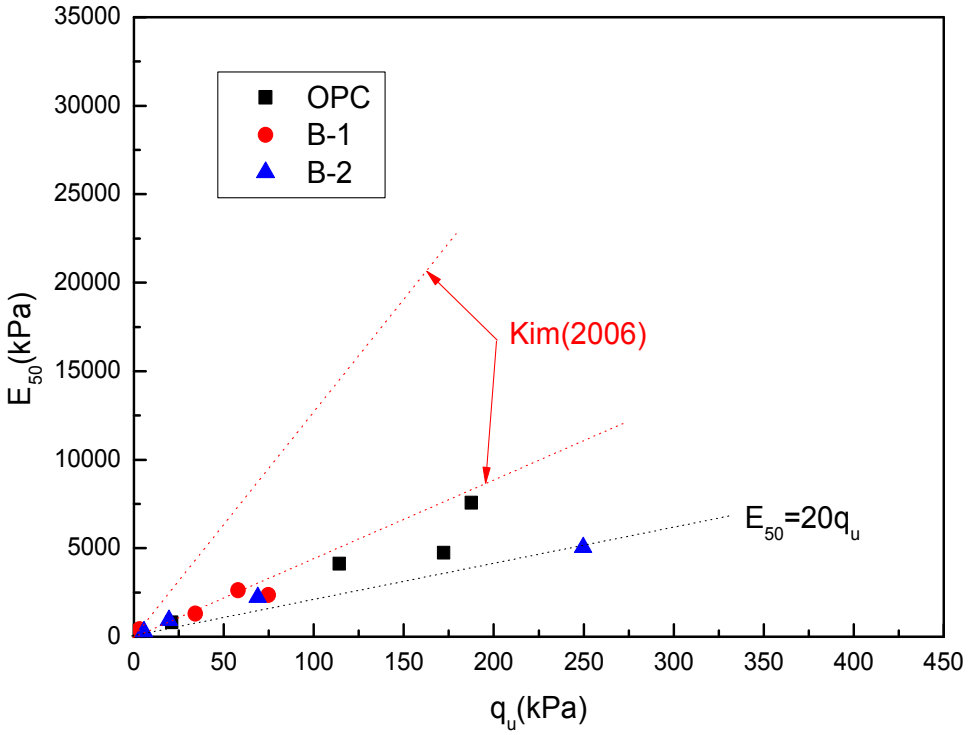
혼합비와 변형계수의 관계 (재령 28일)

재령기간 28일 혼합토의 변형계수와 압축강도의 관계

구분	변형계수(E_{50})와 압축강도(q_u)의 관계
OPC 혼합토	E_{50} = 28~48q_u
B-1 혼합토	E_{50} = 30~43q_u
B-2 혼합토	E_{50} = 20~47q_u

아래의 그림은 고화제 혼합토의 변형계수와 양생기간 일인 공시체의 일축압축강도($q_{u,28}$)의 관계를 나타내며 상한계선과 하한계선의 범위를 위의 표 2.38에 정리하였다. 아래의 그림에 나타난 바와 같이 일축압축 강도가 클수록 변형계수도 커지는 경향을 보였으며 상기의 표를 참고하면 대상토가 광양 준설토인 고화제는 일반 시멘트(OPC)와 함께 변형계수와 압축강도의 관계가 고화제 종류에 따른 큰 변화는 없는 것으로 나타났다. 낙동강 준설토와 시멘트 혼합경량토의 변형계수와 압축강도간의 관계 $E_{50} = (44 \sim 128) \times q_u$(김윤태, 2006)와 비교하면 B고화제의 경우 하한계선 내외에 분포하는 것으로 나타났으나 광양만 준설점토와 OPC혼합토의 관계도 큰 차이가 없는 것으로 보아 이는 고화제의 차이에 의한 것이라기보다는 부산지역의 준설점토와 광양만의 준설점토의 차이에 의한 것으로 판단된다. 한편 C고화제는 김윤태(2006)의 연구결과와 비교할 때 하한계선과 상한계선 사이에 포함되거나 상한계선을 넘어서는 것으로 나타나 유

사한 것으로 판단된다.



재령 28일 혼합토의 변형계수(E_{50})와 압축강도(q_u)의 관계

(5) 고화제 혼합토의 투수 특성

(가) 투수시험

지반 내에는 다양한 종류의 물이 존재하고 있으며, 이들은 생성원인과 지반 내에 존재 상태에 따라서 지하수, 흡착수, 침투수, 지층수, 모관수, 절리수, 간극수 등과 같이 구분한다. 흔히 지반공학에서 일컫는 지하수는 지반의 간극 내에서 중력에 의한 수두차에 따라서 유동하게 된다. 지반내의 물은 유효응력에 영향을 미치며 이러한 영향은 정수압, 침투압, 부력 등으로 작용하게 된다.

지반의 투수성은 간극 속에 존재하는 지하수가 수두차에 의해서 흐르는 물의 특성을 나타낸다. 지하수의 투수는 하천제방, 흙댐 등의 제체 내에서의 흐름과 지반으로의 침투, 구조물에 작용하는 양압력 등의 영향을 밝혀서 설계 및 시공에 적용하기 위하여 조사한다.

투수계수는 지반내의 간극에 따라서 많은 영향을 받는다. 현장에 따라 투수계수가 상당부분 차이를 나타내기 때문에 현장적용이 용이하지 않다. 이러한 투수계수는 실내 투수실험, 현장투수실험 등 직접적인 실험을 통하여 산출하며, 압밀계수로부터 유도하여 간접적으로 도출하기도 한다. 또한 지반의 성질에 따라서 경험적인 투수계수를 이용한 개략적인 수치를 구할 수 있으나 이 경우는 경험적인 수치에 불과하므로 현장 적용성이 현저히 낮다.

일반적으로 흙의 투수계수는 아래의 표처럼 흙의 성질, 입경, 간극비 등에 따라 그 값이 대단히 넓게 분포를 보인다. 흙의 투수실험(KS F 2322)은 투수계수가 큰 사질토의 경우 정수위 투수실험을, 투수계수가 낮은 점성토의 경우 변수위 투수실험을 실시하도록 규정되어 있다.

이 연구에서는 도로에 적용을 목적으로, 화강풍화토 만을 그 대상으로 하였고 직경 10cm, 높이 10cm의 투수실험 몰드에 고화제를 혼합한 화강풍화토로 공시체를 제작하였다. 양생이 끝난 후 각 재령별로 가압장치를 이용하여 시료를 포화시킨 후 KS F 2322의 방법에 준하여 변수위 투수실험을 수행하였다. 실험의 특성상 포화도를 정량적으로 알 수 없기 때문에 압력을 가한 상태에서 물이 시료를 전부 통과하여 나온 시점을 포화된 상태로 가정하였다.

혼합토에 따른 자갈, 사질토 및 화강풍화토의 투수계수(박수영, 2010)

실험자	대상토	벤토나이트 혼합비(%)	투수계수 (㎝/sec)	실험장치
한국건설 기술연구원 (1994)	화강풍화토	0	6.6×10^{-5}	변수위 투수실험
		5	6.8×10^{-7}	
		10	8.6×10^{-8}	
		15	6.9×10^{-8}	
Kenney et al. (1992)	사질토	4	8.1×10^{-8}	압밀 투수실험
		8	1.5×10^{-8}	
		12	6.1×10^{-9}	
Hitoshi et al. (1995)	Silica sand	10	3.5×10^{-6}	정수위 투수실험
	Silica sand(50%)/ 부순암석(50%)		2.0×10^{-7}	
	부순연암		5.0×10^{-7}	
	Silica sand(50%)/ 자갈(50%)		6.0×10^{-6}	
Pandian et al. (1995)	rown soil	10	4.1×10^{-8}	압밀 투수실험
	Lack cotton soil		4.5×10^{-8}	

아래의 그림은 연구에 사용한 변수위 투수실험 장치이다. 실험순서는 먼저 스탠드파이프의 최소의 수위 h_1과 최종수위 h_2를 미리 정해둔다. 실험기 내부 시료의 기포가 없는 것을 확인한 이후에 월류수조에 물을 채우고 수조의 월류면으로부터 스탠드파이프의 0점까지의 높이를 측정한다. 스톱워치를 이용하여 수위가 h_1에서 h_2로 내려올 때의 시간인 t_1, t_2를 측정하여 투수계수를 산정하도록 한다. 식 4는 변수위투수실험을 통한 투수계수를 산정하는 식을 나타낸다.

$$k(cm/\sec) = 2.3\frac{aL}{A} \cdot \frac{1}{(t_2 - t_1)} log_{10}\frac{h_1}{h_2} \qquad \text{(식 4)}$$

여기서, L : 물이 시료를 통과한 거리(시료길이) (㎝)

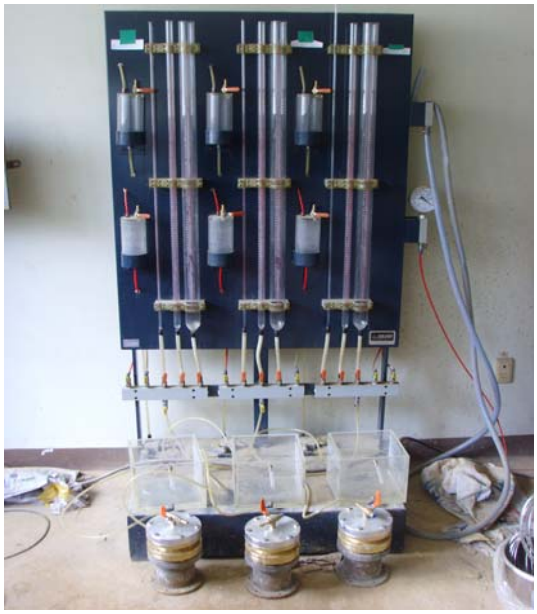
a : 스탠드 파이프의 단면적 (㎠)

t_1 : 측정 시작시간 (sec)

t_2 : 측정 종료시간 (sec)

h_1 : t_1에서 수조 기준수면 높이 (㎝)

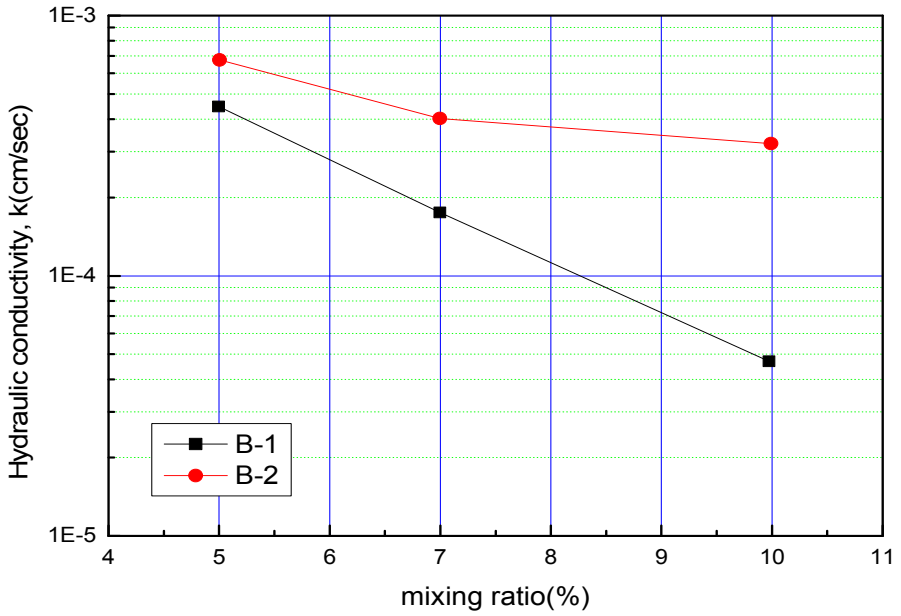
h_2 : t_2에서 수조 기준수면 높이 (㎝)



변수위 투수실험 장치

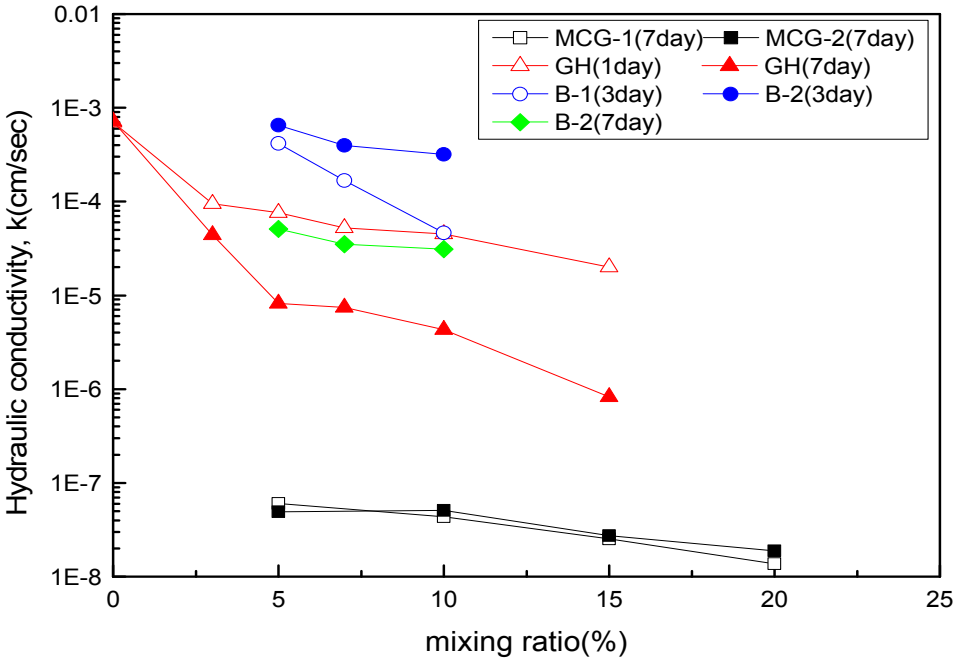
(나) 투수실험 결과

아래의 그림은 고화제 혼합비에 따른 변수위 투수실험 결과이다. 배합비에 따른 투수계수의 변화는 5%혼합비에서 $4.4 \sim 6.7 \times 10^{-4}$ ㎝/sec 범위의 투수계수를 보였다. 혼합비가 7%로 증가하면 투수계수가 급격히 감소하며 10%에서 $3.2 \times 10^{-4} \sim 4.7 \times 10^{-5}$㎝/sec로 투수계수가 더욱 감소하는 것으로 나타났다.



3일 양생 후 투수실험 결과

아래의 그림은 본 연구와 유사한 조건에서 고화제(MCG, GH)와 화강풍화토를 혼합하여 만든 혼합토의 7일 이하 재령에 대한 투수계수를 고화제 혼합비에 따라 비교한 것이다. B-1 및 B-2 고화제는 차수제의 역할을 하는 $1.0\times10^{-7}cm/\sec$이하의 투수계수를 갖는 MCG고화제에 비해서는 매우 크나 일반 GH고화제의 1일 재령과 비슷하고 7일 재령의 경우보다는 약간 큰 투수계수를 보인다.

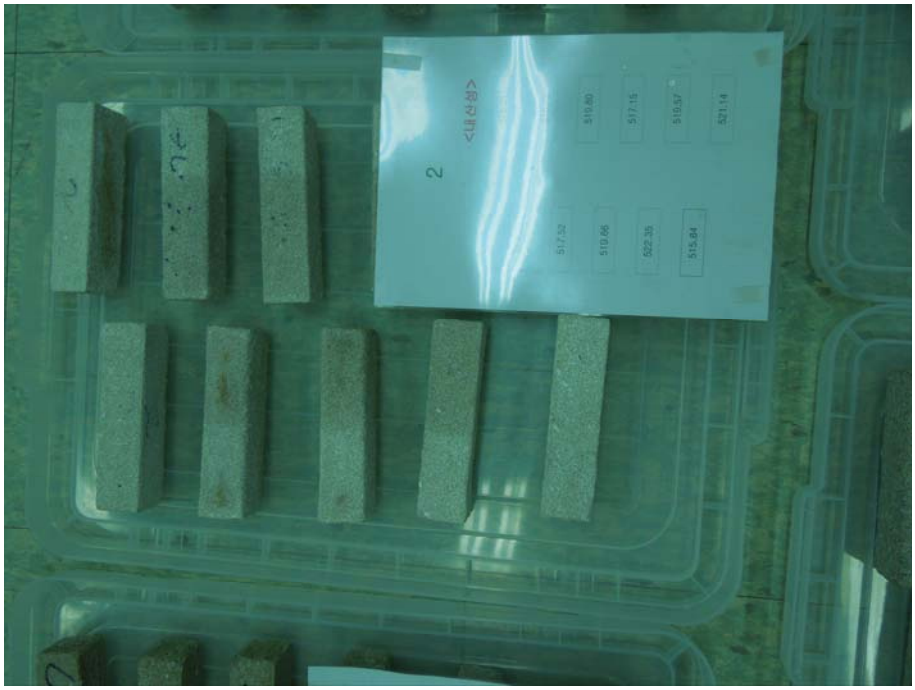


투수계수 비교

나. 지반고화재의 환경적 특성 종합 평가

(1) 배합에 따른 내산성 및 내해수성 평가

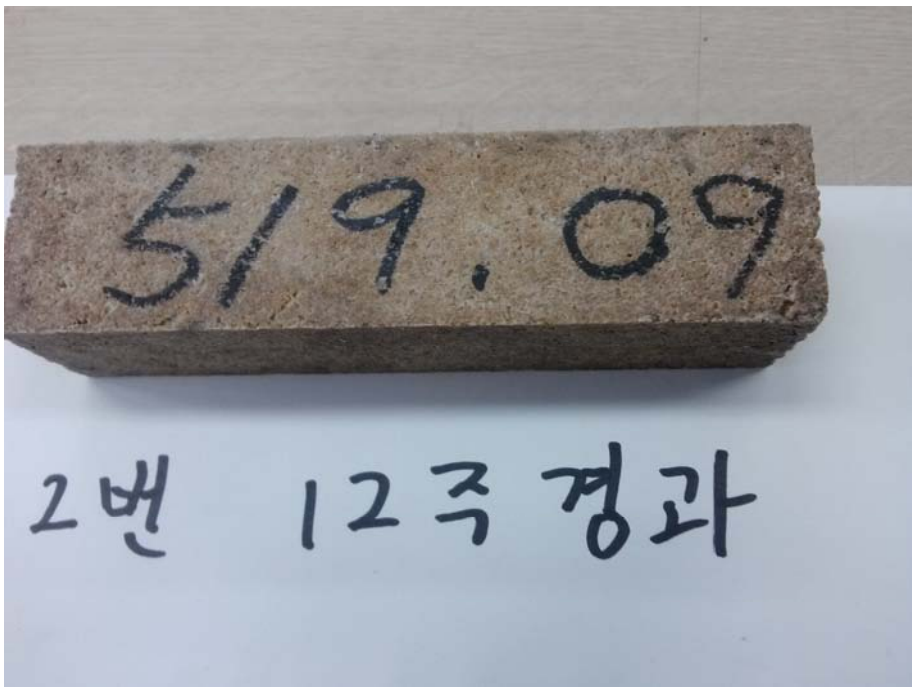
지반고화재의 내구성 평가를 위해 OPC와 지반고화재 2종류의 결합재 자체의 성능과 고화처리토에 대한 내산성, 내해수성 시험을 실시하고 고화처리토의 장기재령에 따른 압축강도를 비교하였다.



염수+황산염용액 침지 실험 과정(모르타르 공시체)



내산성 실험결과(준설고화토 공시체)



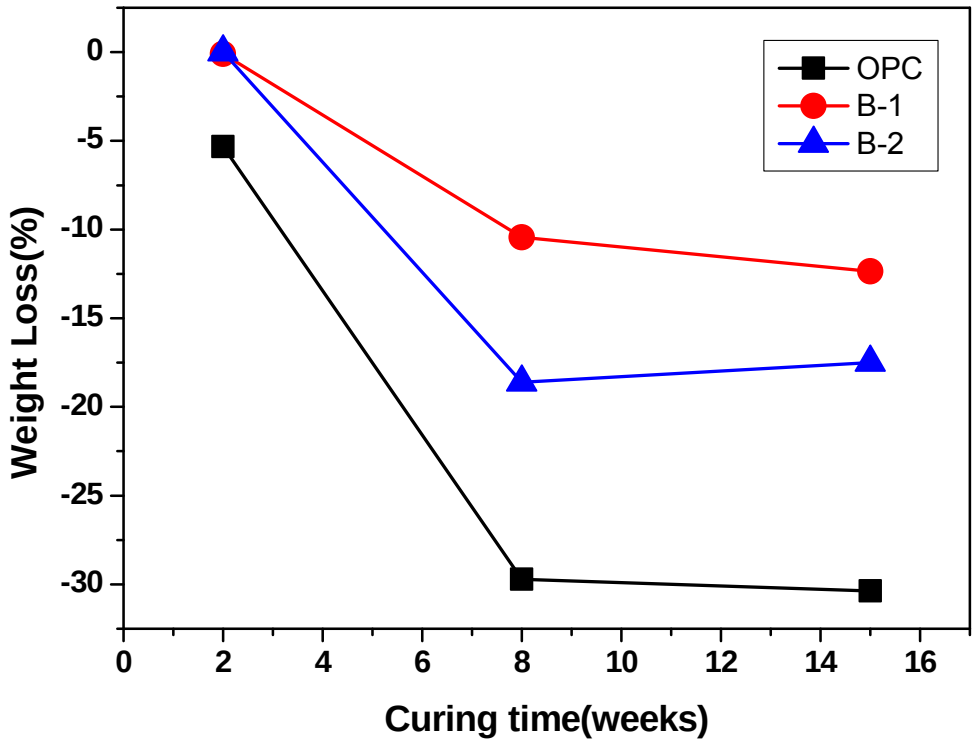
내해수성 시험 공시체(모르타르)

지반고화재 2종류와 OPC를 이용한 내산성 시험결과와 같이 OPC에 비해 지반고화재의 중량감소율이 현저히 낮게 나타나고 있다. 지반고화재 B-1의 경우 15주 침지 후 OPC에 비해 중량가소율이 약 2.5배 낮게 나타나 내산성이 우수함을 알 수 있다. 또한, 결합재와 준설토를 혼합한 준설고화토의 내산성 실험결과 4주 침지 후 지반고화재를 이용한 고화토가 OPC대비 약 130%정도의 내산성을 나타내고 있다.

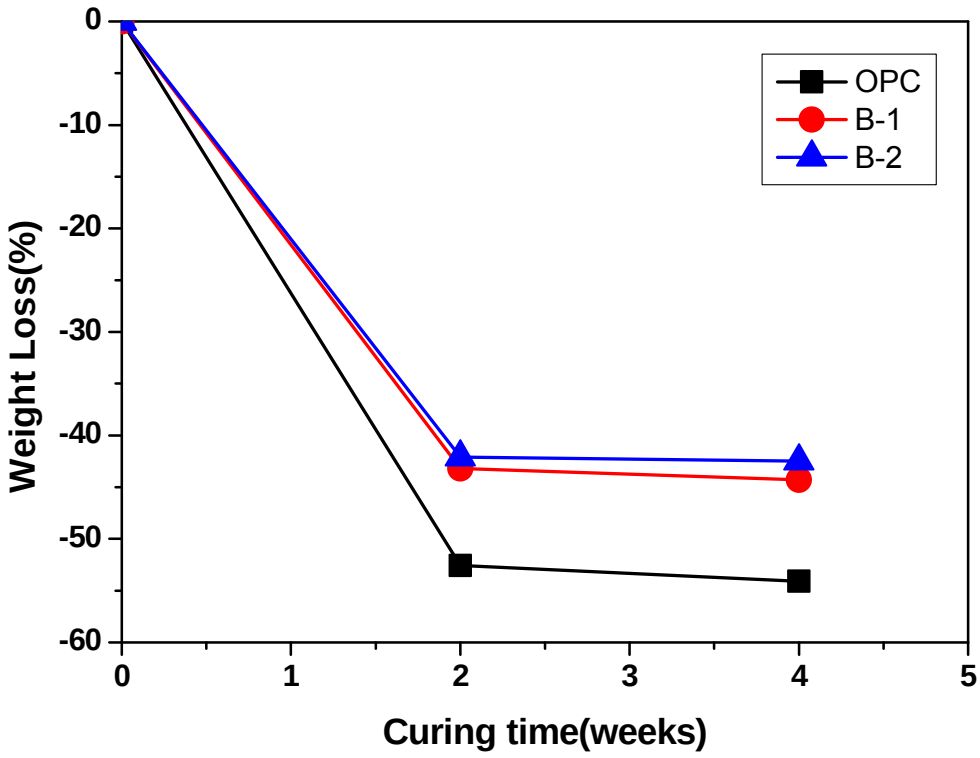
내산성과 같은 극한의 상황이 아닌 인공해수에 의한 내해수성 실험결과 그림 2.44와 같이 지반고화재 2종 모두 OPC대비 높은 압축강도를 나타내고 있다.

지반고화재 장기강도는 슬래그 시멘트와 마찬가지로 시간의 경과에 따라 증가하는 경향을 나타내며 재령 22주가 지나서 슬래그 시멘트 대비 약 150%이상의 압축강도를 나타내고 있다.

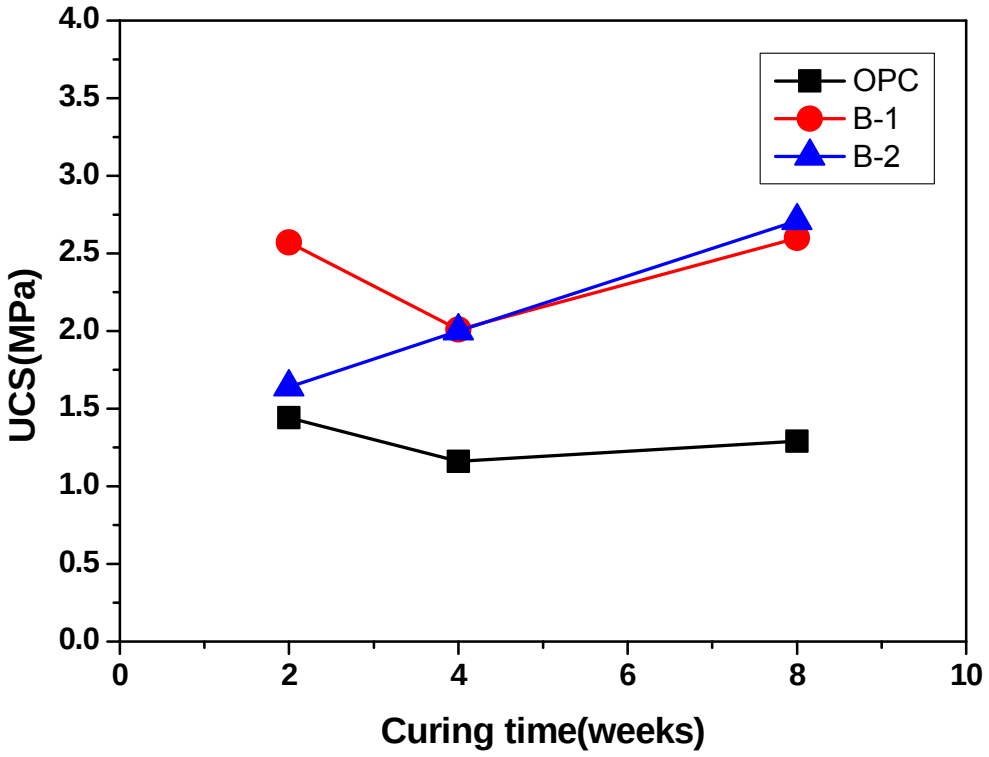
이와 같이 결합재의 내산성, 고화토의 내산성, 내해수성, 장기재령을 실험한 결과 기존의 시멘트 대비 개발고화재의 성능이 보다 우수한 것으로 판단된다.



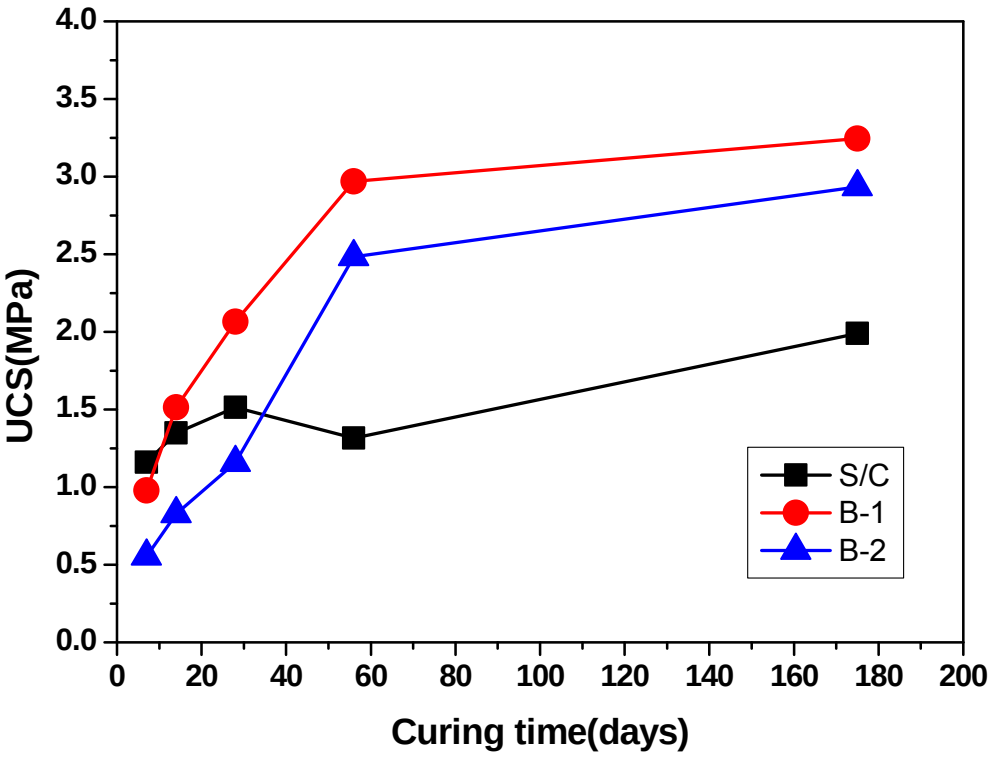
재령에 따른 내산성 시험 결과(결합재)



재령에 따른 내산성 시험 결과(고화토)



재령에 따른 내해수성 시험 결과(고화토)



장기재령에 따른 압축강도시험 결과(고화토)

(2) 어독성 시험

순환자원을 혼입한 지반고화재의 토양오염시험기준 적용에 따른 안정성 평가로서 그림에 나타낸 바와같이 어류에 의한 급성 독성시험을 KS I ISO 9167에 의해 정밀관찰이 필요에 의해 자체평가로 수행하였다. 시험체 제작은 OPC, 슬래그시멘트, 지반고화재 B-1, 2를 이용하여 18±2℃로 밀봉양생 하였다. 탈형 후 무게를 측정하고 용수에 침지시켜 측정하였다. 조사항목은 방사 후 24, 48, 72, 96시간 경과 후 누적치사수 및 증상, pH의 변화를 측정하였다.

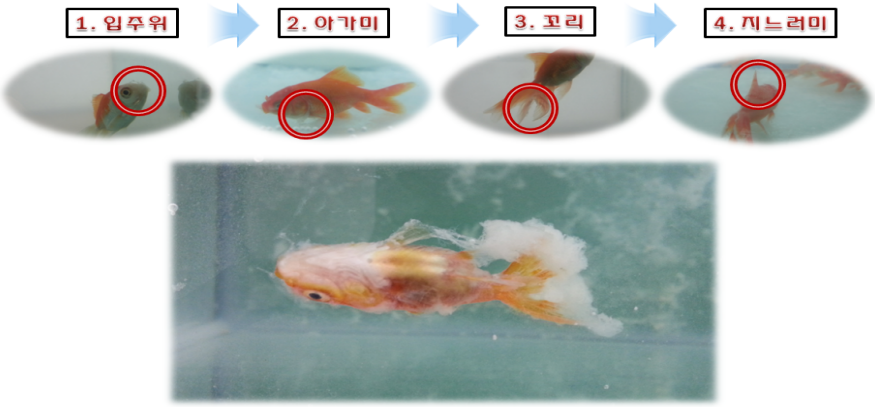


어독성 시험 전경

침지 후 시간별 치사과정은 다음과 같다.

1. 움직임이 둔하고 입주위에 공기방울이 생김
2. 입에서 점액을 내놓음
3. 아가미 주위에 이물질이 형성됨
4. 지느러미에 이물질 형성되면서 움직임이 점점 없어지며 금붕어 몸 전체를 감싸고 있음
5. 이상행동을 보임(뒤로 가거나 수조벽면을 부딪침)
6. 수조 표면에 얇은 막이 형성되며 금붕어가 입으로 호흡함
7. 몸 전체에 이물질이 감싸져 있으며, 악취가 남

침지 후 치사수를 비교한 결과 OPC >B-2 > 슬래그시멘트 > B-1 순으로 나타났으며, OPC에서는 24시간 100% 치사율, B-2에서는 96시간 60% 치사율, 슬래그시멘트에서는 96시간 40% 치사율, 그리고 B-11에서는 96시간 0% 치사율의 결과를 나타내었다.

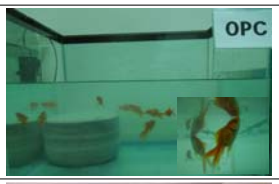
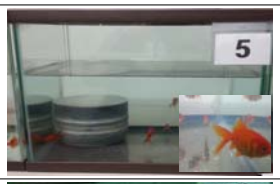
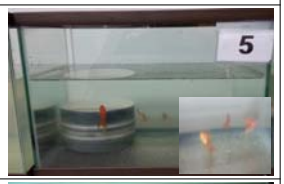
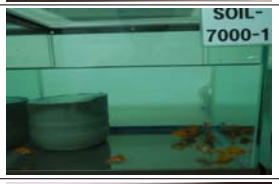


수조 침지 후 치사과정

침지 후 시간대별 pH

번호	처 리 생물수	pH				
		직후	24h	48h	72h	96h
OPC	10	8.72	10.10	11.27	-	-
고로슬래그 시멘트	4	8.39	9.83	9.76	9.61	9.27
B-1	0	7.81	9.59	9.74	9.04	9.26
B-2	6	9.78	9.91	9.43	9.22	8.56

침지 후 시간대별 치사과정

	START	24h	48h	96h
OPC			실험종료	-
고로슬래그 시멘트				
B-1				
B-2				

다. 소결

① 혼합토의 응력-변형거동은 B-1혼합토의 경우 11%까지 뚜렷한 파괴양상을 나타내며 B-2혼합토는 14%혼합비에서 매우 뚜렷한 취성파괴양상을 보임.

② B-1의 경우 혼합비 8%이하에서와 B-2의 경우 혼합비 11%이하에서는 압축강도가 작으며, 뚜렷한 파괴양상이 나타나지 않는 일반 흙과 유사한 응력-변형거동을 보이는 것으로 판단됨.

③ 시멘트의 강도를 넘어서는 정도의 개량효과가 있는 것으로 나타나 경제적으로 활용 가능한 것으로 판단됨.

④ B-2고화제와 해양준설토 혼합토의 일축압축강도는 혼합비 증가에 따라 2차 곡선 형태로 급속히 증가하며 14% 혼합비의 공시체를 28일 양생한 경우에는 오히려 시멘트 혼합토의 강도를 넘어서는 것으로 나타남.

⑤ 고화제 혼합비가 증가하면서 변형계수의 크기도 증가하는 경향이 나타났으며 B고화제는

OPC혼합토에 비해서는 B-1 및 B-2 혼합토의 변형계수가 전반적으로 작게 나타남.

⑥혼합비가 7%로 증가하면 투수계수가 급격히 감소하며 10%에서 $3.2\times10^{-4}\sim 4.7\times10^{-5}$㎝/sec로 투수계수가 더욱 감소하는 것으로 나타남.

⑦ 개발된 지반고화재의 내구성 실험 결과 내산성, 내해수성, 장기재령에서 기존의 시멘트보다 우수한 내구성을 나타냄.

제 3장 최종 연구성과 및 적용 실적

제 1절 Pilot Plant 설치 및 시제품 생산

1. Pilot plant 설치

1차년도 연차실적보고서에 수록된 Pilot Plant 설비 설계도면을 토대로 친환경 무기결합재의 개발 및 제조설비를 구축하였다. 본 연구에서 부합되는 무기결합재를 제조하기 위한 원재료는 순환자원 즉, 산업부산물이 대부분이기 때문에 순환자원의 전처리 공정을 실시하여 원재료의 품질 균일성을 확보하고자 하였다.

원재료는 다중자연낙하 공기흡입형 분급기를 통해 분급되어 정분은 싸이클론에 의해 회수되고, 초정분은 집진기에 의해 회수되면, 회수되지 않은 조분은 입도를 증가시키기 위하여 분쇄용볼밀로 압송되어 진다. 볼밀에서 분쇄된 조분은 원료와 함께 다시 분급기로 공급되어 입도 분급되는 공정을 거친다. 분급된 원료는 사일로에 저장된 후 제품배합에 의해 계량 및 혼합되고 포장된다.

설비 구축내용

	내용
일시	2012년 10월 01일
장소	(주) 대웅 (전라남도 여수시 율촌면 조화리 553-1)
구축배경	개발 무기결합재의 설비 설치 및 생산
구축 설비	원료 전처리 및 혼합시설, 계량, 이송, 저장, 혼합기 등으로 이루진 제조설비
생산량	60ton/hr








무기결합재 제조 실증 플랜트 공사 진행 사진

혼합설비 리스트

설 비 명	규 격	수량
Raw Silo Tank	200 ton	2
Raw Silo Tank	100 ton	2
Product Silo Tank	500 ton	2
Bucket Elevator	1050*550*23,000H	1
Air Separation System	10 ton/Hr	1
Weighing System	$1m^{3/}$batch	4
Screw Conveyor	Φ450*7,000	1
Un-Loading System	90ton/Hr	2
Loading Pipe	125A	8
Truck Scale	60ton, 18m	2
Mixing Sysem	$4m^3$/Batch	1
Product Hopper	$6m^3$	1
Steel Structure		1
Auto Controlling	PLC, LCD	1
Air Compressor Set	50HP	1
Dust Collector Set	For Mixer, $100m^3$	1
In let, Out let Duct	Cyclone, Separator	1



무기결합재 제조설비(1단계 설치 전경)



계량 및 출하부



중앙 판넬



혼합설비





저장시설





이송시설



ZEB 무기결합재 출하 장면

2. 시제품 생산

<시험시공 현장>	
시공일자	2013년 6월 21일~24일
시험시공 장소	부산 송도 준설토 투기장 (경남 창원시 진해구 연도동)
시공작업	  

무기결합제 공정관리일지

2013 년 07월 14일 날씨 맑음

결재	담 당	생산부장	총괄임원

공정명		관리항목	관리기준	관리주기	관리 내용		
이 송		각 부 작동상태	원활히 작동할것	작업시			
					설정치	측정치	계량오차 (%)
공정관리	재료계량 알칼리자극제	계량오차	± 1%	1회/ 일	[redacted]	[redacted]	1
	알루미나				[redacted]	[redacted]	0
	슬래그				[redacted]	[redacted]	0
	황산염자극제				[redacted]	[redacted]	1.2
혼 합		혼 합 량	1 t				
		혼합시간	90초 ± 10 초				

고화재 생산 및 출고량	배합비 %	생산량 Ton	출고량(Ton) 대수	일계	월계	년계	잔량	비고
	알칼리 자극제 [redacted]	30	1	29.79	87.61	8889.05	37.63	
	알루미나 [redacted]							
	슬래그 [redacted]							
	황산염 자극제 [redacted]							

설비점검 유할관리 특기사항	• 알칼리 자극제 : [redacted] • 황산염 자극제 : [redacted]
계획업무 및 미결사항	무기결합제 생산, 과열 및 단전 대비 설비점검, 에어피스 에어호스교체
당일업무 특기사항	

DW I 301-2 (0) DW INC A4(210 × 297 ㎜)

[부표1]

무기결합제 제조공정도

공정명	설비명	공정도시기호	관리항목 및 기준				검사항목 및 기준						관리기록
			관리항목	기 준	관리방법	주기	검사항목		기 준	검사방법	주기		
입고	원료Silo	▽	입고량	계근표보다 입고중량이 적지 않을것	거래선에서 발행한 계근표와 당사 계근 중량 비교	입고시							거래명세서(납품서) 거래처별 매입집계표
인수검사	검사설비	◇					알칼리 자극제	CaO	45 % 이상	외부기관 의뢰	년 2회		외부기관 시험성적서
								강열감량	15 % 이하				
							알루미나	CaO	45 % 이상				
								강열감량	15 % 이하				
							슬래그	SiO_2	30 % 이상				
								CaO	40 % 이상				
							황산염 자극제	CaO	65 % 이상				
								SO_3	20 % 이상				
이송	Rotary Valve, Screw Feeder, Bucket Elevator	○	작부 작동상태	원활히 작동할것	운전중 control panel 점등상태 수시확인	일1회							공정관리일지
재 입 계 량	계량기	○	계량오차	각 재료별 ± 3%	control panel 계량치 확인								
혼 합	믹 서	◯	혼합량	1 t	기준치 이내로 비교 관리								
			혼합시간	90초± 10초	측정된 계량치와 기준치를 비교 관리								
이송	Rotary Valve, Screw Feeder, Bucket Elevator	○	작부 작동상태	원활히 작동할것	운전중 control panel 점등상태 수시확인								
저장	제품Silo	▽	안전재고	최소 0.5일 출하량 - 최대 Silo 용량 90%	적정한 재고계이지 확인 및 사이로 설측								
제품검사	검사설비	◇					압축강도		재령 7일 1 Mpa 이상	CMD 1 401(제품검사지침)에 의함	월 2회		제품 검사성적서
출하	벌크트럭	⇩	적재량 (중량)	납품서 거래량과 일치	제품 실 적재중량과 납품서 거래량 비교	차량별							납품서(원부, 인수증) 거래처별 배송집계표

< 시험시공 현장>	
시공일자	2013년 7월 15일
시험시공 장소	전주 혁신도시 개발현장(전라북도 완주군 이서면)
시공작업	  

무기결합재 공정관리일지

2012 년 12월 13일 날씨 맑음

결재	담 당	생산부장	초괄임원

	공정명		관리항목	관리기준	관리주기	관리 내용		
공정관리	이 송		각 부 작동상태	원활히 작동할것	작업시			
	재료계량					실정치	측정치	계량오차 (%)
		알칼리자극제	계량오차	± 1%	1회/ 일	[redacted]	[redacted]	1
		폐석고				[redacted]	[redacted]	0
		슬래그				[redacted]	[redacted]	0
		OPC				[redacted]	[redacted]	1.2
	혼 합		혼 합 량	1 t				
			혼합시간	90초 ± 10 초				

	배합비 %		생산량 Ton	출고량(Ton)					
				대수	일계	월계	년계	잔량	비고
고파쇄 생산 및 출고량	알칼리자극제	[redacted]	30	1	29.79	87.61	8899.05	37.63	
	폐석고	[redacted]							
	슬래그	[redacted]							
	OPC	[redacted]							

설비점검 운활관리 특기사항	* 알칼리 자극제 : [redacted]
제품업무 및 이상사항	무기결합재 생산, 동파대비 설비점검, 에어퍼징 에어호스교체
당일업무 특기사항	

DW I 301-2 (0) DW INC A4(210 × 297 mm)

부기경합체 세스정도

(V.III)

<시험시공 현장>	
시공일자	2012년 12월 14일
시험시공 장소	대전 건축환경연구센터 내 102호(약 40평형)
시공작업	  

ZEB의 요구성능은 무기결합재의 품질 특성 및 제품 활용 방안에 대해 제시하고 있는 관련 법규 및 환경기준에 의한다.

시멘트 제로형 무기결합재를 생산하기 위해 참여기업인 (주)대웅의 기존 설비를 이용하여 무기결합재 제조에 관한 설비 검증을 실시하였으며, 이를 바탕으로 60톤/시간 생산규모의 무기결합재 제조 설비를 구축하였다.

또한 무기결합재의 시제품 생산을 통하여 공정일지 및 제조공정도를 작성하여 현장 납품을 하였다.

제 2절 기술 실시 및 현장 적용 사례

1. 표층처리 공법

일반적으로 준설매립지와 같은 해안에 인접한 초연약지반을 개량하는 경우는 우선 지반개량용 작업장비의 주행성을 확보하기 위하여 표층개량이 실시되고, 이후 심층개량이 실시된다. 초연약 점성토 지반에서 건설장비의 주행성 확보를 목적으로 사용되고 있는 표층고화처리공법은 지반의 표층부분을 대상으로 시멘트 및 생석회와 같은 고화재를 주재료로 하여 원지반과 교반・혼합한 후 고화재의 화학적인 고결작용을 이용하여 지반의 강도, 변형특성 및 내구성 등을 개선하는 지반개량 공법으로, 일반적으로 표면에서 0.5~2m 정도의 범위 내에서 실시하게 된다. 이러한 표층고화처리공법은 지반 속에 강성이 큰 구조체를 형성하며 개량지반은 2층 지반의 형태가 되어 구조적으로는 불연속면이 된다. 표층개량공법의 메커니즘은 주로 투입되는 고화재의 화학적 성분에 의한 것으로 고화재의 성분구성과 대상토질에 의하여 고화효과가 다르게 나타난다.



표층고화처리공법 시공순서

연약지반에서의 Trafficability 확보방안으로 통상 적용되어온 순환골재 포설공법 및 순환골재 포설 + P.P Mat 공법과 본 공법을 요약 비교하면 아래의 표와 같다.

타공법 대비 장단점 비교

구분	순환골재 포설	순환골재 포설 + P.P Mat	표층 고화처리
장점	- 공사가 간편하다. (포설 → 다짐) - 양생기간 불필요	- 공사가 간편하다. (포설 → 다짐) - 양생기간 불필요	- 연약지반이 양질의 지반으로 변화해 Trafficability 확보 가능 - 준설매립 후 자연 탈수압밀을 위한 대기기간이 필요 없으므로 계획된 매립부지 이용 시기를 대폭 단축가능 - 사토처리비용 필요 없음 - 고화처리 후 폐기물 발생 없음(양질토로 전환)
단점	- 후속 공정인 심층 개량공사의 경우 천공시 불편함 초래 - 치환개념으로 사토의 처리 비용 발생 - 중장비 진입시 철판 사용 필요 - 후속 공정인 심층 개량공사의 경우 천공 후 부상토 발생시 순환골재 혼합으로 인해 폐기물 발생 - 초연약지반의 경우 Bottom Mat 필요(순환골재 직접 포설 불가)	- 후속 공정인 심층 개량공사의 경우 천공시 불편함 초래(P.P Mat 및 순환골재에 의해 오우거 간섭 발생) - 치환개념으로 사토의 처리 비용 발생 - 중장비 진입시 철판 사용 필요 - 후속 공정인 심층 개량공사의 경우 천공 후 부상토 발생시 순환골재 및 P.P Mat 혼합으로 인해 폐기물 발생	- 공사가 순환골재 포설공법에 비해 다소 복잡하다. (혼합→포설→다짐→양생) - 양생 필요(3~7일)

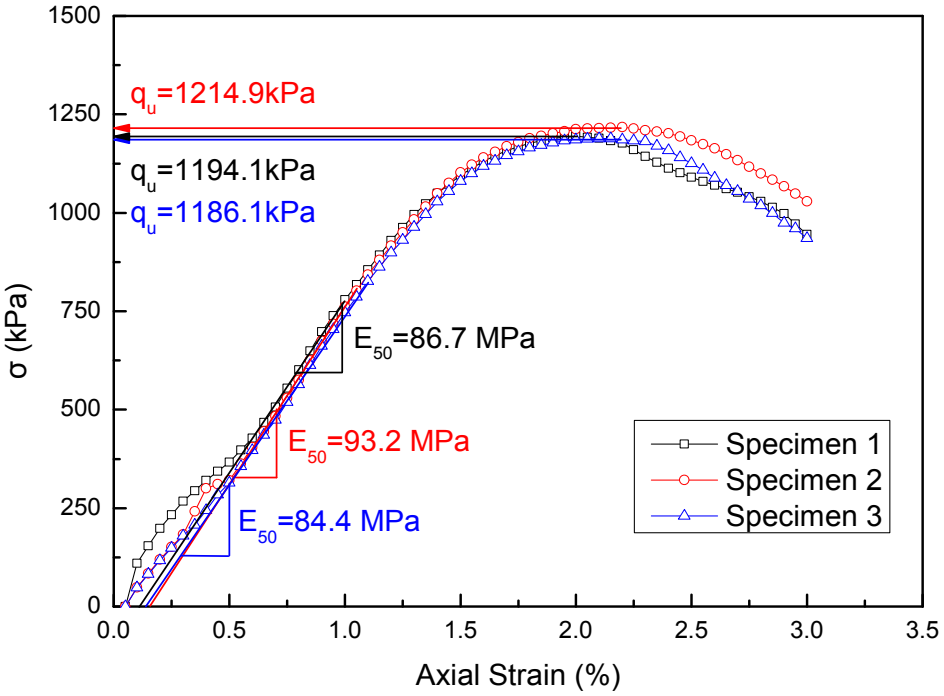
가. 현장토 채취를 통한 예비 실내시험 결과

(1) 일축압축시험

연약지반을 고화재로 개량하기위해 원지반과 고화재첨가에 따른 개량토의 일축압축시험을 수행하였다. 현장토는 서울 마곡지구 한화건설 신축현장에서 채취하였으며 고화재를 흙중량비 10%를 섞어 일주일간 고화시킨 후 3개의 시료를 가지고 평균값을 예측하기 위하여 실내시험을 실시하였다. 여기에서 변형계수(E_{50})에 대한 값은 일축압축강도 실험그래프에서 탄성계수의 초기 기울기를 측정한 값을 의미한다.

개량토의 일축압축시험 결과

종류	$q_u(kPa)$	$q_u(average)$	**변형계수** (E_{50}, MPa)	$E_{50}(average)$
개량토	1194.1	1198.4	86.7	88.1
	1214.9		93.2	
	1186.1		84.4	



축변형율과 일축압축강도 관계

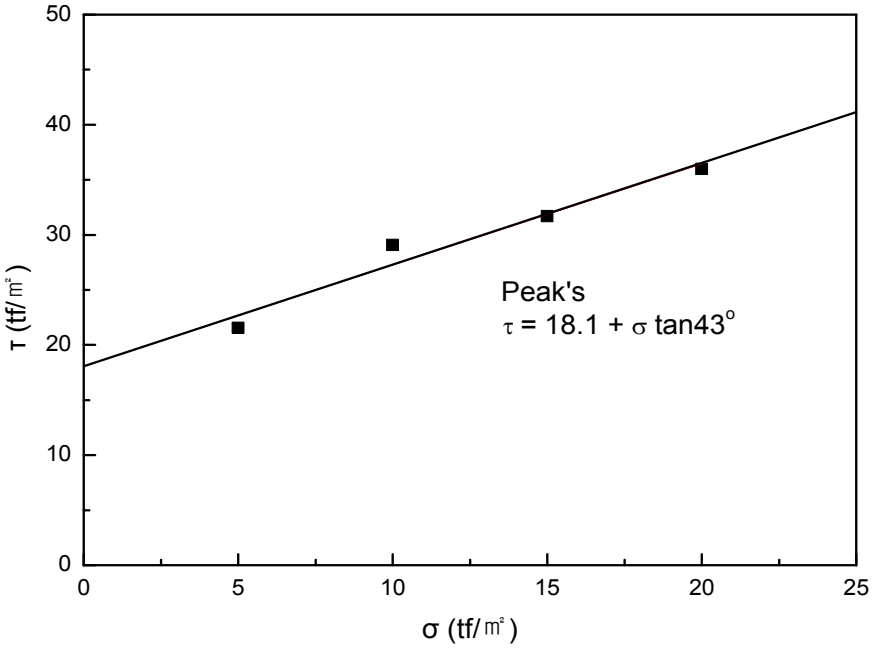
토공작업에 필요한 덤프트럭과 같은 장비는 콘지수가 10 이상으로 매우 큰 지지력을 요한다. 따라서 덤프트럭 이상의 건설장비의 주행성확보를 위한 고화처리지반의 일축압축강도는 2 kgf/cm^2 이상으로 목표강도를 설정하는 것이 필요한 것으로 판단된다. 또한, 이 기준에 의하면 일주일동안 고화시킨 시료의 일축압축강도가 약 $12kgf/cm^2$이므로 충분한 강도를 나타내고 있다.

(2) 직접전단시험

원지반 및 고화 처리지반의 지지력검토에 필요한 지반정수(c, ϕ)의 산정을 위해 실내 직접전단시험을 실시한 결과를 표 2에 정리하였다. 원지반의 허용지지력(q_a)을 산정한 결과와 수직응력(σ_z=장비접지압)을 비교한 결과 모든 조건에서 허용지지력보다 수직응력이 크게 나타나 원지반의 지지력에 대한 개량이 필요한 것으로 나타났다.

원지반 및 개량토(10%)의 직접전단시험을 통한 점착력 및 내부마찰각

종 류	$c\ (tf/m^2)$	$\phi(^\circ)$	비고
원지반	0.5	20	원 설계도서
개량토	18.1	43	실내시험



점착력 및 내부마찰각 산정식

나. 현장 시험시공

(1) 고화처리심도 결정

연약지반 표층고화처리공사 계획수립에서 가장 먼저 결정하여야 할 것은 고화처리 후의 발현강도와 고화처리 심도에 대한 것이나 고화체의 강도와 고화층의 두께는 서로 상관관계를 가지고 있어 일률적인 기준 설정은 매우 어렵다.

금회 현장 시험시공에서는 현장토 채취에 의한 원지반의 허용지지력(q_a)을 산정한 결과와 수직응력(σ_z=장비접지압)을 비교한 결과 표 3.2의 결과와 같이 모든 조건에서 허용지지력보다 수직응력이 크게 나타나 원지반의 지지력에 대한 개량이 필요한 것으로 나타났다.

일본의 기술자료 등에 의하면 고화처리 공법의 적용시 현장발현강도(quf)는 실내시험강도(qul)의 20～50%이며 설계에는 통상 quf=1/3qul을 적용한다고 한다. 따라서 본 시험시공 계획시 현장목표압축강도인 2kgf/cm^{2}의 3배인 6kgf/cm^2 이상의 실내시험 강도를 보이는 고화재 배합비를 기준하였고 그에 따른 고화층의 두께도 산정하게 되었다(기 제출된 고화처리지반의 지지력 검토서 참조).

시험 시공 후 장비 주행성 평가는 실제 항타장비의 진입이 불가능 하므로, 현장에서 이용가능한 덤프트럭을 이용하여 항타장비의 진입 가능성을 파악할 수 있다.

지반은 도로교와 달리 강성체가 아닌 소성체이므로 유효접지면적을 고려할 수 없으므로, 장비의 접지압은 타이어 접지면적을 이용하여 산정하였다. 접지압 산정결과 DH608, DH658, DH758은 철판 사용시(접지압 13.0, 14.8, 17.6tf/m^2) 25톤 덤프 트럭(공차시 18.8tf/m^2)으로 대체하여 시험시공 결과를 검증할 수 있을 것으로 판단하여 개량지반의 장비 주행성을 평가하였다.(단, 24톤 모두 3축 조건임.)

시험시공 규모

폭	길이	두께	처리면적	처리토량
12m	10m	0.5m	120m^2	60m^3

항타장비 및 철판 제원

장비명	궤도 규격 (m)		최대 하중 (tf)	충격계수	설계하중 (최대하중 ×[1+충격계수])	철판 미사용시 한쪽 궤도 설계하중 (설계하중×0.75)	접지압 (tf/m^2)	
	폭	길이					철판 사용시	철판 미사용시
DH608	0.8	4.9	120	0.3	156.0	117.0	13.0	29.8
DH658	0.8	4.9	136		177.0	133.0	**14.8**	33.9
DH758	0.8	5.225	162		210.6	158.0	17.6	37.8
철판	2.0	6.0						

대체장비 제원

구분		바퀴 규격 (m)		최대 하중 (tf)	충격계수	설계하중 (최대하중 ×[1+충격계수])	뒷바퀴 하중 (tonf)	접지압 (tf/m^2)	비고
		폭	길이						
15톤 덤프	공차	0.24	0.60	11.2	0.3	14.6	3.2	22.5	대우 15t
	만차	0.24	0.60	26.0		33.8	7.5	52.2	
25톤 덤프	공차	0.29	0.70	13.2		17.2	3.8	**18.8**	볼보 24t
	만차	0.29	0.70	37.4		48.6	10.8	53.2	

※뒷바퀴하중 계산은 도로교 설계기준에 따라

차량 총중량=1.8W, 뒷바퀴 하중분담률=0.4이므로

(설계하중)/1.8×0.4로 계산하였음.

(2) 현장 시험시공

현장 시험시공은 현장 최저 온도가 -14℃에 달하는 혹한기 조건에서 작업이 진행되었다.



순환골재가 포설된 지반



표층고화처리 지반 24톤 덤프트럭(공차) 장비 진입



표층고화처리 지반 24톤 덤프트럭(공차) 장비 진입



24톤 덤프트럭(공차) 장비 진입 후 표층고화처리 지반 상태



15톤 덤프트럭(만차) 장비 진입 후 표층고화처리 지반 상태



15톤 덤프트럭(만차) 장비 진입 후 표층고화처리 및 순환골재 포설 지반 상태 비교



장비주행 테스트 종료 후 표층고화처리 지반 전경

다. 경제성 분석

표층고화 처리 개략공사비(단위:원)

고화재 재료비 (m^2당, 두께 0.5m 기준)		시공비 (m^2당, 두께 0.5m 기준)		계	비고
수량	금액	수량	금액		
80kg	7,200	$0.5m^3$	2,000	**9,200**	- 고화재 가격 90,000원/톤 (톤백포장 기준) - 토사 1.6Ton/M^3 기준 고화재 10wt% 투입

* 상기 공사비는 현 시점에서 일본에서 사용하고 있는 적산자료에 의거 개략 산정된 것이며 향후 지속적인 연구개발과 고화재, 시공장비의 개선에 따라 절감 요인이 발생할 것으로 예상됨.

재생골재 치환 시 개략공사비(단위:원)

사토비 (m^3당)	재생골재 (m^3당)	계 (m^2당, 두께 0.9m 기준)	비고
5,370원	4,000원	**8,433** (사토비 5,370원/m^3 + 재생골재비 4,000원/m^3) × 0.9m	- 재생골재 시공비(사토 굴착 및 재생골재 포설장비) 미포함 - 사토장 운반거리 10KM 이하 (흙상태 양호하여 일반 사토장 처리)

* 상기 공사비는 적산자료에 의거 개략 산정된 것이며 사토장 및 재생골재 공급업체 위치 및 흙의 상태에 따라 공사비 상승 요인이 발생할 것으로 예상됨.

표층고화 처리시와 사토장 운반거리 및 흙의 상태에 따라 재생골재 치환 시 경제성을 비교・분석하여 요약하면 아래의 표와 같다. 사토장 운반거리가 10KM 이하이고 흙상태가 양호하여 일반 사토장 처리가 가능한 경우 표층고화 공법이 약 9% 공사비가 높다. 그러나 사토장 운반거리가 10KM 이상이고 흙상태가 양호하여 일반 사토장 처리가 가능한 경우에는 표층고화 공법에 비해 재생골재 치환 공법이 약 8% 공사비가 높으며 사토장 운반거리가 10KM 이상이고 흙상태가 불량하여 지정 사토장에 처리할 경우 표층고화 공법에 비해 재생골재 치환 공법이 최소 약 56% 공사비가 높은 것으로 나타났다.

현장 여건에 따른 재생골재 치환 및 표층고화 공사비 비교(단위 : 원/m^2)

항 목	표층고화 (심도 0.5M, 시공비 포함)	재생골재 치환 (심도 0.9M, 철판사용)
사토장 운반거리 10KM 이하 (흙상태 양호하여 일반 사토장 처리)	9,200	8,433 (사토비 5,370원/m^3 + 재생골재비 4,000원/m^3) × 0.9m
사토장 운반거리 10KM 이상 (흙상태 양호하여 일반 사토장 처리)	9,200	9,900 (사토비 7,000원/m^3 + 재생골재비 4,000원/m^3) × 0.9m
사토장 운반거리 10KM 이상 (흙상태 불량으로 지정 사토장 처리 경우)	9,200	14,400 (사토비 12,000원/m^3 + 재생골재비 4,000원/m^3) × 0.9m

마. 시공성 분석

본 시험 시공시 사용된 혼합장비는 백호 굴삭용 버켓을 사용하다 보니 혼합 효율이 상당히

낮아 혼합시간이 길어짐에 따라 시공성이 다소 저하 되는 경향을 나타내었다. 본 시험시공 시 백호 굴삭용 버켓(용적 0.6M^3)을 장착한 장비를 기준으로 두께 0.5M, 면적 120M^2를 시공하는데 약 3시간이 소요 되었다. 따라서 고화재와 흙의 노상 혼합 방식을 통한 표층고화 처리 시 백호 굴삭용 버켓(용적 0.6M^3)의 시간당 시공능력은 두께 0.5M 기준 40M^2/hr로 판단되었다.

이를 기준으로 하여 흙포장 및 표층고화처리에 일반적으로 사용하는 아래 사진과 같은 백호 장착 교반용 스테빌라이저(0.8M^3)를 사용할 경우 버켓 용적 및 혼합 효율이 약 20% 높아져 시공성이 향상될 것으로 추정하면 고화재와 흙의 노상 혼합 방식을 통한 표층고화 처리 시 백호 굴삭용 버켓(용적 0.6M^3)의 시간당 시공능력은 두께 0.5M기준 50M^2/hr로 추정되었다.



백호 장착 교반용 스테빌라이저

따라서, 1일 8시간 기준 목표 시공량 1,000m^2 기준 필요장비를 환산해 보면 하루에 2.5대 경우 이를 달성할 수 있을 것으로 판단된다. 반면 동일한 조건에서 재생골재 치환시에는 사토 및 재생골재 운반 시 15톤 덤프(10m^3) 기준 각각 총 90대의 덤프 진입이 필요하며 약 11.3대/hr 장비가 필요한 것으로 분석되었다.

그러나 표층고화 처리의 경우 양생 공정에 따른 공기가 지연되며 재생골재 포설에 배해 시공이 다소 복잡하다는 단점을 가지고 있어 공기가 부족한 건축현장에서는 채택이 어려울 것으로 판단된다.

표층고화 시공성 비교

항 목	표층고화(심도 0.5M)	재생골재 치환 (심도 0.9M, 철판사용)
공기	3~7일	1일
시공성	재생골재 포설에 비해 다소 복잡 (혼합→포설→다짐→양생)	양호 (포설→다짐)
1일(8시간) 목표 시공량 1,000m^2 기준 필요장비	스테빌라이져(용적 0.8M^3) 2.5대/일 (1대당 시공능력 50m^2/hr)	사토 및 재생골재 운반시 15톤(10m^3) 덤프 각각 90대/일 (11.3회/hr 반입 필요)

바. 소결

① 개발 고화재의 경우 중장비의 진입이 불가능한 연약지반을 고화처리 후 7일 이내에 Dump Truck(접지압 약 $20tf/m^2$ 이상)이 진입할 수 있는 양질지반으로 개량이 가능하다.

② 건축현장에서의 연약지반 뿐만 아니라 준설매립 직후의 고함수 점성토 지반도 고화처리공법으로 Trafficability를 확보할 수 있어 이러한 지역에서의 성토조성의 경우 상당한 공기단축 효과를 기대할 수 있다.

③ 향후 본 공법의 현장적용 시 고화강도는 원지반토의 함수비와 고화재 첨가량에 큰 영향을 받을 것으로 판단되며 현장조건과 고화재 첨가량에 따라 현장강도를 다양하게 발현 시킬 수 있다.

④ 현장발현강도는 실내시험의 1/2~1/5로 알려져 있으나 본 공법의 경우 혹한기 조건에서도 토사와의 반응성이 뛰어나 현장요구강도 2kgf/cm^2를 약 7배인 14kgf/cm^2가 발현하는 것을 확인할 수 있어 충분한 혼합과 다짐이 병행될 경우 quf = 1~1/3 qul의 적용이 가능하여 고화재의 사용량을 절감할 수 있다.

⑤ 고화처리는 운반, 보관, 배합 과정과 교반 작업과정에서 필연적으로 손실이 발생되는 바 향후 계획수립시에는 고화재료의 작업손실을 일본 적산기준인 10% 정도로 고려되어야 할 것이며, 혼합효율이 좋은 백호장착 교반용 스테빌라이져 및 롤러 다짐장비 등의 시공장비 사용이 필수적이다.

⑥ 본 공법의 경우 1m^2당 공사비는 약 9,200원으로 경제성이 뛰어난 공법이며 초연약지반 처리에 독자적인 Know-How를 확보함으로서 향후 대규모 항만매립 공사 등의 타사 및 선진기술에 능동적으로 대처할 수 있다.

2. 사면안정재

사면정재용 결합재는 도로의 법면이나 사면, 경사지 등에 있어서 강우나 동결융해, 지하수 침투 등에 의해 사면이 붕괴되어 유실된 부분을 개량하여 안정화하기 위한 고화재이다. 사면안정재는 원지반 자체를 물리화학적으로 개량함으로써 강우에 대한 저항성을 높여주고 지반강도를 증진시켜 세굴 및 표면유실을 방지할 뿐 아니라, 사면파괴에 대한 안정성을 높여주는 기능을 한다. 사면안정재의 시공순서 및 시공단면도는 아래의 그림과 같으며, 사면안정 및 복구 공법에 장단점을 아래의 표에 나타내었다.



사면안정재의 고화 매커니즘



사면안정재 시공순서 및 단면도

사면안정공법 비교표

구분	공법개요	장점	단점
개발 사면안정재	 - 친환경 사면안정재와 원지반토르 혼합교반, 재성토 한 후 다짐을 실시하고 식생으로 마무리	- 현장토 유용 - 환경친화적인 사면조성(주변일체화) - 기계화 시공으로 시공성이 탁월함 - 자유로운 식생선택 - 원지반토의 물성 개량	- 장비진입 불가시 시공성 저하
Seeding (거적덮기, Core-net)	 - 주로 Spray형식으로 종자, 복합비료, 접착제 등을 혼합하여 뿜어 붙인 후 거적 덮기, Core-net 등으로 식생 보호	- 공사비 저렴 - 시공성이 탁월함 - 토사절토, 성토사면 적용성 높음 - 다른 공법과 병행하여 많이 쓰임 (거적, Coren-net)	- 우수 시 비탈면 보호기능 미흡 - 건조 시 발아율 저조 - 강풍예상지역 적용 불리
식생매트	 - 식생매트를 앵커로 고정시키면서 셀 내부에 토사를 충전하고 식생기반을 조성하는 공법	- 시공성 우수 - 표층부 연속체 형성으로 안정성 양호 - 유지관리가 용이	- 시공면을 고르게 하기 위해 철저한 시공관리가 필요함 - 표층부 연속체로 부분파손시 전체파손으로 연결 - 앵커핀 이상의 세굴에 저항성이 없음
녹생토	 - 사면에 네트망 설치 후 종자 및 복합비료, 접착제 등을 혼합하여 취부기로 표면을 녹화하는 공법	- 기계화 시공으로 시공성이 탁월함 - 식생에 대한 유지관리가 용이함	- 표층 구속범위가 타공법에 비해 작아 안정성이 떨어짐 - 식생쇠퇴, 표층토양안정제 내구성이 약화될 경우 침심저항성 기대곤란
격자블록 (콘크리트, 나무, 플라스틱)	 - 사면에 블록 등을 설치하고, 토사로 충전하여 중력에 의한 토사이동과 풍화, 침식작용을 차단시키는 공법	- 기성품으로 구입 용이 - 조기안정을 시킬 수 있음 - 시공이 비교적 용이함 - 절토사면의 블록화로 규모의 소분할 가능	- 공정이 복잡 - 토사유출시 보호블럭 부동침하 발생 - 식재초기 토사유실 가능

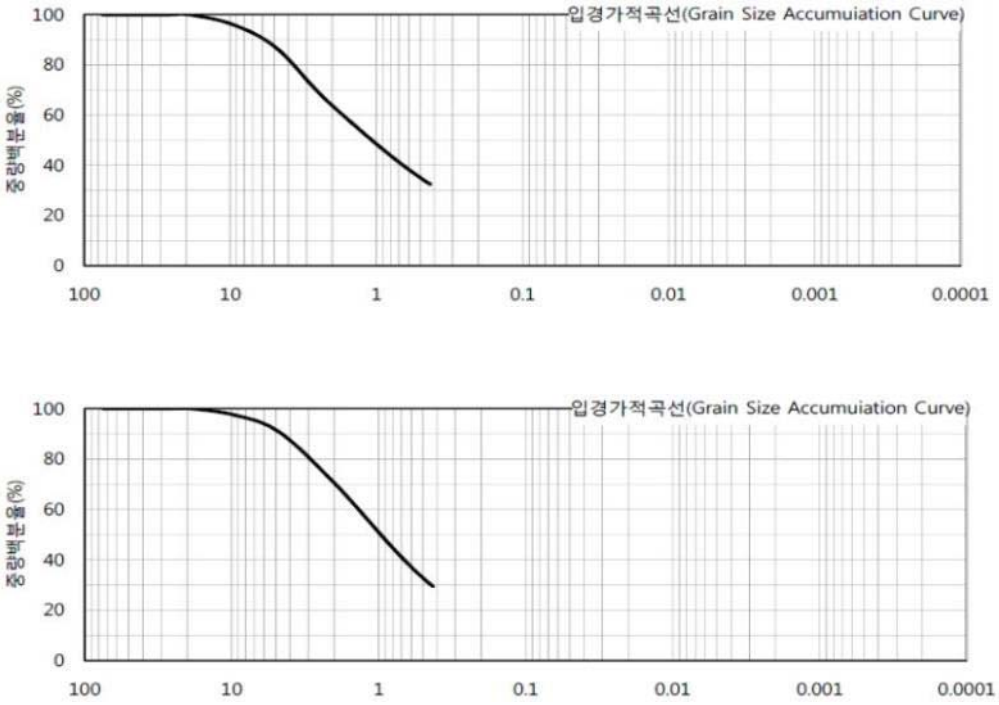
가. 현장토 채취를 통한 예비 실내시험 결과

원지반토와 개량토(지반개량재 6% 혼입 토양)에 대하여 다양한 물성시험을 수행하고, 얻어진 각각의 물리적 특성을 파악하여 수치해석 시 입력자료로 활용하고자 하였다. 원지반토와 개량토의 비중시험, 액·소성한계시험, 입도분포시험 등의 물성시험을 수행하여 얻어진 결과를 나타냈다.

원지반토의 비중은 2.69, 개량토의 비중은 2.67로 나타났으며, 액소성한계시험결과 두 시료 모두 각각 N.P(비소성재료)로 확인되었으며, 통일분류법에 의한 입도시험결과 흙의 분류는 각각 SW-SM과 SM으로 나타났다.

토질 물성실험 결과

구 분	밀도 (g/㎤)	LL	PL	Grain size analysis % finer than				흙의분류 (USCS)
				#4	#10	#40	#200	
원지반토	2.69	N.P	N.P	90.7	70.5	29.5	7.1	SW-SM
개량토	2.67	N.P	N.P	86.4	63.8	32.4	12.7	SM



원지반토와 개량토의 입도분포곡석

나. 사면안정해석

일반적으로 사면의 파괴는 파괴면 또는 활동면이라고 하는 곡면을 따라서 흙덩어리가 활동하는 것을 말한다. 이와 같이 활동이 발생되는 것은 파괴면에서 작용하고 있는 전단응력으로 인해 발생된다. 그러므로 흙의 강도란 파괴면에서 전단응력에 저항하는 최대저항력, 즉 흙의 전단강도라 할 수 있으며, 이는 흙입자 사이의 마찰력과 점착력에 의해 발생된다.

원지반토와 개량토의 강도특성을 확인하기 위하여 직접전단시험을 수행하여 전단강도정수를 산정하고, 그 결과를 이용하여 사면안정해석을 수행하여 안전율을 비교 산정하였으며, 이를 정리하면 표-2.54와 같다.

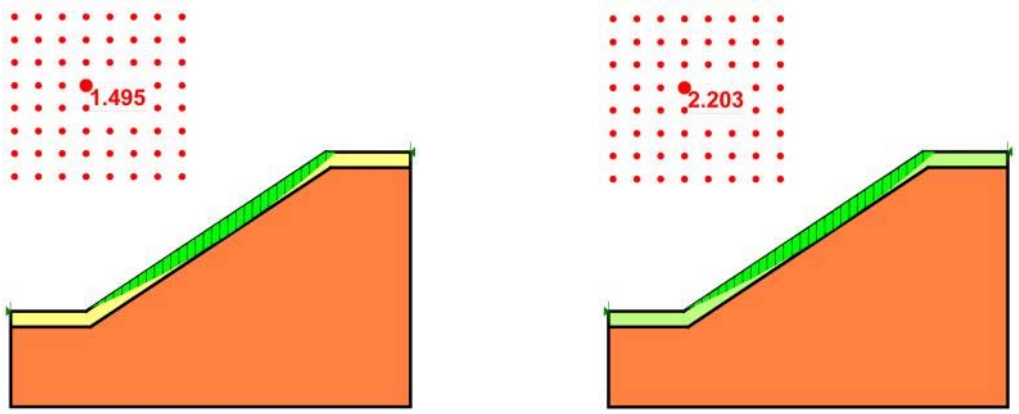
직접전단시험 결과, 원지반토에 비하여 개량토의 전단강도정수는 점착력의 경우 2.67kPa에서 6.54kPa, 내부마찰각은 34.8°에서 37.4°로 증가하였으며, 이는 재료 개량에 의한 강도의 증가효과가 있는 것으로 판단할 수 있다.

또한, 실험결과를 이용하여 사면안정검토를 수행한 결과, 안전율이 건기시에는 1.495에서 2.203으로 우기시에는 0.651에서 1.272로 개량토로 사면의 표면을 보강한 경우 안전율이 상승하는

것으로 확인되었다.

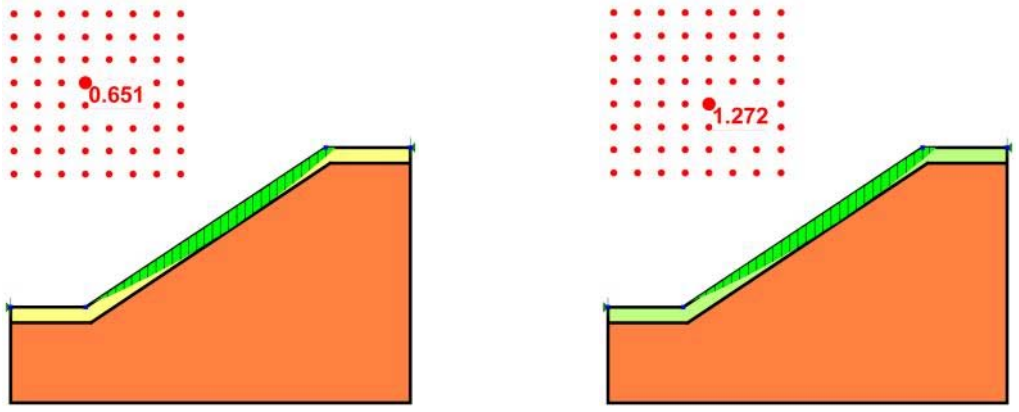
원지반토 및 개량토의 강도특성 비교

구 분	점착력, c (kPa)	내부마찰각, ϕ (°)	사면안정 해석결과 (안전율)	
			건기시	우기시
원지반토	2.67	34.8	1.495	0.651
개량토	6.54	37.4	2.203	1.272



(a) 원지반토 (b) 개량토

지반개량 전후의 안전율 비교 (건기시)



(a) 원지반토 (b) 개량토

지반개량 전후의 안전율 비교 (우기시)

다. 현장시험시공

본 연구에서 개발된 지반고화재재에 대하여 현장적용 시험결과를 바탕으로 실제 현장에서 시험시공 2건을 진행하였으며, 이의 개요는 아래의 표에 나타낸 바와 같다.

지반개량재 현장시험시공의 개요

구 분	시험시공-1	시험시공-2	비 고
현장위치	○○-○○간 고속도로	○○(○○○터널 상부)	고속도로 사면
적용부위	측면 절토부 (사면)	측면 절토부 (사면)	수해로 인한 유실
적용면적	75㎡	55㎡	
시공두께	100cm	100cm	
시공방법	백호 교반+다짐	백호 교반+다짐	표면시딩은 별도 시행
첨가율	9%	9%	

아래의 그림 본 연구에서 개발한 친환경 지반고화재의 현장성능 검증을 위한 시공순서 및 시공장면을 나타낸 것이다. 본 현장은 수해에 의해 사면이 유실된 경우이며, 우선 백호(0.6㎥)를 사용하여 유실면의 사면을 깊이 100cm까지 절취한 후 친환경 지반개량재(톤백포장제품)와 사면의 원지반흙을 일정 비율로 교반·혼합하였다. 또한, 혼합된 흙은 백호에 의해 사면에 포설하고 백호무게로 다짐을 실시하였으며, 상기의 과정을 지속적으로 반복하여 유실사면 전체를 개발된 친환경 지반개량재로 개량하였다. 이후에 사면의 표면을 보양덮개(짚다발)로 보양하고, 이 표면에 시딩을 실시하여 시공을 완료하였다.

이상과 같이 본 친환경 지반개량재의 시공방법은 1)절토, 2)교반·혼합, 3)포설·다짐, 4)시딩작업으로 구성되어 있어 시공공정이 매우 단순하고, 백호에 의해 시공하므로 시공이 편리하며, 현장적용시험을 통해 시공효율을 분석한 결과 150~200㎡/day(THK=100cm)의 시공속도를 확보할 수 있는 것으로 조사되었다.

한편, 시공 이후에 식생상황을 검토한 결과, 시딩 후 약 11일 이후에 발아가 개시되었으며, 약 14일에는 개량면 전체에 걸쳐 발아가 진행되었고, 약 20일 후에는 사진과 같이 개량면 전체에 안정적인 식생이 가능하였다.

더욱이, 시험시공시 현장에서 채취한 샘플을 통해 지반개량 전후의 7일 압축성능을 검증한 결과, 개량전은 0.57MPa, 개량후는 1.89MPa로 본 연구에서 개발한 친환경 지반개량재에 의해 사면이 안정적으로 개량되었음을 확인할 수 있었다.



현장시험시공 전경

마. 소결

① 본 연구에서 개발한 친환경 지반개량재는 원지반의 역학성능(압축강도 등)을 대폭 향상시킬 수 있으며, 이에 따라 강우 등에 대한 침식저항성이 크게 향상됨을 확인할 수 있었다.

② 붕괴사면에 대한 사면안정해석 결과 지반개량재는 우기시, 건기시 모두 기준안전율을 상회하며 원지반에 비해 대폭 상승하고 있음을 알 수 있다.

③ 친환경 지반고화재의 현장성능을 검증한 결과, 기존 기반고화재의 시공방법과 동일한 방법으로 시공이 가능하였으며, 현장실험에서도 지반의 역학성능 및 식생성능을 충분히 발현하는 것을 확인하였다.

3. 심층혼합처리공법

심층혼합처리공법은 아래의 그림에 도시한 바와 같이 육상 또는 해상 장비에 수직성을 확보하기 위한 리더와 리더를 따라 승하강하면서 지중에 관입 및 인발을 하면서 안정재를 분사함과 동시에 날개를 회전시키는 처리기를 이용하여 지중에 기둥모양의 개량체를 형성하는 기술을 말한다.



육상 DCM장비



해상 DCM장비



DCM 전용선



시멘트 및 씨엠디쏘일 벌크운반선



시멘트 및 씨엠디쏘일 교반



굴착 auger 하강



굴착완료 및 원지반토 채취



연장배압시료 제작

현장시험시공 과정

가. 해상시험시공

해상 시험시공은 부산 00지역에서 실시하였으며, 시험공의 배치는 다음의 그림과 같이 고로슬래그 시멘트와 고화재를 배치하였다. 시험공의 상세내역은 아래의 표에 나타내었다.



연장배압시료 전경



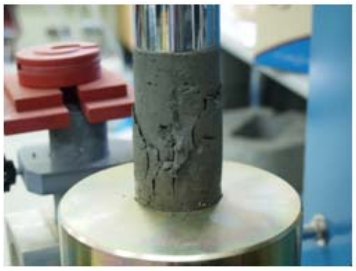
해수 채취



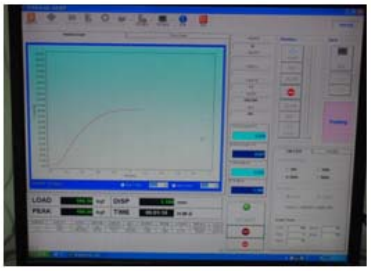
확인보링



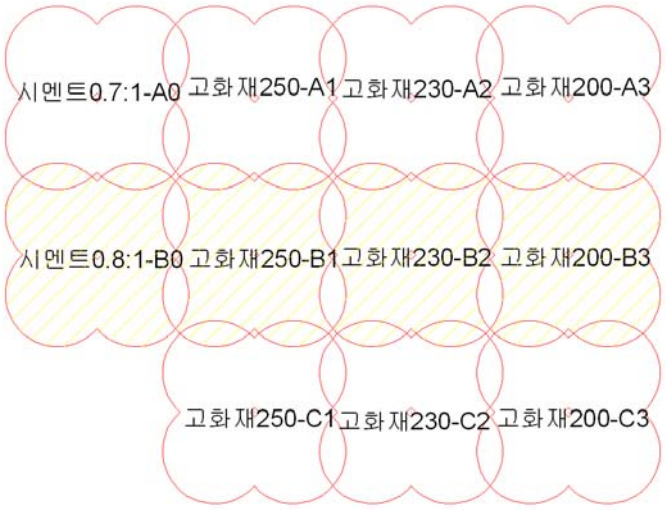
확인보링 시료채취



일축압축시험 과정



일축압축시험결과



해상 시험시공 배치도

해상 시험시공 내역

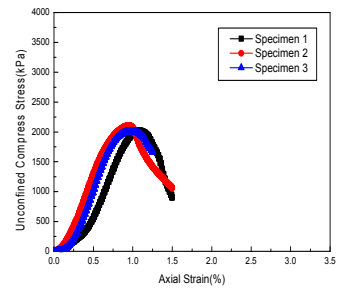
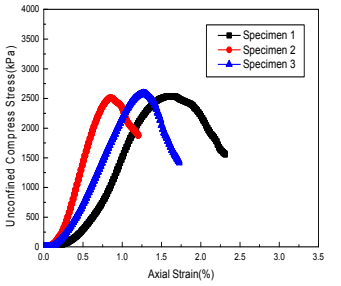
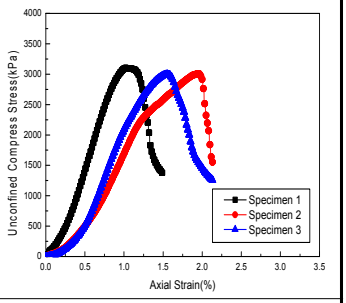
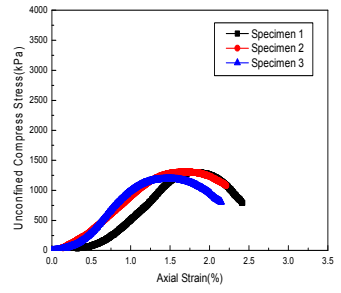
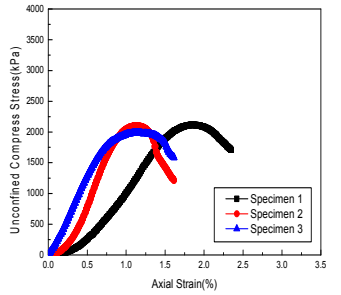
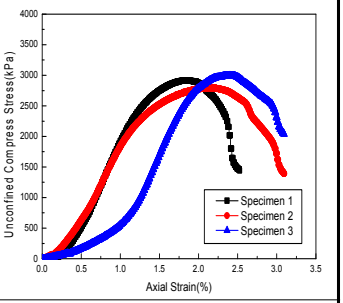
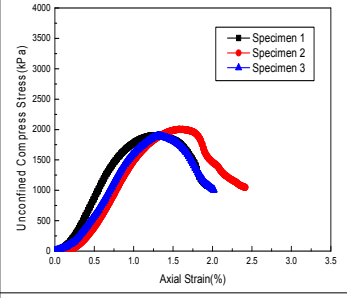
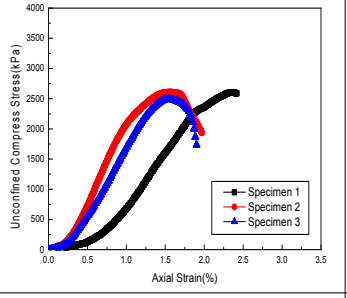
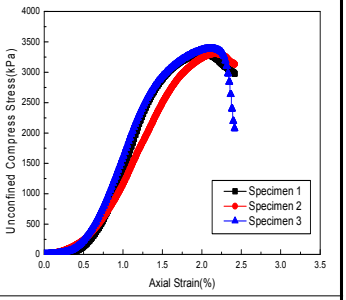
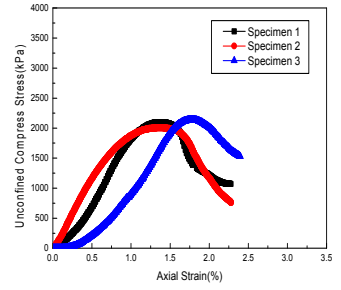
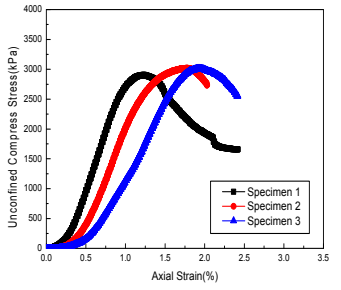
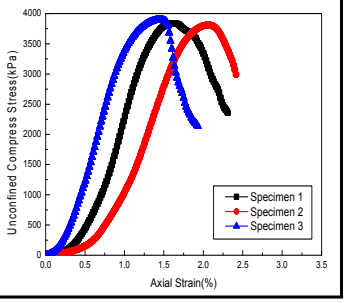
TYPE	종류	투입량 (kg/m^3)	시험시공수	W/C	시공심도
1	시멘트	230	1공	0.7 : 1	10m
2	시멘트	230	1공	0.8 : 1	10m
2	지반고화재	200	3공	0.8 : 1	10m
3	지반고화재	230	3공	0.8 : 1	10m
4	지반고화재	250	3공	0.8 : 1	10m

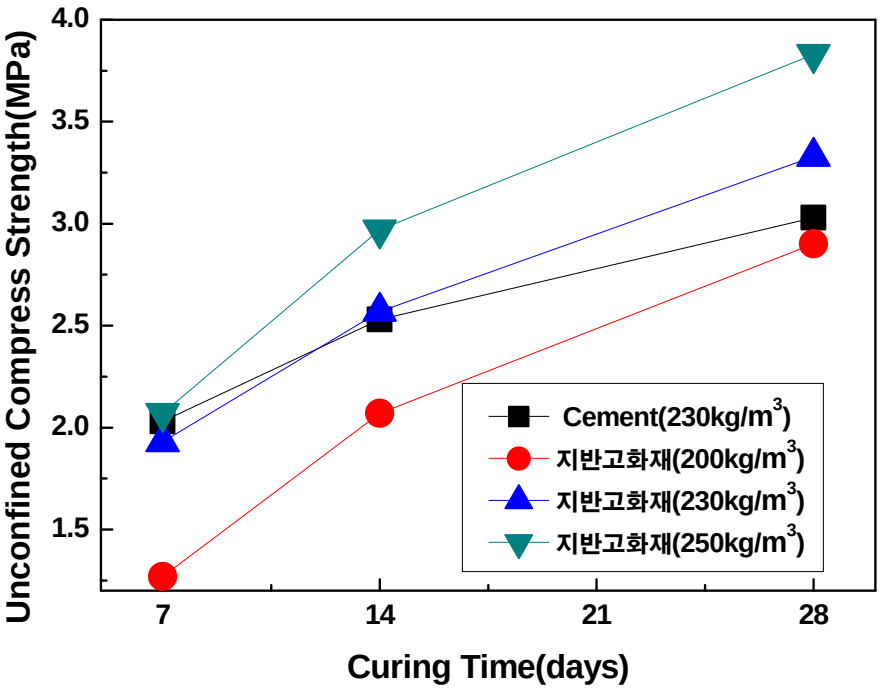
심층혼합처리공법 시험시공과정에서 채취한 현장시료(점토)와 고로슬래그시멘트 및 지반고

화재를 현장배합(W/C=0.8:1)하여 재령별 일축압축강도를 비교하였다. 동일 조건에서 시험한 고로슬래그시멘트(230kg)와 지반고화재(230kg)의 일축압축강도 비교결과 지반고화재의 일축압축강도가 고로슬래그시멘트에 비해 초기(7일)강도는 약간 낮게 발현됐지만 14일, 28일 압축강도는 더 높게 발현되었다.

지반고화재 200kg, 230kg, 250kg을 적용한 경우 안정재 혼합량이 많을수록 각 재령일마다 일축압축강도가 높게 발현되었다. 지반고화재 250kg의 경우 초기부터 고로슬래그시멘트보다 강도가 높게 나타났다. 지반고화재 200kg 은 재령 7일에서 상당히 낮은 압축강도를 나타내고 있으나 28일에는 고로슬래그 시멘트에 근접한 압축강도를 나타내고 있으며 강도 증가율이 높아 재령 28일 이후에는 고로슬래그시멘트보다 높은 강도를 발현할 수 있을 것으로 판단된다.

양생일에 따른 일축압축시험 결과

구분	양생기간		
	7일 양생	14일 양생	28일 양생
시멘트 (230kg)			
지반 고화재 (200kg)			
지반 고화재 (230kg)			
지반 고화재 (250kg)			

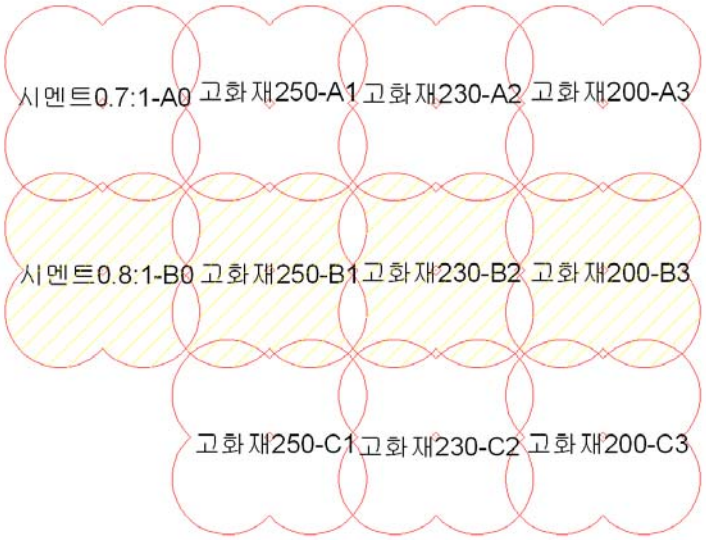


고로슬래그시멘트 및 지반고화재의 압축강도 비교

심층혼합처리공법 시험시공 후 28일이 경과하여 각 TYPE별로 중간구간에서 1회씩확인보링을 통해 시료를 채취였다. 확인보링은 SEP Barge를 이용하였으며, All Coring을 통해 시료를 채취하고 공시체의 일축압축강도를 측정하였다.

동일 조건에서 시험시공한 고로슬래그시멘트(230kg)과 지반고화재(230kg)의 확인보링한 시료의 일축압축강도 비교결과 지반고화재의 28일 압축강도가 고로슬래그시멘트보다 높게 발현되고 있다. 시험 시공 후 28일이 경과한 시점에서 현장확인보링 시료에 대한 일축압축시험결과 지반고화재 200kg의 일축압축강도는 고로시멘트에 비해 낮게 나타났으나 지반고화재 230, 250kg은 고로시멘트에 비해 동등이상의 강도가 발현되는 것을 알 수 있다.

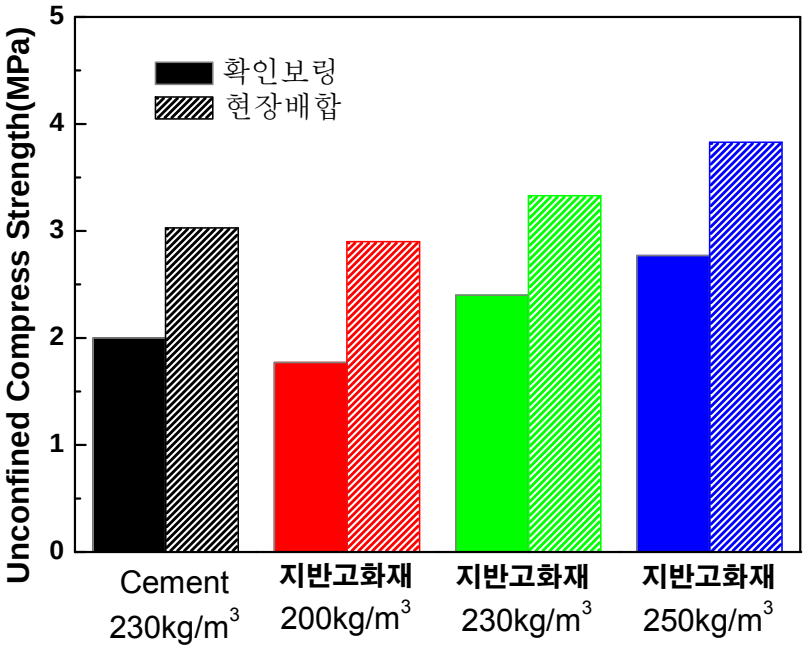
현장배합(28일)과 확인보링에 의한 일축압축강도 비교 결과 압축강도비(확인보링/현장배합)는 고로시멘트(0.66)와 지반고화재 200(0.61)이 유사하게 나타났으며, 지반고화재 230(0.72)와 지반고화재 250(0.72)는 고로시멘트에 비해 높게 나타나고 있다. 이는 지반고화재가 고로시멘트에 비해 현장 적용성이 우수하다고 판단된다.



확인보링 위치

확인보링 상세 내역

TYPE	종류	투입량 (kg/m^3)	W/C	일축압축강도 (MPa)
Bo	시멘트	230	0.8 : 1	2.00
B1	지반고화재	250	0.8 : 1	2.77
B2	지반고화재	230	0.8 : 1	2.40
B3	지반고화재	200	0.8 : 1	1.77



고로슬래그시멘트 및 지반고화재의 현장배합과 확인보링시 강도비교

심층혼합처리공법 시공 전·후에 채취한 해수를 이용하여 수질시험을 실시하여 시공과정에서의 수질환경에 대한 검토를 수행하였다. 시험은 국가공인기관인 한국화학융합시험연구원에 의뢰하여 수온, pH, 부유입자, 총질소, 총인, Cr^{+6} 및 COD에 대해 시험하였다. 심층혼합처리공법 시공 전,후의 수질시험 결과 해역수질이 Ⅰ ~ Ⅱ등급 이내로 허용기준을 모두 만족하는 것으로 조사되었다.

해수 수질시험 결과

시험항목	단위	환경기준	시험결과	판정	비고
수온	℃	-	22 ~ 23	-	
PH	mg/L	6.5~8.5	8.0 ~ 8.1	만족	
부유입자	mg/L	-	17 ~ 25	-	
총질소	mg/L	1.0 이하	0.37 ~ 0.45	만족	
총인	mg/L	0.09 이하	0.02 ~ 0.03	만족	
Cr^{6+}	mg/L	0.05 이하	불검출	만족	
COD	mg/L	4.0 이하	1.8 ~ 2.6	만족	

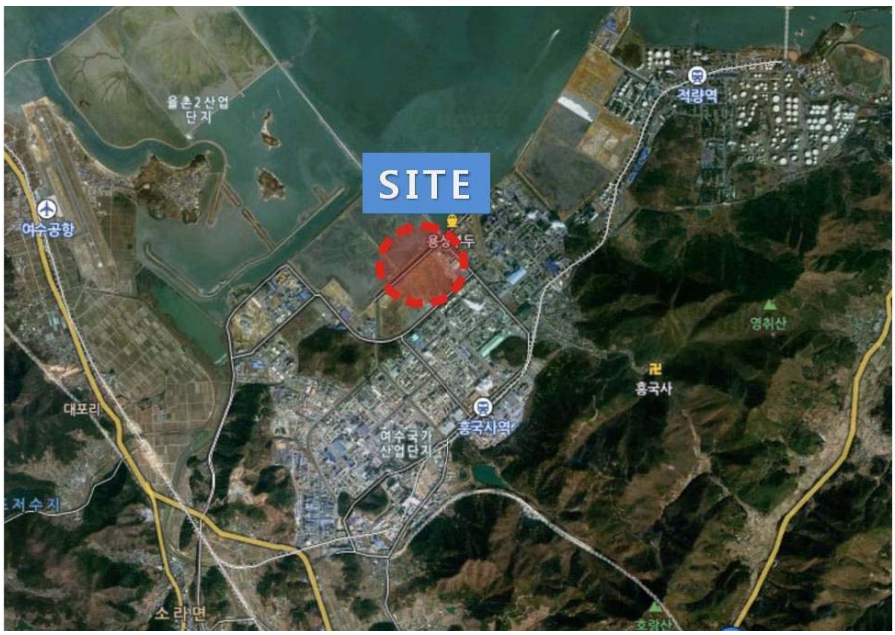
지반고화재 및 고화토의 환경안정성 검토를 위해 한국건설생활환경시험연구원에 토양오염공정시험 및 폐기물공정시험법을 의뢰하였다. 시험결과 지반고화재 및 고화토는 청정지역으로 분류되는 토양오염우려기준 1 ~ 2지역 기준을 만족하였고 용출실험 결과 모든 중금속은 불검출된 것으로 조사되었다.

환경안정성 시험 결과(단위: mg/kg)

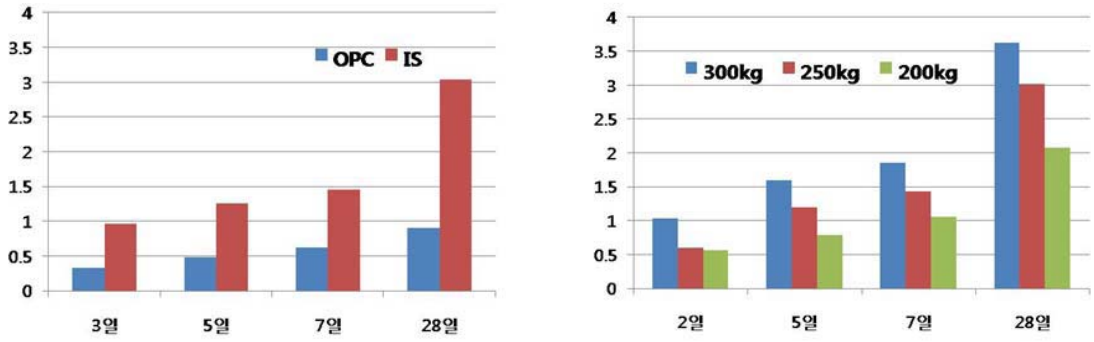
물질	1지역	2지역	안정재		7일양생시료	
			폐기물 공정시험	토양오염 공정시험	폐기물 공정시험	토양오염 공정시험
카드뮴	4	10	-	-	-	-
구리	150	500	-	3.07	0.027	8.06
비소	25	50	-	6.17	-	2.29
수은	4	10	-	-	-	-
납	200	400	-	1.01	-	12.29
6가크롬	5	15	-	-	-	-
아연	300	600	-	8.59	-	39.99
니켈	100	200	-	15.25	-	13.13
불소	400	400	-	339	-	365
유기인화합물	10	10	-	-	-	-
폴리클로리네이티드비페닐	1	4	-	-	-	-
시안	2	2	-	-	-	-
페놀	4	4	-	-	-	-
벤젠	1	1	-	-	-	-
톨루엔	20	20	-	-	-	-
에틸벤젠	50	50	-	-	-	-
크실렌	15	15	-	-	-	-
석유계총탄화수소(TPH)	500	800	-	20	-	581
트리클로로에틸렌(TCE)	8	8	-	-	-	-
테트라클로로에틸렌(PCE)	4	4	-	-	-	-
벤조(a)피렌	0.7	2	-	-	-	-

나. 육상시험시공

육상 시험시공은 그림 2.72와 같이 여수 00지구 연약지반보강공사 현장에서 실시하였다. 그림 2.73은 현장시험시공 전에 실시한 실내배합시험 결과로서 지반고화재가 보통 포틀랜드 시멘트(이후 OPC라 함)대비 지반고화재의 강도발현이 월등하게 나타나고 있으며, OPC의 강도증진률 1.47배인데 비해 지반고화재는 2.08배로 나타나고 있어 해수 및 해양점토의 염소이온(Cl^{-})에 대한 저항성이 매우 우수함을 알 수 있다. 또한 고화재의 투입량이 증가할수록 초기재령에서 장기재령에 이르기까지 우수한 강도발현 효과를 나타내고 있다.



육상 시험시공 위치도

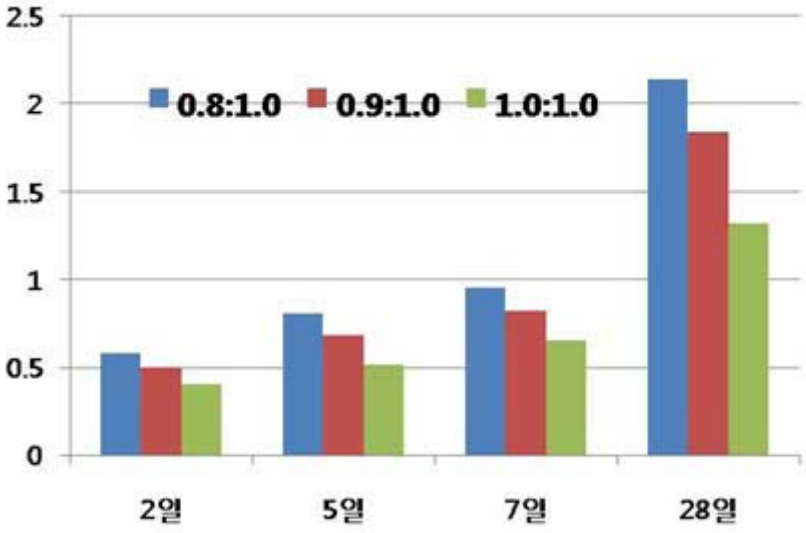


실내배합시험 결과

시방서 기준 실내배합시험을 실시하여 시공시 기준이 되는 배합비를 아래의 표와 같이 선정하였으며, 물:안정재비에 따른 배합시험결과는 아래의 그림과 같다.

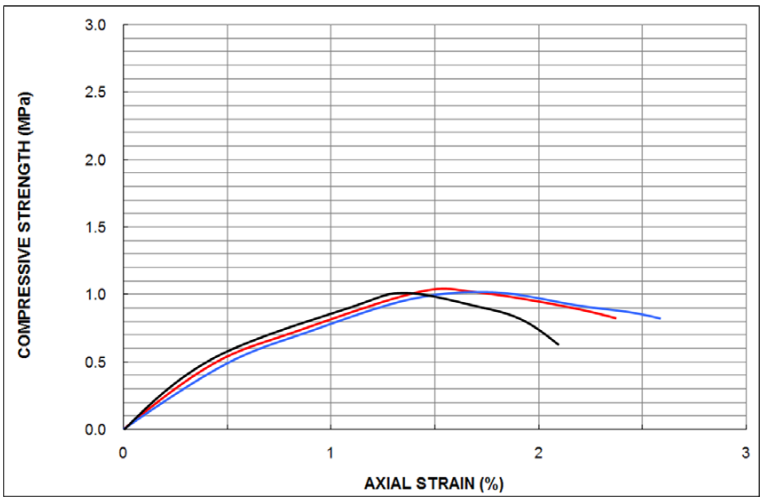
시공배합표

MIXER PLANT BATCH 당 안정재 배합표					
구분	물:안정재 비	안정재	물	물+안정재	비고
무게 (Kgf)	0.8:1.0	400	320	720	
	0.9:1.0	400	360	760	
	1.0:1.0	400	400	800	

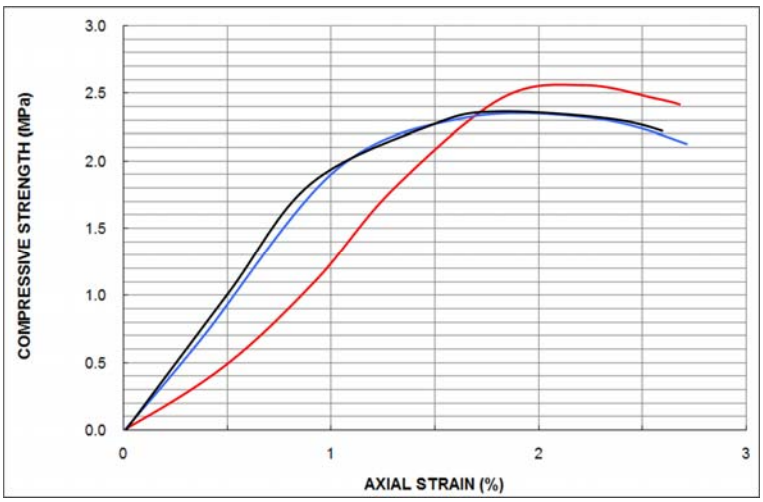


물:안정재 비에 따른 강도 발현

지반고화재의 현장 적용 후 소요강도를 확인하기 위하여 일축압축강도 시험용 공시체를 제작하였으며, 강도는 재령 7일, 21일, 28일로 하여 공인시험기관에 일축압축강도 시험을 의뢰하였다. 또한, 시험시공 후 재령 40일에 개량체 형성 확인을 위한 보링을 실시하였다. 그림 1.28과 1.29는 일축압축강도 시험결과로 28일 강도의 경우 현장 시방서에서 요구하는 2.0MPa을 만족하였다.

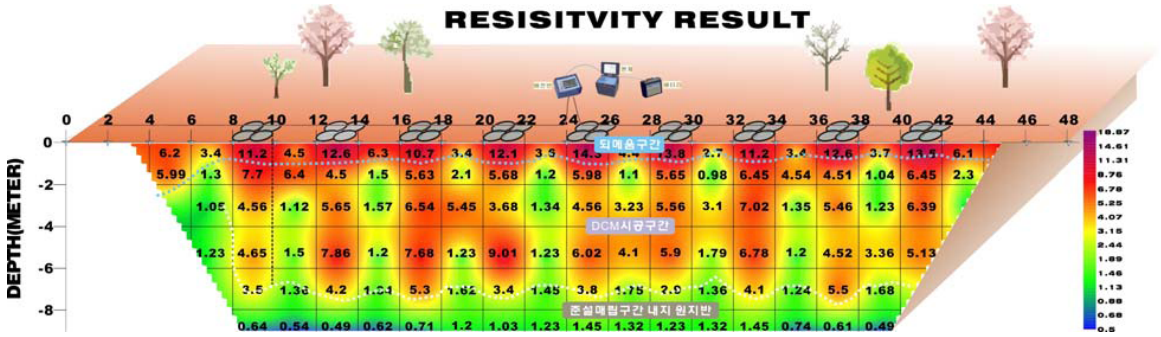


재령 7일 일축압축강도



재령 28일 일축압축강도

시험시공 후 지반개량체 형성 확인을 위한 보링 및 전기 비저항 탐사를 수행하였으며 전기 비저항 탐사 결과 지표하 1.0 ~ 2.0m미만 구간은 심층혼합처리공법 시공시 지표 상부의 토사 되메움의 영향으로 전기비저항이 3.0 ~ 15.0Ωm의 내외로 하부 심층혼합처리공법 시공구간 보다 비슷하거나 높게 나타나지만, 지표하 1.0 ~ 7.0m구간은 심층혼합처리공법 시공부로 추정되며 전기비저항이 3.4 ~ 7.7Ωm 내외로 측정되었으며 심층혼합처리공법 주변의 준설매립구간 (0.98 ~ 1.57Ωm) 보다 다소 높게 나타났다. 지표하 7.0m이하구간은 전기비저항이 0.49 ~ 1.45Ωm내외로 준설매립구간 내지 원지반(해양퇴적층: 점토, 모래 등)으로 판단되어 금회 시험시공에 의한 심층혼합처리공법의 지반 개량체의 형성 상태가 양호한 것으로 확인되었다.



전기비저항 탐사결과

다. 기술시방서

설계 및 시방기준	기준 명	관리기관
설계기준	항만 및 어항 설계기준	해양수산부
시방기준	항만 및 어항공사 표준시방서	해양수산부

1. 일반사항

1.1 적용 범위

본 절의 시방은 개량대상층에 씨엠디쏘일을 주입, 교반, 혼합하여 원지반을 고결시켜 설계기준강도이상의 지지력을 확보할 수 있도록 개량 대상층을 안정시키는데 필요한 인력, 장비, 재료 및 기타 필요한 사항을 규정하고 품질을 높이기 위하여 DCM 공법에 적용한다.

1.2 제출물

1.2.1 수급인은 본 공종 착수 15일전까지 시공계획서를 작성하여 공사감독자에게 제출한다.

1.2.2 다음사항을 추가로 제출하여야 한다.

(1) 시험시공계획서

(2) 시공계획서

2. 품질 요구 조건

2.1 기준

2.1.1 본 공사에서 규정한 심층 혼합 지반 개량공의 제원은 다음과 같다.

안정재 종류	안정재배합량 (kg/㎥)	물:고화재 중량비	실내배합강도 (kgf/㎠)	설계기준강도 (kgf/㎠)
씨엠디쏘일	200 ~ 300	1:0.7 ~ 1:1.2	22.5	15.0

2.1.2 상기 규정된 현장 일축 압축 강도는 재령 28일(개량깊이, 계절에 따라 다를 수 있다.) 강도를 기준한 것이며 씨엠디쏘일 배합량, 물 : 안정재 중량비는 토질조사 결과에 의한 추정치이므로 최초 심층 혼합 처리공 실시전에 개량대상 원지반 흙에 대한 실내 배합시험을 실시하여 씨엠디쏘일 배합량 및 물 : 안정재 중량비를 확정하여야 한다.

3. 재료 및 계획

3.1 재질규정

3.1.1 안정재는 씨엠디쏘일을 사용한다. 씨엠디쏘일은 시멘트(보통포틀랜트시멘트, 고로슬래그시멘트)를 전혀 사용하지 않고, 그 사용목적에 부합하게 DCM용 안정재(고화재)로 친환경성을 인정받은 녹색기술 인증제품에 한정한다.

3.1.2 안정재 분말도(비표면적)는 2,500cm^2/g 이상이어야 하며, 위의 소요강도를 만족하면서 폐기물공정시험기준(고화재), 토양오염우려기준(고화토)을 만족하는 제품이어야 한다.

3.1.3 안정재는 아래의 제조규격을 만족하는 제품이어야 한다.

종 류	함 량(%)
고로슬래그 미분말	50~60
페트롤 코우크스 탈황석고	10~40
팽창재	10~40

3.1.4 안정재는 제품품질 확보를 위해 납품공장에 대한 현장점검을 반드시 실시하여야 한다.

3.1.5 배합에 사용되는 물은 해수를 사용한다.

3.1.6 물:안정재 중량비율(통상1.2:1~0.7:1)은 시공성 및 안정성 등을 고려하여 결정한다.

3.1.7 감수제, 지연제 및 기타 첨가제의 사용여부는 필요에 따라 실내시험 또는 시험시공을 통해 결정한다.

3.2 계획

3.2.1 수급인은 합리적이고 효율적인 시공이 될 수 있도록 다음 사항들이 포함된 공사계획서를 작성 제출하여 공사감독자의 승인을 받아야 한다.

(1) 시공 계획 공정표

(2) 장비 및 인원 투입계획

(3) 안정재 확보 계획

(4) 물 : 안정재비 및 첨가제종류와 사용량

(5) 장비제원 및 성능

3.2.2 공사감독자는 공사 시행중 현장조건 및 시공상태에 따라 계획의 변경이 필요하다고 판단될 때 이미 승인한 내용들을 변경할 수 있다.

4. 심층혼합지반 개량공 장비 구성

4.1 해상 작업선단의 구성

4.1.1 해상전용선 또는 육상용 장비를 대선에 조합 해상시공 가능한 선단을 구성하여야 한다. 설계에 적용된 기본 선단은 다음과 같이 구성 되어있으나, 처리능력의 향상을 위하여 필요할시는 공사감독자와 협의 조정하여 기본선단을 조정할 수 있다.

(1) 대 선 : 1척
(2) 파일 드라이브 : 1대
(3) 교반 혼합처리기 : 1대
(4) 교반용 빗트 : 1조
(5) 주입 플랜트 : 1set
(6) 심층 혼합 지반개량에 투입되는 장비 및 기기는 항상 청결한 상태를 유지하여야하며, 파손 또는 사용할 수 없는 장비 및 기기는 즉시 반출 또는 수리하여야 한다.
(7) 제반 해상 및 항해 규칙의 해당 사항을 준수하여야 한다.
(8) 공사구역, 위험지역 등의 경계위치에는 부표를 설치하여 시공 중 제반사고를 방지할 수 있도록 하여야 한다.
(9) 안전관리 책임자 및 해당 장비에 숙련된 담당자에 한하여 책임 운전하여야 하며, 모든 작업자는 안전용구를 착용하여 시공 중 재해가 없도록 하여야 한다.

4.1.2 작업의 기본능력
(1) 개량가능 심도 : DL(-55m)
(2) 시공 위치 선정 : 광파기 또는 GPS

4.2 부속선단 및 장비
(1) 예선 : 1척(연락업무 겸용)
(2) 양묘선 : 1척
(3) 발전기 : 1대(교반 혼합처리기용)
(4) 발전기 : 1대(그라우팅 믹서용)
(5) 시멘트 보관용 사이로 : 1기
(6) 그라우팅 믹서 : 1대
(7) 그라우팅 펌프 : 1대
(8) 수중펌프 : 1대
(9) 실시간 자동기록계 : 1대
(10) 공기압축기 : 1대

5. 배합설계 및 시험시공

5.1 배합설계

5.1.1 안정재, 물 등의 단위 재료량은 실내 배합설계 결과에 의해 시공성을 고려하여 결정한다.

5.1.2 개량토의 실내배합강도는 설계기준강도를 만족할 수 있는 일축압축강도 이상으로 한다.

5.1.3 재료는 중량으로 계량하고 혼합시간 등은 높은 강도를 얻을 수 있도록 한다.

5.1.4 재령에 대한 공시체의 수는 3개를 표준으로 하며, 재령별 기준은 7일, 14일, 28일 및 장기강도(90일) 등 4종류로 구분하며, 배합조건에 따라 적정 재령일수를 결정

하여 시험에 반영한다.

5.1.5 배합설계에 필요한 원지반 시료채취는 충분한 배합설계가 되도록 채취량을 결정해야 한다.

5.1.6 배합설계를 위한 시료채취 위치는 설계시 조사된 토질조사 결과치를 근거로하여 작성된 토층단면도, 평면 위치도를 참고하여 공사감독자와 협의하여 선정하여야 한다.

5.1.7 시료의 채취방법은 고정 Piston식 Thin wall Sampler를 사용하여 채취한다.

5.1.8 실내 배합시험은 Sampling한 시료에 해당 소요만큼의 씨엠디쏘일을 넣어 혼합한 개량토를 소요기간동안 양생한 후 일축압축강도 시험을 실시한다.

5.1.9 배합설계는 KS F 2328 (흙 시멘트의 압축강도 시험방법) 및 KS F 2329 (시험실에서 흙 시멘트의 압축 및 휨 강도 시험용 공시체를 제작하고 양생하는 방법)에 준하되 사전에 공사감독자와 협의하여 결정한다.

5.1.10 시험결과는 다음 항목에 대하여 정리한다.

(1) 씨엠디쏘일, 물, 혼화제등 단위 재료량 결정

(2) 개량토의 일축압축강도

(3) 씨엠디쏘일 첨가율과 개량토의 일축압축 강도와의 관계

5.2 시험시공

5.2.1 수급인은 조립된 심층혼합장비의 시운전 및 지지층의 상이 여부 및 AUGER의 부하량을 측정하기 위하여 시험시공을 실시하여야 하며 실시간 자동기록지에 결과가 표시 되어야 한다.

5.2.2 시험시공시에 ROD를 관입 및 인발할 때 ROD의 회전속도는 지반의 N값에 따라 N값이 0～4일 때 60～35RPM, N값이 5～10일 때 34～20RPM, N값이 11～20일 때 19～1RPM로 조절 시공한다.

5.2.3 일반적인 DCM공법으로 시공이 어려운 단단한 지층에 있어서는 일체식 천공 DCM공법인 로드의 하단에 천공 어태치먼트를 설치하여 연약지반의 N-값이 0～9까지는 21～30rpm, N-값이 10～19까지는 16～20rpm, N-값이 20～50까지는 1～15rpm으로 시공한다.

5.2.4 시험시공 위치(개량대상구간 중 설계시 지질조사 또는 배합설계를 위한 원지반 시료채취위치와 근접한 곳), 심도(지지층까지) 및 시공량에 대하여는 공사감독자와 협의하여 정한다.

5.2.5 시험시공한 개량토는 2시간이내에 유압시료채취기를 이용하여 시료를 채취하고, 공시체를 제작한 후 습윤양생시켜 일축압축강도 시험을 실시하여 강도를 판단한다.

5.2.6 현장에서 채취된 시료에 대한 일축압축 강도는 설계기준강도를 만족할 수 있는 일축압축강도조건 이상을 기준으로 한다.

5.2.7 수급인은 시험시공 완료 후 다음과 같은 항목에 대한 분석 보고서를 공사감독자에

게 제출해야 한다.

(1) 장비의 관입, 인발에 대한 Cycle time, 장비 위치 이동시간

(2) Slurry 주입 펌프용량

(3) 최종개량심도 확인방법

(4) 안정재 Slurry 토출량 및 시간

(5) 상부 융기토의 두께

(6) 실시간 궤적 자동기록지(시간에 따른 심도, 오거부하, ROD의 RPM, 주입유량, ROD의 승하강 속도, GPS관리에 의한 실시간 수직도, 조성사항의 모식도 등을 적용한 기록지)

(7) 기타 본 공사에서 시공관리상 필요로 하는 항목

6. 시 공

6.1 시 공

6.1.1 연약토층의 개량은 벽체 형상으로서 설계에서 추정한 소요지반까지 시공하여야 한다.

6.1.2 시공방법

(1) 관입작업전에 Mixing plant 으로부터 배합기준에 의하여 씨엠디쏘일을 혼합한다.

(2) 개량층이 충분이 교반될 수 있도록 ROD를 관입 및 인발할 때 ROD의 회전속도는 지반의 N값이 0～4일 때 60～35RPM, N값이 5～10일 때 34～20RPM, N값이 11～20일 때 19～1RPM로 조절 시공한다.

(3) 일반적인 DCM공법으로 시공이 어려운 단단한 지층에 있어서는 일체식 천공 DCM공법인 로드의 하단에 천공 어태치먼트를 설치하여 연약지반의 N-값이 0～9까지는 21～30rpm, N-값이 10～19까지는 16～20rpm, N-값이 20～50까지는 1～15rpm으로 시공한다.

(4) 선단고화는 W형 고화방식을 적용하며, 선단고화 시간은 2분 이상으로 한다.

(5) 씨엠디쏘일 Paste의 주입은 착저이후 주입을 개시하여 ROD인발과 주입을 동시에 진행한다.

(6) 소요높이까지 DCM 개량이 이루어 질수 있도록 DCM 교반기의 Paste분출 노즐이 소요 DCM개량 높이 위로 올라올 때까지 교반을 수행한다

(7) 1조의 말뚝에 대한 개량작업이 완료되면 작업선은 다음 작업위치로 이동시키며, 토출되는 Slurry가 항상 일정하게 정상적으로 분출되도록 유지하여야 한다.

(8) 씨엠디쏘일 Slurry는 항상 충분한 양이 준비되어 교반주입시 중단되는 일이 없도록 해야 한다.

6.2 시공관리

6.2.1 타설위치는 각 개량공마다 GPS 또는 광파기를 사용하여야 하며, 정위치에 정확하게 Setting된 후에야 개량작업을 할 수 있다.

6.2.2 심층혼합처리에 의한 지반개량 작업중 장비에 이상이 발생되었을 때는 즉시작업

중단하고 신속하게 보수 처리하기 위하여 현장에는 항상 예비부품을 확보하여야 한다.

6.2.3 개량의 연직도는 장비에 부착된 수직 수평 게이지를 시공 중 육안을 통해 항시 확인하여 수직이 유지되도록 하여야 한다.

6.2.4 분(min)당 씨엠디쏘일 Slurry 주입량(l) 및 승하강속도(m/min), 회전수(회/min)는 시험시공시 결정된 속도 및 회전수를 기준하여 부착된 계기로 조정관리 한다.

6.2.5 관입심도는 부착된 심도계로 관리하며, 개량중 조위변화가 50cm이상일 경우 조위변화에 따른 보정을 동시에 시행하여야 한다.

6.2.6 씨엠디쏘일 Slurry의 토출량은 토출량계(유량계)로 관리한다.

6.2.7 선단부 확인은 굴착속도 및 부하량에 의하여 판단한다.

6.2.8 DCM 시공으로 발생되는 융기토는 설계 개량 계획고까지 준설 후 설계서에 제시된 사항대로 처리토록 한다.

7. 시공기록 및 검사

7.1 검사 및 시료채취

7.1.1 시공된 개량토의 말뚝이 설계기준강도 이상의 값으로 시공되었는지를 확인하기 위하여 수급인은 개량주 500공당 1회의 시료를 채취하여 습윤양생 후 7일, 28일 및 장기재령(90일)의 강도를 확인하여야 한다. 몰드의 규격은 일축압축시험용 시험몰드(φ50mm, H=100m)를 기준으로 하나 공사감독자와 협의하여 결정한다.

7.1.2 개량토 말뚝이 시공된 구간에 대한 심도를 측정하고 말뚝의 균일성 및 기초지반과의 밀착성을 확인하기 위하여 28일 경과 후 과업 구간내 확인보링 및 채취된 시료에 대한 실내시험을 실시한다. 실내시험은 일축압축강도, 단위체적중량, 함수비 시험이 포함되어야 하며 확인 보링시는 지지층까지 코아채취(또는 표준 관입시험)가 실시되어야 하며 현장시공시 확인된 개량심도와 확인보링 결과에 따라 최종정산 처리 한다.

7.1.3 채취된 시료의 시험분석결과 소정의 설계기준강도를 만족시키지 못하였을 때는 상부공 설치공정을 고려한 장기강도(재령60일, 90일, 120일, 180일)로 판단하거나, 도급자 부담으로 근접위치에 재시공(보강)한 후 위의 시험을 거쳐 최종 승인을 받아야 한다.

7.1.4 수급인은 시공된 각 개량토 말뚝에 대하여 다음과 같은 기록부를 작성하여 공사감독자에게 제출하여야 한다.

(1) 작업 일시(시작, 종료), 작업 당시의 해상기상조건

(2) 씨엠디쏘일 Slurry등 사용재료의 배합비 및 계량치

(3) 시간변화에 따라 심도, 오거부하, ROD의 RPM, 주입유량, ROD의 승하강속도 변화, 조성사항의 모식도가 그래프로 표현된 실시간 궤적 자동기록기

(4) 개량심도에 따른 모식도

(5) 일일 개량면적

(6) 씨엠디쏘일 Slurry의 토출량

(7) 개량체 수직도(시공 시작부터 시공 종료까지 GPS측량 좌표 및 수평 · 수직게이지 육안확인 사진대지)

7.1.5 심층혼합 지반 개량공에 대한 시공오차는 다음과 같다.

(1) 개량토 말뚝두부의 계획고 : +30cm, -0cm

(2) 개량토 말뚝의 위치 : ±10cm

(3) 연장 : + 규정하지 않음, -0cm

(4) 폭 : + 규정하지 않음, -0cm

8. 특기사항

8.1 DCM공사 도중 이상파랑(태풍 등)에 의해 공사를 중지할 시에는 시공조인트 계획을 고려하여 장주 등으로 마감을 하고 피항하여야 한다. 단, 시공조인트 계획은 사전시험시공을 통하여 결정하도록 한다. 이와 같이 일시적인 작업중단이 발생하여 일정기간 경과한 후 인접하여 개량공을 중첩 시공할 때에는 기 조성된 개량공에 손상이 발생할 수 있으므로 구조적 안정성을 확보할 수 있는 시공길이에 대한 검토를 수행하여 개량 형식을 재배열 할 수 있다.

8.2 DCM 개량체의 개량율은 시공조인트 계획 등 현장 여건에 따라 동등 이상의 개량율을 확보하는 조건으로 개량체를 재배열할 수 있다.

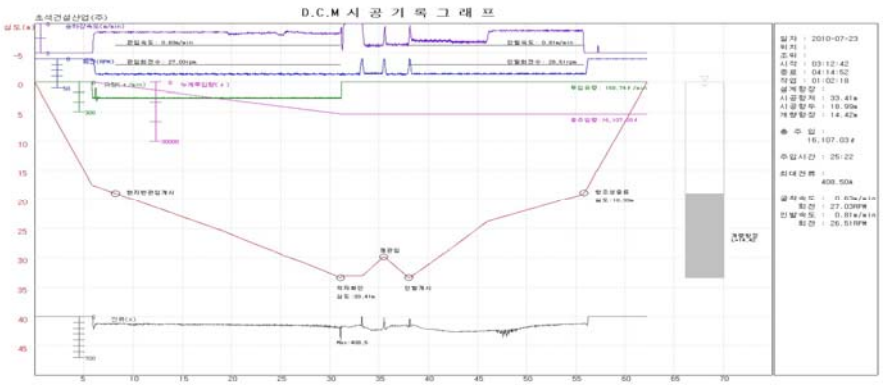
8.3 DCM시공시 발생되는 부상토 및 하부 준설토 처리는 공유수면관리법 및 해양환경관리법을 준수하여 외해 투기장을 지정받아 투기토록 하여야 한다.

8.4 현장여건상 부상토의 강도발현으로 기초굴착이 어려운 경우, 공사감독자 승인을 득한 후 기초지반으로 활용할 수 있다.

8.5 현장 일축압축강도에 대한 품질 요구조건은 통계적 기법에 의한 분석을 통하여 품질 적합성 여부를 판단한다.

8.6 DCM 장비는 교반부의 탈.부착 등의 변경이 가능하므로 설계 조건에 따라 시공장비 변경을 사전에 확인하여야 한다.

첨 부 : 기록지



제 3절 기술개발 성과의 국내외 시장 전망

1. 지반 고화재 관련 국내외 시장 현황

가. 목표시장의 경쟁상황

현재 국내 시멘트 시장은 10여개 사의 시멘트 업체가 시멘트를 생산하고 있다. 이중 상장 7개사(쌍용양회공업, 동양메이저, 성신양회, 현대시멘트, 한일시멘트, 아세아시멘트, 고려시멘트)가 국내 시멘트 생산능력의 80%이상을 차지하고 있으며, 2006년부터 주요 시멘트 업체간 출하량 경쟁으로 가격이 하락하면서 시멘트 업체의 실적이 악화되었고, 2008년에는 시멘트 수요 감소와 함께 연료인 유연탄 가격 상승으로 실적 악화가 두드러지고 있다.

또한, 중국산 저가-시멘트의 공세로 시멘트 업계가 모두 고전을 면치 못하고 있는 상황이다. 따라서 시멘트 업계는 신기술적용을 통한 제품의 다양화 및 원가절감 노력을 통한 경기불황을 이겨내야 하는 상황에 처해있다.

세계 건설시장의 규모는 ‘06년 기준 약 4조 6천억불의 시장규모이었으며 2010년에는 약 4조 8천억불로서 4.3%의 정도의 성장세를 기록하고 있다. 이는 신흥 에너지자원 개발국가 및 개발도상국을 중심으로 사회기반시설에 대한 발주가 증가하기 때문으로 판단되며 본 개발기술은 사회기반 구축사업에 광범위하게 응용할 수 있어 세계건설시장에 파급효과가 클 것으로 판단된다.

업계에 따르면 보링그라우팅 시장에서 지반주입공사가 차지하는 비중은 약 60%로 추정되며, 지반주입공사 중 재료인 지반주입재가 차지하는 비중은 약 35%로 추정된다. 이를 적용하여 국내 지반 지반주입재 시장규모를 추산하면 2006년 996억원에서 연평균 7.35% 성장하여 2011년에는 1,420억원에 이른 것으로 추산되며, 향후 새만금 공사 등 대형 해안매립공사 등이 본격적으로 개시될 경우 수요 전망은 지속적으로 증가할 것으로 전망된다.

업체명	업체별 능력	비 고
기초소재(주)	비표면적 8,000~10,000cm^2/g 고로 슬래그 미분말 생산(10만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
쌍용양회공업(주)	지반주입재용 초미립자시멘트 생산(10만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
(주)한국지오텍	마이크로시멘트 및 지반고화재 판매 및 시공 (5만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
마이크로파우더(주)	비표면적 8,000~10,000cm^2/g 고로 슬래그 미분말 생산(5만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
라파즈 시멘트 (프랑스)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
하이델베르크 그룹 (독일)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
PCI (독일)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
헨켈 크나후프 (독일)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
슈벵크 (독일)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
막시트 (독일)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
지크리트 (미국)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
하커 (미국)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
USG (미국)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
다이헤미요사 시멘트 (일본)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
우베 (일본)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
DENKA (일본)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급
NMB (일본)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	초미립자 시멘트 제조를 위한 마광밀 및 분급 기술
스미토모오사카 시멘트 (일본)	초미립자 고강도 시멘트 제조기술(200만톤/년)	Ball mill에 의한 분쇄 및 싸이클론 분급

국내 지반주입재 시장 규모

(단위 : 백만원)

구분	2006년	2007년	2008년	2009년	2010년	2011년	CAGR ('06~'11)
① 보링그라우팅 계약	474,449	641,717	612,263	734,400	667,439	676,308	7.35%
② 지반고화재	99,634	134,761	128,575	154,224	140,162	142,025	7.35%

출처:

① 대한전문건설협회 통계연보, 각년도

② 지반주입재 시장규모 = 보링 그라우팅 시장의 60%(지반주입 공사)×35%(지반주입공사 중 재료 비중)

국내·외 시장 규모

(단위 : 억원)

구 분	현재의 시장규모(20 년)	예상 시장규모(20 년)
세계 시장규모	지반주입재 : 524,000 그라우팅재 : 108,000	지반주입재 : 540,000 그라우팅재 : 111,400
국내 시장규모	지반주입재 : 105,000 그라우팅재 : 22,500	지반주입재 : 109,000 그라우팅재 : 23,400
산출 근거		

* 산출근거 : ※ 국내시장규모 산출근거

· 국내 고화재 소비량 500만톤, 고화재 단가 20,000원/톤

· 2015년 예상시장규모: ‘’ 11년 대비 ‘12년 건설시장 증가규모(1.1% 성장)를 고려하여 산출함

※ 세계시장규모 산출근거

· 세계건설시장규모 : Global Insight 2010, ENR, 해외 토목건설시장 추이

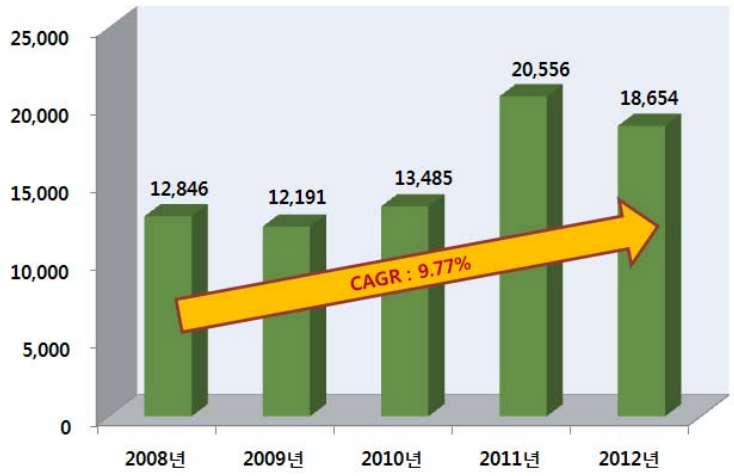
국내·외 주요시장 경쟁사

경쟁사명	제품명	판매가격 (천원)	연 판매액 (천원)
① 쌍용양회공업(주)	쏘일크리트	120	12,000,000
② 제철세라믹	POS-AT	100	400,000
③ 포조텍	고화재	800	300,000
④ (주)지오시스	GEOTONE	100	4,000,000
⑤ 한국지오텍	슈퍼셈, 엠에스지	100	500,000
⑥ 본 개발제품	씨엠디쏘일	62	6,200,000

나. 지반·기반공사현황

통계청 자료 분석 결과, 건설업 중 ‘지반조성 건설업’의 매출액은 2008년 1조 2,846억에서 연평균 9.77%로 증가하여 2012년에는 1조 8,654억 원을 기록하였음

(단위 : 억 원)

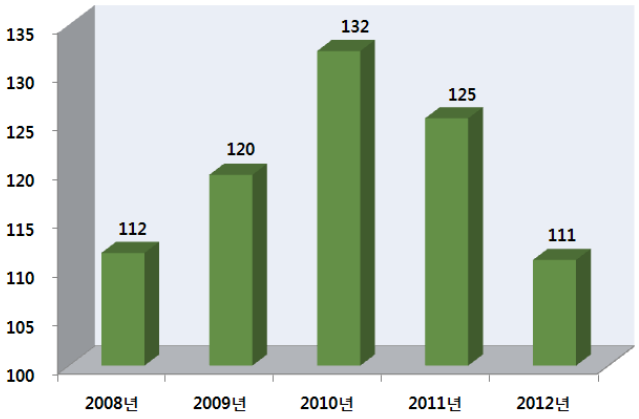


지반조성 건설업 매출액 현황

자료 : 통계청, ㈜델타텍코리아 재구성

‘기반조성 관련 전문공사업’의 경우, 2008년에 약 11조 2천억 원을 기록한 이후 정부의 SOC 예산 증액과 경기회복 등으로 13조 2천억 까지 늘어났으나, 그 이후에는 다시 경기가 하락하고 정부 주도의 투자금액도 줄면서 다시 2008년 수준으로 감소하였음

(단위 : 천억 원)



기반조성 관련 전문공사업 매출액 현황

자료 : 통계청, ㈜델타텍코리아 재구성

한편, 국내 건설업의 매출액은 2008년 약 192조 7,900억 원을 기록하였고, 이후 완만한 증가세를 기록하여 2012년에는 약 204조 3,631억 원까지 증가하였음

국내 건설업 관련 매출 현황

(단위 : 백만 원)

구분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년
건설업	192,790,087	191,565,272	191,491,114	198,219,667	204,363,152
종합 건설업	103,091,219	97,171,820	98,384,355	105,408,303	112,973,049
토목 건설업	30,150,062	38,605,731	33,359,078	46,445,468	52,783,355

자료 : 통계청

주1) 건설업 : 종합건설업+전문직별 공사업

주2) 전문직별 공사업 : 기반조성 및 시설물 축조관련 전문공사업+건물설비 설치 공사업+전기 및 통신 공사업+실내건축 및 건축마무리 공사업

주3) 종합 건설업 : 건물 건설업+토목 건설업

주4) 토목 건설업 : 지반조성 건설업+토목시설물 건설업

건설업 대비 '지반조성 건설업'의 비중은 0.7%~1% 내외로 미미한 편이며, '기반조성 관련 전문공사업'의 경우에는 5%~6% 정도를 차지하는 것으로 분석됨

전체 건설업에서 지반/기반 건설업의 비중 분석

(단위 : 백만 원, %)

구분	2008년	2009년	2010년	2011년	2012년
지반/기반 건설업	12,440,840	13,177,236	14,578,385	14,593,885	12,949,791
지반건설 비율(%)	0.67%	0.64%	0.70%	1.04%	0.91%
기반조성건설 비율(%)	5.79%	6.24%	6.91%	6.33%	5.42%
비율 합계(%)	6.45%	6.88%	7.61%	7.36%	6.34%

자료 : 통계청, ㈜델타텍코리아 재구성

다. 지반고화재 시장 동향

현재 지반고화재 중에서는 시멘트계가 가장 많이 사용되고 있는 것으로 판단되어, 시멘트 고화재를 중심으로 시장 조사를 수행하였음

한국시멘트협회의 자료에 의하면, 현재 우리나라에 정확한 통계자료가 존재하지 않지만 일본의 시멘트 시장과 비교하여 대략적인 수치를 파악할 수 있다고 함

일본 시멘트의 연간 내수 규모가 약 4,500만 톤 정도이고 고화재가 차지하는 비율은 약 15%인 연간 700만 톤 규모로 추정됨

우리나라 시장은 대략 연간 200만 톤 정도가 고화재용으로 사용되는 것으로 분석됨

시멘트 고화재 사용량 약 200만 톤에, 시멘트 가격 톤당 80,000원을 곱하면 약 1,600억 원 정도가 고화재 형태로 소비되는 것으로 분석됨



고화재 용도로 사용되는 시멘트 시장규모

고화재 제조에 첨가되는 시멘트는 특수시멘트로 분류되며, 월간 유통물가 자료에 의하면 특수시멘트 종류마다 다양한 가격대가 형성되어 있는 것으로 조사됨

- 고화처리 시멘트는 제품별로 차이가 있지만 대체적으로 톤당 20만 원대의 제품들이 많은 것으로 조사됨

- 지반강화용 특수시멘트에는 이콘스 제품 3개가 조사되었고, 지반용 고강도 조강용 혼합재의 경우 톤당 150만 원(1,500원/kg), 지반용 고함수토 고화재는 톤당 72만 원, 지반개량용 고화재는 25만 원으로 나타나 일반 시멘트 가격 대비 매우 고가인 것으로 나타남

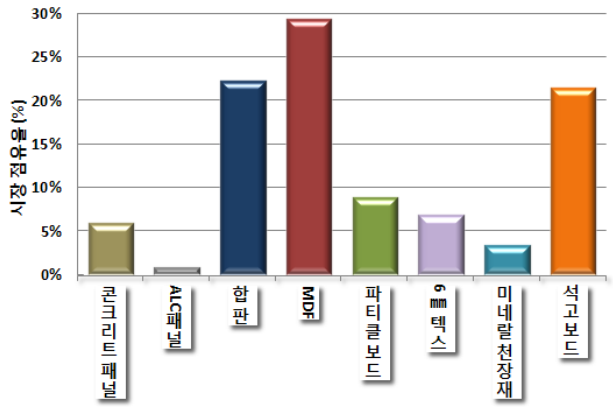
특수시멘트 중 고화재 관련 제품 가격 현황

품명	단위	가격	업체명
오니고화용 시멘트	톤	72,000	제철 세라믹
고함수 표층고화처리	톤	220,000	제철 세라믹
심층 고화처리 침출수 방지	톤	250,000	제철 세라믹
특수고화시멘트	톤	260,000	제철 세라믹
중성계 슬러지 고화용 특수시멘트	톤	160,000	제철 세라믹
지반 및 연약지반 개량, 마이크로시멘트(분말도 6000 이상)	톤	15,000	제철 세라믹
친환경 시멘트	kg	240	지오텍 엔지니어링
심층처리용 고화지(벌크)	kg	160	이콘스
천층처리용 고화재(벌크)	kg	160	이콘스
지반용 고강도 조강용 혼합재	kg	1,500	이콘스
지반용 고함수토 고화재	kg	720	이콘스
지반개량용 고화재(벌크)	kg	250	이콘스

자료 : 월간 유통물가, 2013

2. 콘크리트 2차제품(기성테라조) 시장현황

국내 콘크리트 내·외장재는 크게 패널, 보드 및 텍스로 구분할 수 있다. 패널은 판재 및 봉재, 기타 선형부재의 생산을 위한 방법으로서 가장 보편적인 생산기법인 압출성형으로 생산되는 제품과 ALC 패널을 기반으로 하는 시장이 크게 형성되어 있다. 보드는 KCC, 벽산, 라파즈가 주로 생산하는 석고보드가 대표적임. 텍스는 가격과 내구성이 우수하여 과거부터 오랫동안 사용이 보편화된 석고계 텍스가 주를 이루고 있으며 시장 규모는 2009년 기준 약 17,260억원 추정된다.



국내 건설 내·외장재 시장 현황

출처(건축용 건자재 시장분석 및 수용전망, RIST, 2010)

이중 백색결합재가 적용된 콘크리트 2차 제품으로 기성테라조 시장의 경우 국내 약 10개 이상의 제조회사 생산하고 있는 것으로 보여지며 그 중 4개 업체 정도가 년 매출 50억원 이상의

선두 업체로 파악되고 있다.



백색결합재 용도(기성테라조타일외)

본 백색결합재가 기성 테라조 제품 생산에 적용될 경우 약 20%의 원재료비 절감(20,000원/ton)을 통해 기존 제조원가중 노무비, 제조경비가 동일할 경우 약 10%이상의 제조원가 절감이 가능하리라 판단된다.

기성테라조 제조원가 예상

제품명	제조원가(원/㎡)				비고
	재료비	노무비	제조경비	소계	
기성테라조판 (백색결합재)	4,500	2,500	3100	11,000	- 기존 백색시멘트 재료비는 5,400원/㎡(약 900원 절감, 20%)

산출근거)

1. 재료비 : 총생산량 45,000ton 기준
2. 일반 기성테라조 공장 제조원가 참조

국내·외 주요 예상 판매처

판매처	국가명	판매 단가(천원/톤)	예상 연간 판매량(톤)	예상 판매기간(년)	예상 총판매금(천원)	관련제품
동북산업개발(주)	대한민국	120	4,000	10	4,800,000	테라조 타일, 테라조계단판
(주)한빛테라조	대한민국	120	1,000	10	1,200,000	테라조 타일, 테라조계단판
(주)대영테라조	대한민국	110	2,000	10	2,200,000	테라조 타일, 테라조계단판
(주)한스	대한민국	100	3,000	10	3,000,000	테라조 타일, 테라조계단판

3. 경제성 분석

가. 지반고화재

본 연구 개발의 결과물인 씨엠디 쏘일은 현장 조건 및 요구 조건에 따라 재료의 혼합비는 변동이 있으나, 2015년 3월 물가정보지에 게재된 금액은 62,000원으로 산출 근거는 아래의 표와 같다.

구 분		단가(원/톤)	혼합비(%)	금액(원/톤)
원재료	고로슬래그미분말	42,000	30~60	12,600~25,200
	고칼슘연소재[1]	3,000	30~50	900~1,500
	자극제	30,000	10~20	6,000~12,000
원재료비 소계			100	31,000[2]
분쇄 및 분급				5,000
이 윤				7,000
운송료[3]				15,000
기타제비용				4,000
합 계				62,000

[1] 처리 비용 0원/톤, 운송비는 발생처 부담, 하차비 및 싸이로 운영비 3,000원/톤은 재활용 업체에서 부담.

[2] 현장 조건 및 요구사항에 따른 배합비는 조절이 가능하며, 배합비 및 재료비 산정은 변경가능. 예상금액 19,500원~38,800원의 80% 수준 31,000원으로 산정하였음.

[3] 운송료는 200㎞ 범위 내에서 15,000원을 기준으로 함.

본 연구개발을 통해 개발한 ZEB 무기결합재인 씨엠디 쏘일의 가격은 원재료비의 가격변동이 미비한 반면, 운송거리에 따른 운송비변동 시공현장의 위치에 따른 발생 운송비의 영향을 크게 받을 것으로 사료된다. 이는 제품 생산 공장과 시공현장의 운송거리를 200㎞이내에서의 안정적인 사업이 유지될 것으로 판단되어 추후 경북 경주 및 충남 보령에 씨엠디쏘일 제조 공장을 확충하여 아래의 그림과 같이 서남해안 지역에 위한 지반 보강 시공 현장에 도착도 62,000원/톤의 가격에 제품을 판매할 계획에 있다.



지반고화재의 경제성 분석을 현재 지반 고화재 중에서 시멘트계가 가장 일반적으로 사용되고 있는바, 비교군으로 시멘트를 선정하여 본 개발 제품인 씨엠디 쏘일과 경제성 분석을 실시하였다. 1종 시멘트로 지반 보강을 실시할 경우, 시멘트의 수축 성상을 보상하기 위해 벤토나이트를 혼입하여 시공을 실시하는 경우가 있어 이에 대한 비교 분석도 실시하였다.

해상 DCM공법 적용시 1공(4축3련) 1M를 시공하게 되면 약 0.8ton의 결합재(고화재)가 소요되므로, 이를 상정하여 계산하면 다음과 같다.

◎ 시멘트 100% 적용시 : 81,000원/톤 × 0.8톤 = **64,800원**

◎ 시멘트 95%, 벤토나이트 5% 적용시 : (81,000원/톤×95% + 200,000원/톤×5%) ×0.8톤 =86,950원/톤 ×0.8톤 = **69,560원**

◎ 씨엠디 쏘일 100% 적용시 : 62,000원/톤 ×0.8톤 = **49,600원**

해상 DCM 1M 시공시 개발 결합재 씨엠디 쏘일을 적용하면 49,600원의 재료비가 소요되며, 이는 시멘트 100% 적용시 64,800원과 비교하여 23.5%의 재료비 절감효과를 기대할 수 있으며, 시멘트 수축보상을 저감하기 위해 5%의 벤토나이트를 혼입하여 시공할 경우의 69,560원과 비교하여 28.7%의 재료비 절감효과를 기대할 수 있다.

예상경비 / 사용 결합재 종류	해상 DCM 1M 시공시	
	결합재 소요 경비	절감효과(%)[1]
시멘트 100%	64,800	23.5
시멘트 95% + 벤토나이트5%	69,560	28.7
씨엠디쏘일 100%	49,600	-

[1] (1-(개발결합재소요경비/기성제품소요경비))×100

나. ZEB 기반 바닥용 모르타르(레미탈)

ZEB 기반 바닥용 모르타르의 경제성 분석은 결합재 및 모르타르로 나누어 실시하였다. ZEB 기반 바닥 모르타르용 결합재의 산출근거는 아래의 표와 같다. 이 제품 또한 씨엠디 쏘일과 동일하게 충남, 전남, 경북에 위치한 3곳의 공장에서 생산이 가능한 도착도 65,500원/톤의 가격 경쟁력 확보가 가능하다.

구 분		단가(원/톤)	혼합비(%)	금액(원/톤)
원재료	고로슬래그미분말	42,000	60	25,200
	고칼슘연소재[1]	3,000	10	300
	자극제	30,000	30	9,000
원재료비 소계			100	34,500
분쇄 및 분급				5,000
이 윤				7,000
운송료[2]				15,000
기타제비용				4,000
합 계				65,500

[1] 처리 비용 0원/톤, 운송비는 발생처 부담, 하차비 및 싸이로 운영비 3,000원/톤은 재활용 업체에서 부담.

[2] 운송료는 200㎞ 범위 내에서 15,000원을 기준으로 함.

본 개발제품은 KS L 5220(건조시멘트모르타르-바닥용모르타르) 시험기준을 만족하며, LH공사 시방서 KNHC31320 품질기준 규정에 적합하다. 이는 기존에 시멘트계 모르타르인 H사의 건조모르타르(바닥용 레미탈)와 동등이상의 성능제품임을 확인하였으며, 경제성 분석을 위해 D건설사가 시공하는 주택공사의 바닥 1㎡ 시험시공을 기준으로 소요경비를 비교하였다.

기성제품의 경우 모래와 결합재가 배합되어 제품화 되었으며, 본 개발제품은 결합재만을 출하함으로 현장에서 위의 결합재를 적용하여 바닥용 모르타르 제조 시 시공 현장 주변의 레미콘 제조 공장을 활용하여 제조하는 것으로 산정하여 가격 산정을 실시하였으며, H사의 건조모르타르 기성제품(레미탈)과 가격 비교를 실시한 결과 49.3%의 재료비 절감효과를 예상할 수 있었다.

구 분	단가	바닥 1㎡ 시공 시		
		소요량[3]	소요경비	절감효과[4]
건조모르타르 기성제품[1]	65,000원/ton	0.0878 ton	5,706	49.3%
본 개발결합재 적용한 레미콘 모르타르[2]	64,279원/㎥	0.0450 ㎥	2,893	

[1] 2015년 3월 현재 레미탈 바닥용 (H사) 단가

[2] 2015년 3월 현재 물가자료 레미콘 모르타르 1:3 단가 반영

[3] D건설사 현장시험시공 적용

[4] (1-(개발결합재소요경비/기성제품소요경비))×100

다. 콘크리트 2차 제품용 결합재

ZEB 기반 콘크리트 2차 제품용 결합재의 경제성 분석은 콘크리트 2차제품인 기성 테라조의 결합재로 사용되고 있는 백색 결합재를 대상으로 실시하였다. 본 연구 개발 결합재의 원가는 아래와 같이 산출하였다.

구 분		단가(원/톤)	혼합비(%)	금액(원/톤)
재료비	고로슬래그미분말	42,000	50	21,000
	알칼리자극제 1	210,000	20	24,000
	황산염자극제 2	100,000	30	30,000
원재료비 소계			100	75,000
분쇄 및 분급				30,000
이 윤				40,000
운송료[1]				15,000
기타제비용				20,000
합 계				**180,000**

[1] 운송료는 200㎞ 범위 내에서 15,000원을 기준으로 함.

기성 테라조 제조에 사용되는 백색 결합재는 U사와 R사의 제품이 일반적으로 사용되고 있는 바, 이 두 가지 제품의 시중 유통단가를 기준으로 비교하였다. 백색시멘트는 대리점을 통해 판매되는 제품으로 시공 및 별도의 현장 기준이 필요치 않으며, KS L 5204(백색시멘트) 규준에 적합한 제품으로 기존 제품 대비 톤당 20,000원~30,000원 정도 가격이 저렴하며, 평균 14% 정도 원가 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 이 제품 또한 씨엠디 쏘일과 동일하게 충남, 전남, 경북에 위치한 3곳의 공장에서 생산이 가능한 도착도 180,000원/톤의 가격 경쟁력 확보가 가능하다.

구 분	유통단가 (원/톤)	개발제품 대체시 절감효과[3)]
U사 백색 결합재[1)]	200,000	10 %
R사 백색 결합재[2)]	210,000	14 %

[1)] U사제품 백색시멘트 2015년 3월 시중 유동가

[2)] R사제품 백색시멘트 2015년 3월 시중 유동가

[3)] (1-(개발제품 유통단가(180,000원/톤)/기성제품 유통단가))×100

제 4장 연구목표 달성 및 효과

제 1절 연구개발 최종목표 달성도

1. 1차년도 연구개발 목표의 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
순환자원의 정제 및 품질 안정화 방안 도출	100	▪ 순환자원 품질 Data 수집 (탄종별, 설비별, 계절별) ▪ 분리선별 기술의 국내외 현황조사 ▪ 선별방식(비중/정전 등)에 따른 유해 성분 분급 특성 평가 ▪ 분쇄 및 분급 기술 확보
알칼리 및 황산염 자극제 최적 전처리 조건 도출	100	▪ 알칼리 및 황산염계 자극제의 원시료 분석 ▪ 자극제 전처리 방식에 따른 적정 배합비 도출 ▪ 폐기물 복합처리에 따른 자극제의 혼합 및 분쇄 조건 확립
알칼리 및 황산염 복합 자극에 의한 비정질 물질의 활성화 메커니즘 분석	100	▪ 자극제 종류별 강도발현 특성 분석 ▪ 양생조건별 강도발현 특성 분석 ▪ 원시료 전처리 방식에 따른 강도발현 특성 분석 ▪ 경화체 미세구조 변화 분석
ZEB 요인별 경화체의 물리/역학적 특성 규명	100	▪ 제조요인별 특성 분석 ▪ 응결(초결, 종결), 강도, 탄성계수, 유변학적 특성 등 ▪ 관계요인별(물/결합재비, 혼입률 등) 역학적 특성

2. 2차년도 연구개발 목표의 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
ZEB의 다양화를 위한 제반 성능검증	100	▪ 심층안정화용 토양고결재 활용성 평가 - 역학적 특성평가(압축강도) ▪ 표층안정화용 토양고결재 활용성 평가 - 역학적 특성평가(일축압축강도 등) ▪ 레미탈 및 칼라시멘트 활용성 평가 - 역학적 특성평가(유동성, 압축강도, 균열저항성, 함수율, 화학수축량 평가) ▪ PHC파일 채움재 활용성 평가 - 역학적 특성평가(유동성 압축강도) ▪ 콘크리트 2차 제품용 결합재 활용성 평가 - 역학적 특성평가(분말도, 백색도 압축강도)
ZEB기반 제품화 요소기술 개발	100	▪ 환경안전성 평가 - 환경친화성 : 용출 저항성 ▪ pH - 시간 경과에 따른 경시변화 ▪ 내산성 평가 - 탄산화, 염해 저항성동결융해 저항성 : 내구성 지수 80% - 화학저항성 : 제설제, 황산염, 알칼리 골재반응 등 - 내화 및 부식 저항성 ▪ 유해중금속 고정화 능력 - 유해 중금속을 다량으로 함유하고 있는 산업폐기물 처리 시 고화용 무기결합재로서의 활용가능성을 평가
Pilot Plant 설치 및 시제품 생산	100	▪ Pilot Plant의 제작 및 설치 ▪ Pilot Plant의 시운전 및 최적 운전 조건 확립 ▪ Pilot Plant에서 분리·선별되는 산물 (원료소재)의 시험시공

3. 3차년도 연구개발 목표의 달성도

목 표	달 성 도 (%)	내 용
상용화 시스템 최적 운전조건 도출	100	▪ 상용화 Plant 연속조업에 의한 품질 안정성 확보 ▪ 기초 경제성 평가 및 경제성 제고 방안 연구 ▪ 운전 조건에 따른 ZEB의 품질 변화 특성 평가 ▪ ZEB 용도에 따른 현장 맞춤형 시제품 생산 기술 확보
ZEB의 그린건설재료 실용화 기술개발	100	▪ ZEB의 성능 향상 기술(강도, 체적수축, 독성 폐기물 고립성능 및 내구성 등) ▪ ZEB 현장실용화 및 적용성 향상 기술 개발 (기존 1종포틀랜드시멘트 대비 동등 이상의 성능, 경제성 및 시공성 확보)
개발 제품의 현장 적용성 평가	100	▪ ZEB의 제반성능 종합평가 및 활용 제품 성능인증 (투수계수, 압축강도, pH, 내구성 등) ▪ ZEB의 표층안정화용 토양 고결재로의 현장 실증 ▪ ZEB의 고부가성 건설재료(레미탈, 칼라시멘트 등)로서 현장 실증 ▪ ZEB의 PHC 파일채움재로서의 현장 실증 ▪ ZEB의 콘크리트 2차제품용 결합재로서의 현장 실증

제 2절 연구개발 성과의 효과 분석

1. 기술적 효과

석탄연소 부산물을 활용한 건설재료의 실용화 기술은 세계적으로 그린건설을 선도할 수 있는 원천기술에 해당하며, 이는 지반, 레미콘 및 프리캐스트 제품에 다양하게 적용할 수 있어 건설분야의 파급효과는 상당히 클 것으로 판단된다.

ZEB의 기술개발은 전력구조물 뿐만 아니라 일반 콘크리트 2차제품 분야에서의 새로운 수요와 기술을 창출하는 효과를 발휘하게 될 것으로 기대된다. 또한 이를 이용한 고성능 콘크리트 분야에 파급력이 큰 원천기술 확보 가능성이 상당히 높다.

분쇄 또는 분급기술을 통하여 미연탄소분 저감 및 분말도 상향을 통한 ZEB용 고품질 플라이애시 생산기술 확보할 수 있으며, ZEB 배합설계에서 성능중심 설계법을 도입함으로써 ZEB의 성능을 향상시키고 선진국 수준의 배합기술을 확보할 수 있다.

저탄소 ZEB 활용기술개발은 건설 분야의 혁신적인 신수요 창출로 에너지/이산화탄소 다소비 건설의 패러다임의 변화를 가져올 수 있을 것으로 판단되며, 기존 콘크리트의 제조, 성능에 대한 원론적인 개념변화로 다양한 적용성의 확보가 가능하다.

플라이애시를 다량으로 혼입하여 화학적·물리적 기법으로 반응을 활성화시켜 압축·휨 성능, 수축 저항성, 내구성능 등 성능이 향상되고, 또한 황토, 제올라이트 등으로 합성시켜 친환경성을 부여한 콘크리트를 활용하여 친환경 도로포장재 및 생태블록 제품은 향후 친환경 건설 시장 및 탄소배출권 시장에서 기술적 우위를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

개발 제품은 주로 1)전력 구조물의 Box culvert, 터널 라이닝 등 PC(Precast concrete)제품, 2) Cement-Zero 지반강화재 및 슬러지 고화재 용도의 토목/건축용으로 사용될 것으로 판단된다.

2. 경제적·산업적 효과

정부는 향후 녹색산업을 이끌어갈 녹색기술 인력양성에 2013년까지 모두 1조 5,000억원을 투자하여 총 13만 4,000명에 달하는 핵심 녹색인재 양성을 계획하고 있으며, 에너지원 분야, 에너지 고효율 분야, 산업·공간의 녹색화 분야, 환경보호·자원순환분야, 무공해 경제활동 분야 등 5개 분야에서 녹색일자리가 창출될 것으로 보고 지원방안을 마련하였다.

본 연구과제의 경우 해당 기술이 모두 탄소저감을 목표로 하는 녹색기술로, 기술개발이 완료된 후의 고용창출 효과는 상당히 클 것으로 기대되며, ZEB 콘크리트 기술은 민간기업체 등에 기술이전을 통하여 특정기능을 부여하는 첨단 고부가가치 친환경 소재 및 제품 등의 개발을 유도함으로써 국내 관련기술 개발과 수요창출뿐만 아니라 국제 경쟁력 제고에 기여할 수 있다.

ZEB 콘크리트 및 친환경 제품 기술은 향후 탄소배출권 시장에 진출이 가능하며, 특히 CO_2 대량으로 배출하는 시멘트산업 및 화력발전소 입장에서도 탄소배출권 시장에서 부담이 상당히 완화될 수 있다.

화력발전소가 많은 중국·인도 등에서도 많은 양의 플라이애시가 배출되어 폐기되는 상황을

고려할 때, 이들 국가에서도 경제발전과 사회기반시설 확충이 기대되므로 이들 국가에 기술수출 및 건설시장 진출에 활용될 수 있으며, 본 과제가 성공적으로 수행될 경우 그린건설재료는 콘크리트 2차 제품 뿐만 아니라 토목/건축 등 건설 전분야로의 적용이 더욱 활성화 될 것으로 기대된다. 이에 따라 그린건설재료와 관련된 제조업체, 설계업체, 시공업체 등에도 이러한 재료에 대한 전문가들에 대한 수요가 증가하게 되어 고용창출 효과도 적지 않을 것으로 판단된다.

성능중심 ZEB 콘크리트 배합 설계 구축을 통하여 시공에 적합한 재료를 사용함에 따라 소요비용을 최소화 할 수 있으며, ZEB 고성능 콘크리트 개발을 통하여 특수 환경에서 건설되는 구조물(터널, 지하구조물, 원자력 발전소) 및 복잡한 단면을 가진 프리캐스트 제품의 생산 경쟁력을 향상시킬 수 있다.

3. 환경적 효과

석탄연소 부산물의 활용기술 실용화를 통한 발전소 매립지 문제 해소 및 국가에너지원인 전력의 안정적인 공급에 기여할 것으로 판단되며, 친환경 제품 개발을 통한 재활용 제품에 대한 소비자들의 부정적 선입견 해소에 기여할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 순환자원의 활용도를 크게 높이고 포틀랜드 시멘트 생산량 절감에 의한 이산화탄소 배출량을 감소시킬 수 있어 건설 산업에서의 환경부하 크게 감소시키며, 성능중심 ZEB 배합 설계 및 수축저감기술을 통하여 콘크리트구조물의 생애주기비용(LCC) 측면에서 국가건설의 경제적 낭비를 최소화하고 콘크리트구조물의 기능적·사회적 가치를 상승시킬 수 있다.

제 5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

제 1절 연구성과 향후 활용 방안

1. 연구성과 활용

고칼슘 플라이애시 및 폐석고의 안정적인 처리로 인한 수익 창출이 가능하고, 이를 그린건설재료 및 콘크리트 2차 제품으로 재활용하는 기술을 확보함으로써 콘크리트 2차 제품 업체 및 시멘트관련 업체에 약 20만톤/년 무기결합재 물량 공급 가능하다.

본 개발제품은 말뚝 관입용, 지하수의 유동 및 침출수의 유출을 방지하기 위한 차수용, 연약한 지반 보강용, 공동을 충전하거나 뒷채움을 위한 저강도 기포혼합 고화재로 널리 활용이 기대되며, 또한 향후 개발한 기술의 활용분야로는 하천, 농로, 해안 간척지 등의 연약지반의 고화 및 터널 그라우팅, 하수관, 전기배선관 등 다양한 구조물의 뒷채움재 등으로의 용도확대가 기대되어 다양한 건설 현장에 접목 시 이익을 극대화할 수 있다.

유동층보일러 고칼슘플라이애시를 활용한 지반고화재는 시멘트 및 생석회를 전혀 사용하지 않기 때문에 기존 콘크리트용 혼화재료 재료공정에 손쉽게 적용될 수 있는 특징을 지니고 있는 바, 당사에서 보유하고 있는 고화재 생산 공정(1,200톤/일 규모)을 이용하여 Cement-Zero형 무기결합재를 양산에는 어려움이 없을 것으로 판단된다.

또한, 당사는 Free-CaO 함량 50% 이상인 유동층보일러 고칼슘플라이애시를 고로슬래그미분말의 알칼리 자극제와 황산염 자극제를 사용하여 산업부산물을 활용하고자 하는데 이의 핵심원료에 대한 기본적 물성 및 Data가 충분히 확보한 상태이다.

유동층보일러 고칼슘플라이애시가 50%정도 함유하고 있는 Free CaO에 의한 발열반응을 유도해 기존 기술인 시멘트 및 생석회를 전혀 사용하지 않고 고함수 상태의 연약지반을 고화하는 속도를 기존 제품에 비하여 50% 이상 개량하여 양질의 지반으로 전환이 가능하며, 이를 알칼리 고화재의 중화열 반응을 유도하는 재료로 사용되는 것은 세계적으로 최초로 시도되는 기술로 판단된다.

본 연구 개발로 인하여 기존 시멘트 및 생석회의 일부 대체를 위해 기존의 재료를 수득되는 상태에서 단순 혼합/가공하는 수준에서 벗어나, 각각의 특성을 가진 원료를 공정처리를 통해 가공하고 최적비율로 조합하여 고기능성 소재로 개발하는 단계로 진보해 나갈 것이다. 즉, 순환자원을 복합적으로 사용하고 단순한 물리적 치환이 아닌 이들의 화학적 결합을 유도하였기 때문에 저가의 분말형 고화재의 제조가 가능으로 고함수 준설토 등을 고화처리할 경우 고화재에 경화의 성격을 부여하여 재슬러리화 현상을 방지하였고, 배합비를 조절할 경우 복토재뿐만 아니라 1.0 ~ 10Mpa의 강도를 발휘할 수 있어 성토재 및 매립지 차수재로도 사용이 가능할 것으로 판단된다. 이러한 기술은 선진국에서도 개발된 적이 없는 우리나라의 고유기술로서 향후 더욱 더 지반에 대한 환경 안정성이 부각되는 시점에 반드시 필요한 소재가 될 것이며, 말뚝 관입용, 지하수의 유동 및 침출수의 유출을 방지하기 위한 차수용, 연약한 지반 보강용, 공동을 충전하거나 뒷채움을 위한 저강도 기포혼합 고화재로도 널리 활용이 기대되며, 또한 향

후 개발한 기술의 활용분야로는 하천, 농로, 해안 간척지 등의 연약지반의 고화 및 터널 그라우팅, 하수관, 전기배선관 등 다양한 구조물의 뒷채움재 등으로의 용도확대가 기대된다.

또한 본 기술은 사용되는 결합재가 시멘트를 전혀 사용하지 않는 기술로서 사용재료 및 배합비에 따른 차별화로 인해 특허권 분쟁을 회피할 수 있으며, 기존 특허기술의 침해소송 발생 소지가 매우 적으며, 본 연구개발을 통한 성과를 통하여 특허를 등록하였다. 또한, 심층혼합공법용 무기결합재 제조기술에 대한 녹색기술인증, 녹색기술제품을 확인받았으며, 녹색전문기업 인증을 획득하였다. 이와 더불어 현재 5개 회사가 공동으로 건설신기술을 출원하여 건설신기술을 지정 받았으며, 이를 바탕으로 사업화를 추진 중에 있다.

2. 사업화 추진 방안 및 판매 계획

가. 단기계획(연구 종료 후 1차년도~2차년도)

(1) 제품의 특화

- 운영비 최소화 : 수요처와의 유기적인 관계로 주문생산 방식 채택
- 초기 투자비 최소화 : 제품 출시와 동시에 판매 가능한 규모로 설계
- 각종 기술 인증 획득 : 건설신기술 지정, GR마크 획득, 조달청 지정 품목 지정

(2) 판매 계획

- 1차 : 현재 부상하고 있는 잠재 시장 공략

⇒ 유사제품 대비 가격 및 품질경쟁력으로 시장 확대

⇒ 판매가격 15~40만원/ton 이상의 소량 고수익 제품 생산

⇒ 내화학성이 기존 5종 시멘트보다 우수한 제품으로 산업부산물을 이용한 친환경적 제품임을 강조

- 2차 : 잠재 수요처와의 공동연구를 통한 제품용도 개발

⇒ 말뚝 관입용 고화재

⇒ 지하수 유동 및 침출수 차수용 고화재

⇒ 폐광산 지하 공동 충전재

⇒ 경량 기포 뒷채움재 등

나. 중·장기 계획(연구 종료 후 3차년도~7차년도)

- 판매가격 인하(7만/ton)로 기존 포틀랜드 시멘트계 지반 고화재 대체 중심
- 일반 건설시장 공략(국내 에너지자원 절약 및 친환경성 사업으로 정착)
- 일반 건축용 및 토목용으로의 건설현장에서 연약 지반 개량제로 사용 가능
- 내약품성이 우수하여 해상구조물, 항만건축, 간척지 공사, 폐수로, 폐기물의 고화재로 매우 적합함

- 에너지자원 절약형 시멘트, 친환경성 시멘트(대기오염 방지)의 효과 기대
- 본 개발제품의 특성을 이용한 고부가가치 2차 제품 제조기술 확립
  - 고부가가치 제품의 제조 기술 이전(특허 계약 및 시멘트 판매)
  - 지속적인 적용성 연구를 통한 고부가가치 제품 개발 ⇒ 무기결합재의 효과 극대화

제 2절 추가 연구 필요성

순환유동층 연소방식의 플라이애시 등 순환자원을 활용한 Zero Emission Binder 제조에 관한 연구 결과 중금속 함량이 적고 환경오염에 대한 우려가 적어 별도의 정제 등의 전처리 과정이 필요치 않은 순환자원을 슬래그 활성화 자극제로 활용할 경우, 보통 포틀랜드 시멘트 대비 저가의 무기결합재의 제조가 가능하여 기존의 무시멘트 무기결합재가 지닌 상용화실적 미비라는 단점을 극복할 가능성이 높다.

개발 ZEB 결합재의 성능 향상을 위해 아래와 같은 연구가 필요할 것으로 판단되는바 추후 지속적인 연구를 수행할 예정이다.

1. 순환자원을 활용한 결합재의 품질은 사용 순환자원의 영향을 많이 받고 있는바, 사용 순환자원의 지속적인 DB 구축 및 품질 관리 및 표준편차를 줄이기 위한 방안 확보에 관한 연구

2. ZEB 결합재를 사용 범위 및 용도 확대의 일환으로 콘크리트 구조물용 및 2차제품 구조물 제조 등을 위해 콘크리트 적용 물성 평가 및 대형 부재의 거동 평가 등 구조재로 사용하기 위한 연구

3. 동절기 및 극한지 적용을 위해 계절별에 따른 시공성능 및 강도 발현 등에 관한 데이터 확보를 위해 저온 양생 조건에서의 추가 실험 및 연구

4. 콘크리트 구조물 뿐만 아니라 도로구조물은 겨울철의 동결융해에 의한 파손 및 들뜸 현상이 자주 발생하고 있는바 결합재를 비롯하여 고화토 등에 대한 동결융해 저항성 실험 및 검토

5. ZEB 결합재를 활용한 바닥용 모르타르의 사업화를 위해 개선해야할 부분인 바닥재와의 접착성 향상을 위한 방안 연구(예: 레이턴스 발생 억제 등)

참고문헌

1) http://co2.kemco.or.kr

2) 유엔환경계획(UNEP) 한국위원회, “기후변화협약”, 유넵프레스(UNEP Press), 2002.

3) 유엔환경계획 한국위원회, “교토의정서”, 유넵프레스(UNEP Press), 2002.

4) 한국건설산업연구원, “국내 건설투자의 중장기 변화 추이 연구”, 2009

5) 국토해양부, “건설자재 현황”, 2010

6) McGraw-Hill, "McGraw-Hill Construction", 2008

7) 김원기, “폐기물을 이용한 무기결합재의 개발”, 세라미스트 제3권 제6호 2000.

8) 최롱, 김기수 “한국시멘트 산업의 당면 문제점과 해결방안”, 콘크리트학회지 제 15권 1호, pp. 6~9, 2003.

9) 박응모, “무기계 자극제가 고로슬래그 시멘트 수화무의 특성에 미치는 영향”, 전북대학교 박사학위논문, 2002

10) 羽原俊祐原俊祐, "コンクリートの構造をその物性, わかりやすいセメント科学", No.9, 社団法人セメント協会, pp. 78~104, 1993.

11) 문경주, “산업폐기물을 이용한 비소성 시멘트 및 콘크리트 특성", 전북대학교 박사학위논문, 2004. 2

12) 한국건자재시험연구원, “고로슬래그미분말을 활용한 시멘트·콘크리트 생산기술 개발”, (재)포항산업과학연구원 최종보고서, pp. 41~72, 2001.

13) J. Skalny, J. E. Brophy, “Hydration of Portland and Blended Cements”, Intl. Conf. on Slag and Blended Cements, Univ. of Alabama, pp. 16~32, 1982.

14) 粒定方府編, “コンクリート總攬, 技術書院”, pp. 34~35, 1998.

15) 近登 然一, "歐美における建設材料の研究と製造", 窯業協會紙 Vol. 69, No. 7, pp. 131~135, 1961.

16) 최상흘, 오희갑, 지정식, 엄태선, “슬래그-석고계 시멘트 개발연구”, 한국요업학회지 제 17권 4호, pp. 217~221, 1980.

17) 依田彰彦, 横室隆, “高硫酸塩スラグセメントの研究(その3)”, 無機マテリアル学会学術講演会講演要旨集, Vol. 10, 6th, pp. 8~9. 2003.

18) 依田彰彦, 横室隆, 添田悠介, 小椋由之, "高硫酸塩スラグセメントモルタルの性質に及ぼす高炉スラグ微粉末の比表面積の影響", メント技術大会講演要旨, Vol. 5, 7th, pp. 70~71, 2003.

19) 依田彰彦, 横室隆, "高硫酸塩スラグセメントの研究 (その2)", 無機マテリアル学会学術講演会講演要旨集, Vol. 10 5th, pp. 30~31, 2002.

20) 伊藤隆彦, 小谷一三, 石井明俊, "高炉スラグ微粉末を高添加したコンクリートの長期暴露試験結果", 土木学会年次学術講演会講演概要集 第 5部, Vol. 4, 2nd, pp. 624~625, 1987.

21) 이의학, 정찬일, 송명신, 이경희, “Ettringite의 생성에 미치는 pH의 영향”, 한국요업학회지 제 39권 7호, pp. 699~703, 2002.

22) 近藤連一, 坪井龍明, 山内俊吉, “ポルトランド, 高炉及び高硫酸塩スラグセメントの硬化に関する比較研究”, 窯業協会誌, Vol. 68, pp. 58, 1960.

23) H. Uchikawa, "Gypsum and Lime", pp. 497~505, 1990.

24) J. D. Ortego, Y. Barroetr, "Leaching Effects on Silicate Polymerization and FT-IR 29Si-NMR Study of Lead and Zinc in Portland/Cement", Environ. Sci. Echnol., Vol. 25, pp.1171~1174. 1991.

25) D. Cocke, J. D. Ortego, M. Whinney, "A Model for Lead Retardation of Cement Setting", Cement and Concrete Research, Vol. 9, pp. 156~159, 1989.

26) J. Bensted, S. P. Varma, "Some Application of Infred and Ramman Spectroscopy in Cement Chemistry", Cement Technology, Vol 5, pp. 440~450. 1974.

27) J. D. Ortego, S. Jackson, "Solidification of Hazardous Substance-A TGA and FT-IR Study of Portland Cement Containing Metal Nitrates", J. Envirion. Sci. Health, A24(6), pp. 589~602, 1989

28) 이승규, “중금속 이온이 시멘트의 수화에 미치는 영향 및 용출특성”, 연세대학교 대학원 박사학위 논문, 1993.

29) C. S. Poon, C. J. Peters, R. Perry, "Mechanics of Metal Stabilization by Cement Based Fixation Process", The Science of The Total Environment, Vol. 41, pp. 55~71, 1985.

30) 内川浩, “セメントにる廃棄物, 汚泥중の有害物の質固定”, セウミックス, Vol. 12, No.2, pp. 103~117. 1977.

31) Kauko Kujala, "Stabilization of Harmful Wastes and Muds", International Symposium on Environmental Geotechnology, pp. 540~548, 1986.

32) J. Bensted and S. P. Vama, "Studies of Ettringite and it Derivatives", Cement Technology, Vol. 2, pp. 73~76, 1971.

33) J. Bensted and S. P. Vama, "Studies of Ettringite and it Derivatives. Part 4; The Low-Sulphate Form of Calcium Sulphoaluminate", Cement Technology, Vol. 4, pp. 112~116, 1973.

34) R. Turriziani, "The Calcium Aluminate Hydrates and Related Compounds", The Chemistry of Cements, Vol. 1, pp. 104~110, 1964.

35) H. El-Didamony, F. H. Mosalamy, A. F. Galal, "Assessment of Altered Basalt as an

Ingredient of Pozzolanic Super-Sulphated Cement", Silic Ind, Vol. 54, No.5-6, pp. 95~100, 1989.

36). J. Bijen, E. Niël, "Supersulphated Cement: Improved Properties", Silic Ind, Vol. 47, No. 2, pp. 45~53, 1982.

37) 한국건설순환학회, “건설산업에서 저탄소 녹색성장에 따른 친환경분체의 효율적 활용”, 한국건설순환학회 기술 강좌 자료집, 2010.

38) 김정진, 황인성, 이상현, 위준우, “에코콘크리트 현장 적용에 따른 강도 상승 효과 및 이산화탄소 절감 효과에 관한 연구”, 한국건설순환자원학회 논문집, pp. 80~87, 2011.

39) 김태형, 태성호, “콘크리트 생산에 의한 CO_2 배출량 평가 시스템 개발에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집, 제 22권 제 6호, pp. 787~796, 2010.

40) 한국세라믹학회 시멘트부회 역, “사회환경 머터리얼”, 단행본, 2009

부록

성과집계현황

1.특허

특허명칭	등록번호 (출원번호)	등록일 (출원일)
광촉매 코팅이 구비된 비소성 시멘트 투수 블록 및 그의 제조방법	10-1205491	2012.11.21
비소성 시멘트를 이용한 옹벽 블록 및 이의 제조방법	10-1241820	2013.03.05
비소성 시멘트를 이용한 식생 블록 및 이의 제조방법	10-1205497	2012.11.21
비소성 시멘트를 이용한 보강옹벽용 식생블록 및 이의 제조방법	10-1241818	2013.03.05
중유혼소 석탄소각재를 포함하는 아스팔트 포장용 채움재 조성물	(10-2013-0078698)	(2013.07.05.)
중유혼소 석탄소각재를 이용한 아스팔트 포장용 채움재 조성물	(10-2013-0078699)	(2013.07.05.)
시멘트 사용량을 최소화할 수 있는 결합재 조성물	(10-2013-0150401)	(2013.12.05.)
비소성 무기결합재를 활용한 콤팩션 그라우팅 공법용 모르타르 조성물	(10-2013-0151631)	(2013.12.06.)

2. 학술지 게재

논문명	학술지명	주저자명	Vol. (No)	게재 일자
고칼슘플라이애시를 활용한 온돌 바닥 마감용 모르타르 물성	한국폐기물자원순환학회지	안양진	30 (7)	2013.10

3. 신기술 지정

명칭	고시일	보호기간	지정번호
건설신기술 씨엠디쏘일을 이용한 지반개량 심층혼합처리공법	2014.11.14	2014. 11. 14 ~ 2019. 11. 13.	제747호

4.시제품제작

시제품명	출시/제작일	제작업체명 (시공업체명)	이용분야
심층혼합공법용 고화재	2014.08	(주)대웅 (초석건설)	심층지반고화
토양고결재(흙포장용) 고화재	2014.07	(주)대웅 (에이엠에스)	흙포장
백색시멘트 대체용 고화재	2013.08	(주)대웅 (에코콘 대리점)	백시멘트 대용

5. 현장시험

현장시험명	시험일	시험장소	주요내용
천안 두정 2차 e편한세상 현장	2012.12.04	천안 두정 2차 e편한세상 현장	레미탈 제품용 결합재 현장적용 평가를 위한 바닥용 모르타르 타설
대림산업 연구동 바닥모르타르시공	2012.12.14	대전 건축환경연구센터	바닥용 모르타르 타설 (녹색기술 현장평가 실시)
부산 송도준설토투기장 조성공사	2013.6.21.~24	경남 창원시 진해구	심층혼합공법용 결합재 현장시험
전주혁신도시 개발현장	2013.07.15	전북 완주군 이서면	파일공사 주입재 현장시험
광양항 3단계 2차 부두 하부공 잔여공사	2014.08.26	전남 광양시 도이동	심층혼합공법용 결합재 현장시험 (건설신기술 현장평가 실시)
(부)보령환경산업 부지 내 흙포장공사	2014.07.07	충남 보령시 남포면	토양 고결재(흙포장용) 현장시험
(주)영흥산업환경 내 주차장 조성	2015.01.24	충남 천안시 동남구	토양 고결재(흙포장 도로용) 현장시험

6. 인증

인증번호 (규격번호)	인증명	취득일	취득기관	관리기관
제 GT-13-00026 호	녹색기술 비소성무기결합재를 활용한 무(無)시멘트 온돌 미장용 모르타르 제조기술	2013.02.21	(주)씨엠디기술단	국토해양부
제 GT-14-00021 호	녹색기술 DCM용 지반고화재 제조기술	2014.02.07	(주)대웅	환경부
제 GTP-14-00021 호	녹색기술제품 DCM용 지반고화재	2014.02.07	(주)대웅	환경부

7. 사업화/제품화

사업화명	사업화내용	업체명	사업자 등록번호	매출액(천원)	매출발생년도
백색시멘트 대체용 결합재제조	백색시멘트 대체용 결합재판매	에코콘	107-12-37529	104,600	2013.08~
친환경 지반고화재제조	ZEB기반 지반고화재판매	(주)에이엠에스 엔지니어링	314-81-70118	417,600	2013.09~