

R&D / 18CTAP-C110254-03

베트남 고칼슘 비산회 재활용을 위한 친환경 연약지반 처리공법 개발 최종보고서

2019. 04. 30.

주관연구기관 / (주)세종이엔씨

공동연구기관 / CONINCO., JSC

위탁연구기관 / 우송대학교 산학협력단

국토교통부

국토교통과학기술진흥원

베트남 고칼슘 비산회 재활용을 위한 친환경 연약지반 처리공법 개발 최종보고서

2019

국토교통과학기술진흥원
국토교통부

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진 연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진 연구사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

제 출 문

국토교통부장관(국토교통과학기술진흥원장) 귀하

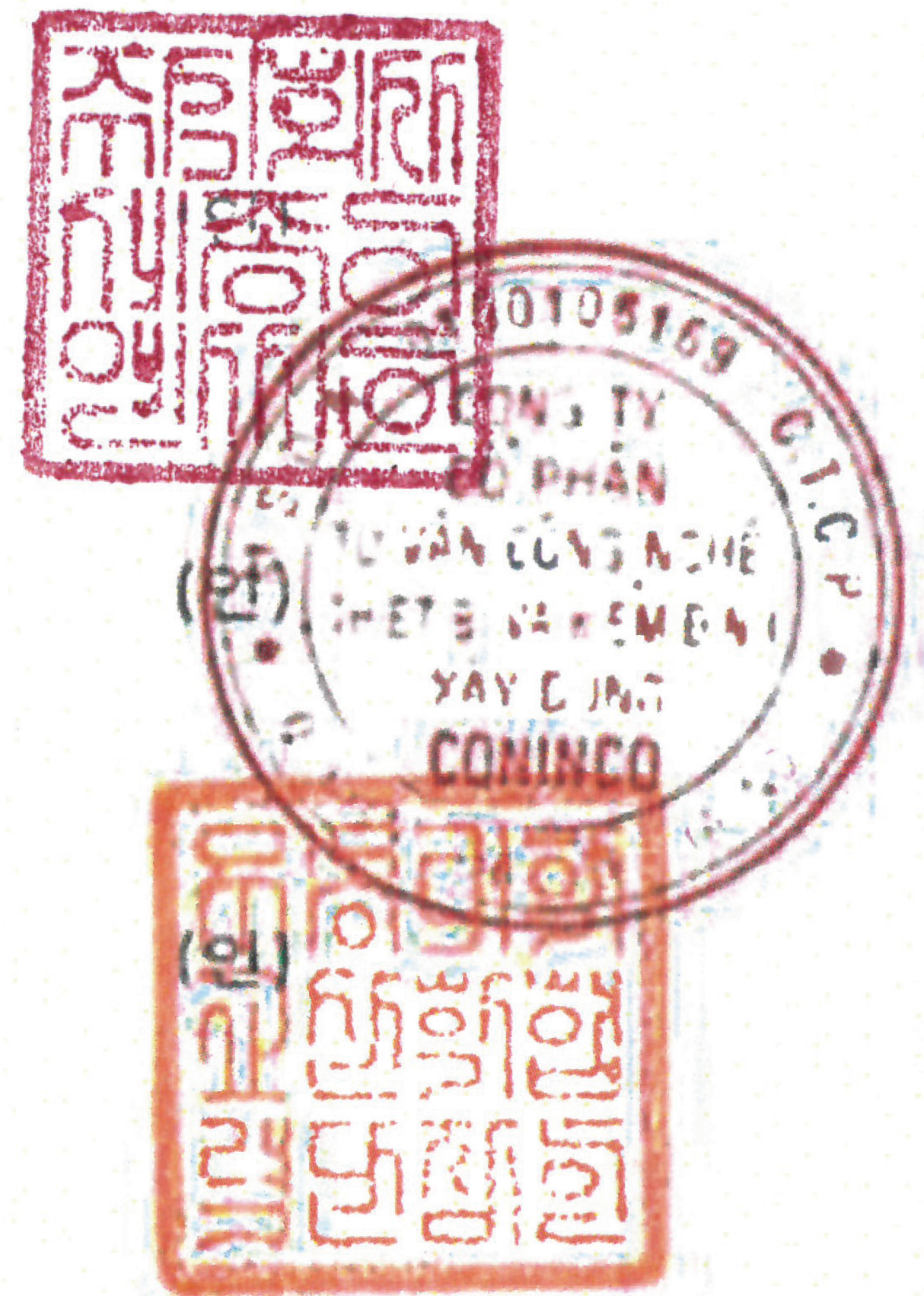
'베트남 고질습 비산회 재활용을 위한 친환경 연약지반 처리공법 개발'(연구개발 기간 : 2016.03.31 ~ 2019.01.30) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2019. 03. 06.

주관연구기관명 : (주) 세 종 이 엔 씨 (민 경 남)

공동연구기관명 : CONINCO., JSC (Ha Minh)

위탁연구기관명 : 우송대학교 산학협력단 (이 창 조)



주관연구기관책임자 : 민 경 남

공동연구기관책임자 : Ha Minh

위탁연구기관책임자 : 정 찬 목

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	18CTAP-C110254-03	해당 단계 연구 기간	2018.01.31. ~2019.01.30	단계구분	3단계 / 3단계
연구사업명	중사업명	국토교통기술촉진연구사업			
	세부사업명	글로벌기술협력분야			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	베트남 고갈습 비산회 재활용을 위한 친환경 연약지반 처리공법 개발			
연구책임자	민경남	해당단계 참여 연구원 수	총 : 9명 내부 : 9명 외부 : -명	해당단계 연구개발비	정부:222,000천원 기업:80,000천원 정부 외:15,000천원 계:317,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총 : 14명 내부 : 14명 외부 : -명	총 연구개발비	정부:6,00,000천원 기업:210,000천원 정부 외:45,000천원 계:855,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)세종이엔씨			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:베트남			상대국 연구기관명:CONINCO	
위탁연구	연구기관명:우송대학교 산학협력단			연구책임자:정찬묵	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 같음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	보안등급: 일반 사유: 보안과제 구분 사유 없음
-------------------------	-------------------------------

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설 · 장비	기술요약 정보	소프트 웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명 정보	생물 자원	정보	실물
등록·기 탁 번호	6	4									

국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황

구입기관	연구시설 · 장비명	규격 (모델명)	수량	구입연월일	구입가격 (천원)	구입처 (전화)	비고 (설치장소)	NTIS 등록번호

요약(연구개발성과를 중심으로 개조식으로 작성하되, 500자 이내로 작성합니다)	보고서 면수: 142
---	-------------

4. 국문 요약문

연구의 목적	• 기존 지반보강 및 개량에 사용되는 포틀랜드시멘트 사용을 최소화하고 순환유동층 보일러의 연료로 사용되는 페트로 코크스 및 저급탄의 연소공정에서 발생하는 고칼슘 비산회를 이용하여 비결정질 물질의 활성화 메커니즘을 이용한 결합재를 제조하여 연약지반 개량용 지반 고화재로 적용 • 화력발전 부산물로 전량 폐기물 처리되는 베트남 고칼슘 비산회를 현지 연약지반 개량공사에 적용할 수 있도록 배합비 및 시방기준을 정립하고 현지 연약지반 특성에 맞도록 고화재 투입속도 및 교반 회전율, 범위 등을 선택적으로 조절할 수 있는 연약지반 개량공법 개발				
연구의 내용	• 베트남 현지 동향 조사 • 베트남 고칼슘 비산회 특성 분석 • 베트남 고칼슘 비산회를 재활용한 고화재 개발 • 고화재의 배합비 산정 • 베트남 현지 시험시공을 통한 적용성 파악 • 개발 재료에 대한 국내·외 특허출원 • 개발 공법의 시방기준 정립 • 개발 공법에 대한 국내·외 특허출원 • 시제품 출시 및 현지 영업망 구축				
연구개발성과	• 베트남 고칼슘 비산회를 재활용한 고화재 • 개발된 고화재를 적용할 수 있는 연약지반 처리공법				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 지반안정화용 무기결합재는 고흡수성 및 내부발열을 유도하여 슬러지 고화 시 건조 및 양생공정을 단축시킬 수 있고 하수 및 준설, 음식물 슬러지 등 다양한 고함수 유·무기성 슬러지의 고화에 적용할 수 있음 • 그라우팅용 무기결합재는 시멘트 사용을 최소화함으로써 토양오염에 대한 우려가 없으며 고강도·고침투·고내구성 확보가 가능하여 지반조건 및 주입목적에 따라 그라우트 충전재료, 차수재료로 활용 가능 • 적용지반 조건에 따라 배합비 조절이 용이하고 토사와 반응성이 우수하므로 저강도에서 고강도까지 개량강도를 임의로 설정할 수 있기 때문에 표층고화처리, 뒷채움 재료, 지반고화재를 이용한 연약지반 혼합처리공법 등 다양한 분야에 적용 가능 • 일반 포틀랜드시멘트를 사용할 경우 Cr^{6+}의 용출로 인한 주변토양 및 지하수 오염 발생이 우려되는 바, 고화재로 고칼슘 비산회 무기결합재는 이러한 환경문제를 해결할 수 있는 시멘트 대체 재료로 활용 가능				
핵심어 (5개 이내)	고칼슘 비산회	자원 재활용	무기결합재	지반 고화재	연약지반 개량

5. 영문 요약문

< SUMMARY >

Purpose	- By using the high-calcium Fly ash generated in the combustion process of petro coke and low carbon which is used as the fuel of the circulating fluidized bed boiler without using the Portland cement used for the reinforcement and improvement of the existing ground, the binder using the activation mechanism of the amorphous material is manufactured It is applied as a ground fire for the improvement of soft ground - The formulation ratio and specification standards are established so that Vietnam high calcium Fly ash is treated as a by-product of thermal power generation and can be applied to the site improvement of the site. The high fire input rate, stirring turnover rate, Development of modifiable soft ground improvement method				
Contents	- Survey on local trends in Vietnam - Domestic and foreign patent applications for development materials - Characteristics analysis of high calcium Fly ash in Vietnam - Specification standard of development method - Development of high-fire recycled high-calcium Fly ash from Vietnam - Construction of Vietnam test - Domestic and foreign patent application for development method - Calculate compounding ratio of fire - Release prototypes and build local sales network - Equipment improvement through domestic test				
Results	- Recycled Vietnam high calcium Fly ash - Soft ground treatment method to apply developed fire				
Expected Contribution	- Inorganic binders for ground stabilization can induce super absorbency and internal heat to shorten the drying and curing process when solidifying sludge, and can be applied to solidification of various high functional organic and inorganic sludge such as sewage, dredging, and food sludge - Inorganic binder for grouting minimizes the use of cement, so there is no fear of soil pollution. It can be used as grout filling material and waterproofing material according to soil condition and injection purpose, because it can secure high strength, high penetration and high durability. - It is easy to adjust the mixing ratio according to the applied ground condition and it has excellent reactivity with the soil so that the improvement strength from low strength to high strength can be arbitrarily set. Therefore, it can be applied to various fields such as surface hardening treatment, backfill material, Applicable - When general Portland cement is used, it is feared that contamination of surrounding soil and groundwater may occur due to the elution of Cr6 +. As a result, high-calcium inorganic Fly ash can be used as a substitute for cement				
Keywords	High Calcium Fly ash	Recycling Resource	Inorganic Binder	Ground Solidification Agent	Soft Ground Improvement

〈 목 차 〉

제1장 연구개발과제의 개요	7
1. 연구개발의 필요성	7
가. 연구개발과제의 설명	7
나. 연구개발의 중요성	8
다. 국제협력 필요성	15
2. 연구개발 목표 및 내용	18
가. 연구개발 최종목표	18
나. 연차별 연구목표 및 내용	23
다. 연구개발 핵심성과	23
3. 연구성과별 세부추진내용	26
가. 연구개발 흐름도	26
나. 연구개발 단계에 따른 세부연구내용	27
제2장 국내외 기술 개발 현황	28
1. 연구개발 동향 분석	28
가. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과	28
나. 국내외 관련 기술 특허 동향	31
다. 국내외 시장분석 및 산업동향	35
제3장 연구 수행 내용 및 성과	42
1. 연구수행 내용	42
가. 베트남 현지 동향조사	43
나. 베트남 고칼슘 비산회 특성 분석	68
다. 1차 실험	73
라. 2차 실험	89
마. 3차 실험	103
바. 고화재의 내화학적 및 환경성 평가	114
사. 종합 분석	121
제4장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	104
1. 목표 달성도	123
가. 국내외 논문 게재	125
나. 국내 및 국제학술회의 발표	125
다. 지식재산권	126
라. 산업기술 인력양성	127
마. 기술거래(이전) 등	127

제5장 연구개발성과의 활용 계획	128
1. 기술수요처	128
2. 수요처 별 개발기술 적용방안	129
가. 전력공사 및 발전소	129
나. 교통부 및 건설부	129
다. 건설사, 설계사 및 시멘트사	129
3. 제품 및 기술의 상용화	130
제6장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	141
제7장 연구개발성과의 보안등급	143
제8장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	143
제9장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	144
1. 연구실 안전조치 이행계획	144
2. 연구실 안전조치 이행 실적	145
제10장 연구개발과제의 대표적 연구 실적	146
붙임. 참고 문헌	147

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발의 필요성

가. 연구개발과제의 설명

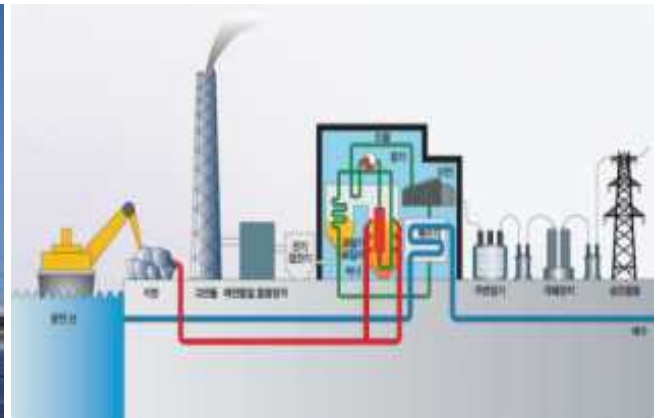
- 화력발전 연료로 사용되는 미분탄의 10~20%는 회분으로 이는 석탄의 연소과정에서 석탄 회(Coal Ash)로 발생되며 석탄회 중 약 20~30%는 고온의 연소열에 의해 용융·응결되어 보일러의 하부로 배출되고 약 70~80%는 각 입자별로 연소되어 연소가스 흐름에 따라 비산하며 비산된 석탄회는 전기집진기에서 대부분 포집
- 따라서 석탄회는 보일러의 하부로 배출되는 바닥재(저회)와 전기집진기에서 포집되어 배출되는 비산재(비산회)로 분류 가능
- 유동층 보일러는 원료의 직접연소가 아닌 보일러 내 유동층에서의 간접연소에 의해 발전하는 원리로서 저열량탄 및 바이오매스 등 다양한 원료를 연료로서 활용 가능하며, 저온 연소방식으로 인해 질소산화물 발생이 적으며, 탈황설비를 통해 황산화물 발생억제가 가능한 친환경 설비
- 국내에서는 주로 도심지 인근의 열병합발전소에서 유동층 보일러를 사용하여 주변 전력, 온수 공급과 더불어 가연성 폐기물의 처리, 베트남의 경우 저품위 미연탄 사용 등의 목적을 포함하여 설비가 유동층 보일러 활용 발전소가 증가하는 추세
- 베트남 정부는 북부지대에 풍부한 저급 무연탄을 활용하고 전체 발전용량 중 화력발전이 차지하는 비중을 70% 이상으로 확대하기 위해 2020년까지 총 29기의 유동층 방식 석탄 화력발전소 추가 건설 예정
- 그러나 유동층 보일러에서 발생하는 고칼슘 비산회는 저온 연소되어 미연탄소의 함유량이 7% 이상으로 기존 PC(Pulverized Coal Combustion) 보일러에서 발생하는 비산회와 같이 콘크리트 제조 시 재활용되지 못하고 전량 폐기처분 중
- 국내의 경우 최근 연구를 통하여 이러한 순환자원을 재활용 할 수 있는 기술이 개발되어 현재 상용화 단계에 들어서고 있으나 베트남에서는 비산회에 대한 별도의 규정도 마련되어 있지 않아 일반 비산회의 재활용은 ASTM 기준을 준용하고 있는 실정이며 고칼슘 비산회 활용 기준 정립 미비
- 따라서, 베트남에서는 이 분야에 대한 경험과 전문성 부족으로 국내 기술의 도입과 적용이 절실
- 본 연구에서는 베트남 지역에서 발생하는 고칼슘 비산회의 성분을 분석하여 이를 재활용할 수 있는 기술을 개발하고, 재활용된 고칼슘 비산회를 이용하여 베트남 연약지반에 적용할 수 있도록 친환경 연약지반 개량공법을 개발하고자 함

나. 연구개발의 중요성

1) 연구개발 환경

(1) 화력발전 현황

- 화력발전이란 석탄, 석유, 천연가스 등의 연료를 연소시켜 보일러 내의 물을 가열하고 이 때 발생하는 고온·고압의 증기를 이용하여 터빈을 고속으로 회전시켜 전기에너지를 발생시키는 발전 형태

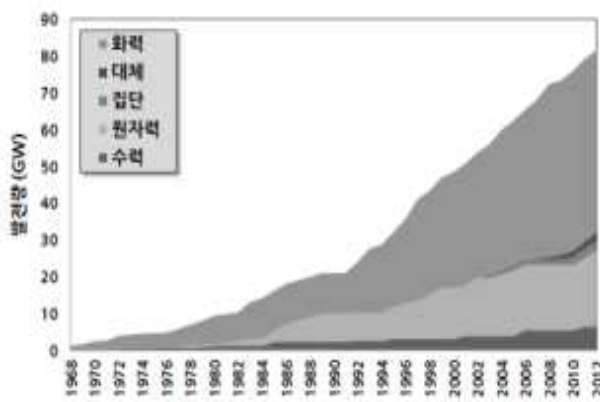


1) 화력발전 설비

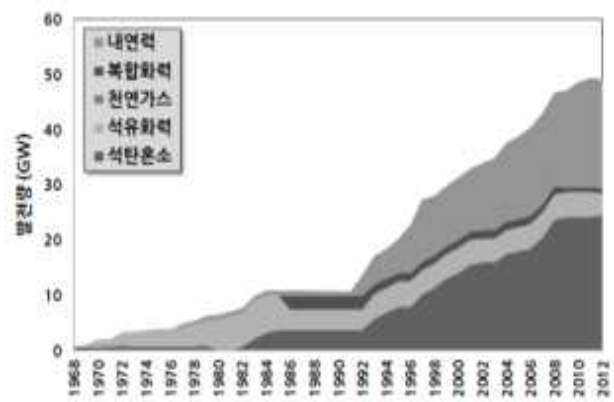
2) 화력발전 개요도

그림 1.1 화력발전 설비 및 개요도

- 화력발전은 발전소를 건설하는 비용이 저렴하고 대규모 강 또는 댐 건설이 수반되는 수력 발전 및 냉각수 문제로 주로 해안가에 건설되는 원자력 발전에 비하여 지형적 제약이 적기 때문에 대부분의 국가에서 기저발전으로 하여 값싼 에너지를 안정적으로 국민들에게 공급
- 특히 화력발전 중에서도 석탄 화력의 연료비용이 액화 천연가스의 50%, 석유화력의 25%로 저렴하여 화력발전 가운데서 가장 경쟁력이 높은 것으로 평가(SMBC 日興証券의 塩田 英俊 수석 애널리스트).



1) 발전설비별 발전량 추이



2) 화력발전 연료별 발전량 추이

그림 1.2 화력발전 점유율 및 연료 가격(에너지경제연구원, 2015)

- 현재 국제적으로 베트남, 인도 등 동남아시아 국가의 경제개발이 급속히 진행되면서 각국의 전력수요는 꾸준히 증가하고 있으며 대부분의 국가들이 원자력발전과 석탄 화력발전을 기저발전으로 부족한 전력에 대한 대책 수급 중
- 하지만, 후쿠시마 원전사고로 인해 원자력 발전 증설계획은 보류 혹은 무산된 상태이며 대규모 사고를 방지할 수 있고, 안정적으로 전력을 수급할 수 있는 화력발전소 건설계획이 증가 추세
- 특히 화력발전 중에서도 천연가스나 석유에 비해 경제성이 높은 석탄 화력발전 계획이 지속적으로 증가
- 실제로 국제 에너지기구(IEA)의 전망에 따르면 2030년의 세계 석탄 수요는 6,981Mtce로 2007년 대비 52%(2,400Mtce)가 증가할 것으로 전망
- 또한 국내에서는 민간기업의 석탄 화력발전소 참여를 확대하여 안정적인 전력 공급망 구축의 계획을 추진하고 있으며 일본의 경우 2016년 전력 소매 전면 자유화 이후를 대비하여 대형 석탄화력 발전소의 건설 계획이 잇따르는 추세

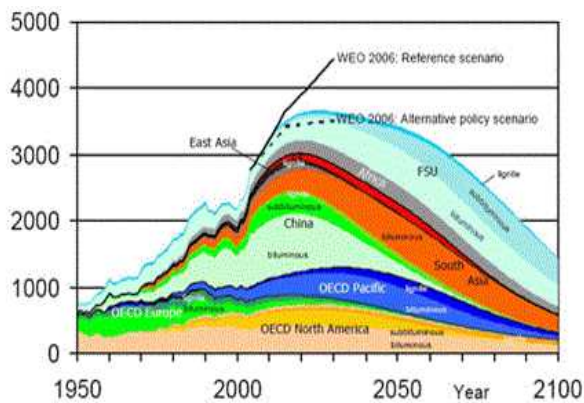
표 1.1 세계 석탄수요 예상(IEA Word Energy Outlook)

(단위 : Mtce)

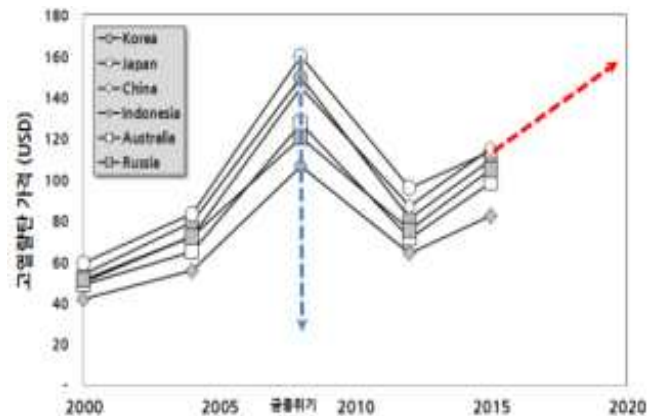
구 분		2000년	2007년	2015년	2030년
OECD	북미	55	56	59	58
	미국	777	792	784	830
	유럽	467	482	420	378
	태평양 연안국	127	161	170	171
	일본	137	164	155	139
	계	1,563	1,655	1,588	1,576
비 OECD	동유럽/유라시아	134	155	140	146
	러시아	158	146	166	227
	아시아	74	94	109	173
	중국	899	1,847	2,633	3,424
	인도	235	346	436	837
	아세안	42	109	173	314
	중동	12	14	16	32
	아프리카	129	151	158	182
	라틴아메리카	29	32	49	70
	계	1,712	2,894	3,880	5,405
총계		3,275	4,549	5,468	6,981

(2) 석탄 화력발전의 문제점

- 석탄 수요의 증가로 인하여 발전연료 석탄시장에서의 고열량탄은 오랜 개발과 채굴량 증가로 매장량이 크게 줄어들고 있어 국가 간, 발전회사 간 자원 확보 경쟁이 갈수록 심화되는 추세.
- 특히 중국, 인도 등의 석탄발전 시장의 급격한 확대는 세계 석탄연료 시장에서의 고열량탄 고갈을 촉진할 것이며, 이에 따른 석탄 가격의 급상승으로 고열량탄의 수급여건은 갈수록 악화될 것으로 예상



1) 세계 석탄 생산량 전망(IEA)



2) 고열량탄 가격 추이

그림 1.3 석탄 생산량 및 고열량탄 가격 추이

- 또한, 2000년대 들어 국제 사회의 화두는 화석연료 과다 사용에 따른 CO₂의 축적이 지구온난화의 가장 큰 주범이라는 것을 인식하고 화석연료 사용을 낮추기 위한 노력의 일환으로 교토의정서 채택 등 환경정책을 점차 강화하고 있으며, 에너지 환경정책 관련 환경 규제 법규는 국내외 에너지원의 소비 형태와 그 효율 관리에 큰 변화 생성
- 이러한 변화는 국내 발전업계에서 사용되는 주요 화석에너지인 석탄의 효율적, 환경적 그리고 경제적 사용에도 큰 영향을 미치고 있다. 특히 발전산업에서 석탄사용량 증가에 따른 CO₂ 배출문제는 신재생에너지 공급(RPS) 의무화에 기반을 둔 감축 정책이 2012년부터 시행됨에 따라 발전소에서는 의무적으로 바이오매스 및 폐기물 에너지와 같은 신재생 연료를 통한 CO₂ 저감이 요구
- 이러한 문제점들을 해결하고자 현재 발전사들은 저렴하고 다양한 연료의 사용이 가능하고 환경적 측면에서 우수하여 신재생에너지공급(RPS) 의무화 제도에 크게 기여할 수 있는 유동층 연소기술에 연구를 수행하고 있으며, 이를 통한 연료 다변화로 경제적, 친환경적인 연소기술력 확보에 노력

(3) 순환유동층 보일러 (Circulation Fluidized Bed Combustion)

- 순환유동층 보일러는 공기와 석회를 동시에 주입시켜 순환 연소시킴으로써 질소 산화물, 황산화물 등 오염물질 배출을 크게 줄이는 친환경 발전설비
- 순환유동층 보일러의 장점으로서는 아역청탄, 갈탄을 포함한 목재는 물론, 저열량, 고회분 석탄까지 다양한 연료를 연소할 수 있으며, 약 850℃로 낮은 온도에서 연소되기 때문에 질소산화물 발생이 억제되어 별도의 탈질설비 없이도 법적 규제기준치 만족 가능
- 순환유동층 보일러 사용초기에는 주로 산업용이나 열병합용으로 이용되다가 최근에는 발전전용으로 사용범위가 넓어짐에 따라 전력 발전의 단위용량도 급격히 증가
- 그러나 유동층 보일러에서 발생하는 고칼슘 비산회는 화학적 특성이 일반적인 화력발전소의 연소방식에서 발생하는 비산회와 완전히 상이한 조성을 보이며, 탈황을 위한 석회석의 혼소 등이 원인이 되어 특징적으로 CaO 함량이 높은 상태로 배출
- 국내에서는 비산회의 품질표준(KS L 5405)이 제정되어 CaO 함량이 7% 미만인 비산회는 콘크리트 및 시멘트 혼화재로서 재활용되고 있으나, 연간 약 100만톤 이상이 배출되고 있는 고칼슘 비산회의 경우 높은 CaO 함량과 큰 팽창성으로 인해 혼화재로서의 용도에 부적합하기 때문에 전량 폐기되고 있다. 따라서 이를 재활용하여 다양한 산업분야에 활용하기 위한 연구가 활발히 진행

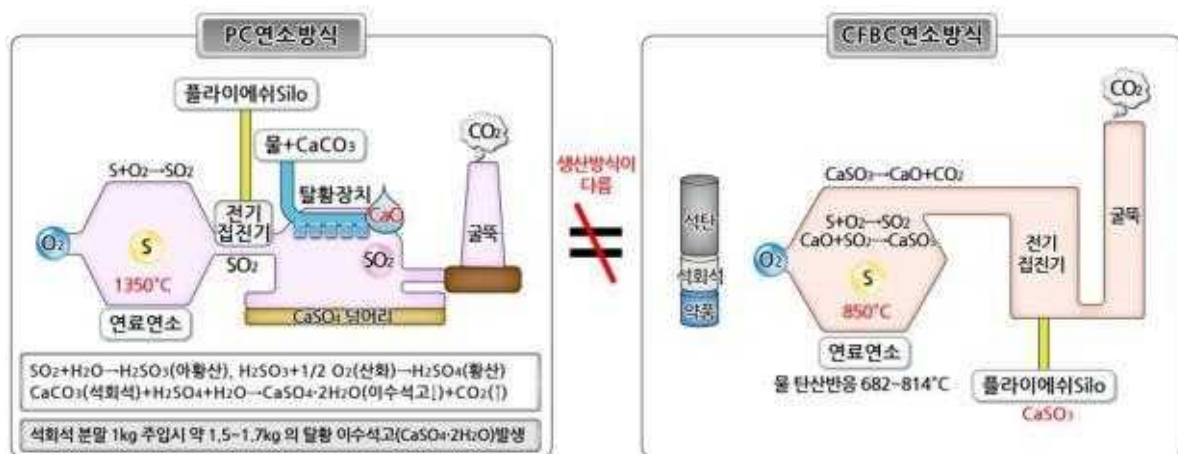


그림 1.4 PC 연소방식과 CFBC 연소방식의 차이점

2) 기존기술의 문제점

(1) 일반 비산회와 고칼슘 비산회의 차이점

- 기존에 미분탄 발전소에서 발생하는 비산회와 순환유동층 발전소에서 발생하는 비산회는 사용원료나 공정 등에 의해 그 차이가 발생하며 표 1.2에 정리

표 1.2 일반 비산회와 고칼슘 비산회의 차이점

항 목	일반 비산회	고칼슘 비산회
연소온도	약 1,350 °C	약 850 °C
탈황설비	별도 습식 탈황설비 구비	석회석 혼소로 탈황반응
탈질설비	별도 탈질설비 구비	낮은 연소온도 유지 및 암모니아 분무
사용원료	유연탄 및 무연탄	저품위 탄을 포함한 석탄, 바이오매스 등
화학성분	$\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$	석회석 혼소로 인해 CaO성분이 높음
유리화 정도	높음	낮음
재활용 용도	시멘트 및 콘크리트 혼화재 채움재 등	점토 대체용 시멘트 원료 대부분 폐기물처리장 매립
특 징	• 포졸란 활성으로 장기강도 증진 • 작업성 개선 • 단위수량 감소로 강도·내구성 향상 • 수화열감소로 구조물 크랙 방지	• Free CaO 발열반응 • 작업성 하락 • 단위수량 증가로 강도·내구성 감소 • 수화열 증가로 구조물 크랙 발생

- 고칼슘 비산회의 높은 CaO 함량은 석고(CaSO_4) 및 Free-CaO등으로 존재하며, 기존 일반 비산회의 재활용 용도인 시멘트 및 콘크리트 혼화재로 사용하는 경우, 발열반응으로 인한 수화열과 팽창성이 높기 때문에 같은 용도로 재활용하기 어려워 전량 폐기물로 매립되고 있어, 환경비용 증가와 매립에 의한 2차오염에 대한 문제까지 내포
- 그러나 고칼슘 비산회는 Free CaO는 물과 반응 시 많은 양의 물을 흡수하고 부피 팽창을 하기 때문에 고함수 상태의 준설토 및 해성점성토 등의 연약지반 고화처리에는 매우 효율적인 특징을 가지고 있어 구조물이 아닌 연약지반 처리 시 고화재로서의 활용성이 높음
- 본 연구에서는 베트남 고칼슘 비산회의 Free CaO 성분에 의한 발열 및 흡수 성능을 이용하여 기존 시멘트 및 생석회를 전혀 사용하지 않고, 고함수 상태의 연약지반을 빠르게 탈수 및 고화시킬 수 있는 연약지반용 고화재를 개발하여 연약지반 처리 시 효율성을 높일 수 있는 연약지반 개량공법을 개발하고자 함

(2) 기존 시멘트계 고화재의 문제점

- 일반 포트랜드시멘트(이하 OPC)를 지반재료로 사용 시 경화과정에서 토질의 영향을 많이 받으며, 특히 점토분이 많은 토질의 경우 시멘트의 응결 지연현상이 발생하므로 이를 해결하기 위해 혼화제가 사용
- 더욱이 OPC와 함께 사용되는 벤토나이트 현탁액은 콘크리트 중의 Ca^{2+} 이온을 흡착하기도 하고 염분이 포함되어 있는 경우에는 Na^+ 이온을 흡착하여 응집반응을 일으켜서 안정액으로써의 성질이 저하

- 시멘트계 고화재 사용 시 문제점을 정리하면,

가) 토양중 유기물 함량으로 인한 시멘트의 수화반응성 저하
 나) 강도확보를 위한 고화재 사용량 증가로 시멘트이 증가하여 건조수축 발생
 다) 시멘트의 성능을 개선하기 위한 성분조정 및 첨가제 사용으로 경제성 감소
 라) 이토의 처리 시 폐기물처리 방법 및 폐기물의 성상 분류가 모호
 마) 중금속 특히 Cr^{6+} 용출에 의한 주변토양 및 지하수 오염 문제 발생

- OPC를 기반재료로 사용할 경우 주변 토양 및 지하수의 2차 오염 문제가 발생하고 있으며, 특히 지중에 시멘트를 사용한 경우 발암물질인 Cr^{6+} 의 용출이 확인됨에 따라 일본 등 일부 선진국에서는 시멘트 및 시멘트계 고화재를 기반개량에 사용하는 경우 배합설계의 변경 또는 공법의 변경을 요구하는 규정을 시행
- 현재 국내에서 시공되고 있는 기반재료용 결합재는 시멘트에 물을 시멘트 중량의 80~200% 혼합한 시멘트 밀크액을 주입하여 시공
- 밀크액의 배합은 현장의 지질 조건 및 배합토 품질 그리고 사용 목적에 부합되는 요구 성능에 상관없이 각 사업체의 특수 및 전문 시방서에 제시된 배합비율을 일률적으로 적용하고 있어 시멘트계 결합재 사용에 따른 문제점이 더욱 크게 부각되고 있고, 시멘트 과다 투입으로 인한 환경 부하를 유발

3) 연구개발의 필요성

(1) 기술적 측면

- 현재 베트남은 석탄회에 대한 별도의 규정이 없어 일반 석탄회의 재활용은 ASTM기준을 준용하고 있으며 고칼슘 비산회에 대해서는 관리기준 미정립
- 2014년 9월23일 고시된 베트남 부총리 Hoang Trung Hai의 지침(No.1696/QD-TTg)은 2020년 까지 비산회에 대한 기준과 규정을 제정하고 재활용 및 처리시설 설치에 대한 로드맵이 제시
- 기술표준 제정과 석탄회의 재활용률을 높이는 것이 지침의 핵심으로, 석탄회 처리에 대한 장치와 설비를 구축하고 운전과 운영까지 숙달하여 새로운 시장 창출을 유도하고 있다. 무엇보다 화력발전소의 저장소에는 Ash를 2년만 보관하도록 하여 재활용 처리를 강제하고 있으며, 매립 시에는 수용용량과 환경기준을 보다 엄격하게 적용하는 것으로 계획
- 국내에서는 비산회의 품질표준(KS L 5405)을 관리기준으로 적용하여 고칼슘 비산회의 재활용에 대한 연구가 활발히 진행되어 제품화 또는 사업화 단계 이름
- 또한 본 기술의 개발 및 현지화는 베트남 건설시장에 원가절감을 통한 경제성 향상 효과를 가져다 줄 수 있고, 고품질의 기반개량공법을 제공해 연약지반처리의 활성화 촉진가능

(2) 사회적 측면

- 현재 한국 드라마나 K-POP 등의 한류열풍이 베트남에 확산되면서 한국과 한국기술에 대한 인지도도 동반 상승하여, 한국어를 제2외국어로 채택하는 방안도 추진 중 (베트남 외국 투자청, 2016).
- 한·베트남 FTA 체결로 양국 간 경제협력이 더욱 견고해질 전망이 우세하며 정부에서도 2020년까지 700억달러 규모로 교역규모를 확대해 나가기 위해 다양한 지원을 계획
- 따라서 베트남에서 폐기물로 분류되어 매립처리 되고 있는 고칼슘 비산회를 활용할 수 있는 무기결합재를 개발하고 현지 생산체제를 구축한다면 베트남에서 큰 환경 이슈에 대한 해결방안이 되어 사회적 측면에 크게 일조할 것으로 기대

(3) 경제적 측면

- 화력발전소의 증가에 따라 그 부산물인 비산회에 대한 폐기물 처리문제가 심각하게 대두 되고 있는 시점에서 자원 재활용을 통하여 베트남 내 매립장 조성 및 폐기물 처리비에 대한 절감효과를 기대할 수 있을 것으로 판단
- 최근 베트남에서는 전략적인 투자가 하노이 북부 연약지반 지역에 집중되고 있으며, 항만, 산업단지, 도로 등의 인프라 건설이 활발하게 진행되고 있다. 이러한 부분에 순환자원을 활용한 연약지반 처리공법을 적용한다면 환경문제 해결과 더불어 공사원가 절감효과까지 기대할 수 있을 것으로 전망
- 본 연구는 순환자원의 재활용 및 비용절감과 공기단축으로 베트남시장을 개척하고, 베트남 을 거점으로 라오스, 캄보디아, 미얀마 등 인접 개발도상국으로 진출하여 현재 침체국면인 국내 건설경기를 극복하고 동남아시아에 대한 산업경쟁력 강화와 더불어 국가위상 제고에 크게 기여할 것으로 판단

(4) 정부 지원의 필요성

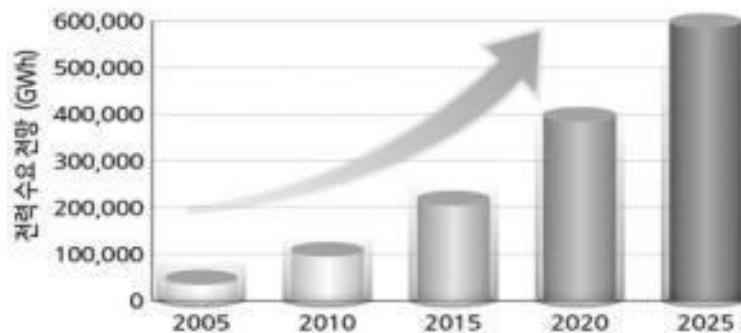
- 베트남 정부는 현재 환경문제의 심각성을 인식하고 일본국제협력단(JICA)과 공동으로 ‘베트남 고체폐기물 통합 관리’ 세미나(‘15. 08)를 개최함으로써 베트남 고체폐기물 처리 현황 · 기술 · 계획 등에 대하여 집중적으로 논의
- 2014년 10월 2일 한국과 베트남 정상회담에서도 총 81억달러 규모의 3개 석탄화력 발전소(응이손2, 롱푸3, 남딘) 건설사업에 대해 금융협력 양해각서를 체결하였으며 25억달러 규모의 롱안 석탄화력 발전소에 대한 정부 간 협조도 확인
- 또한 하노이 건설국은 “2015년 지향, 2030년까지 고체폐기물 처리 계획” 발표식을 개최함으로써 폐기물 수거 및 재활용율을 70%~80%로 향상시키는 것을 목표로 약 11조동(한화 5,291억원) 투자 계획(베트남 자연환경신문, 2015).

- 따라서, 고칼슘 비산회 처리에 대한 기준정립과 활용방안에 대하여 국제공동연구를 통한 한국 정부차원의 지원이 시급한 실정으로, 화력발전 부산물 처리의 경우 정부의 정책적 지원과 관심이 필요한 사항이고 경쟁이 치열한 베트남의 대형 국책사업에 우리 기업이 진출하는 교두보를 마련할 수 있도록 국가적 차원의 협력 필요
- 한국은 일본과 더불어 베트남 내 투자규모가 가장 큰 국가로 본 사업과 관련된 업체의 경우 성신양회, 실크로드시앤티 등의 한국 기업이 이미 진출해있어 시너지효과가 클 것으로 기대

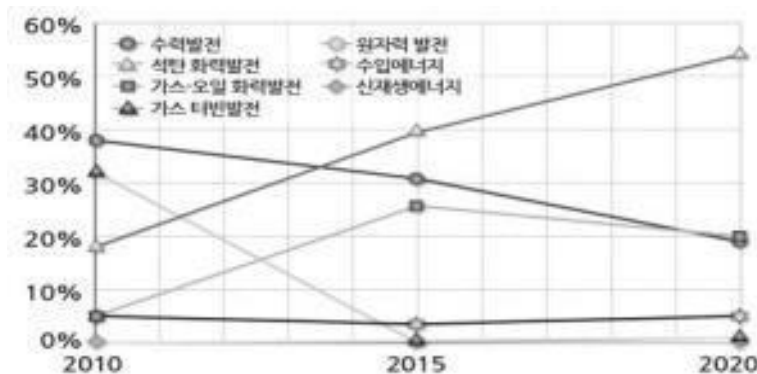
다. 국제협력 필요성

1) 베트남 화력발전 현황

- 베트남 통상산업부(MOIT)에서 예측한 2025년까지 베트남 전력수요 전망에 의하면 2025년에는 총 600,000GWh의 전력수요가 발생할 것으로 전망하였으며, 베트남전력공사(EVN)에서는 2020년까지 석탄 화력발전소의 발전 비중을 54% 까지 확대할 계획으로 BOT 프로젝트는 물론 ODA 자금까지 도입해 화력발전소 건설을 추진 중



1) 베트남 전력수요 전망



2) 유형별 전력발전 계획

그림 1.5 베트남 발전 전망(베트남 전력공사(EVN), 베트남 통상산업부(MOIT))

- 현재 베트남 정부는 북부지대에 풍부한 저급 무연탄을 활용하고 전체 발전용량 중 화력발전이 차지하는 비중을 70% 이상으로 확대하기 위해 2020년 까지 총 29기의 순환유동층 방식 석탄 화력발전소를 추가 건설 예정

2) 베트남 고칼슘 비산회

- 베트남에서 고칼슘 비산회는 2010년부터 생산되기 시작했으며 화력발전소의 건설 추세로 미루어 볼 때 베트남 화력발전소에서 발생하는 고칼슘 비산회의 양은 2020년 까지 연간 190만톤 까지 증가할 것으로 예측되어 이에 대한 처리대책 및 재활용 방안에 대한 연구가 시급

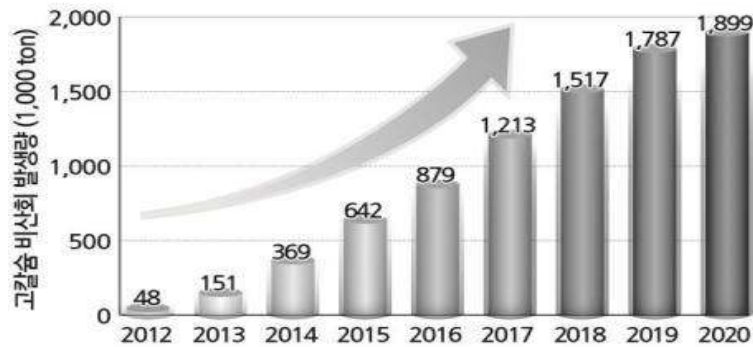


그림 1.6 베트남 고칼슘 비산회 발생량 추이

3) 베트남 개발계획 및 정책변화

- 최근 베트남에서는 전략적인 투자가 하노이 북부지역에 밀집되어 있으며 항만, 산업단지, 도로 등의 인프라 건설로 연약지반처리 수요가 증가 추세
- 화력발전소는 연약지반이 분포한 북부해안지대에 밀집되어 무연탄의 수급이 용이하고 비산회의 운송거리 측면에서도 매우 유리
- 또한, 베트남에는 총 21곳의 제철소가 운영되고 있으며 제철소의 위치가 화력발전소와 인접해 있어 제철소에서 발생하는 슬래그의 활용이 용이
- 베트남은 우리의 제 3위 수출대상국이자 한국은 베트남 최대 투자국가이다. 2014년 12월 한국-베트남 FTA 체결을 계기로 건설, 도시계획, 엔지니어링, 장비임대 등 베트남 건설시장 진출에 유리한 조건이 형성

표 1.3 한 · 베트남 교역 현황(2013년 기준)

구 분	금 액	비 고
교 역 규 모	282억 6,000달러	
수 출 액	210억 9,000달러	전년대비 32.2% 증가
수 입 액	71억 8,000달러	전년대비 25.5% 증가
주요수출품목	반도체, 무선통신기기, 건설, 합성수지 등	
주요수입품목	의류, 신발, 목재류 등	

[출처 : 산업통상자원부]



1) 베트남 전도



2) 하노이 지역



3) 호치민 지역

그림 1.7 베트남 발전소 및 제철소 현황

- 2013년 한국의 대 베트남 수출을 성질별로 분석하면 한국의 원자재 및 자본재가 약 90% 이상으로 한국의 수출은 베트남 현지생산을 위한 부품 및 원자재와 설비중심으로 글로벌 공급 망(Global Supply Chain)이 형성
- “2020년 국가수송개발전략”과 “2011년~2020년 베트남 도시개발계획”에서 수행되는 도로, 철도 등 국가 인프라 건설과 도시화 추진에 따라, 하노이와 호치민 인근에 넓게 분포하고 있는 연약지반처리 기술수요가 대폭 증가할 전망
- 베트남 화력발전소 건설에 따른 비산회의 건설 분야 활용기술은 성장성이 갈수록 커지고 있어, 국내 건설업체의 해외진출을 위한 새로운 기회가 될 것이다. 따라서 초기 시장선점을 위해 국제공동연구는 반드시 필요

2. 연구개발 목표 및 내용

가. 연구개발 최종목표

1) 연구개발 최종목표

- 국내 화력발전소 및 열병합 발전소에서 연간 100만톤 이상 배출되고 있는 고칼슘 비산회는 성분의 팽창특성 때문에 콘크리트 분야에서의 활용이 거의 이루어 지지 않아 폐기처분 되어왔으며, 최근에 이것을 재활용 할 수 있는 기술이 연구되어 현재 국내에서는 제품화 단계 진행
- 베트남에서도 고칼슘 비산회 처리에 대한 다각적인 기초연구가 진행되고 있으며 베트남전 력공사(EVN) 또한 이에 대한 심각성을 인식하고 고칼슘 비산회 처리와 활용기술에 대한 용역을 추진
- 본 연구에서는 베트남 화력발전소에서 발생하는 고칼슘 비산회의 성분을 분석하여 이를 재활용 할 수 있는 기술을 개발하고, 재활용된 고칼슘 비산회를 이용하여 베트남 연약지반에 적용할 수 있도록 친환경 연약지반 개량공법을 개발하고자 함
- 또한 베트남 현지 국영 컨설팅업체인 CONINCO., JSC와의 공동연구를 통하여 개발된 공법의 현지화 및 생산 공장 설립 등 다양한 사업화 전략으로 현지시장에 대한 진출계획을 수립하고자 함

(1) 고칼슘 비산회를 이용한 친환경 고화재 개발

- 본 연구에서는 지반 보강 및 개량에 사용되는 포틀랜드시멘트를 사용하지 않고 순환유동층 보일러의 연료로 사용하는 페트로 코크스 연소공정에서 발생하는 고칼슘 비산회를 이용하여 비결정질 물질의 활성화 메커니즘을 이용한 결합재를 제조하여 이를 연약지반 개량용 지반 고화재로 적용하고자 함
- 고칼슘 비산회는 비결정질 물질로 시멘트와 달리 자체적으로 물과 수화되지 않지만 수산화물 또는 황산염과 같은 자극제 첨가에 의해 비결정질 입자의 불규칙적 3차원쇄상결합이 절단되면서 망상구조체 내부에 함유된 Ca^{+2} , Mg^{+2} , Al^{+3} 등의 수화이온들이 용출되어 시멘트와 같은 경화특성 보유
- 이러한 재료적 특성에 착안하여 고칼슘 비산회를 결합재 및 자극제로 이용하여, 시멘트의 사용을 완전히 배제하고 고온의 소성과정 없이 상온에서 제조가 가능한 무기결합재를 개발하고자 함

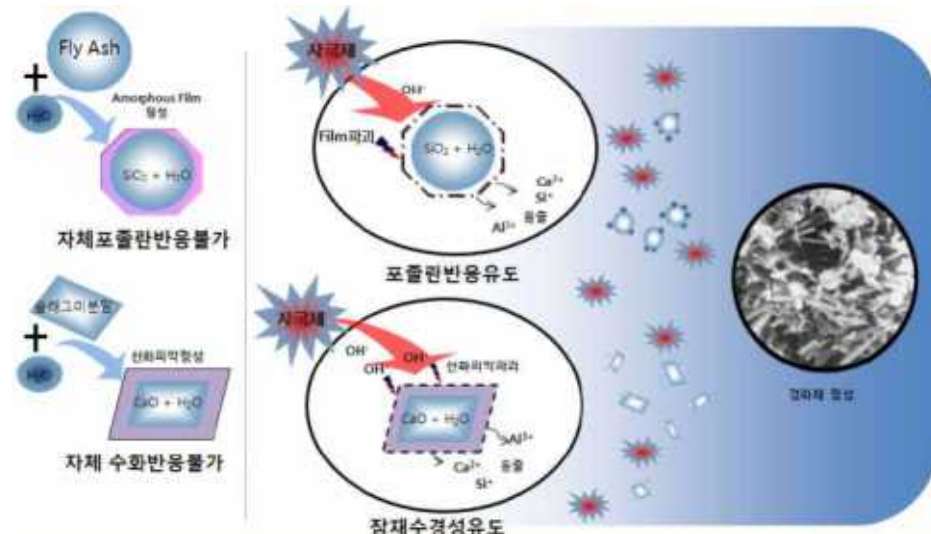


그림 1.8 비결정질 물질의 활성화 메커니즘

(2) 친환경 연약지반 개량공법 개발

- 심층혼합처리에 의한 연약지반 개량공법은 1976년부터 일본 운수성 항만 기술연구소에서 개발연구가 시작되었고, 1970년대 이후부터 석회석, 시멘트 등의 고화재를 이용한 공법이 실용화되어 현재 국내에서 연약지반을 개량하기 위한 공법으로 널리 사용
- 본 연구는 전량 폐기 처리되는 베트남 고칼슘 비산회를 현지 연약지반 개량공사에 적용할 수 있도록 배합비 및 시방기준을 정립하고 현지 연약지반 특성에 맞도록 고화재 투입속도 및 교반 회전율, 범위 등을 선택적으로 조절할 수 있는 연약지반 개량공법 개발 목표



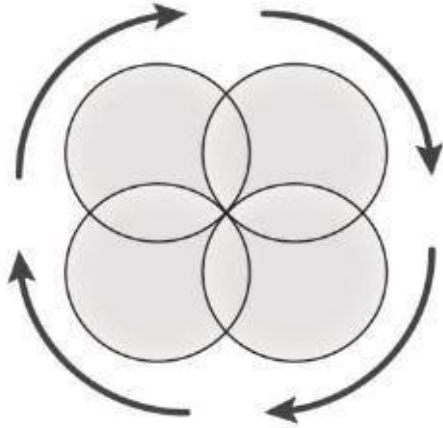
1) 육상 연약지반 개량공법



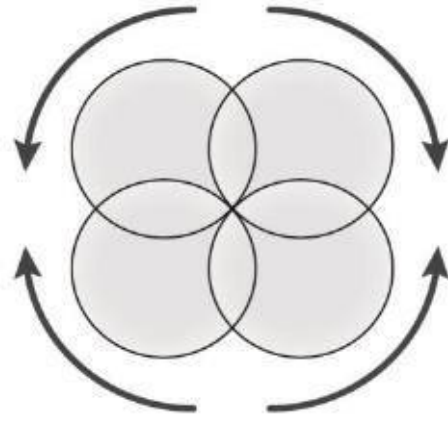
2) 해상 연약지반 개량공법

그림 1.9 연약지반 개량공법

- 심층혼합처리공법 시공 시, 한 방향으로만 회전하면서 시공이 이루어짐에 따라 원심력에 의해 개량체가 시공 측량점을 기준으로 한쪽으로 쏠리는 현상이 특정 상황에서 발생 가능
- 이에 본 연구에서는 기계적인 원리에 의해 상부와 하부기어의 회전방향을 조절하여 4축 교반체의 교반로드를 서로 반대방향으로 회전하게 함으로써 원심력에 의한 쏠림현상을 방지하는 기술을 개발 목표



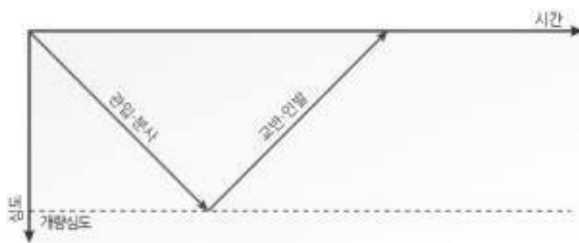
1) 기존 기술



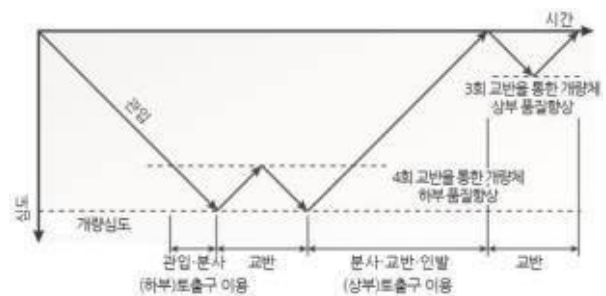
2) 개발 기술

그림 1.10 효율적 교반로드 회전시스템 개발

- 기존 기술은 토출구 위치가 하부에만 위치함으로 인해 관입 시 교반이 이루어지는 경우에는 품질관리에는 문제가 없으나, 시공성과 안전성 측면에서 불리한 면 존재
- 또한, 고심도와 견고한 지반 시공 시 안전을 고려하여 인발을 하면서 분사·교반을 하는 경우에는 교반이 제대로 이루어지지 않아 교반효율이 저하되는 것으로 조사
- 본 연구에서는 상부와 하부에 분사구를 설치하여 지반상태 및 시공조건에 따라 분사위치를 조절함으로써 개량체의 품질확보와 시공 중 안전성을 높이고 교반효율이 우수한 공법을 개발하고자 함



1) 기존 기술



2) 개발 기술

그림 1.11 분사위치 조절 시스템 개발

2) 최종목표의 성격 및 설정근거

(1) 최종 목표의 성격

표 1.4 최종목표의 성격

목 표	성 격
고칼슘 비산회를 재활용한 고화재	제품개발
개발 고화재를 적용한 연약지반 처리공법	공법개발

(2) 연구기간별 목표

표 1.5 연구기간별 목표 설정

연차	기간	연구 목표
1차년도	12개월	- 베트남 현지 동향 조사 - 베트남 고갈습 비산회 및 연약지반 특성 파악 - 베트남 고갈습 비산회를 활용한 고화재 개발 - 개발된 고화재가 적용 가능한 연약지반 개량장비 개발
2차년도	12개월	- 개발 고화재의 베트남 현지 인증 - 개발 고화재를 이용한 연약지반 처리공법 개발
3차년도	10개월	- 개발 공법의 베트남 현지 적용성 평가 - 개발공법 홍보 및 현지화
합계	34개월	베트남 고갈습 비산회를 재활용한 친환경 연약지반 개량공법 개발

(3) 연구비에 따른 목표 및 설정 근거

표 1.6 연구비에 따른 목표 설정

연차	연구비	연구 목표
1차년도	285,000	- 베트남 화력발전소 및 연약지반 등에 대한 동향조사 - 베트남 고갈습 비산회 확보 및 국내 수송 - 베트남 고갈습 비산회 성분분석을 위한 역학시험 - 베트남 고갈습 비산회를 활용한 고화재 개발 및 공인 인증 - 국내·외 특허출원 및 학술논문 게재
2차년도	285,000	- 베트남 고갈습 비산회를 활용한 고화재 베트남 현지 인증 - 개발 고화재를 적용한 연약지반 처리공법 개발 - 개발공법의 국내 시험시공 - 국내·외 특허출원 및 학술논문 게재
3차년도	285,000	- 개발공법의 베트남 현지 시험시공 - 공법 홍보를 위한 국제 전시회 참가 - 개발공법의 경제성 분석 및 현지화
합계	855,000	베트남 고갈습 비산회를 재활용한 친환경 연약지반 개량공법 개발

(4) 목표 달성을 위한 연구기관 역량

표 1.7 연구기관 역량

구 분	담당 기관	연구기관 역량
주관 연구기관	(주)세종이엔씨	• 보링 그라우팅 설계·시공 전문기업 • 기술혁신 중소기업(INNO-BIZ) 인증기업 • 녹색기술 및 건설신기술 지정기업 • 국토교통연구개발 성과 국토부장관 표창 • 발명진흥 관련 철타 산업훈장 수상 • 국토교통 R&D 우수성과 선정
해외 공동연구기관	CONINCO., JSC	• 베트남 건설공사의 설계·시공·컨설팅 전문 국영기업 • 자체 콘크리트 공장 보유 • MOT 산하 국영기업
위탁 연구기관	우송대학교 철도시스템 공학과	• 연약지반 안정성 평가 및 국가연구과제 다수 수행 • 국토교통부 지정 철도 전문인력 육성대학 • 특성화사업(CK-1) 3개 사업단 선정 [철도 클러스터를 연계한 글로벌 철도 전문 인력 양성사업단] • 철도중심산업화지원사업단 교육과학기술부장관 표창



1) CONINCO 방문 및 업무협의



2) ITST 원장 방한

그림 1.12 베트남 인적교류

(5) 현 단계 기술수준 및 개선목표

표 1.8 기술수준 및 개선 목표

기술 명	기술 수준	
	현 단계	목 표
고칼슘 비산회 처리기술	전량 매립	활용율 90%
고칼슘 비산회 활용 공법	활용공법 없음	연약지반 처리공법 개발

나. 연차별 연구목표 및 내용

표 1.9 연구목표 및 내용

연차	연구목표	주요연구내용
1차 년도	• 베트남 현지 동향 조사	• 베트남 현지 고화재 시장조사 • 베트남 고화재 시공 공법 및 장비 조사 • 베트남 화력발전소 위치 및 국가 개발사업 계획 등에 대한 종합적 분석을 통해 예비 타당성 검토
	• 베트남 고칼슘 비산회 특성 파악	• 베트남 고칼슘 비산회의 지역별 발생량 분석 • 베트남 고칼슘 비산회의 화학성분 및 함량 분석
	• 베트남 연약지반 특성 파악	• 베트남 연약지반 분포현황 분석 • 연약지반에 대한 역학시험을 수행
	• 베트남 고칼슘 비산회를 재활용한 고화재 개발	• 역학시험 결과를 토대로 베트남 고칼슘 비산회 재활용을 위한 배합비 산정 • 개발 재료에 대한 실내실험 및 국내 공인기관 성적서 발행 • 개발 재료에 대한 특허출원(국내) • 개발 재료 및 공법에 대한 학술논문 게재
	• 개발 고화재를 이용한 연약지반 처리공법 개발	• 국내 시험시공을 통한 장비 개량
2차 년도	• 개발 고화재의 베트남 현지 인증	• 개발 재료에 대한 베트남 실내실험 및 현지 공인기관 성적서 발행 • 개발 재료에 대한 특허출원(베트남)
	• 개발 고화재를 이용한 연약지반 처리공법 개발	• 연약지반 역학적 특성에 따른 고화재 배합비 세분화 • 개발 공법의 시방기준 정립 • 현지 적용을 위한 장비성능 개선 • 국내 연약지반에 대한 예비 현장시험 • 개발 공법에 대한 특허출원(국내) • 개발 재료 및 공법에 대한 학술논문 게재
3차 년도	• 개발 공법의 베트남 현지 적용성 평가	• 베트남 현지 시험시공 • 개발 공법에 대한 특허출원(베트남)
	• 개발공법 홍보	• 공법 홍보를 위한 국제 전시회 참가
	• 개발 공법의 현지화	• 베트남을 대상으로 한 공법의 경제성 분석 • 시제품 출시 및 현지 영업망 구축 • 베트남 현지 업체와 기술 실시계약 체결 • 현지 생산 공장 설립을 위한 타당성 검토

다. 연구개발 핵심성과

1) 성과 리스트

표 1.10 연구성과 리스트

연번	핵심성과물	성과유형	해당과제
1	연약지반 개량용 고화재	재료·자재	• 베트남 고칼슘 비산회의 국내 성능평가 및 재료개발 (주관) • 베트남 고칼슘 비산회의 현지 성능평가 (해외 공동연구기관)
2	연약지반 처리공법	공법·기법	• 베트남 고칼슘 비산회 재활용을 위한 친환경 연약지반 개량공법 개발 (주관)

2) 핵심성과물별 세부 설명

(1) 연약지반 개량용 고화재

표 1.11 핵심성과물 세부설명(고화재 개발)

정의	베트남 현지 고갈습 비산회를 재활용한 연약지반 개량용 고화재				
목적	- 현재 전량 폐기되고 있는 베트남 고갈습 비산회의 재활용 - 매립장 조성, 폐기물 처리에 소요되는 경제적 비용 절감 - 폐기물 매립에 따른 환경문제 개선				
성능목표	성능 지표	단 위	성능 목표	세계 최고수준	시험 규격
	순환자원 활용율	%	90 이상	80 이상	고화재 시방배합
	투수시험	10 ⁻⁶ cm/sec	4 이하	4 이하	KS F 2322
	6가크롬 함량 및 용출량	mg/kg	함량 5 이하 용출량 0.03 이하	함량 20 이하 용출량 0.05 이하	한국폐기물공정시험방법
	고화토 일축압축강도	MPa	연약지반 2 이상	연약지반 2 이상	KS F 2328, 2329
	내산성, 내해수성, 염소이온 침투 저항성	%	120 이상	120 이상	ASTM D 1141 ASTM C 1202 AASHTO T 277-831
	체적수축	%	1 이하	1 이하	KS F 4044
	환경영향성평가 (어류에 의한 급성 독성시험)	%	70 이상	50	KS I ISO 9167
성과달성 책임자	민 경 남 ((주)세종이엔씨)				
소요기간	2016. 03. 31. ~ 2019. 01. 30. (34개월, 3년차)				
성과달성 확인방법	성능목표에 해당하는 공인성적서 및 자체시험 성적서				
성과 달성에 따른 정량적 성과	특허 출원		국내 : 2건, 국외 : 2건		
	특허 등록		국내 : 2건, 국외 : -건		
	논문	SCI(E)급	국내 : -건, 국외 : -건		
		비SCI(E)급	국내 : 2건, 국외 : 1건		
		학술발표	국내 : 1건, 국외 : 1건		
	저작		- 건		
	S/W		- 건		
	신기술		- 건		
	기타		현장적용 2건		
성과물 소유권	소유유형		단독		
	소유기관		(주)세종이엔씨 (주관연구기관)		
	외국기관 소유 사유		-		

(2) 연약지반 개량공법

표 1.12 핵심성과물 세부설명(연약지반 개량공법 개발)

정의	• 개발된 고화재를 이용한 연약지반 처리공법				
목적	• 개발된 고화재 및 베트남 연약지반 특성을 고려한 연약지반 처리공법 개발				
성능목표	성능 지표	단 위	성능 목표	세계 최고수준	시험 규격
	현장 투수시험	10^{-6} cm/sec	4 이하	4 이하	-
	고화토 일축압축강도	MPa	연약지반 2 이상	연약지반 2 이상	KS F 2328, 2329
성과달성 책임자	민 경 남 (주)세종이엔씨				
소요기간	2016. 03. 31. ~ 2019. 01. 30. (34개월, 3년차)				
성과달성 확인방법	성능목표에 해당하는 공인성적서				
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원		국내 : 2건, 국외 : 2건		
	특허 등록		국내 : 2건, 국외 : -건		
	논문	SCI(E)급	국내 : -건, 국외 : -건		
		비SCI(E)급	국내 : 2건, 국외 : 1건		
		학술발표	국내 : 1건, 국외 : -건		
	저작		-건		
	S/W		-건		
	신기술		-건		
	기타				
성과물 소유권	소유유형		단독		
	소유기관		(주)세종이엔씨 (주관연구기관)		
	외국기관 소유 사유		-		

3. 연구성과별 세부추진내용

가. 연구개발 흐름도

연약지반 개량용 고화재 ((주)세종이엔씨)		
1차년도 2016.04 ~2017.03	베트남 현지 동향 조사 베트남 고갈슘 비산회 특성 파악 베트남 연약지반 특성 파악 베트남 고갈슘 비산회를 활용한 고화재 개발	· 베트남 현지 고화재 시장조사 · 베트남 고갈슘 비산회의 지역별 발생량 분석 · 베트남 고갈슘 비산회의 화학성분 및 함량 분석 · 베트남 연약지반 분포현황 분석 · 연약지반에 대한 역학시험을 수행 · 베트남 고갈슘 비산회 재활용을 위한 배합비 산정 · 개발 재료에 대한 실내실험 및 국내 공인기관 성적서 발행 · 개발 재료에 대한 특허출원(국내) · 개발 재료 및 공법에 대한 학술논문 게재
2차년도 2017.04 ~2018.03	개화 고화재의 베트남 현지 인증	· 개발 재료에 대한 베트남 실내실험 및 현지 공인기관 성적서 발행 · 개발 재료에 대한 특허출원(베트남)
3차년도 2018.04 ~2019.01	개발공법 홍보 개발 공법의 현지화	· 공법 홍보를 위한 국제 전시회 참가 · 베트남을 대상으로 한 공법의 경제성 분석 · 시제품 출시 및 현지 영업망 구축 · 베트남 현지 업체와 기술 실시계약 체결 · 현지 생산공장 설립을 위한 타당성 검토
연약지반 처리공법 ((주)세종이엔씨, CONINCO., JSC)		
1차년도 2016.04 ~2017.03	베트남 현지 동향 조사	· 베트남 현지 연약지반 분포현황 조사 · 베트남 고화재 시공 공법 및 장비 조사 · 베트남 화력발전소 위치 및 국가 개발사업 계획 등에 대한 종합적 분석을 통한 예비 타당성 검토 · 국내 시험시공을 통한 장비 개량
2차년도 2017.04 ~2018.03	개발 고화재를 이용한 연약지반 처리공법 개발	· 연약지반 역학적 특성에 따른 고화재 배합비 세분화 · 개발 공법의 시방기준 정립 · 현지 적용을 위한 장비성능 개선 · 국내 연약지반에 대한 예비 현장시험 · 개발 공법에 대한 특허출원(국내) · 개발 재료 및 공법에 대한 학술논문 게재
3차년도 2018.04 ~2019.01	개발 공법의 현지 적용성 평가 개발공법 홍보 개발 공법의 현지화	· 베트남 현지 시험시공 · 개발 공법에 대한 특허출원(베트남) · 공법 홍보를 위한 국제 전시회 참가 · 베트남을 대상으로 한 공법의 경제성 분석 · 시제품 출시 및 현지 영업망 구축 · 베트남 현지 업체와 기술 실시계약 체결

그림 1.13 연구개발 흐름도

나. 연구개발 단계에 따른 세부연구내용

1) 연약지반 개량용 고화재 ((주)세종이엔씨)

표 1.13 세부연구내용(고화재 개발)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
1단계	1차년도 (’16.04~ ’17.03)	- 베트남 현지 동향 조사 - 베트남 고갈슘 비산회 특성 파악 - 베트남 연약지반 특성 파악 - 베트남 고갈슘 비산회를 활용한 고화재 개발	- 베트남 현지 고화재 시장조사 - 베트남 고갈슘 비산회의 지역별 발생량 분석 - 베트남 고갈슘 비산회의 화학성분 및 함량 분석 - 베트남 연약지반 분포현황 분석 - 연약지반에 대한 역학시험을 수행 - 베트남 고갈슘 비산회 재활용을 위한 배합비 산정 - 개발 재료에 대한 실내실험 및 국내 공인기관 성적서 발행 - 개발 재료에 대한 특허출원(국내) - 개발 재료 및 공법에 대한 학술논문 게재
	2차년도 (’17.04~ ’18.03)	개발 고화재의 베트남 현지 인증	- 개발 재료에 대한 베트남 실내실험 및 현지 공인기관 성적서 발행 - 개발 재료에 대한 특허출원(베트남)
2단계	3차년도 (’18.04~ ’19.01)	- 개발공법 홍보 - 개발 공법의 현지화	- 공법 홍보를 위한 국제 전시회 참가 - 베트남 건설시장을 대상으로 한 공법의 경제성 분석 - 시제품 출시 및 현지 영업망 구축 - 베트남 현지 업체와 기술 실시계약 체결 - 현지 생산공장 설립을 위한 타당성 검토

2) 연약지반 처리공법 ((주)세종이엔씨, CONINCO., JSC)

표 1.14 세부연구내용(연약지반 개량공법 개발)

단계(연차)		주요 연구활동	세부 연구내용
1단계	1차년도 (’16.04~ ’17.03)	- 베트남 현지 동향 조사 - 적용 장비 개선	- 베트남 현지 연약지반 분포현황 조사 - 베트남 고화재 시공 공법 및 장비 조사 - 베트남 화력발전소 위치 및 국가 개발사업 계획 등에 대한 종합적 분석을 통한 예비 타당성 검토 - 국내 현장 시험시공을 통한 장비 개선
2단계	2차년도 (’17.04~ ’18.03)	개발 고화재를 이용한 연약지반 개량공법 개발	- 연약지반 역학적 특성에 따른 고화재 배합비 세분화 - 개발 공법의 시방기준 정립 - 국내 연약지반에 대한 예비 현장시험 - 개발 공법에 대한 특허출원(국내) - 개발 재료 및 공법에 대한 학술논문 게재
	3차년도 (’18.04~ ’19.01)	- 개발 공법의 현지 적용성 평가 - 개발공법 홍보 - 개발 공법의 현지화	- 베트남 현지 시험시공 - 개발 공법에 대한 특허출원(베트남) - 공법 홍보를 위한 국제 전시회 참가 - 베트남을 대상으로 한 공법의 경제성 분석 - 시제품 출시 및 현지 영업망 구축 - 베트남 현지 업체와 기술 실시계약 체결

제2장. 국내외 기술개발 현황

1. 연구개발 동향 분석

가. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

1) 국가 연구개발사업 유사연구 실적

(1) 연구개발과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

- 본 과제와 관련하여 국가과학기술지식정보서비스(NTIS)를 이용한 핵심 키워드 검색결과 비산회 관련 총 893건, 유동충보일러(CFBC)관련 총 15건의 선행연구가 진행된 것으로 분석
- 선행연구 중 비산회와 관련된 연구는 대부분 일반 비산회의 재활용에 관한 연구였으며 유동충보일러와 관련된 연구는 보일러의 순환방식과 연소 재료에 관련된 연구로 확인
- 검토결과 본 연구과제와 가장 유사한 것으로 판단되는 과제는 표 2.1에 표기

표 2.1 유사 연구과제 검토결과

(단위: 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
국가청정생산 지원센터	청정생산기술개발	석회자원을 활용한 환경친화형 차음용 시멘트 복합체 개발	1.33	2003
한국전력 연구원	전력산업 연구개발사업	화력발전소 비산회를 이용한 고기능성 세라믹 파이버 제조 공정기술	0.90	2004
산업자원부	에너지자원 기술개발	플라이애쉬를 사용한 비소성 무기결합재 제조기술 개발	0.70	2005
한국연구재단	기본연구 지원사업	열병합 발전소 저품위 비산회의 활성화 메커니즘에 의한 지반 고화재 제조	0.45	2011
중소기업청	산학연협력체제 활성화지원	노내탈황방식 유동층 보일러 저품위 석탄재를 활용한 Cement-Zero형 지반고화재 상용화 및 제조 시스템 개발	0.4	2012
중소기업청	첫걸음기술 개발사업	순환유동층 보일러 발전의 플라이 애시를 활용한 채움재 및 고화재 개발	0.35	2013
중소기업청	도약기술개발사업	미연소탄소 고함량의 플라이애쉬를 이용한 친환경 지오폴리머 제품 개발	0.80	2014

(2) 연구개발과제의 차별화 방안

- 선행연구 분석결과 본 과제와 유사한 7건의 과제는 모두 고칼슘 비산회 재활용 방안에 대한 기초연구단계에 머물고 있으며 개발재료를 공법과 연계하여 사업화 및 해외진출 단계 까지 수행된 연구는 없는 것으로 조사

2) 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

(1) 국내 연구동향

- 석탄회를 활용한 연구는 국내 최초로 동력자원연구소(1984)에서 석탄회 활용방안에 대한 연구가 시작
- 한국전력공사 기술연구원(1989)은 비산회를 일정량 혼입한 플라이애쉬 콘크리트에 대한 배합설계 및 각종 성능시험을 수행하여 콘크리트 혼화제로써의 석탄회 이용방안을 연구
- 한국건설기술연구원(1992)에서는 시멘트나 석회 등의 안정제를 첨가하여 강도 및 내구성을 증가시키는 방법에 대해 연구하였고, 과학기술처(1996)에서는 석탄회의 광물조성 연구 결과를 토대로 석탄회와 점토, 고령토를 다양한 비율로 혼합하여 벽돌 등의 건축재로 활용하기 위한 실험적 연구를 수행
- 중앙대 건설산업기술연구소(1999)에서는 폐석고, 시멘트, 토양을 혼합한 도로보조기층 혼합재료에 대한 투수성 및 압축강도시험을 수행하여 매립장 혼합차수재의 사용 가능성을 알아보고 특정 폐기물 관리 대상인 폐석고를 대신해서 비산회를 사용한 혼합차수재 이용방안을 연구
- 산업자원부(2002)는 석탄회를 이용한 인공골재와 프리캐스트 제품을 제조하였으며, 경제성 검토를 수행하여 비소성 석탄회 인공골재 및 석탄회를 이용한 프리캐스트 제품의 실용성을 검토
- 산업자원부 기술표준원(2006)에서는 콘크리트 분야에서 사용되고 있는 표준화된 비산회와 더불어 저회에 대한 기술적 검토와 현장 적용성 파악을 통해 국내 실정에 적합한 표준을 제시
- 최영준(2007)은 도로 축조에의 활용을 목적으로 사용가능한 비산회와 저회의 적정 혼합비를 실험적으로 산정
- 석탄회 재활용에 대한 국내 연구동향을 정리하면 표 2.2에 표기.

표 2.2 석탄회 재활용에 대한 국내 연구동향

연구자	년도	연구내용
한국전력공사	1989	• 비산회(Fly Ash)를 일정량 혼입한 플라이애쉬 콘크리트에 대한 배합설계 및 각종 성능시험을 수행하여 건설공사용 재료로써 활용함을 목표로 하는 콘크리트 혼화제로서의 이용방안 연구
여유현	1990	• 석탄회의 매립 성토재로써의 이용에 따른 동적 성질을 규명하기 위하여 진동 특성 분석
김진만	1991	• 성토재로 활용하기 위한 석탄회의 장기 강도와 동결 융해에 대한 특성 연구

고용일	1992	• 비산회와 저회의 적정 혼합 비율을 산정하여 다진 석탄회를 대상으로 도로 성토재 및 노상재 등으로의 활용을 위한 공학적 성질 연구
한국건설기술연구원	1992	• 시멘트나 석회등의 안정제를 첨가하여 강도 및 내구성을 증가시키는 방법에 대해 연구
한국과학재단	1993	• 비산회와 저회에 대한 적정 혼합비를 구하여 성토 및 포장재로 실용화 할 수 있도록 연구
문보원	1997	• 비산회와 저회의 적정 혼합비율을 산정하고, 화강토, 시멘트와 같은 안정 처리재로 처리된 혼합회의 역학적 특성에 관한 연구를 통하여 도로 포장 재에 대한 석탄회의 활용 모색
이준기	1998	• 구조물 뒷채움재로서 석탄회의 재료에 대한 공학적 특성을 파악하기 위해 토조실험 수행
공성호	2000	• 석탄회를 이용하여 폐수 중 인의 처리방안을 모색하여 인 제거를 위한 화학 약품의 대체물질로 활용 가능성 검토
산업자원부	2002	• 석탄회를 이용한 인공골재와 프리캐스트 제품을 제조하였으며, 경제성 검토를 수행하여 비소성 석탄회 인공골재 및 석탄회를 이용한 프리캐스트 제품의 실용성 검토
산업자원부	2003	• 석탄회의 환경안정성을 평가할 수 있는 기법을 개발하고, 이 기법들을 이용하여 석탄회 재활용 제품의 환경안정성을 평가하여 실용 가능한 석탄회 재활용 범위 제안
산업자원부	2006	• 콘크리트 분야에서 사용되고 있는 표준화된 비산회와 더불어 저회에 대한 기술적 검토와 현장 적용성 파악을 통해 국내 실정에 적합한 표준 제시
백승현	2007	• 석탄회의 성토재로서 적합성 평가 및 토공재료의 대량 활용 가능성을 검토하고 석탄회 매립지반의 변형해석을 위해 적용한 모델링을 검토하고 제반 변수를 산정
최영준	2007	• 도로 축조에의 활용을 목적으로 사용 가능한 비산회와 저회의 적정 혼합비를 실험적으로 산정

(2) 국외 연구동향

- 국외의 경우 아스팔트 포장 충전재, 콘크리트 잔골재 및 성토재와 같이 건설재료로서 저회를 재활용하기 위한 연구들이 수행(Churchill & Amirkhanian, 1999; Ghafoori & Buchioc, 1996; Kim 등 2005).
- Faber and Digioia(1976), Binie and Partners(1984), Havukainen(1983)등은 대규모 성토재 및 채움재로서 석탄회의 사용과 현장적용 등에 대해 보고
- Joshi et al.(1981), Tsonis and Christoulaas(1983), Jones(1984)등은 석탄회를 연약지반 개량재로서의 활용에 대하여 연구
- 석탄회 재활용에 대한 국외 연구동향을 정리하여 표 2.3에 표기

표 2.3 석탄회 재활용에 대한 국외 연구동향

연구자	년도	연구내용
Raymond & Smith	1966	• 교대의 채움재로 비산회를 사용한 구체적인 실험적 연구 수행
Margaarson & Cross	1966	• 교량공사에서 교대 뒤채움재로 비산회의 적용성에 관한 연구를 수행하여 비산회로 뒤채움을 할 경우 조립토 보다 킴하가 상대적으로 적다고 보고됨
Sherwood & Ryley	1966	• 영국에서 생산되는 비산회에 대한 강도특성과 이들 비산회에 시멘트나 석회를 첨가했을 때의 강도특성, 그리고 비산회와 석회 혼합물로 여러 종류의 모래를 안정처리 하였을 때 강도특성에 대한 실내시험을 근거로 도로 포장재로서 비산회의 활용에 대한 연구
Savage	1968	• 공항 활주로를 건설할 때, 기층 안정처리 혼화재로서 비산회의 적용성에 대한 연구 수행
Gray & Kim	1972	• Michigan주에서 생산되는 대표적인 석탄회를 대상으로 다짐한 • 비산회의 공학적 특성에 대한 연구 수행
Faber & Digioia Binie & Partners Havukainen	1976 1983 1984	• 대규모 성토재 및 채움재로서 석탄회의 사용과 현장적용 등에 대한 연구 수행

나. 국내외 관련 기술 특허 동향

1) 국내 기술 동향

(1) 시멘트 광물계 고화재 관련 기술

- 시멘트는 안정적인 공급과 단가의 저렴함으로 널리 사용되고 있으나 다음과 같은 단점 존재
 - ① 수화반응이 유기질에 의하여 방해
 - ② 강도확보를 위한 다량 혼합으로 건조수축 발생 및 과잉 사용
 - ③ 시멘트의 성능을 개선하기 위한 성분조정으로 경제성 감소

(2) 토질안정 고화재

- 1970년대 이후 토질안정 고화재를 사용하는 공법이 도입되기 시작하였으나 현재 국내에 자체 기술을 보유한 업체는 없으며 실시권에 의한 생산기술을 확보해서 제조하는 업체가 대부분을 차지
- 일부 시멘트 회사에서 특수시멘트로서의 토질안정 고화재를 개발하기도 하였으나, 대부분 그 주원료는 CSA계로 전량수입에 의존

(3) 분말형 고화재

- 분말형 고화재는 시멘트와 석회(생석회)를 주재료로 하고 각 용도에 따라 첨가하는 성분비를 달리하여 시멘트와 혼합처리한 후 Bulk나 1ton Bag 제품으로 출하

- 시멘트는 안정적인 공급과 단가의 저렴함으로 널리 사용되고 있으나 수화반응이 유기질에 의해 방해를 받고, 고함수비 토양에 대해서는 고화가 어려우며 강도확보를 위해 다량을 혼입하게 되면 건조수축에 의한 균열이 발생하는 문제점 존재
- 분말형 고화재는 연약토에 대해 높은 고화기능을 나타내고 수축을 보장하는 알맞은 정도의 팽창성 고화재로서 수화과정에서 다량의 Ettringite를 생성하고 주위로부터 많은 수분을 흡수하여 연약지반의 개량효과 높음
- 시멘트계의 수화물 생성을 통한 자체의 자경성을 가지고 있어 연약지반을 장기적으로 안정된 지반으로 개량한다. 이때 수화반응 및 알칼리침가에 의한 급격한 발열이 나지 않으며 취급이 용이하고 고열에 따른 분진 발생이 낮을수록 우수한 제품으로 평가

(4) 액상형 고화재

- 액상형 고화재는 시멘트와 혼합 처리된 후 제품으로 출하되지 않고 현장에서 물과 희석시켜 수용액 상태로 분사 혼합하는 방식의 고화재
- 유기물이 다량 함유되어 있는 고유기질 또는 점토성 토양에 적합한 것으로 알려져 있으며, 수용액 상태로 혼합되어 혼합과정에서 함수비 조절이 가능
- 액상형 고화재의 반응성은 토립자 표면에서 부착력을 지닌 흡착수의 배제를 얼마만큼 원활하게 수행하는가에 따라 결정
- 시멘트와 토립자 사이의 수화반응을 저해하는 고유기질 토양이나 점토성 토립자에 밀착되어 있는 흡착수를 전기 화학적 이온화 작용에 의해 자유수로 전환하여 모세관을 통해 배수되게 함과 동시에 흡착수가 차지했던 공극을 토립자끼리 응집시켜 공극을 충전함으로써 밀도가 증가되어 지지력을 상승시키고 단기간 내에 경화시켜 지지력 생성

(5) 현장 적용 고화재

- 국내에서 판매되었거나 판매되고 있는 시멘트계 고화재의 제품별 특징은 표 2.4 및 2.5에 표기

표 2.4 국내 시멘트계 고화재의 종류

구분	ESC (신보산업)	HEC (해공산업)	GH (영립기업)	Geocrete (쌍용양회)
시공방법	원위치교반 및 포설	원위치교반 및 포설	원위치교반 및 포설	원위치교반 및 포설
제품 상태	분말	분말	분말	분말
시공 시 상태	분말상태로 살포	분말상태로 살포	분말상태로 살포	액상상태로 살포
최소사용량	108 kgf/m ³	110 kgf/m ³	110 kgf/m ³	110 kgf/m ³

표 2.5 제품별 비표면적 및 화학성분

종류	비표면적 (cm^2/gf)	화 학 성 분 (%)						불용잔분 (Insol)	강열감량 (Ig.loss)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
ESC	>3,200	21	5	2	46	3.5	2	0.5	20
HEC	>3,400	29	6	3	52	3.7	4	0.3	2
GH	>3,200	20	5	3	62	2.3	2	3.7	2
Geocrete	>5,000	24	9	2	51	4	9	0	1

2) 국외 기술 동향

- 현재 국외에서 연구중인 고화재의 종류는 표 2.6에 표기

표 2.6 국외 고화재 개발 현황

고화재에 대한 연구	고화재의 종류
주변 환경에 대한 배려	발진억제형
건설발생토의 유효이용	유동화(속경성), 입상화
고화재의 성능향상	초지경성 초고유기질토용
폐기물의 유효이용	Eco - Cement

(1) 발진 억제형 고화재

- 시멘트계 고화재 혹은 생석회는 지반고화재로서 유효한 재료이나, 건식의 표층개량공사에 대해서 고화재를 혼합하는 사이에 분말이 비산하기 때문에 그에 대한 억제, 저감이 요구
- 이러한 비산은 주변 환경 영향이 중요시되는 도심지 공사에서 문제가 발생하는 경우가 있어 민원예방 및 작업원의 작업환경 개선을 목적으로 개발된 고화재가 발진 억제형 고화재
- 초기에는 석회계 고화재를 습윤상태로 한 제품이 개발되었고, 그 이후 시멘트계 고화재도 이러한 요구에 부응해서 프리케이트상 또는 테프론 처리 타입이 개발

표 2.7 제품별 비표면적 및 화학성분

Type	발진억제기구
프리케이트상 Type	• 시멘트계 고화재와 생석회의 혼합물을 프리케이트상의 괴상으로 압축 조립한 것
테프론 처리 Type	• 시멘트 석회 및 고화재에 미량의 테프론을 첨가해 분체 중에 서브 마이크론계의 섬유를 형성시켜 미립자를 포착해 분체의 발진이나 비산을 억제한 것
습식 Type	• 알콜계의 액체를 첨가하고 고화재 입자 표면을 메운 습식의 것

(2) 유동화처리공법에 사용되는 속경성 고화재

- 건설공사와 함께 발생하는 건설 발생토를 적절하게 이용하는 방법으로써 유동화처리 공법이 건설 발생토, 건설 준설슬러지 유효 이용기술의 하나로 떠올라 기술개발이 진행 되어 실용화 진행 중
- 해당공법은 건설 발생토에 가수해서 유동화를 높인 후 고화재를 첨가해서 슬러리 상으로 매립하는 기술
- 매설관이 설치된 복잡한 좁은 공간에서 다짐을 하지 않고 충전 할 수 있기 때문에 소음진동을 일으키지 않는 등의 장점이 있고 지중매설관 등을 부설하는 공사에서 특히 유효한 성능 발현
- 유동화 처리토는 혼합 직후에 충전 하고자 하는 곳에 부어넣기 때문에 혼합 직후의 플로 우치를 180~300mm로 하여 3분 정도까지 유동성을 유지하는 것이 중요

(3) 입상화 처리용 고화재

- 건설공사에서 발생하는 건설 발생토 및 준설슬러지를 되메우기 재료로 이용하는 다른 처 리 방법으로 준설슬러지에 수%의 생석회를 첨가하고, 수용성 폴리머를 첨가하여 고함수비 준설슬러지를 입상화해 뒷채움재로써 이용할 수 있는 처리공법 등이 제안
- 수용성폴리머를 흙에 첨가 혼합하면 준설슬러지에 함유된 물에 녹아서 토립자를 둘러싸게 되고 미세한 토립자는 난자상 변화하며, 이때 생석회를 가하면 토립자를 둘러싼 수용성 폴 리머가 불용화해서 입자 중에 용출이 되지 않음
- 토립자는 입상화 하지만 강도는 낮아 시멘트계 고화재 혹은 급결제 등을 조합시켜 입상화 한 후 강도를 신속히 높게 발현시키는 재료도 개발 중

(4) 초고유기질토용 고화재

- 시멘트계 고화재는 일반적으로 시멘트 혹은 석회에서 고화가 어려운 부식토 혹은 유기질 토를 고화하기 위해서 개발된 제품이지만, 대상토 혹은 시공 목적에 따라 유기물을 다량 함유한 고함수비 유기질토를 고강도로 개량하는 것이 요구되는 경우 존재
- 초고유기질토용 고화재는 Ettringite의 생성에 필요한 알루미나 및 석고가 다량 함유되며, 이러한 성분이 처리토중에 쉽게 녹아 반응생성물이 용이하게 형성되도록 연구되는 것이 있으며, 건식 및 습식의 병행사용이 가능한 것이 특징

(5) 산업폐기물을 활용한 고화재

- 산업활동에 의해 발생하는 폐기물의 가용화-안정화-무해화 문제가 심각한 실정에서 산업 폐기물의 준설슬러지 중 산화칼슘, 산화알루미늄, 이산화규소 및 산화제이철 등의 산화물 이 함유되어 존재

- 산업폐기물을 적절히 조합시켜 소성용융하게 되면 OPC와 같은 형태의 고화재 제조 가능

ex) A : B : C : D = 5 : 60 : 10 : 25의 비율로 혼합·분쇄한 것을 소성용융해
서 물에 급냉 후 100℃에서 건조하여 0.075mm이하로 분쇄한 결과 보통 포틀랜드 시
멘트와 동등 수준의 고화재 생성

여기서, A : 고무공장 준설슬러지
B : 제당공장 준설슬러지
C : 식품공장 준설슬러지
D : 도금공장 슬러지

다. 국내외 시장분석 및 산업동향

1) 석탄회의 재활용 분야

- 국내에서 발생하는 산업부산물중 연간발생량이 가장 많은 부산물인 석탄회는 연간 약 800만톤이 발생하며 매년 증가 추세
- 석탄회는 연소되는 석탄의 종류에 따라 발생량이 다르며 유연탄은 사용량의 15%, 무연탄은 45%가량 발생
- 이렇게 매년 증가하는 석탄회 발생량을 억제하기 위해 정부에서는“자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률”등을 제정하여 석탄회의 재활용을 적극 권장
- 해외의 경우 석탄회 재활용 촉진을 위한 실용화 연구가 오랫동안 수행되어 왔으며 다양한 분야에서 활용

표 2.8 석탄회의 재활용 분야

분야	용도	이용기술의 개요
시멘트 분야	시멘트 제조용 원료	• 원료중 점토의 대용으로 사용(점토량의 10~20%)
	시멘트 혼화재	• 비산회 시멘트 혼화율 : 30%이하 • 보통포틀랜드 시멘트 혼화율 : 5%이하
	콘크리트 혼화재	• 매스콘크리트, 수리구조물에 사용(혼화율: 시멘트 20~30%)
	시멘트 밀크	• 그라우팅, 터널 안쪽채움, 보링공 주입, 기초공법 등 사용(시멘트와 비산회의 혼합비 = 1/1~1/20)
	비산회·석고·시멘트 콘크리트	• 비산회·석고·시멘트계의 경량콘크리트(FGC; Fly-ash, Gypsum, Cement)로써, 경량구조물, 어초, 블록 등에 사용(시멘트 혼화율 : 20~50%, 석고 혼화율 : 6~10%)
건축 분야	골재	• 경량콘크리트의 골재 또는 콘크리트의 세골재(모래)의 대용
	인공경량골재(ALA)	• 팽창성 혈암을 대체해서 이용(혼합-끈끈하게 함-소성)
	기와 및 세라믹스	• 점토를 대체해서 이용(혼합-압출성형·가압성형-건조-소성)

	콘크리트 제품	• 블록 제조 또는 기포콘크리트 제조
토목 분야	아스팔트 필러(filler)	• 아스팔트의 안정과 골재의 간극을 메우기 위한 필러로써 • 현재 사용되고 있는 석회석분을 대체해서 이용
	노반재	• 시멘트안정처리 노반에서의 모래 대체 또는 석회안정처리 노반에서의 석회의 보완재료로써 플라이애쉬가 병용됨
	노상재	• 한랭지는 동상억제층 또는 연약지반에서는 도로건설용 토사를 • 대체 이용
	매립·성토재	• 석탄회의 함수비 조정 후, 야적안정화 후, 또는 물과 시멘트·석회 등의 첨가재 혼합 후 토공재료로서 이용
	충진재(광산용)	• 폐석, 폐재, 폐니 등을 대체 또는 병용 갱내 충진에 사용

2) 국내 현황

- 국내에서 발생하는 석탄회 중 재활용되고 남은 석탄회는 전량 매립 처분되고 있어, 2015년 3월에 정책적으로 “자원순환 사회 전환 촉진법” 제정을 위한 토론회가 개최되는 등 관련분야에 대해 재활용률 제고를 위한 다양한 지원제도가 수립될 전망
- 하지만 우리나라는 국토가 좁고 화력발전소에 매립된 석탄회가 포화상태여서 향후 발생되는 석탄회를 매립시키기 어려운 실정
- 따라서 이러한 문제점들을 해결하기 위한 대책방안으로 석탄회를 단순 매립 처리하는 폐기물로서 취급하는 것이 아니라 재활용률을 극대화시켜 자원화 하려는 노력을 지속적으로 추진

표 2.9 연도별 석탄회 발생량 및 재활용량(전기연감, 2010)

구분	1997년	1998년	1999년	2000년	2004년	2006년	2008년	2010년
발생량(만톤)	320	366	395	443	561	584	761	835
재활용량(만톤)	87	118	168	242	434	389	513	525
재활용률(%)	27.2	32.2	42.5	54.6	77.4	66.6	67.4	62.8

- 또한, 국내 석탄회의 재활용 분야는 콘크리트와 시멘트로의 활용이 대부분인 것으로 조사

표 2.10 국내 석탄회 재활용 분야

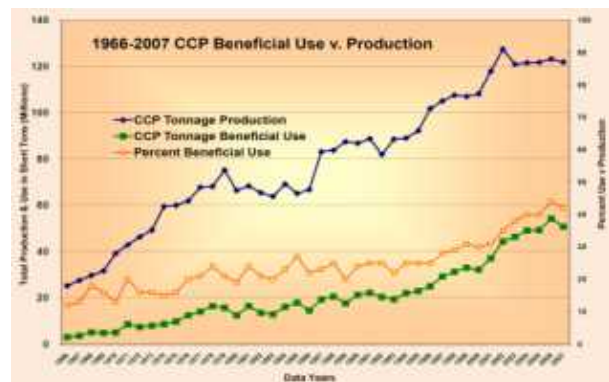
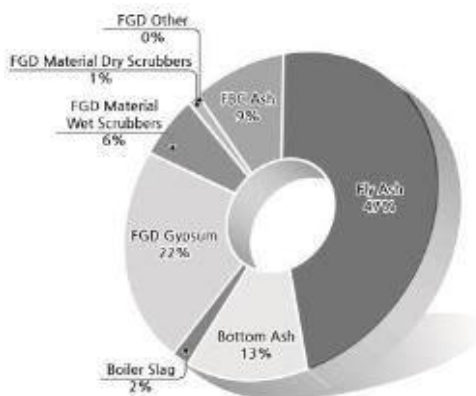
구분	콘크리트	시멘트	성토용 (배수층 등)	벽돌	기타
재활용률	75.8%	13.1%	4.8%	1.8%	4.5%

- 최근 한국광해관리공단과 남부발전에서는 기존 석회석 광산에서 발생하는 광산채굴공동에 저회 및 잉여 석탄회를 충전하여 안정성을 확보할 수 있는 방안을 연구 추진

- 광산채굴공동 충전재로서 석탄회를 사용하면 석회석 광산이 화력발전소 인근에 위치해야 하는 제약이 있지만, 연소 시 필요한 석회석과 석탄회의 복합운송이 가능해 처리비 감소를 통한 원가절감 효과가 있는 것으로 확인

3) 국외 현황

- 미국에서는 1968년에 ACAA를 설립하여 석탄회를 자원으로 재활용하기 위한 기술을 개발하여 현재 여러 방면에서 석탄회 재활용 중
- 미국의 경우 각 전력회사가 충분한 매립처분장을 보유하여 유효이용률이 낮은 편이며, 2001년에 발생한 석탄회의 양은 1억 1천만톤으로서 그 중 약 30%가 재활용
- 그림 2.1 (a)는 미국 석탄화력발전에서 발생하는 부산물을 나타낸 것으로 석탄화력부산물(CCPs; Coal Combustion Products)에는 비산회, 저회 외에도 보일러 슬래그, 탈황석고(FGD Gypsum), FBC(Fluidized Bed Combustor) 애쉬 등이 있으며 발생비율이 가장 많은 것은 비산회, 탈황석고, 저회 순
- 그림 2.1 (b)는 미국에서 발생한 석탄화력 부산물(CCPs)의 발생 추이로 석탄화력 부산물의 발생량과 더불어 재활용량도 증가



1) 석탄화력 부산물 발생 비율

2) 석탄화력 부산물 발생 추이

그림 2.1 미국 내 석탄화력 부산물 발생비율 및 추이(ACAA, 2012)

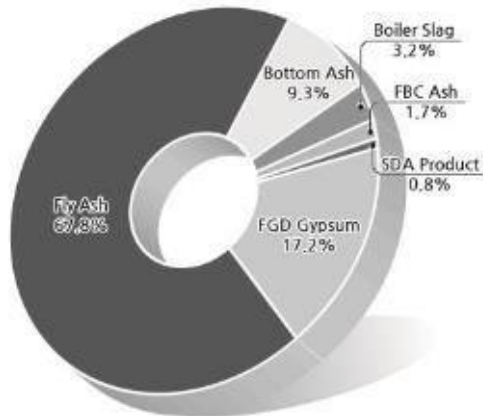
- 표 2.11은 미국에서 석탄회의 재활용 분야 및 이용량을 나타낸 것으로 그중 비산회와 저회의 재활용률을 보면 2008년도에 비산회는 41.6%, 저회는 43.82%가 재활용되었으며, 2012년도에는 비산회가 44.53%, 저회는 38.82%가 재활용되어 평균 재활용률은 약 42% 정도로 조사
- 석탄화력 부산물의 총 재활용률은 2008년도에 44.53%, 2012년은 47.27%로 증가하였으며 대표적인 재활용 분야로는 비산회는 콘크리트 혼화재로 약 45%정도 사용되었으며 저회는 채움재와 성토재에 약 34%가 사용

표 2.11 석탄회 활용분야 및 이용량(ACAA; American Coal Ash Association)

석탄회 활용분야	2008년		2012년	
	비산회(ton)	저회(ton)	비산회(ton)	저회(ton)
Total CCPs Produced by Category	72,454,230	18,431,297	52,100,000	14,100,000
Total CCPs Used by Category	30,142,274	8,076,255	23,205,204	5,474,167
1. Concrete/Concrete Products/Grout	12,592,245	720,948	11,779,021	732,260
2. Blended Cement/Feed for Clinker	3,174,264	610,194	2,281,211	1,287,343
3. Flowable Fill	74,794	0	141,081	9,435
4. Structural Fills/Embankments	8,012,825	2,996,388	3,083,441	1,716,196
5. Road Base/sub-base	1,027,568	767,013	193,711	352,469
6. Soil Modification/Stabilization	627,810	431,664	303,354	140,092
7. Mineral Filter in Asphalt	7,781	257,806	-	-
8. Snow and ice Control	0	699,561	0	198,153
9. Blasting Grit/Roofing Granules	84,881	66,670	11,678	15,930
10. Mining Application	960,911	63,648	2,086,074	437,986
11. Gypsum Panel Products	0	0	0	0
12. Waste Stabilization/Solidification	2,923,592	84,901	2,187,514	333
13. Agriculture	35,340	3,771	26,312	1,698
14. Aggregate	154,992	727,048	0	381,657
15. Miscellaneous/Other	465,2714	646,643	543,035	182,400
16. Oil Field Service	-	-	568,772	18,215
Category Use to Production Rate(%)	41.60%	43.82%	44.53%	38.82%
Total CCPs Produced	136,073,107		109,750,384	
Total CCPs Application	60,593,660		51,887,014	
Total Use to Production Rate(%)	44.53%		47.27%	

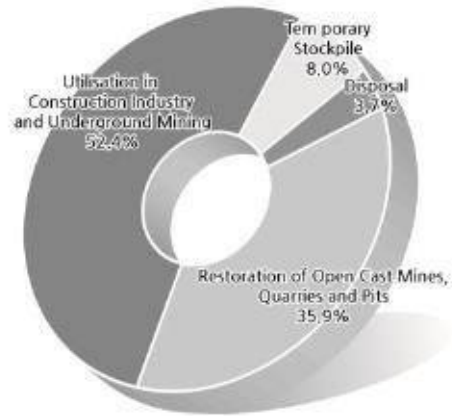
- 국토가 좁고 천연자원이 부족한 유럽의 경우 석탄화력 부산물을 자원으로 재활용하기 위해 ECOPA(European Coal Combustion Products Association e.V.) 설립하여 유럽 15개국에서 발생하는 석탄화력 부산물의 재활용률을 증대하기 위한 방안을 연구
- 그림 2.2는 유럽 석탄화력 부산물의 재활용 현황이며 유럽 석탄화력 부산물의 발생량은 미국과 같이 비산회, 탈황석고, 저회의 순이며 비산회가 67.8%, 탈황석고가 17.2%, 저회가 9.3% 발생
- 발생 부산물의 처리 현황으로는 건설 사업 및 광산 복원사업에 약 88.3%가 사용되어 발생 부산물의 대부분이 재활용되었으며 약 11.7%만이 야적 및 폐기처리

- 비산회 발생량은 약 21,100,000톤이며, 주요 재활용 분야로는 콘크리트 재료에 70.8%, 도로건설 채움재로 23.4%가 사용
- 저회 발생량은 약 2,700,000톤이며 주요 재활용 분야로는 콘크리트 및 시멘트 재료로 약 62.3%, 도로건설 채움재로 33.1%가 사용



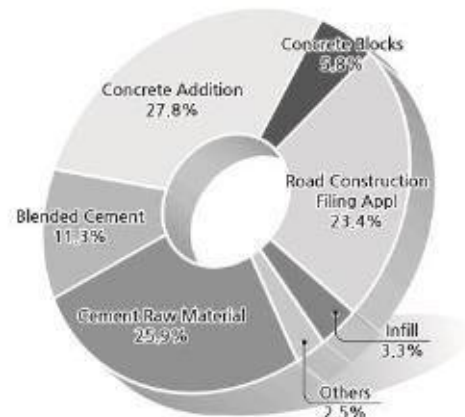
Total production : 65 Million tonnes

1) 발생 비율

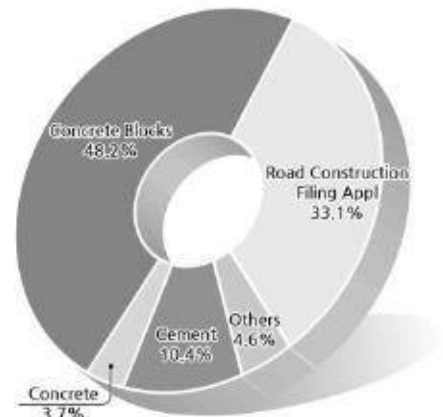


Total production : 65 Million tonnes

2) 처리 현황



3) 비산회의 재활용 분야



4) 저회의 재활용 분야

그림 2.2 유럽 석탄화력 부산물 재활용 현황 (ECOPA)

- 그림 2.3은 주요국의 석탄회 재활용 현황으로 우리나라의 경우 대부분 콘크리트 및 시멘트 혼화재 용도로 활용
- 영국의 경우 시멘트와 연관된 산업에서 대부분 활용되는 것은 유사하나 기포콘크리트, 경량콘크리트 등 보다 넓은 용도로 활용
- 미국과 호주의 경우 시멘트/콘크리트와 연관되지 않은 용도로 활용량이 더 많은 편이며, 주로 채움재로서 활용

- 동남아시아의 경우 30% 미만으로 그리 높지 않으나, 일본의 경우 국내와 유사하게 시멘트 및 토목분야의 재활용률이 약 70%로 매우 높음

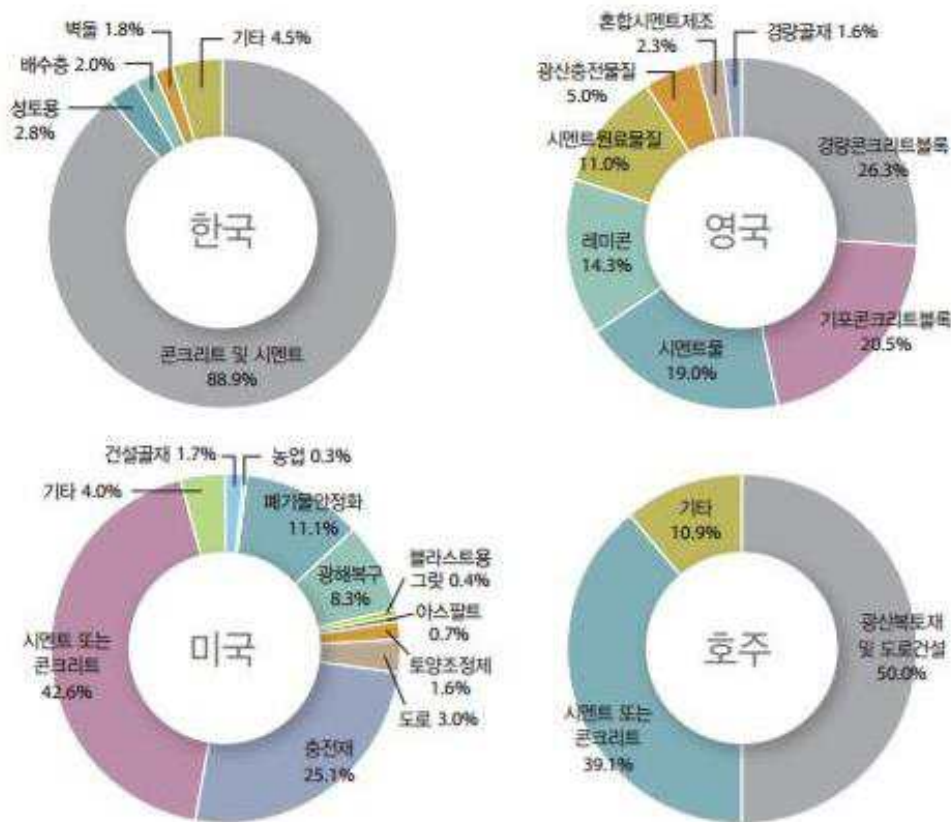


그림 2.3 주요국 석탄회 재활용 현황 (한국환경정책평가연구원, 2015)

라. 분석 및 결론

- NTIS(국가과학기술지식정보서비스)를 통하여 국내에서 수행된 유사과제 검색 결과 유사한 총 7건의 과제가 검색, 기존에 수행된 연구는 모두 고칼슘 비산회의 재활용 방안에 대한 기초연구단계에 머물고 있으며 개발재료를 공법과 연계하여 사업화 및 해외진출 단계까지 이루어진 것은 없는 것으로 나타남
- 석탄회의 재활용에 대한 연구는 1984년 국내 동력자원연구소에서 최초로 수행되었으며 한국전력공사, 한국건설기술연구원, 산업자원부 등 각 정부부처에서 다양한 연구를 수행
- 국외의 경우 1976년 Faber and Digioia에 의해 성토재 및 채움재로서의 석탄회 사용에 관한 연구를 시작으로 공항 활주로, 도로 기층 안정처리 등의 분야 대한 적용성이 주로 검토
- 국내·외 연구동향 분석결과 대부분 일반 비산회의 재활용에 대한 연구로 최근 주목받고 있는 순환유동층 보일러의 부산물인 고칼슘 비산회의 재활용에 대한 연구는 시작단계인 것으로 조사

- 또한 국내·외 석탄회 재활용 시장 및 산업동향에 대한 분석결과 일반 비산회의 경우 시멘트 재료 및 도로건설 채움재 등으로 대부분 재활용이 이루어지고 있는 것으로 조사되었으며 고칼슘 비산회의 경우 재활용에 대한 연구가 아직 기초단계에 머물러 있어 전량 폐기되고 있는 것으로 조사
- 특히 동남아시아의 경우 전체 석탄회에 대한 재활용률이 30%미만이며, 베트남의 경우 아시아 제조업의 허브국가로 발돋움함과 동시에 그에 필요한 전력 수요를 감당하기 위해 화력발전을 중심으로 발전설비의 증설이 기획 중으로 환경적으로 이들의 재활용처 개발이 필수적
- 유동충보일러에서 발생하는 부산물인 고칼슘 비산회를 재활용한 연약지반 처리공법에 관한 연구는 경제 발전과 더불어 인프라 확충에도 열을 올리고 있어 연약지반의 개량 수요가 꾸준할 것으로 예상되는 베트남의 특성상, 본 과제는 고칼슘 비산회를 상용화 수준으로 도약시킬 수 있는 핵심 연구과제인 것으로 판단
- 연구범위를 재료에 국한시키지 않고 공법으로 개발하여 진행한다면 연약지반 개량 수요가 많은 베트남 특성상 즉시 사업화로 연계 가능

제3장 연구 수행 내용 및 성과

1. 연구수행 내용

- 베트남 고칼슘 비산회를 지반고화재로서 재활용하기 위한 본 연구는 베트남 현지 조사를 시작으로 국내의 유사재료를 사용한 실험이 우선 진행
- 화력발전소에서 발생하는 비산회의 특성상 산업폐기물로 분류되어 국외로 반출이 어렵기 때문인데, 국내 재료를 사용하여 매커니즘 분석 및 실험 통해 적정 배합비를 산정한 뒤 그 데이터를 바탕으로 베트남에서의 실험 진행
- 베트남에서의 실험은 예상치 못한 재료 물성차이로 인해 수차례 반복 수행되었으며, 베트남 내 재료적인 문제를 분석하고 이를 보완하여 베트남 내에서 제조가 가능한 고화재를 개발하고 시공장비의 개선을 통한 연약지반 개량 효율 향상연구 추진
- 이 후, 고화재 구성재료 중 고칼슘 비산회의 재활용률을 증대시키고 고화재의 일정한 성능 발현을 위해 비산회를 분리선별하여 불필요한 성분을 제거하고, 또 다른 주 구성 재료인 고로슬래그 수화 활성효과가 큰 재료를 복합 적용하여 고화재 제조 기술을 고도화



그림 3.1 연구 수행 흐름도

가. 베트남 현지 동향조사

1) 베트남 연약지반 분포 현황



그림 3.2 베트남 연약지반 분포 현황

- 베트남 남부, 북부지역의 해안은 주로 해성퇴적층으로 연약층심도가 20~50m에 이르며 기반암층까지는 80m 이상인 곳이 상당히 많이 분포
- 이러한 지역에 항만이나 도로건설시 안정성을 확보하기 위하여 연약지반 개량은 반드시 시공되어야 할 요소
- 본 연구에서는 베트남 연약지반 처리공법 개발에 앞서 베트남의 연약지반 분포 현황 및 특성 조사를 실시
- 베트남 연약지반 조사는 지리적으로 홍강 삼각주 지역, 중부 삼각주 지역, 메콩강 삼각주 지역 등 3개 지역으로 구분 하여 실시

가) 홍강 삼각주 지역

- 하노이 중심의 홍강(Hong river) 델타 지역은 베트남 남부 메콩 델타와 함께 베트남에서 가장 규모가 큰 점성토 퇴적지역 (퇴적 유역 : 길이 500 km, 폭 50~60km)
- 대부분 수로, 제방 등으로 구분된 농경지나 거주지역으로 폭이 100m 이상인 하천 존재하고 있으며 하노이-하이퐁 고속도로(105km)의 경우 표고차 $\pm 2.5\text{m}$ 이내
- 점성토층은 하성 또는 해성 퇴적으로 형성되어 있고, 유기질 흙, 모래 섞인 점토질 실트, 실트질 점토, 세립 또는 중립 모래, 굵은 모래 등으로 구성

표 3.1 홍강 삼각주 지역 연약지반

구분	출연 심도(m)	분포 두께(m)	특징
퇴적층1	0.0	1.7~2.0	• 건물 폐기물, 콘크리트 벽돌 잔해, 점토, 모래
퇴적층2	퇴적층1 하부	3.5~3.8	• 회갈색, 진갈색, 적갈색의 단단한 점토
퇴적층3	0.0	13.0~18.0	• 회갈색, 진갈색, 적갈색 점토 및 유기물 잔해 소성상태

나) 중부 삼각주 지역

- 중부 삼각주는 연안가에 위치하며 서쪽으로는 가파른 지형, 동쪽으로는 완만한 지형이고, 해안가 삼각주의 가장 좁은 너비는 50km 수준
- 중부 삼각주는 Thanh Hoa 지역, Vinh city 지역, 인근 해변지역 등 3개의 구역으로 나누어지며, 각 구역의 연약지반 특성은 표3.2, 3.3에 표기

(1) Thanh Hoa 지역

표 3.2 Thanh Hoa 지역 연약지반

구분	출연 심도(m)	분포 두께(m)	특징
매립층	0.0	약 2.0	• 자연 활동으로 인한 매립층
퇴적층1	0.0	2.0~2.3	• 갈색 모래 및 약간 단단한 점토
퇴적층2	퇴적층1 하부	최대 15.0	• 갈색 모래 및 단단한 점토

(2) Vinh city 지역

표 3.3 Vinh city 지역 연약지반

구분		출연 심도(m)	분포 두께(m)	특징
매립층	A	0.0	평균 7.5m	• 진회색, 황갈색의 세립질모래
	B	5.8~10.2	평균 2.0	• 진회색, 녹회색의 약간 단단한 점토
퇴적층1		7.6~8.8	평균 0.9	• 황갈색, 회백색, 녹회색의 세립질모래 압축상태
퇴적층 2	A	13.5	평균 1.1	• 회갈색의 약간 단단한 점토 및 소성상태
	B	15.7~23	약 1.0	• 녹회색, 회갈색의 약간 단단한 점토 및 소성상태
퇴적층3		20.6~21.4	평균 3.6	• 녹회색, 황갈색의 약간 단단~단단한 점토
퇴적층4		25.3~29.5	평균 3.1	• 녹회색, 황갈색, 회갈색의 단단한 점토

(3) 인근 해변 지역

- 인근 해변 지역의 토양은 대부분 해양모래로 이루어져 있고, 매립층 및 유기물층에서 깊이 별로 큰 모래입자가 분포

다) 메콩강 삼각주 지역

- 호치민이 위치한 메콩강 삼각주 지역은 대부분 늪지대와 해성층으로 구성되고, 짙은 회색, 갈색을 띠는 회색이며, 매우 연약하다. 다량의 유기물과 조개껍데기 조각을 함유하고 있으며 부분적으로 세립 모래층은 렌즈상이나 포켓 상태로 평균 17.5~25.0m의 두께로 분포

표 3.4 메콩강 삼각주 지역 연약지반

구분	출연 심도(m)	분포 두께(m)	특징
매립층	0.0	2.0~3.0	• 매립층 및 유기물층
퇴적층1	28.6~29.6	약 1.0	• 단단한 진회색 점토
퇴적층2	0.0	4.1~5.7	• 적갈색, 분홍색의 단단한 점토
퇴적층3	0.0	2.5~4.0	• 세립질 모래 및 황색의 조밀한 자갈
퇴적층4	0.0	약 12.4	• 황갈색, 적갈색, 회녹색의 단단한 점토
퇴적층5	0.0	-	• 회갈색의 약간 단단한 점토

2) 베트남의 CFBC 발전소 현황 조사

- 본 연구에서는 베트남 고칼슘 비산회의 발생량 및 처리현황에 대해 조사하기 위해 베트남의 CFBC발전소 현황을 조사
- 조사대상 발전소는 향후 비산회가 지속적으로 발생하고 접근성이 용이한 하노이와 호치민을 중심으로 선정
- 하노이 인근의 CFBC발전소는 Dam Ha Bac, Song Dong, Cao Ngan, Mao Khe 등 4개로 파악되었고, 호치민 인근에는 CFBC발전소가 없는 것으로 파악
- CFBC발전소가 아니더라도 비산회 중 CaO함량이 높은 고칼슘 비산회가 발생할 가능성이 있어 호치민 인근의 Duyen Hai, Long Phu 발전소에 대해서도 조사
- 비산회 발생량과 처리현황은 발전소 담당자와 인터뷰를 통해 조사하였으며, 화력발전소의 위치는 그림 3.3, 3.4 및 표 3.5에 표기



1) 베트남 화력발전소 위치도



2) 하노이 인근 CFBC발전소



3) 호치민 인근 화력발전소

그림 3.3 베트남 화력발전소 위치도



1) CaoNgan 발전소



2) MaoKhe 발전소



3) Duyen Hai 발전소



4) Long Phu 발전소

그림 3.4 베트남 CFBC발전소 방문 및 현황 파악 (계속)



5) SongDong 사일로



6) MaoKhe 사일로



7) MaoKhe 공업 배관식 수송



8) MaoKhe 적치장



9) 탱크로리



10) 비산회로 제조된 벽돌



11) 비산회 시료 채취



12) 채취된 비산회 시료

그림 3.4 베트남 CFBC발전소 방문 및 현황 파악 (계속)



13) Cam Pha Thermal Power Plant



14) Mong Doun Thermal Power Plant



15) Cao Ngan Thermal Power Plant



16) FECON(South)



17) HOABINH

그림 3.4 베트남 CFBC발전소 방문 및 현황 파악 (계속)



18) Cam Pha Thermal Power Plant 사일로



19) Cam Pha Thermal Power Plant 시료 채취



20) Mong Doung Thermal Power Plant 사일로



21) Mong Doung Thermal Power Plant 시료 채취



22) Cao Ngan Thermal Power Plant 사일로



23) Cao Ngan Thermal Power Plant 시료 채취



24) 호치민대학교 토목공학과



그림 3.4 베트남 CFBC발전소 방문 및 현황 파악

표 3.5 베트남 화력발전소 방문 현황

순번	화력발전소	방문날짜	주소	비고
1	DamHaBac Thermal Power Plant	2016.09.20	CôngTyTNHHMTVPhânĐạmV àHóaChấtHàBắc	CFBC발전소
2	SongDong Thermal Power Plant	2016.09.20	ThượngTrạch,BốTrạch,QuảngBì nh,ViệtNam	CFBC발전소
3	CaoNgan Thermal Power Plant	2016.09.21	Công Ty Nhiệt điện Cao Ngạn, Quán Triều, Tp. Thái Nguyên, Thái Nguyên	CFBC발전소
4	MaoKhe Thermal Power Plant	2016.09.22	Bình Khê commune, Đông Triều district, Quảng Ninh province, Vietnam	CFBC발전소
5	Duyen Hai Thermal Power Plant	2017.01.11	Xã Dân Thành, Huyện Duyên Hải, Tỉnh Trà Vinh	PC발전소
6	Long Phu Thermal Power Plant	2017.01.13	Huyện Long Phú, Tỉnh Sóc Trăng	PC발전소

표 3.6 베트남 화력발전소 조사 결과

발전소명	발전용량	미분탄 등급	미분탄 사용량 (ton/year)	비산회 발생량 (ton/year)	비산회의 탄소 함유량	비산회 처리현황
Dam Ha Bac	-	4A, 5A	1,000,000	120,000	15%	매립
Song Dong	110 MW × 2조	6B	800,000	216,000	12% 이하	매립
Cao Ngan	57.5MW × 2조	6B	600,000	129,600	18%	일부 판매
Mao Khe	220 MW × 2조	6B	300,000	-	3%	매립
Duyen Hai	-	6A, 6B	8,000,000	1,296,000	-	노천 적치 일부 판매
Long Phu	-	6A, 6B	-	-	2%	-

- 베트남 화력발전소의 비산회 발생량은 사용된 원료 석탄의 12~28% 수준으로 연간 120,000ton ~ 1,296,000ton, 발전소 별 배출량의 경우, 발전용량에 따라 발생량에 차이가 있고, 사용되는 원료의 종류와 발전소의 운전 기술에 따라 비산회의 품질에 차이

- 베트남 화력발전소에서 발생하는 비산회는 배출 후 사일로에 임시 저장되었다가 매립·적치 및 판매되고 있었으며, 발생한 비산회 대부분은 공압 배관을 통해 발전소 인근으로 수송되어 애시 매립장이나 노천에 매립·적치 중
- 비산회 판매는 인근 도시에서 접근성이 좋은 Cao Ngan발전소 및 Duyen Hai발전소에서 일부 이루어 졌으며 건축자재 제조의 목적으로 탱크로리를 통해 수송·판매 중, 연약지반 개량용으로 사용되는 경우는 없는 것으로 파악

3) 베트남 비산회 현황 및 시장전망

가) 베트남 비산회 현황

(1) 정제 비산회

- 정제된 비산회의 표준은 ASTM에 근거하여 만들어진 TCVN 기준이 존재
- TCVN 10302에 따르면 산화 칼슘의 함유량에 따라 C Type (산화 칼슘 10% 이상)과 F Type (산화 칼슘 10% 미만)으로 분류되며, 이는 ASTM의 산화 칼슘 5% 기준보다 높게 규정

표 3.7 비산회 관련 베트남 TCVN 규정

표준	용도
TCVN 6882, 2001	• 시멘트 무기질 첨가제
TCVN 8262, 2009	• 비산회의 화학적 분석 방법
TCVN 8825, 2011	• RCC(Roller Compacted Concrete)의 무기 충전재
TCVN 8826, 2011	• 콘크리트의 화학적 첨가제
TCVN 8827, 2011	• 콘크리트와 모르타르의 고활성 미네랄 첨가제
TCVN 10302, 2014	• 콘크리트와 모르타르, 시멘트의 비산회

- 정제 비산회의 활용처에 따라 a, b, c, d의 4가지 Type으로 구분

표 3.8 정제 비산회의 유형별 활용처

정제 비산회 유형	활용처
a Type	• 고강도 중량 콘크리트, 경량 콘크리트
b Type	• 경량콘크리트, 경량몰타르
c Type	• 벌집판 생산
d Type	• 특별한 조건의 콘크리트 구조물 강화

(2) 고화재용 비산회

- 향후 개발 및 보급될 베트남 고화재의 특징은 연약 지반에 적용된 사례가 많은 일본의 고화재 제품 특성과 유사할 것으로 예상
- 일본은 2000년 3월에 국토교통성 시행령 "시멘트 및 시멘트계 고화재의 지반 개량 사용 및 개량토 재사용에 대한 즉각적인 조치"에 따라, 개량토에서 6가 크롬이 토양환경기준치 (0.05mg/L)이하인 제품만 연약지반용으로 사용
- 성분에 따라 시멘트계 고화재, 석회계 고화재, 시멘트 석회 복합계 고화재로 분류

표 3.9 일본의 고화재 성분별 분류

구분	성분 특성
시멘트계 고화재	• 시멘트를 바탕으로 여러 유효성분을 첨가한 것
석회계 고화재	• 생석회를 50%이상 함유하고, 여러 유효성분을 첨가한 것
시멘트 석회 복합계 고화재	• 시멘트, 석회 두 성분을 복합적으로 사용 한 것

- 용도에 따라 일반 연약 지반용, 특수 토양용, 유기질 토양용, 화산지형용, 분진 억제형 등 제품이 세분화 되어있으며 다양

표 3.10 일본고화재 용도별 제품 분류

구분	용 도
연약지반용	• 연약지반 개량이나 수분이 많은 슬러지 (폐수 등) 처리
특수토양용	• 6가 크롬의 용출을 최대한 억제시킨 제품
유기질토양용	• 높은 유기질 토양을 위한 제품
화산지형용	• 화산재 질 점성토 등의 특수 토양에 적합한 제품
분진억제형	• 천층이나 노상 시공 시 발진이나 비산을 억제한 제품으로 도시 중심부나 과수원 인접 지역 등에 사용

나) 시장전망

- 현재 베트남 화력 발전소에서 부산물로서 생성되는 비산회는 시멘트 회사 등에서 활용되고 있으며, 정제된 비산회의 수요는 지속적으로 증가할 것으로 판단
- 하노이 인근 대형 발전소의 평균 비산회 발생비율(57%)과 비산회 재활용율(60%)를 고려하면, 2020년 베트남 정제 비산회 시장규모는 약 천만 톤 까지 성장할 것으로 예상

표 3.11 베트남 정제 비산회 시장 전망 (단위: 백만톤)

구분	2016	2017	2018	2019	2020
석탄회	17.2	19.8	22.7	26.1	30.0
비산회	9.8	11.3	13.0	14.9	17.1
정제 비산회	5.9	6.8	7.8	8.9	10.3

- 또한, 베트남 부총리령으로 발효된 No.1696-QD-TTg 는 발전소의 폐기물 방지에 관한 촉매로 작용하여 발효 시점을 전후하여 고화재 시장은 폭발적 성장이 예상

표 3.12 베트남 폐기물 관련 법안 (No.1696-QD-TTg)

개 요	• 전자재 생산을 촉진시키는 원재료로써 화력발전소의 부산물인 Ash, Slag, 석고의 처리에 관한 조항
목 적	• 화력발전소의 회(Ash), Slag, 석고의 처리 및 화학적 첨가물에 대한 기준 • 전자재관련 기술 규제에 관한 것으로써, 환경적인 오염을 줄이고, 폐기물 방지를 통한 토양 오염 방지용 전자재 개발을 위함
실시계획	• 발전소의 경우, 2020년 이전에 건축 자재를 생산하고 운영하는 자재의 표준, 기술 규정 및 Ash 처리 장비, 슬래그, 석고에 관한 투자 계획 • 2020년까지 화력발전소에서 발생하는 폐기물의 최대 보전 년한은 2년 수준으로 맞춰야 함
주요내용	• 발전소를 건설할 때, 기본 설계 단계에서 Ash, Slag, 석고에 관한 회수 계획 및 처리를 할수 있도록 설계할 것 • 건축 자재로 사용되는 Ash, 슬래그, 석고 및 완제품은 규제에 따라 재활용/재사용 등에 인센티브를 제공함 • 화력 발전소는 전자재의 원료로 활용되는 재, 석고 슬래그에 관한 설비 라인 등의 투자에 관한 책임이 있음

- 2018년에는 시멘트의 수요가 공급을 초과하게 되며 시멘트의 수요를 대체할 수 있는 제품의 필요성이 베트남 전체적으로 제기될 것이며, 특히 베트남 연약지반용 개량용 고화재는 현재 사용 중인 특수용도 시멘트를 대체 가능
- 시공 상에서 발생하는 시멘트 투입량과 고화재 투입량은 동일하므로 고화재 시장 규모는 시멘트 시장 규모를 예측하여 추정 가능하며 2018년에는 시멘트의 수요를 대체할 수 있는 제품으로써 고화재 시장은 본격적으로 형성될 것으로 예상

표 3.13 베트남 고화재 시장 전망 (단위: 백만톤)

구분	2016	2017	2018	2019	2020
시멘트 수요	70.0	77.0	85.3	94.2	105.0
시멘트 공급	75.0	78.8	82.7	86.8	91.2
(수요-공급) Gap	-5.0	-1.8	2.6	7.4	13.8
고화재 시장	-	-	2.6	7.4	13.8

4) 비산회 관련 시장 조사

가) 베트남 건설 시장

- 2017년 베트남 건설 시장 규모는 전년 대비 9.67% 성장한 약 US\$ 129억 달러가 될 것으로 전망, 이는 베트남 전체 GDP의 5.8%에 상당하는 수준
 - 인프라 시장 규모는 전체 건설 시장 규모의 28%에 상당하는 약 US\$ 34억 달러, 전년 대비 약 6.2% 성장 전망

표 3.14 베트남 건설시장 전망

(단위: 백만 달러)

연 도	2016(e)	2017(f)	2018(f)	2019(f)	2020(f)
전체 건설시장	11,308	12,960	14,884	16,667	18,657
- 전년대비 실질 성장률(%)	10.14	9.67	9.63	7.48	7.14
- GDP 대비 건설시장 점유율(%)	5.6	5.8	5.9	6.0	6.0
인프라 분야	3,117	3,446	3,867	4,263	4,692
- 전년대비 실질 성장률(%)	6.2	6.2	6.7	5.4	5.3

자료: BMI Research

- 베트남 교통부의 2015~2020년 수송·교통 개발전략계획에 따른 필요 개발비용 총액은 US\$ 480억 달러로, 하노이, 호치민 연결 구간 및 북-남 고속도로 건설에 약 US\$ 220억 달러 소요 예상
 - 수송 인프라 분야는 연평균 7% 이상의 가파른 성장이 예상됨. 2016년 기준 시장 규모

는 US\$ 22억 달러로 총 인프라 사업비의 68% 차지

- 수송 인프라 중에서는 도로·철도 등 육상교통 인프라가 70% 이상 차지

• 열악한 인프라 여건 및 인프라 개발 난항이 예상

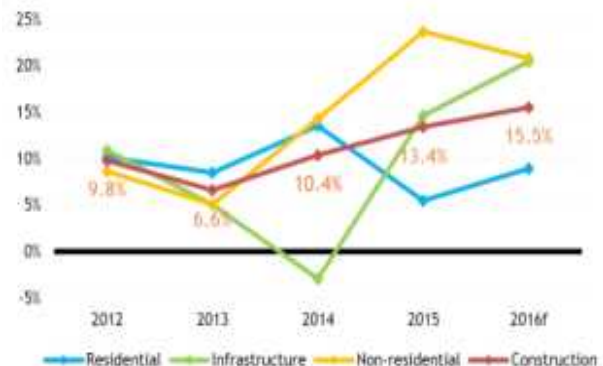
- WEF(세계경제포럼)이 발표한 2015년 글로벌경쟁력지수(GCI) 기준, 베트남의 인프라 여건은 세계 140개 국가 중 79위, ASEAN 회원국(미얀마 제외) 가운데에서는 6위를 차지하는 등 상당히 열악한 상태
- 특히, 시장개방과 대외교역 확대로 물동량이 증가하면서 도로, 철도, 항만 등의 교통 및 물류 인프라 부족이 심각한 상황
- 국가 소득증대로 ODA 자금수원 여건이 악화된 가운데, 최근에는 공공부채 규모 또한 재정 건전성을 위협하는 수준에 도달해 국가 주도 인프라 개발이 난항을 겪을 것으로 전망
- 2010년 베트남이 중간 소득국가로 격상됨에 따라 2017년 7월부로 베트남은 세계은행의 IDA(국제개발협회) 차관 공여대상국에서 이보다 우대조건이 낮은 IBRD(국제부흥개발은행) 차관 공여 대상국으로 이전됨에 따라 상환기간, 이자율 등 원조 조건이 불리
- 2016년 베트남의 GDP 대비 공공부채 규모는 63.7%로, 국회 설정 한도인 GDP 대비 65%에 근접

• 건설업 및 제조·가공업의 2차 산업 성장 견인차 역할

- 2017년 1~6월, 공업부문의 전년 동기 대비 성장률은 5.33%로, 예년(2015년 9.667%, 2016년 7.01%) 대비 성장세 둔화가 뚜렷하게 나타났음. 2011년 이후 가장 심각한 생산실적을 기록한 채광업이 주 원인
- 베트남의 상반기(1~6월) 채광업 생산량 증가율 추이: 2011년 2.82%→2012년 5.1%→2013년 2.05%→2014년 1.13%→2015년 8.48%→2016년 -2.25%→2017년(추정치) -8.2%
- 제조·가공업은 전년도(10.50%)와 비슷한 10.52%의 성장률을 기록했으며, 건설업도 전년 동기대비 8.50% 성장해 2017년 상반기 경제성장에 상당히 기여함



1) 베트남 건설시장의 분야별 비중



2) 베트남 건설시장의 분야별 성장률

그림 3.5 베트남 건설시장 현황

나) 베트남 레미콘 시장

- 콘크리트는 주로 현장 Batch Plant 생산(11Mm³), Ready Mixed(26Mm³) 및 Precast(7Mm³)로 구별되는데 현장 Batch Plant를 건립해서 운영하는 대형현장을 제외하고는 '15년 기준으로 전체 44.6Mm³ 중 Ready Mixed가 60% 정도를 차지(한국 레미콘 생산실적 150Mm³, 베트남의 5.7배)
- 베트남에는 대략 90여개 사의 레미콘 제조업체가 있으며 그 중 남부지역이 전체 레미콘 시장의 41%를 차지하고 있고 이중 Top 10 기업이 전체 시장의 44%를 차지 (주요 Top RMC players : The Gioi Nha (North & South), Song Da - Viet Duc (North), Le Phan (South), Hong Ha (South), Ha Thanh (North) and FTC (South))
- 레미콘 회사는 대부분 Bulk Cement를 시멘트 제조사로부터 직구입하여 레미콘을 생산 중
- 레미콘 기업은 크게 정부소유 회사, 외국 투자기업, 일반 사기업으로 구분되는데 정부 소유회사에는 DIC-Concrete, Song Da - Viet Duc, Hanoi Concrete 등으로 특성상 정부 발주 공사에 수주에 유리하며, 외국 투자기업은 LafargeHolcim, Sino Pacific, SCG, Yamaken, UNI EASTERN, Soam Vina 등이 해당되며 주로 고가 Brand 전략 사용 중, 일반 사기업은 The Gioi Nha, Le Phan, Hong Ha, FTC 등이 해당되며 사기업답게 효율적인 관리시스템과 유연한 대응이 장점

표 3.15 하노이 인근 레미콘 공장현황

번호	공장명	생산량	주소
1	TRANSPORT MATERIAL EQUIPMENT SUPPLY JOINT STOCK COMPANY	8,640m³/day	No 162 Khuat Duy Tien street, Thanh Xuan district, Hanoi, Vietnam
2	SUNGSHIN VINA CO., LTD	5,040m³/day	Lai Yen Industrial Zone, Hoai Duc, Ha Noi
3	SONG DA-VIET DUC INVESTMENT JOINT STOCK COMPANY	2,880m³/day	No 78 Bach Dang, Thanh Luong Ward, Hai Ba Trung district, HaNoi
4	LICOGI 12 JOINT STOCK COMPANY	1,680m³/day	Building Licogi12 - No 21 Dai Tu - Dai Kim - Hoang Mai - HaNoi
5	VINACONEX 39	정보 없음	Floor 12, Building Vinaconex 9, lot HH2, a municipality in Me Tri Ha, Pham Hung street, Tu Liem district, Hanoi
6	AN QUY HUNG CO., LTD (AQH)	2,280-2,880 m³/day	An Quy Hung Co., Ltd, Room P2-4, 31st Floor, SDU Building, Km10 Nguyen Trai Road, Thanh Xuan District, Ha Noi City
7	HANOI CONCRETE CONSTRUCTION JOINT - STOCK COMPANY	2,160-2,400 m³/day	Area 7, Duc Thang Ward, Bac Tu Liem district, Ha Noi
8	A&P GROUP	3,600m³/day	No 73 Trung Kinh, Trung Hoa, Cau Giay, Ha Noi
9	VIMECO	960-1,680 m³/day	Block E9, Pham Hung street, Trung Hoa, Cau Giay, Ha Noi
10	THINH LIET JOINT STOCK INVESTMENT AND CONCRETE COMPANY	정보 없음	1141 Giai phong, Thinh Liet precinct, Hoang Mai urban district, Ha Noi

표 3.16 호치민 인근 레미콘 공장현황

번호	공장명	생산량	주소
1	SAIGON-RDC	19,200m³/day	9th Floor, Central Park Bldg, 208 Nguyen Trai St., Pham Ngu
2	HUNGANH INTERNATIONAL	정보 없음	28 Mac Dinh Chi St, Ward Da Kao, District 1, HCMC
3	REMICON TRUONG THI (TTCons)	정보 없음	830/2 Su Van Hanh, Ward 13, District 10, HCMC
4	HONGHA SAIGON	정보 없음	100, D2m Street, Tang Nhon Phu A Ward, District 9, HCMC
5	SEN VIET	28m³/workshift	459 Su Van Hanh, Ward 12, District 10, HCMC
6	HOANG SO	2,880m³/day	199 Ma Lo, Ward Binh Tri Dong A, Binh Tan Di strict, HCMC
7	SAIGON MANUFACTURING & TRADING CORPORATION	1,500m³/day	Lot 6, Road E, Tan Tao IP, Binh Tan Dist., HCMC
8	PHAN VU GROUP	정보 없음	Unit A-Floor 16-Indochina Park Tower, 4 Nguyen Dinh Chieu, Ward Dakao, District 1, HCMC
9	LEPHAN CONSTRUCTION CO., LTD	2,160-3,840 m³/day	97 Nguyen Duy Duong, District 5, HCMC
10	MEKONG CONCRETE	2,400-3,120 m³/day	5, 12 street, Area 4, Linh Trung Ward, Thu Duc District, HCMC
11	VIET HAN CONCRETE	5,760m³/day	3 fl, MELODY 1 building, 422-424 Ung Van Khie m street, ward 25, Binh Thanh District, HCMC
12	Holcim (Vietnam) Ltd.	정보 없음	Fideco Tower, 9th & 10th Floors, 81-83-83B-85 Ham Nghi Street, District 1, HCMC

다) 베트남 시멘트 시장

- 2016년 베트남 시멘트 총 생산량은 7000만 톤으로 세계 5위를 기록(참고로 한국의 총 시멘트 생산량 '16년 5360만 톤)하고 있으며 대표적인 시멘트 기업은 국영기업인 베트남시멘트총공사(VICEM社, Ha Tien, But Son, Bim Son, Hoang Thach, Tam Diep에 공장 소유)
- 다국적기업과 베트남 현지기업과의 합작기업(Joint-Venture)인 Lafarge-Holcim社, Luks社, Chinfon社가 있으며, 기타 사기업이 나머지 시멘트 시장 점유
- 남부지역은 Ha Tien 1社와 Holcim社가 장악하고 있으며 북부와 중부지역에 Bim Son社, Hoang Thach社, But Son社, Chinfon社, Luks社가 위치
- 시멘트 장거리 운송은 경제적이지 않아, 대부분 현지에서 소비되며 북부와 중부에 석회암 채석장(limestone Quarry)이 많아 공급이 수월하지만 남부로 운송하기는 어려움 존재

표 3.17 베트남 시멘트 공장 현황

번호	공장명	생산량 (ton/year)	주소
1	BINH PHUOC CEMENT FACTORY	1,300,000	Thanh Binh Hamlet, Thanh Luong Commune, Binh Long Province
2	KIEN LUONG CEMENT FACTORY	900,000	Unit 80, Lo Bom Hamlet, Kien Luong Townlet, Kien Luong Dist., Kien Giang Province
3	CAM RANH GRINDING STATION	1,000,000	Hon Qui Village, Cam Thanh Dong Commune, Cam Ranh City, Khanh Hoa Province
4	THU DUC GRINDING STATION	1,800,000	Km 8, Ha Noi Highway, Truong Tho Ward, Dist. HCMC
5	LONG AN GRINDING STATION	500,000	Long Dinh Industrial Park, Can Duoc District Long An Province
6	PHU HUU GRINDING STATION	2,000,000	Group 8, Quarter 4, Phu Huu Ward, District 09, Ho Chi Minh City

- 석회석 부존특성에 따라 베트남 시멘트는 지역별 가격편차 발생, 남부지역의 경우 석회석 부존량이 없기 때문에 북부지역을 중심으로 시멘트 산업이 발전하였으며, 북부에 비해 상대적으로 높은 가격 형성
- 국가 인프라 확충 등의 지속적 수요 증가 예측으로 시멘트 업계는 공장을 증설하는 추세에 있으며, 2016년 초 설비과잉상태에서 가격덤프가 발생하여 지역별 가격이 전체적으로 하락하는 경향을 보였으나, 당해 5월 이후 안정적인 수요 공급으로 가격의 등락 없이 유지
- 베트남의 내수 시멘트 수요전망은 정부의 마스터 플랜에서 인프라 및 주거 개발 정책에 따라 2030년 까지 연간 5%씩 수요량이 증가할 것으로 전망, 국내 수요 뿐만 아니라 중국의 대기질 개선정책에 따른 shut-down제 등에 따른 수출 시장까지 고려하는 경우 수요 증가율은 더 높을 것으로 예상
- 따라서, 현재 이어지는 시멘트 공급 과잉 현상은 2030년에 이르러 완화될 것으로 전망되며, 이에 따라 시멘트 가격의 변동 폭은 적을 것으로 예상

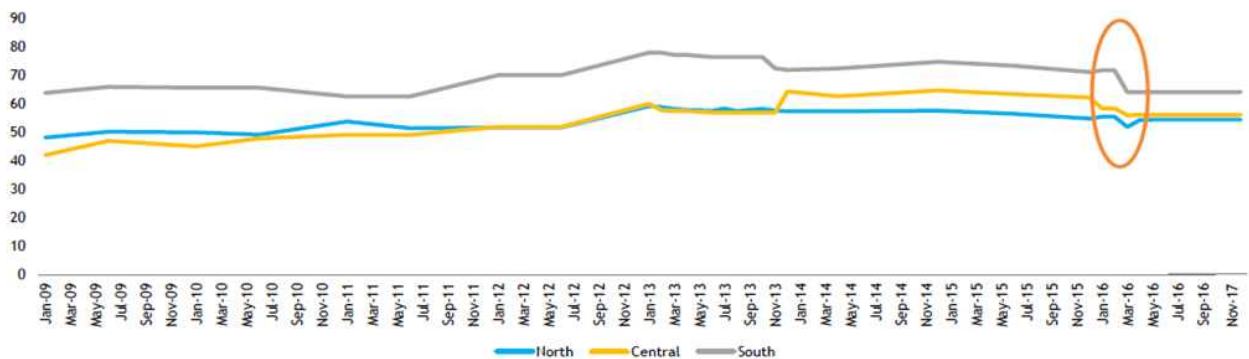


그림 3.6 베트남 지역별 시멘트 가격 동향 (단위: USD/톤, 출처: StoxPlus)

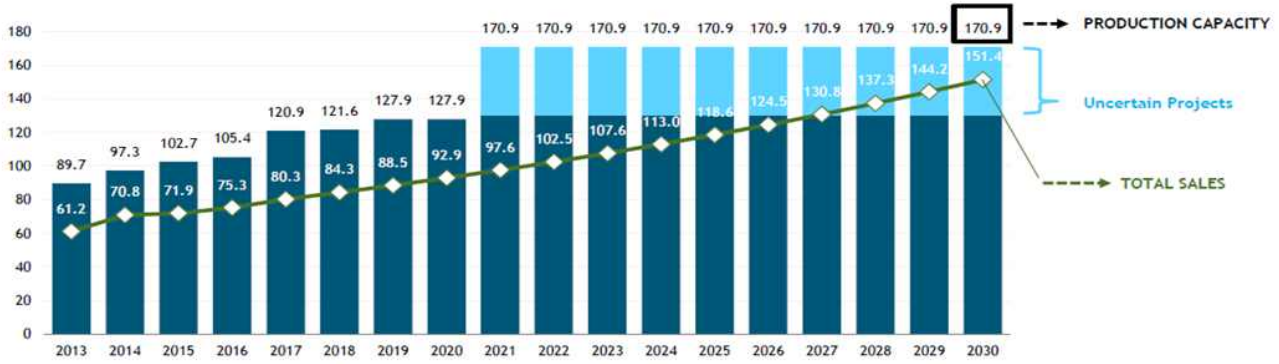


그림 3.7 베트남 시멘트 공급 및 수요 전망 (단위: Mt, 출처: StoxPlus)

라) 관련제품 유통 구조

(1) 유통 특성

- 베트남에서 플라이애쉬를 포함한 시멘트산업의 유통구조는 공식 대리점을 통하여 형성되고 있다. 일부 브랜드에 한하여 개별거래를 시도하기도 하지만 유통량에 제한이 있어 대리점체제로 운영하는 것이 가장 큰 특징
- 대부분의 유통업체들과 대리점이 시멘트 제조사와 10년, 15년 장기계약 관계를 유지하고 있으며 이들의 고객군은 1)건자재상, 2)건설현장, 3)일반 소비자, 4)건설업체로 구분
- 호치민시 인근에서 플라이애쉬를 공급하는 주요 대리점은 3개소로 다음과 같다. 이들 대리점이 발전소로부터 애쉬를 조달-운송-공급

표 3.18 비산회 공급 주요 대리점

회사명	주소	공급지	담당자	연락처
Nam Đại Sơn 수출수입 주식회사	113/22 Võ Duy Ninh Phường 22 Q.Bình Thạnh, TP.HCM	Tro bay nguồn Duyên Hải- Trà Vinh	Vũ Văn Nghị	0983 451 031
Nhật Trường Bình Thuận MTV 유한회사	Thôn Thắng Lợi, Xã Hàm Thắng, H. Hàm Thuận Bắc, Bình Thuận	Tro bay nguồn Nhiệt Điện Vĩnh Tân	Mr Kỳ	0909 004 779
MÊ KÔNG 투자 주식회사	232-234 Huỳnh Tấn Phát, P. Tân Thuận Tây, Q.7, Tp. HCM	Tro bay nguồn Formosa Nhơn Trạch Đồng Nai	Ms. Vân	0938 56 55 89

(2) 통관 절차 및 운송

- 베트남 통관 절차는 다른 나라와 동일하게 수입 신고와 심사에서 시작되며, 물품검사, 관세 등의 납부를 거쳐 물품을 반입하는 것으로 수속이 종결
- 수입 신고/심사 → 물품 검사 → 관세 납부 → 물품 반입
- 통관 소요 기간은 통상 5~7일 정도

표 3.19 통관 불가능 품목

순번	품 목 명
1	Limestone and additives in the Planning of minerals for producing cement
2	Building stone from the mines in South-East and South-West provinces.
3	Stone blocks
4	Salted sand
5	Building sand (natural sand)
6	Gravel
7	Feldspar
8	Clay

(3) 물류 특성

- 베트남의 지형, 교통 인프라 여건 상, 시멘트의 운반/취급에 있어 가장 큰 문제점은 운송비 문제를 꼽을 수 있으며, 이는 시멘트 가격 인상의 주요 원인
- 베트남은 긴 해안선과 강이 많지만 수로운송을 위한 인프라가 갖추어져 있지 않으며, 시멘트는 날씨에 영향을 받기 때문에 전용 취급/보관 시설, 선박과 환적에 필요한 항구가 필요
- 전국/지역별 수송을 위해서 도로운송이 주로 이루어지고 있으나, 대량 주문 처리를 위한 수송 차량을 확보 곤란
- VICEM社시의 경우 시멘트 물류에 특화된 대형 물류 업체를 활용하여 물량처리

표 3.20 Hai Phong VICEM 社 사례

구분	내용
공장의 입지여건	• 시멘트 공장이 심해 항만 인근에 위치하여 내륙 수로 운송에 유리한 조건을 갖추었음
문제점	• Son La, Hoa Binh, Lai Chau 등의 북부 산악 지방에 시멘트를 운송할 경우, 낮은 강 수위 때문에 내륙 수로운송에 어려움을 겪었음 • 따라서, 내륙 수로운송 비용의 2배 이상의 비용을 지불하면서 도로 운송을 선택하게 됨 • 철송의 경우, 도로 운송의 50% 수준에 불과하나, 운송 Mode 의 변경 (창고→철도역→철도역→고객)으로 인한 추가 부대비용이 발생함으로써, 총 비용은 도로 운송비용보다 경쟁력을 갖추기 어려움
결론	• 차량 수배의 어려움 등에 따른 물류비용의 상승은 시멘트 가격인상에 반영 • 다양한 운송 Mode를 통한 시멘트 물류를 취급하였으나, 베트남의 지형적/인프라적 한계에 따라 현재는 도로 운송 위주로 시멘트를 공급하고 있음

표 3.21 Vinh Phouc 社 사례

구분	내용											
회사개요	• '00년 부터 VICEM 시멘트 및 클링커 물류 서비스 중 • 건자재 분야 운송에 강점을 보유하고 있으며, 주요 고객사는 VIETTEL, Song Da, VICEM 임 • 소규모 운송회사에서 시작하여 초창기 물량 (30,000 톤/월 규모)에서 현재 300,000 ~ 400,000 톤/월 규모로 10배 이상 성장 • 년도별 물량 규모 (천 톤)											
	<table><tr><td>‘10년</td><td>‘11년</td><td>‘12년</td><td>‘13년</td></tr><tr><td>1,800</td><td>2,100</td><td>2,600</td><td>3,000</td></tr></table>				‘10년	‘11년	‘12년	‘13년	1,800	2,100	2,600	3,000
	‘10년	‘11년	‘12년	‘13년								
1,800	2,100	2,600	3,000									
내륙수로 운송역량	• Clinker : 400,000 ~500,000 톤 / 월 • Cement : 120,000 톤 / 월											
	보유 선박											
		• Group pushes barges, self-propelled, sea-river S1 with the tonnage of 500 tons to 3,000 tons / barges										
도로 운송역량	수송 물량											
	• Clinker: from 5,000 tons to 10,000 tons / day • Cement kinds: 4,000 to 5,000 tons / day											
	보유 차량	덤프트럭		트레일러								
												

5) 비산회 처리관련 법규 및 지침 조사

가) 베트남 정부의 비산회 처리규정

- 베트남은 2014년 Hoang Trung Hai 부총리 지침(No.1696/QD-TTg) 및 2017년 Trinh Dinh Dung 부총리 지침(No.452/QD-TTg)에 따라 2020년까지 비산회에 대한 재활용 및 처리시설 설치 로드맵을 제시
- 화력발전소 내 저장소에는 비산회를 2년만 보관 가능
- 현재 대부분의 베트남 내 화력발전소는 비산회를 저장할 공간이 부족하여 처리곤란

표 3.22 베트남 정부의 비산회 처리규정

구분	번호	일자	주요 내용
부총리 지침	1696/QĐ-TTg	2014.09.23	- 화력발전소의 비산회, 고로슬래그를 건설재료로 재활용하는 방법을 제시 - 화력발전소는 2020년 전까지 건설재료의 기준에 맞는 비산회·고로슬래그를 처리하는 기술 및 장비의 건설투자방안(또는 협력투자)을 계획하고 운영해야 함 - 화력발전소의 비산회·고로슬래그처리 기술을 적극적으로 개발 연구
부총리 지침	452/QĐ-TTg	2017.04.12	- 화력발전소의 비산회, 고로슬래그를 건설재료 및 건설공사에 활용 및 처리하는 제안을 촉진 2020년까지 비산회 및 고로슬래그(56백만톤) 중 52%를 처리 및 사용하여 건설재료 및 건설공사에 활용 - 건설재료 및 건설공사에 활용하기 위한 비산회 처리기술에 대한 연구촉진(2019.06 까지)
법령	24a/2016/ND-CP	2016.04.05	- 건설재료관리에 대한 법령 - 비산회 및 고로슬래그 처리 및 사용하는 프로젝트에 대한 국가의 투자지원을 우대 - 화력발전소는 비산회 처리규정을 준수해야하며 건설재료로 재활용 해야함

나) 비산회 활용 기준

- 베트남은 콘크리트, 모르타르, 시멘트에 사용하는 비산회에 대한 국가기준(TCVN)을 2014 년도에 마련
- 비산회는 화학성분 및 사용목적에 따라 구분, 화학성분에 따른 분류의 경우 일반 비산회 (F)와 고칼슘 비산회(F)로 구분되며, 그 품질에 따라 사용목적의 제한하여 a부터 d등급까지 구분

표 3.23 비산회의 분류 및 활용분야

구 분		내 용
화학생분에 따른 분류	저칼슘 비산회(F)	• 화력발전소에서 얻은 CaO 함유율이 10% 이하인 비산회
	고칼슘 비산회(C)	• 화력발전소에서 얻은 CaO 함유율이 10% 이상인 비산회
사용목적에 따른 분류	a	• 경량 및 중량 철근 콘크리트 제품 생산에 사용
	b	• 경량 및 중량 무근 콘크리트 및 모르타르 제품 생산에 사용
	c	• 벌집 콘크리트 제품 생산에 사용
	d	• 특정 조건에서 경량 및 중량 철근 콘크리트 및 모르타르 제품 생산에 사용

표 3.24 콘크리트 및 모르타르에 사용하는 비산회의 품질지표

지표	비산회 종류	사용분야			
		a	b	c	d
1. SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ 의 총합량 중량% 이상	F	70			
	C	45			
2. 황의 함유량(SO ₃ 로 환산한 황의 화 합물) 중량 % 이하	F	3	5	3	3
	C	5	5	6	3
3. 자유 산화칼슘 CaO 의 함유량, 중량 % 이하	F	－	－	－	－
	C	2	4	4	2
4. 구울 때 없어진 함유량, 중량 % 이하(미연탄)	F	12	15	8*	5*
	C	5	9	7	5
5. 해치한 알칼리 함유량(용해가능) 중량 % 이하	F	1.5			
	C				
6. 함수비, 중량 % 이하	F	3			
	C				
7. 0.045mm체 잔류량, 중량 % 이하	F	25	34	40	18
	C				
8. 비교시료에 요구하는 물의 양 % 이하	F	105	105	105	105
	C				
9. 이온 Cl ⁻ 함유량, 중량 % 이하	F	0.1	－	－	0.1
	C				
10. 사용비산회의 자연 방사능 활성도 Aeff(Bq/kg) 이하		－			
－ 공공시설 및 주택, 이하		370			
－ 공업시설, 일반도 및 국도, 이하		740			

* Antraxit 석탄을 태울 때, 구울 때 없어진 함유량과 비산회 사용가능:-c 분야 는 12% 이하, d 분야는 10% 이하 (약정에 따라 또는 실험결과 의거)

- 콘크리트 및 모르타르에 사용하는 비산회에 대한 품질지표는 다음 표 3.24와 같으며, 구성 성분, 함수비, 분말도에 따라 등급 구분, 시멘트에 사용하는 비산회의 경우 제품의 품질에 영향을 미칠 수 있는 미연탄분이나 Free-CaO를 제한하고 있으며, 자세한 지표는 표 3.25에 표기

표 3.25 시멘트에 사용하는 비산회의 품질지표

지표	정도	
	저칼슘 비산회(F)	고칼슘 비산회(C)
1. 구울 때 없어진 함유량, 중량 % 이하 (미연탄)	8*	6
2. SO ₃ 의 함유량, 중량 % 이하	3.5	5
3. 산화 칼슘 CaO 의 함유량, 중량 % 이하	1.0	3.0
4. 해치한 알칼리 함유량(용해가능), 중량 % 이하	1.5	
5. 함수비, 중량 % 이하	1.0	
6. 비교시료의 28일 이후 시멘트에 대한 강도 활성 지수, % 이상	75	
7. 사용비산회의 자연 방사능 활성도 Aeff, (Bq/kg) 이하	370	

* Antraxit 석탄을 태울 때, 구울 때 없어진 함유량과 비산회의 미연탄 함유량 12% 이하까지 사용가능 (약정에 따라 또는 실험결과 의거)

6) 베트남 연약지반 처리공법

가) 연약지반 개량공법 사례조사

- 베트남 남부, 북부지역의 해안은 주로 해성퇴적층으로 연약층심도가 20~50m에 이르며 기반암층까지는 80m 이상인 곳이 상당히 많이 분포하고 있다. 이러한 지역에 항만이나 도로 건설시 사용성을 확보하기 위하여 연약지반 개량은 반드시 시공되어야 할 요소
- 주로 적용되는 연약지반 개량공법은 PVD+Preloading, Sand Drain+Preloading, Sand Compaction Pile, Deep Cement Mixing, PVD+Vacuum+Preloading으로 조사되었으며, 한국과 유사하게 PVD+Preloading 공법이 가장 일반적으로 사용 중
- 최근에는 교대접속부의 부동침하 발생사례가 심각한 사회문제로 대두되어 교대접속부 또는 Off Shore Revetment 구역에서는 DCM공법, Piled Embankment 공법 적용이 증가 추세
- 베트남지역에서 시공되고 있는 주요 프로젝트별 연약지반 개량공법을 정리하여 표 3.26에 표기

표 3.26 주요 프로젝트별 연약지반 개량공법

구분	적용방법	허용잔류침하량 (cm)	배수재길이 (m)	배수재간격 (m)	성토고 (m)	방치기간 (일)
CaiMep International Terminal	PVD+PL	50(2yr), 75(2~50yr) 125(50yr)	33~38	0.9~1.3	8~12	180~400
	Vacuum+ PL	"	"	0.9	7.2	180 (Pumping)
Posco Port	PVD+PL	Road:20	28~36	1.25	5.7~7.5	150
	Pile Cap	Yard:30	Pile 직경 : 300mm, 간격 : 2m, G/T 20t 2겹			
CaiMep ThiVai International Port	PVD+PL	총침하량의 20%이하	40~45	1.5	5.3~8.6	120
Gemalink International Terminal	PVD+PL	두지점 거리의 1%이내	45~49	1.0~1.4	6.0~7.3	180
DaNang New Town	PVD+PL	도로:10, 아파트:20, 골프장:30	17.5~34	0.8~1.5	3.0~8.5	180
하노이-하이 퐁 고속도로 7공구	PVD,SD PD,SCP	교대:10,BOX:20, 일반구간:30	10.5~40.5	1.2~2.5	2.5~10.5	180

- 표 3.27은 베트남 TAN VU 지역에서 수행한 도로건설 중 연약지반 처리방법을 상대적으로 비교

표 3.27 TAN VU 지역의 연약지반 처리방법

작업 항목 설명	단위	양	단위가격	총액(VND)
SD를 통한 연약지반 개선				483,212,916,84
샌드 드레인 공법, 직경 0.4m	m	529,66	164,644	87,205,596
모래를 통한 제방건설(95%압축도)	m³	405,48	541,700	219,648,708
직물 토목용 섬유(200kN/m)	m²	783,24	46,357	36,308,435
침하 예방을 위해 모래를 통한 제방건설	m³	546,20	256,408	140,050,178
PVD를 통한 연약지반 개선				404,828,872,53
연직 배수재(PVD)	m	1,165,25	7,571	8,821,552
모래를 통한 제방건설(95%압축도)	m³	405,48	541,700	219,648,708
직물 토목용 섬유(200kN/m)	m²	783,24	46,357	36,308,435
침하 예방을 위해 모래를 통한 제방건설	m³	546,20	256,408	140,050,178
CDM을 통한 연약지반 개선				91,208,357,86
심층 혼합 처리공법 파일D800 시멘트 포함정도 260kg/m³	m	647,36	393,753	254,899,923
직물 토목용 섬유(200kN/m)	m²	783,24	46,357	36,308,435

나) 진공압밀공법

- 진공압밀공법의 경우, 최근 들어 베트남 내에서도 몇몇 도로 현장에 사용된 실적이 있고, 적용성 또한 우수한 것으로 보고되어, 공사비 증가를 최소화할 수 있는 대안으로 적극 검토
- 이 공법은 PVD를 활용한 선행하중 재하공법과 같은 이론에서 출발하지만, 추가 성토에 의한 과재 하중 대신 공기 차단용 멤브레인을 부설하던지 타설된 각 PVD에 유연성 있는 튜브를 연결해 지중에 진공압을 유지시켜, 대기압의 작용을 통해 압밀을 촉진시키는 방식으로, 이 공법의 가장 큰 장점은, 압밀촉진을 위한 과도한 상재하중을 줄일 수 있게 되고 이러한 성토하중의 저감은 측방유동 발생을 최소화할 수 있으며, 공기단축 가능

다) 심층혼합처리공법

- 심층 혼합처리공법은 상부의 과재 하중(성토체 하중, 포장 하중 및 교통 하중 등)을 연약 지반상에 구체모양으로 형성된 소일-시멘트 칼럼을 통해 지반하부로 전달하는 방식으로, 도로 공사에 따른 추가 하중으로 인한 하부 연약 점성토 지반에서의 과잉간극수압 발생을 최대한 억제하고 이를 통해 발생 압밀 침하량을 최소화 할 수 있으며, 공사기간 또한 여성에 의한 방치기간 등이 전혀 필요치 않아 전체 공사기간을 획기적으로 단축시킬 수 있는 공법
- 또한, 도로 성토공사에 따른 주변 지반에의 영향을 최소화 할 수 있고, 2차 압밀 침하량 발생에 따른 하자 발생도 최소화할 수 있으며, 최근에는 저치환율의 부상형(Floating Type)으로 설계가 이루어짐에 따라 공사비 증가분도 최소화 할 수 있는 대안으로 최근에 향만, 도로, 산업단지에 다수 적용
- 심층혼합처리공법은 크게 두 가지 요소로 이루어진다. 하나는 상부 성토하중을 하부 지반으로 전달하는 역할을 하는 소일-시멘트 칼럼(Soil-Cement Column)과 상부 하중을 소일-시멘트 칼럼으로 균등히 전달하는 역할을 하는 Soil-Cement Mixture인 안정화 매트(Stabilized Mat)로 구성

라) 설계기준

- 연약지반 개량 설계는 베트남 설계기준인 22TCN 262-2000(Standard for Investigation and Design of Embankment on Soft Ground)의 고속도로 기준에 따라 허용잔류침하량을 교대부근 10cm 이하, 콘크리트 수로 또는 지하통로와 같은 구조물 부근은 20cm 이하, 일반도로구간은 30cm 이하로 정하였다. 그러나 이와 같은 허용 잔류침하량은 시공후의 1차 압밀의 잔류침하량으로, 2차 압밀침하량을 고려되지 않음
- 현재 베트남 설계기준은 이 부분이 명확하지 않은 상태이고, 실제 시공 후 공용 중에는 2차 압밀이 발생하므로, 허용 잔류침하량에 대한 정의를 명확히 할 필요가 있다. 한편, 지반 개량에 따른 사면안정 검토시 안전율은 성토 중에는 1.2이상 공용 시에는 1.4이상으로 규정

나. 베트남 고칼슘 비산회 특성 분석

1) 개요

- 본 연구에서는 베트남에서 발생하는 비산회가 고화재로서 활용이 적합한지 파악하기 위해 베트남 북부지역 6개 소재의 CFBC 발전소에서 직접 비산회를 채취 한 후 물리/화학적 특성을 분석하고, 과업에 적합한 시료를 선정

2) 분석 방법

- 베트남 발전소에서 비산회는 분말도, 입도, 비중, 체분석, SEM 등의 물리적 특성 분석 및 pH, 강열감량, XRF, Free-CaO 함량 분석 등 화학적 특성 분석을 실시

표 3.28 특성별 분석 방법

구분		분석방법
물리적 특성	입도	• 입도는 공인시험기관인 한국세라믹기술원에 의뢰하여 분석하였으며, 이용 장비는 Particle Size Analyser로 측정범위는 $0.02\mu\text{m} \sim 2000\mu\text{m}$ 이며, 광물 입자의 평균입도 및 입자크기 분포를 측정
	SEM	• 표면 형상 및 입형을 관찰하기 위해 전계방사주사현미경(FE-SEM) 분석
화학적 특성	pH	• pH meter를 이용하여 폐기물공정시험기준에 준하여 측정
	강열감량	• KS L 5405의 비산회의 강열감량 시험방법을 이용하여 측정
	XRF	• 화학조성을 분석하기 위하여 각 성분 원소들을 파장에 따라 분리하는 파장 분산형 X-선 형광분석기(WD-XRF)를 이용하여 Vacuum/Oxide mode에서 분석
	Free-CaO	• Free-CaO 함량을 ASTM C 114 방법으로 측정하였으며, 공인시험기관인 한국세라믹기술원에 의뢰하여 분석을 실시

- 비산회의 물리적 특성은 주로 입도에 관한 것으로 시멘트 및 콘크리트 혼화재로 비산회가 사용될 때 그 반응성에 영향을 미치는 인자들이 일정 수준 이상이 되도록 ASTM, KS 및 TCVN 등에서 규정
- 비산회의 화학적 특성은 기본 화학적 물성 외 시멘트 및 콘크리트 혼화재로 사용 시 혼합재료에 악영향을 끼칠 수 있는 것들을 일정수준 이하가 되도록 규정
- 강열감량의 경우 비산회에 포함되어 있는 미연탄소 함량을 제한하기 위한 것으로, 미연탄소는 콘크리트에 사용되는 감수제 및 유동화제 등 혼화제를 흡착하여 그 성능을 저하시키고 검은색을 띠는 입자 특성으로 콘크리트 외관에 영향
- Free-CaO는 물과 접촉하였을 때 반응성이 빠르기 때문에 콘크리트 유동성을 저하시키며 그 수화물인 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 생성 시 약 2배에 달하는 체적팽창을 하여 콘크리트 균열 및 pop-out 현상을 초래하기 때문에 그 함량을 제한하고 있으며, 발전 시 탈황공정에서 석회질원료를 사용하는 CFBC 및 열병합 발전소에서 발생하는 비산회가 이 함량이 높음

- 이러한 특성은 일반 콘크리트 구조물의 열화를 발생시키기 때문에 콘크리트 혼화재로의 비산화 품질관리를 위해서는 배제되어야 할 항목이지만, 지반 개량용 고화재로서는 비소성 무기결합재의 초기 반응성을 높이고, 팽창에 의한 구속압을 높여 고화재 제작에는 유리한 성분으로 활용 가능



그림 3.8 Free-CaO 함량에 따른 비산화의 활용

3) 분석 결과

- 베트남 발전소에서 채취한 6종의 비산화는 각각 Mao Khe 발전소(이하 MK), Cao Ngan 발전소(이하 CN), Dam Ha Bac 발전소(이하 DHB), Song Dong 발전소(이하 SD), Cam Pha(이하 CP), Mong DOUNG(이하 MD)에서 채취
- 국내 화력발전소의 경우 비산화는 배출 즉시 시설 내 사일로나 벌크 트럭 등의 밀폐용 시설에 저장되거나 재활용처리시설에 운반되나, 베트남 비산화는 발생 후 발전소 내 노상에 적치되는 등 저장상태가 불량하여 풍화되거나 이물질이 섞인 경우도 존재



1) Cao Ngan 발전소



2) Song Dong 발전소

그림 3.9 노상 적치된 베트남 비산화

가) 베트남 비산회의 물리적 특성

- 베트남 발전소에서 채취한 비산회 6종의 물리적 특성을 파악하기 위해 입도 및 SEM 분석 진행

(1) 입도분석

- 채취된 비산회의 입도를 Master sizer를 통해 분석한 결과, 입도 범위는 $1\mu\text{m}$ ~ $120\mu\text{m}$ 에 분포하고 있었으며 평균입도는 MK $23.24\mu\text{m}$, DHB $30.14\mu\text{m}$, SD $35.53\mu\text{m}$, CN $31.19\mu\text{m}$, CP $27.11\mu\text{m}$, MD $22.14\mu\text{m}$ 로 분석
- 모든 시료가 $10\mu\text{m}$, $50\mu\text{m}$ 부분에서 쌍봉형태를 띠는 곡선을 나타냈고 SD의 경우 $50\mu\text{m}$ 부분의 입도분포가 두드러지는 편이었다. 또한, 대부분의 시료가 $45\mu\text{m}$ 이하의 양이 50%를 상회하는 것으로 나타나 비산회의 물리적 성질에 해당하는 $45\mu\text{m}$ 체 이하 잔분에 대한 기준치인 40%를 만족시키는 것을 예측 가능

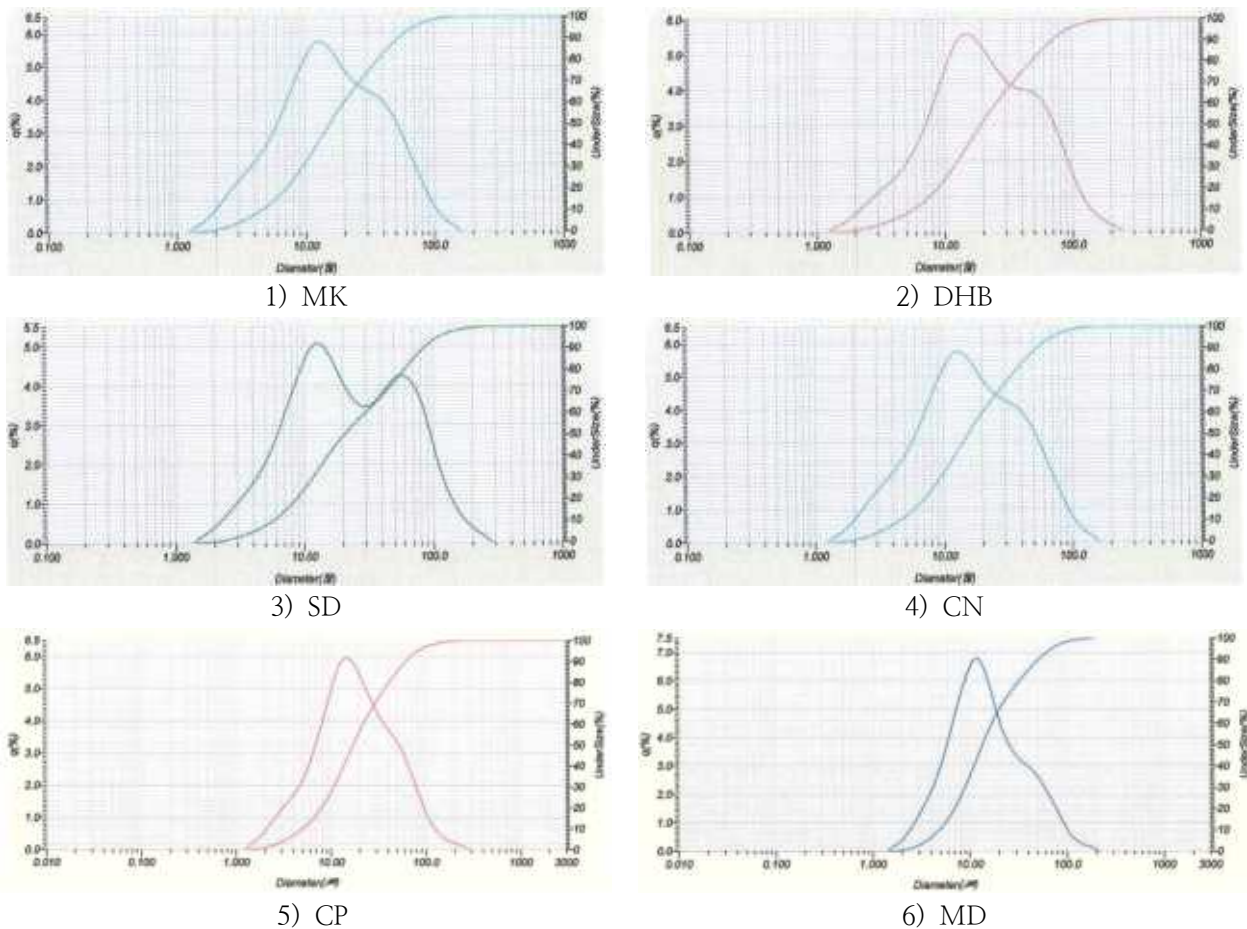


그림 3.10 베트남 비산회 입도분석(Particle Size Analyser)결과

(2) SEM 분석

- 일반 비산회의 입자 형태는 구형을 띠고 있어 시멘트나 콘크리트의 혼화재로 활용할 경우 시멘트의 유동성을 좋게 하는 역할을 한다고 알려져 있으나, CFBC 혹은 열병합 발전소의 비산회는 보일러 내 연소 온도가 900°C 이하로 낮아 부정형의 형태를 하고 있으며 이에 따라 시멘트 콘크리트 혼화재에 사용 시 유동성 증대효과를 기대 어려움

- 베트남 비산회의 SEM 분석 결과 국내 CFBC 및 열병합 발전소의 비산회와 같이 부정형의 입자를 가진 것으로 관찰되었으며, CN의 경우 침상의 단사결정(Monoclinic)이 관찰되었는데 이는 비산회에 포함된 석고성분인 것으로 추정



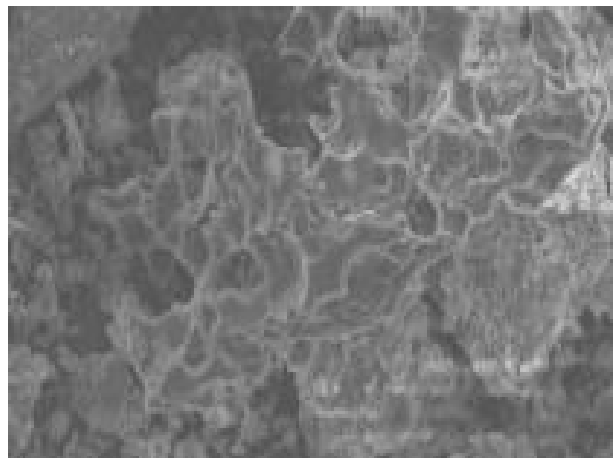
1) Mao Khe 10,000배 확대



2) Dam Ha Bac 5,000배 확대



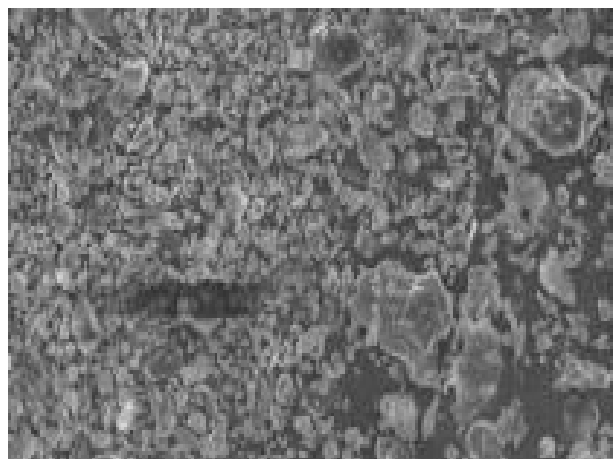
3) Cao Ngan 10,000배 확대



4) Cam Pha 1,000배 확대



5) Song Dong 5,000배 확대



6) Mong Doung 1,000배 확대

그림 3.11 비산회별 SEM 이미지

나) 베트남 비산회의 화학적 특성

- 아래의 표 3.29는 베트남 비산회의 주요 화학성분 분석 결과(XRF, vacuum oxide-mode)를 국내의 PC(pulverized coal combustion)발전소 및 열병합발전소 비산회의 화학적 특성과 비교하여 표기
- PC 발전소는 화염에 의한 직접적인 연소방법을 통해 미분탄만을 연소시키며, 열병합발전소와 CFBC발전소에서는 보일러 유동층 내에서 연소재료들의 간접연소 방식을 사용하기 때문에 석탄(주로 저급탄)이외에도 우드펠릿 등 다양한 연료를 사용
- 탄소가 주성분인 석탄이외에 다양한 연료를 사용하게 되면 발전소 배기가스에도 다양한 성분이 함유되기 때문에 배기가스 내 SO_x 및 NO_x제어를 위해 탈황공정이 추가적으로 필요하게 되며 탈황 시 석회질 원료를 주로 사용하기 때문에 배출되는 비산회의 성분에 다양한 칼슘화합물이 생성될 가능성이 존재
- 이때 주로 생성되는 칼슘화합물은 석고(CaSO₄)로서, 비산회의 재활용이 어려운 경우 비산회에 포함된 석고성분을 재활용하기 위해 별도의 공정을 통해 부산석고를 선별해 낸 뒤 이것을 재활용 하는 경우도 존재
- 베트남 비산회의 화학조성 분석결과 CN을 제외한 지역의 비산회는 주성분이 SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃로 PC발전소에서 발생하는 비산회와 비슷한 화학조성을 나타내 별도의 공정을 통해 석고가 분리선별 된 것으로 판단되며 이는 SEM분석결과와도 일치하였다. 또한, CN의 경우 CaO 함량과 SO₃함량이 다른 비산회에 비해 높아 석고성분이 많이 함유되어 있음을 유추 가능
- 따라서 CN을 제외한 5종의 베트남 비산회는 본 과업에서 활용하고자 하는 고칼슘 비산회로 구분하기 어렵고 시멘트 및 콘크리트 혼화재 외의 용도로 사용되는 저급 비산회로 분류할 수 있을 것으로 판단되었으며, CN 비산회를 바탕으로 이후 과업 내 연구를 진행

표 3.29 비산회 주요 화학성분 분석결과

비산회 종류		Chemical composition (wt%)				LOI (wt%)
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	
국내 비산회	PC발전소	59.87	21.93	3.59	0.76	3.21
	열병합발전소	35.30	13.80	31.80	4.60	12.80
베트남	MK	51.81	29.23	2.37	1.76	10.55
	DHB	50.74	29.82	1.58	2.59	35.20
	SD	52.44	30.31	1.25	1.55	20.90
CFBC 비산회	CN	32.19	14.93	20.86	16.67	15.87
	CP	52.28	29.17	3.66	1.52	10.33
	MD	53.72	29.41	2.25	1.57	12.03

다. 1차 실험

1) 고화재(Paste) 실험

- 본 연구에서 베트남 비산회를 원료로 적용하고자 하는 고화재 제조 기술은 무기결합재 제조기술을 활용한 연약지반 개량용 고화재 개발 기술로, 기존의 석회계나 시멘트계의 고화재와 달리 별도의 소성과정 없이 순환자원을 주원료로 하는 기술로서 고로슬래그 및 비산회의 잠재수경성 및 포졸란 반응 활성화를 통해 지반을 개량 및 고화시키는 기술
- 본 기술은 재활용이 미흡한 순환자원을 활용한 친환경 지반 고화재로, 연약지반과 반응하여 단시간 내에 안정한 경화체를 형성시키고 토양이나, 지하수, 해수 등의 자연환경을 2차 오염시키지 않는 제품으로 기존의 기술인 순환자원의 소량 단순 물리적 치환에 의한 원가 절감 및 증량재 개념이 아닌 자극제의 활성화 메커니즘을 이용한 화학적 결합 (Geo-Polymerization, 포졸란 반응 유도, Free-CaO에 의한 팽창효과 등)을 유도하여 기존 고화재의 특성과 차이
- 이러한 비산회의 활용 가능성을 파악하기 위해 산업폐기물로 분류되어 국내에서 수급이 어려운 베트남 고칼슘 비산회를 대신하여 그와 성상이 유사한 국내 발생 고칼슘 비산회를 사용해 예비 실험을 진행
- 고칼슘 비산회가 무기결합재 제조 기술을 활용한 연약지반 개량용 고화재의 원료로 적합한지를 평가하기 위한 실험으로 먼저 연약지반과 혼합되어 사용될 결합재의 강도 시험특성을 평가하고자 함

가) 사용재료

- 베트남 비산회 분석결과, CN비산회가 고칼슘 비산회로서 활용이 가능할 것으로 판단되었으며, 본 실험에서는 국내 열병합 발전소에서 발생하는 비산회중 원료로 저급유연탄과 고형 연료를 사용하는 S사의 비산회가 CN의 특성과 가장 유사하여 해당 비산회를 실험재료로 사용
- 바인더에서 강도형성에 가장 큰 역할을 하게 되는 것은 고로슬래그로서 국내에 유통되고 있는 3종(분말도 4,000~6,000 $\mu\text{m}^2/\text{g}$) 고로슬래그를 사용하였으며 그 화학조성은 아래 표에 표기

표 3.30 고로슬래그의 화학조성

Chemical composition (wt%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O
31.60	12.60	0.50	47.40	2.68	0.80	2.93	0.19

- 석고의 종류는 매우 풍부하며 그 분류도 결합수량별, 형상·결정상태별, 성인(成因)별, 생성년대별, 가소온도별, 용도별 등으로 구분

- 석고는 약 200℃의 저온소성으로 수경성을 갖는 반수석고를 얻을 수 있기 때문에 석회와 더불어 가장 오래된 무기계 접합재의 하나로서 사용되어져 왔으며, 화학적으로 황산칼슘(CaSO_4)으로 조성되었으며 결합수의 많고 적음에 따라 이수석고 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 반수석고 $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$, 무수석고 CaSO_4 로 분류, 천연석고는 일반적으로 이수석고이며 안정하고 넓은 형태의 광상으로 존재, 형상·결정상태별로는 섬유석고, 설화석고, 점토질 석고, 석고 사, 괴상석고, 경석고 등으로 구분, 공업용 재료의 천연석고 경우에는 괴상석고가 주로 이용되며 순도가 높은 것은 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 를 99% 정도 함유, 무수석고는 천연적으로도 존재하지만 그리 흔치 않으며, 반수석고는 이수석고를 소성하여 3/2의 결합수를 증발시켜 제조한 것으로 건축재료 등 다방면에 이용
- 천연석고는 석회석과는 달리 지구상에 보편적으로 존재하지 않는데 중동·유럽에는 광상이 풍부하지만 아시아에는 일본, 인도 및 중국의 일부 지역에서만 산출, 화학석고는 각종 화학공업의 부산물로 조성된 것으로 주성분은 이수석고이며 대표적인 것으로는 인산석고와 배연탈황석고
- 이수석고는 가소조건을 변화시키면 성질이 다른 석고 변화, 따라서 가소온도, 시간, 속도 등 조건을 가미하여 생성물의 성질을 개변시켜 거기에 각종 생성물을 혼합하여 응결성상 혹은 각종 성질을 달리하는 석고 수급 가능
- 천연석고(Natural Gypsum)나 이수석고(Dihydrate, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)가 높은 온도에서 가열되면 탈수반응에 의해 무수석고(Anhydrite, CaSO_4)로의 전이가 일어나며, 역으로 액상 중에서 수화 반응에 의하여 이수석고로 전이
- 시멘트계에 있어서 석고는 주로 알루미늄산3칼슘(C_3A , $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)과 반응에 의해 생성되는 에트링가이트에 의해 응결을 조절하는 작용
- 석고의 응결조절 효과 메커니즘은 C_3A 의 입자표면에 에트링가이트의 층이 형성됨으로써 이 층이 C_3A 의 다음 수화를 지연시켜 시멘트의 응결이 주로 칼슘 실리케이트들(C_3S , C_2S)의 수화에 의해 응결지연 즉, 에트링가이트의 생성은 시멘트의 주요한 수경성 화합물인 C-S-H겔의 생성을 촉진
- 또한, 시멘트 매트릭스에 있어서 에트링가이트는 시멘트의 수화반응 속도와 에트링가이트계 수화물의 생성시기의 시간적 조화와 중요한 관련이 있으며, 또한 시멘트 조성에 있어서 $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SO}_3$ 3성분 중 각각의 성분 함량 비에 의한 특성의 변화에도 중요한 역할 수행, 이러한 에트링가이트의 반응특성에 따라 무수석고를 혼입한 시멘트는 성분의 조정과 에트링가이트의 생성시기의 조절에 의해서 속경성 시멘트, 팽창시멘트, 무수축재, 고강도시멘트로 구분

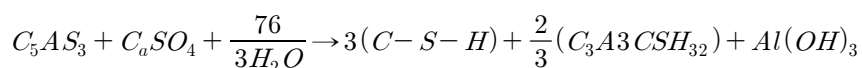
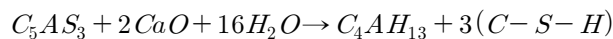
- 본 연구에서는 이러한 석고의 특성을 이용하여 국내에서 발생하는 부산 석고의 한 종류와 국내 열병합 발전소에서 발생하는 비산회를 조합하여 제작한 황산염 자극제를 연약지반 개량용 무기결합재를 개발하기 위한 고로슬래그의 활성화제로 활용, 본 실험에서 활용한 황산염 자극제의 화학조성은 아래와 같으며, 비중은 2.6, 강열감량은 4.4, Free-CaO 함량은 11.6로 분석

표 3.31 황산염 자극제의 화학조성

Chemical composition (wt%)							
SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	SO ₃	Na ₂ O
1.45	0.52	0.46	72.50	1.62	0.20	22.4	0.01

나) 이론적 배경

- 고로슬래그는 고로에서 배출 즉시 물로 급랭시켜 비정질로 전환시켜 잠재수경물질로 활용하는데, 급랭 시 방출되는 열량만큼 높은 에너지를 보유
- 고로슬래그가 물과 접촉하면 그 입자 표면에서 Ca²⁺이온이 용출되며 치밀한 산성피막을 형성하여 물의 침투를 억제하기 때문에 수화재료로서 활용하기 위해서는 산성피막을 제거할 수 있는 자극물질이 필요하며 그렇기 때문에 잠재수경물질이라는 표현을 사용
- 고로슬래그가 물과 접촉할 때 수산화칼슘과 같은 자극제가 존재하면 고로슬래그의 불규칙적 쇄상결합이 절단되면서 슬래그 망상구조체 내부의 Ca²⁺, Mg²⁺, Al³⁺등의 이온이 용출
- 이 때, 용출된 이온들은 대응하는 수화물을 생성하여 강도증진에 기여하게 되며, 이때 생성되는 수화물은 자극제 종류에 상이할 수 있지만 모두 칼슘수화물(C-S-H, 대표조성은 C₃S₂H₃)
- 한 예로 NaOH를 자극물질로 사용하는 경우 C-S-H, C₄AH₁₃ 및 C₂ASH₈ 수화물이 주로 생성되며 Ca(OH)₂를 자극제로 사용하면 C-S-H, C₄AH₁₃ 은 생성되지만 C₂ASH₈은 생성되지 않음
- 또한 석고(CaSO₄)계열을 자극제로 사용하면 C-S-H, C₃A·3CS·H₃₂ 및 수산화알루미늄이 생성되고, CaSO₄ 및 Ca(OH)₂를 혼합사용하면 Ettringite(Ca₆Al₂(SO₄)₃(OH)₁₂·26H₂O) 및 수산화알루미늄이 생성되며 이들의 반응식은 다음과 같음



- 고로슬래그는 수화반응에서 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 생성되지 않기 때문에, 자극제 물질의 첨가는 필수적이다. 이러한 자극제로서는 Caustic alkali, Non-silicate weak acidic salt, Aluminates, Silicates, Aluminosilicates, Non-Silicate string acid salts 등이 있으며, 비교적 구하기 쉬운 NaOH , KOH , $\text{CaSO}_4 + \text{Ca}(\text{OH})_2$ 등을 주로 사용

다) 실험방법 및 결과

- 페이스트 실험은 재료의 혼합비율에 따라 분체계 재료를 먼저 혼합한 후 물을 첨가하여 2차 혼합을 거쳐 $5\text{cm} \times 5\text{cm} \times 5\text{cm}$ 크기의 몰드에 성형하고, 24시간 후 탈형, 이후 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ 환경에서 습윤양생을 거쳐 3, 7, 28일 재령에 압축강도 측정 진행
- 고로슬래그-석고 자극반응을 유도하기 위해 고로슬래그와 황산염 자극제 비율은 1:1로 고정시키고 비산회의 혼입률을 10%씩 늘려가면서 강도발현특성을 파악
- 실험 배합과 그에 따라 제작된 공시체를 3, 7, 28일 재령에서 압축강도를 측정한 결과는 아래 표 및 그림에 표기

표 3.32 실험 배합 및 재령별 압축강도 시험 결과

NO.	고화재 조성비(wt%)				$q_u(\text{MPa})$		
	고칼슘 비산회	고로슬래그	황산염 자극제	OPC	3일 강도	7일 강도	28일 강도
1	100	—	—	—	0.22	0.36	0.97
2	90	—	—	10	0.37	0.78	2.66
3	80	5	5	10	0.45	1.14	4.16
4	70	10	10	10	0.65	1.44	4.96
5	60	15	15	10	0.96	2.15	5.80
6	50	20	20	10	1.29	3.12	7.04
7	40	25	25	10	1.73	3.84	7.19
8	30	30	30	10	2.35	4.75	7.55
9	20	35	35	10	2.65	5.59	8.88
10	10	40	40	10	3.06	6.75	10.38

- 비산회를 100% 활용한 시험체의 경우 28일 강도가 1Mpa에 미치지 못하는 값을 나타냈으나, 경화체를 형성하는 수준의 자경성을 가져 비산회에 포함된 석고 및 수산화칼슘의 반응성을 확인 가능
- 비산회에 고로슬래그, 황산염자극제, 보통 포틀랜드 시멘트(OPC)를 혼합하여 제조한 시험체의 경우 비산회의 사용량이 감소하고 고로슬래그의 사용량이 증가할수록 강도발현이 높아지는 경향을 확인

- 이는 고로슬래그의 수화가 공시체의 강도에 가장 큰 영향을 미치는 요인임을 의미하며 비산화 및 황산염 자극제가 고로슬래그의 수경성 활성화에 기여함을 확인

2) 고화토 실험

- 연약지반에 주로 포함되어 있는 점토 성분은 일반적으로 그 입자가 매우 가늘고 수분을 많이 흡수할 수 있기 때문에 고화재와 혼합되었을 때 고화재의 강도발현을 방해하며, 특히 유기질 성분이 많이 포함되어 있을수록 강도발현을 방해하는 효과가 큰 것으로 알려짐
- 따라서, 연약지반 개량공사의 경우 현장시험을 진행하기 전에 개량대상 지반의 흙을 직접 사용하여 고화토 실험을 선행한 후 실험결과를 바탕으로 현장시험 배합비를 산정하는 것이 일반적으로 본 실험도 그러한 일환으로 현장시험시공이 이루어질 대상 지반의 연약지반 토사를 사용하여 고화토 실험을 진행
- 토사는 액성한계 및 소성한계를 고려하여 여러 가지 등급으로 나뉘며, 이는 흙의 통일분류법(USCS, Unified soil classification system)에 따라 분류
- 채취한 토사의 기본 물성을 파악한 결과 자연상태에서의 함수비는 39.1%, 비중은 2.679, 액성한계 34.6%, 소성한계 22.8%로 분석되었으며, 이에 따른 흙의 분류는 CL(압축성이 낮은 무기질의 점토질토)로 구분

표 3.33 흙의 통일 분류법(USCS)

Major division		Group Symbols	Typical names
Fine grained soils [50% or more passing #200 sieve]	Silts and clays LL 50% or less	ML	Inorganic silts of low plasticity
		CL	Inorganic clays of low to medium plasticity
		OL	Organic silts of low plasticity
	Silts and clays LL greater than 50%	MH	Inorganic silts of high plasticity
		CH	Inorganic clays of high plasticity
		OH	Organic clays of medium of high plasticity

표 3.34 사용 토사의 기본 물성

자연함수비 (%)	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	흙의 분류 (USCS)
39.1	2.679	34.6	22.8	CL

가) 실험방법

- 실험에 사용하기 위해 채취한 토사는 일정한 함수비 조건으로 유지하기 위해 완전 건조 후 중량대비 절반의 물을 혼합하여 함수비 50%로 적용

- 고화재 사용량은 250kg/m^3 , 고화재 물비는 0.7로 고정, 계량된 고화재 분체는 물을 혼합하여 슬러리 상태로 만든 후 함수비가 함수비가 조절된 토사와 혼합하여 혼합토를 제작
- 제작된 혼합토는 $\phi 5\text{cm} \times L 10\text{cm}$ 원통형 몰드에 다져 넣고 표면을 매끄럽게 정리한 후 아크릴 덮개로 막아 양생기간 동안 매끄러운 표면을 유지하도록 하여 강도측정 시 공시체에 걸리는 편심을 최소화하고, 필름으로 밀봉하여 수분의 증발을 방지
- 양생기간 별 강도 측정 시 까지 공시체는 밀봉상태를 유지하며 상온($20 \pm 3^\circ\text{C}$)에서 양생하였으며, 강도 측정 직전 탈형하여 일축압축강도를 측정



1) 토사 혼합



2) 고화재 슬러리 혼합
그림 3.12 혼합토 제작



3) 혼합토 제작



1) 몰드 준비 및 공시체 제작



2) 표면 정리
그림 3.13 공시체 제작



3) 공시체 완성



1) 공시체 양생

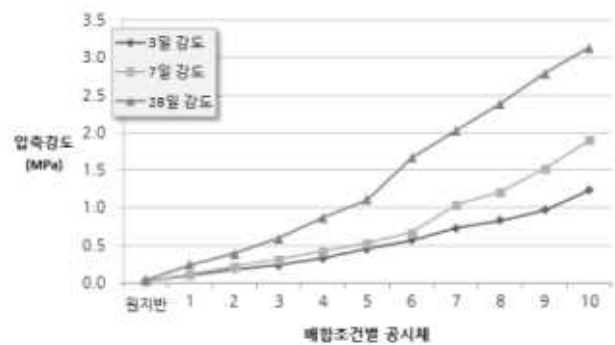
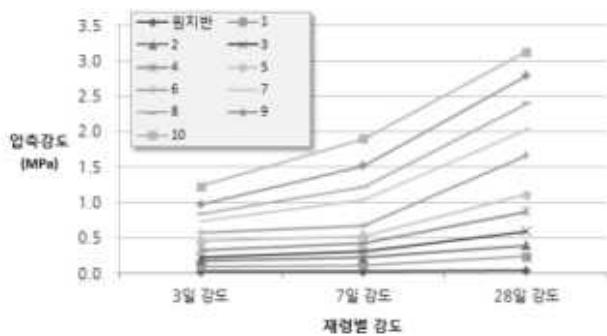


2) 시료 추출

그림 3.14 공시체 양생 및 시료추출

나) 실험결과

- 3, 7, 28일 양생일 별 일축압축시험 결과는 아래 그래프 및 표와 같다. 고화재 시험과 유사하게 비산회의 혼입량이 감소함에 따라 공시체의 강도는 증가하였으며 고화재로서 비산회만 사용한 시험체도 강도증진 효과가 있었다. 또한, 7번 배합부터 목표강도인 2MPa를 상회
- 양생일 대비 조건별 강도 증가비율을 검토한 결과, 재령 3일에서 7일, 28일까지 비산회 양이 적을수록 크게 나타나는 경향이 있으나, 6번과 7번 조건에서 증가율이 가장 낮음



1) 재령별 일축압축강도

2) 배합조건에 따른 일축압축강도

그림 3.15 일축압축강도 시험 결과

표 3.35 고화재 조성비 및 고화토 일축압축강도 측정 결과

NO.	고화재 조성비(wt%)				q _u (MPa)											
	고칼슘 비산회	고로 슬래그	황산염 자극제	OPC	3일강도				7일강도				28일강도			
					1	2	3	평균	1	2	3	평균	1	2	3	평균
원지반	—	—	—	—	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.04	0.04
1	100	—	—	—	0.10	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.11	0.11	0.25	0.22	0.25	0.24
2	90	—	—	10	0.18	0.17	0.18	0.18	0.22	0.22	0.22	0.22	0.35	0.39	0.42	0.39
3	80	5	5	10	0.24	0.23	0.22	0.23	0.30	0.31	0.31	0.31	0.51	0.64	0.62	0.59
4	70	10	10	10	0.34	0.32	0.32	0.33	0.46	0.40	0.39	0.42	0.82	0.85	0.95	0.87
5	60	15	15	10	0.39	0.48	0.48	0.45	0.57	0.52	0.49	0.53	1.10	1.08	1.15	1.11
6	50	20	20	10	0.58	0.58	0.56	0.57	0.67	0.74	0.60	0.67	1.74	1.68	1.59	1.67
7	40	25	25	10	0.74	0.71	0.75	0.73	0.96	1.17	0.98	1.04	2.12	1.96	2.01	2.03
8	30	30	30	10	0.87	0.69	0.93	0.83	1.18	1.23	1.23	1.21	2.42	2.33	2.44	2.39
9	20	35	35	10	0.97	0.93	1.01	0.97	1.55	1.43	1.58	1.52	2.73	2.62	3.02	2.79
10	10	40	40	10	1.32	1.14	1.23	1.23	1.93	1.83	1.95	1.90	2.66	3.56	3.17	3.13

3) 현장시험시공

- 실내 고화토 실험 결과를 토대로 개발 고화재의 현장 적용성 평가 실시를 위하여 국내 시흥시에 위치한 주택지구 조성공사 부지 일부구간에 시험시공을 수행

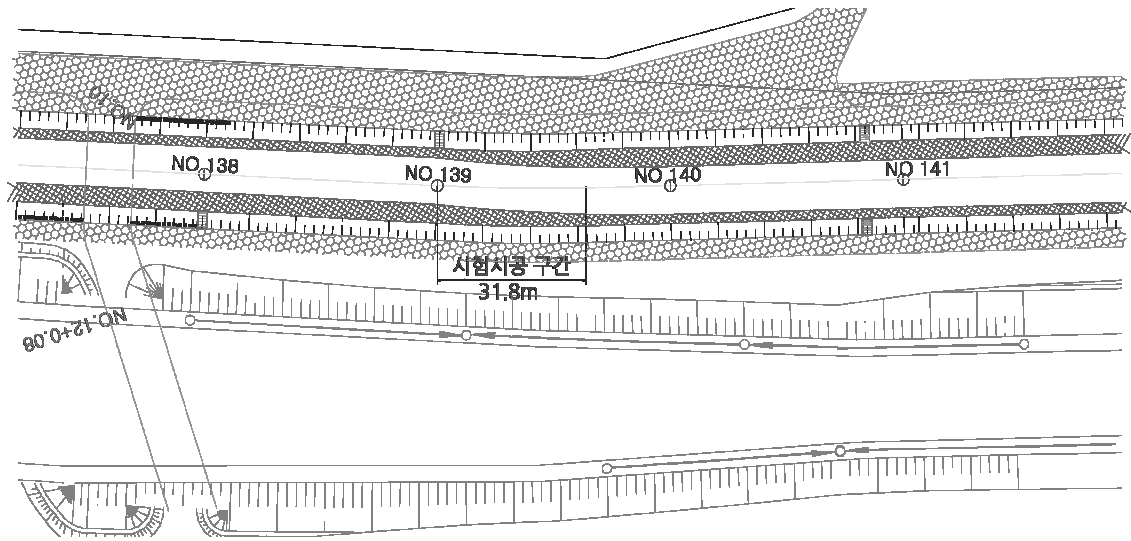


1) 시험시공 현장 위치

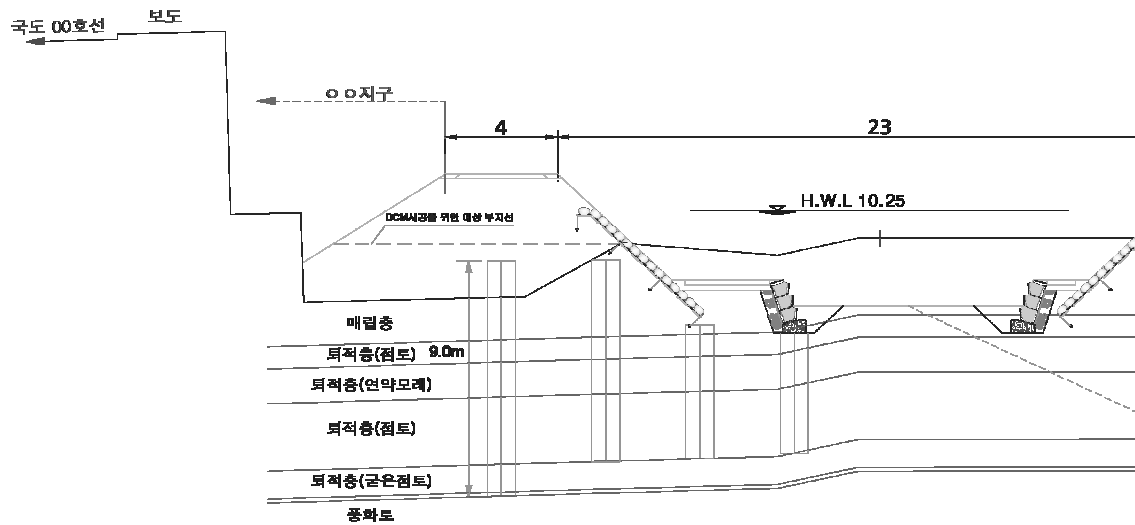


2) 시험시공 현장 전경

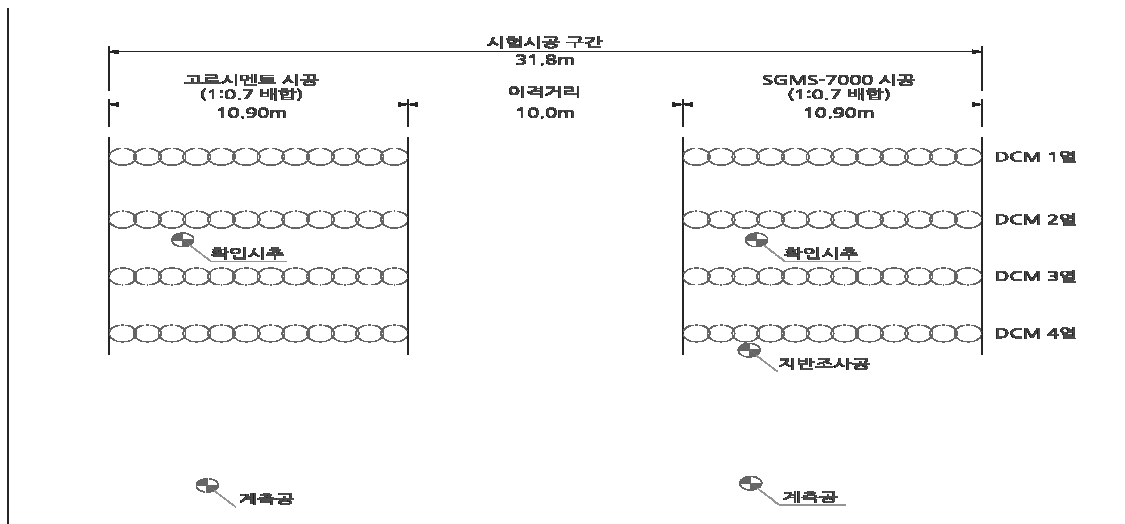
그림 3.16 시험시공 현장



1) 시험시공 위치도



2) 시험시공계획 단면도



3) 시험시공계획 평면도

그림 3.17 시험시공 계획도

- 시험시공 기준은 연약지반 처리 공법으로 적용된 지방서의 기준과 동일한 조건으로 수행
- 시험시공 구간은 31.8m로 본 연구로 개발된 적용 구간 6공×4열=24공, 일반 시멘트 적용 구간 6공×4열=24공 적용

가) 지반조사

- 지층의 구성상태, 지질 구조, 지하수 분포 상황을 파악하기 위해 조사부지 내 1개소에 시추 조사를 실시
- 시추조사 결과, 아래표와 같이 조사지역은 선캠브리아기 흑운모편암을 기반암으로 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암, 연암순으로 분포

표 3.36 시추조사 결과

지층분류	심 도 (GL.-m)	층후 (m)	구성상태	N 치 (TCR/RQD)
매립층	0.0 ~ 2.0	2.0	자갈섞인 실트질 모래	3/30
퇴적층(A)	2.0 ~ 6.9	4.9	점토질 실트	5/30~7/30
퇴적층(B)	6.9 ~ 7.5	0.6	자갈질 모래	12/30
풍화토	7.5 ~ 11.5	4.0	실트질 모래	50/27~50/14
풍화암	11.5 ~ 16.5	5.0	암편섞인 실트질 모래	50/9~50/3
연암	16.5 ~ 17.5	1.0	편암	(90/25)

- 시추조사와 병행하여 원위치의 연경, 구성성분 특성 파악을 위해 한국산업규격(KS F 2307)에 규정된 방법에 따라 1.0m 간격으로 표준관입시험을 실시
- 표준관입시험 결과 N치는 50/9~50/3(회/cm)로 매우조밀한 상대밀도를 보임
- 퇴적층(A) 5/30~7/30(회/cm)로 보통견고한 연경도를 보이고, 퇴적층(B)는 12/30(회/cm)로 보통조밀한 상대밀도를 풍화토층 50/27~50/14(회/cm), 풍화암층 50/9~50/3/(회/cm)로 매우조밀한 상대밀도를 보임

표 3.37 표준관입시험 결과

공변 \ 심도(m)	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	SPT (회)
	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	
BH-1	3/30	5/30	6/30	7/30	6/30	6/30	12/30	50/27	16
	50/20	50/17	50/14	50/9	50/7	50/4	50/3	50/3	

- 작업 종료 후 지하수위 측정결과, GL-3.2m 심도에 분포

표 3.38 지하수위 측정 결과

공번	고도 (EL.m)	시추심도 (GL.-m)	지하수위 (GL.-m)	비고
BH-1	-	17.5	3.2	퇴적층

나) 시험시공

- 시험시공 기준은 연약지반처리 공법으로 적용된 지방서의 기준과 동일한 조건에서 수행하였다. 공사 구간은 31.8m로 상기 개발 고화재 적용구간 6공×4열=24공, 일반 시멘트 적용구간 6공×4열=24공으로 시공하여 강도 특성을 비교
- 본 공사에 적용된 공법은 DCM(Deep Cement Mixing) 공법으로 시멘트 및 고화재와 물을 혼합한 밀크를 교반기를 이용하여 원지반의 흙과 교반시켜 지반 내에 개량체를 형성시켜 지반을 개량하는 것으로 개량효과가 확실하고 공기가 짧으며 신뢰성이 높음
- 물:고화재 배합비는 0.7:1.0을 적용하였으며 개발고화재의 경우 상기 실내 고화토 실험에서 28일 재령에 2.0MPa 이상을 만족시킨 7번 배합을 적용

표 3.39 고화재 배합조건

고화재 조성비(wt%)				28일강도(MPa)			
고칼슘비산화	고로슬래그	황산염 자극제	OPC	Case 1	Case 2	Case 3	평균
40	25	25	10	2.12	1.96	2.01	2.03

표 3.40 고화재의 사용량 산출

구 분	산 출 내 용
개발 고화재	$207.348\text{m}^3 \times 250\text{kg} \times 1.03 = 53,392\text{kg}$
보통 시멘트	$207.348\text{m}^3 \times 250\text{kg} \times 1.03 = 53,392\text{kg}$

표 3.41 시공순서

시공단계	수행 내용
장비 이동 및 조정	• 이동 시 전도방지 철판사용 및 지반을 0.0으로 System 조정
공작공 굴착	• Rod를 수직으로 하고 교반기를 회전하여 공작공 저면까지 굴착
개량공 굴착 및 주입	• 시멘트 현탁액을 주입하며 개량심도까지 굴착
선단고화	• 약 1.0m를 서서히 상승·하강하며 교반
개량공 인발 및 주입	• 교반날개를 들어 올리며 주입 교반
D100mm 파이프 삽입	• D100mm×2.0m 파이프를 회수하여 공시체 확보 및 일축압축 강도 시험



1) 장비 이동 및 조정



2) 공작공 굴착



3) 개량공 굴착 및 주입



4) 선단고화



5) 개량공 인발 및 주입



6) D100mm 파이프삽입



7) 향타기 및 굴착기



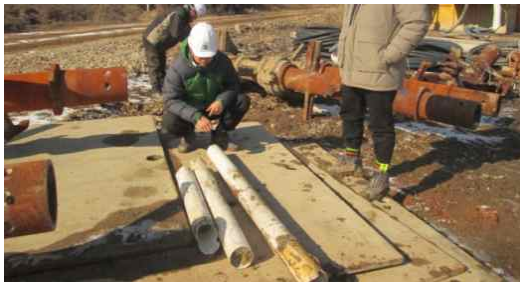
8) 고화재 배합기

그림 3.18 시험시공 순서 및 사용장비

표 3.42 품질관리 사항

구분	시공관리 사항	검측 사항
시공 위치 확인	기준측점은 광파기 또는 GPS에 의해 측량(20m × 20m)이내의 측점은 줄자를 이용하여 측량후 지반에 Marking	기준 측점 검측 (GPS or 광파기)
투입 유량 확인	- 각 공에 대한 시멘트 현탁액 주입량 - 굴진기를 굴착 System에 의하여 표시되는 모니터를 통하여 실시간 관리	- 굴진기 굴착 System에 저장된 Data를 그래프화한 문서로 검측후 보관 - 유량 그래프
굴착 심도 확인	- 최종굴착 심도 확인 - 굴진기 굴착 System에 의하여 표시되는 모니터를 통하여 실시간 관리	- 굴진기 굴착 System에 저장된 Data를 그래프화한 문서로 검측후 보관 - 심도-시간 그래프
지지 기반 확인	- 최종 지지기반의 확인 - 굴진기 굴착 System에 의하여 표시되는 모니터를 통하여 실시간 관리	- 굴진기 굴착 System에 저장된 Data를 그래프화한 문서로 검측후 보관 - 심도-부하량 그래프
개량체 강도 확인	300공당 1회 확인 시료 채취(28일 후) - 본현장 1회 효과확인 보링 조사	- 채취된 시료를 일축압축강도시험결과로 확인 - 보링조사 후 코어시료 확인

- 시험시공이 완료 28일 결과 후 시료채취 파이프를 통해 시험공 2개소에서 코어를 3개씩 회수하여 일축압축강도를 측정(그림 3.16, 표 3.43)



1) 코어 회수



2) 회수된 코어



3) 회수된 코어 단면



4) 일축압축시험

그림 3.19 압축강도 시험

표 3.43 압축강도 시험 결과

구분	시료 번호	파괴하중 (N)	단면적 (mm ²)	압축강도 (MPa)	보정압축강도 (MPa)	평균압축강도(MPa)	
						평균값	기준
개발 고화재	S-1	16,850	9,161	1.8	1.7	1.7	1.0
	S-2	16,990	9,161	1.8	1.7		
	S-3	17,500	9,161	1.9	1.8		
일반 시멘트	O-1	17,250	9,161	1.9	1.8	1.8	1.0
	O-2	17,100	9,161	1.9	1.8		
	O-3	16,880	9,161	1.8	1.8		

- 개발고화재를 사용하는 경우 평균압축강도는 1.7MPa 수준으로 현장에서 요구하는 1.0MPa를 상회하였으며 실내 고화토 실험의 결과인 2.0MPa과 유사한 추세를 보이고, 일반 시멘트를 사용한 공시체와의 강도차이도 크지 않아 추가연구를 통해 대부분의 연약지반개량 현장 조건에 맞는 고화재개발이 가능할 것으로 판단

다) 현장계측

- 시험시공 이후 현장의 연약지반에서의 토질공학적 특성치 파악, 거동예측, 시공 중 연약지반 침하량 파악 및 향후 발생할 수 있는 불안정 요인을 사전에 도출하여 현장 안정성 확보를 목적으로 현장 계측 실시
- 연약지반 설계의 경우 지반의 불균일성, 이론상의 수많은 가정 및 설계자료의 불확실성 등의 원인으로 실제 지반의 거동과 상이한 경우가 다수 존재하므로 설계자료의 검증 및 발생가능한 불안정성 등을 현장에서 측정된 자료로부터 직접 확인하고 향후 공정을 원활히 계획하기 위한 계측관리 필수

표 3.44 계측기 설치 현황

계측기	설치목적	계획 수량
지중경사계	- 흙쌓기 비탈면 하부지반의 수평변위를 측정 - 성토, 구조물 하부의 지중변위계의 경사량 측정 - 토압증가에 따른 지반파괴 및 측방유동 조사	2개소

표 3.45 계측빈도

계 측 기	계 측 빈 도 (회/기간)			비 고
	흙쌓는 도중 흙쌓기후 1개월까지	흙쌓기 후 1~3개월까지	흙쌓기 후 3개월이후	
지중경사계	2회/주	1회/1주	1회/1월	

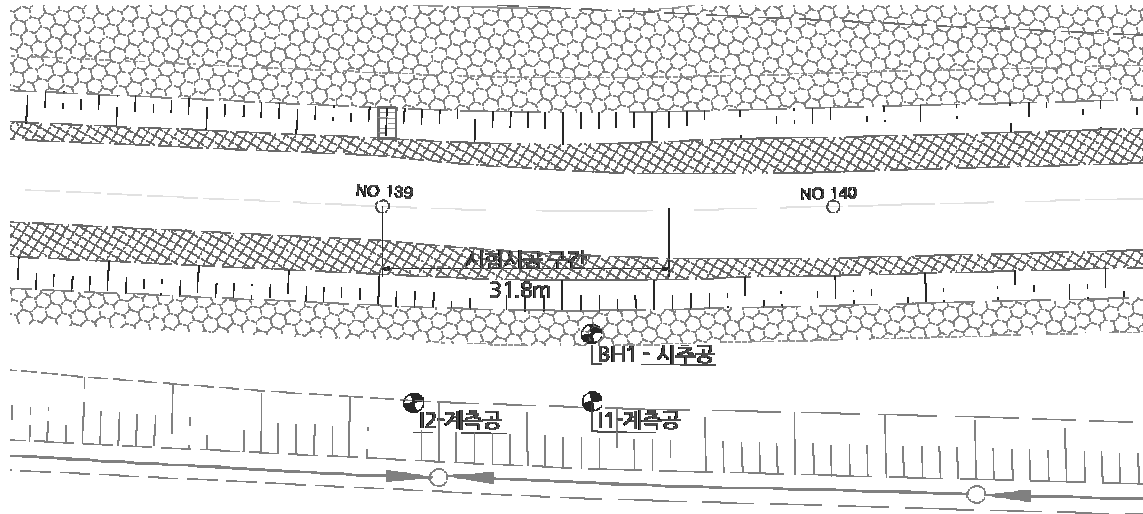


그림 3.20 계측기 배치도

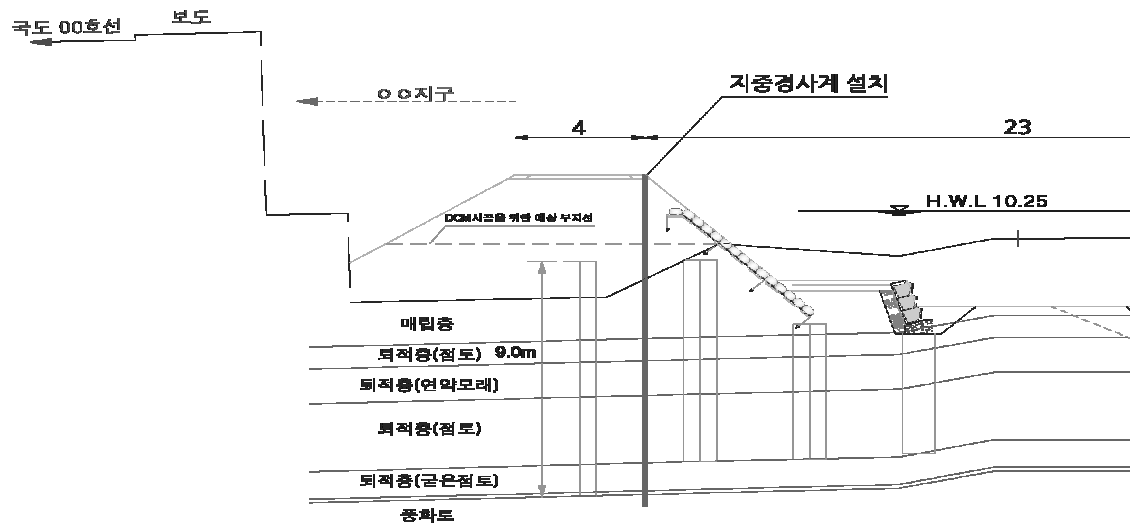


그림 3.21 계측 계획

- 계측은 지중경사계 설치 후 흙쌓기 도중 및 쌓기 후 1개월까지는 주 2회 실시하였으며, 흙쌓기 후 1~3개월까지는 주 1회, 이후 월 1회 수행
- 2지점에서 진행한 본 계측결과(10일 경과) 1지점은 0.95mm, 2지점은 1.27mm의 변위가 발생하여 전회 대비 최대 약 1.00mm의 미세한 변위를 보여 안정된 거동을 보이는 것으로 판단

표 3.46 계측 결과

구분	1회 측정값 (mm) (계측기 설치)	2회 측정값 (mm) (3일 경과)	3회 측정값 (mm) (10일 경과)	월간 변위량 (mm)	비 고
INC-1	0.00	0.13	-0.95	-1.08	
INC-2	0.00	-0.89	-1.27	-0.38	

4) 결과 및 분석

- 베트남 발전소에서 채취한 4개의 비산회 시료 중 Cao Ngan발전소의 비산회성분이 연약 지반 개량용 고화재에 가장 적합하여, Cao Ngan발전소의 비산회 성분과 가장 유사한 국내 S사의 비산회를 사용하여 결합재 및 고화토 시험을 진행
- 무기결합재 제조 실험결과 슬래그-석고-비산회로 제조한 무기결합재도 각 원료별 상호 반응에 의해 압축강도의 발현이 가능한 무기결합재의 제조가 가능함을 확인할 수 있었으며, 이러한 반응과 원료를 활용한 연약지반 개량용 고화재의 제조가 가능한 것으로 판단
- 베트남의 CFBC 비산회는 CaO , SO_3 , SiO_2 등이 주 성분으로 페이스트 실험을 통해 그 자체로도 수화성능이 있는 것으로 분석(28일 강도 0.97MPa)
- OPC 사용량은 10%로 고정하고 비산회의 사용량과 고로슬래그와 황산염자극제의 사용량 변화에 따라 진행된 실험 결과(표 3.32) 비산회의 사용량이 감소하고 고로슬래그의 사용량이 증가함에 따라 강도발현은 증가하였으나, 비산회 사용량 60% 배합부터 28일 기준 압축강도 5MPa를 상회하여 고화재로서의 활용 가능성 확인
- 페이스트 실험과 동일한 배합으로 중 소성의 무기질 점토(통일분류법 상 CL)인 연약지반 토사를 사용하여 고화토 실험을 진행(고화재 사용량: $250\text{kg}/\text{m}^3$)한 결과 비산회 사용량 40% 배합부터 2MPa 강도목표 만족 (28일강도: 2.03MPa)
- 비산회 사용량 40% 배합을 적용, 고화재 사용량 $250\text{kg}/\text{m}^3$ 로 현장시험 시공을 진행한 결과 28일 강도 1.7MPa로 측정되어 고화토 실험의 83.7% 수준으로 나타났고, OPC 비교 시험체의 결과(28일강도 1.8MPa)와 유사한 성능 발현
- 현장시험 시공 이후 계측결과, 개량 지반의 변위는 거의 발생치 않아 거동에 대한 불안정성은 확인되지 않음

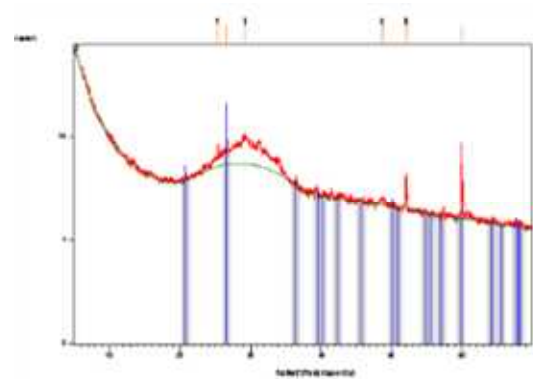
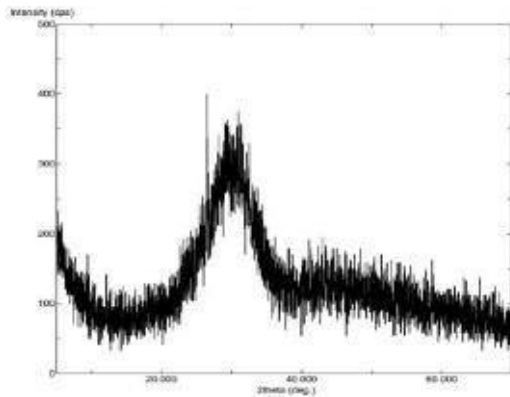
라. 2차 실험

- 본 과업의 목표는 베트남에서 발생하는 고칼슘 비산회를 현지에서 연약지반 개량용 고화재로 사용하는 것이기 때문에, 1차 실험 결과를 토대로 베트남 현지재료 및 토사를 사용한 2차 실험을 계획
- 2차 실험에 앞서 진행된 베트남 재료를 사용한 예비실험결과 여러 문제점이 발견
- 첫 번째 문제점은 OPC에 관한 것으로, 우리나라의 경우 OPC를 생산하는 회사는 다양하지만 그 품질은 일정한 편에 속하나 베트남의 경우 OPC에도 20, 30, 40의 세 등급이 존재하며 각각의 숫자는 28일 재령에서의 강도를 의미
- 따라서, 국내의 실험과 유사한 결과를 얻기 위해서는 28일 재령에서 40MPa 이상의 강도를 발현할 수 있는 40 등급의 OPC를 사용하여야 하며 20 혹은 30 등급의 OPC를 사용하는 경우 고화토 실험결과에서 큰 차이를 보여 국내 실험결과의 재현이 불가능
- 두 번째 문제점은 고로슬래그에 관한 것으로, 베트남 내수 고로슬래그는 Formosa Ha Tinh Steel Corporation 社에서 발생하는 것이 유일하며 해당 고로슬래그의 경우 수쇄 후 완전한 비정질을 이루지 못하고 일부 성분이 결정질을 띄고 있는 것으로 나타남
- 고로슬래그는 배출과 동시에 물을 통한 급랭공정에 의해 비정질화 되면서 잠재수경성을 갖는 CaO , SiO_2 , Al_2O_3 위주의 3성분계 재료로 급랭공정에서 적절한 냉각이 이루어지지 않으면 슬래그 내 알루미나 성분이 마그네시아 성분과 결합하여 스피넬(Spinel) 구조를 형성하여 물과 반응성이 없는 물질이 생성되고, 나머지 반응성이 있는 성분들은 냉각이 잘 이루어진 고로슬래그와는 전혀 다른 성질 가짐



그림 3.22 시멘트계 재료의 SiO_2 , CaO , Al_2O_3 3성분계 도표

- 따라서, 급랭 공정은 고로슬래그의 물성에 지대한 영향을 미칠 수 있다고 말할 수 있으며, 이 공정이 적절하게 이루어 졌는지는 광물상 분석으로 판단가능, 또한 베트남에서 발생하는 고로슬래그는 급랭공정이 적절하게 이루어지지 않았으므로 반응성 재료로서 고로슬래그를 사용하기 위해서는 베트남 내에 유통되는 일본 또는 한국産 고로슬래그 활용 필요



1) 한국 고로슬래그 미분말 XRD 분석 결과

2) 베트남 고로슬래그 분말 XRD 분석 결과

그림 3.23 한국과 베트남 고로슬래그 분말 XRD 분석 결과

1) 실내 고화토 실험

- 2차 실험에서는 최대한 베트남 내에서 산출되는 재료를 활용하고자 앞선 분석결과에 따라 고화재로 사용하기에 가장 성분이 적합한 CN 비산회를 사용
- 시멘트는 예비실험에 따라 국내 OPC와 가장 유사한 베트남 40등급 OPC를 사용하였으며, 고로슬래그의 경우 베트남에서 발생하는 고로슬래그의 반응성이 너무 낮아 베트남 내에서 유통되는 국산 3종 고로슬래그 사용
- 고화재 제조 시 사용된 재료의 물리·화학적 특성 분석(표 3.43)

표 3.47 사용재료의 물리 화학적 특성

사용재료	Chemical composition (wt%)						Blaine (cm ² /g)	Density (g/cm ³)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
고로슬래그	34.65	13.93	0.41	44.01	3.59	1.72	4,675	2.91
시멘트	19.68	5.08	5.48	60.66	1.92	1.45	4,320	3.15
황산염자극제	0.19	0.07	0.03	40.94	0.25	57.88	3,015	2.60
비산회(CN)	32.19	14.93	9.71	20.86	2.00	16.67	1,970	2.23

- 토사는 시험시공 예정부지의 연약지반 토사를 채취하여 고화토 실험을 진행
- 채취시료는 총 31종으로 조사된 토사에 자갈은 존재하지 않았으며, 평균 모래는 14.27%, 세립토가 85/73%로 파악되고 액성한계는 34.90~88.40%, 소성한계는 18.00~51.80%범위로 분석

- 시료들을 흙의 공학적 분류방법에 사용된 통일 분류법에 따라 구분한 결과 고소성 무기질 실트(MH)인 샘플이 15개로 가장 많은 것으로 분석

표 3.48 흙의 통일 분류법(USCS)

Major division		Group Symbols	Typical names
Fine grained soils [50% or more passing #200 sieve]	Silts and clays LL 50% or less	ML	Inorganic silts of low plasticity
		CL	Inorganic clays of low to medium plasticity
		OL	Organic silts of low plasticity
	Silts and clays LL greater than 50%	MH	Inorganic silts of high plasticity
		CH	Inorganic clays of high plasticity
		OH	Organic clays of medium of high plasticity

표 3.49 사용 토사 분석결과

No.	Passing rate (%)		LL* (%)	PL** (%)	SC***	No.	Passing rate (%)		LL* (%)	PL** (%)	SC***
	#4	#200					#4	#200			
1	100	88.12	50.8	38.4	MH	17	100	100.00	62.19	26.60	CH
2	100	88.21	56.31	31.83	MH	18	100	60.80	34.90	18.60	CL
3	100	91.54	56.46	32.60	MH	19	100	76.59	36.69	20.88	CL
4	100	95.69	56.21	31.70	MH	20	100	97.30	63.10	31.50	CH
5	100	81.80	55.98	31.83	MH	21	100	51.10	51.00	27.00	CH
6	100	92.13	55.72	31.83	MH	22	100	97.50	88.40	51.80	MH
7	100	94.94	56.14	31.70	MH	23	100	97.20	66.21	25.10	CH
8	100	88.69	56.80	32.33	MH	24	100	80.70	35.10	18.00	CL
9	100	88.44	56.70	31.83	MH	25	100	77.60	38.00	18.50	CL
10	100	81.40	36.47	18.60	CL	26	100	100.00	73.73	30.80	CH
11	100	84.90	41.70	20.10	CL	27	100	98.50	62.76	34.01	MH
12	100	62.80	46.19	23.10	CL	28	100	97.70	74.68	39.52	MH
13	100	67.70	41.10	18.80	CL	29	100	97.90	63.30	34.17	MH
14	100	53.00	48.94	22.60	CL	30	100	72.60	74.77	39.69	MH
15	100	99.40	61.40	31.36	MH	31	100	97.80	75.15	40.07	MH
16	100	95.60	37.40	21.31	CL	avr.	100	85.73	55.30	29.23	

* LL: Liquid limit, ** PL: Plastic limit, *** SC: Soil classification on U.S.C.S

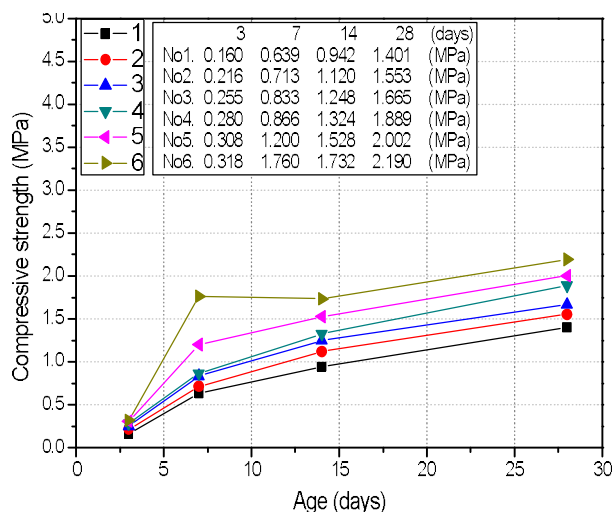
- 실험방법은 1차실험의 고화토 실험과 동일하게 진행, 토사는 건조 후 함수비를 50%로 조절하고, 이 후 고화재 슬러리를 토사와 혼입하여 공시체를 제작하고 양생하여 일축압 축강도를 측정

- 배합은 1차실험결과를 토대로 바뀐 재료를 감안하여 재설계하였으며, 시멘트사용량은 바인더의 10%, 물/바인더 비는 0.8로 고정

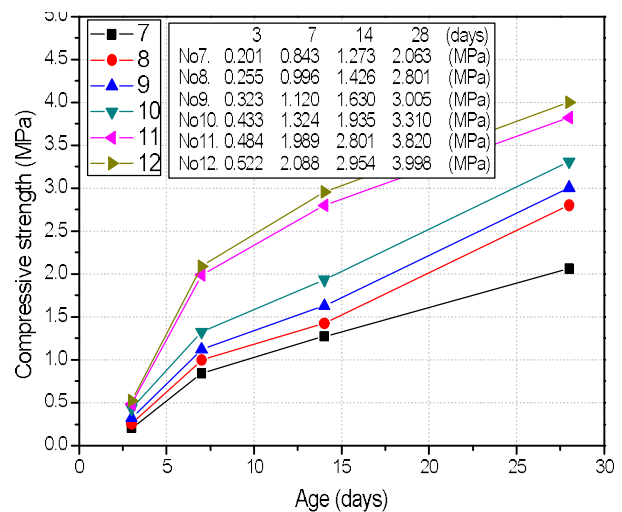
표 3.50 2차 고화토실험 배합설계

Soil		Solidification usage	ID	Mixing ratio by weight of binder				
Density	Water content			GGBFS	Alkali Activator	Fly ash	Cement	W/B ratio
1.63 t/m ³	50 %	250 kg/m ³	1	30	30	30	10	0.8
			2	35	35	20		
			3	40	40	10		
			4	45	15	30		
			5	52.5	17.5	20		
			6	60	20	10		
		300 kg/m ³	7	30	30	30		
			8	35	35	20		
			9	40	40	10		
			10	45	15	30		
			11	52.5	17.5	20		
			12	60	20	10		

- 제작된 공시체를 3, 7, 14, 28일 재령에 탈형하여 일축압축강도를 측정 (그림 3.24)
- 고로슬래그 사용량이 높아질수록 강도가 증가하는 경향을 나타냈으며 그 차이는 10번 11번 배합에서 두드러졌고 나머지 배합에서는 유사하게 분석
- 또한 5번 배합조건부터 28일 재령에서 2MPa를 상회하여 현장 시험시공 시 배합조건에 참조



1) 고화재 사용량 250kg/m³



2) 고화재 사용량 300kg/m³

그림 3.24 고화토 압축강도 측정결과



1) 건조시료 체분석



2) 원료 준비



3) 고회재 계량



4) 토사 준비



5) 흙과 고회재 혼합



6) 물 투입

그림 3.25 배합시험 순서 (계속)



7) 물투입후 혼합



8) 공시체 라벨 준비



9) 공시체 제작



10) 공시체 양생

그림 3.25 배합시험 순서



1) 한국 고로슬래그 미분말



2) 베트남 고로슬래그

그림 3.26 한국과 베트남 고로슬래그 사진

2) 현장시험시공

- 고화재의 성능평가를 위해 1차 실험과 마찬가지로 DCM공법을 사용한 현장시험시공 수행. 2차 실험은 베트남 내에서 발생하는 산업부산물을 지반개량 고화재로 사용하기 위한 연구 목적 상 베트남 내 재료를 사용한 고화재로 베트남 지역에서 시험시공을 진행하였으며, 위치는 호치민 인근 Long An 성 내 콘크리트 제품 생산공장의 주차장 부지로 결정 (그림 3.27)

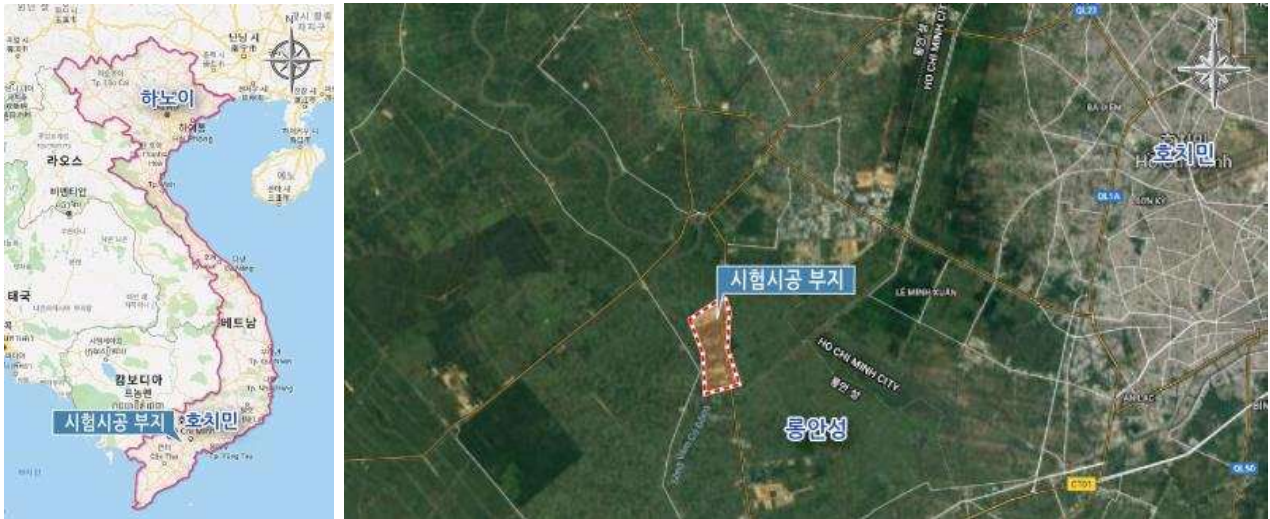


그림 3.27 시험시공 현장 위치도: Luong Binh, Ben Luc, Long An, Viet Nam

- 시험 시공 부지는 충적평야가 넓게 분포 하고 있으며, 서쪽으로는 Vam Co Dong 강이 위치, 지층의 구성상태와 지질의 구조형태, 지하수 분포상태 등을 파악하기 위해 시추조사 및 표준관입시험 실시 (표 3.51)



그림 3.28 시험시공 부지

표 3.51 시추 및 표준관입시험 결과

Stratum type	Depth (GL.-m)	Thickness (m)	Composition	SPT* N value
Burried layer	0.0 ~ 1.4	1.4	Silty sand with gravel	-
Sedimentary layer (A)	1.4 ~ 3.0	1.6	Black clay with silt	1/30~2/30
Sedimentary layer (B)	3.0 ~ 14.8	11.8	Gray clay with gravel	2/30~14/30
Sand layer	14.8 ~ 20.0	5.2	Silty sand	14/30~19/30

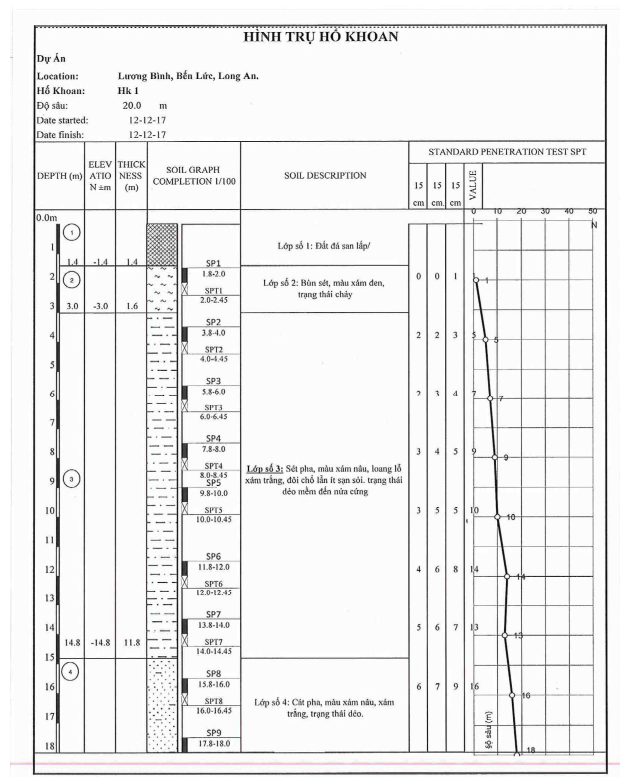
* SPT: Standard Penetration Test



1) 시추 전경



2) 시료 상자



3) 시추주상도

그림 3.29 시추조사 결과

- 시험시공부지는 적갈색 점토, 검은색 연약한 유기질 점토, 모래 섞인 갈색점토, 회색 중간 점토, 단단한 모래층의 순서로 이루어져 있었으며, 표준관입시험결과 퇴적층은 N치가 1/30~14/30으로 매우 연약에서 견고한 연경도를 나타냈고, 모래층은 14/30~19/30으로 보통 조밀한 상대밀도로 분석, 또한 지하수위의 경우 GL-2.0m 심도에서 분포
- 한편, DCM 계량체는 다양한 요소들이 강도형성에 영향을 미치며 아래 표와 같이 크게 4 종류로 구분 가능(표 3.52)

표 3.52 DCM 개량체의 강도에 영향을 미치는 요소 (Takenaka Technical Research Report(25))

Division	Factors
Properties of solidification agent	Type of solidification, Quality of solidification agent, Admixtures
Properties of soil	Physical/chemical/mineralogical properties of soil, Organic content, pH of pore water, Water content
Mixing condition	Amount of solidification, Mixing time/timing
Curing condition	Temperature, Period, Humidity, Freezing and thawing

- 첫 번째로는 사용되는 고화재의 특성으로 DCM 개량체 강도에 가장 큰 영향을 미침, 고화재 종류에 따라 개량대상 지반 토사와 반응이 달라질 수 있으며, 고화재의 품질과 첨가되는 혼합물 등이 개량체의 강도에 영향을 미침
- 두 번째는 토사의 특성과 조건으로 토사의 물리/화학/광물학적 특성, 부식물질 함유에 따른 유기물 함량, 간극수의 pH, 함수비 등으로 함수비가 클수록 개량체의 압축강도가 작아지며 토사에 모래함량이 많을수록 강도 발현에 유리 또한, 유기물 함량과 pH는 개량체의 강도형성에 보다 큰 영향을 미치는데 유기물 함량이 1% 이상이거나 pH가 5 이하인 토사에서는 압축강도가 현저히 떨어지는 현상이 보고
- 세 번째는 배합조건으로 혼합시간이 길어질수록, 고화재의 사용량이 많을수록 강도발현이 커지고 강도 편차 또한 줄어드는 것이 일반적
- 네 번째는 양생조건으로 양생 시 온도가 높을수록, 양생기간이 길어질수록 개량체의 강도가 커지는 것이 일반적이며 온도의 경우 단기강도에 큰 영향을 미치기 때문에 현장시공을 위한 실내예비시험에서는 이 부분을 유의하여 진행 필요
- 위 네 가지 항목은 다시 인위적으로 조절이 가능한 항목과 조절이 어렵거나 불가능한 항목으로 구분 가능, 토사의 특성이나 환경적 요인들은 조절이 어렵거나 불가능하기 때문에 고화재의 특성 및 혼합조건 등 인위적으로 조절이 가능한 항목을 바탕으로 DCM개량체의 품질향상을 위한 연구 및 기술 발전이 진행 중
- 본 실험도 위와 같은 연구의 일환으로 고칼슘 비산회를 사용하여 고화재의 개량 연구를 진행하였으며, 보다 높은 효율의 지반개량효과를 위해 DCM 교반비트의 효율을 향상시키고자 함
- 그림 3.29는 기존에 사용되던 DCM 비트와 연구를 통해 개발된 비트를 비교한 도면으로, DCM에 사용되는 오거의 상부는 굴착된 토사를 배출하면서 고화재와 토사를 혼합하기 위한 나선형 날개가 로드 부속된 스크류의 형태로, 하부는 지반을 굴착하고 고화재를 투입하면서 토사를 혼합하기 위한 블레이드가 달려있는 비트로 구성

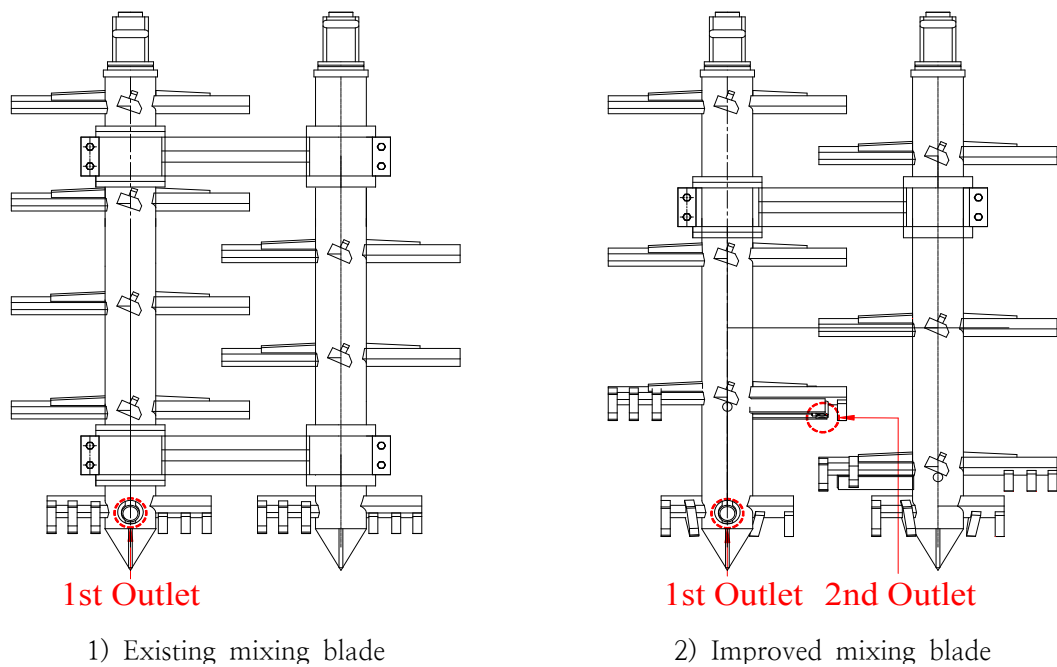


그림 3.30 기존 DCM 비트와 개발 비트

- DCM 공법은 토사와 슬러리 상태의 고화재의 혼합교반이 원활히 이루어져야 혼합교반시간을 단축시킬 수 있고 고화재의 강도도 균일하게 형성 가능
- 이에 본 연구에서 개발된 비트는 기존 고화재 분사장비를 보완하여 고화재를 천정로드 외 주면 주변과 교반날개의 단부 주변까지 분사시키고 추가된 분사구와 같은 수직선상에 있는 로드와 수직방향으로 구성된 혼합날에 다시 보조날을 결합하여 교반 효율을 향상시킬 수 있도록 하였다. 또한 추가적인 분사장치의 경우 구조의 단순화를 통해 기존 오거에 쉽게 탈부착할 수 있게 하여 현장 적용성을 확보
- 기존비트와 개발비트의 성능을 비교하기 위해 시험시공은 두 종류의 비트를 번갈아 사용하여 진행하였으며, 아래 그림에서 CASE 1, 2에 해당 하는 1열 및 2열은 기존의 비트로, CASE 3에 해당하는 3열은 개발비트를 적용하여 시험시공 진행
- 고화재는 비산회 사용량을 최대화하기 위해 실내 시험 배합의 9번을 참조, 고로슬래그:부산석고:비산회:OPC의 비율은 45:15:30:10으로 설정, 고화재 사용량은 300kg/m^3 , 물비는 0.8로 시험시공 진행

표 3.53 설계 강도 기준

고화재 투입량	물:고화재 중량비	실내배합강도	현장확인강도	설계기준 허용압축강도
250kg/m^3	0.8:1.0	2.0MPa	1.0MPa	0.5MPa

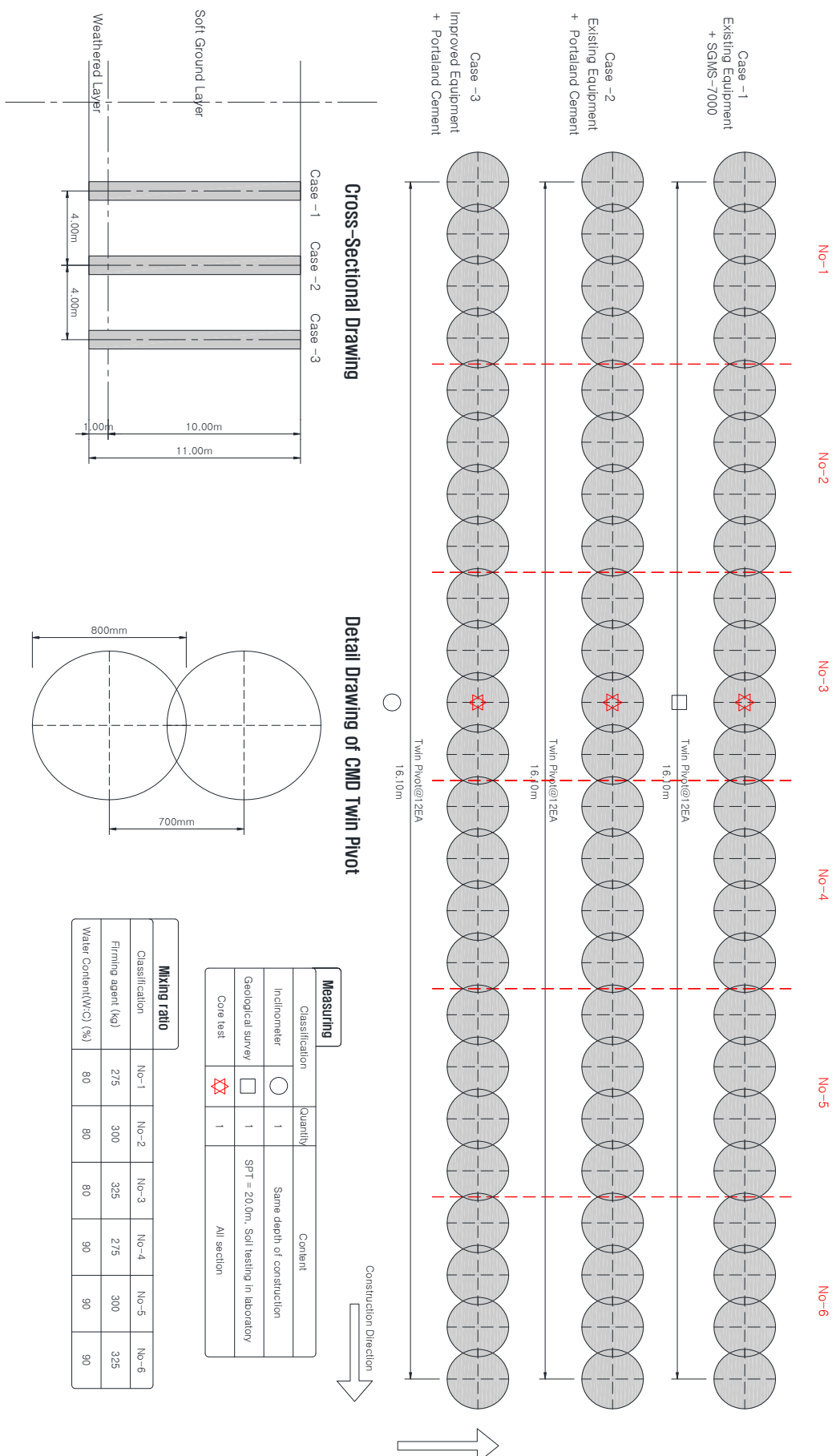


그림 3.31 시험시공 계획도



1) 작업 협의(베트남 현지)



2) 장비이동 및 설치



3) 지장물 조사



4) 고화재 반입



5) 개량공 굴착 및 주입



6) 선단고화



7) 개량공 인발 및 주입



8) PVC PIPE(D=100mm)삽입

그림 3.32 2차 시험시공 순서 (계속)



9) PVC인발



10) 수중양생



11) 회수된 CORE 단면

그림 3.32 2차 시험시공 순서

- 시험시공 진행 후 각 CASE 별로 pipe 삽입/인발을 통해 공시체를 확보하였으며 회수된 pipe는 현장에서 수중양생을 하여 개량체와 같은 양생조건을 갖추고, 28일 재령에 탈형 및 강도측정 진행
- 기존의 비트를 사용한 1열, 2열 공시체의 경우 일축압축강도가 작게는 0.39MPa에서 크게는 2.64MPa에 달했으며, 개선된 비트를 사용한 경우 1.03MPa에서 1.67MPa로 측정, 이들의 표준편차는 Case 1부터 3까지 1.023, 1.222, 0.322MPa로 개선된 비트를 사용한 구간이 가장 표준편차값이 작았으며, 강도의 평균은 1.34, 1.24, 1.37MPa로 소폭이지만 개선된 비트를 사용한 구간이 가장 높게 나타나 해당구간의 지반이 가장 높은 강도로 고르게 개량된 것을 확인 가능

표 3.54 시험시공 공시체의 재령 28일 압축강도 측정결과

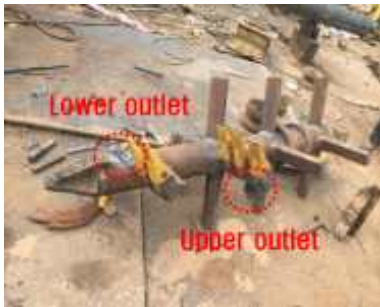
Case	1			2			3		
No.	1	2	3	1	2	3	1	2	3
qu (MPa)	0.58	2.50	0.93	2.64	0.69	0.39	1.41	1.67	1.03
Avr. (MPa)	1.34			1.24			1.37		
SD* (MPa)	1.023			1.222			0.322		

*SD: Standard deviation

- 그림 3.30은 기존비트와 개발비트를 번갈아 적용하며 시험시공을 진행한 사진과 28일 이후 트렌치 조사를 통해 시험시공으로 인해 형성된 구근을 확인한 사진으로 기존의 비트를 사용하였을 때 보다 개량된 비트를 사용한 경우, 구근이 보다 일정하게 형성이 되어 있어 비트의 성능 향상을 육안확인 가능, 공시체의 강도편차가 줄어든 근거 확인



1) 기존비트와 이를 사용한 비교적 불균일한 형태의 구근



2) 개발비트와 이를 사용한 비교적 균일한 형태의 구근

그림 3.33 DCM 오거 비트와 시험시공 사진

3) 결과 및 분석

- 베트남에서 현지 재료를 사용하여 진행한 2차 실험 결과, 고화재 제조 시 필요한 다양한 재료들의 물성 차이 때문에 1차 실험에 비해 강도의 발현이 낮은 경향을 보임
- 베트남 비산회를 이용한 고화토 배합시험을 베트남 현지에서 총 5회에 걸쳐 수행, 그 결과 고화재 제작은 가능한 것으로 확인되었고, Case1~12 중 Case1, 2, 3, 4를 제외한 8개 Case에서 DCM 설계기준강도인 2 MPa를 만족하는 것으로 나타남
- 시멘트 사용량을 10%로 고정하는 경우, 고화재 배합 시 고칼슘 비산회의 사용량을 30%로 감소시켜 고화토의 목표강도 2MPa 달성 가능, 현장시험 시공을 통해 1.3MPa 수준의 강도발현 확인
- 연약지반 개량효과를 높이기 위해 개발된 고화재 분사구를 다중화 한 DCM auger bit를 적용한 현장시험시공의 경우 고화토의 평균강도가 증가하며, 개량 깊이 별 고화체의 강도 편차가 줄어들어 표준편차로 표기할 경우 기존 비트를 사용하는 경우 1.222에서, 개량 비트를 적용하는 경우 0.322까지 저감
- 이러한 결과는 연약지반 개량 시 고화재의 사용량 감소, 공당 작업시간 감소에 따른 전체 공기단축효과로 시공 경제성 향상 가능

마. 3차 실험

- 3차 실험은 비산회를 사용하여 연약지반을 개량하려는 과업의 목적에 따라 고화재 제조 시 사용되는 비산회의 양 증가 목표
- 비산회 사용량 증대를 위해서는 기존 배합에서 불필요한 성분을 줄이고 고화재의 강도에 영향을 가장 크게 미치는 고로슬래그의 사용량의 증대 필요
- 기존까지 배합에 사용된 재료 중 황산염 자극제 역할을 하는 석고의 경우, 자체적으로 수화하여 자경성을 갖기도 하지만 주된 목적은 고로슬래그가 수화반응을 할 수 있도록 자극하는 역할
- 비산회의 구성광물을 확인하기 위해 XRD 분석을 수행한 결과, Anhydrite, Silicon oxide, Graphite, Hematite, Calcium oxide등으로 구성된 것을 확인 일부 분석이 되지 않은 피크는 알루미늄 성분일 것으로 추정
- 이에 따라 기존 성분분석 시 예측한 바와 같이 비산회에 포함된 칼슘성분은 무수석고(CaSO_4 , Anhydrite)와 산화칼슘(CaO , Calcium Oxide)인 것을 확인가능 또한, XRD분석 결과로 광물상 별 조성비를 분석한 결과 Anhydrite 40.0%, Silicon oxide 38.4%, Graphite 15.1%, hematite 3.7%, Calcium oxide 2.7%로 나타나 주 구성광물이 무수석고인 것을 확인
- 구성광물 중 Graphite에 해당하는 Carbon 성분은 발전소에서 원료 연소 시 불완전 연소에 의해 발생하는 것으로 미연탄소라 칭하며, 비산회의 반응성과 무관한 성분
- 시멘트 및 콘크리트 혼화재로 사용하는 미분탄 연소방식(Pulverized coal combustion, PCC)화력발전소에서 발생하는 비산회의 경우 카본이 비산회의 포졸란 반응과 무관한 성분일 뿐만 아니라, 콘크리트에 사용될 수 있는 고성능 혼화제를 흡착하여 그 성능을 떨어트리기 때문에 미연탄소 함량을 제한
- 비산회의 미연탄소는 보일러의 연소조건에서 미쳐 연소가 되지 못하여 발생하는 것이기 때문에 연소 후 발생하는 비산회보다 비교적 큰 입자군에 주로 존재하여, 주로 분급을 통해 미연탄소를 분리선별한 후 비산회를 제품화 하며, 본 연구에서도 고칼슘 비산회에 포함된 미연탄소를 분리선별하여 비산회 사용 효율을 향상시키고자 함
- 그림 3.28는 베트남 고칼슘 비산회를 체질하여 구분한 사진으로 #70(체 눈 크기 $200\mu\text{m}$), #100(체 눈크기 $150\mu\text{m}$), #200(체 눈 크기 $75\mu\text{m}$) 체를 사용하여 분급한 결과 #200체 통과량이 대부분이었으며, 입도가 큰 범위에서 카본으로 추정되는 검은색 입자의 산출이 두드러지지 않아 분급에 의한 분리선별 효율을 기대하기 어려움



그림 3.34 고칼슘 비산화 체질 결과
(좌상 #70over, 우상 #70~#100, 좌하 #100~#200, 우하 #200under)

- 입도에 의한 분급이 어려운 경우 물리적 특성에 의한 구분은 크게 색상이나 비중차에 의해 가능하다. 그러나 비산화의 경우 그 입자가 작기 때문에 색상에 의한 선별은 불가능에 가깝기 때문에 미연탄소와 탄소가 연소 후 발생된 비산화의 비중차이를 고려하여 건식 비중선별을 수행
- 선별에 사용된 기기는 지그재그식 공기분급기로 상승기류가 통과하는 지그재그형 관에 시료를 주입하여 투입된 시료 중 무거운 입자는 지그재그형 관의 하단으로 보다 가벼운 입자는 관의 상단으로 분리배출되는 방식으로 비중선별 실험을 수행
- 지그재그 선별 실험결과, 무거운 입자가 산출되는 Under flow 산물로 검은색을 띠는 입자들이 주로 산출되었으며 산출량은 투입량의 21.88%로 분석, 반대로 비교적 가벼운 입자가 산출되는 Over flow산물은 검은색 입자가 대부분 제거된 갈색 입자들이 산출되었고, 집진 필터로 넘어간 양을 합한 Over flow산물의 총 산출량은 투입량의 78.12%로 분석
- 지그재그선별 시험이 육안으로 확인되는 것과 같이 미연탄분의 선별이 이루어졌는지 확인하기 위해 XRD 광물상 분석을 수행



1) 지그재그비중선별기

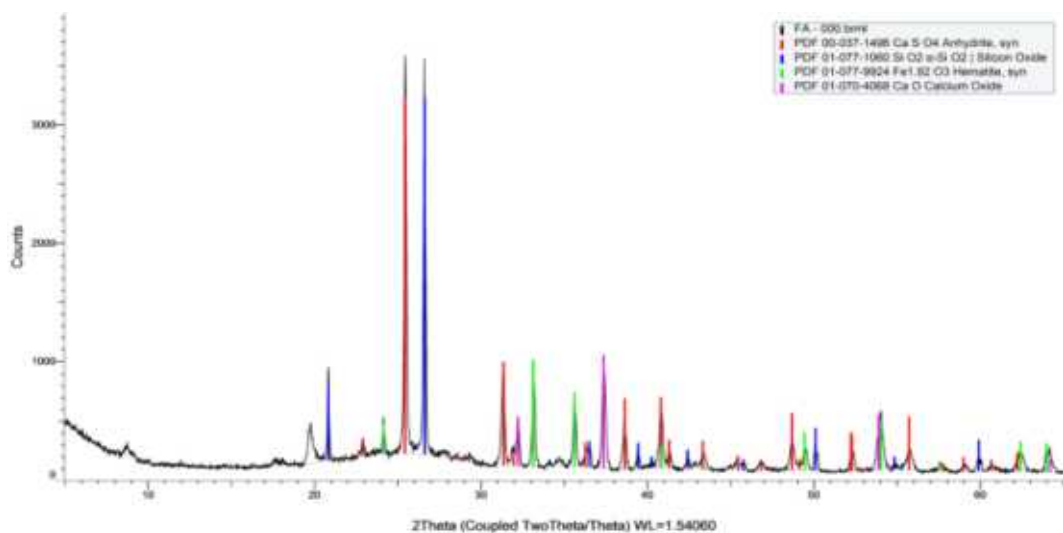


2) 비중선별 산물

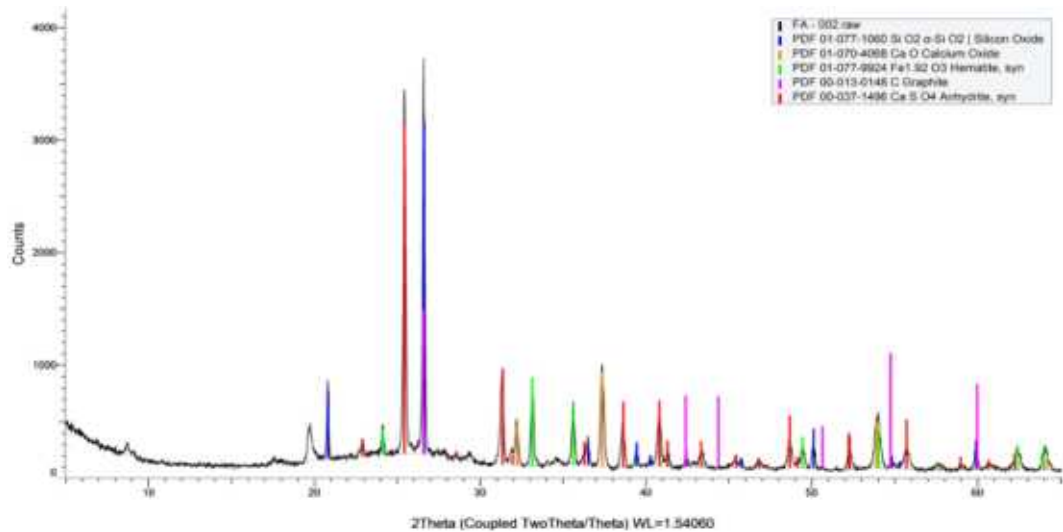
그림 3.35 지그재그 비중선별기와 선별산물

표 3.55 지그재그 선별 산물 광물상 정량 분석결과

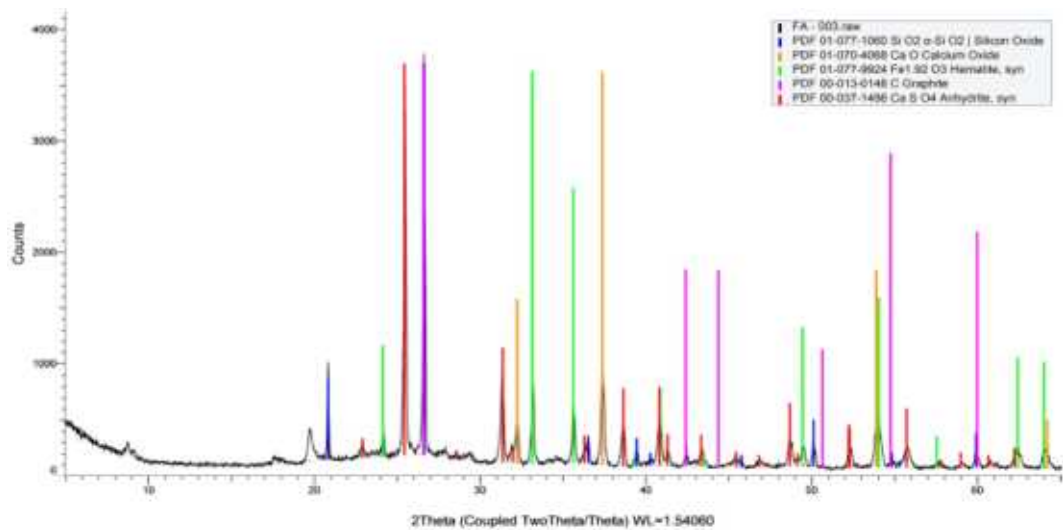
구분	구성광물(%)				
	Anhydrite	Silicon oxide	Hematite	Calcium oxide	Graphite
원시료	40.0	38.4	3.7	2.7	15.1
over flow	46.3	41.5	3.3	2.6	6.2
under flow	28.5	27.4	9.0	6.5	28.5



1) 원시료



2) Over flow 산물



3) Under flow 산물

그림 3.36 고칼슘 비산회의 광물상(XRD)분석 결과

- 지그재그 선별시험 산물을 분석한 결과 원 시료에 비하여 Under flow 산물은 미연탄소로 판단할 수 있는 Graphite의 양이 증가하고 다른 구성광물은 그 함량이 줄어든 것을 확인 가능, over flow 산물의 경우 그와 반대로 미연탄소 함량이 줄어들고 반응성을 기대할 수 있는 Anhydrite(무수석고) 성분이 증가
- 따라서, 비산회를 분리선별 하면 고화재의 재료로서 불필요한 미연탄소 성분을 줄이고, 그에 따라 반응에 필요한 성분을 증가시켜 사용 효율을 증대시킬 수 있을 것으로 판단
- 또한, 비산회의 주성분이 고로슬래그의 초기 수화반응을 유도할 수 있는 석고로 나타난 것과 그 함량이 40%를 상회하는 것은 선행된 실험에서 황산염자극제로 사용된 석고의 사용량을 줄일 수 있는 가능성이 존재

- 고화재내 비산화 사용량을 증대시킬 수 있는 또다른 방법은 고로슬래그의 수화를 촉진시킬 수 있는 자극물질의 사용이다. 기존 1, 2차 실험에서 사용된 황산염계 자극물질은 고로슬래그의 수화를 촉진시킬 수는 있지만 그 자체의 고화력은 기대하기 힘들지만 자체 수화능력을 가지고 있으면서 고로슬래그의 자극역할을 동시에 수행할 수 있는 경우 보다 높은 강도 발현 기대 가능
- 전기로 환원슬래그는 제강 공정 중 환원공정에 해당하는 Ladle furnace에서 발생하여 Ladle furnace slag(이하, LFS)라고 불리기도 하며, 주 성분은 CaO, Al₂O₃, SiO₂, 주 구성광물은 C₂S(2CaO·SiO₂), C₁₂A₇(12CaO·7Al₂O₃)으로 급랭 시 C₂S가 γ상으로 생성되어 반응성 상승

표 3.56 전기로 환원슬래그의 화학조성

Chemical composition (wt%)							
CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	SO ₃	MnO	TiO ₂
45~60	5~11	10~30	0.5~2	4~10	0.5~3	0.2~0.6	0~0.4

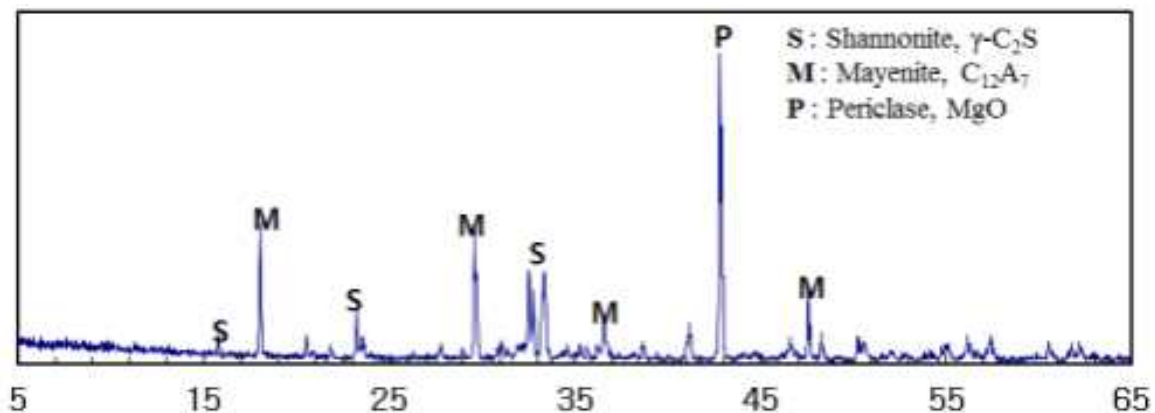
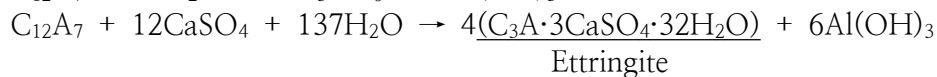
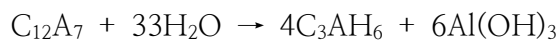


그림 3.37 전기로 환원슬래그 광물상 분석

- 환원슬래그는 물과 접촉 시 C₁₂A₇이 급격하게 C-A-H 수화물을 형성하며, 석고와 함께 반응 시 팽창성 물질인 Ettringite를 형성함과 동시에 수산화알루미늄이 생성



- 이러한 반응은 고로슬래그와 석고가 함께 존재하는 경우 Ettringite 형성을 위해 고로슬래그 내 칼슘성분 용출을 유도하면서 지속적인 수화반응을 일으키게 된다. 또한 반응 시 다량의 물분자가 소진되고, 반응 생성물인 Ettringite가 팽창성 물질이기 때문에 연약지반 개량용 고화재로서 적합할 것으로 예상
- 환원 슬래그는 그 조성 및 수화반응이 초속경시멘트와 매우 흡사하여 특수시멘트 원료로서 재활용 하려는 연구가 진행 중으로, 3차 실험에서는 베트남 고칼슘 비산회를 선별하여

불필요한 성분을 줄이고, 고로슬래그의 수화를 보다 촉진시킬 수 있는 환원슬래그를 추가적으로 사용하여 고화재에서 비산회의 사용량을 증대시키고자 함

1) 실내 실험

- 실험에 사용한 비산회는 반응성 재료로서의 효율향상을 위해 선별과정을 거쳐 미연탄소함량을 낮춰 사용하였으며, 고로슬래그 수화반응 활성도를 높이기 위해 환원슬래그를 혼합사용
- 아래 표는 기존 고화재 배합에 사용된 재료와 환원슬래그를 함께 활용한 배합이다. 물/바인더비는 50%로 고정하였으며, 바인더 내 시멘트 사용량은 10%, 비산회사용량은 40%로 고정한 상태에서 나머지 재료들의 구성비를 조절하여 최적 배합을 파악하고자 함

표 3.57 고화재 실험배합

No.	분체계 재료 (wt%)					재령별 압축강도(MPa)			
	FA	BFS	LFS	Gyp	OPC	3일	7일	14일	28일
1	40	50	0	0	10	1.04	9.39	14.49	19.34
2	40	45	3.5	1.5	10	5.12	22.00	30.15	32.18
3	40	40	7	3	10	1.33	14.69	20.40	22.95
4	40	40	10	0	10	3.23	7.97	18.36	25.78
5	40	30	20	0	10	9.11	17.16	31.02	42.59
6	40	20	30	0	10	11.96	23.05	31.06	37.79

- 고화재 실험결과, 비산회, 고로슬래그 및 시멘트만 사용한 배합조건에서도 28일 재령에서 19MPa를 상회하는 강도를 발현해 고로슬래그 자극 물질로 사용되었던 부산석고의 역할을 분리선별 된 비산회가 수행가능 판단
- 또한, 환원슬래그를 사용한 배합의 경우 사용하지 않은 배합보다 전체적으로 강도 증진효과가 있는 것을 파악할 수 있었으며, 2, 5, 6 번 배합의 경우 초기강도 증진효과가 두드러져 초기에 반응성이 높은 환원슬래그의 역할이 수행된 것으로 분석
- 그러나, 환원슬래그의 혼입량이 증가함에 따라 강도증진효과가 더불어 증가하지는 않았는데, 2, 3번배합을 비교해보는 경우 환원슬래그의 팽창성 물질 형성에 기여하는 석고와 함께 사용하는 경우 환원슬래그의 팽창에 의한 강도하락 효과가 수반되었으며, 4, 5, 6번 배합의 경우 비교적 반응성이 낮은 비산회만 사용하였을 때 재령 3일 강도에서는 환원슬래그 혼입량의 증가에 따라 강도발현 또한 증진되었지만 장기강도에서는 환원슬래그 혼입량이 20%인 배합에서 가장 높은 강도발현효과를 보임
- 이러한 현상은 고로슬래그의 수화에 의해 생성되는 C-S-H 수화물이 수화속도는 환원슬래그에 비해 낮지만 장기재령에서 보다 높은 강도형성에 기여하기 때문으로 판단할 수 있으며 이에 따라 환원슬래그의 사용량은 팽창성 물질 생성이 강도형성을 방해하지 않는 수준 이내에서 사용해야 할 필요성 존재

- 위 실험을 바탕으로 고화토 실험을 진행하기 위해 연약지반 토사를 채취하였으며, 채취된 토사는 함수비 44.0%, 액성한계 48.7%, 소성한계 23.8% 흙의 통일분류법에 의해 압축성이 낮은 무기질의 점토질토(CL)로 구분
- 고화토 실험방법은 1차, 2차 실험과 동일하게 진행하였으며, 위 고화재 실험배합 중 환원 슬래그를 사용하지 않은 배합은 제외하고 OPC를 사용한 배합을 추가하여 개발고화재의 성능을 비교 수행

표 3.58 사용 토사의 기본 물성

자연함수비 (%)	비중	액성한계 (%)	소성한계 (%)	흙의 분류 (USCS)
44.0	2.688	48.7	23.8	CL

표 3.59 고화토 실험배합

No.	분체계 재료 (wt%)					고화재 물비	토사 함수비	고화재 사용량	재령별 압축강도(MPa)		
	FA	BFS	LFS	Gyp	OPC				7일	14일	28일
1	0	0	0	0	100	80 %	50 %	300 kg/m³	1.81	2.91	4.99
2	40	45	3.5	1.5	10				2.37	2.95	3.14
3	40	40	7	3	10				2.47	3.23	3.56
4	40	40	10	0	10				2.93	4.85	4.67
5	40	30	20	0	10				2.51	3.37	4.92
6	40	20	30	0	10				2.72	3.63	3.93



1) 고화재 제작



2) 고화재 믹싱



3) 공시체 제작



4) 공시체 양생



5) 강도측정



6) 강도측정

그림 3.38 고화토 실험

- 실험결과 OPC를 사용한 배합은 7, 14, 28일 재령에서 각각 1.81, 2.91, 4.99MPa의 강도를 나타냈으며, 고칼슘비산회와 고로슬래그, 환원슬래그를 사용한 개발고화재의 경우 7일 재령에서는 모두 OPC를 사용한 배합보다 높은 결과를 나타내었고, 이는 초기재령에서 팽창성물질을 형성하며 고로슬래그의 수화 활성화를 유도하는 환원슬래그 및 석고가 주성분인 고칼슘 비산회가 배합에 포함되었기 때문으로 판단
- 환원슬래그 혼입량에 따른 강도변화추이는 고화재 실험결과와는 약간 다른 경향을 나타냈는데, 환원슬래그 혼입량 20%까지는 28일 강도가 증가하는 주세를 나타냈다. 연약지반 토사와 고화재가 혼합이 되는 경우 미세한 토사입자가 고화재의 반응을 방해하여 반응이 늦어지고 토사에 의해 생성되는 고화체의 공극이 영향을 미친 것으로 생각되며, 초기강도를 포함한 결과를 보면 고화재 내에서의 환원슬래그 사용량은 10% 미만이 적절할 것으로 판단
- 그러나 환원슬래그의 경우, 현재 국내에서 발생하는 철강산업 부산물로 베트남 지역에서 수급하는 것이 어렵기 때문에 그 사용량을 최소화하기 위하여 고화토 실험의 2번 배합을 바탕으로 현장 시험시공에 적용

2) 현장시험시공

- 개발 고화재의 성능 평가를 위한 현장시험시공은 베트남 남부 My Tho 市에 위치한 Tien Giang 하류 옹벽공사 현장에서 수행

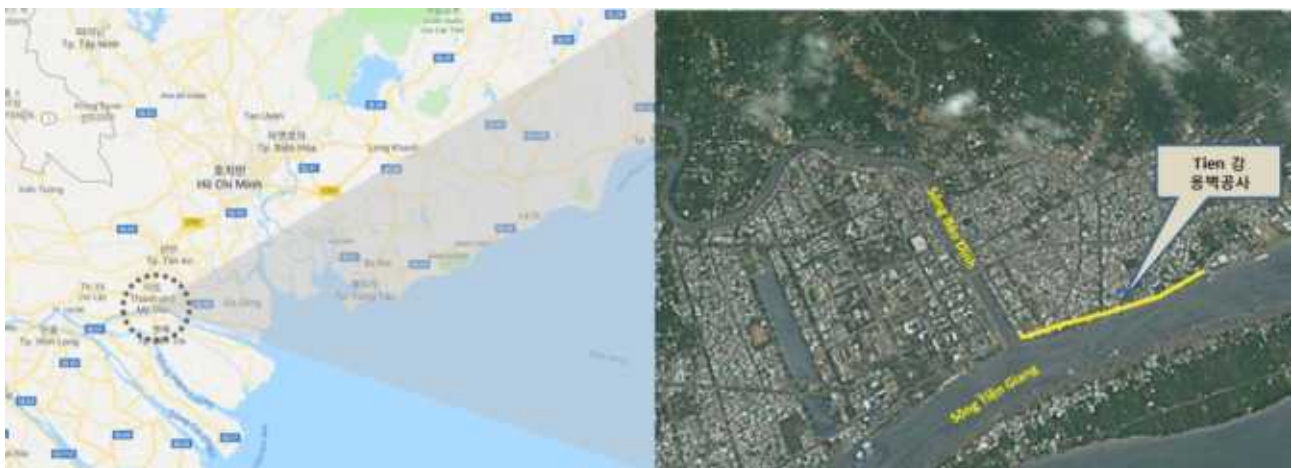


그림 3.39 3차 시험시공 위치

- 시험시공부지의 표면은 대부분이 함수율이 높은 점토로 이루어져 매우 연약한 상태이며, 심도가 낮아짐에 따라 실트나 모래의 함량이 늘어나고 조밀한 지반의 형태를 나타냄, 지반조사 결과는 표 3.60, 3.61에 표기

표 3.60 지반조사결과 (#1)

지반의 특성		단위	Layer						
			1a	1b	1c	2	3a	3b	4
흙 입자	점토	%	49.0	45.1	66.7	17.7	42.4	25.1	7.2
	실트	%	43.1	29.0	30.0	17.9	45.4	67.5	26.6
	모래	%	7.9	25.6	3.3	63.8	12.2	7.4	66.2
	자갈	%	—	0.3	—	0.6	—	—	—
습윤 단위중량 (Gw)		g/cm ³	1.63	1.99	1.96	194	1.97	1.84	1.83
함수비 (w)		%	58.89	23.60	28.37	24.20	25.56	35.27	29.80
액성한계 (LL)		%	55.70	40.36	60.94	—	41.78	50.15	—
소성한계 (PL)		%	26.27	18.99	25.39	—	21.23	23.32	—
소성지수(Ip)		—	29.43	21.37	35.55	—	20.55	26.83	—
비중 (Gs)		—	2.69	2.71	2.71	2.69	2.70	2.70	2.68

표 3.61 지반토사 분석결과 (#2)

구분	USCS	내용
Layer 1a	CH/CL	흑색 점토, 액성상태, 매우연약
Layer 1b	CL	황회색 모래섞인 점토, 소성상태, 약간 연약
Layer 1c	CH	청회색 점토, 소성상태, 약간연약
Layer 2	SC-SM	황회색 실트질 모래, 점토, 보통, 약간조밀
Layer 3a	CL	황회색인 점토, 소성상태, 약간조밀
Layer 3b	CH	흑색 점토, 소성상태, 약간조밀
Layer 4	SM-SM	황회색 실트질 모래, 점토, 조밀, 매우조밀

- 현장시험 설계 시 실내배합강도는 2.0MPa다. 그러나 선행된 실내배합시험의 경우 미연탄소를 분리선별하여 석고품위가 높아진 고칼슘 비산회를 사용하였지만, 현장시험시공에 필요한 대량의 비산회를 분리선별할 수 있는 Pilot 이상 규모의 장비가 존재하지 않기 때문에 발생하는 비산회를 그대로 사용하였고, 이러한 점을 감안하여 3MPa를 상회한 고화토 실험 2번 배합을 현장에 적용

표 3.62 3차 현장시험 설계

고화재 투입량 (kg/m ³)	물:고화재 중량비	실내배합강도 (MPa)	현장확인강도 (MPa)	설계기준허용압축강도 (MPa)
250, 300, 350	0.9:1.0	2.0 이상	1.0 이상	0.5



1) 시험시공 사이트 정리



2) DCM 장비 세팅



3) 현장 점검



4) PVC 파이프 라벨링



5) 고화재 믹싱



6) 고화재 교반



7) PVC 파이프 설치



8) PVC 파이프 인발



9) PVC 파이프 양생



10) PVC 파이프 강도 측정시험



11) 트렌치 조사

그림 3.40 현장시험 시공 사진

표 3.63 시험시공 공시체의 재령 28일 압축강도 측정결과

Case	1				2				3			
No.	1	2	3	4	1	2	3		1	2	3	4
qu (MPa)	1.257	1.381	1.074	1.175	1.689	1.757	1.999	2.221	2.388	2.605	3.463	2.879
Avr. (MPa)	1.222				1.917				2.834			
고화재량	250kg/m ³				300kg/m ³				350kg/m ³			

- 개발 고화재를 사용한 현장시험시공 결과, 모든 개량체가 균일하게 형성된 것을 확인할 수 있었으며, 고화재 사용량에 따라 개량체의 강도가 증가
- 실내시험과 같은 조건으로 고화재를 사용한 Case 2의 경우 실내시험결과보다 약 1MPa 가량 낮은 결과를 나타냈는데, 이는 기존 실험보다 큰 차이를 나타내는 결과였다. 이러한 결과의 이유는 고화재에 사용된 비산회에서 불필요한 미연탄소를 분리선별하는 과정을 거쳤는지의 여부가 미친 영향으로 판단되며, 고화재의 안정적인 성능발현과 비산회의 재활용량을 증가시키기 위해서는 분리선별공정이 필수적으로 수반되어야 할 것으로 판단

3) 결과 및 분석

- 고화재 제조 시 고칼슘 비산회의 사용량을 증가시키기 위해 수화 반응 시 불필요한 성분인 미연탄소를 제거하기 위한 선별 실험 결과 탄소함량을 15.1%에서 6.2%까지 감소
- 미연탄소 함량을 감소시킨 비산회의 경우 주 구성광물인 무수석고(Anhydrite) 성분이 반대 급부적으로 증가하여 활용성 증대 가능성 확인
- 고칼슘 비산회를 고화재로서 활용하는 경우 기대할 수 있는 효과는 석고성분의 고로슬래그 자극화 및 자체 수화, 산화칼슘의 수화 및 팽창으로 2차시험까지 활용된 고로슬래그의 반응활성화를 위해 사용된 황산염자극제를 배합에서 제외하고, 국내에서 발생하는 제강환원슬래그를 일부 첨가 활용하는 경우 수화생성물에 차이가 발생
- 해당 재료들을 배합하여 활용한 페이스트 실험결과 주 반응 생성물 중 하나인 팽창성 결정(Ettringite)의 생성량에 따라 강도의 증진/하락 효과가 발생하며, OPC의 28일 강도와 유사한 수준의 강도까지 발현 가능
- 이를 활용한 고화토 실험결과, 비산회의 사용량을 40%까지 다시 상회시킨 모든 배합에서 목표강도인 2MPa 상회 (28일 기준 3.14~4.99MPa)
- 고칼슘 비산회의 미연탄소를 선별하기 위한 대형 설비의 부재로, 발생한 비산회를 그대로 활용한 현장시험시공 결과 실내 시험에서 3.14MPa로 나타난 배합을 사용한 개량체의 강도가 1.92MPa로 측정

- 고칼슘 비산회의 사용량을 증대시키고, 베트남 내 비산회 활용기준(미연탄소 함량 최대 허용치: 15%)을 만족시키기 위해 고칼슘 비산회를 활용한 고화재 생산 시 정제공정 필요

바. 고화재의 내화학적 및 환경성 평가

- 1차에서 3차까지 이루어진 실내 및 현장시험 결과는 고칼슘비산회를 지반고화재로 사용하였을 때 강도 측면에서 시험조건을 만족 유무 확인
- 본 실험에서는 다양한 산업부산물을 개발 고화재가 기존 시멘트계 재료와 비교하여 내구성 및 환경성에서 어떠한 성능을 나타내는지 파악하기 위한 것으로 고화재가 노출될 수 있는 환경 조건에 따라 내산성, 내해수성, 내염해성 등의 내화학적 및 중금속 용출시험 및 어독성 시험을 실시
- 시멘트계 재료와 비교하기 위해 이루어진 본 실험은 개발고화재를 사용한 공시체와 OPC를 사용한 공시체를 각각 5cm×5cm×5cm 의 정육면체 형태로 제작하여 28일 양생한 후 진행

1) 개발고화재의 내화학적 평가

가) 내산성

- 내산성시험은 5% 농도로 제조된 H₂SO₄ 수용액에 공시체를 침지시킨 후 20±3℃로 유지시켜 2주, 4주 후 중량 및 강도손실률을 확인
- 침지기간을 거친 공시체는 흐르는 물과 접촉시킴과 동시에 부드러운 솔로 표면을 닦아내었으며, 표건상태의 시험체 중량을 측정하고 침지에 의한 중량감소율을 산출
- 침지 2주의 고화토를 관찰한 결과 OPC의 경우 육안으로도 시험체가 파괴 및 붕괴된 것을 확인할 수 있어, 일축압축강도의 측정이 불가능한 것으로 판단되었으며, 중량 측정결과 그 손실율은 33.2%로 분석
- 개발고화재의 경우 표면의 탈락과 손실이 발생하였나, 붕괴는 일어나지 않아 일축압축강도의 측정이 가능하였으며, 압축강도는 0.21MPa로 95% 이상의 압축강도 손실이 발생

표 3.64 5% H₂SO₄ 수용액 2주 침지 후 중량 손실율 측정 결과

구분	침지 전 중량(g)	2주 침지 후 중량(g)					중량 손실율(%)
		1	2	3	4	평균	
OPC	218.0	167.7	172.5	148.3	94.0	145.6	33.2
개발고화재	215.6	163.2	181.5	182.6	197.6	181.2	15.9



1) OPC (2주)



2) 개발 고화재 (2주)



3) OPC (4주)



4) 개발 고화재 (4주)

그림 3.41 5% H_2SO_4 수용액 침지 결과

- 침지 4주의 고화토를 관찰한 결과 OPC의 경우 시험체가 파괴가 심해 고화체의 형태를 유지하지 못해 중량 측정 불가능, 고화재의 경우 침지 2주 후 파괴 및 붕괴가 거의 발생하지 않아 평균 중량 179.1g, 일축 압축강도는 0.25MPa로 측정되어 중량 손실율은 12.3%, 압축강도 손실율은 94.1%로 확인, 침지 2주차와 유사

나) 내해수성

- 내해수성 시험은 내산성시험과 같은 방법으로 진행되었으며, 침지용액은 ASTM D 1141에 따라 인공해수를 제조하여 진행

표 3.65 2배농도 인공해수의 조성(단위:g/ℓ)

NaCl	$MgCl_2 \cdot 6H_2O$	Na_2SO_4	$CaCl_2$	KCl
50.86	10.40	8.18	2.32	1.39

- 침지 2주의 고화토를 관찰한 결과 OPC의 경우 육안으로도 시험체가 표면의 박리 및 박락을 확인할 수 있었으나, 개발고화재의 경우 박리 및 박락 현상은 발생치 않음, 중량 측정 결과 오히려 침지 전 보다 중량이 증가한 것을 확인, OPC의 경우 평균 중량이 221.5g으로 1.6%, 개발 고화재의 경우 217.7g으로 1.0% 정도 증가

- 압축강도 측정결과 OPC의 경우 평균 0.77MPa로 압축강도 손실률 38.8%, 개발고화재의 압축강도 손실률 32.4%, OPC 대비 약 1.3배 이상 우수한 내해수성을 확인
- 침지 4주 후에는 OPC의 박리 및 박락 현상이 더욱 많이 일어났으며, 개발 고화재의 경우 육안 관찰 결과 변화가 발견되지 않음, 중량의 경우 OPC는 2.1% 증가, 개발 고화재는 0.7% 감소



1) OPC



2) 개발 고화재

그림 3.42 인공해수 2주 침지 결과



1) OPC



2) 개발 고화재

그림 3.43 인공해수 4주 침지 결과

표 3.66 개발 고화재를 적용한 고화토의 내해수성 측정 결과

구분		압축강도 측정 결과(MPa)		압축강도 손실율(%)
		담수 침지	2배농도 인공해수 침지	
침지 2주	OPC	1.34	0.77	42.9
	개발고화재	4.27	2.89	32.4
침지 4주	OPC	1.38	0.40	71.4
	개발고화재	4.62	2.10	54.7

3) 내염해성

- 내산성, 내해수성과 같은 방법으로 진행, 10% NaCl 용액에 침지시켜 중량 및 강도 손실률을 측정

- 육안 관찰 결과 OPC와 개발 고화재 모두 박리 및 박락 현상은 발생지 않음, 중량 또한 내해수성과 같이 증가하는 경향을 나타내었으며, OPC의 경우 4주 경과 후 0.3%, 개발고화재는 1.1% 정도 증가
- 압축강도 측정결과 침지 2주 후 OPC와 개발 고화재 모두 소폭 압축강도 손실 (3.4~4.0%), 침지 4주 후 OPC의 경우 압축강도 손실 0.4%, 개발고화재의 경우 2.8% 증가하여 개발고화재가 보다 높은 성능을 나타냈다.

표 3.67 개발 고화재를 적용한 고화토의 내염해성 측정 결과

구분		압축강도 측정 결과(MPa)		압축강도 손실율(%)
		담수 침지	10% NaCl 용액 침지	
침지 2주	OPC	1.26	1.21	4.0
	개발고화재	4.25	4.11	3.4
침지 4주	OPC	1.34	1.34	0.4
	개발고화재	4.27	4.39	-2.8



1) OPC



2) 개발 고화재

그림 3.44 10% NaCl 용액 침지 공시체의 염화물 침투 깊이 시험 결과(4주)

4) 결과 및 분석

- 개발 고화재를 적용한 고화토의 내화학적 시험결과, 내산성, 내해수성, 내염해성 모두 OPC 대비 내화학적 우수, 이는 보통 고로슬래그 시멘트의 경우 OPC에 비해 수화생성물 중 수산화칼슘이 적은 점과, 내부 조직이 치밀하기 때문으로 학계에서 해석, 이러한 장점으로 인해 현재 항만공사 등 해수 및 염해의 우려가 있는 건설공사에서 고로슬래그시멘트의 사용이 일반화
- 개발 고화재 또한 고로슬래그의 잠재수경성을 이용하여 개발한 고로슬래그가 주원료인 무기결합재로서, 고로슬래그 시멘트가 가지고 있는 우수한 내해수성 및 내염해성을 나타낸 것으로 판단
- 시멘트 경화체 내의 염화물 이온은 시멘트 화합물 중 C3A와 석고와의 반응생성물인 에트링가이트 혹은 모노설페이트와 반응하여 난용성의 프리텔씨 염($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2$)

10H₂O)을 생성함으로써 고정화 되는 것으로 알려져 있으며, 이와 더불어 공극벽면에 전기적 반응으로 고정화되는 염화물이 이온이 존재, 이러한 전기적·화학적 반응으로 고정화된 염화물 이온을 제외한 이온은 시멘트 내 세공용액(수화 반응 후 시멘트 경화체 내에 남은 물) 내에 액상으로 존재하며, 시멘트의 팽창 및 균열을 야기 시키는 것으로 알려짐

- 개발 고화재의 경우 고로슬래그 미분말의 활성화를 위한 자극제로 석고를 첨가함으로써, 수화 초기에 ettringite가 생성되어 염화물 이온을 고정화, 고로슬래그 시멘트와 같이 OPC에 비해 수화생성물 중 수산화칼슘이 적은 점과, 내부 조직이 치밀하기 때문에 OPC 대비 우수한 내화학 특성을 나타내는 것으로 판단

2) 개발고화재의 환경성 평가

가) 중금속용출시험

- 용출시험 기준은 1991년 공포된 폐기물 관리법 제 11조에 의하여 제정된 폐기물 공정시험 방법에 포함되어 있으며, 이를 이용한 용출시험 결과로부터 중금속 등 유해물질의 함유하고 있는 일부 폐기물에 대하여 특정 폐기물 여부를 판단
- 시험방법은 시료의 입경을 0.5~5.0mm로 분쇄하여 pH 5.8~6.3인 용매와 1:10의 비율로 혼합한 후 상온상압 하에서 진폭이 4~5cm인 교반기를 사용하여 200회/분으로 6시간 연속 교반한 후 여과하여 그 여액 중의 중금속의 함량을 ICP 및 AA기기 등을 이용하여 분석함으로써 각각 중금속량의 허용기준치와 비교하여 그 안정성을 평가
- 현재 폐기물관리법에 의해 규정된 항목은 모두 11가지로 시행규칙 별표 1에 의한 지정폐기물을 구분하기 위한 자세한 항목 및 허용기준치를 규정하고 있으며, 별표 5의 3에 의해 소각재를 활용하여 토양에 직접 재활용 하는 경우의 중금속 용출 항목 및 허용기준치를 규정하고 있다. 자세한 항목 및 허용기준치는 표 3.64에 표기

표 3.68 폐기물관리법 상 연소재의 재활용 가능 기준

시험항목	단위	기준치	
		지정 폐기물 기준치*	폐기물 재활용 기준치**
Pb	mg/ ℓ	3.0 이상	1.0 이내
Cu	mg/ ℓ	3.0 이상	1.0 이내
As	mg/ ℓ	1.5 이상	0.5 이내
Hg	mg/ ℓ	0.005 이상	0.003 이내
CN-(시안화합물)	mg/ ℓ	1.0 이상	0.2 이내
Cr(VI)	mg/ ℓ	1.5 이상	0.1 이내
Cd	mg/ ℓ	0.3 이상	0.1 이내
유기인화합물	mg/ ℓ	1.0 이상	-

기름성분	%	5.0 이상	-
테트라클로로에틸렌(PCE)	mg/ℓ	0.1 이상	-
트리클로로에틸렌(TCE)	mg/ℓ	0.3 이상	-

* 폐기물 관리법 시행규칙, 별표 1, 지정 폐기물에 함유된 유해물질

** 폐기물 관리법 시행규칙, 별표 5의 3, 폐기물의 재활용 기준

- 공인인증 시험기관(한국화학융합시험연구원)에 시험을 의뢰한 결과, 베트남 비산회의 경우 법정 11항목에서 모두 불검출 됨으로써 지정폐기물이 아닌 재활용이 가능한 일반 폐기물임을 확인, 또한 소각재로서 토양에 직접적으로 활용할 수 있음을 확인
- 개발 고화재의 경우 육가 크롬을 제외한 모든 항목에서 불검출되었으며, 육가크롬의 경우 0.08mg/ℓ 이 용출됨으로서 폐기물 관리법 시행규칙의 두 기준을 모두 만족하는 것을 확인
- 또한 베트남 비산회에서 육가크롬이 불검출된 것을 감안하면 이는 고화재의 원료로 사용된 시멘트에서 기인한 것으로 판단되며, 국내 혹은 베트남 시멘트를 고화재의 원료로 사용시 육가크롬의 함량을 확인·선별하여 이용해야 할 것으로 판단

나) 환경안정성 평가

- 개발 고화재가 토양 환경 및 주변 생태계에 미치는 영향을 검토하기 위하여 어류에 의한 급성 독성 평가시험 수행
- 급성 독성 평가 시험을 위한 기준 농도 설정 시험은 KS I 3217에 의거하여 자체 간이 시험법 사용, 어류 독성 평가를 위한 시험은 공인시험기관인 한국화학융합시험연구원(KTR)에서 OECD TG 203에 따라 실시
- 기준 농도 설정을 위한 시험은 개발 고화재를 적용한 페이스트 공시체를 제작하여 실시하였으며, 어종은 금붕어를 사용, 시험실의 온도는 약 20℃로 일정하게 유지하며 동영상 촬영을 통하여 연속적으로 측정
- 약 96시간동안 시간동안 시험을 진행하였으며, OPC의 경우 경과시간 21시에 모든 시험 객체 사망, 개발 고화재재의 경우 96시간 경과후 시험객체의 움직임이 둔화 되었으나, 모두 생존한 것을 확인
- 이러한 결과는 개발고화재의 경우 시멘트 사용량을 최소화하여 C-S-H 및 C-A-H gel 이 주요 수화 생성물로서 시멘트의 주요 생성물과 유사하지만 물에 쉽게 용출되는 수산화 칼슘(Ca(OH)₂)의 생성량은 극히 적기 때문에 수화생성물의 차이에 기인한 것으로 판단

표 3.69 어류 급성 독성 시험 간이시험 결과

경과시간	OPC	개발 고화재
시험 시작	 시험 개시	 시험개시
24시간	 이물질 부착에 의해 개체의 움직임이 거의 없음, 실험개체 모두 죽음	 개체의 지느러미 주변에 부착된 이물질에 의해 움직임이 둔화하기 시작함
96시간 (시험 종료)		 변화없음

사. 종합 분석

- 1차~3차에 걸쳐 진행된 실험의 흐름을 그림 3.45에 표기
- 국내 재료를 활용한 1차 시험의 경우 고칼슘 비산회 자체의 수화능력 확인, 비산회와 부산 석고로 제조한 자극제를 활용하여 고로슬래그의 반응 활성화를 유도하여 고화재 제조 시 고칼슘 비산회 사용량 별 실험을 통해 40% 사용 시 고화토 실험에서 2MPa 이상으로 개량 가능
- 고화토 실험에서 28일 기준 2.03MPa 달성 배합의 현장 시험시공 적용을 통해 1.7MPa의 개량체를 형성하여 현장적용 가능성 확인
- 베트남 재료를 활용한 2차 시험의 경우 고칼슘 비산회를 비롯한 시멘트, 고로슬래그 등 모든 사용재료가 국내재료와 물성차이를 보여 1차 실험결과 재현 어려움, 따라서 베트남 비산회를 이용한 고화재를 현지에서 개발하고 생산하기 위해서는 추가적으로 원료의 성상과 보관, 품질관리, 공급체계에 대한 철저한 사전조사가 선행되어야 하고 이에 대한 보완대책과 비교실험이 반드시 필요할 것으로 판단
- 국내 OPC와 유사한 40등급의 베트남 OPC, 국내산 고로슬래그와 Cao Ngan 발전소 고칼슘 비산회를 사용하고 고화재 제조 시 비산회 사용량 낮춰 1.4~4.0MPa 수준의 고화재 배합 개발
- 연약지반 개량 시 개량 효율 향상을 위해 고화재 분사구를 다중화하고 교반 블레이드 형상을 변화시킨 DCM용 Auger bit 장비 개발 및 제작
- 고화재 사용량이 30%인 배합에서 28일 기준 고화토 강도 2.1MPa를 만족하여 해당 배합 및 개발 장비를 적용한 현장 시험시공 진행결과, 1.37MPa 수준의 개량체 확보 가능, 개발 장비를 적용하는 경우 개량체의 심도별 강도 표준편차가 1.222에서 0.322까지 감소하여 고화재 및 개발 장비의 성능확인
- 고화재 제조 시 비산회 사용량 증대를 위해 3차 시험에서 고칼슘 비산회의 분리선별 실험을 진행, 공기에 의한 비중선별을 통해 미연탄소 함량을 15.1%에서 6.1%까지 정제 가능
- 고로슬래그의 수화 활성화를 위해 황산염 자극제와 동일한 팽창성 물질을 형성함과 동시에 칼슘-알루미늄에이트계 수화물을 생성할 수 있는 제강슬래그를 소량 사용하여 고화재의 성능 향상 가능
- 정제된 고칼슘 비산회를 사용한 고화토 배합시험에서 비산회 사용량을 40%로 고정하여 28일 기준 강도 3.1~4.9MPa 배합 개발
- 대용량 선별 장비의 부재로 3.1MPa 배합기준 비정제 비산회를 활용한 시험시공을 통해 1.9MPa의 개량체 형성 가능

- OPC와 비교한 개발 고화재의 내화학적/친환경성 시험진행을 통해 고로슬래그와 비산회가 주성분인 개발 고화재는 모든 내화학적 시험에서 OPC보다 우수한 결과를 나타냈으며, 중금속 용출이 없고, 어독성 평가도 우수한 것으로 나타나 시멘트계 고화재의 대체 활용 가능성을 확인
- 베트남의 비산회 재활용기준 만족 및 고화재 재료로서의 성능 향상을 위해 비산회의 정제는 필요하며, 이를 통한 일정한 품질의 비산회를 사용하여 고화재를 생산하는 경우 OPC보다 우수한 결과로 연약지반을 개량할 수 있을 뿐만 아니라 활용처가 개발되지 않아 전량 매립처리하고 있는 산업부산물의 사용으로 환경부하를 저감할 수 있기 때문에 활용 가능성이 높을 것으로 판단

시험 진행	시험 개요	시험결과
1차 실내시험	국내 재료 사용 적정 배합 선정 시험	Paste 실험을 통한 적정 고화재 배합비 선정 개발 배합비를 통한 고화재의 고화토 실험 (28일 기준 0.6~3.1MPa 배합개발)
↓		
1차 현장시험	1차 실내시험 결과 현장 적용성 평가	실내시험 28일 기준 2.03MPa 배합 사용 현장 시험시공 진행 현장 측정강도 1.7 MPa 달성 (같은 조건 OPC 사용 시 1.8MPa)
↓		
2차 실내시험	베트남재료 사용 1차시험 재현시험	1차 실내시험 재현 시험 진행 및 베트남 산 재료 문제점 파악 28일 기준 1.4~4.0 MPa 배합 개발
↓		
2차 현장시험	2차 실내시험, 개발 오거비트 현장 적용성 평가	실내시험 2.1MPa 배합사용 현장시험 1.37MPa 개발비트 사용하여 강도편차 하락 (기준비트편차 1.222, 개발비트 0.322)
↓		
3차 실내시험	비산회 분리선별 실험 비산회 사용량 증대 실험	분리선별을 통한 비산회 정제 (미연탄소 함량 15.1→6.1%) 비산회 사용량 40%까지 증대 고화토실험 (28일 기준 3.1~4.9MPa배합개발)
↓		
3차 현장시험	3차 실내시험 결과 현장 적용성 평가	실내시험 3.1MPa (정제 비산회) 배합 사용 현장시험 1.9MPa (비정제 비산회)
↓		
고화재 평가	개발고화재 대상 내화학적, 친환경성 평가	OPC 대비 내산성, 내해수성, 내염해성에서 높은 내화학적 어류독성시험에서 OPC보다 독성이 낮음 확인

그림 3.45 전체시험 흐름

제4장. 목표달성도 및 관련분야 기여도

1. 목표 달성도

구 분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					해당 기관	예산 (백만원)	실적목표 달성도
					질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	기준치			
총 괄	1	베트남 현지 동향 조사	1-1	베트남 동향 및 시장조사 보고서	① 베트남 동향 및 시장조사	1건	베트남 동향 및 시장조사	분석보고서	8	주관 공동	70	분석보고서 : 3 건
	2	베트남 고칼슘 비산회 특성파악	2-1	비산회 성분분석 보고서	① 비산회 성분분석 보고서	1건	비산회의 화학적·물리적 성분분석	분석보고서 공인성적서	4	주관 공동	30	분석보고서 : 2 건 공인성적서 : 2 건
	3	베트남 연약지반 특성 파악	3-1	연약지반 특성 및 분포현황 보고서	① 연약지반 특성 및 분포현황 보고서	1건	연약지반 특성 및 분포현황 분석	분석보고서	4	주관 공동	30	분석보고서 : 2 건
	4	베트남 고칼슘 비산회를 재활용한 고화재 개발	4-1	베트남 고칼슘 비산회 재활용을 위한 배합비	① 베트남 고칼슘 비산회 ② 재활용을 위한 배합비	1건 1건	비산회 배합비별 실내시험 연약지반 특성별 배합시험	공인성적서 특허출원(국내, 베트남) 시제품 출시	4	주관 공동	30	특허출원(국내) : 2 건 특허출원(베트남) : 1 건 논문(국내, BSO) : 1 건 시제품 : 1 건 공인성적서 : 1 건
	5	개발 고화재를 이용한 연약지반 처리공법 개발	5-1	시방서	① 시방서	1건	시방기준 정립	시방서	40	주관 공동 위탁	340	특허출원(국내) : 2 건 논문(국내, BSO) : 2 건 논문(베트남, BSO) : 1 건 학술발표(국내) : 1 건
	6	개발 고화재 베트남 현지 인증	6-1	개발고화재 베트남 인증	① 개발고화재 베트남 인증	1건	실내시험(베트남)	공인성적서 특허출원(베트남)	2	주관 공동	15	특허출원(베트남) : 1 건 특허등록(국내) : 2 건 논문(국내, BSO) : 1 건 학술발표(국내) : 1 건 규격인증(베트남, TCCS) : 1 건
	7	개발 공법의 베트남 현지 적용성 평가	7-1	베트남 현지 적용 공법 개발	① 베트남 현지 적용 공법 개발	1건	베트남 현장시험시공	특허출원(베트남) 시험시공 보고서	22	주관 공동 위탁	190	특허출원(베트남) : 2 건 특허등록(국내) : 2 건
	8	개발공법 홍보	8-1	국제전시회 참가	① 국제전시회 참가	1건	국제전시회 참가	국제전시회 참가 학술발표	1	주관 공동	10	학술발표(베트남) : 1 건
	9	개발 공법의 현지화	9-1	경제성 분석 결과보고서	① 경제성 분석 결과보고서	1건	경제성 분석	분석 보고서	15	주관 공동	140	분석보고서 : 2 건 시제품 : 1 건 기술체결 계약서 : 1 건
			9-2	시제품 출시	② 시제품 출시	1건	장비 시제품 제작	시제품 출시				
			9-3	실시계약 체결	③ 실시계약 체결	1건	베트남 기술실시 계약 체결	기술체결 계약서				
			9-4	현지공장 설립 타당성 검토	④ 현지공장 설립 타당성 검토	1건	타당성 조사 보고서	타당성 조사 보고서				
계									100		855	특허출원(국내, 베트남) : 8 건 특허등록(국내) : 4 건 논문(국내, 베트남, BSO) : 5 건 학술발표(국내, 베트남) : 3 건

		코드번호		C-05-02
구분		목표	달성도(%)	비고
국외논문 게재	SCI			
	비SCI	1	100	초과달성 (2편)
	계	1	100	
국내논문 게재	SCI			
	비SCI	4	100	
	계	4	100	
특허출원	국내	4	100	
	국외	4	100	
	계	8	100	
특허등록	국내	4	100	
	국외			
	계	4	100	
인력양성	석사			
	박사			
	계			
설계	설계도면			
현장적용	현장적용	2	100	
기술이전	계약건수			
	계약액			
	징수액			
국제 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
국내 표준화	기고서 제출			
	기고서 채택			
	표준안 채택			
정책활용도	제출			
	채택			
설계기준·지침	제출			
	채택			
기타	상용화			
	시제품	2	100	
	S/W등록			
	기술문서			
	성과홍보			
	일자리창출			
	보고서원문			
	연구시설·장비			
	생명정보			
	생명자원			
	화합물			

가. 국내의 논문 게재

No	논문명	학술지명	주저자명	호	코드번호		C-06-01		
					국명	발행기관	SCI여부 (SCI/비SCI)	게재일	등록번호
1	고화재 활용을 위한 베트남 CFBC 비산회의 물리적·화학적 특성 분석	지질공학회지	민경남	Vol.27 No.3	한국	대한지질공학회	비SCI	'17.09	1226-5268
2	베트남 CFBC 비산회를 사용한 지반고화재의 특성	資源리싸이클링	김기석	Vol.27 No.3	한국	한국자원리싸이클링학회	비SCI	'18.04	1225-8326
3	Develop The Eco-Friendly Soft Ground Improvement Technique For The VietNam Hight Calcium Ash Recycling	Journal of Structural Engineering and Construction Technology	Ha Minh	Vol.27	베트남	VietNam Association of Structural Engineering and Construction Technology	비SCI	'18.06	1859-3194
4	심층혼합처리 공법용 오거비트의 기술동향 및 특허분석	지질공학회지	민경남	Vol.28 No. 3	한국	대한지질공학회	비SCI	'18.10	1226-5268
5	베트남 순환유동층 발전(CFBC) 비산회 고화재를 사용한 심층혼합 처리공법(DCM) 시험시공사례	資源리싸이클링	김기석	Vol.27 No.5	한국	한국자원리싸이클링학회	비SCI	'18.10	1225-8326
6	Case Study on the improvement of soft ground using DCM Method and CFBC Fly Ash Solidification	Journal of Structural Engineering and Construction Technology	Ha Minh	Vol.28	베트남	VietNam Association of Structural Engineering and Construction Technology	비SCI	'18.12	1859-3194

나. 국내 및 국제학술회의 발표

No	회의명칭	발표자	발표일시	장소	국명
1	2017 한국지반환경공학회 정기총회 및 학술발표회	이동원	2017.09.15.	건설회관(서울)	한국
2	2018 (사)대한지질공학회 정기총회 및 춘계학술대회	이동원	2018.04.05.	대명리조트(청송)	한국
3	31th National Symposium on Construction Standard in Vietnam	Truong Xuan Hoang	2019.01.18	하노이건설대학교	베트남

다. 지식재산권(특허, 실용신안, 의장, 디자인, 상표, 규격, 신품종, 프로그램)

						코드번호		C-06-04	
No	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국 명	출원			등 록			기여율
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	DCM 공법용 심층 혼합 처리 장치	한국	(주)세종 이엔씨	2017. 02.21	10-2017-0 022770	(주)세종 이엔씨	2018. 04.20	10-1852474	
2	고칼슘 비산회를 이용한 고화재 제조 방법 및 이 제조 방법에 의해 제조된 고화재를 이용한 지반 개량 공법	한국	(주)세종 이엔씨	2017. 04.26	10-2017-0 053841	(주)세종 이엔씨	2018. 04.20	10-1852483	
3	심층혼합처리공법의 경화재 분사 장치 및 이를 이용한 시공 방법	한국	(주)세종 이엔씨	2017. 11.15	10-2017-0 152091	(주)세종 이엔씨	2018. 04.30	10-1855413	
4	고칼슘 플라이애쉬와 철강산업부산물을 이용한 고화재의 제조 방법 및 이를 이용한 지반 개량 공법	한국	(주)세종 이엔씨	2018. 04.19	10-2018-0 045668	(주)세종 이엔씨	2018. 08.13	10-1889783	
5	DEEP MIXED APPARATUS FOR DCM	베트남	(주)세종 이엔씨	2018. 06.05	1-2018-02 424				
6	Solidification material using high-calcium fly ash, method for producing the same and method for improving a ground	베트남	(주)세종 이엔씨	2017. 06.27	1-2017-02 404				
7	HARDENER INJECTION EQUIPMENT FOR DEEP MIXING METHOD OF SOIL STABILIZATION AND CONSTRUCTION	베트남	(주)세종 이엔씨	2018. 06.05	1-2018-02 425				
8	Solidified agent and making method of it using high-calcium fly ash and steel making slags	베트남	(주)세종 이엔씨	2018. 09.11	1-2018-03 994				

라. 산업기술 인력양성

				코드번호		C-06-07
No	프로그램명	프로그램 내용	교육기관	교육 개최회수	총 교육시간	총 교육인원
1	기계분야 CE인증	해외규격인증	한국화학융합 시험연구원	1	6	1
2	미주NRTL 및 FCC의 이해	해외규격인증	중소기업청	1	3	1
3	CE마킹, 위험성 평가	해외규격인증	중소기업청	1	6	1
4	KAIA 아카데미	연구과제	KAIA	1	7	1
5	글로벌스마트 인재양성	무역실무	중소기업청	1	8	1
6	해외 특허출원비용 및 기일관리 전략	해외특허출원	한국발명진흥회	1	6	1
7	베트남 지식재산 동향 및 출원전략	베트남 지식재산권	한국발명진흥회	1	6	1
8	해외건설 계약 심화과정-EPC Turnkey Contract	해외건설 계약	해외건설협회	1	21	1
9	해외건설 금융 실무과정	해외건설금융	해외건설협회	1	21	1
10	영문Biz 메일 및 무역서식 작성	영문 메일 및 무역서식	한국무역협회	1	12	1
11	실전 비즈니스 협상 전문가	협상 기술	한국무역협회	1	18	1

마. 기술거래(이전) 등

				코드번호		C-06-08
No	기술이전 유형	기술실시계약명	기술실시 대상기관	기술실시 발생일자	기술료 (당해연도 발생액)	누적 징수현황
1	통상실시권	통상실시권 부여	(주)지에스이	2018.10.15	-	-

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 기술수요처

- 개발기술의 기술수요처는 공공기관, 건설사 및 시멘트사, 설계사로 구분할 수 있으며, 현재 업무협의를 추진하고 있는 기관 및 협의 내용은 표 5.1에 표기

표 5.1 개발기술 수요처

구 분	기관/회사명	비 고
공공기관	전력공사(EVN), 통상부(MOT), 산업부(MOI)	산업폐기물 재활용
	교통부(MOT), 건설부(MOC)	건설원가 절감
건설사 시멘트사	LILAMA Corporation Construction Corporation No.1 SONG DA Construction Corporation HANOI Construction Corporation FECON South Phan Vu Investment Vinh Hung Trading Consulting and Construction JSC Siam City Cement (Vietnam) Limited	원가개선, 수익증대
설계사	Power Engineering Consulting JSC(PECC) Transport Engineering Design Inc(TEDI)	설계 반영

- 과제를 추진하면서 진행된 베트남 현지 기술홍보 행위에 의해 비산회 발생처인 발전소 및 개발기술 및 재료를 활용할 수 있는 건설사, 시멘트사 등과 업무협약 진행 (표 5.2)

표 5.2 개발기술 활용 관련 협약 목록

구 분	기관/회사명	협약일
LOI	Phan Vu Investment	2017.11.10.
	CONINCO JSC	2017.11.13.
	Mong doun Thermal Power Plant	2017.11.22.
	Vinh Hung Trading Consulting and Construction JSC	2017.12.08.
MOM	EVN GENCO-3	2017.11.23.
MOU	CONINCO JSC	2017.11.09.
	Vinh Hung Trading Consulting and Construction JSC	2017.12.12.
	Siam City Cement (Vietnam) Limited	2018.06.27.

2. 수요처 별 개발기술 적용방안

가. 전력공사 및 발전소

- 현재 베트남에서 발생하는 고칼슘 비산회는 폐기물로 규정되어 매립 처리되고 있으며, 이에 대한 재활용기술이 필요한 상황
- 따라서, 본 과업에서 개발된 기술을 바탕으로 고칼슘 비산회의 활용 방안을 제시하고 그에 따라 매립처리에 발생하는 비용을 감소시킴과 동시에 환경부하를 저감 가능

나. 교통부 및 건설부

- 베트남은 국토 전반에 걸쳐 연약지반이 분포해 있으나 낙후된 장비 및 기술로 경제성 및 시공효과가 낮음
- 본 과업에서 개발된 고화재는 일반적으로 시멘트계 재료의 반응에 방해가 되는 물질이 다량 존재하는 연약지반에서 시멘트계 재료보다 뛰어난 반응성을 가지고 있으며 수화반응에 따른 지반의 탈수효과가 높고, 개량 이후 개량체의 내화학적 및 환경성이 뛰어나므로 보다 높은 시공 효과를 기대 가능

다. 건설사, 설계사 및 시멘트사

- 베트남은 그간 북부의 하노이와 남부의 호치민을 중심으로 국토개발이 이루어져 왔으나, 다양한 외국계 자본이 진출하면서 그 인근을 중심으로 산업 인프라 확충 진행 중, 그에 따라 도심지 공사가 잦아지고 있어 보다 안정적이고 빠른 시공의 필요성이 대두
- 개발 고화재의 경우, 기존에 사용되던 시멘트계 재료보다 개량체의 안정성이 높을 뿐만 아니라, 7일 이내의 초기반응이 빠르고 탈수효과가 뛰어나 공기단축효과를 기대
- 그리고 본 과업에서 개발된 시공장비의 경우 기존 공정에 별도의 설비추가가 필요없어 그 적용성이 뛰어나며, 이를 적용하는 경우 기존 시공장비 보다 일정한 품질의 개량체를 형성할 수 있기 때문에 보다 적은양의 고화재로 목표 강도로 개량이 가능하여 경제성 향상효과 기대
- 설계사의 경우 위에 나열된 장점을 바탕으로 설계 품질향상도모 및 설계금액 절감으로 경쟁력을 확보할 수 있으며, 이를 통한 수익창출효과 기대
- 또한, 베트남은 시멘트 및 콘크리트의 혼화재로 흔히 사용되는 비산회의 활용률이 높지 않은 편으로 조사된 자료에 의하면, 베트남의 경우 발생하는 비산회의 품질이 균일하지 못하고 재활용 기준에 부합하지 못한 비산회도 다량 발생되고 있으나 이를 정제하여 일정한 품질의 혼화재로 생산하는 공장은 거의 없는 실정
- 본 과업에서 진행된 연구결과에 따르면, 개발고화재에 사용된 고칼슘 비산회 또한 정제를 거치는 경우 그 효율이 증대되어 산업부산물 재활용률을 증대 및 일정한 품질의 고화재

생산을 위해서는 정제공정이 필수적으로 수반되어야 한다고 판단되며, 이를 위한 부지선정 및 공정설계를 진행 중

- 비산회에 적합한 정제공정이 설립되어 이를 시멘트 혼화재로 활용할 수 있는 경우 시멘트 사는 제조원가를 절감할 수 있으며, 매스 및 기초콘크리트 등에 사용되는 특수시멘트를 안정적으로 생산할 수 있을 것으로 기대

3. 제품 및 기술의 상용화

- 본 과업의 공동 연구기관인 베트남 CONINCO社는 엔지니어링사업·감리뿐만 아니라 시멘트 및 콘크리트 제조공장을 갖추고 있어 개발된 재료의 상품화가 가능하며, 상용화에 따라 사업의 파트너 역할 수행 예정
- 보링그라우팅 사업을 수행하고 있는 주관연구기관 현장에서 개발 공법의 시험시공 및 현장 적용성 평가를 수행하면 단기간에 개발 공법 및 재료의 사업화가 가능할 것으로 판단



1) 베트남 현지 공장



2) CONINCO에서 감리중인 시공현장 전경

그림 5.1 베트남 시멘트공장과 시공현장 전경

- 현재, 주관기관은 고화재 생산 및 비산회 사업을 위한 예비 타당성조사를 완료하였으며 국내 및 베트남의 공동 투자자와의 협의 진행 중
- 국내의 경우 한국해외인프라도시개발지원공사(KIND, Korea Overseas Infrastructure & Urban Development Corporation)에서 투자의향을 밝힌 상황, 베트남의 경우 시멘트社인 Siam City Cement (Vietnam) limited (SCC, INSEE cement)에서 투자 및 제품 구매 의향을 밝힘
- 과업의 연구 결과 비산회는 반응에 영향을 미치지 않는 미연탄소를 제거해야 그 효율을 높일 수 있을 뿐 아니라, 베트남에서는 국가 기준인 ‘TCVN 10302’를 제정하여 시멘트와 함께 사용하는 비산회의 미연탄소 함량 기준을 최대 15% 까지 허가하기 때문에 성능 향상 및 기준 만족을 위한 정제 공정이 필수

January 30th, 2019

Ref. No. KIND-PJT-DEV2-011

 ATTN: SEJONG E&C
 47 (2nd floor), Jeonghyeon-gil, Jeongsan-myeon, Cheongyang-gun
 Chungcheongnam-do 33351, Republic of Korea

Subject: Expression of Interest for Fly Ash Beneficiation Plant Project in Vinh Tan, Vietnam

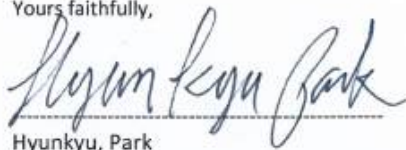
Dear Sirs,

The undersigned hereby declares that Korea overseas Infrastructure and Urban Development Corporation (hereafter called 'KIND'), having established as Korean Government Agency to provide support for Korean EPC and O&M contractors to expand their businesses in overseas investment projects, has sincere interest in participating in the Fly Ash Beneficiation Plant Project as an equity investor, a debt investor, and a financial advisor if necessary.

Please be advised that this EOI is not legally binding and does not constitute a commitment to the investment by KIND, which will be subject to appropriate due diligence and internal approval in the next stage.

KIND looks forward to further discussions with your Institution on the Project.

Yours faithfully,



 Hyunkyu, Park
 Head of Project Development Office #2
 Korea Overseas Infrastructure & Urban Development Corporation

그림 5.2 KIND의 투자 의향서

표 5.3 사업참여자(안)

참여자	지분율	담당업무
(주)세종이엔씨	51 %	EPC 및 O&M 주관
SCC (INSEE)	협의 중	Off-taker, 지분투자
KIND		지분투자

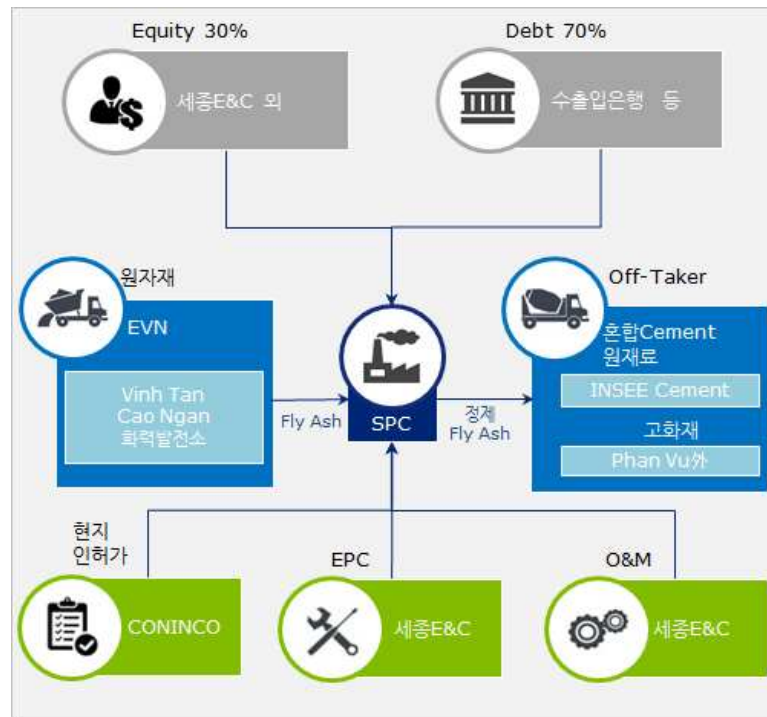


그림 5.3 사업구도

- 고화재만을 대상으로 정제공정 및 생산공정을 운영하기에는 경제성확보가 어렵기 때문에 같은 정제공정을 거쳐 시멘트 혼화재로 사용할 수 있는 일반 석탄화력발전소(미분탄 연소 방식) 비산회를 함께 처리하기 위해 사업대상지는 베트남 내 최대 화력발전단지가 위치하고 물류를 위한 항구가 인접한 베트남 남부의 Vinh Tan 지역으로 사업지역 선정
- 해당 사업지의 경우 대규모 복합항이 신설되어 해상을 통한 물류 이동이 수월하여 호치민, 하노이 인근의 CFBC 발전소로부터 고칼슘 비산회를 공급받아 정제 및 고화재 제조하기에 적합하며, 밀접해 있는 Vinh Tan Thermal Power Complex로부터 대량의 일반 비산회를 공급받아 정제 및 유통하기에도 적합하여 항구 내 공장입지 확보 진행 중
- 또한, 사업대상지의 경우 발전소, 복합항 및 인근 산업단지의 신설, 호치민-다낭 간 고속도로 건설 계획 등으로 인프라 확충에 대한 기대치가 높아 기반개량에 필요한 고화재의 수요도 지속적으로 존재할 것으로 예상

가. 적용기술

- 비산회로부터 미연탄소를 제거하는 정제 공정은 크게 분급, 정전선별, 습식선별, 재연소 등의 방법으로 구분
- 분급은 비산회에 혼재된 미연탄소가 일반적으로 큰 입도군에 분포한다는 점을 이용한 선별방법으로 효율은 낮지만 가장 저렴하고 큰 물량 처리 가능

- 정전선별은 애시입자와 미연탄소입자의 일함수(work-function)값 차이에 의해 쉽게 다른 극으로 대전되는 특징을 이용해 전극으로 두 입자의 이동경로를 다르게 하여 선별하는 방식으로 다양한 방법이 있으나, 상용화된 기술이 극소수
- 습식선별은 두 입자의 친/소수성 차이를 이용하여 물과 교반하면서 미연탄소 입자를 부유시켜 선별하는 방법으로, 효율은 높지만 공정에 사용되는 화학약품으로 인한 애시입자 표면의 개질 및 제품의 건조에 대한 부담 발생
- 재연소는 가장 확실한 미연탄소의 제거방법일 수 있으나, 현재까지 경제성을 만족하는 공정개발이 이루어지지 않음

표 5.4 비산회 정제공정 별 장단점 비교

구분	장점	단점	비고
분급	• 도입/유지비용 낮음 • 시간 당 처리량 높음 • 제품의 분말도 향상 • 공정 간 조합 가능	• 정제효율이 낮음 • 내마모성이 높은 재질 사용 필요	국내 비산회 처리업체 대다수 적용
습식선별	• 도입/유지비용 낮음 • 정제효율 매우 높음 • 설비 규모에 따라 시간 당 처리량 조절 수월 • 매립되어 있는 비산회도 처리 가능	• 처리 후 건조에 대한 부담 • 공정에 사용되는 화학약품으로 폐수 발생 • 화학약품에 의한 표면개질로 제품 반응성 저하 • 공정 간 조합 어려움	베트남 내 1개 업체, 국내 소수 업체 적용
정전선별	• 유지비용 낮음 • 정제효율 높음 • 공정 간 조합 가능	• 상용화 기술 극소수 • 도입비용 높음 • 환경 조건에 민감	국내 2개 발전소 도입 미국 및 유럽 내 다수 국가 도입
재연소	• 가장 확실한 정제 방법	• 개발 기술의 경제성 부족	상용화기술 없음

- 본 사업의 정제 공정은 공정 산물의 시멘트계 재료로서 활용을 목적으로 하기 때문에, 시멘트계 재료로 사용이 어려워지는 습식선별 공정과 경제성이 확보되지 않아 상용화된 기술이 없는 재연소 기술은 제외하고 고려
- 정전선별을 통한 정제의 경우, 설비 운영에 소요되는 비용은 낮지만 같은 처리용량대비 분급기의 약 5배에 달하는 높은 도입가격 때문에 다수의 설비를 도입하는 경우 투자금 회수까지 오랜 기일이 소요
- 분급의 경우 설비 도입 및 운영에 소요되는 비용이 낮으나, 입도 분리에 의한 정제공정이기 때문에 큰 효율을 기대하기 어렵고 특히 입도가 굵은쪽에 분포하는 미연탄소분이 많은 비산회의 경우 분급 시 내부 마찰 및 충격에 의해 파쇄되어 정제 효율이 낮아지는 경우

발생

- 미연탄소 함량이 일정치 않게 배출되는 베트남 비산회 품질에 대응하여 주관기관은 비산회의 미연탄소 함량이 높을 경우를 대비한 분급 기술개발 수행 ‘포켓 블레이드 분급기(특허 10-1947443호, 국내 등록, 베트남 출원)’
- 또한, 정제 후 버려지는 애시의 양을 최소화 하고 제품 애시의 품질향상을 위해, 현재 대용량 처리가 가능한 유일한 상용 정전선별 장비인 미국 STET社의 정전선별 기술을 적용 (모델명: F42)하여 정제 프로세스 개발 ‘분급 및 정전선별을 이용하는 비산회의 처리 방법(특허 10-1903366, 국내 등록, 베트남 출원)’
- 본 사업의 정제 공정은 주관기관의 보유기술에 따라 분급 및 정전선별 공정으로 구성, 큰 입도군에 미연탄소 함량이 높은 일반 비산회의 경우 분급 및 정전선별 공정을 통한 정제 처리, 입도군에 따른 미연탄소 함량이 일정치 않은 고칼슘 비산회의 경우 정전선별을 통한 정제처리 예정
- 분급과 정전선별을 활용한 복합공정으로 일반 비산회 및 고칼슘 비산회의 정제 진행 및 분체 혼합공정 적용으로 고화재 생산 라인 구축

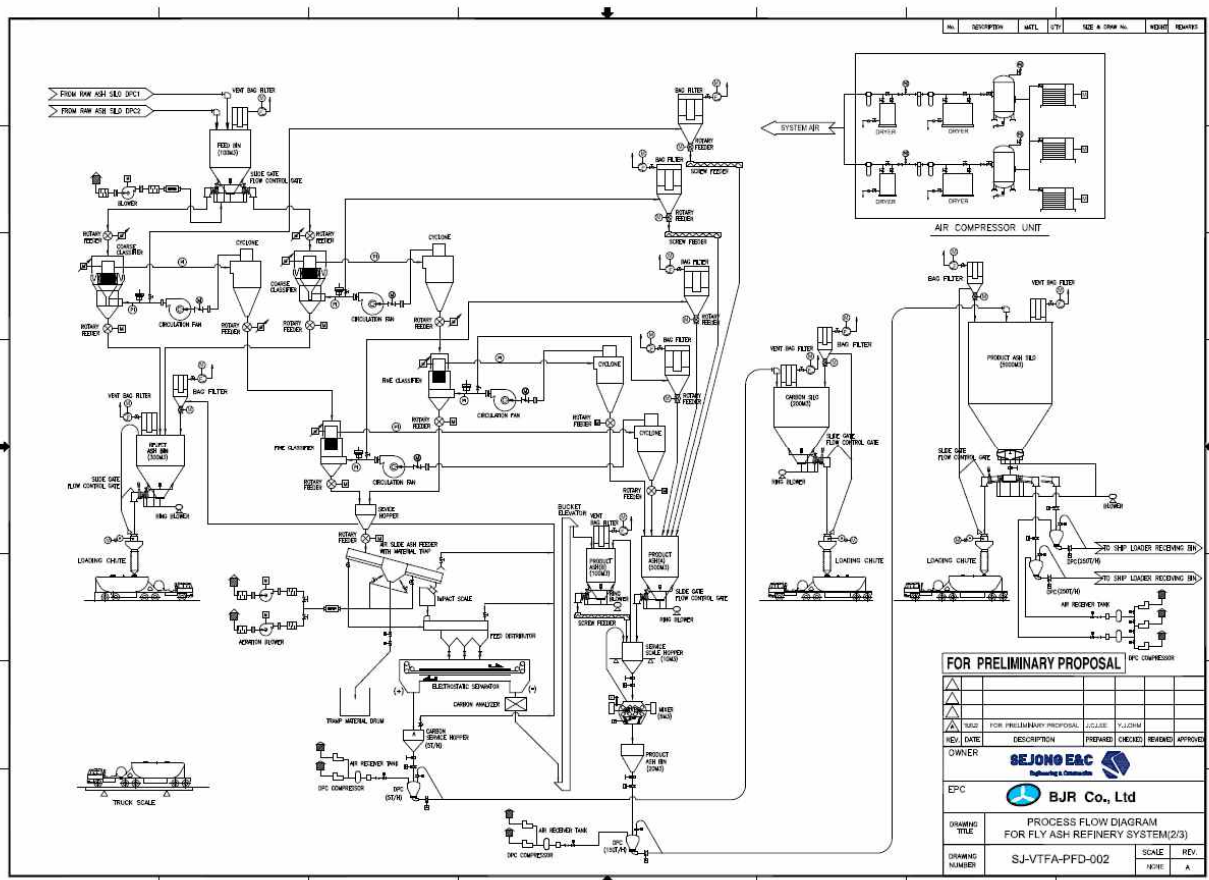


그림 5.4 비산회 정제 및 제품 생산 공정 기본 설계

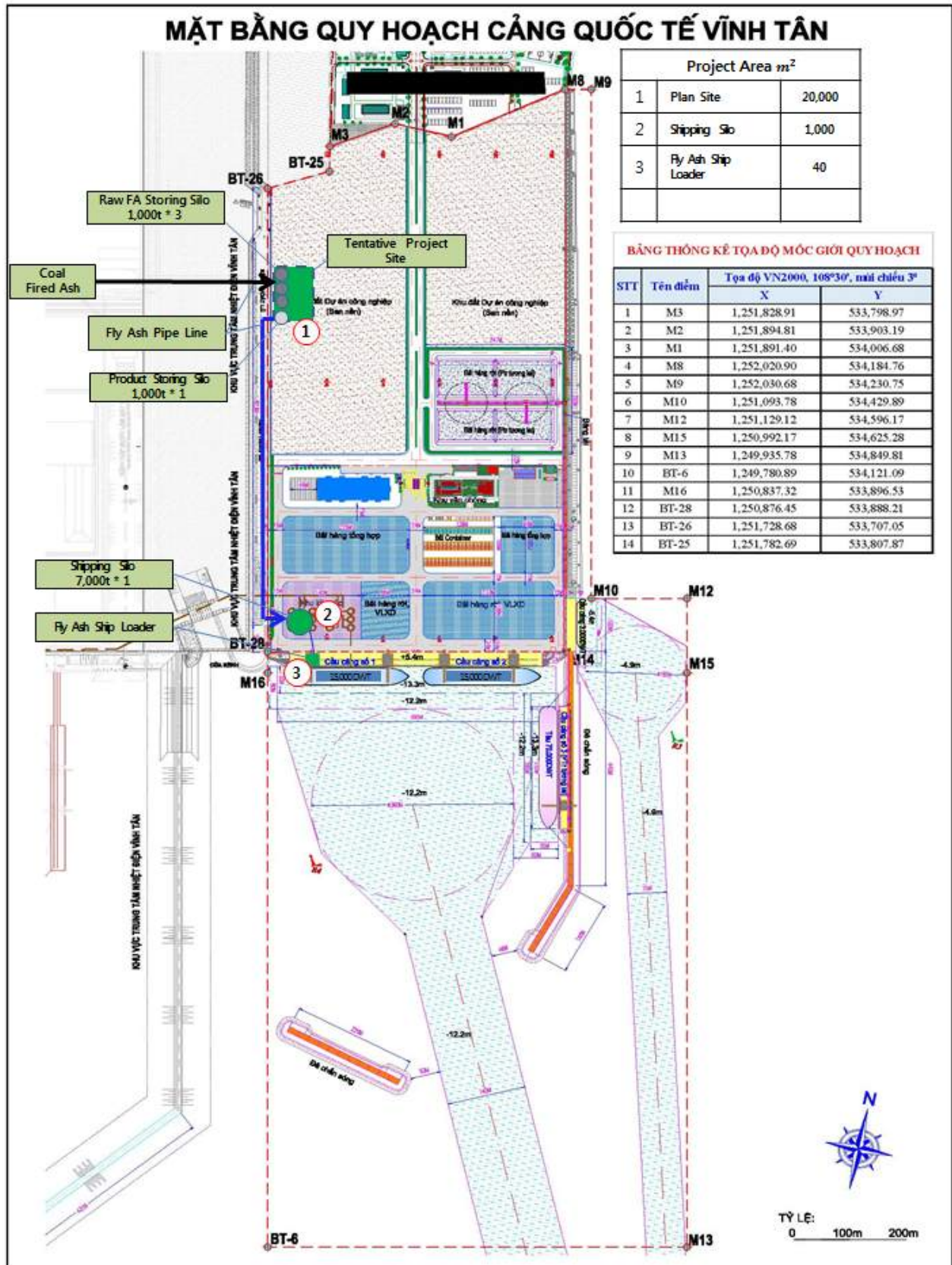


그림 5.5 비산회 정제 및 고화재 생산 플랜트 부지 (Vinh Tan General Port 内)

나. 원료 관련 현황

1) 비산회

- 서론에서 기술한바와 같이 베트남은 기저발전을 화력발전으로 정하여 석탄화력발전소를 중심으로 발전소가 증설되고 있으며, 현재 가동 중인 석탄화력발전소는 24기에 이릅니다.
- 24기의 석탄화력발전소 중 CFBC 보일러를 사용하는 발전소는 총 8기로 과업 진행 중 조사한 5개 발전소 이외 3개 발전소가 추가 가동 중이며, 이들 발전소로부터 발생하는 비산회는 재활용처 개발 필요 (PvPower.Vn, 2019)

No.	Thermal Power plant (Coal)	Capacity (MW)	Type of Boiler
1	An Khanh 1	110	CFB
2	Cam Pha 1, 2	660	CFB
3	Cao Ngan	100	CFB
4	Duyen Hai 1	1,200	PC
5	Duyen Hai 3	1,200	PC
6	Formosa Dong Nai	450	PC
7	Formosa Ha Tinh	300	PC
8	Hai Phong 1, 2	1,200	PC
9	Mao Khe	440	CFB
10	Mong Duong 1	1,080	CFB
11	Mong Duong 2	1,240	PC
12	Na Duong 1	110	CFB
13	Nghi Son 1	600	PC
14	Ninh Binh	100	PC
15	Nong Son	30	CFB
16	Pha Lai 1, 2	1,040	PC
17	Quang Ninh 1, 2	1,200	PC
18	Son Dong	220	CFB
19	Thai Binh 1	600	PC
20	Uong B	630	PC
21	Vinh Tan 1	1,240	PC
22	Vinh Tan 2	1,200	PC
23	Vinh Tan 4	600	PC
24	Vung Ang 1	1,200	PC
SUM		16,750	

그림 5.6 가동중인 베트남 석탄화력발전소 현황

- 베트남 정부의 2번에 걸친 부총리 지침(No.1696/QD-TTg, No.452/QD-TTg)에 따라 발전소는 2020년까지 발전부산물의 재활용 로드맵 제시 필요
- 대부분의 발전소는 위 지침에 따라 주로 레미콘사 및 콘크리트 2차 제품 생산사를 대상으로 비산회를 처리하기 위한 계획을 수립 중이나, CFBC 비산회의 경우 해당용도로 재활용이 불가능하기 때문에 적합한 대책 마련 필요
- 본 과업에서 개발된 고화재의 경우 CFBC비산회의 사용량이 40% 수준으로 대량 소비가 가능하기 때문에, 우선 고화재 재료로서 적합재료로 분석된 Cao Ngan 발전소 비산회 위

주로 공급으로 CFBC 비산화 재활용의 선례를 만들어 다른 CFBC 발전소 비산화의 품질 개선 유도 및 추가 공급계획 수립 예정

2) 고로슬래그

- 고로슬래그는 고화재 생산 시 비산회를 제외하면 가장 사용량이 높은 재료로서, 양품의 고로슬래그 확보는 개발 고화재의 상용화에 매우 중요한 요소
- 베트남의 Formosa Ha Tinh은 고로슬래그를 배출하는 대표적인 제철소로서 그 생산능력은 4백만 톤/년에서 2018년 하반기 제 2고로 가동으로 두 배 가량 상승 예상 (Vietnam news-‘Domestic steel production growth to reach 20 percent this year’, July 16/2018)
- 고로슬래그 발생량에 대한 정확한 통계는 없으나, 선철 생산량 대비 약 30%가량 발생하는 특성 상 2백만 톤/년가량 발생할 것으로 예상
- 흔히 시멘트계 재료로서 활용되는 고로슬래그는 수쇄슬래그(water granulated slag)로서 물을 통한 급랭공정에 의해 비정질로 생산되어 수화반응성이 있지만, 이를 활용하기 위한 연구과제 진행과정에서 현재 베트남에서 발생하는 고로슬래그는 냉각(수쇄)기술 부족으로 고로슬래그의 수화반응성이 낮아 활용이 어려움을 확인
- 같은 이유로 베트남 시멘트 시장에서는 일본, 한국 등지에서 혼화재용 고로슬래그를 수입하여 활용 중이며, 그 가격은 40 USD/Ton 수준 (Siam City Cement Vietnam Limited)
- 고로슬래그의 경우, 그 품질이 확보되면 폐기물이 아닌 자원으로서 큰 가치를 갖는 공정부산물이기 때문에 현재 베트남의 철강사도 수쇄기술 개발에 노력을 쏟고 있으며, 본 사업의 경우 우선 국내 기업인 한국기초소재를 통해 한국산 고로슬래그의 도입을 고려하고 공정 완료 시기의 베트남 산 고로슬래그 품질에 따라 유동적으로 활용 예정

다. 경제성 분석

- 개발 기술의 경제성분석을 위해 국토교통부 GIF 사업으로 예비타당성 조사 수행
- 연간 100만톤의 비산회를 처리하기 위한 플랜트 설계 시 정제공정은 50TPH 급 분급기 3대, 40TPH 급 정전선별기 1대로 구성, 이외 고화재 생산을 위한 분체 혼합기 및 저장사일로와 부대설비 구축 예정으로 설비건적 및 기타 부대설비 구축으로 예상되는 CAPEX는 약 23,263백만 원으로 예상
- 주요설비 및 부대설비 유지보수 비용, 인건비, 물류비 등으로 구성된 OPEX는 연간 12,522백만 원 수준으로 분석

- 위와 같은 가정으로 사업이 진행되는 경우 Project IRR은 17.8% (발전소와 협의 중인 파이프라인 건설지원이 이루어지는 경우 18.4%)로 산정되어 사업개시 후 7년 (상업운전 개시 후 5년)안에 투자금회수가 가능한 수준으로 분석

표 5.5 예상사업 CAPEX 산출내역

구분	세목	규격	단위	수량	단가	금액		
설계 및 인허가비	조사 및 측량		식	1	200,000,000	200,000,000		
	기본 및 실시설계		식	1	400,000,000	400,000,000		
	인허가비용		식	1	300,000,000	300,000,000		
	소 계 (3.87%)					900,000,000		
항구 내 시설	부대토목	기초파일 外	식	1	150,000,000	150,000,000		
	항구 내 저장 Silo	7,000톤	식	1	1,400,000,000	1,400,000,000		
		Air compressure 外	식	1	200,000,000	200,000,000		
	Ship Loader	500톤/hr	식	1	600,000,000	600,000,000		
Plant 설비비	정제공장 Plant	분리선별기	Classifying System	식	3	500,000,000	1,500,000,000	
		정전분리기	STET社	ea	1	4,500,000,000	4,500,000,000	
		Silo 설치	원재료 Silo(5,000톤)	기	2	1,000,000,000	2,000,000,000	
			완제품(3,000톤)	기	1	600,000,000	600,000,000	
			Reject Silo(500톤)	기	1	125,000,000	125,000,000	
			Relay Silo(250톤)	기	2	100,000,000	200,000,000	
		수전시설		식	1	1,500,000,000	1,500,000,000	
		기타시설	Utiliity 外	식	1	500,000,000	500,000,000	
		Mill, Mixer		식	1	1,000,000,000	1,000,000,000	
		철골 및 부대토목	기초파일 外	식	1	1,000,000,000	1,000,000,000	
		Pipe Line	5,000m	식	1	500,000,000	500,000,000	
		운송비	대/소운반	식	1	300,000,000	300,000,000	
		사무실 및 숙소 건축	사무실, 숙소동		식	1	500,000,000	500,000,000
			창고동, 시험동		식	1	250,000,000	250,000,000
	부지포장 외			식	1	150,000,000	150,000,000	
토지 임차료	공장동		m ³	20,000	33,900	678,000,000		
	항구 내 저장 Silo	7,000톤*1개	m ³	1,000	67,800	67,800,000		
	Pipe Line	1.5m*2,000m	m ³	3,000	33,900	101,700,000		
	소 계 (3.64%)					847,500,000		
SPC 운영비	인건비	한국인 4인	월	18	26,000,000	468,000,000		
		현지인 8인	월	18	4,700,000	84,600,000		
	사무실 운영비		월	18	10,000,000	180,000,000		
	시공 감리비	한국인 특급 2인	월	18	16,000,000	288,000,000		
	시운전 비용 및 기타		월	6	20,000,000	120,000,000		
	소 계 (4.9%)					1,140,600,000		

차량 및 공기구	공장 가동 차량		대	3	40,000,000	120,000,000
	BCT	Tractor	대	5	120,000,000	600,000,000
	(완제품 이송)	Trailer	대	10	30,000,000	300,000,000
	Dump	Tractor	대	1	120,000,000	120,000,000
	(Reject Ash 이송)	Trailer	대	2	30,000,000	60,000,000
	각종 공기구 外		식	1	50,000,000	50,000,000
	편의시설		식	1	50,000,000	50,000,000
	품질, 시험기자재*		식	1	100,000,000	100,000,000
	소 계 (6.02%)					1,400,000,000
예비비 (Contingency)	예비비	기타 예비비	식	1	2,000,000,000	2,000,000,000
	소 계 (8.6%)				2,000,000,000	2,000,000,000
합 계						23,263,100,000

표 5.6 예상 사업 OPEX 산출내역

구분	세목	규격	단위	수량	단가	금액
원재료비	Raw FA 구입비		ton	950,000	1,580	1,501,000,000
	폐기물 운반비		ton	150,000	1,000	150,000,000
	폐기물 처리비		ton	150,000	1,500	225,000,000
	소 계 (14.98%)					1,876,000,000
물류비	해상운송비	10,000DWT	ton	800,000	6,500	5,200,000,000
	항구시설이용료		ton	800,000	400	320,000,000
	소 계 (44.08%)					5,520,000,000
운영비	인건비(한국인)	한국인 3인	월	12	18,000,000	216,000,000
	인건비(베트남인)	현지인 25인	월	12	19,900,000	238,800,000
	기술자문료	국내	월	12	10,000,000	120,000,000
	본사관리비	국내	월	12	6,000,000	72,000,000
	사무실 운영비		월	12	15,000,000	180,000,000
	제세공과금		식	12	20,000,000	240,000,000
	금융비용		식	12	150,000,000	1,800,000,000
	SPC운영 예비비		식	1	1,000,000,000	1,000,000,000
	소 계(30.88%)					3,866,800,000
유지 관리비	시설 유지관리비	파이프라인, 사일로	월	12	70,000,000	840,000,000
	정전분리기 벨트 교체		월	12	20,000,000	240,000,000
	장비 교체 및 보수		월	12	10,000,000	120,000,000
	품질관리비		월	12	5,000,000	60,000,000
	소 계 (10.06%)					1,260,000,000
합 계						12,522,800,000

표 5.7 재무분석결과

구분	Project IRR	Payback period	Equity IRR (FCFF 기준)	Equity IRR (Dividend 기준)
재무분석결과	17.8(18.4)%	7년 (상업운전개시 후 5년)	32.4%	24.7%

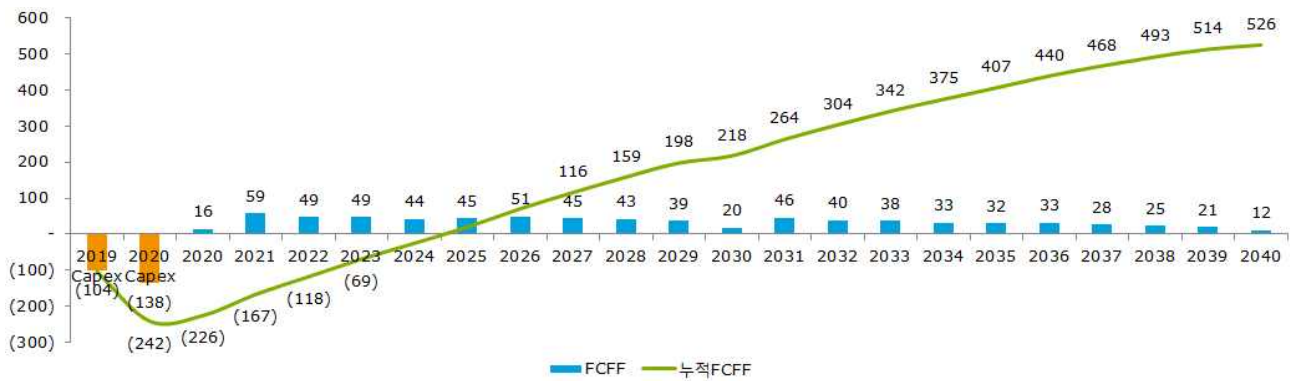


그림 5.7 재무분석결과

제6장. 연구과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

1	
기술 구분	논문
관련 국가	중국
기술 제목	Field Tests, Modification, and Application of Deep Soil Mixing Method In Soft Clay
기술 요약	DCM 기술에 관한 경제성 확보, 시공성 및 안정성 향상을 위한 각국의 연구 내용 정리 기존 DCM 기술이 유발하는 과도한 기공수압과 이로 인해 발생하는 주변 지반의 변위를 줄이기 위한 기술로 고화재의 물/시멘트 비율을 낮추고 혼합 및 분사 속도를 줄이면서 이로 인해 발생하는 시공성능 저하를 개발된 3축 혼합방법을 적용하여 변위를 최소화

2	
기술 구분	논문
관련 국가	중국
기술 제목	Low-reactive circulating fluidized bed combustion (CFBC) fly ashes as source material for geopolymer synthesis
기술 요약	반응성이 낮은 순환유동층 발전 비산회를 대상으로 메타카올린, 규산나트륨등을 사용하여 비산회의 알루미늄 실리케이트성분의 Na/Al 비를 맞춘 후 알칼리 반응성을 강화시킴으로서 지오폴리머 생산 원료로 활용

3	
기술 구분	논문
관련 국가	미국
기술 제목	Potential use of stockpiled circulating fluidized bed combustion ashes in controlled low strength material (CLSM) mixture
기술 요약	순환유동층 발전에서 발생하는 비산회는 일반 미분탄연소방식의 발전소에서 발생하는 비산회 보다 시멘트 혼화재로서의 반응성이 낮기 때문에 저강도재료에 사용되는 비산회를 대체하여 사용하였으며, 대체율에 따른 결과로 요구 강도 별 사용량을 제시

4	
기술 구분	보고서
관련 국가	미국
기술 제목	Coal Remining - Best Management Practices Guidance Manual
기술 요약	석탄 광산의 재 채굴을 위해 수질/지질화학적 요소를 고려한 최선의 현장관리 방법을 요약·기술하고 있다. 이 중 광산 배수 및 침출수로 인한 오염을 최소화하기 위한 방법론으로 CFBC 비산회를 포함한 다양한 석탄재를 활용해 산성수에 의한 지하수 오염과 지화학적 변질을 최소화하는 방안을 제시

5	
기술 구분	논문
관련 국가	대만
기술 제목	Effect of circulating fluidized bed combustion ash on the properties of roller compacted concrete
기술 요약	전압 콘크리트는 공극을 줄이기 위한 것으로 CFBC비산회를 전압콘크리트 배합에 적용하여 유리석회의 빠른 반응성 및 팽창성을 이용하여 공극을 최소화하여 기존 재료사용시보다 강도 및 내화학적 성능 향상

6	
기술 구분	논문
관련 국가	중국
기술 제목	Use of circulating fluidized bed combustion fly ash and slag in autoclaved brick
기술 요약	CFBC 비산회가 콘크리트에 사용될 때 가장 큰 단점은 재료가 경화된 후 비산회의 유리석회성분이 물과 반응하는 경우 부피팽창에 의해 경화체의 강도 및 외관에 악영향을 미치는 것인데, 본 연구에서는 오토클레이브 벽돌에 CFBC 비산회를 적용하여 유리석회의 반응을 초기에 이끌어 내 안정성을 확보

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	본 연구는 산업폐기물인 비산회 재활용 기술개발 과제로 국방 및 안보와 관련이 없고, 지식재산권 확보를 통해 기술 유출 예방 가능	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설 · 장비 현황 (해당없음)

구입 기관	연구시설/연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처 (전화번호)	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록 번호

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

1. 연구실 안전조치 이행계획

- 안전조치는 산업안전보건법, 건설기술관리법, 건설공사 안전점검 지침, 위험물 안전 관리법, 전기 안전법 등에 의거하여 연구개발과제 수행에 따른 연구실 및 현장시험의 안전조치 이행계획을 수립하였으며, 참여연구원 안전교육, 실험실 안전점검, 현장시험 안전점검, 안전사고 대응 및 예방 전략으로 계획
- 참여연구원 안전교육은 연구과제 수행 전 실시하는 것으로 실험실 및 현장시험의 안전환경 조성 및 사고예방을 위해 한국안전시설공단에서 배포된 안전교육 자료와 사고사례를 이용하여 기관별 자체교육을 실시
- 실험실 안전점검은 실험특성에 따라 일상점검, 정기점검, 특별안전점검으로 안전 진단을 실시
 - ① 일상점검 : 실험에 사용되는 약품 및 장비의 이상 유무를 위탁기관 참여연구원이 실험식별 특성에 맞는 점검표를 이용하여 수시로 점검
 - ② 정기점검 : 실험실 안전점검 체계에 따라 분기별 정기점검을 실시하고 부적합한 사항이 있을시 즉시 주관기관에게 보고
 - ③ 특별안전점검 : 폭발사고, 화재사고 등 참여연구원의 안전에 치명적인 위험을 야기할 가능성이 있을 것으로 예상되는 경우에 위탁연구기관 연구책임자 지시에 의해 자체점검 및 외부기관에 의뢰하여 점검



그림 9.1 실험실 안전점검체계

- 현장시험 안전점검은 「건설기술관리법」 및 「건설공사 안전점검 지침」에 의거하여 현장시험에 참여하는 모든 인원을 대상으로 현장안전관리 점검을 실시
- 안전사고 대응 및 예방으로는 실험실 및 현장시험에서 발생하는 안전사고에 적절한 대응과 그 피해를 최소화하기 위해 대책을 수립

- ① 실험실 및 현장시험 사고처리 흐름도 및 비상연락망 구축
- ② 유사사고를 예방하기 위해 연구기관에서 발생하는 사고사례를 연구원들에게 배포
- ③ 현장시험 및 실험실 안전사고 대응 처리 매뉴얼 작성, 사고 대응 훈련 실시

2. 연구실 안전조치 이행 실적

- 실험실 안전점검 체계 구축에 따라 일상 및 정기점검을 수행하고 있으며, 특별안전점검을 위해 사 내 비상연락망을 배포하고 비상대응체계 조직을 구축
- 비상대응체계 조직은 초기대응, 대피로확보, 의료, 비상대응정보 팀으로 나누어 각 팀에 맞는 교육훈련을 실시하여 비상사태에 빠르게 대응할 수 있게 하였으며, 모든 직원을 대상으로 비상사태에 대응하기 위한 필수훈련을 주기적으로 실시

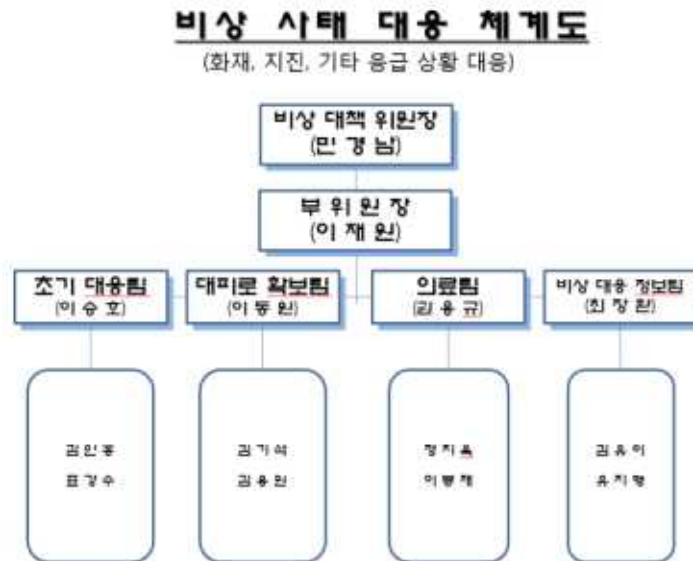


그림 9.2 비상사태 대응 체계도



그림 9.3 비상사태 교육훈련 자료 예시

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	DCM 공법용 심층 혼합 처리 장치	(주)세종 이엔씨	기술 보호	대 한민국	30	2018.04.20.	단독사사	
2	특허	고칼슘 비산화와 철강산업부산물 을 이용한 고화재 및 그 제조 방법	(주)세종 이엔씨	기술 보호	대 한민국	30	2018.08.13.	단독사사	
3	기타 (인증)	Making method for ground solidification material using fly ash and blast furnace slag	(주)세종 이엔씨 , CONINC O JSC.	기술 정립	베트남	40	2018.12.05.	단독사사	국외인증

붙임. 참고 문헌

1. Hyungu Cho, 2015: A Study on the RPS Implementatuin with Wood Pellet Mixed Combutuin for 340MW Circulating Fluidized Bed Boiler, Gyeongsang National Univ, KOREA.
2. Chul-Seoung Baek et al., 2015: A Review of Desulfurization Technology using Lime stone in Circulating Fluidized Bed Boiler Type Power Plant, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 24(5), pp.3~14.
3. Jeonggook Jang, Sangwoo Ji, Jiwhan Ahn 2017: Utilization of Circulating Fluidized Bed Combustion Ash and Related Specifications for Mine Backfills, J. of Korean Inst. of Resources Recycling, 26(2), pp.71~79.
4. Maochieh Chi, Ran Huang, 2014: Effect of circulating fluidized bed combustion ash on the properties of roller compacted concrete, Cement and Concrete Composites, 45, pp.148~156.
5. Zhiwei Zhang et al., 2012: Use of circulating fluidized bed combustion fly ash and slag in autoclaved brick, Construction and Building Materials, 25, pp.109~116.
6. Xiang-guo Li et al., 2012: Utilization of modified CFBC desulfurization ash as admixture in blended cements: Physico-mechanical and hydration characteristics, 102, pp.674~680.
7. Prinya Chindaprasirt, Ubolluk Rattanasak, 2010: Utilization of blended fluidized bed combustion (FBC) ash and pulverized coal combustion (PCC) fly ash in geopolymer, Waste management 30, pp.667~672.
8. William A. Telliard, 2001: Coal Remining-Best Management Practieces Guidance Manual, U.S. Environmental Protection Agency, office of Water(4303), EPA-821-B-01-010.
9. KS L 5405:2016, Fly ash.
10. KS F 2324, Standard method of classification of soils for engineering purposes.
11. KS F 2328, Testing method for compressive strength of molded soil-cement cylinders.