최종보고서(일반과제용)

보안등급
일반[✔], 보안[ ]

중앙행정기관명	국토교통부	사업명	사업명	국토교통기술 촉진연구사업	
전문기관명	국토교통과학기술진흥원		내역사업명	글로벌 기술협력	
공고번호	공고-제2호	총괄연구개발 식별번호			
		연구개발과제번호		21CTAP-C151788-03	
국가과학기술 표준분류	EI0402	60%	EI0401	30%	EI0301	10%

총괄연구개발명	국문	동남아 시장 개척을 위한 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법 현지화 개발
	영문	The development and localization of foundation method (Point Foundation Method) to form to soil-mass with tapered shape into the underground for the southeast Asian market
연구개발과제명	국문	동남아 시장 개척을 위한 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법 현지화 개발
	영문	The development and localization of foundation method (Point Foundation Method) to form to soil-mass with tapered shape into the underground for the southeast Asian market

주관연구기관	기관명	케이에이치이엔티(주)	사업자등록번호	424-81-00184
	주소	(우)08503 서울특별시 금천구 가산디지털 1로 165 GBC 14층	법인등록번호	110111-5794494

주관연구책임자	성명		조명수	직위	수석연구원
	연락처	직장전화	070-7492-5662	휴대전화	010-4849-3498
		전자우편	joms@khent.co.kr	국가연구자번호	1100 6540

연구개발기간	전체 2019. 04. 05 - 2021. 12. 31(33개월)
	1년차 2019. 04. 05 - 2019. 12. 31(09개월)
	2년차 2020. 01. 01 - 2020. 12. 31(12개월)
	3년차 2021. 01. 01 - 2021. 12. 31(12개월)

연구개발비 (단위 : 천원)	정부지원 연구개발비	기관부담 연구개발비		그 외 기관 등의 지원금				합계			연구개발비 외 지원금
				지방자치단체		기타( )					
	현금	현금	현물	현금	현물	현금	현물	현금	현물	합계	
총계	490,000	55,000	435,000	-	-	-	-	545,000	435,000	980,000	-
1년차	100,000	11,500	88,500	-	-	-	-	111,500	88,500	200,000	-
2년차	250,000	27,500	222,500	-	-	-	-	277,500	222,500	500,000	-
3년차	140,000	16,000	124,000	-	-	-	-	156,000	124,000	280,000	-

공동연구기관 등	기관명	책임자	직위	휴대전화	전자우편	비고	
						역할	기관유형
공동연구기관	롯데건설	양희정	수석연구원	02-3483-7843	hjyang@lotte.net	공동	대기업
	ITST	Dinh Van Tien	수석연구원	+84-24-3766-4567	dvtien.gbn@gmail.com	공동	국립연
위탁연구기관	EXT VINA	임철순	법인장	+82-10-3616-5412	yimcs@khent.co.kr	위탁	중소기업
연구기관 외 기관							

연구개발담당자 실무담당자	성명		조명수	직위	수석연구원
	연락처	직장전화	070-7492-5662	휴대전화	010-4849-3498
		전자우편	joms@khent.co.kr	국가연구자번호	1100 6540

이 최종보고서에 기재된 내용이 사실임을 확인하며, 만약 사실이 아닌 경우 관련 법령 및 규정에 따라 제재 처분 등의 불이익도 감수하겠습니다.

2022년 01월 13일

주관연구책임자 : 조 명 수 (직인)

주관연구기관의 장 : 케이에이치이엔티(주) 강 정 식 (직인)

국토교통과학기술진흥원장 귀하

< 요 약 문 >

<table>
<tr><td colspan="2">사업명</td><td colspan="2">국토교통기술촉진연구사업</td><td colspan="2">총괄연구개발 식별번호</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td colspan="2">내역사업명</td><td colspan="2">글로벌 기술협력</td><td colspan="2">연구개발과제번호</td><td colspan="2">21CTAP-C151788-03</td></tr>
<tr><td colspan="2">국가과학기술
표준분류</td><td>EI0402</td><td>60%</td><td>EI0401</td><td>30%</td><td>EI0301</td><td>10%</td></tr>
<tr><td colspan="2">총괄연구개발명</td><td colspan="6">동남아 시장 개척을 위한 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법 현지화 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제명</td><td colspan="6">동남아 시장 개척을 위한 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법 현지화 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">전체 연구개발기간</td><td colspan="6">2019. 04. 05 - 2021. 12. 31(33개월)</td></tr>
<tr><td colspan="2">총 연구개발비</td><td colspan="6">총980,000천원
(정부지원연구개발비 : 490,000천원, 기관부담연구개발비 : 490,000천원)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발단계</td><td colspan="3">기초[ ] 응용[ ] 개발[✔]
기타(위 3가지에 해당되지 않는 경우)[ ]</td><td>기술성숙도</td><td colspan="2">착수시점 기준(5단계)
종료시점 목표(8단계)</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 유형</td><td colspan="6">지정공모 [✔] 자유공모 [ ]</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발과제 특성</td><td colspan="6">실용화</td></tr>
<tr><td rowspan="12">연구
개발
목표
및
내용</td><td>최종 목표</td><td colspan="6">변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법의 동남아시아 현지화 개발</td></tr>
<tr><td>전체 내용</td><td colspan="6">최종 목표는 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법의 동남아시아 현지화 개발을 통한 시장개척이며, 연구개발의 목표는 다음과 같음.
· 고화토 압축강도 : 2.0MPa 이상
· 친환경성 : 국내기준 2급지 이내
· 침하량 : 50mm 이하
· 공사비 : 베트남 기존 기술대비 10% 내외
· 공사기간 : 베트남 기존 기술대비 10% 내외</td></tr>
<tr><td rowspan="4">1년차</td><td>목표</td><td colspan="5">현지화 지반 고화재 배합설계 정립</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">유기질토 및 고점성 점토 지반의 특성을 갖는 동남아시아 토양을 개량하기 위하여 현지 수급이 가능한 자재를 이용하여 고화토의 목표압축강도를 만족할 수 있는 배합설계 정립 및 생산모델 정립</td></tr>
<tr><td>목표</td><td colspan="5">설계법의 현지화 정립</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">동남아시아 시장에서 요구되는 기초공법 설계법 기준에 적용을 위한 국내 설계 방법의 현지화 및 수치해석을 통한 파라미터 스터디 수행</td></tr>
<tr><td rowspan="4">2년차</td><td>목표</td><td colspan="5">전용장비의 개량</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">동남아시아 지반 특성을 고려하여 변단면 개량체를 안정적으로 형성할 수 있도록 전용 장비의 개량</td></tr>
<tr><td>목표</td><td colspan="5">현장시험(Mock up test)</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">재료, 장비, 설계, 시공의 현지화 정립된 사항에 기반한 현장 mock up 시험 수행과 지지력, 침하량, 하중전이 등의 분석을 통한 변단면 개량체 성능 검증</td></tr>
<tr><td rowspan="4">3년차</td><td>목표</td><td colspan="5">홍보자료의 구축</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">사업화를 위한 공법 세미나, 설명회 등과 카다로그, 공법 설명서 등의 자료 구축</td></tr>
<tr><td>목표</td><td colspan="5">현장적용(사업화)</td></tr>
<tr><td>내용</td><td colspan="5">관급공사등에 적용되기 위해 베트남 국가 인증 신청 및 현장 적용</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발성과</td><td colspan="6">글로벌 시장 개척 사업으로 사업화 실적을 목표로 하며, 그 성과는 다음과 같음.
· 학술적 성과 : 국내·외 논문게재 2편
· 지식재산권 : 국외 2건
· 사업화 : 현장적용 3건 이상(시험시공포함), 베트남 TCCS 인증</td></tr>
<tr><td colspan="2">연구개발성과
활용방안 및
기대효과</td><td colspan="6">1) 활용계획
· 중·저층 및 도로 등의 건축/토목 구조물의 기초공법
· 베트남을 교두보로 동남아시아 건설 시장의 연약지반개량 공법에 활용
2) 기대효과
· 동남아시아 시장의 연약지반개량공법의 새로운 패러다임 제시
· 기존공법대비 공사비 및 공기절감 10% 절감 가능
· 베트남 건설/토목 기초공법 시장에서 약 150억 수준의 사업화 가능</td></tr>
</table>

<table>
<tr><td>연구개발성과의
비공개여부 및 사유</td><td colspan="12">해당없음</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구개발성과의
등록·기탁 건수</td><td>논문</td><td>특허</td><td>보고서
원문</td><td>연구
시설·
장비</td><td>기술
요약
정보</td><td>소프트
웨어</td><td>표준</td><td>생명자원
생명
정보</td><td>생명자원
생물
자원</td><td>화합물</td><td>신품종
정보</td><td>신품종
실물</td></tr>
<tr><td>2</td><td>2</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">연구시설·장비
종합정보시스템
등록 현황</td><td>구입기관</td><td>연구시설·
장비명</td><td>규격
(모델명)</td><td>수량</td><td>구입
연월일</td><td>구입가격
(천원)</td><td>구입처
(전화)</td><td>비고
(설치장소)</td><td>ZEUS
등록번호</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>국문핵심어
(5개 이내)</td><td colspan="3">연약지반개량</td><td colspan="3">PF 공법</td><td colspan="3">지반 고화재</td><td colspan="2">공사비 절감</td><td>공기 단축</td></tr>
<tr><td>영문핵심어
(5개 이내)</td><td colspan="3">Soil improvement</td><td colspan="3">Point Foundation method</td><td colspan="3">Solidification agent</td><td colspan="2">Cost saving</td><td>Time saving</td></tr>
</table>

〈 목 차 〉

1. 연구개발과제의 개요

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행내용

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

4. 목표 미달 시 원인분석

5. 연구개발성과 및 관련 분야에 대한 기여 정도

6. 연구개발성과의 관리 및 활용 계획

별첨자료(성과점검기준표 및 증빙자료)

1. 연구개발과제의 개요

1) 연구개발과제의 최종 목표

○ **동남아시아 현지형 친환경 지반개량재의 개발 및 배합설계 정립**
- 연약지반개량을 위한 첫 단계로 지반고화재의 현지화 개발
- 점성토 및 유기질토를 고려한 지반고화재의 배합설계 기술 정립
- 경제성 및 친환경성을 고려한 배합설계 기술 정립

○ **동남아시아 설계기준을 고려한 설계법 정립**
- 동남아시아 목표시장의 설정 및 설계 기준에 대한 자료조사
- 현지 설계기준을 고려한 설계법 정립(지반 지지력 및 침하 안정성)

○ **변단면 개량체 형성을 위한 시공 전용장비 및 품질관리 장치 개량**
- 동남아시아 점성토 지반을 고려한 전용장비의 형태 개량
- 현지 장비 사양(일반장비)을 고려한 어태치먼트 개량
- 시공 중 품질관리를 위한 통합시공모니터링 장치의 개량

○ **성능검증 : Mock up Test**
- 재료, 장비, 시공, 설계법 정립을 고려한 현장 성능검증(Mock up test)
- 현장 성능검증에 대한 feedback

○ **현장적용 및 사업화(마케팅 전략 수립)**
- 현지 사업화 전략 구축
- 마케팅 자료 구축
- 현장적용 실시

2) 연구개발과제의 년차별 목표

○ 1차년도
- 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법 현지화 개발의 기초단계로 설계법의 정립 및 현지 지반고화재의 개발을 그 목표로 함. 이에 대한 기관별 세부 목표는 다음과 같음.
  - 주관연구기관(케이에이치이엔티): 현지 재료와 지반특성을 고려한 지반고화재 배합설계 정립과 공법의 현지 구조 기초 설계 기준을 고려한 설계법 정립
  - 공동연구기관(롯데건설): 현지화 설계법 개선 사항과 지반특성을 고려한 기초 기술의 수치해석
  - 공동연구기관(ITST): 베트남 지반 특성 데이터 베이스 구축 및 지반고화재 베트남 내 검증
  - 위탁연구기관(EXT VINA): 목표 시장 조사 및 설계 기준에 대한 자료 조사 수행

○ 2차년도
- 주요목표는 현장 Mock up test를 위한 전용교반장비의 개량 및 시공통합품질관리 장치의 개선을 목표로 함. 이에 대한 기관별 세부 목표는 다음과 같음.
  - 주관연구기관(케이에이치이엔티): 설계법 개선에 기반한 전용교반장비의 개량 및 시공통합품질관리 장치 개선. Mock up test 주관
  - 공동연구기관(롯데건설): Mock up test 수행 및 하중전이 평가
  - 공동연구기관(ITST): Mock up test 수행 및 실물재하시험
  - 위탁연구기관(EXT VINA): 자재, 장비, 시공을 고려한 베트남용 시공절차서 작성

○ 3차년도
- Mock up test 결과에 대한 feedback 사항 검토 및 이를 기반한 현장적용(사업화 1건)임.
  - 주관연구기관(케이에이치이엔티): 사업화를 위한 홍보 마케팅 자료 구축(카탈로그, 공법 소개 동영상 등) 및 이를 기반한 현장적용(사업화 1건 이상)
  - 공동연구기관(롯데건설): 현장적용검증(사업화 1건 이상, 현장 사전배합 시험 및 토사분석)
  - 공동연구기관(ITST): Mock up test 결과 feedback 분석 및 현지 인증 절차 준비
  - 위탁연구기관(EXT VINA): 기술세미나 및 공법 설명회 주관

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거	가중치 (%)
1년차 (2019)	현지화 지반 고화재 배합설계 정립	지반을 고려한 고화토의 역학적 특성 평가	베트남 : 압축강도 0.8MPa 이상	압축강도 2.0MPa 이상	국내 수준	10
		친환경성 특성 평가	베트남 : 기준없음	국내2급지 이내	국내 수준	
	설계법의 현지화 정립	동남아시아 설계법 조사 및 현지화 정립	베트남 : 침하량 80mm 이내	침하량 50mm 이내	-	-
		설계법 프로세스 및 sheet 작성	-	설계도서	-	
2년차 (2020)	전용 장비의 개량	전용 교반 장비의 개량	베트남 : 변단면 개량체 없음	시제품	-	20
		개량체 형성 성능 검증	베트남 : 변단면 개량체 없음	개량체 검측	-	
	현장 시험 (Mock up test)	현장 자재 검증	베트남 : 압축강도 0.8MPa 이상	압축강도 2.0MPa 이상	국내 수준	30
		성능 검증	베트남 : 침하량 80mm 이내	침하량 50mm 이내	-	
3년차 (2021)	홍보자료구축 (사업화 활동 추진)	홍보자료(카다로그, 공법설명서) 구축	-	홍보자료 구축	-	-
		세미나 개최	-	세미나 개최	-	
	현장적용(사업화)	현장 적용 (시험시공 포함)	-	보고서	-	40
		TCCS 인증	-	인증 신청	-	

○ 용어의 설명

- CDM(Cement Deep Mixing) : 국내에서는 주로 DCM(Deep Cement Mixing)으로 부르는 심층혼합처리 공법으로 고화재와 흙을 원위치에서 혼합하여 화학적 경화작용을 이용한 지반 개량공법을 말하는데 베트남에서는 DCM대신 CDM이라는 표현을 사용하기에 본 보고서에서는 CDM을 사용하였다.
- PVD(Prefabricated vertical drain) : 국내에서는 주로 연직배수 공법을 PBD(Plastic board drain)로 사용하고 있지만 베트남에서는 주로 PVD라고 표현하고 있어 본 보고서에서도 PVD라고 표현하였다.
- 고화토 : 일반적은 흙(토사)에 고화재를 투입하여 단단하게 경화시킨 흙을 고화토라고 하며 본 보고서에서는 고화토, 개량체 또는 구근으로 표현하고 있다.
- 전용 장비 : 본 보고서 상의 전용 장비는 PF 공법만을 위한 장비로 예를 들어 변단면 개량체를 형성하기 위한 교반 ROD 등이며 그 이외의 시공에 필요한 굴착기, 사이로, 플랜트 등은 범용장비로 표현한다.
- TCVN : 베트남 국가 기준 (베트남어 Tiêu chuẩn Việt Nam의 약자)
- TCCS : 베트남 국가 인증 (베트남어 tiêu chuẩn cơ sở 약자)
- Head : 변단면 개량체 형상 중 상부의 직경이 큰 부분을 Head 또는 개량체 상부라고 표현하였다.
- Tail : 변단면 개량체 형상 중 하부의 직경이 작은 부분을 Tail 또는 개량체 하부라고 표현하였다.
- Cone : 변단면 개량체 형상 중 상부의 직경이 큰 부분에서 하부의 직경이 작은 부분으로 가는 변단면 구간을 Cone 이라고 표현하였다.
- 바인더스(Bindearth) : PF 공법에 사용되는 고화재의 제품명

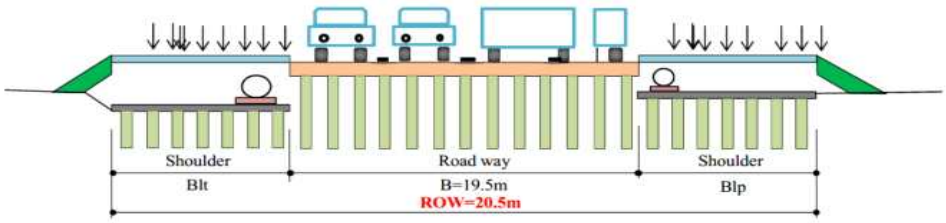
○ 목표치 설정 근거

1) 1차년도 목표치

목표치에 대한 내용은 당초 과제 제안시 설정한 기준으로 베트남 현지 대표적인 지반 개량 공법인 CDM(Cement Deep Mixing Method) 공법의 경우에는 일반적으로 고화토 일축압축강도 0.8MPa을 기준으로 하고 있다. 그렇지만, 국내 PF 공법의 경우 고화토 일축압축강도 2.0MPa을 기준하고 있어 베트남 현지 공법에 맞추기보다는 국내와 동등한 수준으로 설정하여 베트남 현지 공법보다 우수한 성능을 발휘하고자 하였다.

TEDI SOUTH	Project:	TAN VAN-NHON TRACH PROJECT	
	Item:	Section Km7+560.00÷Km7+594.00 (Calculating at Km7+594.00)	
	Content:	TYPICAL DESIGN CROSS SECTION	

Section Km7+560.00÷Km7+594.00 (Calculating at Km7+594.00)



Embankment

Parameters	γ (ton/m3)	Road way		Left Shoulder		Right shoulder	
		Value	Surcharge q (ton/m2)	Value	Surcharge q (ton/m2)	Value	Surcharge q (ton/m2)
Finished design level FG (m):		3.16		3.16		3.16	
Elevation of ground (m):		1.00		1.00		1.00	
Embankment height H1 (m):		2.16		2.16		2.16	
Embankment width B1 (m):		19.50		0.50		0.50	
Diameter of column D (m):		0.80		0.80		0.80	
Spacing of columns l (m):		2.00		2.00		2.00	
Design strength of columns Qu_ (kg/cm2):		8.00		8.00		8.00	
Height of counterweight H2 (m):		0.00		0.00		0.00	
Width of counter berm on left B2t (m):		0.00		0.00		0.00	
Width of counter berm on right B2p (m):		0.00		0.00		0.00	
Slope of taluy:		0.00		1:1.75		1:1.75	
Thickness of asphalt concrete layer (m):	2.3	0.21	0.48	0.00	0.00	0.00	0.00
Thickness of base layer (m):	2.3	0.60	1.38	0.00	0.00	0.00	0.00
Thickness of capping layer (m):	1.8	0.30	0.54	0.00	0.00	0.00	0.00
Thickness of fill sand layer beyon water level (m):	1.8	1.05	1.89	2.16	3.89	2.16	3.89
Pavement load (T/m2):			0.405		0.0		0.0
Total surcharge of embankment (ton/m2):			**4.70**		**3.89**		**3.89**
Equivalent unit weight of embankment γ_{eq} (ton/m3):			**2.18**		**1.80**		**1.80**
Equivalent surcharge on full width of embankment q_{eq} (ton/m2):		**4.66**					

그림. 베트남 CDM 공법 계산에

KH E&T	포인트기초(PF) 중층 공법 특기시방서	문서번호 : Ext - 지침 - 6011
		개정번호 : 7
		페 이 지 : 6 / 18

① 원지반토사의 함수량 및 작업성을 감안하여 물의 양을 적절히 조절한다.

② 상기 제시된 현장 강도는 재령 28일 강도를 기준하여 제시된 표준배합비로서 바인더스와 물의 배합비는 토질에 따라 변경될 수 있으며, 중·심층고화처리 실시공 전에 개량할 대상토에 대한 사전배합(실내배합) 시험을 실시하여 바인더스 및 물의 배합비를 확정하여야 한다.

③ 현장강도는 시공 중 채취한 개량체 공시체의 일축압축강도 평균값을 적용한 값으로 하고 공시체의 수량은 3개로 한다.

④ 현장강도에서는 측정된 일축압축강도의 평균값이 설계기준강도 이상을 만족하는지의 여부 및 배합비의 적정성을 최종 확인하여야 한다.

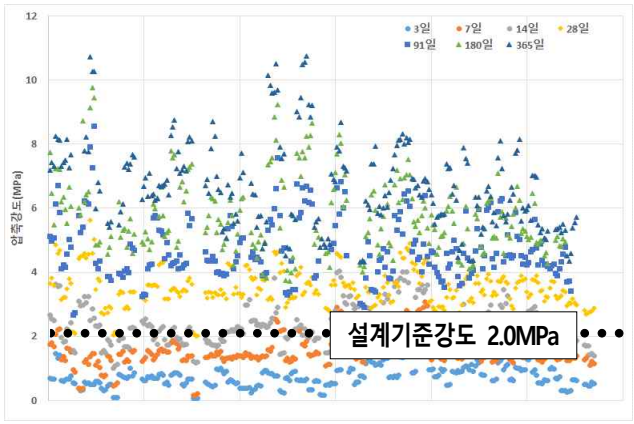
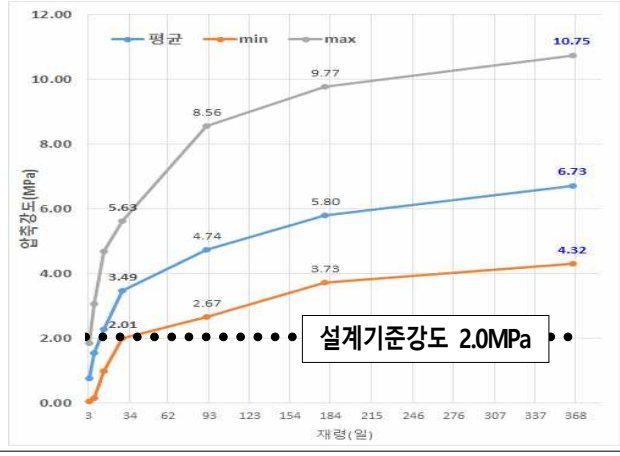
⑤ 유기질토의 경우 토질성분에 따라 바인더스를 개선하여 적용할 수 있다.

2) 배합강도

설계강도	배합강도	
	실내배합강도	현장강도
2.0 MPa	설계강도 × 1.0	설계강도 × 1.0

그림. 국내 PF 공법 특기시방서

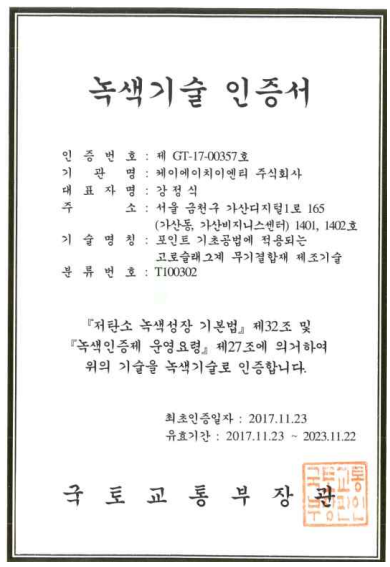
국내의 PF 공법 개량체 일축압축강도 발현을 분석해보면 설계기준 강도인 2.0MPa를 상회하는 수준의 강도로 발현이 되며 시간이 지날수록 계속해서 개량체의 강도가 증가되는 것을 확인하였기에 베트남에서도 2.0MPa을 설계기준 강도로 설정해도 충분히 개발이 가능할 것으로 판단하여 목표치를 설정하였다.

시간경과에 따른 개량체 일축압축강도 분포	개량체 일축압축강도 발현곡선 (1년)
	
· 고로슬래그와 자극제를 사용 → 잠재수경성 반응으로 장기적으로 높은 강도의 개량체 조성 가능 · 1년 장기 강도 측정 → 재령28일 평균 3.94MPa, 1년 평균 6.73MPa – 설계강도 3배 이상	

환경적인 측면에 대한 목표치 설정은 베트남을 비롯한 많은 동남아 국가들이 지반개량공법에 대해서 환경적인 기준을 제시하고 있지는 않았기에 국내 PF공법의 친환경성 수준을 고려하여 국내 2급지 수준의 기준을 설정하였다. 아래 표와 같이 국내 PF 공법에 사용되는 고화재의 경우 순환자원을 활용하여 육가크롬, 중금속을 비롯한 유해물질이 불검출 또는 기준치 이내로 친환경성에 대한 인정을 받아 녹색기술 인증을 받았다.

항 목		단위	국내외 최고 수준	현재 국내 수준	바인더스
재활용율	순환자원 활용율	%	0	60 이하	60 이상
토양 환경 및 수질환경 안정성	육가크롬 함량	mg/kg	유럽 54 일본 20 국내 20	1.28 ~ 12.87	불검출
	유해물질 용출농도	mg/ℓ	국내 관련 법규 (폐기물관리법) 유해물질 11항목기준		기준만족
	유해물질 용출농도	mg/ℓ			

No	유해물질	기준	고화재 (바인더스)	바인더스 적용 고화토
1	시안화합물	1 이하	불검출	불검출
2	6가크롬	1.5 이하	불검출	불검출
3	구리	3 이하	0.009	불검출
4	카드뮴	0.3 이하	불검출	불검출
5	납	3 이하	불검출	불검출
6	비소	1.5 이하	불검출	불검출
7	수은	0.005 이하	불검출	불검출
8	유기인화합물	1 이하	불검출	불검출
9	테트라클로로에틸렌	0.1 이하	불검출	불검출
10	트리클로로에틸렌	0.3 이하	불검출	불검출
11	기름성분	5 % 이하	불검출	불검출



녹색기술 인증서

인 증 번 호 : 제 GT-17-00357호
기 관 명 : 케이에이치이엔티 주식회사
대 표 자 명 : 강정식
주 소 : 서울 금천구 가산디지탈1로 165
(가산동, 가산비지니스센터) 1401, 1402호
기 술 명 칭 : 포인트 기초공법에 적용되는
고로슬래그계 무기결합재 제조기술
분 류 번 호 : T100302

『저탄소 녹색성장 기본법』 제32조 및
『녹색인증제 운영요령』 제27조에 의거하여
위의 기술을 녹색기술로 인증합니다.

최초인증일자 : 2017.11.23
유효기간 : 2017.11.23 ~ 2023.11.22

국 토 교 통 부 장 관

설계법 현지화 측면에서의 목표치 설정 근거는 다음과 같다.

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치
1년차 (2019)	설계법의 현지화 정립	동남아시아 설계법 조사 및 현지화 정립	베트남 : 침하량 80mm 이내	침하량 50mm 이내
		설계법 프로세스 및 sheet 작성	-	설계도서

베트남의 경우에는 구조물의 형식에 따라 침하량이 다르지만 일반적으로 건축물 기초의 경우에 80mm 이내의 침하량 기준으로 설계한다. 반면에 국내의 경우에는 건축물 기초의 경우에는 25.4mm(1inch)의 기준으로 좀 더 엄격한 기준으로 설계를 하고 있다. 따라서, 국내 수준의 25.4mm를 목표치로 설정시 경제성 측면에서 현지 공법보다 불리한 경우가 생길 수 있고 80mm 설정시에는 부등침하 등의 문제가 발생할 우려가 있고 기존 베트남 공법과 차별성이 없어 연구개발 목표치는 중간 값인 50mm를 설정하였다.

2) 2차년도 목표치

2차년도 목표치는 아래 표와 같이 1차년도에 개발 및 현지화를 수행한 결과를 가지고 실제 현장에서 Mock up test를 통해 성능을 검증하는데 주안점을 두었다.

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거
2년차 (2020)	전용 장비의 개량	전용 교반 장비의 개량	베트남 : 변단면 개량체 없음	시제품	-
		개량체 형성 성능 검증	베트남 : 변단면 개량체 없음	개량체 검측	-
	현장 시험 (Mock up test)	현장 자재 검증	베트남 : 압축강도 0.8MPa 이상	압축강도 2.0MPa 이상	국내 수준
		성능 검증	베트남 : 침하량 80mm 이내	침하량 50mm 이내	-

3) 3차년도 목표치

3차년도는 1차년도와 2차년도 과업을 통해 현지화 및 개발이 완료된 제품을 현장 시험을 통해 성능을 확인하였으므로 본격적인 사업화를 위한 착수작업에 주안점을 두었다. 특히, 베트남을 비롯한 많은 동남아시아 국가들의 경우 해당 국가의 인증을 취득하지 않으면 관급공사 참여에 제한이 있는 경우가 많고 그러한 제한이 없더라고 신공법에 대한 우려가 있어 보수적으로 기존 공법을 선호하는 경향이 있어 인증을 취득하는데 집중하였다. 베트남의 경우 IBST(Institute for Building Science and Technology)에서 발급하는 TCCS인증과 ITST에서 발급하는 TCVN 두 종류의 대표적인 인증이 존재하였고 당초 과제 제안시에는 TCVN 인증을 목표치로 설정하였으나, 과제를 수행하면서 인증에 대한 정보 확대 및 현지 네트워크를 통해 비교 분석한 결과 TCCS 인증이 정해진 기간과 비용내에서 취득이 가능할 것으로 판단하여 3차년도 시작전 목표치를 TCCS 인증으로 수정하여 설정하였다.

구분	연구개발목표	핵심 연구개발성과 (연구개발성과물)	현재 국내・외 기술수준	연구개발 목표치	목표치 설정 근거
3년차 (2021)	홍보자료구축 (사업화 활동 추진)	홍보자료 (카다로그, 공법설명서) 구축	-	홍보자료 구축	-
		세미나 개최	-	세미나 개최	-
	현장적용(사업화)	현장 적용 (시험시공 포함)	-	보고서	-
		TCCS 인증	-	인증 신청	-

2. 연구개발과제의 수행 과정 및 수행 내용

1. 연구 개발의 필요성

이 과제의 목표는 **"동남아 시장 개척을 위한 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법의 현지화 개발"**이다. 과제 목표에 제시한 바와 같이 시장개척을 위한 주요 지역은 동남아시아로 설정하고 있으며, 동남아시아 시장에서 가장 높은 경제 성장률을 보이고 있는 베트남을 그 교두보로 활용하고자 한다. 이후 베트남의 적용사례를 바탕으로 말레이시아, 인도네시아, 태국, 미얀마 등의 기타 동남아시아 국가로 그 기술을 확대 적용 하고자 한다.

동남아시아 지역은 대부분의 지반구성이 연약한 점성토 지반과 유기질 토양으로 이루어져 있으며, 기반암이 매우 깊은 심도에 위치하고 있다. 이러한 이유로 구조물을 지지하기 위하여 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 말뚝기초 공법의 경우에는 매우 깊은 심도가 요구된다. 동남아시아에서 주로 사용하는 기초 공법은 저하중 구조물(중·저층 구조물)의 경우 마찰지지 형식으로 PC 또는 PHC 파일을 압입 및 직타 공법으로 시공하며, 고하중 구조물의 경우 현장 타설 말뚝 공법이 주로 적용되고 있다. 현장 타설 말뚝의 경우 공법을 안정적으로 설치하기 위해서는 기반암에 정착을 시켜야 한다. 즉, 설계 요구 심도가 깊어짐에 따라 경제성이 저감될 뿐만 아니라 시공 및 품질 관리의 높은 난이도가 요구된다. 이러한 기존 기초 공법의 문제점을 효율적으로 개선하기 위한 공법으로 연약지반개량공법은 좋은 대안이 될 수 있다. 하지만, 동남아시아 건설시장에서 연약지반개량공법은 선진화되지 못한 기술력으로 인하여 도로 또는 가설구조물 등의 기초로 활용되고 있으나 제대로 된 품질관리가 이루어 지지 못하고 있어 장기 침하의 등의 문제가 빈번히 발생되고 있는 실정이다.

이 과제에서 목표로 하는 기초공법의 현지화 개발은 종래의 획일화된 단면을 갖는 연약지반개량공법과는 달리 상부 하중전달 메커니즘을 고려한 변단면 형상의 개량체를 형성하는 공법으로 국내에서 개발되어 사업화를 성공한 공법이다. 이 기술은 기존 PC 및 PHC 파일 기초와 비교하여 우수한 경제성을 갖으며, 정규화된 품질관리를 통하여 구조적 안정성을 확보할 수 있다. 하지만 신규성을 갖는 건설공법이 안정적으로 시장개척 및 안착되기 위해서는 현지 환경상황, 기술적용 기준 및 현지 생산·수급이 가능한 재료 등을 통한 다각적인 현지화 기술개발이 반드시 수반되어야 한다. 따라서, 본 과제를 통해 국내에서 개발된 변단면 개량체를 지중에 형성하는 기초공법을 동남아 시장에 안정적으로 적용할 수 있도록 사용 재료, 설계법, 장비, 시공법 등을 현지화하여 시장을 개척하고자 한다.

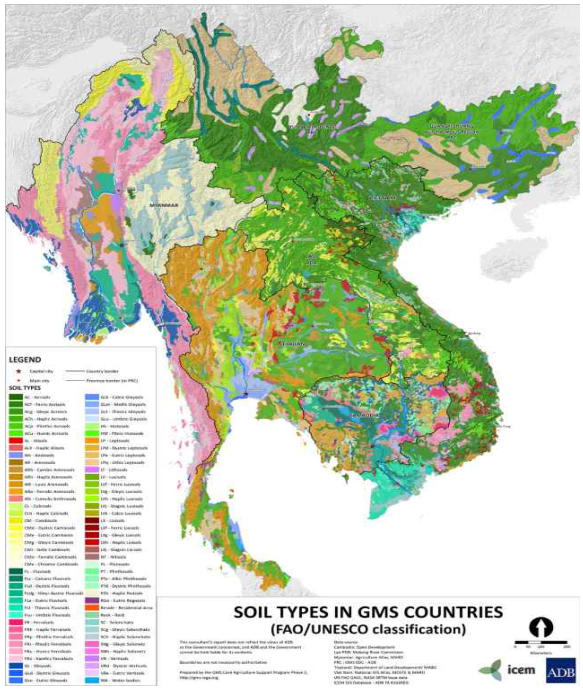


그림 1.1 동남아시아 Soil Map

2. 목표 시장 조사 – 1차년도

1) 서론

본 과제의 시장 개척 대상인 동남아시아는 세계 건설 시장 규모에서 차지하는 비중이 점점 증가하는 추세를 보이고 있으며, 이러한 글로벌 건설 시장의 흐름에 따라 우리 기업의 프로젝트 수주 현황도 아시아지역이 가장 많은 비중을 차지하고 있다. 기존에 우리나라 기업이 가장 많이 진출했었던 중동시장의 경우 2014년 하반기 이후 국제 유가 급락, 정치 불안 및 원자재 가격 하락 등으로 정체를 보이고 있다. 반면 한국수출입은행에서 발행한 세계건설시장 동향에 따르면 동남아 건설시장의 규모는 매년 5% 이상의 성장을 거듭하고 있으며, 매년 약 5,000억 달러 규모로 급격한 성장세를 보이고 있다. 특히, 동남아시아 국가 중 베트남, 인도네시아, 미얀마 등 주요 국가의 경우에는 약 6~8% 규모로 높은 수준의 경제성장률 상승세를 보이며, 이에 따라 사회 기반 시설 프로젝트의 수요도 지속적으로 증가하고 있는 추세이다.

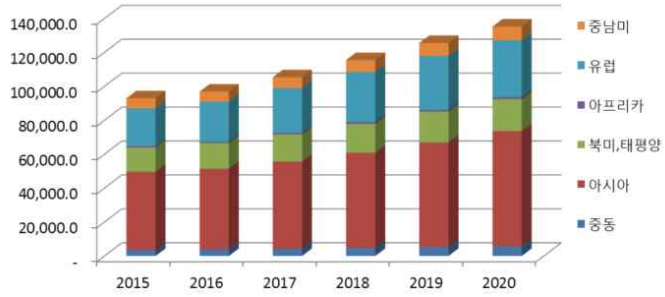


그림 2.1 세계 건설 시장 규모 (단위 : 억불)
※ 출처 : 해외건설협회

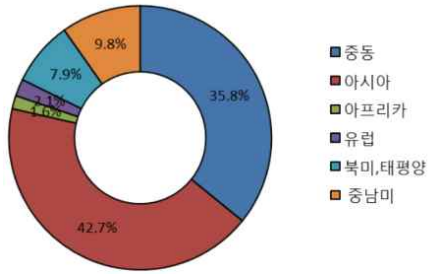


그림 2.2 지역별 우리 기업 수주 현황
※ 출처 : 해외건설협회

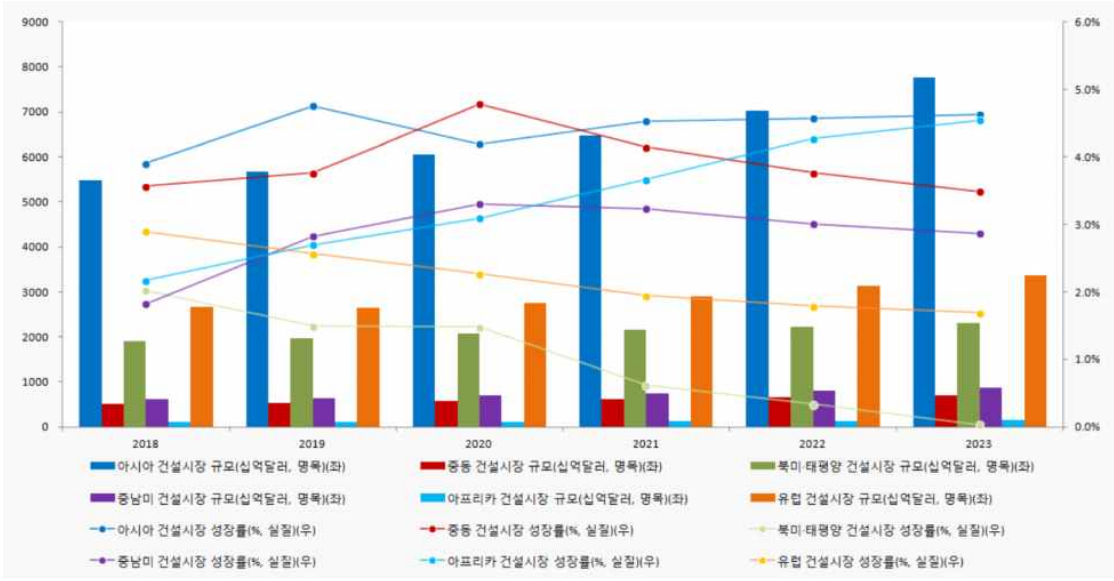


그림 2.3 지역별 건설시장 규모 및 성장률 추이 ※출처:IHS Markit

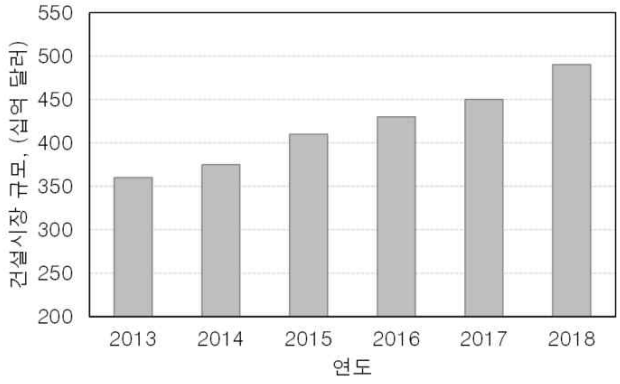


그림 2.4 동남아시아 건설시장 규모 ※출처:한국수출입은행

본 과제의 거점 국가인 베트남은 동남아시아 중에서도 가장 높은 경제 성장률을 보이고 있으며, 국내 기업들의 진출이 활발하여 시장 접근성이 용이하다. 또한, 베트남 지반특성의 경우 고점성 점토, 유기질토 및 PEAT 등 연약 지반의 분포가 동남아시아 지역의 지반 특성을 그대로 보여주고 있으며, 주관연구기관인 케이에이치이엔티의 현지 법인 및 공동연구기관인 롯데건설이 전략적으로 투자하고 있어 연구 수행 결과에 따른 파급 효과가 클 것으로 예상되는 지역이다. 이후 베트남에서의 연구 성과를 바탕으로 캄보디아, 미얀마, 말레이시아, 인도네시아, 태국 등 베트남 주변국으로 기술을 확대 적용하고자 한다.



그림 2.5 동남아시아의 지리적 위치

2) 베트남

(1) 건설 및 인프라 시장 동향

베트남은 최근 수년간의 급속한 경제 발전으로 대규모의 SOC사업에 대한 수요가 증가 하고 있다. 특히, 베트남은 GDP 성장률에 비해 현재 도로망은 증가하는 수송량에 크게 미치지 못하고 있어 항만, 철도, 고속도로 및 간선도로의 개발 계획을 수립하고 단계적으로 건설을 진행하고 있다. 또한, 베트남은 전체 인구(2018년 9,457 만명)의 70%가 생산 가능한 인구로 젊은 인구가 많은 피라미드형 인구 구조를 보이고 있으며, 월평균 임금은 중국(918달러)의 42% 수준인 385달러로 태국(630달러), 인도(455달러) 보다도 낮아 중국을 대체할 생산 기지로 부상하고 있다. 또한, 베트남은 문재인 정부의 아세안 (ASEAN, 동남 아시아국가연합) 국가와의 교류협력 확대를 목표로 한 신남방정책의 거점 국가이기도 하며, 중국의 인건비 상승세와 미·중 무역 분쟁으로 한국기업의 진출과 투자가 계속해서 증가하고 있다.

한국은 2018년 기준 약76억 달러 규모의 베트남 투자 1위 국가이자 삼성, LG를 비롯해 4,000여개 기업이 제조, 유통, 서비스, 부동산, 금융 등 다양한 분야에 진출해 있다. 이에 베트남에서 국내 기업이 발주하는 빌딩, 공장 등 건축 분야의 프로젝트도 꾸준히 증가하는 추세이다. 대규모 SOC 사업의 경우에는 필요한 재정이 부족하여 외국의 원조 또는 투자가 절대적으로 필요한 현실이기에, 현재 한국, 일본, 중국 등의 국가들로부터 원조와 투자를 받는 프로젝트가 증가하고 있다. 특히 PPP (Public Private Partnership, 민관협력사업) 프로젝트를 활성화하고 있으며, 베트남 기획 투자부에서 투자자에게 유리한 PPP 시행령까지 최근에 발표함으로써 민간자금의 투자를 유도하고 민간 부문의 효율성과 전문성을 적극적으로 활용하고 있다.

표 2.1 동남아 주요국 인프라 경쟁력 지수 ※출처:세계경제포럼(WFF)

국가명	인프라 순위	도로	철도	항만	항공	전력
베트남	79	92	59	82	103	90
싱가포르	2	2	4	2	1	3
말레이시아	22	23	14	20	21	36
태국	43	59	72	63	39	57
인도네시아	52	64	30	72	51	86
필리핀	97	104	91	114	124	92
라오스	102	94	-	127	101	75
캄보디아	106	99	94	81	106	106



그림 2.6 베트남 인프라 투자 전망 ※출처:Global Infrastructure outlook

(2) 지적 재산권 확보 전략

베트남의 지적재산권 체계는 크게 산업재산권, 저작권 등으로 나뉘며, 산업재산권은 상표, 특허, 실용신안, 디자인 등으로 분류한다. 베트남은 지식재산권법과 민법, 민사 소송법, 형사법, 형사소송법 등이 있으며, 2009년 지식재산권법이 개정된 이후 지식 재산권법 위반 행위에 대해서 행정 처벌이 강화되었다. 베트남 특허청에 따르면 2016년 한 해 베트남 지식재산권(특허권, 실용신안권, 디자인권, 상표권 등) 총 출원 건수는 5만 8,217건으로 전년대비 14.2% 증가했으며, 최근 5년간 (2011 ~ 2016년) 연평균 7~9% 증가하였다. 지식재산권 중에서 상표권 출원 비중이 83%로 가장 높았으며, 주요 상표권 출원 국가로는 미국, 중국, 일본, 한국, 싱가포르 순으로 한국은 4위를 기록하였다. 그러나 베트남은 한해 평균 지식재산권 위반 사례가 3만건이 넘는 것으로 조사되는 등 베트남 내 모조품 유통이 만연하며, 건설 기술을 비롯한 새로운 기술의 도용 및 copy 사례도 많은 것으로 파악되어 본 과제를 통하여 개발될 공법의 베트남 시장 진출 시 이에 대한 대책이 필요할 것으로 판단된다.

(3) 시장 전략 분석

베트남 시장진출을 위한 전략을 SWOT로 분석할 때 베트남은 동남아시아 국가 중 가장 높은 성장률을 보이며, 한류로 인한 우호적, 친근감 이미지 등을 강점으로 들 수 있다. 약점으로는 신기술에 보수적인 성향, 부패 및 공산국가 체제에 의한 비효율적 관료주의 등이 있으나, 민간협력사업(PPP 프로젝트)의 투자기업을 통한 영업전략 기획, 베트남 현지 종합건설 업체 활용 등으로 인하여 일부 극복이 가능할 것으로 판단된다. 위기로는 기존공법의 낮은 단가에 대한 경쟁력, 공법의 Copy 등이 있으며, 저임금의 풍부한 노동시장 및 낮은 단가를 최대한 활용하여 이러한 위기는 충분히 기회로 전환할 수 있을 것이다. 또한, 시장 진출 전 설계, 시공, 자재 등 공법을 이루는 다양한 기술에 대한 지적 재산권 확보, 베트남 정부 산하기관 기술인증을 취득을 통하여 기술에 대한 보호 및 방어안을 확보 후 시장 진출 시 안정적인 판로 확보 및 지속적인 시장 개척을 할 수 있을 것으로 기대된다.

표 2.2 SWOT 분석

Strength	Weakness
● 가장 높은 성장률을 보이는 개발도상국 ● 한류 및 친한 국가 ● 인프라 투자가 활발하게 이루어지고 있음	● 신기술에 대해 보수적 ● 부패, 비효율적인 관료주의, 투명성 결여와 같은 비즈니스 환경
Opportunities	**Threasts**
● 연약지반이 대부분이며 국내 기업에서 발주하는 프로젝트도 증가 추세 ● 저임금의 풍부한 노동시장	● 기존 공법의 낮은 단가 ● 공법의 Copy

(4) 베트남 지반 특성 및 기초 공법 현황

베트남 남북부지역의 해안은 주로 해성퇴적층으로 연약층 심도가 20~50m에 이르며, 기반암층까지 80m 이상인 곳도 다수 분포하고 있다. 이러한 지반 조건을 가지는 지역에 구조물을 안정적으로 시공하기 위해서

연약지반 개량 또는 파일 공법의 적용이 필수적이다. 베트남에서 주로 적용되는 연약지반 개량공법은 프리로딩(Pre-loading) + PVD, 모래다짐말뚝(Sand compaction pile), CDM (Cement Deep Mixing method, 국내에서는 DCM으로 호칭)등이 있으며, 다수의 국내 지반분야 전문건설업체들의 진출로 최근에는 다양한 공법이 유입되고 있는 실정이다. 프리로딩 공법은 연약지반처리공법 중 가장 경제적인 공법으로 베트남에서 가장 많이 적용되고 있으나 공사기간이 많이 소요되는 단점이 있다. 또한, 베트남의 경우 아직까지 고화재 시장이 형성되어 있지 않으며, 현지 CDM의 경우에도 일반 시멘트를 이용 하여 지중에 구근을 형성하기 때문에 유기물 함량이 높은 베트남 지반의 경우 설계 강도 발현이 어려운 특성을 갖으며 환경 오염의 문제가 심각하다. 파일 공법의 경우 기반암까지의 심도가 깊어 국내와 같이 기반암에 지지하는 암반 지지 방식이 아닌 주면에서의 마찰력을 이용한 마찰 말뚝으로 대부분 시공되고 있으며, 주면마찰력을 증가시키기 위한 파일 공법들이 개발 또는 유입되고 있는 추세이다. 가장 일반적으로 사용되는 PC 또는 PHC 파일의 시공은 ROBOT이라고 부르는 압입 장비를 이용하여 파일을 밀어 넣는 방식으로 시공하거나 직타를 통하여 시공되어지고 있다. 그러나 압입심도가 깊어 품질관리가 어려우며 파일공법 시공 중 압입이 되지 않으면 설계상의 목표 심도까지 시공을 하지 않는 경우도 있어 파일 시공 후 구조물 사용 중에 압밀 침하가 발생하는 경우도 빈번하게 발생된다. 고하중 구조물의 경우에는 현장 타설 말뚝으로 암반까지 정착하여 시공되고 있다.



1. 압입 파일 공법



2. PVD 공법

그림 2.7 베트남 주요 연약지반 처리 공법

3) 인도네시아

(1) 건설 및 인프라 시장 동향

인도네시아는 인구 약 2억5천만명으로 세계 4위의 인구를 보유하고 있으며, 인구 약1,200만 명이 수도 자카르타를 중심으로 경제 발전이 이루어져 왔다. 최근에는 지방 도시의 성장도 두드러지고 있다. 인도네시아는 다른 신흥 경제 국가와 비슷한 수준의 경제 성장률을 보이고 있으며, 수출과 투자확대로 최근 연평균 5%대 성장세를 이어왔다. 건설 및 인프라 분야는 5%대의 성장세를 보이고 있으며, 도시화 및 산업화 추세와 함께 지속될 것으로 추정된다. 또한, 지진이 많이 발생하는 지역의 경우 내진설계가 반영되어 있지 않아 기존 구조물의 진단, 보수 보강 및 내진 보강에 대한 관심과 수요가 지속적으로 증가하고 있다. 인도네시아는 지리적인 이점을 살려 항만 인프라에 대한 관심가 투자가 상당하며, 높은 인구로 인해 주거 및 사무 공간에 대한 수요도 높다.

표 2.3 인도네시아 건설 인프라 시장 전망 ※출처:BMI

구분	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
건설 인프라가치 실질 성장률(%)	6.82	7.13	7.65	7.43	7.44	7.13	7.12	7.10	7.09	7.08
건설 인프라 가치(%)	10.5	10.6	10.8	10.9	11.1	11.1	11.2	11.3	11.4	11.5
인프라 가치 실질 성장률(%)	5.2	5.4	6.1	5.6	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	5.9

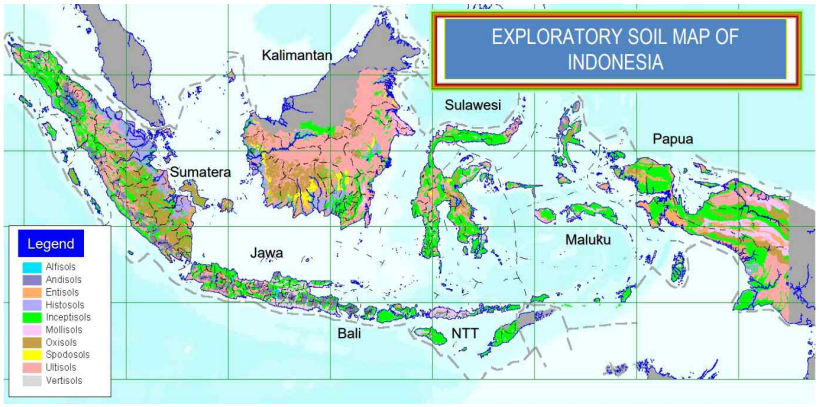


그림 2.7 인도네시아 지반 분포 ※출처:IEV research

인도네시아는 수마트라섬, 자바섬, 할마헤라섬까지 약5,100km에 걸치는 열도와 약1,700여개의 크고 작은 섬들로 구성되어 있으며, 원래 바다였던 곳에 흙이 퇴적되어 만들어진 지형이 많다. 또한, 지리적 특성상 기후 변화가 심하며, 화산과 지진의 활동이 잦아 지반 액상화 문제 등 건설에 있어서 매우 좋지 않은 환경이다. 특히, 대부분의 지역이 연약지반으로 이루어져 있으며, 연약층의 심도도 깊게 분포하고 있다. 인도네시아 수도 자카르타의 경우 해안 저지대에 위치하고 있으며, 지구 온난화에 의하여 해수면이 상승 및 과도한 지하수 개발 등으로 지반이 빠르게 침하되고 있어 연약지반 개량 기술에 대한 관심과 연구가 활발하게 진행되고 있다.

(2) 지적 재산권 확보 전략

인도네시아는 특허권 20년, 상표권 10년, 저작권의 저작자 생존기간 및 사후기간 50년, 산업디자인 특허 10년 등 다수의 지적재산권 관련 법령이 존재한다. 그러나 인도네시아는 지적 재산권의 중요도에 대한 낮은 인식으로 인하여 관한 법령이 유명무실한 실정이다. 이에 현지에서는 상품 모방과 불법 콘텐츠 유통 등 지적 재산권 인식 부족과 관련된 사고가 빈번하게 발생한다. 본 과제를 통하여 개발 공법의 인도네시아 시장진출 시 이에 대한 대책을 충분히 세울 필요가 있다.

(3) 시장 전략 분석

인도네시아는 많은 인구와 높은 인구밀도로 인프라 수요가 높은 국가이며, 최근 한류로 인해 한국의 기술과 상품에 대해 인정받는 분위기인 것은 좋은 기회이다. 그러나 다른 동남아 국가와 같이 지적 재산권에 대한 법령은 존재하나 낮은 인식으로 인하여 유명무실하며, 기술 copy에 대한 방지 대책이 반드시 필요하다. 또한, 신기술에 대한 보수적인 인식과 정부 발주 프로젝트의 경우 기존에 이미 긴밀한 네트워크를 형성했던 현지 대기업 위주로 진행되는 경우가 많으며, 고질적인 부정부패 문제가 있다는 약점이 있다. 또한, 인프라 프로젝트의 경우 상당 기간 지연되거나 계획대로 추진되지 않는 경우가 있다는 문제점이 있다. 민간 프로젝트의 경우 진입장벽이 낮으며, 국내 기업에서 발주 또는 투자하는 프로젝트 수요가 증가하고 있어 초기 진입시에는 민간 프로젝트 및 우리 기업에서 발주하는 프로젝트에 참여하고 국가 인증을 통해 점차 관급공사로 확대시키는 것이 바람직하다. 따라서, 단독으로 진출하는 것보다 현지 기업과의 파트너쉽 체결을 통하여 시장진출을 모색하는 것이 안정적인 판로일 것으로 예상된다. 인도네시아는 풍부한 광물자원으로 인하여 석탄 및 가스 개발 등 플랜트 프로젝트 발주가 증가하는 추세에 따라 우리 기업의 참여사례도 증가하고 있다.



그림 2.8 롯데건설 인도네시아 석유화학단지 조성 프로젝트

표 2.4 SWOT 분석

Strength	Weakness
● 아시아에서 다섯 번째로 큰 건설 산업 보유국 ● 인구 밀집 국가로 지속적인 인프라 개발 ● 기존 시설의 도시화 및 현대화	● 신기술에 대해 보수적 (보호주의 정책 강화) ● 부패, 비효율적인 관료주의, 투명성 결여와 같은 비즈니스 환경
Opportunities	**Threats**
● PPP 제도하에 외국인의 펀드 유치에 적극적 ● 연약지반이 대부분이며 지진발생이 잦아 연약지반 개량공법 전개에 적합 ● PF공사의 경우 프로젝트 초기에 단기간에 끝나 정부 정책의 변화에 영향이 적음	● 정부 정책이 자주 변경 ● 원자재 비용 상승으로 건설 부분의 높은 인플레이션 형성 ● 까다로운 절차 및 더딘 행정 처리 ● 복잡한 수입 절차 ● 기술 Copy

(4) 인도네시아 지반 특성 및 기초 공법 현황

인도네시아는 직타공법으로 PC 또는 PHC 파일을 시공하며, 고하중의 경우 현장타설말뚝을 적용한다. 지반개량공법으로는 프리로딩(Pre-loading) + PVD, 쇄석다짐말뚝(stone column) 등이 있다. 그러나, 주거시설 등 건축구조물의 경우에는 파일 시공 심도가 깊어 시공 난이도가 높으며, 기초 공사비가 차지하는 비중이 많아 지하층 계획을 배제하거나 파일공사가 필요 없는 저층 구조물로 계획한다. 이에 본 과제를 통한 시장 진출 시 개발 공법이 좋은 대안이 될 수 있다.



1. Stone column　　2. Bored pile

그림 2.9 인도네시아 주요 연약지반 처리 공법

4) 말레이시아

(1) 건설 및 인프라 시장 동향

말레이시아는 동남아시아 국가 중 싱가포르와 브루나이를 제외하고 1인당 국민 소득이 가장 높은 국가이다. 정치적 안정기에 접어드는 전통적인 경제부국으로 풍부한 자원과 많은 인구를 보유하고 있으며, 최근 문화교류를 통한 친한 기류까지 더해져 페낭대교, 페트로나스 트윈타워 등 다수의 랜드마크 프로젝트도 국내 건설사에 의해 수행되는 등 국내 건설 업계의 입장에서는 매력적인 투자시장이다. 말레이시아 건설시장은 정부의 건설업 육성정책과 중국, 한국 등으로부터 외자유치 확대로 지속적인 성장이 기대된다. 말레이시아 통계청(Department of Statistics Malaysia)에 따르면 말레이시아 건설시장 규모는 2018년에 145.5십억 링깃을 기록하여 성장률은 전년대비 5.1% 성장하였고, 말레이시아 재무부에서 발간한 Economic Report 2019에 따르면 2019년 건설시장 성장률은 4.9%를 기록할 것으로 전망하고 있다. 그러나, 2018년 정권 교체 이후 정부 부채 감축을 목표로 인프라 프로젝트가 지연 혹은 재검토중인 사항이 많아 인프라 건설경기에 영향을 미칠 것으로 예상된다. 그러나 말레이시아는 해외 기업에 개방적인 구조를 가지고 있고 많은 인구와 발전된 인터넷과 교통

망으로 국내 기업의 진출도 활발하게 이루어지고 있다. 이러한 구조로 인해 말레이시아 시장을 잡기위해 제조업체들의 생산공장 설립도 증가하고 있는 추세이며 고부가가치 장기 인프라 프로젝트도 많아져 국내 기업의 진출이 활발하게 증가하는 추세이다.

표 2.5 2013-2017년 말레이시아 한국기업 투자진출 동향 (단위 : 건, 개사, 천달러)

구 분	신고건수	신규법인수	신고금액	송금횟수	투자금액
2013	88	32	422,224	176	449,522
2014	93	32	280,667	132	139,915
2015	124	46	54,669	189	59,889
2016	131	44	239,072	194	202,196
2017	137	41	397,783	176	407,603
합 계	2,186	855	8,057,320	3,313	5,166,983

(2) 지적 재산권 확보 전략

말레이시아의 지적재산권은 특허권, 등록상표권, 산업디자인권, 저작권, 지리적 표시권과 집적회로 설계권 등으로 구성되어 보호된다. 세계지적재산권기구(WIPO)의 회원국이며 지적재산권을 규율하는 파리협약, 베른협약 그리고 세계무역기구(WTO)의 주도하에 도입된 무역관련 지적재산권 협정(TRIPs)에 조인하였다. 따라서 말레이시아의 지적재산권법은 국제기준을 준수하고 있으며 내외국인 투자자들에게 적절한 보호를 제공하기 위해 노력하고 있어, 다른 동남아 국가와는 달리 기술 copy에 대한 우려는 상대적으로 적은 편이다.

표 2.6 지적재산권 보호관련 법규 ※출처:Intellectual Property Corporation of Malaysia

- Patents Act 1983
- Copyright Act 1987
- Trade Marks Act 1976 & Trade Marks Regulations 1997
- Industrial Designs Act 1996 & Industrial Designs Regulations 1999
- Layout Designs of Integrated Circuits Act 2000
- Geographical Indications Act 2000

(3) 시장 전략 분석

말레이시아는 장기간 높은 성장률을 기록하고 있으며, 건설투자 확대 및 높은 성장 가능성이 있는 국가이다. 또한, 정치 안정성이 높고 고부가가치 인프라 프로젝트도 많은 것이 강점이다. 그러나, 최근 정부의 재정난으로 프로젝트가 지연되는 사례와 공법변경에 대한 보수적인 태도는 약점으로 들수 있다. 이는 인도네시아와 같이 민간 공사를 통해 초기 시장진입을 하고 점차적으로 관급공사로 확대해 나가는 방법이 바람직 할 것으로 판단되며, 증가하고 있는 우리 기업의 개발 사업 프로젝트에 본 기술을 적용하는 것도 초기 시장 진입에 좋은 방법이다. 또한, 기술 copy에 대한 우려가 상대적으로 적으며, 기술 인증에 대한 제도가 체계적으로 정립되어 있는 것으로 파악되어 민간 부분에서의 실적을 쌓은 후 국가 기술인증을 취득한다면 안정적이며 지속적으로 시장 진입에 성공할 것으로 판단된다.

(4) 말레이시아 지반 특성 및 기초 공법 현황

말레이시아는 서말레이시아인 말레이반도와 보르네오섬에 위치한 동말레이시아로 구성되어있다. 본토인 말레이반도는 인도차이나반도의 중앙산계의 연장부로 전체적으로 산이 많고 지질적으로는 화강암, 사암, 석회암으로 이루어져있다. 또한, 유기질토가 많아 유기질함량이 70%가 넘는 PEAT 층도 많이 분포하고 있고, 해안지역을 따라서는 초연약지반이 분포하고 있다. 또한, 말레이반도에는 석회암이 많으므로 파일 시공시 각별히 유의가 필요하다.

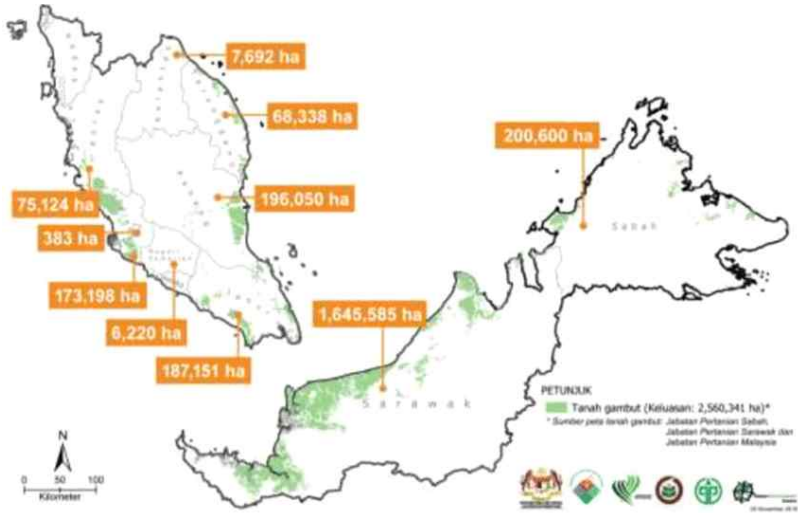


그림 2.10 말레이시아 PEAT SOIL 분포

말레이시아는 1990년대 초 급격한 경제 성장을 거치면서 다양한 건설 공법들이 유입되어 적용되었다. 현재 말레이시아의 주요 파일 공법은 일반 PHC 파일, 초고강도 PHC 파일, RC사각파일, 현장타설말뚝(bored pile), 마이크로파일(micro pile), 지반개량공법으로는 CDM과 프리로딩(Pre-loading) + PVD , 쇄석다짐말뚝(Stone column), 동다짐공법, Jet grouting 등을 주로 적용하는 것으로 조사되었다. 파일 시공은 직타 또는 압입으로 시공된다.



1. Deep soil mixing　　2. Jet grouting

그림 2.11 인도네시아 주요 연약지반 처리 공법

5) 결론

동남아시아 국가 중 대표적으로 베트남, 말레이시아, 인도네시아 건설 시장에 대해서 주관연구기관의 베트남 현지 법인인 EXT VINA와 공동연구기관인 베트남 MOT(교통부) 산하 ITST를 통해서 시장 조사한 결과 대부분은 개발도상국 및 신흥시장으로서 평균 5% 이상의 지속적인 경제 성장을 보이고 있다. 많은 인구에 비해 부족한 인프라 시설을 확충하기 위해 도로, 철도 등 사회기반시설과, 공장, 빌딩 등 건축 프로젝트도 계속해서 증가되고 있고 우리기업의 투자 및 참여도 증가하는 추세이며 **대부분 연약지반으로 이루어져 있어 연약지반처리는 필수**적이나 유기질토 분포가 많아 시멘트만을 사용하는 CDM등 기존 연약지반처리공법은 화학적 고화에 어려움이 발생될 수 있다. 또한, **연약지반의 심도가 깊어** 파일 공법 적용시 안정지반까지 삽입되는 파일 길이가 길어지게 되므로 시공시 품질관리가 어려우며, 설계도서대로 시공되지 않는 사례가 발생할 가능성도 크다. 따라서, **본 연구를 통해 완성된 동남아 지반 특성을 고려한 고화재 및 이를 활용한 변단면 개량체를 지중에 형성하는 연약지반개량공법은 동남아 시장에서의 시장성 및 파급력은 충분**하다고 판단된다. 그러나, 대부분 신기술에 대해 보수적인 동남아 국가에 진입하기 위해서는 초기에 현지 업체와 파트너쉽 체결을 통하여 진출하는 것이 가장 안정적인 방안이 될 것으로 판단되며, 점진적인 공법의 현지화를 통해 가격 경쟁력을 우선적으로 갖추고 가급적 정부 공사보다는 국내 기업에서 발주하는 민간 건축 프로젝트에 우선적으로 적용을 시도해 실적을 쌓아가는 과정과 현지 국가 인증을 통해 확장성을 넓혀가는 방향으로 사업화를 계획하고 있다. 이러한 일련의 과정을 통하여 공법의 우수성 및 안정성에 대한 인식이 확대되어 충분히 동남아시아 시장에 대표적인 연약지반처리공법으로 자리매김할 수 있을 것으로 기대한다.

3. 현지화 고화재 배합 설계 정립 - 1차년도

1) 서론

동남아시아 대부분 지역은 연약지반으로 이루어져있다. 특히 본 연구 과제의 거점국이자 향후 사업화를 최초로 진행할 베트남의 경우 고점성 점토질로 이루어진 초연약 지반이 곳곳에 분포되어 있을 뿐만 아니라 연약층의 층후가 두꺼워 연약지반 처리 공법은 구조물을 축조하는데 있어서 반드시 필요한 과정이다. 연약 지반 처리 공법 중 시멘트와 같은 무기계 재료를 지반에 주입함으로써 지반을 단단하게 경화시키는 지반 개량 공법의 경우에는 지반을 경화시키는 재료을 개발 / 검증하는 과정이 선행되어야한다. 특히 동남아시아 지반은 점성토 및 유기질토, 염화물 및 산성토 성분 등이 많이 분포하고 있어 일반적인 고화재 및 시멘트계 재료를 통하여 지반을 개량 할 경우 지반의 고화가 어렵거나 목표 강도에 미치지 못하는 경우가 많이 생겨 품질관리에 어려움이 따른다. 따라서, PF공법의 현지화 및 사업화를 위해서는 베트남 지반 특성을 반영한 고화재 개발이 필수적이다. 베트남의 대표적인 지반개량 공법은 CDM(Cement Deep Mixing Method)이다. 현지 조사 결과 대부분의 현지 CDM공법은 일반 포틀랜드 시멘트(OPC)를 사용하여 지반을 개량하기 때문에 국내 지반 개량 공법들에 비해서 목표 강도가 낮게 설정되어 있었고 유기질토 및 해안가 지역의 염화물 및 산성도가 높은 지반에서는 적용하는데 어려움이 따른다. 이러한 유기질토, 산성토 등의 지반을 개량하기 위한 고화재는 국내 및 일본 등의 연약지반 개량공법의 선진국 등에서 다수 개발되었으나, 베트남 지반에서의 검증은 미미한 수준이다. 또한, 국내에서 사용하는 고화재를 수출할 경우에도 까다로운 현지 수입 절차에 따른 안정적인 수급 문제, 품질 문제, 운반비로 인한 경제성의 문제가 있어 현지에서 조달 가능한 재료를 이용하여 고화재를 개발하는 것은 PF공법의 사업화에 매우 유리한 이점이 있다. 따라서, 본 연구 과제 1차연도에 고화재 현지화 개발 및 생산 체계 구축에 중점 목표를 가지고 추진하였다.

2) 연구 개발의 목표

베트남 지역에 PF공법을 적용하기 위한 일환으로 현지 재료를 활용한 고화재의 개발을 그 목표로 하며 성능에 대한 목표는 다음 표와 같다.

표 3.1 고화재 연구 개발 목표

평가항목 (주요 성능 spec)	단 위	동남아시아 (베트남 수준) 성능수준	개발 목표치	평가 방법
1. 고화재 모르타르 압축강도	MPa	-	14 MPa 이상	공인성적서
2. 고화토 압축강도 (유기질토, 점성토 대상)	MPa	0.8 이상 (W/B = 80~100%)	2 이상 (W/B = 100~180%)	공인성적서
3. 친환경성 (고화토의 토양오염공정 시험평가)	급지	- (환경성에 대한 기준 없음)	기준치이내 (2급지 이내)	공인성적서 (국내기준)

3) 연구의 계획

본 연구 목표를 달성하기 위해 고화재 배합 개발 및 정립 연구는 아래 표와 같이 계획하였다.

표 3.2 고화재 배합 개발 연구 계획

구 분		내 용
Series 1	예비시험 1단계	베트남에서 현재 사용하고 있는 시멘트 및 고화재의 적용 가능성 평가
Series 2	예비시험 2단계	PF공법의 기존 배합비를 고려한 현지 수급 가능 재료의 배합설계 평가
Series 3	실용화 개발	PF공법용 고화재 현지화 개발 1) 고화재(결합재) 개발 2) 고화토 평가

본 연구의 최종 목표인 현장적용 및 사업화에 있어서 가장 중요한 요소는 성능의 안정성과 경제성이다. 이를 고려하여 실용화 개발에 앞서 예비시험을 통하여 실용화 개발을 위한 데이터를 축적하고자 계획하였다. 실용화 개발은 모든 원재료를 경제성과 안정적인 수급을 고려하여 현지에서 수급 가능한 재료로 계획하였다.

(1) 시험계획

① 배합설계

배합설계는 총 3회(Series 1~3)로 수행되었으며, 각각 series의 배합설계는 다음과 같다. Series 1은 베트남 남부 Long son 및 베트남 북부 An Khanh 부지의 흙을 대상으로 배합시험을 실시하였다. Long son 부지의 원지반은 그림 3.1 과 같이 육안상으로 단단한 모래-점토층으로 구성되어 있었으며, 함수율은 낮은 상태였다. 반면 An Khanh 부지의 원지반은 고점성의 점토로 시공시에 점토의 점성으로 인하여 물-결합재의 비가 높아야 시공이 가능할 것으로 판단하였다. 이에 따라 기본적인 물-결합재 비(W/B)는 180%로 설정하였다. 배합변수로는 기본 결합재 및 첨가제 종류로 설정하였다. 기본 결합재의 종류는 베트남 시멘트 PC40, PCB30, PCB40 및 베트남에서 생산되고 있는 고화재 2종류(Soil-Binder, SB)로 수행되었다. 첨가형 혼화제로는 무수석고와 첨가제 타입의 고화재로 계획되었다. 시멘트만 이용한 배합설계는 베트남 현지의 CDM 배합을 고려하여 시멘트의 단위중량을 280 kg/m^{3}으로 설정하였으며, 기타 고화재 시험은 230 kg/m^{3}으로 수행되었다. 첨가제의 경우는 배합의 외할의 개념으로 첨가하여 무수석고는 7%, 첨가형 고화재 5%로 적용하였다. 상세 배합비는 표 3.4 와 같다.

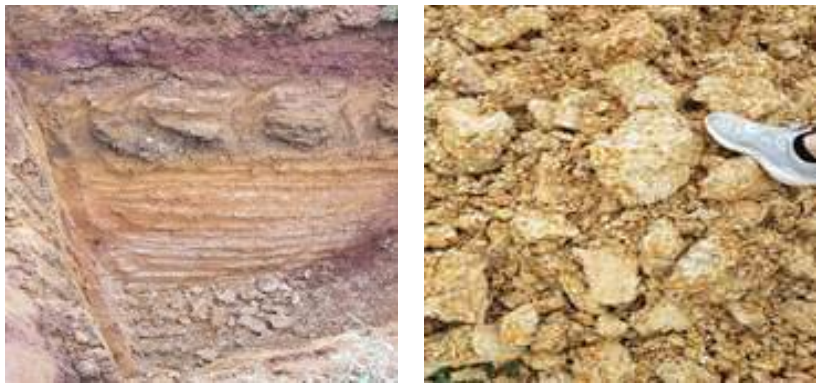


그림 3.1 Long-son 지역 지반

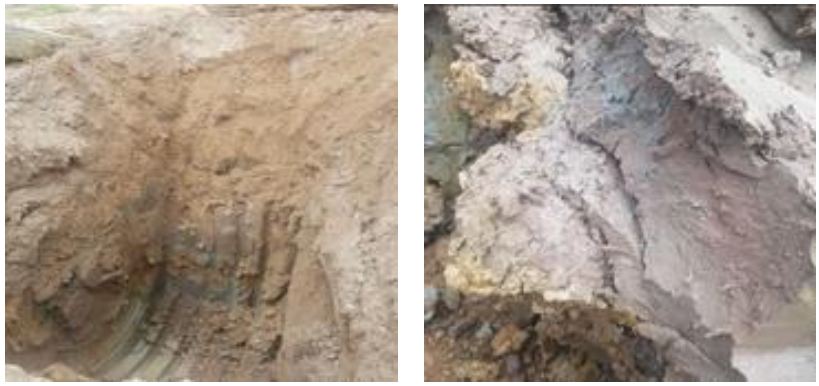


그림 3.2 An-Kahn 지역 원지반

Series 2는 그림 3.3 와 같이 Ninh binh 지역의 유기질 토양을 대상으로 배합을 수행하였다. Ninh binh 지역은 매립토 하부에 2~8m 구간에 유기질 점성토가 분포되어 있어 유기질토를 고화시킬 수 있는 현지형 고화재의 개발에 적합한 부지이다. 일반적으로 유기질토의 개량을 위해서는 높은 조기 수화발현과 장기 지속 가능한 강도발현이 요구된다. 이에 따라서 조기 수화반응을 위한 알루미나 및 칼슘, 나트륨 계열의 반응 물질과 포졸란 반응 재료가 요구된다. 따라서 베트남 현지에서 수급이 가능한 무수석고, 생석회, 플라이애쉬 그리고 첨가형 고화재로 배합을 계획하였으며, 베트남 현지에서 이미 생산하고 있는 고화재도 적용하였다. 물-결합재 비(W/B)는 안정적인 성능 및 시공성을 고려하여 120%로 설정하였다. 상세 배합비는 표 3.5 와 같다.



그림 3.3 Ninh binh 지역 원지반

Series 3은 Series 2와 같이 Ninh binh 지역의 유기질토를 대상으로 시험이 수행되었다. 석고 및 나트륨 계열이 첨가제의 활용은 조기 수화반응을 촉진시키는데 중요한 역할을 한다. 하지만, 후기 포졸란 반응에 의한 장기 강도 발현에 그 영향성이 저하되는 결과를 갖는다. 이러한 점을 보완하기 위하여 고로슬래그의 활용은 좋은 대안이 될 수 있다. 고로슬래그는 포졸란 반응 재료로 활성화제로 반응을 촉진 시켜주면 초기 반응뿐만 아니라 후기 반응을 지속할 수 있는 장점이 있어 고화재 적용에 우수한 재료이다. 이에 따라 배합비는 시멘트 : 고로슬래그 : 무수석고(활성화제 역할) = 30 : 50 : 20(%)로 설정하여 시험하였다. 고로 슬래그는 그림 3.4과 같이 베트남에서 생산하는 것과 일본에서 수입해서 사용하는 것을 구분하여 시험하였다. 표 3.3 와 같이 베트남산 슬래그와 일본산 슬래그의 품질차이는 없었다. 고화재 투입량은 유기질토의 개량인 점을 고려하여 250, 280, 300, 320 kg/m^{3}의 4가지로 계획하였다. 해당 시험은 구성 성분이 정확하게 순수한 시멘트로만 구성된 PC40으로 선정하여 시험하였다. 상세 배합비는 표 3.6 에 나와 있다.



그림 3.4 베트남산 슬래그(왼쪽), 일본산 슬래그(오른쪽)



그림 3.5 베트남 배합시험 전경

표 3.3 Series 1 배합비

구분	비중	분말도	Strength activity index (%)		화학성분						
			7d	28d	MgO	SO3	LOI	CaO	SiO2	Al2O3	Fe2O3
TCVN	≥2.8	≥4000	≥75	≥95							
베트남산	2.8~2.9	4500±100	78~85	96~115	6.6~8.6	1.0~1.5	0.8~1.0	37.0~42.1	33.0~38.3	11.5~15.0	0.15~0.55
일본산	2.5	4080	80.1	101.4	4.51	0.5	0.1	41.99	33.68	13.88	1.04

표 3.4 Series 1 배합비

Group		Specimens	W/B, (%)	Replacement ration of Total binder, (%)					Additional agent(첨가제), (%)		Unit binder (kg/m3)
				현지 시멘트			현지 고화재				
				PC40	PCB30	PCB40	SB(A)	SB(B)	무수석고	첨가형 고화재	
Longson 지역	Type1-1	L-T1-1-PC40	180	100							280
		L-T1-1-PCB30			100						280
		L-T1-1-PCB40				100					280
	Type1-2	L-T1-1-SB(A)					100				230
		L-T1-1-SB(B)						100			230
	Type2	L-T2-SB(A)	180				100		7		230
		L-T2-SB(B)						100	7		230
	Type3	L-T3-PC40	180	100						5	230
		L-T3-PCB30			100					5	230
		L-T3-PCB40	180			100				5	230
		L-T3-SB(B)						100		5	230
An Khanh 지역	Type1-1	A-T1-1-PC40	180	100							280
		A-T1-1-PCB30			100						280
		A-T1-1-PCB40				100					280
	Type1-2	A-T1-2-SB(A)					100				230
		A-T1-1-SB(B)						100			230
	Type2	A-T2-SB(A)	180				100		7		230
		A-T2-SB(B)						100	7		230
	Type3	A-T3-PC40	180	100						5	230
		A-T3-PCB30			100					5	230
		A-T3-PCB40				100				5	230
		A-T3-SB(B)						100		5	230

표 3.5 Series 2 배합비

No.	Specimens	W/B (%)	Replacement ration of Total binder, (%)						Unit binder (kg/m3)	Note
			PC40	SB	생석회 (quik lime)	석고 (gypsum)	Fly ash	BD5000		
1	PG	120	85			15			250	Organic soil
2	PFG		65			15	20			
3	PGQ		75		15	10				
4	PFQ		60		20		20			
5	PGB		85			10		5		
6	SG			90		10				
7	SQ			90	10					
8	SB			90			10			

표 3.6 Series 3 배합비

No.	Specimens	W/B (%)	Replacement ration of Total binder, (%)				Unit binder (kg/m3)	Note
			Cement(PC40)	슬래그 (Japan)	슬래그 (Vietnam)	무수 석고		
1	250A	120	30	50		20	250	Organic soil
2	250B		30		50	20	250	
3	280A		30	50		20	280	
4	280B		30		50	20	280	
5	300A		30	50		20	300	
6	300B		30		50	20	300	
7	320A		30	50		20	320	
8	320B		30		50	20	320	

② 시험 결과

Series 1,2,3 시험 결과 현지 시멘트 배합, 현지에서 이미 생산되고 있는 고화재 배합, 첨가제형 타입 고화재 모두 표 3.1, 표 3.8 과 같이 목표 강도인 2.0MPa를 만족하지 못하였다. 그러나 표 3.9 Searies 3 에서의 결과와 같이 연구 수행 기간 동안 개발한 시멘트 : 고로슬래그 : 무수석고(활성화제 역할) = 30 : 50 : 20(%) 배합은 표 3. 9 에서와 같이 유기질토에서도 목표강도인 2.0MPa를 만족하는 성능을 보여 베트남 지반에 적합한 고화재로 확인되었다.

표 3.7 Series 1 결과

Group		Specimens	W/B, (%)	Compressive strength, (MPa)			
				Days			
				3	7	14	28
Longson 지역	Type1-1	L-T1-1-PC40	180	0.49	0.68	0.90	1.08
		L-T1-1-PB30		0.44	0.48	0.70	0.91
		L-T1-1-PB40		0.38	0.55	0.70	0.89
	Type1-2	L-T1-1-SB(A)		0.42	0.72	1.10	1.08
		L-T1-1-SB(B)		0.42	0.68	0.93	1.34
	Type2	L-T2-SB(A)	180	0.55	0.92	1.29	1.59
		L-T2-SB(B)		0.34	0.65	0.88	1.14
	Type3	L-T3-PC40	180	0.49	0.59	0.94	1.26
		L-T3-PB30		0.43	0.61	0.79	1.10
		L-T3-PB30(200)	200	0.51	0.61	0.94	1.05
		L-T3-PB40	180	0.39	0.54	0.71	0.84
		L-T3-SB(B)		0.44	0.66	0.75	1.39
An Kahn 지역	Type1-1	A-T1-1-PC40	180	0.58	0.90	0.97	0.99
		A-T1-1-PB30		0.42	0.64	0.95	0.86
		A-T1-1-PB40		0.44	0.73	0.81	0.91
	Type1-2	A-T1-2-SB(A)		0.53	0.74	0.71	0.84
		A-T1-1-SB(B)		0.52	0.83	0.95	1.07
	Type2	A-T2-SB(A)	180	0.70	1.32	1.29	1.64
		A-T2-SB(B)		0.55	1.28	1.15	1.31
	Type3	A-T3-PC40	180	0.81	1.00	1.15	1.14
		A-T3-PB30		0.60	0.76	0.73	1.05
		A-T3-PB40		0.95	0.98	1.45	1.20
		A-T3-SB(B)		0.87	0.96	1.26	1.42

표 3.8 Series 2 결과

No.	Specimens	W/B (%)	Compressive strength, (MPa)			
			Days			
			3	7	14	28
1	PG	120	0.33	0.45	0.5	0.71
2	PFG		0.24	0.40	0.49	0.64
3	PGQ		0.39	0.49	0.52	0.6
4	PFQ		0.15	0.20	0.25	0.33
5	PGB		0.44	0.51	0.61	0.76
6	SG		0.27	0.36	0.52	0.65
7	SQ		0.31	0.45	0.48	0.54
8	SB		0.36	0.52	0.56	0.70

표 3.9 Series 3 결과

No.	Specimens	W/B (%)	Compressive strength, (MPa)			
			Days			
			3	7	14	28
1	250A	120	1.14	1.66	1.86	2.19
2	250B		1.29	1.77	2.15	2.33
3	280A		1.12	1.65	1.88	2.23
4	280B		1.20	1.90	2.26	2.41
5	300A		1.15	1.69	1.98	2.35
6	300B		1.30	1.83	2.12	2.45
7	320A		1.24	1.92	2.22	2.32
8	320B		1.28	1.98	2.48	2.78

경제성 측면에서는 현재 베트남 현지에서 생산되는 OPC는 물량에 따라 약 65,000 ~ 75,000원/ton으로 형성되어 있는 것으로 조사되었다. 개발된 고화재의 경우에는 120,000~130,000원/ton 수준으로 형성되어 경제성이 없는 것으로 나타났다. 그러나 산업부산물인 베트남 배연탈황석고는 단가가 65,000원/ton 수준으로 현지 시멘트 단가와 비슷하며, 시멘트보다 적은 양으로 투입되는 고화재 특성과 무수석고 투입시와 동등한 성능을 나타내는 점에서 무수석고 대신 배트남의 배연탈황석고를 사용하는 경우 표 3.10 과 같이 경제성이 있는 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 시멘트 : 고로슬래그 : 배연탈황석고 배합으로 현지화 고화재 개발 및 사업화를 위한 OEM 생산 업체를 찾는 방향으로 진행하였다. 개발된 고화재의 명칭은 국내에서 PF공법에 사용하는 바인더스(Bindearth)와 동일하게 BD6000이며, 타입은 석고 투입양의 비율을 조정하여 일반토용 BD6000N 과 유기질토용 BD6000H 두가지 타입으로 구분하였다.

표 3.10 개발된 고화재 경제성 비교 (단위 : 원)

No.	구 분	사용량	수량	단가	금액
1	현지시멘트	280kg/m^3	1,000m^3	65,000	18,200,000
2	현지시멘트 + 고로슬래그 + 무수석고	230kg/m^3	1,000m^3	130,000	29,900,000
3	현지시멘트 + 고로슬래그 + 배연탈황석고	230kg/m^3	1,000m^3	65,000	14,950,000

③ 품질 시험

본 연구에서는 다양한 변수를 가지는 배합 결과를 바탕으로 경제성 및 베트남 현지에서 수급이 용이한 재료 배합비를 통하여 일반 토사용 BD6000N 및 유기질토용 BD6000H를 개발하여 재료의 화학적, 물리적 성질에 대해 추가적인 검토를 하였다. 고화재의 물리적, 화학적 성능을 검증하기 위하여 개발된 고화재의 밀도 및 분말도, 감열감량 및 모르타르 압축강도 시험을 수행하였으며, BD6000H에 대해서는 토양오염공정시험을 수행하였다. 시험 결과는 표 3.11 와 같이 밀도는 평균 2.83 분말도는 4,327cm^2/g이며 강열감량은 일반적인 고화재의 강열감량 수준인 5% 이하인 3.68%로 경화반응에 문제가 없을 것으로 판단된다.

표 3.11 개발된 고화재 품질 시험

구 분	시험항목	분석	측정 결과
BD6000N	밀도	밀도	2.83
	분말도	Cm^2/g	4,327
	강열감량	Mass %	3.68

표 3.12 개발된 고화재 모르타르 강도

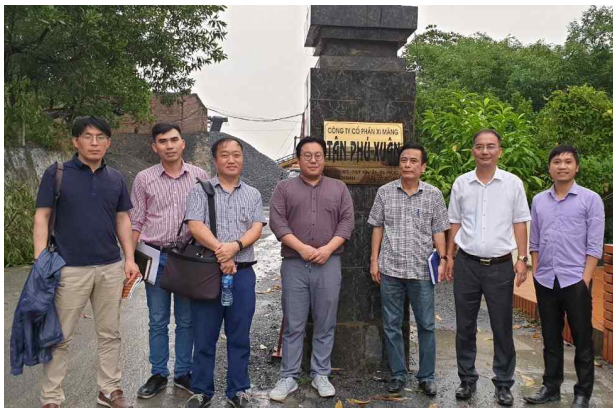
구 분	7일		28일	
	압축강도	평균	압축강도	평균
BD6000N	18.50	18.30	24.10	24.50
	18.40		25.10	
	17.80		24.20	

추가적으로 개발된 고화재를 대상으로 국내 기준의 토양 오염 공정 시험을 수행하였다. 베트남의 경우에는 고화재 시장이 발달되지 않아 고화토의 환경 기준에 대한 별도 규정이 현재까지는 정립되어 있지 않지만 산업발전 수준에 비해 강력한 환경법을 적용하는 국가이기 때문에 개발된 고화재에 대해서도 선제적으로 환경 오염에 대한 검증을 국내 기준에 준하여 실시하였다. 시험은 경기환경과학연구원에서 실시하였고 시험 결과는 표 3.13 과 같다. 결과에서 보듯이 육가크롬, 납, 비소 등 환경에 유해한 중금속같은 유해물질은 기준치 이하로 미미하게 검출되거나 대부분 검출되지 않아 일반 시멘트를 이용하는 기존 연약지반개량공법보다 친환경적인 재료를 이용한다는 것이 검증되었고 연구 개발 목표인 2급지 이내 결과를 만족하는 것으로 분석되었다.

표 3.13 토양오염공정시험

시험항목	시험방법	단위	결과치	기준값(1급지)
Cadmiumm	ES 07407.2a	mg/kg	0.13	4
Copper	ES 07401.2a	mg/kg	4.8	150
Arsenic	ES 07404.2a	mg/kg	5.10	25
Mercuty	ES 07405.1b	mg/kg	0.05	4
Lead	ES 07402.2a	mg/kg	3.0	200
Nickel	ES 07403.2a	mg/kg	2.7	100
Zinc	ES 07352.1b	mg/kg	7.2	300
Cyanide	ES 07408.1b	mg/kg	N.D	2
Hexavalent Chromium	ES 07351.1b	mg/kg	N.D	5
Fluoride	ES 07501.1b	mg/kg	581	400
Organic Phosphorus Pesticides	ES 07501.2b	mg/kg	N.D	10
Polychlorinated Biphenyls	ES 07554.1b	mg/kg	N.D	1
Phenol	ES 07553.1c	mg/kg	N.D	4
Benzene	ES 07600.1b	mg/kg	N.D	1
Toluene	ES 07600.1b	mg/kg	0.8	20
Ethyl Benzene	ES 07600.1b	mg/kg	N.D	50
Xylene	ES 07600.1b	mg/kg	N.D	15
Total Pertoleum Hydrocarbons	ES 07552.1c	mg/kg	N.D	500
Benzo(a)Pyrene	ES 07551.1c	mg/kg	N.D	0.7
Trichloroethylene	ES 07600.1b	mg/kg	N.D	8
Tetrachloroethylene	ES 07600.1b	mg/kg	N.D	4
1,2-Dichloroethane	ES 07600.1b	mg/kg	N.D	5

사업화 진행시 개발된 고화재의 안정적인 수급을 위해 현지 OEM 생산체계를 구축하였다. 개발된 고화재의 OEM 생산 업체는 베트남 항구도시인 하이퐁 지역의 시멘트 제조사와 그림 3.6 과 같이 연간 단가 계약을 통해 진행하였다.





HỢP ĐỒNG NGUYÊN TẮC CUNG CẤP VẬT LIỆU BD6000
BASIC AGREEMENT FOR SUPPLYING BD6000 MATERIAL

Hợp đồng nguyên tắc này được ký kết tại Việt Nam vào ngày 30 tháng 1 năm 2019 bởi:
This Basic agreement is made into Viet Nam on 30th January 2019 by and among:

BÊN A: CÔNG TY TNHH EXT VINA
PARTY A: EXT VINA LIMITED COMPANY

Địa chỉ: Số 2502 toà nhà Landmark 72 Keangnam Hà Nội, Đường Phạm Hùng, Phường Mễ Trì, Quận Nam Từ Liêm, Thành phố Hà Nội, Việt Nam
Address: No. 2502 Landmark 72 Keangnam Ha Noi Tower, Pham Hung Road, Me Tri Ward, Nam Tu Liem District, Ha Noi City, Viet Nam
Mã số thuế/ *Tax code*: 0108162292
Người đại diện: **Ông Park Yong Soo** Chức vụ: Tổng Giám Đốc
Representative: Park Yong Soo/Mr *Position: General Director*
Tài khoản Ngân hàng số: 700-010-586-897 tại Ngân hàng Shinhan Việt Nam - CN Trần Duy Hưng
Account No: 700-010-586-897 (VND) ShinhanBank Vietnam Branch Tran Duy Hung
Và/*and*,
BÊN B: CÔNG TY CỔ PHẦN VLXD TÍNH NĂNG CAO
PARTY B: HIGH PERFORMANCE BUILDING MATERIALS JOINT STOCK COMPANY
Địa chỉ: Số 235 Nguyễn Trãi, Phường Thanh Xuân Trung, Quận Thanh Xuân, Thành Phố Hà Nội.
Address: No 235 Nguyen Trai Street, Thanh Xuan Trung Ward, Thanh Xuan District, Ha Noi City, Viet Nam
Mã số thuế/ *Tax code*: 0106575960
Điện thoại/ *Tel*: 0243 5510099
Email: hitmat.jsc@gmail.com
Người đại diện: **Ông Vũ Hồng Phong** Chức vụ/ Giám đốc
Representative: **Mr. Vu Hong Phong** Position: Director
Tài khoản ngân hàng số: 116000124083 Tại ngân hàng TMCP Công THương Việt Nam – Chi nhánh Thanh Xuân – Hà Nội.
Account No: 116000124083 VietinBank – Branch Thanh Xuan – Ha Noi
Hai bên cùng nhau thống nhất các nội dung cơ bản sau đây:
Party A and Party B come into the following agreement:

그림 3.6 고화재 OEM 생산 관계자 미팅 및 공급 계약서

4) 결론

본 과제의 기술인 PF공법의 베트남 적용을 위해서는 베트남 지반 특성을 반영한 지반고화재의 개발이 필수적으로 수반되어야 한다. 이에 **베트남 현지 법인인 EXT VINA와 ITST를 통해 베트남 현지 지반 특성을 반영할 수 있는 다양한 지역의 토사를 채취였고 케이에이치이엔티와 롯데건설이 공동으로 배합 설계 정립 및 품질을 검증**하였다. 개발된 고화제는 경제성을 갖추기 위해 현지에서 수급 가능한 재료를 이용하여 성능 검증을 수행하였다. 성능의 검증 항목은 압축강도 시험 및 토양오염공정시험으로 수행하였으며 이로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 베트남 토사는 산성도가 높고 유기질 성분이 많아 포졸란 반응을 유도하고 초기 및 장기강도 발현에도 우수한 재료인 현지 고로슬래그 기반에 석고를 활성화제로 한 고화재를 개발하였다.
(2) **개발된 고화재는 베트남 현지산업 부산물을 활용하여 개발되어 시멘트만 사용하는 현지 기존 지반 개량 기술에 비해 환경적인 측면에서 우수**하다.
(3) 개발된 고화재를 **베트남 유기질토에 적용한 고화토 시험 결과 목표 강도인 2.0MPa를 상회하는 결과**를 확인되었다.
(4) 개발된 고화재로 **국내 기준의 토양오염공정시험을 실시한 결과 1급지 이내의 결과**로 확인되었다.

구분	단 위	동남아시아(베트남) 기존 기술 수준	개발 목표치	개발 결과
1. 고화재 모르타르 압축강도	MPa	-	14 MPa 이상	평균 24.5MPa
2. 고화토 압축강도 (유기질토, 점성토 대상)	MPa	0.8 이상	2.0 이상	평균 2.95MPa
3. 친환경성 (고화토의 토양오염공정 시험평가)	급지	환경성에 대한 기준 없음	기준치이내	기준치이내

(4) 개발된 고화재의 안정적인 수급을 위해 현지 OEM 생산 체계를 구축하였으며 현지 시멘트를 지반 고화재로 사용하는 경우보다 적은 양으로 동등 이상의 성능을 보였으며 약18%의 비용 절감 효과가 있다.

구 분	사용량	수량	단가	금액	비고
현지시멘트	280kg/m^3	1,000m^3	65,000	18,200,000	기존 베트남 기술
개발 고화재	230kg/m^3	1,000m^3	65,000	14,950,000	18% 절감

4. 설계법 현지화 개선 – 1차년도

1) 서론

연약지반 개량공법은 개량율 또는 기초 중심 간의 거리에 따른 응력중첩효과를 통하여 설계된다. 본 기술도 이러한 응력중첩 이론을 활용한 설계법으로 모델이 정립되었다. 국내에서 PF 공법은 전도, 활동, 지지력, 침하, 원호활동을 고려한 외적안정과 압축, 전단, 휨 등을 고려한 내적안정이 확보되도록 이론 모델을 Block, Pile, Wall, Box식 등 다양한 type에 대하여 설계법을 구축하여 사용하고 있다. 본 기술의 설계법은 국내 구조물 기초 설계 기준 및 도로교설계기준에 근거하고 있다. 이 기준 근거 식에 따라 국내의 구조물에 대한 침하기준은 약 1 inch(≒2.54 cm)로 설계되고 있으나, 베트남의 경우는 건축 및 토목구조물의 침하량 기준을 8cm 이하로 설정하고 있으며, 그 안정성 확인을 위한 설계기준 또한 국내와는 상이하게 사용되고 있다. 따라서, 동남아시아에서 안정적으로 본 기술을 적용하기 위해서는 해당 국가 기준을 고려하여 그 안정성에 대한 설계법을 재정립할 필요가 있다.

2) PF공법(복합지반 형식) 설계법

PF공법에서 준용하고 있는 주요 설계법을 정리하면 다음 표 4.1, 표 4.2 와 같다.

표 4.1 PF공법 설계식

구분	설계식
지지력	1) 이론적방법 : Terzaghi, Meyerhof, Hansen 중 작은 값
침하	1) 개량구역 : Schmertmann(사질토), Cc법(점토)
	2) 개량구역 하부 : Schmertmann(사질토), Cc법(점토)
PF 두부 하중	1) 강성법 : Randolph, 세계지반공학회, 1994 2) 응력분담비법 : 일본 시멘트 협회, 2012
개량체 압축파괴	1) PF Head부의 압축응력 검토

표 4.2 PF공법 설계기준

구분	설계기준
지지력	– 국내 : 구조물기초설계기준, 2015 – 해외 : FHWA, 2002(Shallow Foundations) – 해외 : AASHTO, 2002
침하	– 국내 : 구조물기초설계기준, 2015 – 해외 : FHWA, 2002(Shallow Foundations) – 해외 : AASHTO, 2002 – 해외 : 육상공사에서의 심층혼합처리공법 설계/시공 매뉴얼 (일본 사단법인 토목연구센터, 2004)
개량체 압축파괴	– 해외 : 육상공사에서의 심층혼합처리공법 설계/시공 매뉴얼 (일본 사단법인 토목연구센터, 2009 & 2015)

(1) 외적안정 – 지지력

복합지반으로서의 지지력은 이론적 방법으로 Terzaghi, Meyerhof, Hansen 3개의 지지력 계산식으로 검토하여 이중 최소값을 지반의 허용지지력으로 적용한다. 각 지지력 계산식은 다음 표 4.3 에 제시한다. PF 공법 설계시 기초 종류별로 허용지지력을 산정할 때 적용되는 안전율은 대체로 3.0을 적용한다. 각 기관별 안전율은 다음 표 4.4 와 같다.

(2) 외적안정 - 침하

구조물의 하부 지반은 지지력이 충분하여도 구조물 사용상의 장애를 일으키지 않도록 침하에 대한 안정성을 확보해야 한다. 과거 허용 침하량으로 Terzaghi의 1inch(25.4mm)를 관행처럼 사용해 왔으나 현재는 토질조건, 구조물의 형태나 기능에 따라 차등 적용하는 추세이다. 각 침하량 산정식은 다음 표 4.5 를 적용하고 허용침하량은 표 4.6 을 기준으로 한다.

표 4.3 PF공법 설계기준

구분		설계기준
지지력	Terzaghi	$q_u = \alpha \cdot C \cdot N_c + \beta \cdot \gamma \cdot B_b \cdot N_r + q \cdot N_q$
	Meyerhof	$q_u = cN_cS_cd_c + qN_qS_qd_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma S_\gamma d_\gamma$
	Hansen	$q_u = cN_cs_cd_ci_cg_cb_c + qN_qs_qd_qi_qg_qb_q + \frac{1}{2}\gamma BN_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma g_\gamma b_\gamma$
	계산조건	- 계산지점 : 표층 하부에서 지지력을 계산 - 지반반력 : 상부하중 + 표층 무게 - 물성치 : 개량지반은 Head부와 Cone까지 깊이 이내의 물성치를 개량율을 고려하여 산정

표 4.4 허용 지지력에 대한 안전율

구분	구조물 기초설계기준	도로교 설계기준	FHWA	AASHTO
상시	3.0	3.0	3.0 (2.5~3.5)	3.0
지진시	2.0	2.0	-	2.0

표 4.5 PF공법 설계기준

구분		설계기준
개량구간 S_p	사질토 (탄성침하)	$S_i = C_1 \cdot C_2 \cdot q_{net} \cdot \sum_0^{2B}\left(\frac{I_z}{E_s} \cdot \triangle z\right)$
	점토 (압밀침하)	$S_c = \beta \times S_0$, β : 침하저감계수($= \frac{\sigma_c}{\sigma} = \frac{1}{(n-1)a_s+1}$) $S_0 = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log\frac{P_0' + \Delta P}{P_0'}$, S_0 = 무처리시 침하량
미개량구간 S_b	사질토 (탄성침하)	$S_{ib} = C_1 \cdot C_2 \cdot q_{net} \cdot \sum_0^{2B}\left(\frac{I_z}{E_s} \cdot \triangle z\right)$
	점토 (압밀침하)	$S_{cb} = \frac{C_c}{1+e_0} \cdot H \cdot \log\frac{P_0' + \Delta P}{P_0'}$

전체 침하량 $S = S_p$(개량구간) $+ S_b$(미개량구간)

- 개량 구간 $S_p = S_i$(개량구간 탄성침하) $+ S_c$(개량구간 압밀침하)
- 미개량 구간 $S_b = S_{ib}$(미개량구간 탄성침하) $+ S_{cb}$(미개량구간 압밀침하)

표 4.6 허용 침하량

구분	구조물 기초설계기준	도로교 설계기준	FHWA	AASHTO
허용침하량	40~60mm(사질토) 60mm(점성토)	기초폭의 1%(최대50mm) 암반 13mm	25.4mm (1inch)	50mm

(3) 내적안정 - 압축파괴

PF개량체의 두부에 하중이 작용하면 압축파괴가 발생할 수 있다. 두부에 작용하는 하중산정과 이때 재료강도에 대한 하중의 비로 정의되는 안전율은 다음과 같이 적용한다.

표 4.7 PF 두부하중 계산식

구분		계산식
PF 두부하중	강성법	(1) PF 표층 하부지반 강성, k_r : $k_r = \frac{2.25GB}{(1-\nu_s)}$, $G = \frac{E_s}{2(1+\nu_s)}$ (2) PF 중층(개량체) 강성, k_p : $k_p = G_l \cdot r_o \cdot \left(\frac{\frac{4}{(1-\nu)} + \rho\frac{2\pi}{\zeta}A}{1+\frac{1}{\pi\lambda}\frac{4}{(1-\nu)}A} \right)$, $E_{eq} = E_s + (E_p - E_s)\left(\frac{A_p}{A_g}\right)$ (3) PF 표층 하부지반 하중 분담 비율, P_r/P_p : $\frac{P_r}{P_p} = \frac{0.2}{1-0.8(k_r/k_p)}\frac{k_r}{k_p}$ (4) PF 중층(개량체) 하중 분담 비율, $P_p/(P_p+P_r)$: $\frac{P_p}{P_p+P_r} = \frac{1}{1+P_r/P_p}$
	응력분담비법	(1) 원지반에 작용하는 연직 응력, q_s : $q_s = \mu_s \cdot \sigma_e$, 응력저감계수 $\mu_s = \frac{1}{(n-1)a_s+1}$, 응력분담비 n (2) 개량체에 작용하는 연직 응력, q_p : $q_p = \mu_p \cdot \sigma_e$, 응력집중계수 $\mu_p = \frac{n}{(n-1)a_s+1}$, 응력분담비 n

표 4.8 압축 파괴에 대한 안전율

구분	연안기술센터(일본)		일본 토목연구센터
	복합지반 설계법	구조체 설계법	
상시	1.0	3.0	1.0~1.2
지진시	1.0	2.0	-

3) 베트남 설계법

베트남에서는 통상적으로 베트남 규격을 기준으로 한다. 베트남 규격이란, 베트남에서 정부 기관 발행된 규격을 말하며 다음을 포함한다.

- TCVN : 베트남국립규격(The National standards)
- TCXD : 건축규격(Building standards)
- TCN : 정부규격(Ministerial standards)

(1) 외적안정 - 지지력

일반적인 얕은 기초에 대한 지지력 계산식을 사용하며 다음 표 4.9 에 제시한다. 허용지지력을 산정할 때 적용되는 안전율은 표 4.10과 같이 국내 및 기타 국제 코드와 비교하면 기준 자체는 낮지만 실질적으로는 2.0~3.0을 적용하는 사례가 늘고 있다. 각 코드별 안전율은 다음 표 4.10 과 같다.

표 4.9 지지력 계산식

구분	일본 토목연구센터
얕은기초 지지력	$\Phi = \overline{b}\mathrm{x}\overline{l}\mathrm{x}(A_I \mathrm{x}\overline{b}\mathrm{x}\gamma_1 + B_I \mathrm{x}h\mathrm{x}\gamma_I' + D_I \mathrm{x}c_I)$
	- 일반적인 지지력 계산식 (TCVN 9362:2012, 4.7.7) - 마찰각, 점착력 등 지반보강 후의 지반특성 적용 필요

표 4.10 허용 지지력에 대한 안전율

구분	TCVN 9362:2012	TCXD 205:1998
상시	1.2이상	1.2~3.0
지진시	-	-

(2) 외적안정 - 침하

침하량은 토질의 성질에 따라 탄성침하와 압밀침하를 모두 검토하여 총 침하량을 산정하고 허용침하량은 기준치 이내에서 발주처의 요청에 따라 다양하게 적용되고 있다. 특히 일반 건축물이나 특수목적의 공장인 경우 국내와 유사한 수준의 침하량을 요구한다. 각 침하량 산정식과 허용침하량은 다음 표 4.11, 표 4.12와 같다.

표 4.11 침하량 산정식

구분		산정식
상시	탄성침하	$S = \beta \times \sum_{1}^{n} \frac{p_i \times h_i}{E_i}$ (TCVN 9362:2012, Appendix C.1.6)
	압밀침하	$S_c = \sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{1+e_o^i} \left[C_r^i \log \frac{\sigma_z^i + \sigma_{vz}^i}{\sigma_{pz}^i} \right]$ (22TCN 262:2000, VI.1 ~ VI.2)
미개량 구간	탄성침하	$S = \beta \times \sum_{1}^{n} \frac{p_i \times h_i}{E_i}$ (TCVN 9362:2012, Appendix C.1.6)
	압밀침하	$S_c = \sum_{i=1}^{n} \frac{H_i}{1+e_o^i} \left[C_r^i \log \frac{\sigma_z^i + \sigma_{vz}^i}{\sigma_{pz}^i} \right]$ (22TCN 262:2000, VI.1 ~ VI.2)

표 4.12 허용 침하량

구분	TCVN 9362:2012	TCXD 205:1998
허용 침하량	콘크리트 구조물 : 80㎜ 철골 구조물 : 120㎜	콘크리트 구조물 : 80㎜ 철골 구조물 : 120㎜

(3) 내적안정

지반보강 후 개량체의 압축파괴, 전단파괴, 인장파괴에 대한 검토 기준은 별도로 명기되어 있지 않음.

4) 설계기준 요약 및 비교

국내 기준을 적용한 PF 공법과 베트남의 설계기준을 비교하면 표 4.13과 같다. 실무에서 실질적으로 적용하는 값들은 기준치와 다를 수 있으나 대체적으로 PF공법의 설계기준은 베트남의 설계기준에 비하여 비교적 높은 안전율을 반영하여 보수적으로 설계되고 있다.

표 4.13 국내 및 베트남 설계기준 비교

구분	PF 공법	베트남	계산식
지지력 산정	구조물 기초 설계기준 2015	TCXD 205:1998	동일 (이론식)
	안전율 : 3.0	안전율 : 1.2~3.0	
침하량 검토	구조물 기초 설계기준 2015	TCVN 9362:2012	동일 (탄성, 압밀침하)
	허용침하량 : 40~60mm(사질토)	허용침하량 : 80mm(콘크리트)	
개량체 압축파괴	일본 토목연구센터 2009, 2015	-	PF : 강성법 베트남 : 없음
	안전율 : 1.0 ~ 1.2	-	

5) 설계법 현지화 및 개선사항

(1) 설계 지내력 조정

베트남 지역의 지층 구조는 주로 고점성 점토질로 구성되어 있는 지역이 많고 연약층의 심도도 깊어 국내의 지층구조와는 차이가 있다. 즉, 연약한 지반이기 때문에 원지반의 지지력 또한 비교적 낮게 계산될 수 밖에 없다. 이러한 현지 지반 특성을 감안하여 국내에서 일반적으로 적용하는 PF 설계지내력 300~400kN/m^2을 200~300kN/m^2로 하향 조정하였다. 복합지반 개념의 지반보강은 원지반과 개량체의 물성치를 개량율에 따라 합산한 평균값을 사용하기 때문에 원지반 물성치가 변수로 작용하는 점을 반영하였다.

(2) PF 직경 다양화

PF 공법은 변단면의 형상을 지닌 개량체를 지중에 형성하는 지내력 기초 공법으로 그림 4.1 과 같이 하중 전달 메카니즘을 고려하여 상부 Head부 직경은 크게 형성하여 하중에 저항하며, 하부 Tail부는 전달되는 하중이 작기 때문에 직경을 작게 하였고 침하를 제어하는 역할을 한다.

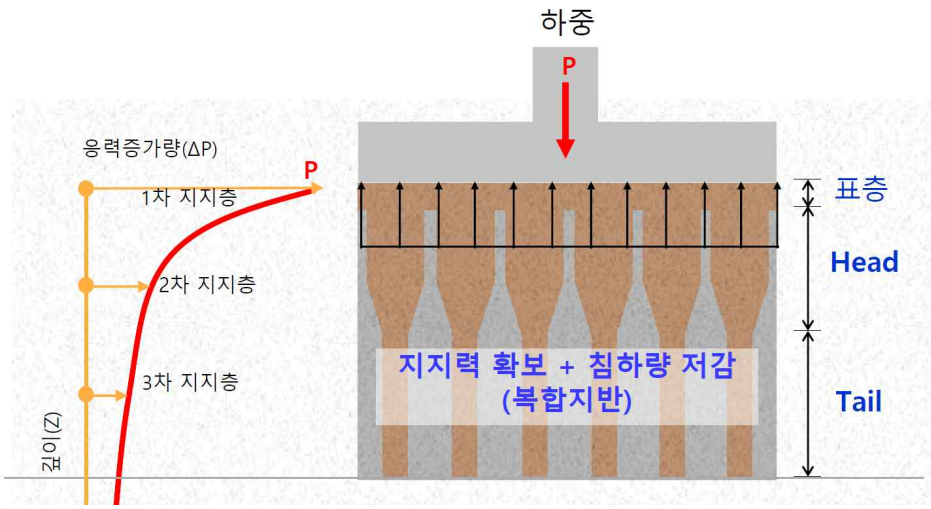


그림 4.1 PF공법의 기술적 개념

베트남은 일반적으로 저층구조물이 많은 비중을 차지하고 있음에 따라 Pile의 본당 지지력이 국내에 비하여 상당히 낮으며, 각 기초의 크기가 작다. 또한, 연약층 심도가 깊은 베트남 지반특성상 국내와 같이 동일하게 개량심도 및 개량율을 산정할 경우 국내에 비하여 침하량이 크다는 특징을 보인다. 이러한 불리한 조건 하에 PF공법을 적용하기 위해서는 제한된 기초크기에 비교적 많은 수량의 개량체를 반영해야 하며, 이와 동시에 침하억제를 위한 하부 개량율을 증가시켜야 한다. 이에 베트남의 경우 국내에서 반영하고 있는 Head부의 직경을 Ø1400mm에서 Ø1200mm로 감소시켜 동일한 면적에 비교적 많은 수량이 배치되도록 하며, 하부의 Tail부에는 Ø600mm에서 Ø800mm로 직경을 증가시켜 하부 개량율을 증가시키는 등 보수적인 설계가 반영되어야 한다. 또한, 상기의 직경변화를 베트남 PF 형상 표준으로 설정하고, 구조물의 종류와 하중상황에 따라 HeadØ1400-TailØ600, HeadØ1200-TailØ800, HeadØ1400-TailØ800 등 다양한 직경을 통해 경제성과 안전성을 확보할 수 있는 최적화 설계가 진행되어야 한다.

(3) 허용 침하량

국내의 건축 구조물 허용 침하량 기준은 FHWA에서 제시하고 있는 25.4mm(1inch)로 보수적으로 적용하고 있는 반면 베트남은 TCVN 기준에 따르면 허용 침하량은 구조 형식에 따라 다르지만 그림 4.2와 같이 8~15cm 수준이며 그 중 건축 기초의 경우에는 8cm를 허용 침하량으로 한다. 따라서, PF 공법의 경우에는 국내와 같이 1inch로 적용할 경우 경제성에서 불리할 수 있지만 8cm로 적용할 경우에는 이질기초 및 기초형식 따라 부등침하 또는 구조물의 균열을 발생시킬 수 있기 때문에 베트남용 PF공법의 허용 침하량은 50mm이하로 결정하였다.

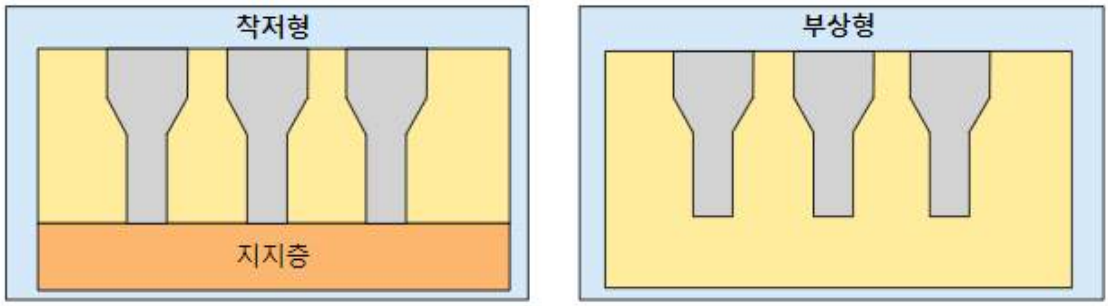
Bảng 16 - Trị biến dạng giới hạn của nền S_{gh}

Tên và đặc điểm kết cấu của công trình	Trị biến dạng giới hạn của nền S_{gh}			
	Biến dạng tương đối		Độ lún tuyệt đối trung bình và lớn nhất, cm	
	Dạng	Độ lớn	Dạng	Độ lớn
1	2	3	4	5
1. Nhà sản xuất và nhà dân dụng nhiều tầng bằng khung hoàn toàn				
1.1. Khung bê tông cốt thép không có tường chèn	Độ lún lệch tương đối	0,002	Độ lún tuyệt đối lớn nhất S_{gh}	8
1.2. Khung thép không có tường chèn	Độ lún lệch tương đối	0,001	Độ lún tuyệt đối lớn nhất S_{gh}	12
1.3. Khung bê tông cốt thép có tường chèn	-	0,001	-	8
1.4. Khung thép có tường chèn	-	0,002	-	12
2. Nhà và công trình không xuất hiện nội lực thêm do tải không đều	-	0,006	-	15
3. Nhà nhiều tầng không khung, tường chịu lực bằng	Võng hoặc võng tương đối	0,000 7	Độ lún trung bình S_{ghtb}	10
3.1 Tấm lớn				
3.2 Khối lớn và thể xây bằng gạch không có cốt	Võng hoặc võng tương đối	0,001	Độ lún trung bình S_{ghtb}	10
3.3 Khối lớn và thể xây bằng gạch có cốt hoặc có dằng bê tông cốt thép	Độ võng hoặc võng tương đối	0,0012	Độ lún trung bình S_{ghtb}	15
3.4. Không phụ thuộc vật liệu của tường	Độ nghiêng theo hướng ngang i_{gh}	0,005	-	

그림 4.2 베트남 TCVN 9362:2012 허용침하량 기준

(4) PF 개량심도 최적화

베트남 지역의 지층 구조는 주로 점토질로 구성되어 연약층심도가 20~50m에 이르며 기반암층까지는 80m 이상인 곳이 상당히 많이 분포하고 있다. 이는 일반적으로 N-Value 20~25 양질의 풍화토층을 착저층(지지층)으로 설정하는 국내 설계법과는 달리 양질의 풍화토층이 깊은 심도에서도 존재하지 않는 경우가 많은 베트남은 설계법의 개선이 필요하였다. 따라서 착저층(지지층)을 찾기 위하여 개량심도를 깊게 설정하기 보다는 그림 4.3과 같이 착저방식을 부상형으로 설계 하는 대신 그림 4.4와 같이 개량율을 증가시킴으로써 지지력과 침하량을 확보하는 방향으로 설계를 정립하였고 이에 대한 성능은 시험시공을 통해 확인하였다.



1. 국내(기존) 2. 베트남

그림 4.3 PF 공법 착저형식

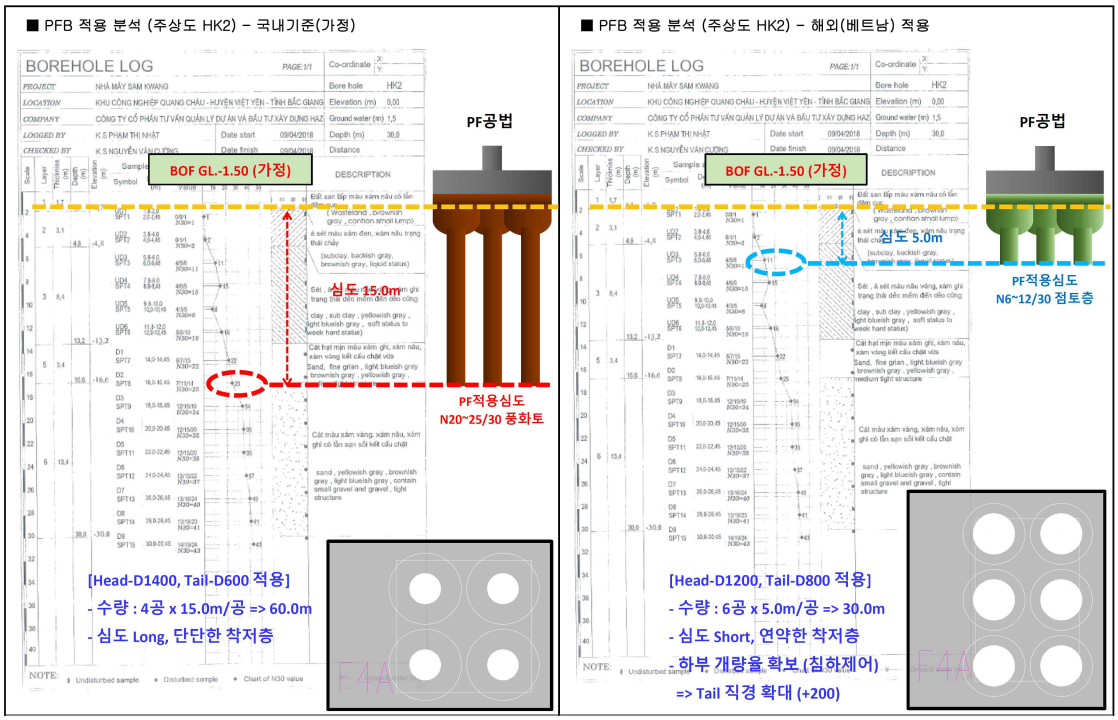


그림 4.4 국내, 베트남 PF 개량심도 비교 예시

6) 결론

본 연구에서는 **베트남 지역에서 적용되고 있는 일반적인 설계법 및 설계기준에 대하여 베트남 법인인 EXT VINA와 공동연구기관인 ITST를 통해 조사를 수행**하였으며, 이를 바탕으로 **PF공법의 현지 적용을 위한 개선점에 대해서 주관연구기관인 케이에이치이엔티와 롯데건설이 함께 검토를 수행**하였다. **베트남의 경우 연약지반이 깊게 분포되어있어 실제 침하기준이나 안전율이 국내에 비하여 낮게 설정**되어있다. 실제 다수의 베트남 지반조건을 대상으로 검토한 결과 비교적 높은 기준치를 적용하는 **국내의 설계기준적용시 안정성 측면에서는 보수적인 설계가 되지만 경제성 측면에서는 베트남의 기존 기초공법에 비해 불리**하기 때문에 다음과 같은 방향으로 설계법을 정립하였다.

(1) **지반개량에 대한 지지력 및 침하량 산정식의 경우 국내와 베트남 모두 유사한 계산식을 준용**하고 있으나, 베트남의 경우 지반 개량 공법은 파일 공법과는 다르게 내적 안정에 대한 안정 검토를 고려를 하고 있지 않다. PF 공법의 경우 외적안정뿐 아니라 일본 토목연구센터에서 제시하고 있는 안전율을 준용하여 내적 안정에 대한 검토도 진행하고 있으며, 베트남 PF 설계 반영시에도 국내와 동일하게 외적 안정 및 내적 안정 검토 방법을 반영하는 필요할 것으로 판단된다.

(2) **국내의 허용 침하량 기준은 FHWA에서 제시하고 있는 25.4mm(1inch)**로 보수적으로 적용하고 있는 반면 베트남의 경우 **베트남의 경우 TCVN과 TCXD에서 제시한 80mm를 적용**하고 있다. 베트남의 허용 침하량 기준을 적용하면 PF공법의 경제성 확보 및 품질관리 측면에서 유리한 측면이 있으나, 이 질기초 및 기초형식 따라 부등침하 또는 구조물의 균열을 발생시킬 수 있기 때문에 **베트남용 PF공법의 허용 침하량은 50mm이하로 설정**하였다.

(3) 베트남은 기초의 크기가 국내에 비해서 상대적으로 작은 경우가 많고 **연약층의 심도가 깊어 하부 개량율을 높이는 것이 효율적**이다. 따라서, 국내에서 적용하는 PF공법의 상부 직경을 작게하여 배치 수량을 늘리고 하부 직경은 증가시켜 하부 개량율을 높이는 방안으로 정립하였다.

(4) **연약지반 층후가 두꺼워** 국내와 같이 양질의 토사층 및 암반층이 30m 이후에도 출현되지 않는 경우가 많아 **국내와 달리 착저 방식을 부상형으로 적용**하고 대신 개량율을 증가시키는 방향으로 정립하였다.

5. 전용 장비의 개량 – 2차년도

1) 서론

앞서 이야기한바와 같이 베트남을 비롯한 동남아시아의 경우 연약층의 심도가 깊어 안정성 확보를 위해서는 지지력도 중요하지만 침하량 제어가 매우 중요한 요소이다. 실제로 동남아시아에서 구조물 사용 중 기초 침하, 균열 등 하자 발생 빈도가 높다. 따라서, 기존 PF 제원보다 하부 직경을 키워 하부 개량율을 키우는 것이 더욱 효율적이다. 또한, 체적개념에서 전체적인 치환율을 높이기 위해 개량체의 배치 수량을 증가시켜야 하므로 상부 직경은 작게 하는 것이 효율적이었다. 따라서, 동남아 지반 조건에 맞는 PF 개량체의 제원은 그림 5.2와 같이 Head Φ1,200mm, Tail Φ800mm을 표준 형상으로 정립하였고 제작하여 그림 5.3과 같이 검측하여 제원을 확인하였다.

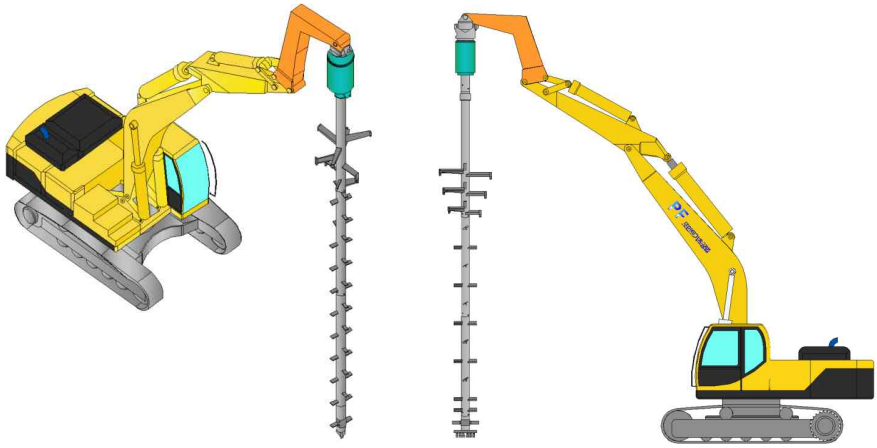


그림 5.1 PF전용 교반 장비

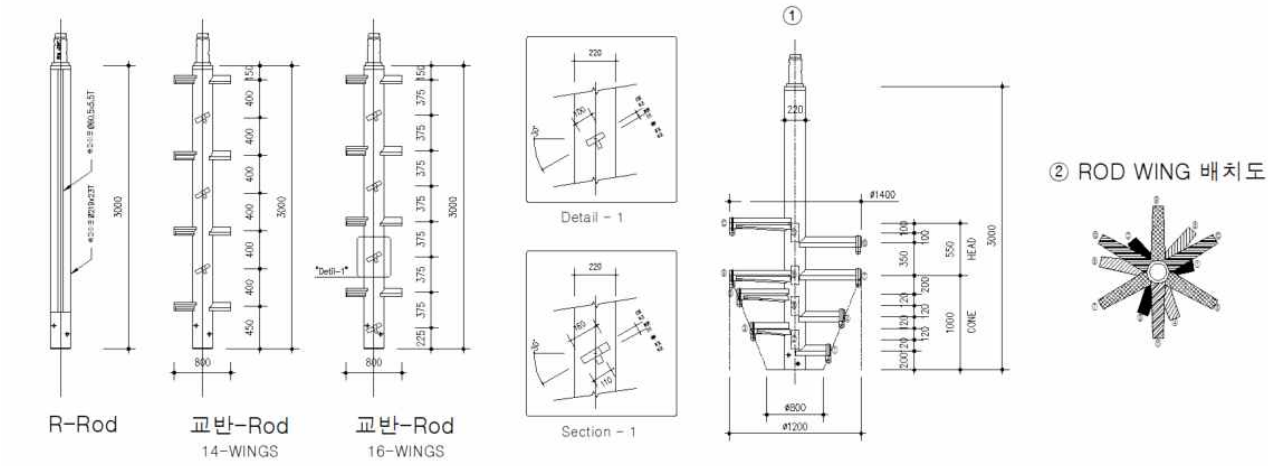


그림 5.2 PF전용 교반 롯데 제작 도면



그림 5.3 교반 롯드 검측 사진

제작된 롯드를 이용해 베트남 북부 Ninh Binh 지역에서 실제로 개량체를 시공 후 21일 양생 뒤 터파기를 하여 실제 지중에 형성된 개량체의 형상을 확인 및 검측하였다. 그 결과 아래 사진과 같이 상부는 직경이 크고 하부는 직경이 작은 변단면 개량체가 성공적으로 형성되었고 직경을 검측한 결과도 상부는 1,200mm, 하부는 800mm로 계획과 일치하게 형성되었다.



그림 5.4 변단면 개량체 검측 사진

2) 시공통합품질관리 장치

변단면 개량체 시공 장비는 동남아시아 지역에서 쉽게 구할 수 있으며 대형 파일 천공기보다 작업성이 좋은 굴착기를 이용하여 시공한다. 동남아시아에서 굴착기를 이용할 경우 가장 신경써야 할 부분은 기사의 숙련도에 따라서 품질 변동성이 클 수 있다는 부분이다. 따라서, 장비 기사가 시공 중에 육안으로 모니터를 통해 수직도, 회전수, 착저층을 확인할 수 있으며 추가적으로 심도, 유량 등도 확인할 수 있도록 개선하여 현지 장비와 호환성을 확인 및 운전석에 설치하였다. 시험 시공을 통해 PF 공법을 처음 시공하는 베트남 현지 기사도 쉽게 육안으로 모니터를 통해 수직도, 착저층, 심도 등 오차 없는 시공이 가능하였다. 기존 베트남 CDM 공법의 경우 별도의 품질관리장치가 존재하지 않아 장비 기사의 숙련에 의존한 점에 비하면 많은 기술의 개선 및 발전이 이루어졌다고 할 수 있다.



그림 5.5 통합 품질관리 장치

지반 개량 공법의 개량체 수직도에 관한 베트남 현지 기준은 따로 없어 PF공법의 수직도 허용오차 기준을 5%로 설정하였다. 다만, 시공 중에는 빠른 판단을 위해 장비 기사가 1%(1/100)의 오차범위로 설정하여 시공한다. 착저층 관리는 시험시공시 착저층에 도달시 확인한 유압치가 약200~250bar 이상으로 나타났다. 향후 프로젝트 발생시 착저층 관리는 시험시공에서 얻은 유압치를 가이드 라인으로 하되, 본시공전 1~2공 시험시공을 해당 현장에서 시행해 설계 심도에 도달 했을때 유압 수치를 확인 후 본시공시 착저층을 관리할 계획이다.

2) 결론

(1) 베트남을 비롯한 동남아시아는 **연약층 심도가 깊은 경우가 많아 하부 개량율을 높이기 위해 변단면의 형상을 개선하였고 이에 맞춰 전용 장비의 개량**도 이루어졌다.

(2) **Mock up test를 통해 시공방법, 개량된 교반 장비의 성능, 통합 품질관리 장치를 통한 착저층 및 수직도 관리 등을 확인**하였고 **시공 후에는 터파기를 진행하여 실제 형성된 구근을 실측하여 검증**하였다.

6. 시험 시공(Mock up test) – 2차년도

1) 현장 선정 및 지반 분석

시험시공을 위해 베트남 하노이에서 약80km정도 떨어진 Ninh Binh 지역에 삼세산업이라는 자동차 부품을 생산하는 공장내에 빈부지를 공장 관계자 승인을 받아 시험 시공 부지로 선정을 하였다. Ninh Binh은 공업도시로서 국내 기업이 많이 진출해있고 앞으로도 공장 프로젝트가 많이 계획되어 있는곳으로 추후 현장 적용으로도 많은 기회가 있는 지역이다.

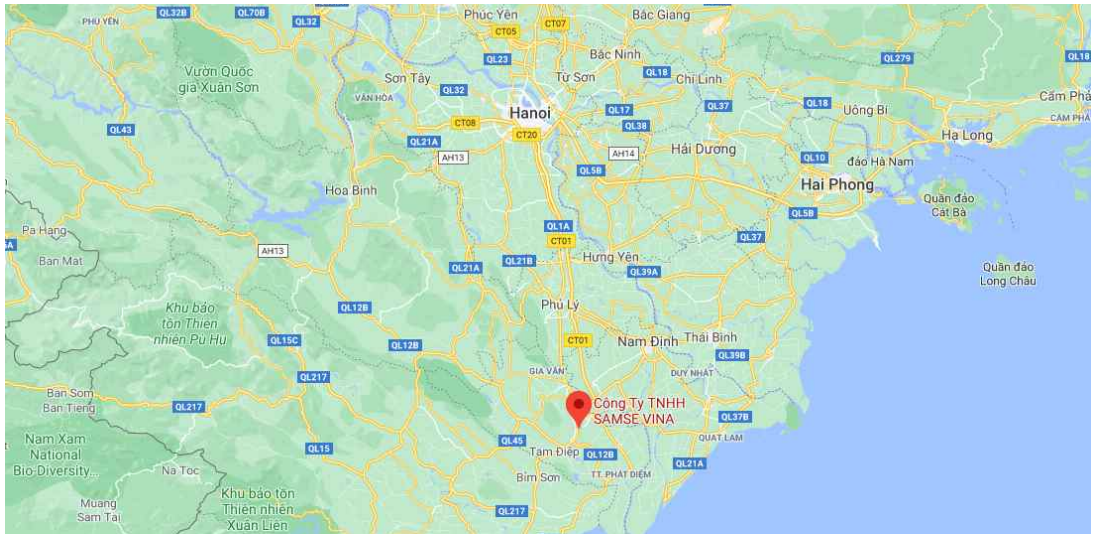


그림 6.1 베트남 Ninh Binh 시험 시공 부지 위치

시험시공을 위해 해당 부지에서 현지 업체를 통해 지반조사를 시행하였다. 조사는 30m 1공을 실시하였고 지층의 상대밀도 및 연경도를 파악하기 위해서 표준관입시험(SPT)을 실시하였다. 또한, 실내토질시험으로는 시료 채취를 통한 기본 물성 시험, 일축압축시험, 삼축압축시험(UU, CU) 및 압밀시험을 실시하였다.



그림 6.2 베트남 Ninh Binh 지반 조사 전경

표 6.1 지반 조사 수량

No	Borehole	수량(m)		표준관입시험(SPT)		시료	
		지반고	조사심도	지반고	회수	불교란 시료	교란 시료
1	HK1	0	30.0	0	13	11	2

표 6.2 실내 시험 수량

No	Borehole	시료				
		불교란 시료	교란 시료	압밀 시험	비압밀 비배수(UU)	압밀 비배수(CU)
1	HK1	11	2	3	3	3

지반조사 결과 주요 지층 구성은 매립층이 0~2.6m, 유기질토 성분을 띄는 N치 3~6의 연약 점토층이 2.6~10.3m, N치 4~42의 점토층이 10.3~30.0m까지 분포되어있고 지반 조사를 수행한 30m 심도까지는 기반암이 존재하지 않았다. 해당 지역은 유기질토에 층후가 두꺼운 연약점토층으로 전형적인 동남아 지역의 지반 특성을 보이는 조건으로 볼 수 있다. 시험 시공에 사용한 고화재는 1차년도에 정립한 표준 배합비를 적용하여 현장 토사와 사전 배합 시험을 통해 투입량 설정 및 강도 발현을 확인하였다.

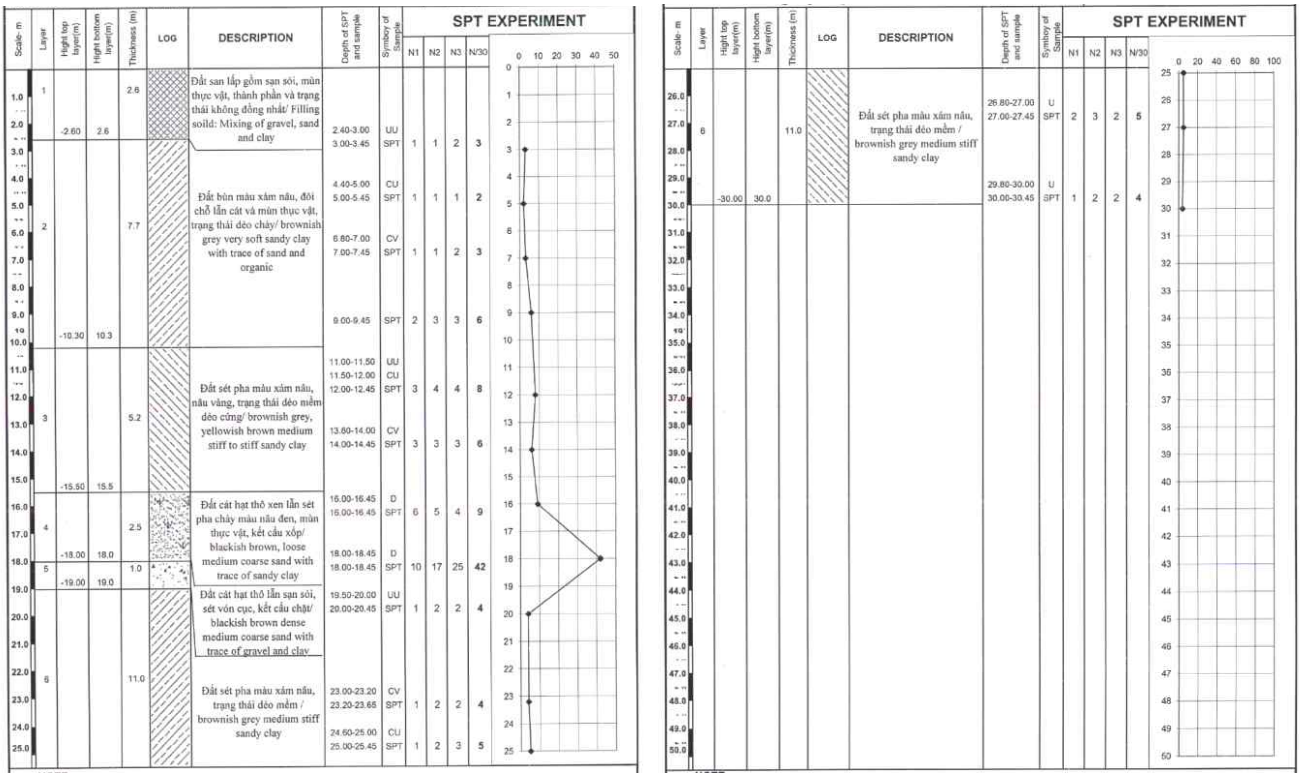


그림 6.3 베트남 Ninh Binh 시험 시공 부지 지질 주상도

2) 현장 상세 설계

시험 시공 부지에서 시행한 지반조사보고서를 토대로 변단면 개량체 상세 설계를 진행하였다. 변단면 개량체는 중저층 구조물용 지반 개량 공법으로 설계하중은 30ton/m^{2}이하이며 복합지반 설계법으로 설계한다. 따라서, 실제 시험 시공시에도 설계하중을 30ton/m^{2}으로 적용하여 설계하였고 기초 사이즈도 실제 베트남 건축물에 주로 적용되는 독립기초 사이즈인 2.5mx2.5m로 적용하였다. 본 연구의 목표 허용 침하량은 국내 건축 기초 기준인 1inch(2.54cm)와 베트남 TVCN 기준인 8.0cm의 중간인 5.0cm로 설정하였으나 시험시공은 보수적으로 국내 침하량 기준인 1inch 기준으로 설계하였다.

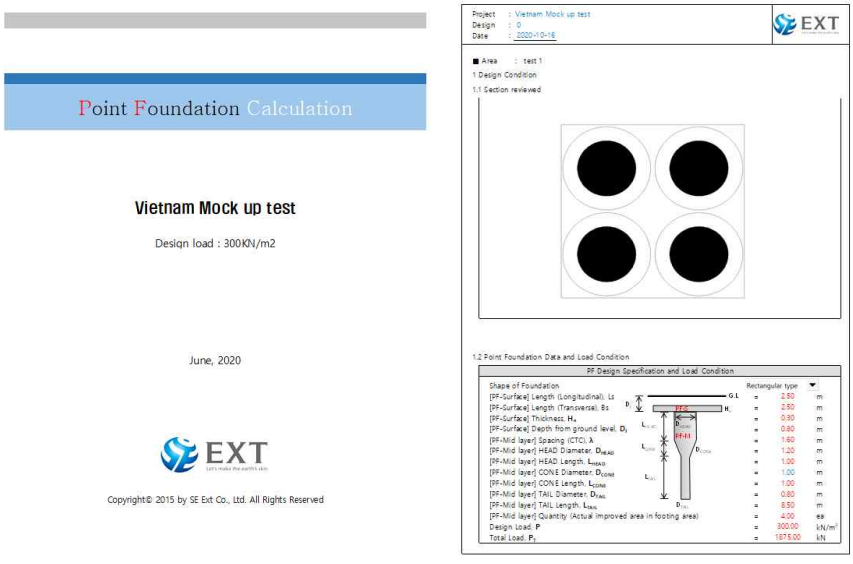


그림 6.4 PF 설계 계산서

개량체 착저 형식은 부상형으로 적용하였고 지지력과 침하량을 검토하여 산정한 설계심도는 10.5m이며 아래 그림과 같이 설계 심도보다 짧은 8.5m와 6.5m를 비교 대상으로 설정하여 지지력과 침하량을 비교하였다.

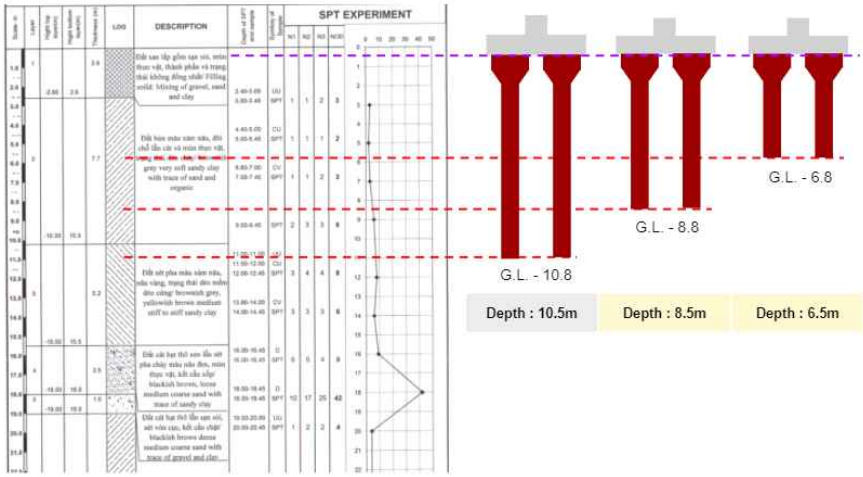


그림 6.5 베트남 시험 시공 개량체 심도

표 6.3 설계 요약

No	구분	설계 하중 (kN/m^2)	개량체 심도 (m)	설계 침하량 (cm)	개량체 단면	비고
1	TEST 1	300	10.5	2.39	상부직경 1,200mm 하부직경 800mm	설계심도
2	TEST 2	300	8.5	3.30		비교대상
3	TEST 3	300	6.5	4.99		비교대상

또한, Midas 프로그램을 이용해 수치해석을 수행하여 수계산으로 산정한 침하량과 비교하였다. 또한, 베트남에서 가장 일반적으로 쓰이는 지반 개량 공법인 CDM을 고려하여 직경 800mm의 등단면으로 적용하였을 때의 침하량과도 비교하였다. Midas 수치 해석 결과 변단면 개량체는 침하량이 3.0cm, 등단면 개량체에서는 3.3cm로 변단면 개량체에서 침하량이 더 작았다. 또한, 재료적으로 베트남 CDM은 일반 시멘트를 사용하기 때문에 고화재에 비해 사용량이 더 많고 환경적인 측면에서 불리하며 시공 장비도 파일 천공기를 사용하기 때문에 굴착기와는 달리 작업반경이 짧고 원위치에서만 시공이 가능하므로 도로같은 넓은 토목현장에서는 유리하지만 건축물 독립기초 같은 곳에서는 이동성, 접근성 및 시공성이 떨어진다.

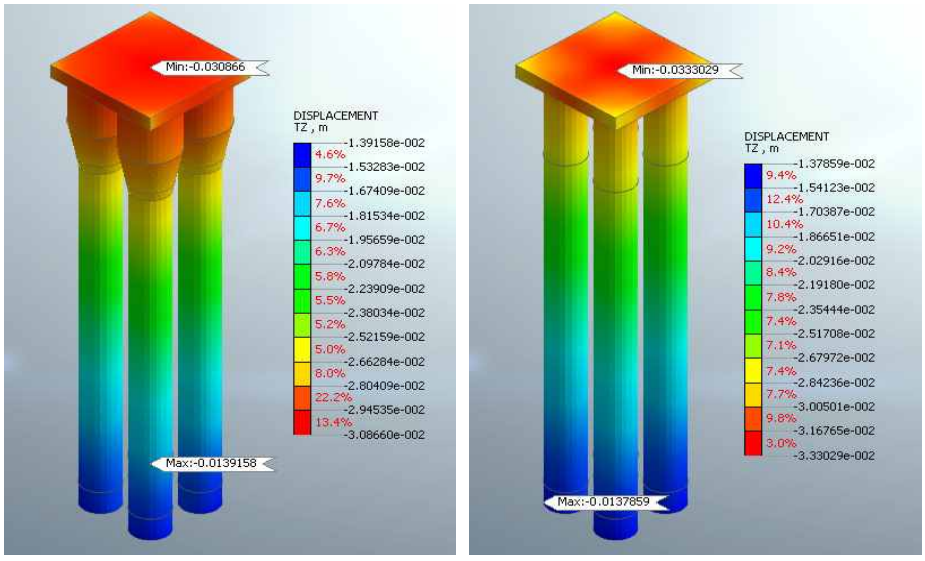


그림 6.6 Midas 프로그램 해석 결과(침하량)

시험 시공은 위의 표 1.3과 같이 심도별로 3그룹으로 계획하였다. 변단면 개량체의 배치는 아래 그림 6.7와 같이 실제 독립기초 사이즈를 가정하여 2.5mx2.5m 안에 4개의 변단면 개량체를 배치하였다.

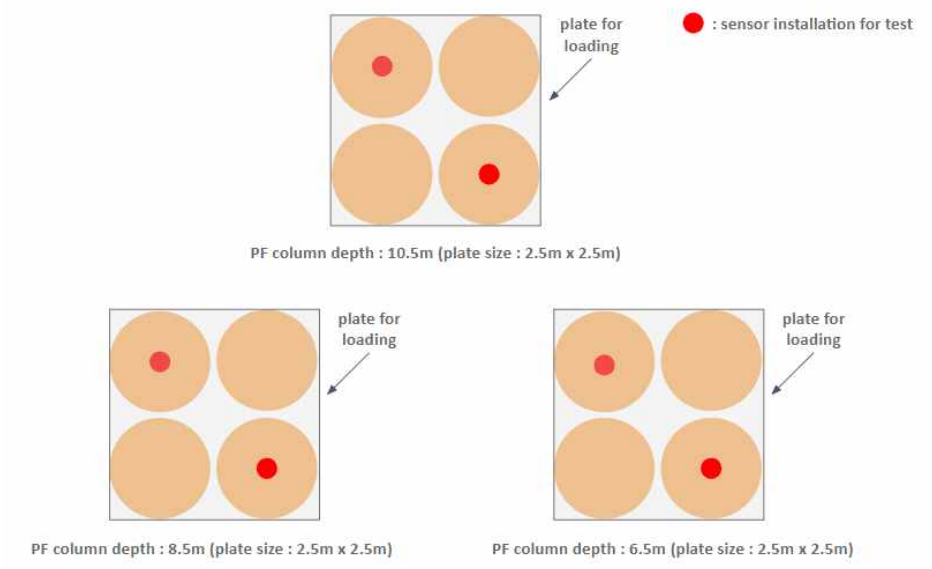


그림 6.7 시험 시공 개량체 배치 계획

하중-침하 거동 특성을 분석하기 위해 실물재하시험과 변단면 형상의 효율성을 검증하기 위해 하중전이 시험을 계획하였다. 하중 시험을 하기 위해 개량체내에 변형률계를 설치하였다. 설치 방법은 개량체 시공 직후 변형률계가 설치된 PVC 파이프를 구근체 가운데 삽입하였다. 이후 실물재하시험을 통해 개량체에 하중 작용시 개량체 내부 변형률계로부터 산출된 변형률(strain)값과 위치별 일축 압축강도 시험을 통해 구한 탄성계수(Modulus of elasticity) 값을 이용해 심도별 응력을 구해 하중전이 양상을 분석하였다. 또한, 실물재하 시험을 통해 구한 하중-침하 거동을 분석해 설계값과 비교하여 설계의 적정성 및 PF 공법의 성능을 검증하고자 하였다.



그림 6.8 베트남 시험 시공 변형률계 설치 전경

3) 현지 자재 시험 검증

1차년도에 베트남 현지 고화재 개발은 진행하였다. 고화재 공장은 베트남 북부 Haiphong 항구도시에 위치하고 있으며, OEM 계약을 통해 가격 경쟁력 있는 현지 생산체계를 구축하였다. 또한, 고화재의 역학적, 화학적 특성을 평가하였고 베트남의 서로 다른 지역에서 채취한 흙을 가지고 고화토를 만들어 압축강도 시험을 진행하여 목표 강도인 2.0MPa 이상의 성능을 만족하였다. 2차년도 시험 시공을 통해서는 1차 년도에 현지화한 고화재를 실제 변단면 개량체를 현장에서 시공 후 개량체 내부에서 시료를 채취해 공시체를 만들어 압축강도를 확인하였다. 실내시험에서는 어느 한 위치에서 채취한 토사를 고화재와 물을 정량대로 혼합하여 믹서로 완전하게 교반 및 재성형 하여 시험하지만, 실제 시공 현장에서는 시공 장비로 균질하지 않은 지층을 교반하기 때문에 변수가 많아 실제 시공을 완료한 개량체에서 그림 6.9와 같은 샘플러를 이용하여 원하는 심도별로 시료를 채취하여 만든 공시체로 일축압축강도를 확인하는 것은 매우 중요한 사항이다. 또한, 하중전이 특성을 평가하기 위해서도 개량체의 탄성계수 값이 필요하기 때문에 일축 압축강도 시험은 필수적이고 압축강도 결과는 아래 표 6.4와 같다.



1. 구근 샘플러 설치 모습(국내)



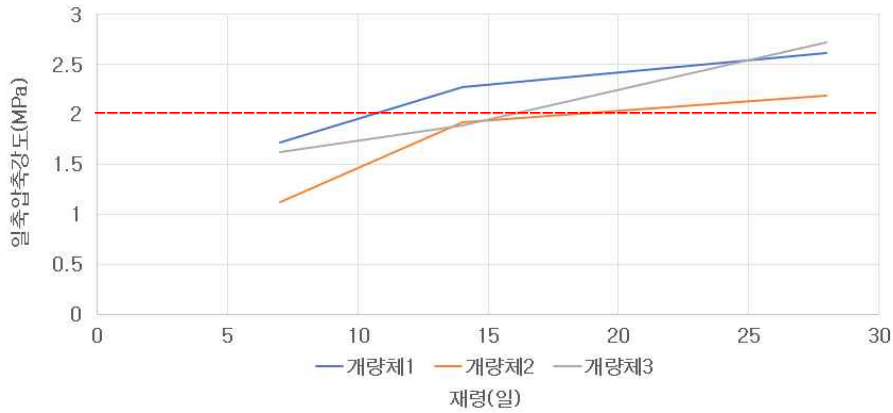
2. 샘플러를 이용해 시료 채취(베트남)

그림 6.9 개량체 시공 후 시료 채취 전경

시험시공 각 그룹내 1공의 개량체에서 시료를 채취하여 측정한 압축강도시험결과는 28일에서 모두 목표 강도인 2.0MPa 이상의 결과를 얻었다. 7일 강도에서도 목표 강도인 2.0MPa 대비 약56~86%의 높은 강도 발현율을 보였고 14일 강도에서는 95~114%의 강도 발현율을 보였다.

표 6.4 일축압축강도 시험 결과

구분	일축압축강도(MPa)			비고
	7일	14일	28일	
개량체 1	1.72	2.27	2.62	평균값
개량체 2	1.12	1.92	2.19	평균값
개량체 3	1.63	1.89	2.72	평균값



4) PF 성능 검증

시험시공을 통해 시공법 검증, 지지력 및 침하 확인, 하중전이 성능 평가를 진행하였다. 시공법은 전용교반장비 검증과 동일하게 개량체 검측을 통해 변단면 개량체의 형상을 확인하였고 지지력 및 침하 확인은 실물재하시험을 통해 진행하였다. 실물재하시험 재하판은 그림 1.15와 같이 실제 기초 사이즈와 동일하게 2.5m x 2.5m로 현지에서 제작하였다.





그림 6.10 대형 평판(2.5mx2.5m) 제작 및 사용 모습

실물재하시험시 재하 하중은 설계하중의 3배까지 재하 하였다. 하중재하는 25%씩 총12단계로 진행하였으며 재하속도는 급속으로 진행하는 국내 재하시험과는 달리 완속으로 진행해 단계별 1시간씩 지속시간을 두었다. 그림 6.11과 같이 반력대는 국내와 동일하게 콘크리트 블록을 이용하였고 하중 재하는 유압잭을 이용하였다.



그림 6.11 베트남 시험 시공 전경

실물재하시험을 통해 지지력 및 침하량 성능 검증을 진행한 결과는 아래 표 5.5와 같다. 10.5m 개량체의 경우 최대 재하 90ton/m^2 에서도 변위가 수렴하였고, 8.5m 개량체의 경우 82.5ton/m^2 하중 재하 단계에서 변위가 수렴되지 않고 지속적으로 증가하였으며, 6.5m 개량체의 경우 75ton/m^2 재하 단계에서 변위가 수렴되지 않고 지속적으로 증가하였다.

표 6.5 일축압축강도 시험 결과

구분	개량체 심도 (m)	실 최대 재하하중 (ton/m^2)	설계 지지력 (ton/m^2)	침하량(cm)		
				설계값	시험값 (설계하중시)	시험값 (최대하중시)
TEST 1	10.5	90	30	2.39	0.72	5.45
TEST 2	8.5	82.5	27.5	3.30	0.99	7.82
TEST 3	6.5	75	25	4.99	0.22	6.45

하중-침하 양상은 그림 6.12와 같이 심도가 짧을수록 최대 재하 하중도 작아졌다. 침하량의 경우에는 개량체 심도가 설계 심도보다 짧은 경우 최대 재하하중 단계에 도달하기 전에 항복되어 설계법의 적정성을 확인할 수 있었다. 다만, 재하 하중 700kN/m^2 단계까지 가장 짧은 6.5m의 침하량이 8.5m의 침하량보다 작게 나온 이유는 모든 지반조건이 동일하지 않다는 점으로 판단되지만 절대 침하량의 차이로 보면 1cm 미만으로 미소하며 두 경우 모두 설계하중 단계에서 수계산으로 산정한 침하량보다 작게 발생하였고, 세 경우 모두 설계 하중 단계에서 허용침하량 이내의 결과이므로 안전성 확보에는 문제가 없는 것으로 판단한다.

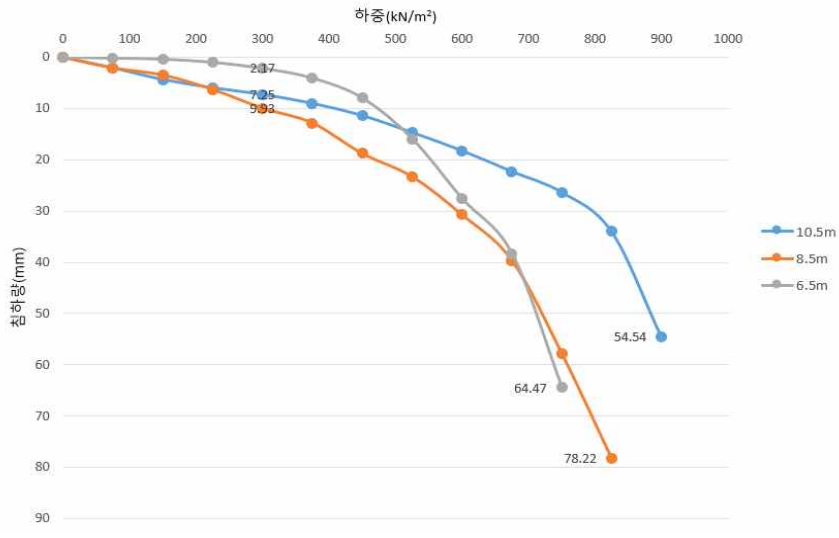


그림 6.12 베트남 시험시공 하중-침하 그래프

변단면 형상의 공법 원리 및 효율성을 검증하기 위해 시행한 하중전이 시험의 결과는 그림 6.13와 같이 직경이 큰 상부 구간에서 전체 응력의 60%~95%에 해당하는 응력을 부담하고 있고 직경이 작은 하부에서는 5~30%의 응력만 부담하고 있다는 결과를 확인하였다. 이를 통해 변단면 형상의 효율성에 대해서 확인하였다.

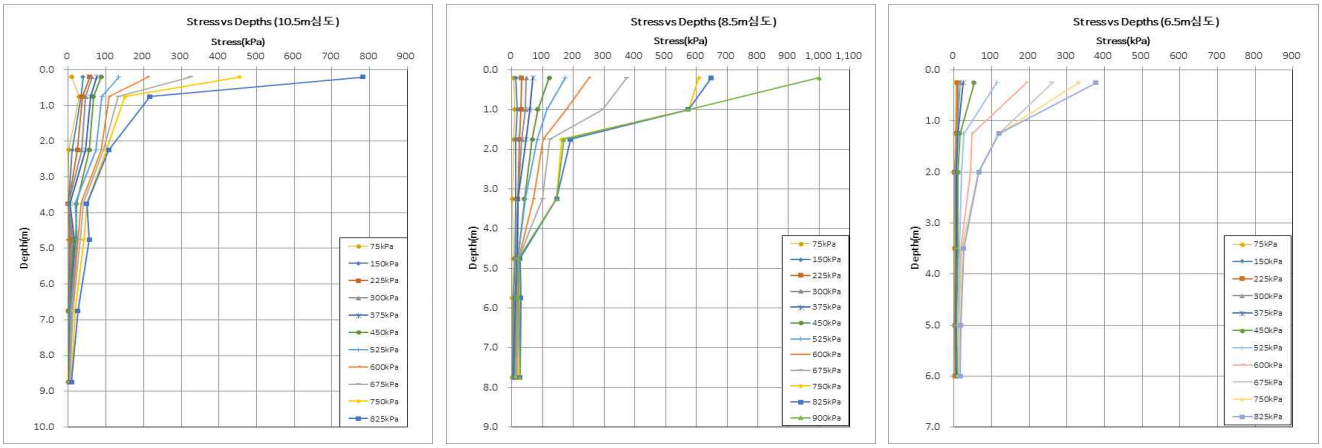
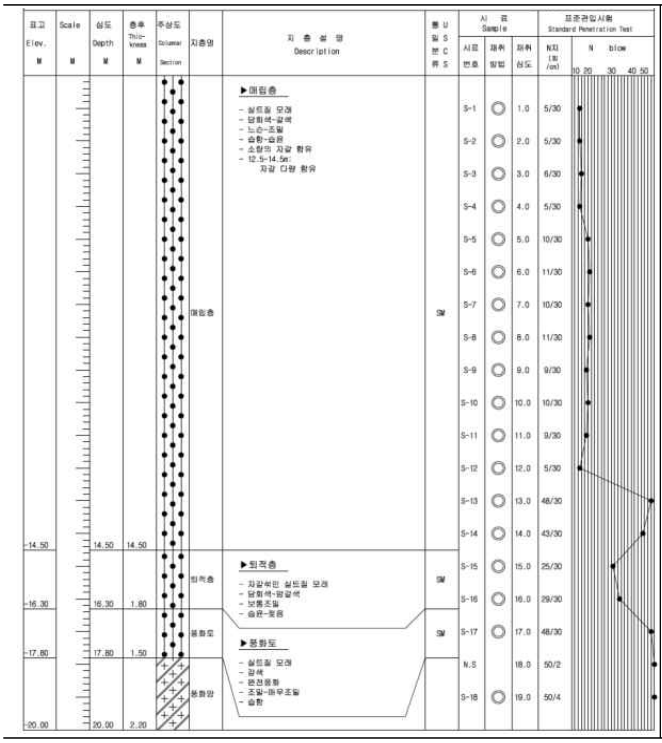


그림 6.13 개량체 심도별 응력-심도 그래프

5) 국내 비교 시험 시공

비교 시험으로 국내에서도 시험 시공을 진행하였다. 국내 시험 시공 위치는 충청북도 충주에서 진행하였다. 지층 조건은 실트질 모래층으로 구성되어있고 매립층, 퇴적층, 풍화토, 풍화암의 전형적인 국내 지층 분포를 보이고 있다. 시험 진행은 개량체 시공 후 베트남 시험 시공과 동일하게 일축압축 강도시험, 실물재하시험, 하중전이 시험을 하였고 추가적으로 공내 전단 시험을 통해 현장에서 시공된 개량체를 통해 개량체의 강도 정수를 확인하였다.



1) 지층조건

구분	심도	지층	N치
매립층	0-14.5	실트질 모래	5/30~ 48/30
퇴적층	14.5-16.3	실트질 모래	25/30~ 29/30
풍화토	16.3-17.8	실트질 모래	48/30
풍화암	17.8-20.0	심한풍화	50/4
연암	20.0-	화강암	-

2) 시험 진행

시험	목적
일축압축강도	개량체 품질 확인, 탄성계수 측정
공내전단시험	개량체 강도 정수 산정
실물재하시험	지지력 및 침하 특성 파악
하중전이시험	심도별 하중 전이 특성 파악

PF 설계는 설계하중 300kN/m2에 허용침하량은 1inch(25.4mm) 기준으로 하여 심도 11m 로 결정하였다. PF 개량체의 제원은 국내에서 적용하고 있는 상부 Head 1,400mm, 하부 Tail 600mm로 적용하였다.

표 6.6 설계 요약

No	구분	설계 하중 (kN/m^2)	개량체 심도 (m)	설계 침하량 (mm)	개량체 단면	비고
1	TEST 1	300	10.5	7.9	상부 1,400mm	실물재하, 하중전이
2	TEST 2	300	10.5	7.9	하부 600mm	공내전단시험



그림 6.14 국내 시험 시공 전경

실물재하 시험은 재하판 사이즈 1.0mx1.0m로 시험하였고 재하 속도는 급속으로 진행하여 하중 단계별 15분간 지속하였으며 최대 재하 하중은 설계하중의 약3.2배인 980kN/m^{2}까지 재하하였다. 하중-침하 결과는 아래 그림 6.15과 같이 설계하중인 300kN/m^{2}에서는 3.57mm로 설계시 침하량인 7.9mm보다 작게 발생되었으며 최대 재하 하중인 980kN/m^{2}에서도 9.49mm로 허용 침하량인 25.4mm보다 작게 발생되었다.

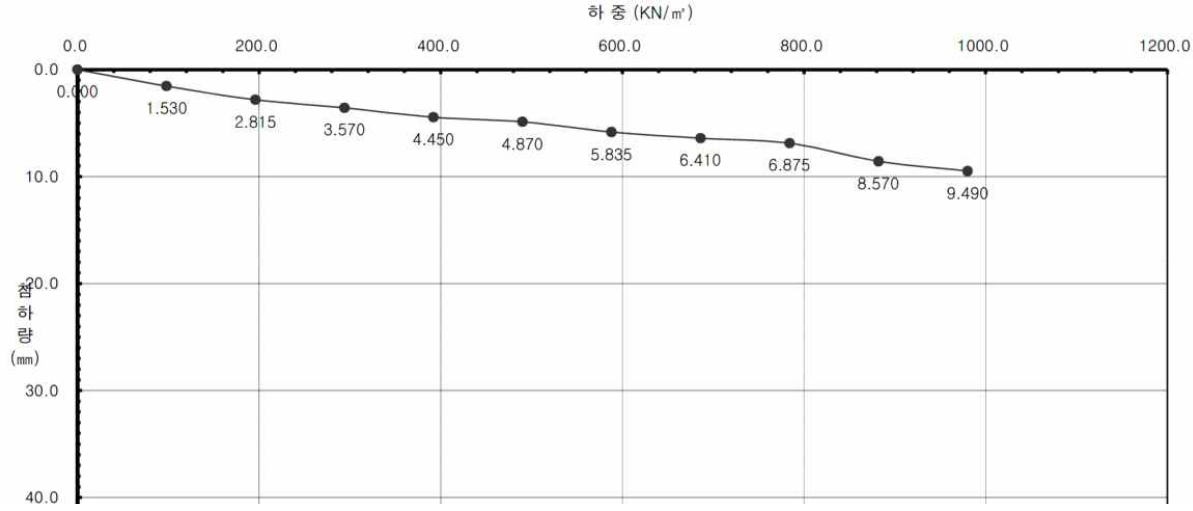


그림 6.15 국내 시험 시공 하중-침하 그래프

하중 전이 시험은 개량체 내부에 변형률계를 설치(Head : 1개, Cone : 1개, Tail : 7개)하여 심도별 변형률을 통해 응력 분포를 확인하였다.

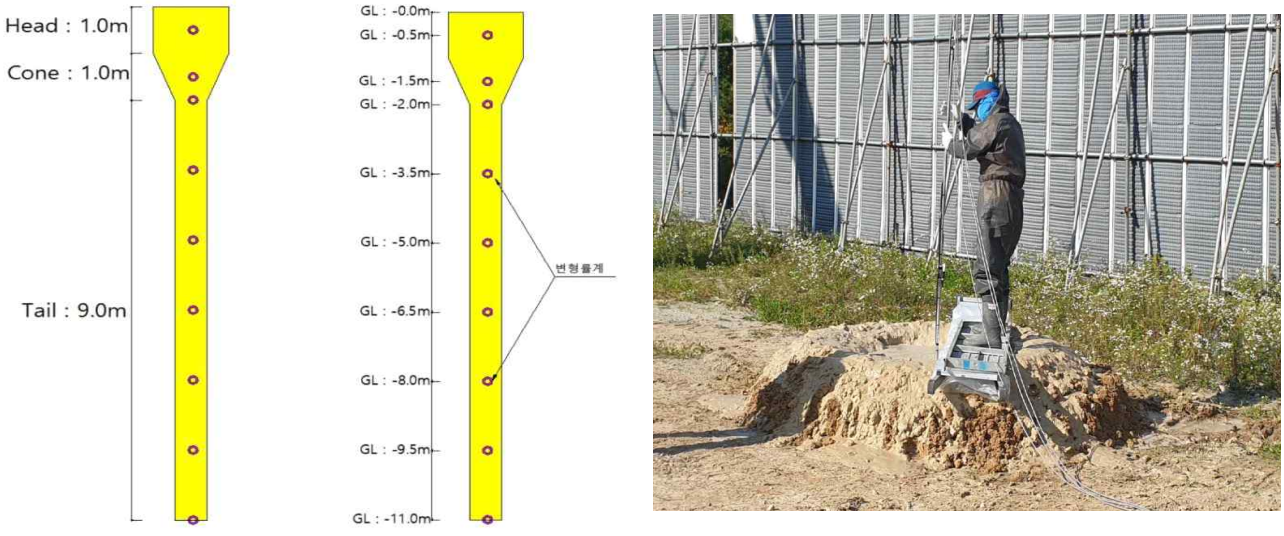


그림 6.16 계측기 설치 단면도 및 설치 전경

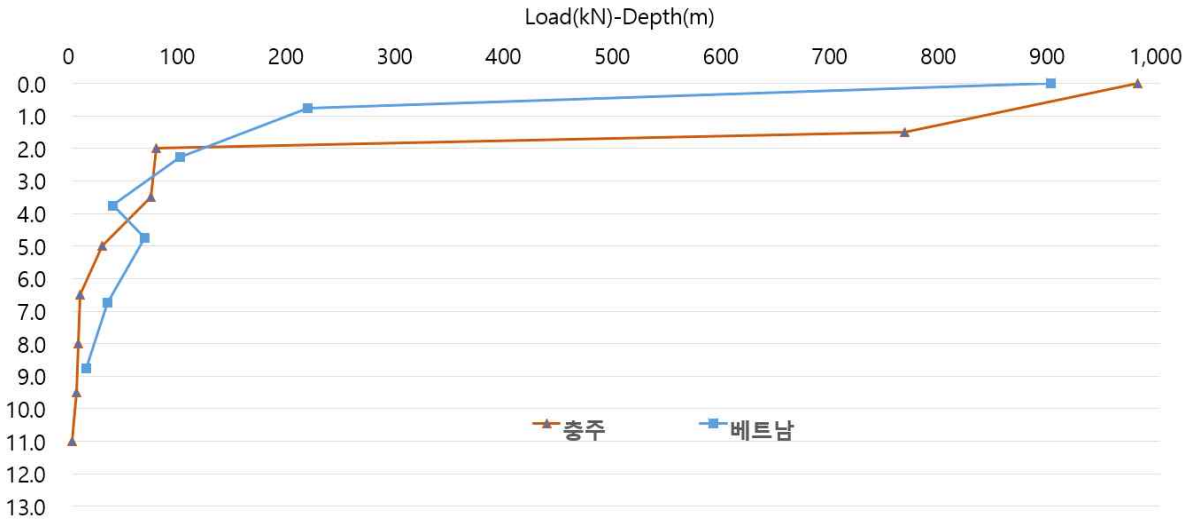


그림 6.17 하중전이 시험 결과 비교

하중 전이 시험 결과 베트남과 국내 모두 Head & Cone 구간인 2m 내에서 80% 이상의 하중을 부담하며 직경이 작은 Tail 구간에는 하중 전달이 20% 미만으로 변단면 개량체의 효율성이 검증되었다.

6) 결론

변단면 개량체의 성능을 검증하기 국내 1회, 베트남 1회 Mock up test를 실시하였다. 주관연구기관인 케이에이치이엔티와 공동연구기관인 롯데건설에서 국내 및 베트남 Mock up test의 계획 및 결과 분석을 진행하였고 베트남 Mock up test의 부지 선정 및 수행은 ITST 및 EXT VINA에서 진행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 실내 시험이 아닌 **실제 현장에서 개량체를 형성 후 압축강도를 측정한 결과도 목표 강도 2.0MPa 이상의 결과**를 얻어 현지화 재료 및 시공 방법에 대해 검증하였다.

(2) 설계 심도로 시공한 개량체와 설계 심도보다 짧게 시공한 개량체에 **실제 베트남 건축물에 주로 적용되는 독립 기초 사이즈인 2.5x2.5m와 동일하게 재하판을 제작하여 대형 평판 재하 시험을 실시한 결과** 설계 심도보다 짧게 시공되어진 개량체의 경우 최대 재하 시험 하중에 도달하기 전에 변위가 수렴되지 못하였고 **설계 심도로 시공한 계량체의 경우에는 지지력과 침하량 모두 기준을 만족하는 결과**를 얻어 설계법 및 시공 방법에 대해 검증하였다.

(3) 개량체 형성 후 터파기를 하여 양생된 계량체를 실측한 결과 모두 설계 제원인 상부 1,200mm, 하부 800mm와 사이즈가 오차가 없어 전용 교반 장비 및 시공법에 대해서 검증하였다.

(4) **하중전이 시험을 실시한 결과 큰 직경의 상부 2m 구간내에서 80% 이상의 하중을 부담하고 직경이 작은 하부 구간에서는 20% 이하의 하중만이 전달되어 변단면 개량체의 효율성을 검증**하였다.

7. 특기 시방서 작성 – 2차년도

(1) 특기 시방서(specification) 작성

Mock up test를 통해 베트남에서 시공시 반영되어야 할 사항들을 고려하여 특기 시방서를 작성하였다. 이를 통해 베트남을 비롯한 동남아시아에서 시공시 시방서를 기준으로 시공 및 품질관리를 진행하여 표준화 시공이 될 수 있도록 관리하여 동남아시아의 기존 공법들과는 품질관리 측면에서 차별화 될 수 있도록 관리 계획이다.

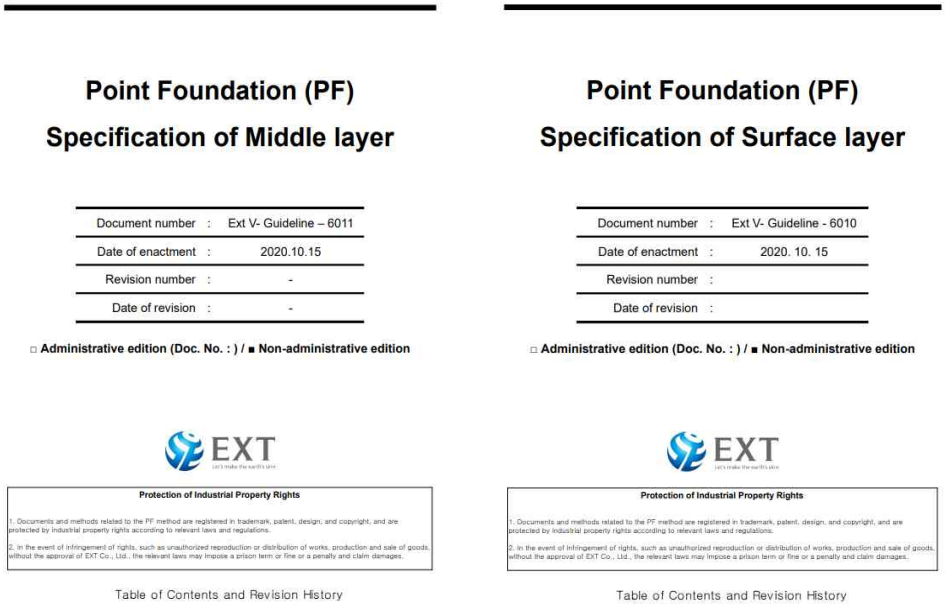


그림 7.1 베트남 특기 시방서 표지(중층, 표층)

베트남 특기 시방서는 **베트남 TCVN 기준에 맞춰 작성하였고 TCVN 인증을 직접 진행하는 공동연구기관인 ITST에서 최종적으로 내용 감수를 진행하여 완성하였고 시방서는 영문 및 베트남어로 작**성하였다. 베트남 특기 시방서의 주요 구성은 표 7.1과 같다.

표 7.1 베트남 특기 시방서 주요 구성

구분	구성	주요 내용
1	Scope(범위, 공법 소개)	공법소개, 적용분야 등
2	Referenced documents(참고 문헌)	참고 문헌
3	Terms and conditions(용어, 조건)	용어 등
4	Generals(일반 사항)	시공시 필요한 일반 사항 등
5	Geotechnical investigation(지반 조사)	설계 및 시공시 필요한 지반정보
6	Materials and product(재료, 성과품)	고화재 특성 등
7	Design solutions(설계)	설계법 등
8	Execution(시공)	장비 구성, 인원 구성 등
9	Supervision, testing and monitoring(관리, 시험, 유지관리)	품질관리 방안
10	Safety and environmental protection(안전, 환경관리)	안전 및 환경관리 방안

(2) 결론

Mock up test를 얻은 feedback 사항들을 반영하여 베트남에서 향후 시공 또는 감리시 가이드라인이 될 특기 시방서를 작성하여 표준화된 시공 및 품질관리가 되도록 관리하겠다.

8. Mock up test feedback(품셈 및 일위대가 작성) – 3차년도

(1) 품셈 및 일위대가 작성

지반 고화재 현지화, 설계법 정립, 전용 장비 개량, Mock up test를 통한 성능 평가를 통해 사업화를 위한 기본 준비 작업은 완료가 되었다. 3차년도에는 구체적인 사업화를 위한 실무적인 세부사항들을 준비하였다. 첫 번째로는 **프로젝트 견적 및 관급 공사 입찰 등을 위한 품셈 및 일위대가를 작성**하였다. **기본적인 사항들은 국내 PF 공법의 품셈 및 일위대가를 바탕으로 하고 자재단가, 노임단가, 기계 경비 등은 베트남 현지 조건에 맞춰 개선**하였다. 본 과업은 공동 연구기관인 ITST에서 실제로 베트남에서 하고 있는 업무로 이번 PF 공법의 베트남 품셈 및 일위대가 작업도 주도적으로 진행하였다.



그림 8.2 ITST 담당자 미팅

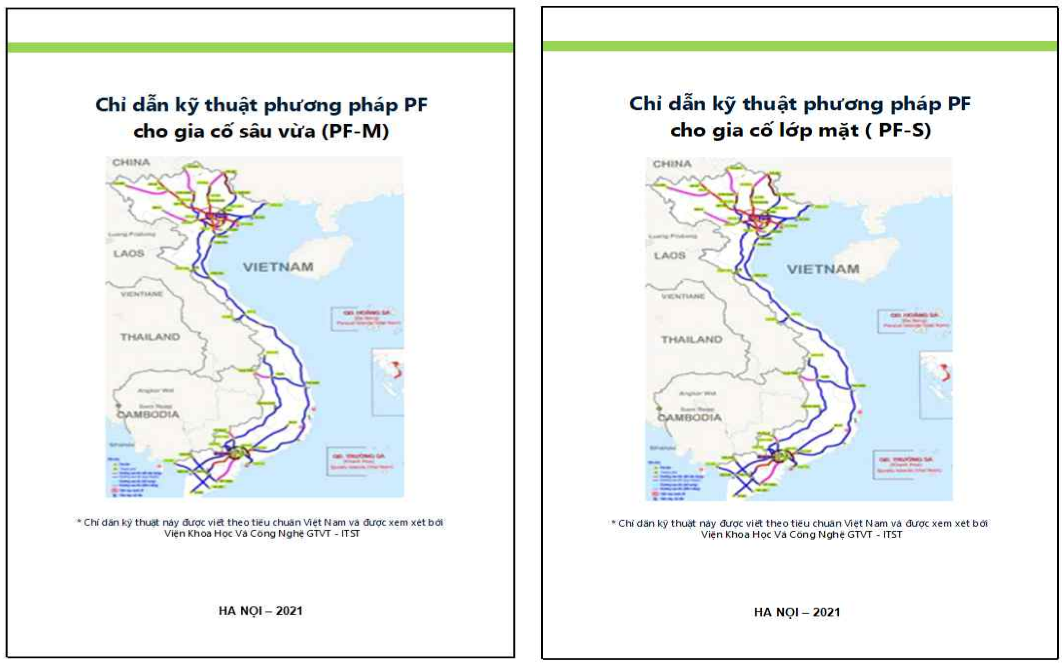


그림 8.2 품셈 및 일위대가 표지

(2) 결론

공동연구기관인 베트남 MOT(교통부) 산하 연구기관인 ITST에서 실제 품셈 및 일위대가 검증 등을 베트남에서 수행하고 있는 기관으로 이번 베트남 시장을 위한 품셈 및 일위대가 개정 작업에 주도적인 역할을 해주었다. 이번 품셈 및 일위대가는 3차년도 베트남 국가 인증시 기초 자료로 활용되며 향후 관급 프로젝트 견적, 입찰 등에도 사용될 예정으로 베트남 현지에서 PF공법의 단가에 대한 일관성 및 공정성을 확보하였다.

9. 홍보자료 구축 – 3차년도

(1) 온라인 세미나

현장 적용 및 사업화를 위해서 본 과제를 통해 마케팅 및 홍보활동의 일환으로 2021년 10월 28일 세미나를 개최하였다. 세미나는 기본적으로 코로나 상황에 따라 온라인으로 진행하여 한국과 베트남을 연결하였고 최근 PF 공법에 관심이 많은 인도의 한 기업에서도 온라인 세미나에 참석해주었다. 베트남에서는 기초 지반 전문 기업인 FECON에서 장소를 협찬해주어 FECON 회의실에서 세미나 포스터를 전시하였고 및 베트남측 발표자들은 모두 FECON 회의실에 모여 세미나를 하였다.



순서	주제	발표자	소속
1	Application of PF method in Korea	이기태 책임	케이에이치 이엔티 (국내)
2	Practice application of PF method in Vietnam	Nguyen Van Hao	EXT VINA (베트남)
3	Application of Multiple driven fibre reinforced columnar inclusion for ground improvement	Anil joseph	CECONS (인도)
4	Some advantages and disadvantages of PF method compared to traditional wet CDM method	Nguyen Viet Hoang	ITST (베트남)
5	Design soil cement columns for soft in Vietnam	Nguyen chau Lan	UCT GEO (베트남)
6	Applications of big diameter Jet(BDJ) columns for ground improvement	Nguyen Tien Dung	FECON (베트남)

그림 9.1 온라인 세미나 초청장 및 순서

온라인 세미나는 PF 공법의 소개, 국내 실적, 베트남을 비롯한 해외 프로젝트 제안 사례 등을 발표하였다. 발표는 **국내, 베트남, 인도에서 총 6명이 발표하였고 약 70여명의 다양한 지반 전문가들의 의견을 청취할 수 있는 소중한 시간**이었고 앞으로 정기적으로 온라인 세미나를 통해 기술 교류 및 PF 사업화를 위한 여러 사람의 자문 등을 청취 할 수 있는 시간을 가질 예정이다.





1. 세미나 포스터 2. 세미나 전경

그림 9.2 온라인 세미나 개최

세미나에 참석한 분들의 기업은 Lilama (베트남 플랜트 분야 1위 기업), UCT GEO(베트남 설계사), ITST(정부 연구기관), CECONS(인도 시공사), EDC(인도 시험기관), Geo structurals(인도 설계사), IBST(베트남 정부 연구기관), TLU(베트남 국립 대학교), FECON(베트남 기초 지반 분야 1위 기업) 등이 참석하였고 Lilama 같은 경우에는 플랜트 프로젝트 연약지반 개량 구간에 PF공법을 CDM 대안으로 적용하는 것에 대해서 상당히 많은 관심을 보여주고 계속해서 제안 요청을 주고 있는 상황이다.

(2) 카다로그 및 공법 소개서

베트남 현지에서 활용할 카다로그 및 공법 소개서도 작성을 완료하였고 앞으로 영업 및 마케팅 자료로 활용할 계획이다.



그림 9.2 공법소개서 및 카다로그

(3) 결론

온라인 세미나를 통해 PF 공법의 소개, 국내 실적, 베트남을 비롯한 해외 프로젝트 제안 사례 등을 발표하였고 베트남 및 인도내 다양한 기관의 지반 전문가들의 의견을 청취할 수 있는 소중한 시간이었고 앞으로도 정기적인 온라인 세미나를 통해 기술 교류 및 PF 사업화를 위한 여러 사람의 자문 등을 청취 할 수 있는 시간을 갖을 예정이다.

10. 현장 적용(사업화)

코로나 상황으로 인해 많은 프로젝트들의 발주가 지연되는 상황이었고 베트남의 경우 락다운 및 이동 제한령까지 발휘되어 마케팅 활동 및 프로젝트를 발굴하는데 많은 어려움이 있는 상황으로 실제 프로젝트에 적용되어 공사를 진행하지는 못하였지만 지속적으로 현지 공법과 비교하여 **프로젝트 제안을 진행하였고 수주가 확실시된 프로젝트 1건과 수주 예상 프로젝트 1건이 발생하여 2022년 착공을 예상**하고 있다.

1) 경제성 및 공사기간 평가

프로젝트 제안 사례 2건을 통해 현지 공법과 경제성을 비교 검토하였다.

(1) 삼세산업 베트남 Ninh Binh 공장

삼세산업 베트남 Ninh Binh 공장의 경우에는 **2차년도에 Mock up test 부지를 제공해준 곳으로 이미 실물재하시험을 통해 PF 개량 심도의 적정성을 검증**한바있다. 원설계는 베트남 현지에서 중저층 구조물에 주로 적용하는 마찰 파일로 직경 300mm, 본당 400kN의 지지력으로 설계 심도 30m로 설계가 되어있었다. 제안 설계는 PF 공법으로 설계지지력 250kN/m^2, 제원은 상부 Head 직경 1,200mm 하부 Tail 직경 800mm로 고려하여 설계 심도 8.5~10.0m 설계하였다.

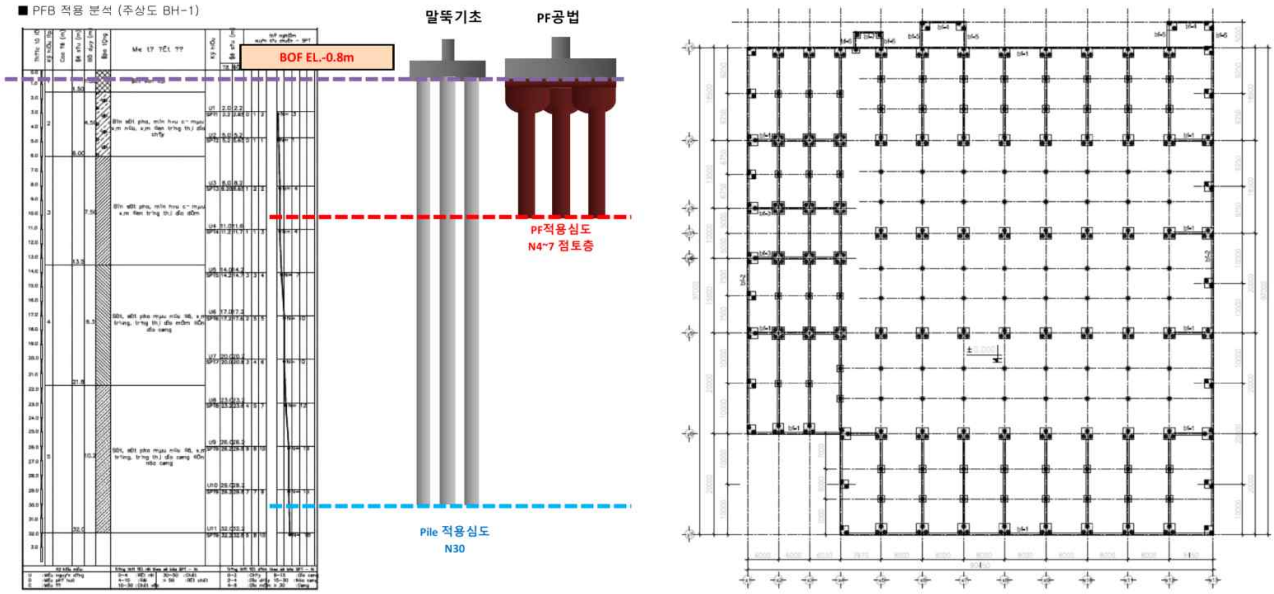


그림 10.1 PF 적용 심도 및 배치도

원설계 PHC D300의 경우에는 한화로 m당 약 13,000~20,000원 수준으로 지역마다 다르게 형성되어있었는데 해당 프로젝트의 경우 m당 약 14,000원로 반영되어있어 전체 금액 1.48억이며 **PF공법의 경우 전체 금액 1.21억 수준으로 약18%의 절감 효과**를 보였다. 공사 기간에 있어서는 현지 압입 공법으로 시공할 경우 하루에 300m 시공하는 것으로 고려하였지만 장비 세팅 및 이동이 쉽지 않은 점을 고려하여 10일의 추가 기간을 고려하였다. PF 공법의 경우에는 국내는 하루에 200m 시공하지만 베트남에서는 작업자의 숙련도를 고려하여 보수적으로 150m로 고려하였다.

표 10.1 삼세산업 베트남 Ninh Binh 공장 PF 공법 제안 요약

구분	원설계	대안	비고
설계규격	PHC	PF공법	
제원	D300	D1,200/D800	
설계지지력	400kN/본	250kN/m^2	
기초 형식	독립 기초	독립 기초	
관입 길이	10,001m	3,987m	
공사 금액	148,788천원	121,732천원	▼ 27,055천원 절감율(18%)
공사 기간	27일	14일	▼ 13일 절감율(48%)

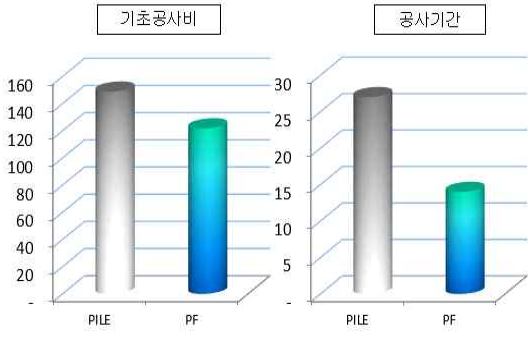


표 10.2 삼세산업 베트남 Ninh Binh 공장 공사 기간 산출 근거

구분	수량	작업일수	조립,이동,해체	총공사기간
PHC D300	10,001m	17일(장비2대)	10일	27일
PF	3,297m	11일(장비2대)	3일	14일

(2) **베트남 Quang Trach 1 project**

Quang Trach 1 project는 **베트남 중부 꽝빈성에 화력 발전소 프로젝트**로 연약 지반 개량 구간에 원설계 CDM 구간을 PF로 제안하였다.



그림 10.2 Quang Trach 1 프로젝트 조감도

CDM과 PF공법과의 가장 큰 차이는 개량체 형상, 사용 재료, 시공 장비로 볼 수 있다. 개량체 형상의 경우 PF 공법이 상부 직경이 크기때문에 상부 개량율이 같을 경우 전체적인 수량이 CDM보다 작다. 사용 재료의 경우에도 CDM 공법은 시멘트를 사용하기 때문에 유기질 성분 및 염화물 성분이 많고 산성도 높은 베트남 지반의 경우에는 지반 고화재와 동등 수준을 발휘하기 위해 더 많은 사용량을 필요로 한다. 또한, 시공 장비에 있어서도 CDM 공법은 대형 파일 항타기를 이용하기 때문에 접근성, 이동성, 시공성이 굴삭기보다 좋지 않아 시공 속도 및 효율이 PF 공법에 비해 좋지 않다. 이에 Quang Trach 1 project도 대안 공법으로 **PF 공법을 제안하였고 공사 금액 25% 절감, 공사 기간 35% 절감효과로 제안**하였다.

표 10.1 Quang Trach 제안 요약

구분	원설계	대안	비고
공법	CDM	PF공법	
제원	D800mm	D1,200mm/D800mm	
개량심도	8.0m	8.0m	
총길이	328,000m	229,040m	
공사 금액	6,560,000,000VND	4,872,100,051VND	▼ 1,687,899,949VND 절감율(25%)
공사 기간	7.0개월	4.5개월	2.5개월 단축 절감율(35%)

위의 두 사례를 통해 PF 공법이 베트남 현지 공법에 비해서 20% 내외의 공사비 절감효과가 있는것으로 확인되었다. 앞으로 더 많은 제안 사례 및 실제 현장 적용을 통해 많은 DATA를 축적시켜 나갈 계획이다.

2) 국내 시험 시공

코로나 상황으로 인해 실제 현장 적용은 지연된 사항과 당초 계획했던 국외 출장이 이루어지지 못하는 사항에서 관련 비용 및 실적에 대한 대안으로 국내에서 시험시공 2건으로 대체하여 진행하였다. **시험 시공 위치 베트남 지반 특성을 고려하여 가급적 해안가 지역을 찾아 수행**하였고 지반 조건은 점성토 현장 1곳, 사질토 현장 1곳에서 수행하였다.

(1) 거제 현장 시험 시공

경남 거제 고현항 인근 아파트 시공 현장에서 시험 시공을 통해 베트남을 비롯한 동남아시아와 같이 해안가이며 함수비 및 지하수위가 높은 곳에서 시공을 통해 PF 개량체의 추가적인 성능 검토를 하고자 한다. 특히 본 현장은 그림 10.4와 같이 수위가 상당히 높고 해수의 영향으로 인한 용탈 현상 등의 우려도 있어 PF 개량체의 형성 및 안정성을 검토하기 적합한 현장이다.



그림 10.3 현장 위치도



그림 10.4 PF 시공 전경 및 시공 후 수위 상승 모습

시공시 수위가 높아 물-고화재 비를 부배합으로 관리하여 시공하였다. 2차년도 베트남 Mock up 시공시에도 수이가 높아 같은 방법으로 관리하였다. 다만, 대수층, 피압층 또는 유속이 있는 경우에는 시공이 어려워 차수 등 적절한 대책 후 시공하는 것이 바람직하다. 향후 동남아시아에서 프로젝트 적용시 정확한 지층 조건 확인, 지하수위 대책 수립 및 사전 시험 시공 진행 후 본 시공에 들어가 품질을 관리할 계획이다.



그림 10.5 시험 시공 및 실물재하시험

실물 재하 시험은 1.0mx1.0m 재하판을 이용하였고 설계하중250kN/m^{2}의 2배 하중까지 재하하는 것으로 고려하였다. 시험 방식은 총8단계로 나누어 재하하였고 단계별 15분의 간격을 두고 시험을 진행하였다. 시험 결과는 최대 하중 재하시 전침하량이 3.215mm로 허용 침하량인 25mm 이하로 안정한 결과를 얻을 수 있었다.

표 10.2 실물재하 시험 결과

구분	최대재하하중 (kN/m^2)	전침하량 (mm)	허용지내력 (kN/m^2)	설계하중 (kN/m^2)	판정
PBT-1	501.76	3.215	250.9이상	250.0	적합

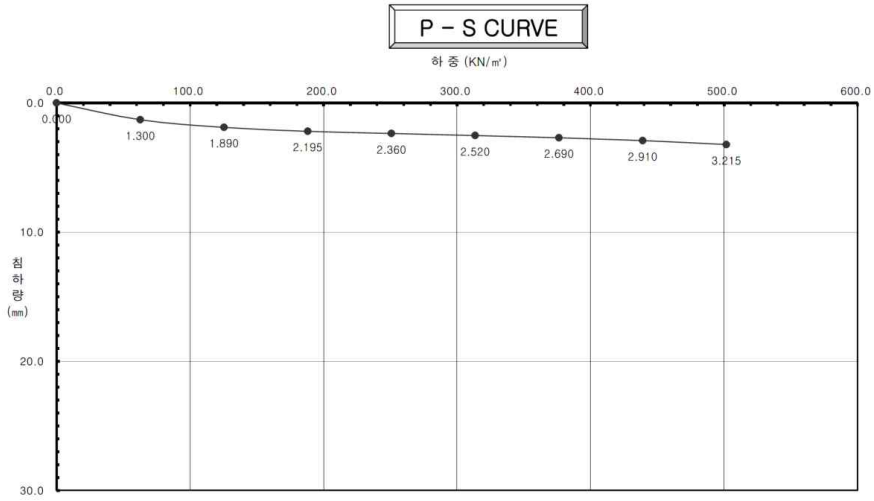


그림 10.6 실물 재하 시험 결과(P-S curve)

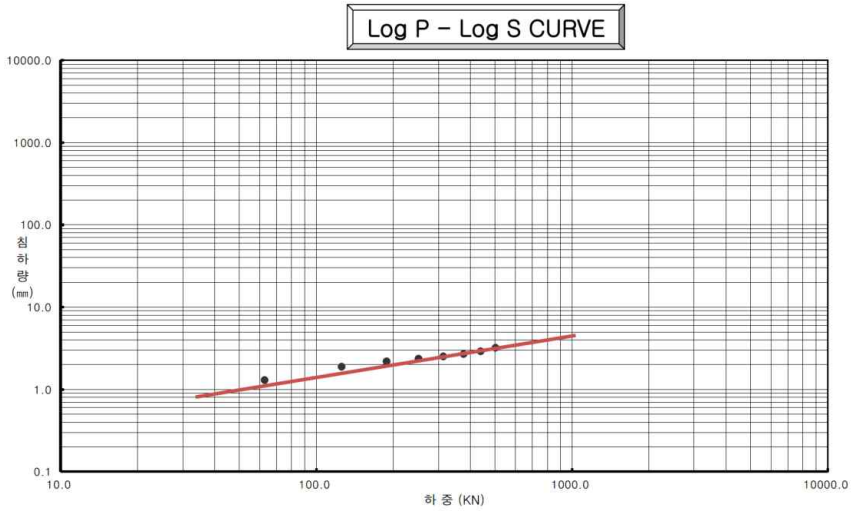


그림 10.7 실물 재하 시험 결과(Log P-Log S curve)

(2) **동해 현장 시험 시공**

본 현장 지층 조건은 매립층(실트질 모래), 퇴적층(모래층)으로 이루어져 있고 퇴적층 중간에 약2.0m 두께로 점토층이 존재한다. 본 현장의 특이사항은 그림 10.9와 같이 자갈 및 전석층이 많아 시공하는데 어려움이 있는 현장이다. 본 현장에서 시험시공을 통해 자갈 및 전석층 구간에서의 시공성, 지지력 및 침하량을 평가하고자 한다.

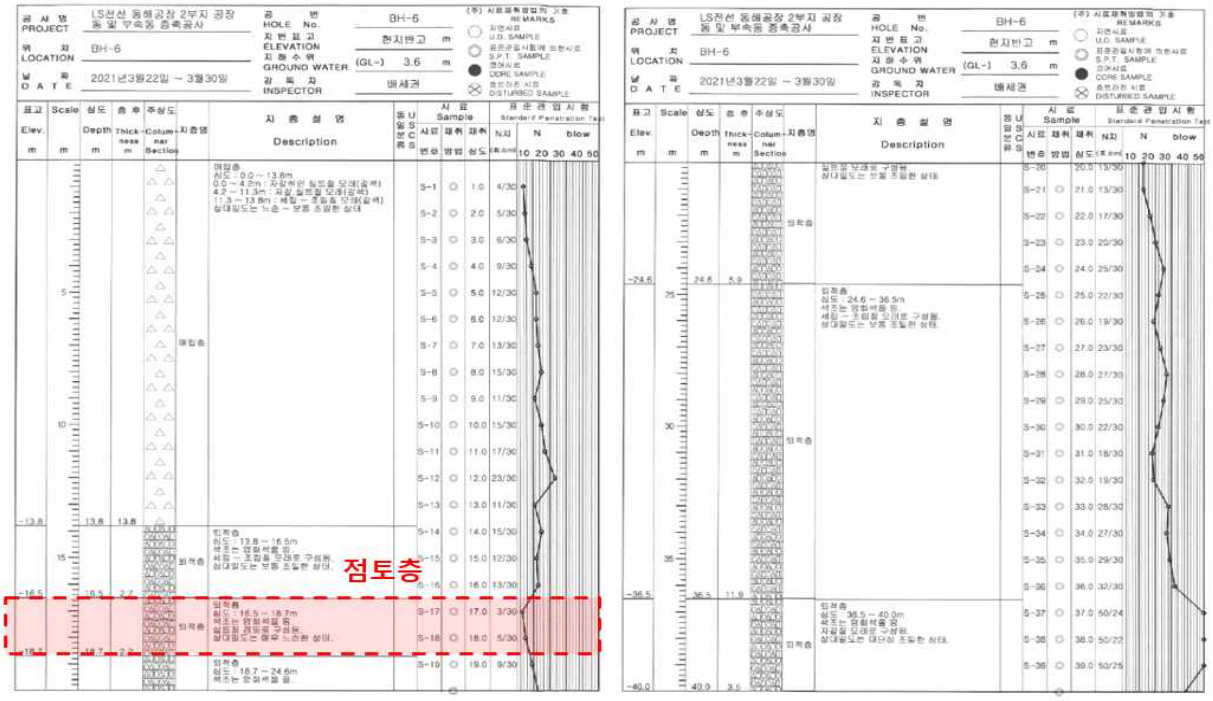


그림 10.8 동해 현장 지층 조건



그림 10.4 실물 재하 시험 결과

시험 시공을 통해 자갈, 전석층, 호박돌 등이 분포되어있는 지층에서는 오거에 부하가 많이 걸려 가능하면 체가름 후 교반을 진행하는 것이 바람직하다는 결론을 내렸으며 깊은 심도에 해당 지층이 존재할 경우에는 해당 지층을 파쇄 굴착하여 개량체를 형성하기보다는 개량율을 키워 지지력 및 침하량을 확보 하는 것이 바람직하다. 본 시험 시공에서도 전석층 영향을 고려하여 부상형으로 시공하였고 그에 대한 안정성 평가는 scale effect를 고려한 침하량 분석을 통해 진행하였다. 시험 방식은 총2단계로 나누어 진행하였고 1단계 최대 하중은 150kN/m^{2}으로 적용하여 1시간 동안 지속하였으며 2단계 최대 재하 하중은 300kN/m^{2}으로 적용하여 2시간 동안 지속하였다.

표 10.3 실물재하 시험 조건 비교

구분	재하판 제원 (B(m)xL(m))	최대재하하중 (kN/m^2)	시험 방식	반력
거제	1.0x1.0	500	급속	콘크리트 블록
동해	1.0x1.0	1단계 150, 2단계 300	완속	콘크리트 블록

시험 결과는 1단계 최대하중 150kN/m2 재하 시간 1시간 지속 후 0.83mm 의 침하량이 발생하였고 2단계 최대하중 300kN/m2 재하 2시간 지속 후 1.565mm 침하량이 발생하여 모두 허용 침하량인 25mm 이내로 발생하였다.





그림 10.5 실물 재하 시험 전경

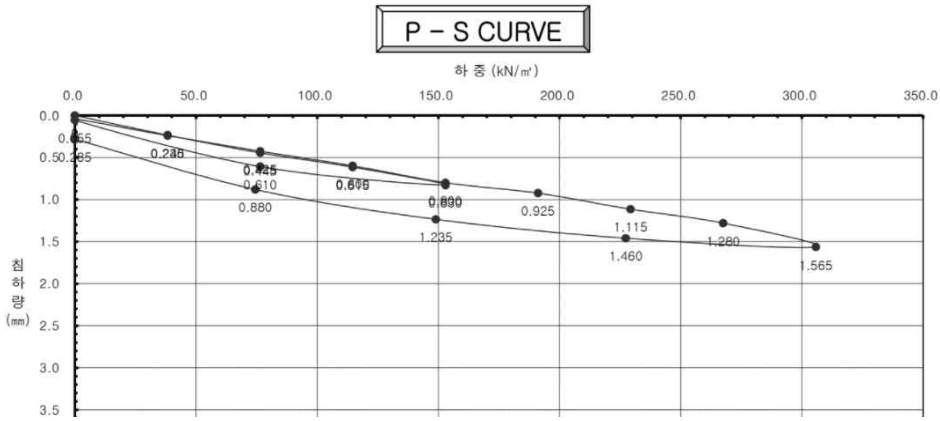


그림 10.6 실물 재하 시험 결과

다만 국내 시험 시공의 경우 재하판 규격이 1.0mx1.0m로 일반적인 독립기초 사이즈 보다 작아 영향범위가 작을 수 있어 기초 크기를 2.5mx2.5m로 가정하여 기초 크기 효과(scale effect)를 고려하여 평가하였을 때에도 모두 허용침하량 이내로 안정성에는 문제가 없었다.

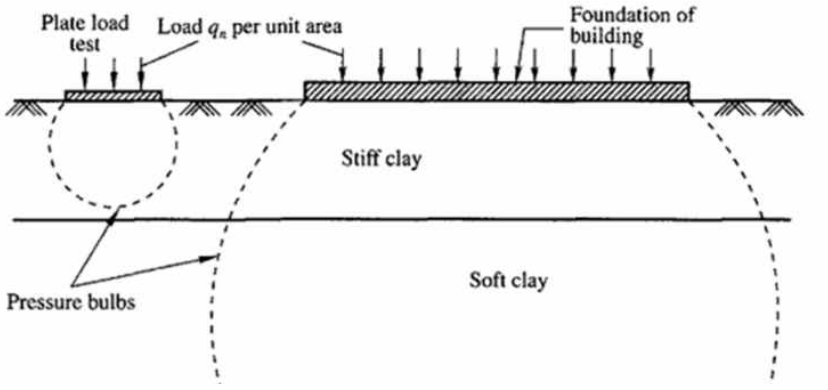


그림 10.7 재하판 크기에 따른 지중 응력 범위

표 10.4 Scale effect 고려시 침하량

구분	재하하중	침하량(mm)	*Scale effect	Scale effect 고려시 침하량(mm)
동해 현장	300kN	1.565	2.04	3.19
거제 현장	500kN	3.215	2.04	6.56

*Scale effect 식 (Terzaghi & Peck) : $\left(\frac{2}{1+B1/B2}\right)^2$ 여기서 B1 : 재하판 폭 , B2 : 실제 기초폭

3) 결론

코로나 상황으로 인해 실제 동남아시아 프로젝트 적용은 지연중이지만 수주 확정 1건, 수주 예상 1건으로 2022년에 착공 예정이며 제안 사례를 통해 공사비 및 공사기간 비교를 하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 베트남 현지 압입 파일 공법대비 약18%이 공사비 절감 및 약48%의 공사기간 절감 효과
(2) 베트남 현지 지반 개량 공법인 CDM 공법 대비 약25% 공사비 절감 및 약35% 공사기간 절감 효과

추가적으로 케이에이치이엔티와 롯데건설이 베트남 지반 조건을 고려하여 해안가 지역으로 계획하고 수행한 국내 시험 시공을 통해 다음과 같은 성능을 확인하였다.

(1) 베트남 지반과 유사하게 수위 및 함수비가 높은 점성토 지반의 거제 현장에서 시험 시공한 결과 지하수 또는 해수의 영향에서도 개량체 형성에는 문제가 없음을 확인하였.
(2) 베트남 지반과 유사하게 수위 및 함수비가 높은 점성토 지반의 거제 현장에서 설계하중 250kN/m^2에 최대 재하하중 500kN/m^2로 실물 재하 시험한 결과 최대재하하중에서도 전침하량 3.215mm로 허용 침하량 이내로 문제 없음을 확인하였다.
(2) 전석 및 자갈층이 분포한 사질토 지반의 동해 현장에서 재하판 규격 1.0mx1.0m, 설계하중 150kN/m^2에 최대 재하하중 300kN/m^2로 실물 재하 시험한 결과 최대재하하중에서도 전침하량 1.565mm로 허용 침하량 이내이며 실제 기초 크게를 2.5m로 가정하여 scale effect 고려시에도 침하량은 3.19mm로 허용침하량 이내의 결과를 확인하였다.

11. 공법 인증 자료 구축 – 3차년도

(1) TCCS 인증 획득

본격적인 사업화를 위한 방안으로 베트남 국가 인증인 TCCS를 획득하였다. 인증의 필요성은 국내에서는 적용실적이 많고 검증된 공법인증이지만 베트남을 비롯한 동남아시아에서는 생소하고 적용 실적이 없는 공법으로 이론적인 내용 및 시험시공만으로는 공법을 적용하기에는 발주처입장에서 부담되는 측면이 있다. 특히, 관급 공사의 경우에는 국가 인증을 받지 않은 경우 실질적으로 적용이 어렵다. 이에 베트남 국가 인증을 조사하였고 표 11.1과 같이 크게 TCVN과 TCCS로 구분할 수 있었다. TCVN의 경우 본 연구과제 공동 연구기관인 ITST에서 주관해서 진행하는 인증이지만 베트남 설계 표준의 인증으로 국내 구조물 기초 설계 기준 같은 설계법의 표준으로 특정된 특허 공법이 인증을 받기는 쉽지 않은 실정이었다. 반면에 TCCS는 국내 건설 신기술 같은 개념으로 설계법, 시공법, 재료, 품질관리, 각종 시험 DATA 등을 분석하고 심의위원 평가 등의 과정을 거쳐 인증을 받을 수 있는 제도로 인증 획득시 베트남 정부에서 발주하는 관급 공사에 참여할 수 있는 자격이 주어지며 민간 공사에서도 TCCS 인증을 받은 공법일 경우 진입 장벽이 낮아 사업화에 많은 도움이 되는 상황이다.

표 11.1 베트남 국가 인증 비교

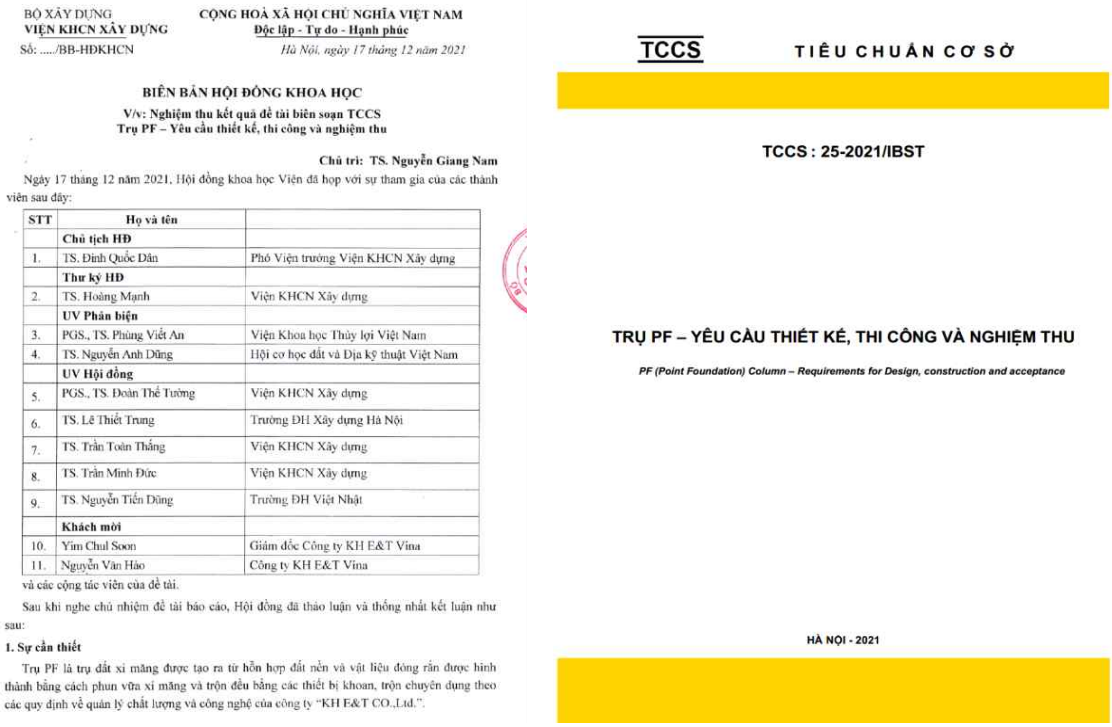
구분	TCVN	TCCS
내용	베트남 설계 표준 인증	공법 인증
관급공사	인증시 참여 가능	인증시 참여 가능
인증비용	1.5~2.0억	0.5~1.0억
인증소요기간	18개월 이상	8~12개월
주관사	MOT(교통부) 산하 ITST(과학기술부)	MOC(건설부) 산하 IBST(건설산업부)

인증을 위해 그 동안 본 연구 과제를 진행하면서 축적했던 data, 국내에서 진행했던 프로젝트 및 각종 시험결과, 공법 소개 등의 자료를 제출하여 공법의 검증받았으며 심의위원 심사에서도 호평을 받으며 2021.12월에 인증을 취득하게 되었다.



그림 11.1 PF 공법 TCCS 인증 심의 모습

기초 지반 분야에서 베트남 현지 기업을 제외하고는 **현재까지 10개 공법만이 인증을 획득하였고 국내 건설신기술과 베트남 TCCS 인증을 동시에 받은 공법은 PF 공법이 유일**하다.



BỘ XÂY DỰNG
VIỆN KHCN XÂY DỰNG
Số: ...../BB-HĐKHCN

CỘNG HOÀ XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
Độc lập - Tự do - Hạnh phúc
Hà Nội, ngày 17 tháng 12 năm 2021

BIÊN BẢN HỘI ĐỒNG KHOA HỌC

V/v: Nghiệm thu kết quả đề tài biên soạn TCCS
Trụ PF – Yêu cầu thiết kế, thi công và nghiệm thu

Chủ trì: TS. Nguyễn Giang Nam

Ngày 17 tháng 12 năm 2021, Hội đồng khoa học Viện đã họp với sự tham gia của các thành viên sau đây:

STT	Họ và tên	
	Chủ tịch HĐ	
1.	TS. Đinh Quốc Dân	Phó Viện trưởng Viện KHCN Xây dựng
	Thư ký HĐ	
2.	TS. Hoàng Mạnh	Viện KHCN Xây dựng
	UV Phản biện	
3.	PGS., TS. Phùng Viết An	Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam
4.	TS. Nguyễn Anh Dũng	Hội cơ học đất và Địa kỹ thuật Việt Nam
	UV Hội đồng	
5.	PGS., TS. Đoàn Thế Tường	Viện KHCN Xây dựng
6.	TS. Lê Thiết Trung	Trường ĐH Xây dựng Hà Nội
7.	TS. Trần Toàn Thắng	Viện KHCN Xây dựng
8.	TS. Trần Minh Đức	Viện KHCN Xây dựng
9.	TS. Nguyễn Tiến Dũng	Trường ĐH Việt Nhật
	Khách mời	
10.	Yim Chul Soon	Giám đốc Công ty KH E&T Vina
11.	Nguyễn Văn Hảo	Công ty KH E&T Vina

và các cộng tác viên của đề tài.

Sau khi nghe chủ nhiệm đề tài báo cáo, Hội đồng đã thảo luận và thống nhất kết luận như sau:

1. Sự cần thiết

Trụ PF là trụ đất xi măng được tạo ra từ hỗn hợp đất nền và vật liệu dòng rắn được hình thành bằng cách phun vữa xi măng và trộn đều bằng các thiết bị khoan, trộn chuyên dụng theo các quy định về quản lý chất lượng và công nghệ của công ty "KH E&T CO.,Ltd.".

TCCS TIÊU CHUẨN CƠ SỞ

TCCS : 25-2021/IBST

TRỤ PF – YÊU CẦU THIẾT KẾ, THI CÔNG VÀ NGHIỆM THU

PF (Point Foundation) Column – Requirements for Design, construction and acceptance

HÀ NỘI - 2021

그림 11.2 PF공법 TCCS 인증 acceptance letter / 인증서 표지



연약지반 개량 'PF공법' 베트남 국가인증 획득

〈TCCS〉

'기초공사·지반 전문' KH E&T
SOC 프로젝트 적용 확대 기대

기초공사·지반분야 전문기업인 KH E&T(대표 강정식)는 연약 지반 개량 기술인 'PF(Point Foundation)공법'으로 베트남 공인 기술 기준인 TCCS인증을 취득했다고 26일 밝혔다.

TCCS는 베트남 건설 분야 최고 연구 기관인 IBST(Institute for Building Science and Technology)에서 평가·인증한다. 엄격한 심사기준과 평가시스템으로 현재까지 현지 기업을 제외하고 기초 지반 분야에서는 10여개의 업체·기관만 TCCS 인증을 획득했다. 특히 한국의 건설신기술과 베트남 TCCS 인증을 동시에 받은 기술은 PF공법이 유일하다.

KH E&T의 베트남 PF공법 시공 모습.
KH E&T 제공

KH E&T 관계자는 "이번 TCCS 인증을 계기로 도로, 철도 등 SOC 프로젝트가 활발하게 진행 중인 베트남에서 PF공법 적용이 확대될 것으로 기대한다"고 말했다.

PF공법은 2017년 국토교통부 건설신기술로 지정된 후 현재까지 국내 500여개 현장에 적용된 연약지반 개량 공법의 간판 기술이다. 2019년에는 일본 기업에 기술 이전을 했고, 최근에는 인도 기업에도 기술 이전 계약을 체결했다.

강정식 KH E&T 대표는 "코로나19로 인해 전반적인 산업이 어려움에 봉착해 있는 와중에도 해외시장 진출, 종합건설로 도약, 신기술 개발 등 기업의 양적, 질적 성장을 위한 많은 노력을 하고 있다"고 밝혔다. 김태형기자 kth@

그림 11.3 PF공법 TCCS 인증 홍보 기사

(2) 결론

본 연구과제의 전문기관인 진흥원의 지원과 공동연구기관인 롯데건설, ITST, 위탁연구긴관인 EXT VINA의 협업을 통해 베트남에서 TCCS 인증을 획득하게 되어 앞으로 사업화의 가속화가 이루어 질 것으로 보고 있다. 또한, 홍보 활동을 통해 벌써부터 국내외 많은 기업들이 비지니스 협력을 희망하고 있어 영업 판로 확장 및 수익 창출로 연결될 것으로 판단한다.

○ 해외 사업화 활성화 방안 전략

해외 사업 활성화 방향으로는 크게 2가지 전략을 가지고 있다.
① 국내 메이저 건설사와 동반 진출
② 현지 업체 및 유관 기관 와의 협력 강화

국내 메이전 건설사와의 동반 진출 방향은 우선적으로 공동 연구기관은 롯데건설과의 협업을 통해 진출하는 방향이다. 롯데건설의 경우에는 베트남을 비롯한 동남아시아 국내에서 많은 프로젝트를 수행하고 있어 현지에서 인지도가 상당히 높은 기업이다.



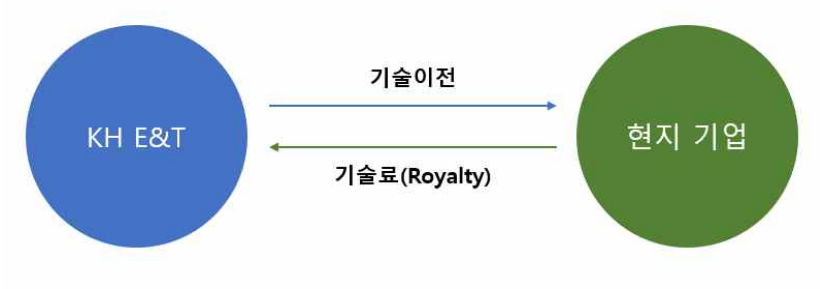
그림. 건설중인 롯데몰 하노이(출처 : lottecm.com)

롯데건설 이외에도 삼성물산, 현대건설, 대우건설 등 동남아시아 국가에서 활발하게 해외 사업을 수행중인 메이저 건설사의 프로젝트에 PF 공법을 적용하는 방안이다. 국내 대부분의 메이저 건설사들이 국내에서는 PF 공법을 많이 적용하고 있어 공법에 대해 검증이 된 상태이며 현지에서도 국내와 같은 품질 관리가 되면서 현지 공법보다 경제성이 있을 경우에는 충분히 적용성이 있을 것으로 판단한다.

두번째 방안으로는 이미 현지에서 네트워크가 갖추어진 현지 기업을 비롯한 유관 기관과의 협력을 강화하는 방안으로 현재 베트남 법인이 있으므로 베트남 법인을 통해 영업망을 확장할 계획이다. 현재까지 자재, 시공, 시험, 영업 분야에서 Business partnership을 구축한 회사는 다음과 같이 약 8개사(설계 2개사, 시공 2개사, 시험 2개사, 영업 2개사)가 된다.



특히 현재 Business partnership을 구축한 베트남 UCT GEO의 경우 현지 설계사로서 UCT GEO를 통해 PF 공을 설계단계에서부터 spec-in하여 수행하는 방안도 추진중이다. 독립적으로 영업, 설계 및 시공을 수행할 수 있는 현지 기업에 기술 이전 및 라이센스 계약을 통해 기술료를 받는 형식의 사업형태도 추진 계획이며 현재 관심을 보이는 기업이 있어 협약 조건을 조율중이다.



이외에도 해외 사업 관련 인원 충원 및 팀을 조직하여 해외 사업 활성화를 위한 전사적인 지원과 관심을 통해 매출을 발생시킬 계획이며 케이에이치이엔티의 그룹사에서도 베트남을 비롯한 동남아시아에 자체적인 공장 설립 등 프로젝트가 대기중인 건들이 많아 기초 형식으로 PF 공법 적용을 추진할 계획이다.



그림. 장원테크(케이에이치이엔티 그룹사) 베트남 법인

아무리 기술이 좋아도 실적이 없으면 적용하기 힘든 경우가 많아 초기에는 국내 메이저 건설사 프로젝트에 참여 및 케이에이치이엔티 그룹사 자체 프로젝트 등에 적용을 통해 프로젝트 적용 사례를 축적하면 충분히 현지에서 PF공법이 활성화 될 수 있다고 판단하고 있어 향후 5년내 PF공법으로 년20억 매출을 달성할 계획이다.

3. 연구개발과제의 수행 결과 및 목표 달성 정도

1) 연구수행 결과

(1) 정성적 연구개발성과

○ 현지화 지반 고화재 배합설계 정립
- 베트남 지반 특성 조사 및 분석 : 조사 보고서 1건
- 지반을 고려한 고화토의 역학적 특성 평가 : 공인성적서
- 친환경성 특성 평가 : 공인성적서

○ 설계법의 현지화 정립
- 동남아시아 설계법 조사 및 현지화 정립 : 보고서 / 설계도서

○ 전용교반장비의 개량
- 전용교반장비의 개량 : 설계도 및 시제품 검측

○ 현장시험(Mock up test)
- 상세설계 및 시공 가이드 : 설계도서
- 고화토 성능 : 공인성적서
- 성능검증(지지력 및 침하량) : 공인성적서

○ 홍보자료 구축(사업화 활동 추진)
- 카다로그 및 공법설명서 작성 : 홍보자료 구축
- 세미나 및 공법 설명회 개최 : 세미나 개최

○ 현장적용(사업화)
- 현장적용(경제성) : 비교제안서
- 현장적용(사업화) : 적용보고서(국내 시험 시공 재하시험 보고서)
- 인증 자료 작성 : 인증신청

(2) 정량적 연구개발성과

○ 특허 2건
- 출원명 : Enviornmentally of Friendly High-Performence Solidifying Agent Composition for Point Foundation (2019.10.18. 출원)
  출원번호 : 1-2019-06002

- 출원명 : Ground improvement method for organic soil layer (2020.03.11. 출원)
  출원번호 : 1-2020-01419

○ 논문 2건
- 제목 : 지반 개량을 통한 원지반의 전단파 속도 향상에 대한 실험적 연구
  게재 : 한국 구조물 진단 유지관리 공학회 논문집 2019년 12월 Vol.23
  저자 : 정찬유, 문재성, 조명수, 강호덕, 양희정

- 제목 : Point Foundation (PF) method : Principles and recent research findings
  게재 : Journal of Science and Technology in Civil Engineering, NUCE 2020. 14(3)
  저자 : 조명수, 이기태, 강호덕, 조홍범, Tien Dung Nguyen

(3) 세부 정량적 연구개발성과

[과학적 성과]

□ 논문(국내외 전문 학술지) 게재

번호	논문명	학술지명	주저자명	호	국명	발행기관	SCIE 여부 (SCIE/비SCIE)	게재일	등록번호 (ISSN)	기여율
1	지반개량을 통한 원지반의 전단파속도 향상에 대한 실험적 연구	한국구조물진단유지관리공학회지	정찬유	23	대한민국	한국구조물진단유지관리공학회	비SCIE	2019	ISSN 2234-6937	
2	Point foundation metohd : principles and recent research findings	STCE	조명수	14	베트남	NUCE	비SCIE	20200819	ISSN 1859-2996	

□ 국내 및 국제 학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표 내용	발표자	발표 일시	장소	국명

□ 기술 요약 정보

번호	연도	기술명	요약 내용	기술 완성도	등록 번호	활용 여부	미활용사유	연구개발기관 외 활용 여부	허용방식

□ 보고서 원문

번호	연도	보고서 명	발간일	등록 번호

□ 생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물

번호	생명자원(생물자원, 생명정보)/화합물 명	등록/기탁 번호	등록/기탁 기관	발생 연도

[기술적 성과]

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

번호	구분	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			기여율	활용 여부
				출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호		
1	특허	Environmentally Friendly High-Performance Solidifying Agent Composition for Point Foundation	베트남	케이에이치이엔티	20191028	1-2019-06002					
2	특허	Ground improvement method for organic soil layer	베트남	케이에이치이엔티, 롯데건설	20200311	1-2020-01419					

ㅇ 지식재산권 활용 유형

번호	제품화	방어	전용실시	통상실시	무상실시	매매/양도	상호실시	담보대출	투자	활용 예정	기타

□ 저작권(소프트웨어, 서적 등)

번호	저작권명	창작일	저작자명	등록일	등록번호	저작권자명	기여율

□ 신기술 지정

번호	명칭	고시일	보호기간	지정번호

□ 기술 및 제품 인증

번호	인증 분야	인증기관	인증 내용		인증 획득일	국가명
			인증명	인증번호		
1	건설	IBST	PF(Point Foundation) Column – Requirements for Design, Construction and acceptance	TCCS 93: 2021/IBST	2021	베트남

□ 표준화

ㅇ 국내표준

번호	인증구분	인증여부	표준명	표준인증기구명	제안주체	표준종류	제안/인증일자

ㅇ 국제표준

번호	표준화단계 구분	표준명	표준기구명	표준분과명	의장단 활동여부	표준특허 추진여부	표준개발 방식	제안자	표준화 번호	제안일자

[경제적 성과]

□ 시제품 제작

번호	시제품명	출시/제작일	제작업체명	설치장소	이용분야	사업화 소요 기간	인증기관 (해당 시)	인증일 (해당 시)

□ 현장적용

번호	적용기술명	적용일	발주기관명	적용 연구개발기관명	적용현장명(장소)

□ 기술 실시(이전)

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료	
					발생 연도	발생액(천원)

□ 사업화 투자실적

번호	연도	투자 자금 성격*	추가 연구개발 투자(천원)	설비 투자(천원)	기타 투자(천원)	합계(천원)

□ 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생 연도	기술 수명
							국내 (천원)	국외 (달러)		
1	직접 투자	현지 법인	베트남	변단면 개량체 현지화	변단면 개량체 현지화 및 사업화	EXT VINA	-	-	-	-

□ 매출 실적(누적)

번호	사업화명	발생 연도	매출액		합계	산정 방법
			국내(천원)	국외(달러)		
합계						

□ 사업화 계획 및 무역 수지 개선 효과

성과			변단면 개량체 현지화 완료 및 프로젝트 제안		
사업화 계획	사업화 소요기간(년)		3년		
	소요예산(천원)		500,000천원		
	예상 매출규모(천원)		현재까지	3년 후	5년 후
			-	1,500,000	2,000,000
	시장 점유율	단위(%)	현재까지	3년 후	5년 후
		국내	-	-	-
		국외	-	2%	3%
	향후 관련기술, 제품을 응용한 타 모델, 제품 개발계획		태양광 기초, 부력 저항 등		
무역 수지 개선 효과(천원)	수입대체(내수)		현재	3년 후	5년 후
	수 출				

□ 고용 창출

번호	사업화명	사업화 업체명	고용창출 인원(명)		합계(명)
			yyyy년	yyyy년	
합계					

□ 고용 효과

구분			고용 효과(명)
고용 효과	개발 전	연구인력	
		생산인력	
	개발 후	연구인력	
		생산인력	

□ 비용 절감(누적)

번호	사업화명	발생 연도	산정방법	비용 절감액(천원)
합계				

□ 경제적 파급 효과

(단위 : 천원/년)

구분	사업화명	수입 대체	수출 증대	매출 증대	생산성 향상	고용 창출 (인력 양성 수, 명)	기타
해당 연도							
기대 목표							

□ 산업 지원(기술지도)

번호	내용	기간	참석 대상	장소	인원(명)

□ 기술 무역

(단위 : 천원)

번호	계약 연월	계약 기술명	계약 업체명	계약업체 국가	총 계약액	기 징수액	해당 연도	징수액	향후 예정액	수출/ 수입

[사회적 성과]

□ 법령 반영

번호	구분 (법률/시행령)	활용 구분 (제정/개정)	명 칭	해당 조항	시행일	관리 부처	제정/개정 내용

□ 정책활용 내용

번호	구분 (제안/채택)	정책명	관련 기관 (담당 부서)	활용 연도	채택 내용

□ 설계 기준/설명서(시방서)/지침/안내서에 반영

번호	구 분 (설계 기준/설명서/지침/안내서)	활용 구분 (신규/개선)	설계 기준/설명서/ 지침/안내서 명칭	반영일	반영 내용

□ 신진연구자 채용

번호	채용 연구개발기관명	채용일	근로기간	채용인원(명)	채용인원 중 청년인력(명)

□ 전문 연구 인력 양성

번호	분류	연도	현황(명)										
			학위별				성별		지역별				
			박사	석사	학사	기타	남	여	수도권	충청권	영남권	호남권	기타

□ 산업 기술 인력 양성

번호	연도	프로그램명	프로그램 내용	교육 기관	교육 개최 횟수	총 교육 시간	총 교육 인원

□ 다른 국가연구개발사업에의 활용

번호	연도	중앙행정기관명	사업명	연구개발과제명	연구책임자	연구개발비(천원)

□ 국제화 협력성과

번호	구분 (유치/파견)	기간	국가	학위	전공	내용

□ 홍보 실적

번호	홍보 유형	매체명	제목	홍보일
1	언론 기사	e대한경제	연약지반개량 'PF공법' 베트남 국가인증 획득	2021.12.27

□ 포상 및 수상 실적

번호	종류	포상명	포상 내용	포상 대상	포상일	포상 기관

[인프라 성과]

□ 연구시설・장비

번호	구축 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	개발여부 (○/×)	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록여부	연구시설・장비 종합정보시스템* 등록번호	구축일자 (YY.MM.DD)	구축비용 (천원)	비고 (설치 장소)

[그 밖의 성과](해당 시 작성)

○
–

○
–

(4) 계획하지 않은 성과 및 관련 분야 기여사항(해당 시 작성)

○
–

○
–

<참고 1> 연구개발성과 실적 증빙자료 예시

성과유형	첨부자료 예시
연구논문	논문 사본(저자, 초록, 사사표기를 확인할 수 있는 부분 포함, 연구개발과제별 중복 첨부 불가)
지식재산권	지식재산권 등록증(또는 출원서) 사본(발명인, 발명의 명칭, 연구개발과제 출처 포함)
제품개발(시제품)	제품개발사진 등 시제품 개발 관련 증빙자료
기술이전	기술이전 계약서, 기술실시 계약서, 기술료 입금 내역서 등
사업화 (상품출시, 공정개발)	사업화된 제품사진, 매출액 증빙서류(세금계산서, 납품계약서 등 매출 확인가능 내부 회계자료) 등

<참고 2> 「국가연구개발혁신법」 시행령 제33조 제4항 및 별표 4에 따른 연구개발성과의 등록·기탁 대상과 범위

구분	대상	등록 및 기탁 범위
등록	논문	국내외 학술단체에서 발간하는 학술(대회)지에 수록된 학술 논문(전자원문 포함)
	특허	국내외에 출원 또는 등록된 특허정보
	보고서원문	연구개발 연차보고서, 단계보고서 및 최종보고서의 원문
	연구시설·장비	국가연구개발사업을 통하여 취득한 3천만 원 이상(부가가치세, 부대비용 포함) 연구시설·장비 또는 공동활용이 가능한 모든 연구시설·장비
	기술요약정보	연차보고, 단계보고 및 최종보고가 완료된 연구개발성과의 기술을 요약한 정보
	생명자원 중 생명정보	서열·발현정보 등 유전체정보, 서열·구조·상호작용 등 단백체정보, 유전자(DNA)칩·단백질칩 등 발현체정보 및 그 밖의 생명정보
	소프트웨어	창작된 소프트웨어 및 등록에 필요한 관련 정보
	표준	「국가표준기본법」 제3조에 따른 국가표준, 국제표준으로 채택된 공식 표준정보(소관 기술위원회를 포함한 공식 국제표준화기구(ISO, IEC, ITU)가 공인한 단체 또는 사실표준화기구에서 채택한 표준정보를 포함)
기탁	생명자원 중 생물자원	세균, 곰팡이, 바이러스 등 미생물자원, 인간 또는 동물의 세포·수정란 등 동물자원, 식물세포·종자 등 식물자원, DNA, RNA, 플라스미드 등 유전체자원 및 그 밖의 생물자원
	화합물	합성 또는 천연물에서 추출한 유기화합물 및 관련 정보
	신품종	생물자원 중 국내외에 출원 또는 등록된 농업용 신품종 및 관련 정보

2) 목표 달성 수준

연 구 개 발 목 표	달 성 내 용	달성도(%)
○ 현지화 지반고화재 배합설계 정립	○ 현지화 지반고화재 배합설계 정립 - 베트남 지반특성 조사 및 분석, 고화토의 역학적 특성 평가, 친환경성 평가	*100%*
○ 설계법의 현지화 정립	○ 설계법 현지화 정립 - 동남아시아 설계법 조사 및 현지화 정립, 설계법 프로세스 및 Sheet 작성	*100%*
○ 전용장비의 개량	○ 전용장비의 개량 - 전용교반장비 제작, 개량체 형성 성능검증	*100%*
○ 현장시험(Mock up Test)	○ 현장시험(Mock up Test) - 상세설계 시공가이드, 고화토 성능평가, 지지력 및 침하량 성능검증	*100%*
○ 현장적용(사업화)	○ 현장적용(사업화) - 현장적용(국내시험시공으로 대체) 및 경제성 평가, 사업화, TCCS 인증	*100%*

4. 목표 미달 시 원인분석

1) 목표 미달 원인(사유) 자체분석 내용

○ 동남아시아 현장 적용 지연
- 현재 코로나 상황으로 인해 다수의 프로젝트가 지연되고 있으며 특히 베트남의 경우 봉쇄령으로 영업 활동 제한으로 인해 국내 시험시공으로 목표를 빠르게 수정 및 자체 보완 활동 수행
- 실제 프로젝트 현장에 적용은 지연되고 있으니 수주 확정 1건, 수주 예상 1건으로 2022년도에 착공 예상 하고 있음

2) 자체 보완활동

○ 국내 시험 시공을 통해 추가적인 성능 검증
- 국외 출장 불가로 해당 비용을 통해 국내에서 시험 시공을 진행하여 추가적인 성능 검증을 실시함
- 베트남 봉쇄령으로 인해 현장 활동보다는 내업 위주로 활동하며 TCCS 조기 인증

3) 연구개발 과정의 성실성

○ 목표 달성
- 국내외 기관과 지속적인 소통을 통해 방향 제시, 진도 체크 등을 통해 모든 목표 달성
- 모든 연구 개발 과정을 성실하게 수행하였음

5. 연구개발성과의 관련 분야에 대한 기여 정도

○ PF 공법의 베트남 TCCS 인증 (2021.12)
- 현지 기업을 제외하고 외국의 기업 및 기관이 기초 지반분야에서 인증을 획득한 사례가 10건 미만이나, 본 과제를 통해 PF 공법의 베트남 국가인증을 획득하여 사업화 발판을 마련하였음
- 한국의 건설신기술과 베트남 TCCS 인증을 동시에 획득한 유일한 기술로 기록
- 동남아시아 시장의 기초공법이 PC, PHC, 현장타설말뚝으로 획일화 되어있는 기존 기술에서 연약지반을 개량시켜 안정적으로 상부 구조물의 하중을 지지할 수 있는 기술적 패러다임의 전환이 됨
- 국내에서 검증된 기술을 동남아시아 시장에 적용시켜 시장개척을 선도하는데 기여

6. 연구개발성과 관리 및 활용 계획

○ 공공적 성과
- 베트남 현지기업을 제외하고, 현재까지 기초 지반분야에서는 10여개의 업체 및 기관에서만 TCCS 인증을 획득하여 사업화 발판 마련
- PF 공법이 한국의 건설신기술과 베트남 TCCS 인증을 동시에 획득한 유일한 기술
- 국내 원천기술을 현지화 개발함에 따른 대한민국 건설기술 브랜드 가치 증대

○ 기술적 성과
- PF 공법용 고화재 현지화 개발
- 베트남 현지 지반특성을 고려한 설계법 및 침하기준 정립
- 현지 지반조건을 고려한 효율적인 개량률 증대 및 전용 교반롯드 직경구성 변경
- PF 시공 통합품질관리 장치 개발
- 동남아시아 연약지반개량공법의 패러다임 변화 선도

○ 학술적 성과
- 베트남 Ninh Binh 및 충주에서 실시한 하중전이시험을 통해 상부에서 큰 하중이 작용하며, 하부에 전이된 하중은 감소하는 것으로 나타나 PF 형상이 하중전이특성을 고려하여 개발된 공법임을 검증함

○ 경제적 성과
- 코로나 등 여러 가지 난관 속에서도 현지 공법 대비 지속적인 프로젝트 제안 진행을 통해 수주 확정 프로젝트 1건과, 수주예상 프로젝트 1건이 발생하여 2022년 착공 예상
- 베트남 시장 진출을 교두보로 주변 동남아시아 국가 진출 가능성 증대

○ 기타 성과
- 고화재 현지화 배합설계 정립과정을 통한 고화재 현지 생산체계(OEM) 구축
- 해외 특허 2건 출원
- 국내 논문 1건, 해외 논문 1건 출원

○ 활용 계획
- 동남아시아 중저층구조물 연약지반 개량 기초분야 적용을 목표로 하여 해외영업 및 수주계획 수립
- 도로하부 및 박스구조물 하부기초 등 토목인프라시설 기초분야 적용을 목표로 국내 메이저 건설사를 통한 해외진출 모색
- TCCS 인증을 시작으로 동남아시아 시장 적용성이 증대될 것으로 예상

< 별첨 >

별첨 자료
1. 참고문헌
2. 총 연구개발기간 성과점검기준표 및 증빙자료
3. 세부 정량적 연구개발성과 증빙자료(총 연구개발기간 성과점검기준표 실적 증빙자료에 기 포함되어 있는 증빙자료 제외)

[뒷면지]

주 의

1. 이 보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업 '국토교통기술촉진연구사업' 연구개발과제 최종보고서이다.

2. 이 연구개발내용을 대외적으로 발표할 때에는 반드시 국토교통부(국토교통과학기술진흥원)에서 시행한 국토교통과학기술 연구개발사업의 결과임을 밝혀야 한다.

3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 된다.