

16TBIP
-C092759
-02

수직증축 리모델링 공사시 기존말뚝과 신설말뚝의 하중분배 및 두부정착이 가능한 비용절감형 선재하 장치개발 최종보고서

2016

국토교통과학기술진흥원

국토교통기술사업화 지원사업 R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
국토교통기술사업화 지원사업 제2차 연도 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001755-01

R&D / 16TBIP-C092759-02

수직증축 리모델링 공사시 기존말뚝과 신설말뚝의 하중분배 및 두부정착이 가능한 비용절감형(공사비 40%, 공기 50% 이상) 선재하 장치개발 최종보고서

2016. 12. 02.

주관연구기관 / (주)골든엔지니어링

공동연구기관 / 롯데건설(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
국토교통기술사업화 지원사업 제2차 연도 최종보고서

발 간 등 록 번 호

11-1613000-001755-01

R&D / 16TBIP-C092759-02

수직증축 리모델링 공사시 기존말뚝과 신설말뚝의 하중분배 및 두부정착이 가능한 비용절감형(공사비 40%, 공기 50% 이상) 선재하 장치개발 최종보고서

2016. 12. 02.

주관연구기관 / (주)골든엔지니어링

공동연구기관 / 롯데건설(주)

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

‘수직증축 리모델링 공사시 기존말뚝과 신설말뚝의 하중분배 및 두부정착이 가능한 비용절감형(공사비 40%, 공기 50% 이상) 선재하 장치개발’ (연구개발 기간 : 2015.04.27 ~ 2016.10.26) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2016. 12. 02.

주관연구기관명 : (주)골든엔지니어링 (대표자) 최 재 진



참여기관명 : 롯데건설(주) (대표자) 김 치 현



주관연구기관책임자 : 이 기 환

참여기관책임자 : 양 희 정

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제38조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	16TBIP-C092759-02	해당 단계 연구 기간	2015.04.27~ 2016.10.26	단계구분	2차년도/ 2차년도
연구사업명	중사업명	국토교통기술사업화 지원사업			
	세부사업명				
연구과제명	대과제명				
	세부과제명	수직증축 리모델링 공사시 기존말뚝과 신설말뚝의 하중분배 및 두 부정착이 가능한 비용절감형(공사비 40%, 공기 50% 이상) 선재하 장치개발			
연구책임자	이 기 환	해당단계 참여 연구원 수	총: 10명 내부: 10명 외부: 명	해당단계 연구개발비	정부: 61,000천원 기업: 61,000천원 정부 외: 천원 계: 122,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 10명 내부: 10명 외부: 명	총 연구개발비	정부: 159,000천원 기업: 159,000천원 정부 외: 천원 계: 318,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)골든엔지니어링 기술연구소			참여기업명 롯데건설(주)	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명:			연구책임자:	
요 약				보고서 면수 83페이지	
마이크로파일 선재하 동시 두부정착 장치를 개발하였으며, 주요 연구내용 및 성과는 다음과 같음 <연구내용> - 현장시험시공 수행(국내 리모델링 현장) - 확대기초 연결부 및 내하체 정착부 구조성능 시험 수행 - 선재하 동시 두부정착 장치 시작품 개발 및 개선 - 단순 두부정착 장치 시작품 개발 - 마이크로파일 축력 측정용 하중계 개발 - 경제성분석 및 상용화 제품 도면/시공가이드 작성 <연구성과> - 선재하 기술을 적용함으로써, ① 추가되는 하중에 대한 기존 기초 구조물(직접기초 또는 말뚝기초)의 하중분담율을 경감시켜 기존 기초의 안정성을 확보할 수 있고, ② 하중지지능력이 우수한 마이크로파일의 성능을 최대한 활용 가능하며(최적설계 가능), ③ 전체 기초 구조물의 침하량 저감 가능 - 시공성 및 경제성이 우수하고 친환경적인 공사가 가능한 선재하 동시 두부정착 장치 제공으로, 국내 및 해외 리모델링 시장을 주도할 기술(기초 보강 분야) 선점 가능 - 구조성능 평가시험으로 입증된 제품을 표준화하여 제품의 신뢰도 및 현장 적용성 제고					

〈 요약 〉

연구의 목적 및 내용	리모델링 및 내진성능향상 등을 목적으로 기존 구조물 기초보강시, 신설 마이크로파일의 하중지지 부담율을 증가시키고 말뚝과 확대기초 연결부의 구조적 지지성능을 향상 시킬 필요성이 있음. 이를 위해 본 연구에서는 신설 마이크로파일을 대상으로 선재하와 동시에 두부정착이 가능한 장치를 개발하였으며, 주요 연구내용은 다음과 같음 • 국내 리모델링 현장을 대상으로 선재하 기술의 적용성을 검토한 후, 시공성 파악 목적으로 현장시험시공 수행 • 개발 장치의 우수성을 입증하기 위해 마이크로파일-확대기초 연결부 및 내하체 정착부 구조성능 시험 수행 • 선재하 동시 두부정착 장치 시작품 개발 및 연구단계별 시작품 개선 • 선재하가 필요하지 않은 구간에서 마이크로파일-확대기초 연결부의 구조적 지지성능을 향상시키기 위해 단순 두부정착 장치 시작품 개발 • 마이크로파일 시공중 선재하 하중값 계측, 시공후 추가 하중전이에 따른 말뚝 축력 변화량 계측을 위한 하중계 개발 • 원가분석을 통한 경제성 입증 • 상용화 제품의 도면 및 시공가이드 작성				
연구개발성과	• 선재하 기술을 적용함으로써, ① 추가되는 하중에 대한 기존 기초 구조물 (직접기초 또는 말뚝기초)의 하중분담율을 경감시켜 기존 기초의 안정성을 확보할 수 있고, ② 하중지지능력이 우수한 마이크로파일의 성능을 최대한 활용 가능하며(최적설계 가능), ③ 전체 기초 구조물의 침하량 저감 가능 • 시공성 및 경제성이 우수하고 친환경적인 공사가 가능한 선재하 동시 두부정착 장치 제공으로, 국내 및 해외 리모델링 시장을 주도할 기술(기초 보강 분야) 선점 가능 • 구조성능 평가시험으로 입증된 제품을 표준화하여 제품의 신뢰도 및 현장 적용성 제고				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	• 수직증축 리모델링 허용 및 내진보강 활성화 등으로 인해 기존 기초구조물 보강 수요가 급격히 증가할 것으로 예상 • 개발 장치는 초기투자 비용이 크지 않고 시공절차가 간단하여 조기 상용화 및 현장적용 가능 • 개발 기술은 수직, 수평증축 리모델링 아파트 기초 보강공사 필수적용 기술로서, 일반 구조물 기초 보강공사(교량기초 보강, 내진보강 등) 등 여러 방면에서 활용성이 증대될 것으로 예상				
핵심어 (5개 이내)	선재하	하중분배	두부정착	리모델링	수직증축

< SUMMARY >

Purpose & Contents	Micropiles are used extensively for underpinning or retrofit of existing foundations. In some cases, micropiles must be preloaded to reduce excessive settlements and to prevent overloading of the existing foundations when new or additional load is applied. Micropile preloading and head connection method was newly developed through this research, and main contents of research are as follows; • A study on the application of preloading and head connection system for underpinning of existing foundations • Evaluation of micropile-to-footing connection capacity through the load tests • Development of preloading and head connection system, including system improvement • Development of simple head connection system used for applications where preloading of micropile may not be necessary • Development of load cell for measuring the preload during installation phase or the load transferred from the superstructure after installation of micropile • Evaluation of economic feasibility of newly developed system • Preparation of drawings and construction guideline				
Results	• The developed micropile preloading system can decrease the load-sharing ratio of existing foundations when new or additional load is applied, thereby preventing overloading of the existing foundations. Also, this system can reduce excessive settlements, and provide the optimized design of micropile • The developed system is efficient, economical and environmentally friendly. Thus, this new system is expected to be a market-leading technology in domestic and overseas remodelling market • The reliability and applicability of the developed system can be increased by standardization and verification load tests				
Expected Contribution	• Due to the permission of vertical expansion remodelling and the need for seismic retrofit of existing foundations, it is anticipated that the demand for strengthening existing foundations will grown significantly • The commercialization of the developed system may be easy because of low initial investment costs and simple installation procedure • The developed system will likely be a fundamental solution for strengthening existing foundations in remodelling project. So, it is anticipated that the use of this system will be increased for various applications such as seismic retrofit or underpinning of existing structures				
Keywords	preloading	load sharing	(pile) head connection	remodeling	vertical expansion

< CONTENTS >

Chapter 1. Summary of Research	7
1. Purpose of Research	7
2. Necessity of Research	14
3. Scope of Research	20
Chapter 2. Current State of Domestic and Overseas Technology	21
1. Domestic and Overseas Research Trend	21
2. Patent Trend	23
Chapter 3. Research Results	24
1. Development of Preloading and Connection Systems for Micropile	24
2. Field Test of Prototype	33
3. Connection Load Tests	61
4. Development of Load Cell for Micropile	70
Chapter 4. Objectives and Achievements / Contributions to Related Field	72
1. Objectives and Achievements	72
2. Contributions to Related Field	74
Chapter 5. Application Plan of Research Results	74
1. Domestic and Overseas Market Size	74
2. Business Strategy	78
3. Application Plan of Developed Technology	79
Chapter 6. Overseas Science and Technology Information	80
Chapter 7. Security Grade of Research Results	81
Chapter 8. Research Facilities and Equipments Registration	82
Chapter 9. Measurement of Safety Performance	83
Chapter 10. Representative Research Achievements	84
Chapter 11. The Others	85
Chapter 12. References	86

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요	7
1. 연구개발 목적	7
2. 연구개발의 필요성	14
3. 연구개발 범위	20
제2장. 국내외 기술 개발 현황	21
1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과	21
2. 기술 특허 동향	23
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	24
1. 선재하 및 두부정착 장치 시작품 제작	24
2. 시작품 현장시험시공	33
3. 시작품 구조성능 시험	61
4. 마이크로파일 축력 측정용 하중계 개발	70
제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도	72
1. 목표 달성도	72
2. 관련 분야 기여도	74
제5장. 연구개발성과의 활용 계획	75
1. 국내외 시장규모 및 전망	75
2. 사업화 전략	78
3. 개발 기술의 활용방안	79
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	80
제7장. 연구개발성과의 보안등급	81
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황	82
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	83
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	84
제11장. 기타 사항	85
제12장. 참고 문헌	86

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

리모델링 및 내진성능향상 등을 목적으로 기존 구조물 기초보강시 협소한 작업공간 등을 감안하여 마이크로파일 공법이 많이 적용되고 있으며, 기초 보강후 신설 마이크로파일은 기존 기초(말뚝 또는 직접기초)와 함께 추가되는 하중을 분담하여 지지하게 된다. 기존 말뚝과 신설 말뚝은 기초강성에 따라 하중을 분담하게 되며, 기존 기초에 최종 작용하는 하중은 기존 기초의 허용지지력을 초과할 수 없다(국토교통부, 2014). 따라서 기존 기초의 안정성 증대 및 전체 기초 시스템의 침하량을 최소화하기 위해서는, 신설 마이크로파일의 하중지지 분담율을 증가시키고 말뚝과 확대기초 연결부의 구조적 지지성능을 향상시킬 필요성이 있다. 이를 위해 본 연구개발에서는 신설 마이크로파일을 대상으로 선재하(하중분담율 증대)와 동시에 두부정착이 가능한 장치를 개발하였다.

가. 대상 기술에 대한 설명

(1) 기술의 원리

TBM은 시공시 몸체에 구성된 Clamping pad를 암반에 압착 지지하여 암반을 압쇄 절삭하고 수백 톤 이상의 본체를 전진 할 수 있다(그림 1.1 참조). 이러한 원리를 이용하여 Core Boring Hole 안에 압착 지지할 수 있는 구조적 장치를 개발, 선재하 및 말뚝의 두부정착이 가능하도록 하고자 한다.

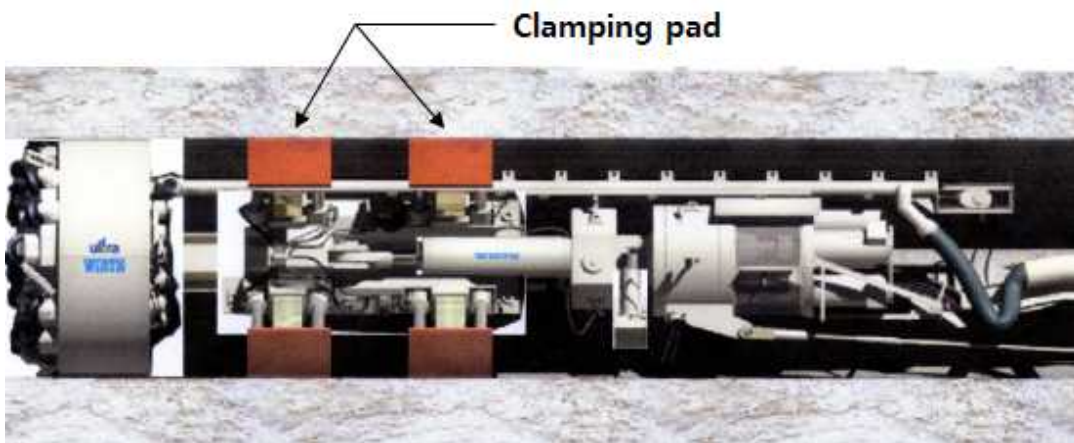
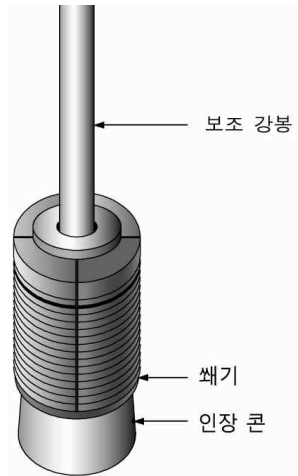


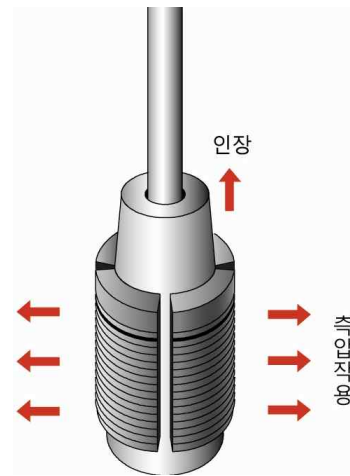
그림 1.1 TBM 구조도

(2) 켜기 확장방식 선재하 장치 개요

마이크로파일을 시공하기 위한 코어 보링홀(지름 200mm) 내에 설치된 인장콘을 당기면 인장콘 외주면에 설치된 켜기가 확장하여 콘크리트면과 켜기체가 압착하게 되고(그림 1.2 참조), 이때의 고정힘을 이용하여 보조강봉을 돌려 마이크로파일에 선재하를 줄 수 있으며(그림 1.3 참조), 마이크로파일에 작용하는 추가하중을 받을 수 있는 기초 slab와 말뚝 두부의 정착 구조가 된다. 선재하 및 두부정착 장치 시공순서는 그림 1.4와 같다.

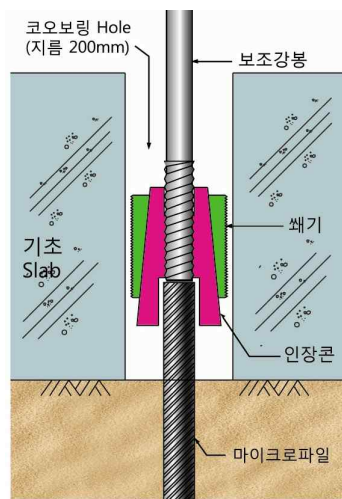


(a) 보조강봉 인장 전

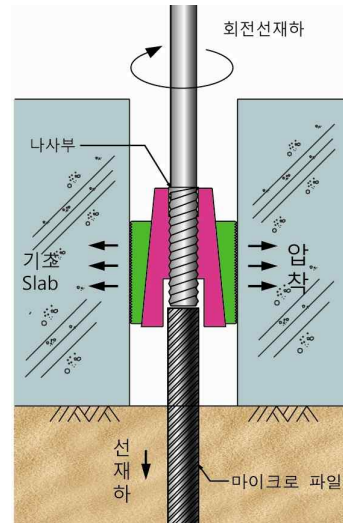


(b) 보조강봉 인장 후

그림 1.2 인장콘 및 썸기 작동 원리

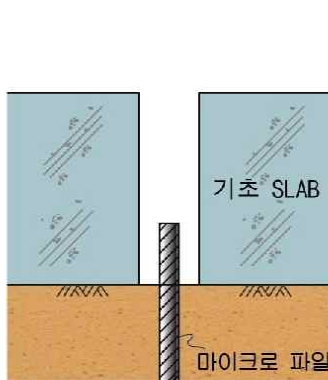


(a) 보조강봉, 인장콘 및 썸기 설치

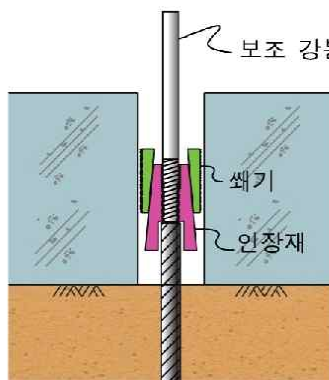


(b) 보조강봉 인장후, 회전 선재하

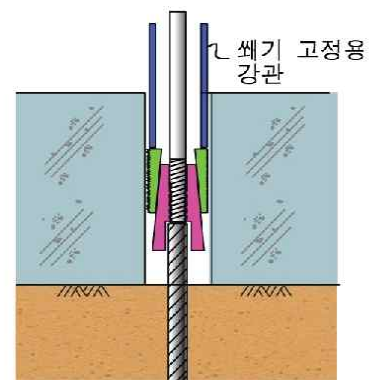
그림 1.3 선재하 장치 개요도



(a) 신설 말뚝부 코어보링



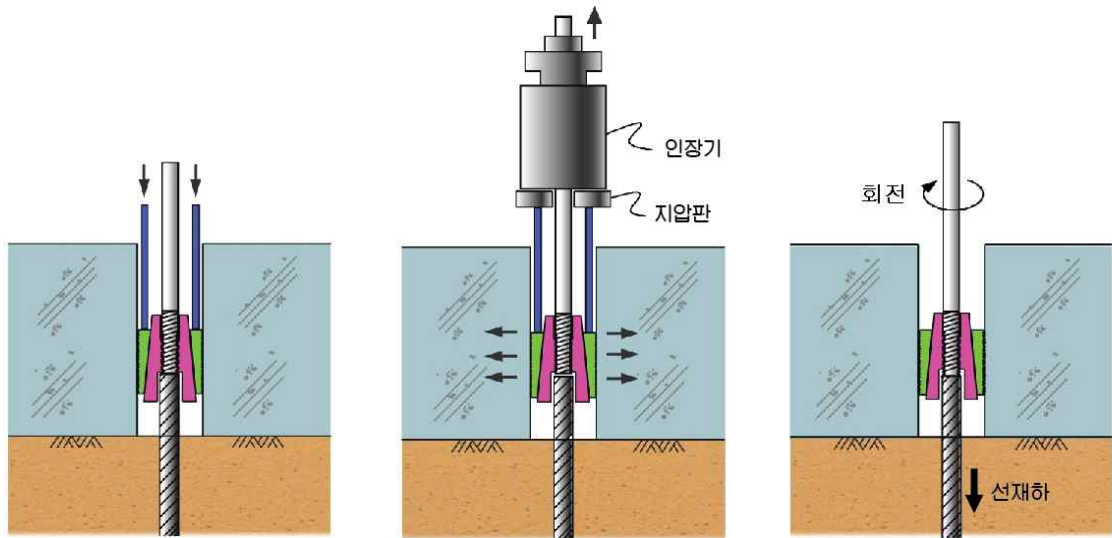
(c) 인장콘 및 썸기 삽입



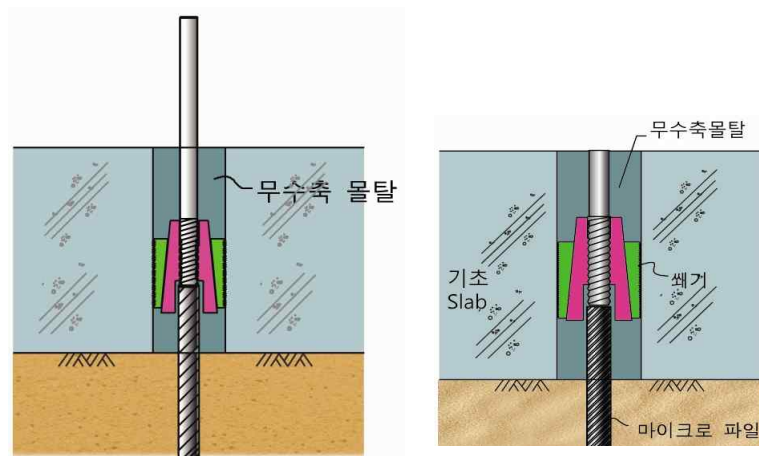
(d) 썸기 고정용 강관 삽입

(b) 마이크로파일 시공

그림 1.4 선재하 및 두부정착 장치 시공순서도



(e) 썰기 고정용 강관 경타 (f) 지압판 및 인장기 설치 (h) 보조강봉 회전 선재하
(g) 보조강봉 인장, 썰기압착 (인장콘, 보조강봉 나사산 형성)



(i) 무수축 몰탈 주입 (j) 보조강봉 정리

그림 1.4 선재하 및 두부정착 장치 시공순서도(계속)

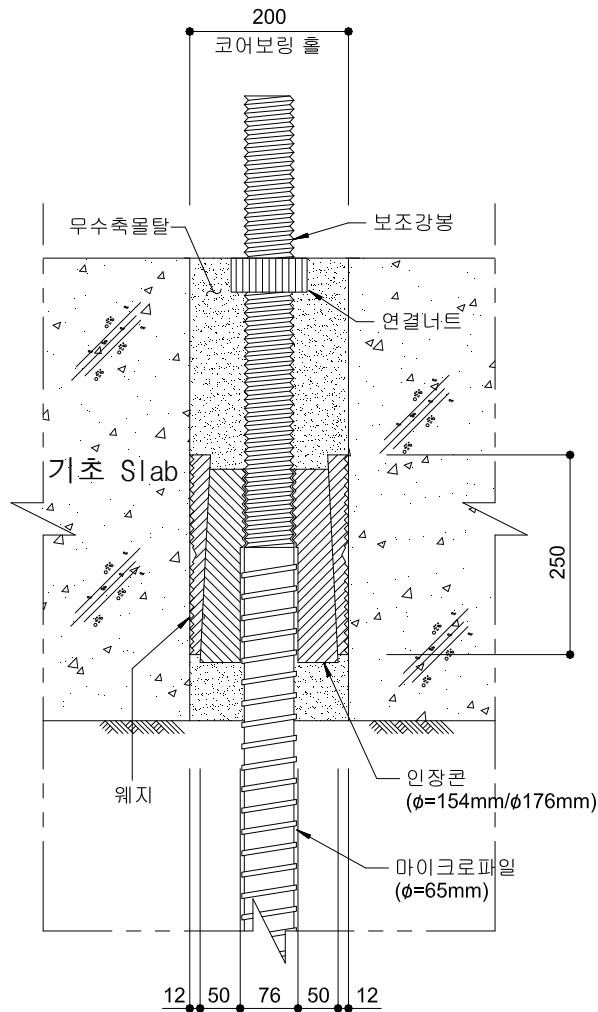


그림 1.5 선재하 및 두부정착 장치 시작품 설계도

나. 대상 기술의 특징

(1) 기술의 우수성

(가) 선재하 기술

국내 및 해외의 선재하 관련 기술에 대하여 조사한 결과 제품화된 선재하 장치가 시장에 전무하고 신설 보강 말뚝 두부정착을 위한 시공 문제점이 증대되어, (주)골든엔지니어링과 한국건설기술연구원이 공동연구를 통하여 1차 선재하 장치(피라미드형) 시작품 및 확공 천공에 의한 두부정착 기술을 개발하였다(2013년 12월). 피라미드형 선재하 장치 및 확공 천공에 의한 말뚝 두부정착 장치를 이용하여 신설 보강 말뚝에 선재하가 가능하나, 두 개의 공정이 분리되어 있고, 두부정착을 위한 확공 천공시 노후된 건물에 위대한 영향이 발생할 수 있으며, 기초판의 수직 철근부에서는 시공성이 저하된다는 문제점이 있음을 확인하였다. 따라서 신설 보강 말뚝 두부정착 및 선재하가 동시에 가능하여 공정이 단순하고 기존 노후 건물에 위대한 영향 최소화가 가능한 선재하 기술(사업화 대상기술, 켜기 확장형 선재하 및 두부정착 장치)을 (주)골든엔지니어링과 한국건설기술연구원이 추가로 개발하게 되었다. 이 기술로 수직중축 리모델링 공사시 기초말뚝에 대해 충분한 안정성을 확보할 수 있으며, 신설 말뚝을 기초 slab에 정착시 공기 및 원가 절감 등 많은 효과가 기대된다.



그림 1.6 1차 개발된 선재하 장치(피라미드형 선재하 장치)

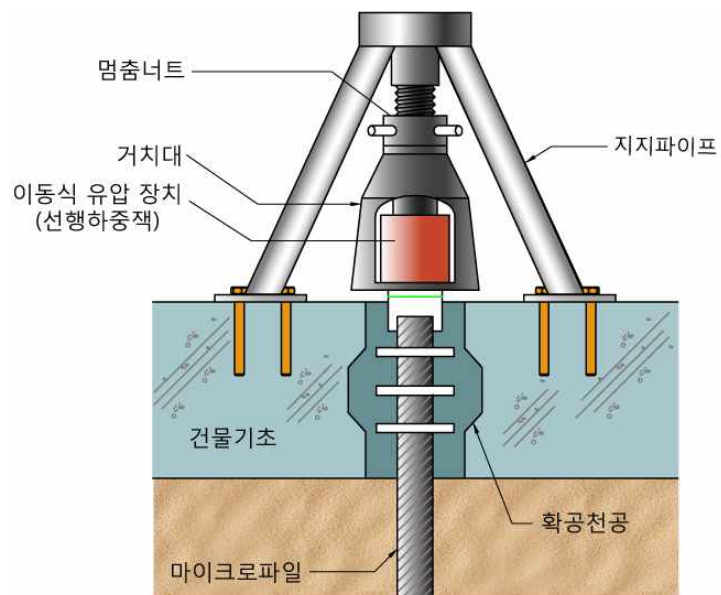


그림 1.7 피라미드형 선재하 개념도

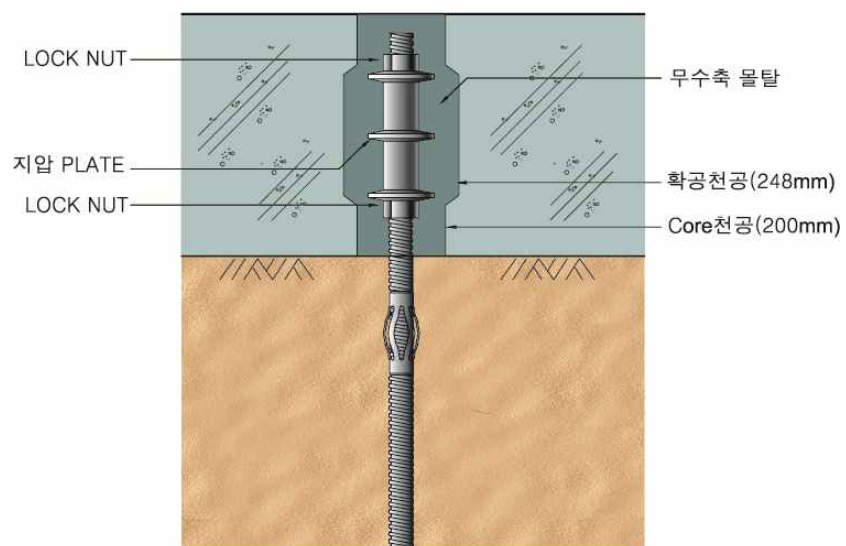
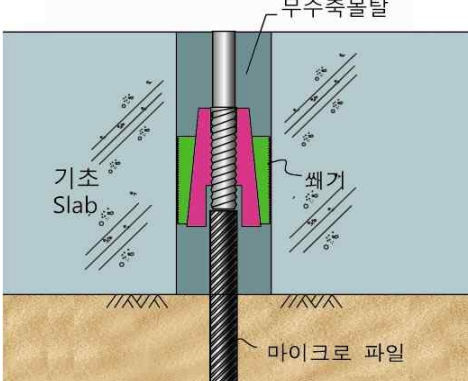
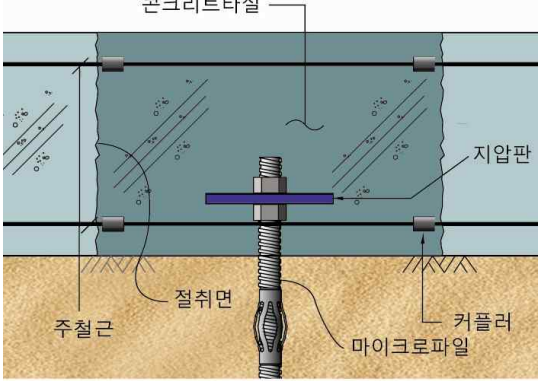


그림 1.8 확공 천공에 의한 말뚝 두부정착

(나) 말뚝의 두부정착 기술

기존 기초 slab에 보강 말뚝을 시공하기 위해선 기초 slab를 1.0m×1.0m 크기로 핸드브레이커를 사용 지반까지 파쇄하고 보강말뚝 공사 후 지압판을 설치한 다음 기존 기초 slab의 주철근을 연결 배근 후 콘크리트를 타설하여야 한다. 선재하 개념이 없었기 때문에 단지 말뚝 두부와 기초 slab를 연결하는 공사를 수행한 것이다. 이 경우 파쇄시 진동 등으로 노후 건물의 균열이 발생 또는 진전되고 기존말뚝에도 위대한 영향을 줄 수 있으며, 기초 slab의 주철근 절단에 따른 이음(인서트 또는 커플러) 등으로 작업환경 및 시공성이 좋지 않아 이에 대한 개선이 필요하다.

표 1.1 마이크로파일 두부정착 방법

구 분	개 발 방 법 (썰기 확장에 의한 말뚝 두부정착)		기 존 방 법 (기초 slab 절취에 의한 말뚝 두부정착)	
상세도				
시공 방법	• 소구경 말뚝 시공 위치 Core Boring (Φ 200mm) • 소구경 말뚝시공 (천공 ⇒ 강봉삽입 ⇒ 그라우팅) • 보조강봉 인장에 의한 썰기 확장 • 보조강봉 회전에 의한 선재하 • 무수축 몰탈 주입		• 소구경 말뚝 시공위치 기초 파쇄절단 (1.0m×1.0m) • 소구경 말뚝시공 (천공 ⇒ 강봉삽입 ⇒ 그라우팅) • 주철근 이음(인서트 또는 커플러) • 지압판 설치 • 기초상부철근 이음 및 신규 콘크리트 타설	
공 기	• 코어보링 • 선재하 장치 설치 • 무수축몰탈 타설	1.0 일	• 기초 slab절단 • 지압판 및 철근배근 • 레미콘 타설	3.0 일
공사비	• 코어보링 10만원 • 선재하 장치 43만원 • 무수축몰탈 타설 3만원 (마이크로파일 공사비 제외)		• 기초 slab절단, 철근 이음 80만원 • 레미콘 타설 91만원 • 지압판 설치 5만원 (마이크로파일 공사비 제외)	
보유 기술의 차별성	• 공정이 간단하고 공기 획기적으로 단축 • 기초 slab의 파쇄 작업이 없으므로 구조물 손상 최소화 • 선재하 가능		• 기초 slab의 파쇄 및 절취가 많기 때문에 기존 구조물 손상 예상 • 공정 복잡, 작업환경, 시공성 나쁨 • 선재하 불가능	

(2) 기술의 독창성

사업화 대상기술은 기존 기초판 코어 보링홀 내부에 설치되는 장치를 이용하여, 보강 말뚝 두부를 기초판에 정착함과 동시에 기존 말뚝과 신설 말뚝 간에 적정 하중분배를 위한 목적으로 신설 보강 말뚝에 압축하중을 선재하하는 기술로서, 안정성, 시공성 및 경제성이 우수하다는 특징을 가지고 있다. 국내외 관련 기술 및 특허를 조사한 결과, 기존 기초 보강 목적으로 말뚝을 설치하는 기술 및 설치된 말뚝의 저항력을 반력으로 삼아 유압잭을 이용하여 기존 기초 구조물을 인상 또는 복원하는 기술은 다양하나, 사업화 대상기술과 같이 선재하를 통해 말뚝의 하중분배가 발생토록 하는 유사한 기술은 없는 것으로 확인되었다. 따라서 연구개발 성과 달성을 통해 기초 보강 핵심기술을 확보함으로써 기술경쟁력을 높일 것으로 판단된다.

(3) 기술의 활용성

리모델링 수직증축을 위한 보강 말뚝 공사시 선재하 기술의 적용은 선택이 아닌 필수이며, 이를 통하여 기초의 안정성 확보가 가능하고 효율적인 말뚝 배치에 따라 경제적인 시공이 가능하다. 선재하 기술을 적용하기 위해선 이에 적합한 선재하 장치의 개발이 필요하고 시공시 기존 구조물에 위대한 영향을 최소로 주는 제품이어야 한다.

본 사업화 대상 선재하 장치는 기초 말뚝 시공시 코어보링($\varnothing 200\text{mm}$)만으로도 선재하 및 말뚝 두부 정착이 가능한 획기적인 제품이며 TBM Clamping 패드 원리 및 그라운드 앵커의 두부 정착을 위한 썸기 및 콘과 같은 구조로, 개발시 기술 난이도가 크지 않고 간단하여 바로 상용화가 가능하다.

- 수직, 수평 증축 리모델링 아파트 기초공사
- 공장 증축 기초공사
- 교량 기초 보수공사
- 내진보강 구조물 기초공사
- 침하된 건물 인상

2. 연구개발의 필요성

정부는 “2013 4.1 부동산 대책”에서 15년 이상 된 아파트에 대해 수직으로 증축하는 리모델링을 허용하는 부동산 활성화 정책을 제시하였으며, 이에 따라 국토교통부는 주택법 개정을 위한 태스크포스를 구성하여 아파트 리모델링에 따른 산업적, 기술적, 환경적 영향 및 안정성을 검토하고 허용 범위 및 진행 절차에 대한 법안을 제시하여 2013년 12월 주택법을 개정하였다.

수직증축 리모델링의 문제점으로는 노후 구조체의 안전성과 지반에 매립된 기초 구조의 시공이 난해하고 정량적인 성능검증이 기술적으로 어렵다는 점과, 증축할 때 후시공 되는 증설 기초 및 파일이 기존 하중을 분담하여 받을 수 없는 역학적 문제점이 있다. 이에 국토교통부에서는 “전단벽식 공동주택 리모델링의 구조설계 기준 작성 및 안정성 평가 연구”를 통해 아파트 수직증축을 위한 증설 기초 설치시 추가하중이 신설 기초에 전이되지 않는 문제점을 반드시 해결해야 할 기술적 필요성을 제시하였다.

이를 간단히 설명하면 수직증축 리모델링시 추가 하중에 대응하여 말뚝을 추가로 보강하여도 말뚝의 강성, 기초 slab 강성 등에 따라 하중분배가 발생하여 그림 1.9에서와 같이 신설 말뚝이 추가 하중을 다 부담하는 것이 아니라 기존 말뚝에도 추가 하중이 작용하여 기존 말뚝의 안정성을 확보 할 수 없는 상태가 될 수 있다.

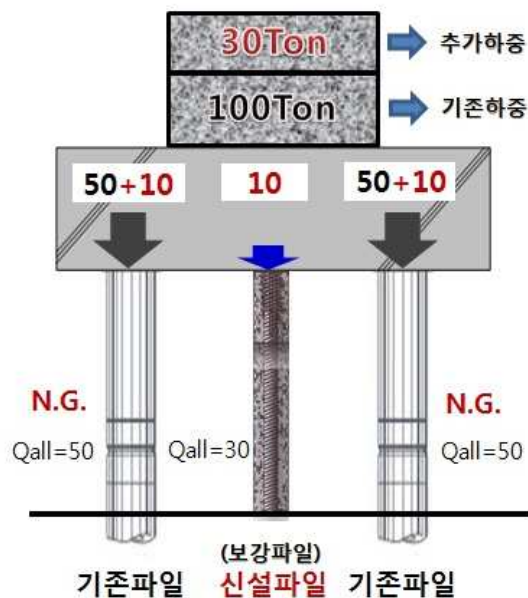


그림 1.9 수직증축 리모델링 보강 파일 시공의 문제(한국건설기술연구원, 2014)

이러한 문제점에 대해서는 지반 공학자라면 누구나 인지하고 있으나, 현재까지 연구는 이루어지지 않았다. 건설기술연구원에서는 상기 문제점들을 해결하고자 2013년 1월부터 2014년 12월까지 “공동주택 리모델링을 위한 기초 구조물 하중 선재하 기술개발” 연구를 수행하여 다음과 같은 결과를 발표하였다.

수직증축 모델링시 현재까지의 해석방법은 그림 1.10의 일반 해석방법과 같이 기존 및 증

축하중을 기존 말뚝과 신설 말뚝이 동시에 부담하도록 설계하는 것이었다. 그러나 실제 상황과 유사하게 기존 하중은 기존 말뚝이 부담하고 증축하중은 기존 말뚝과 신설 말뚝이 분담하도록 검토하면, 기존 말뚝의 분담하중이 증가하게 되어 그림 1.12와 같이 기존 말뚝의 허용용력이 약 23% 초과되는 것으로 검토되었다.

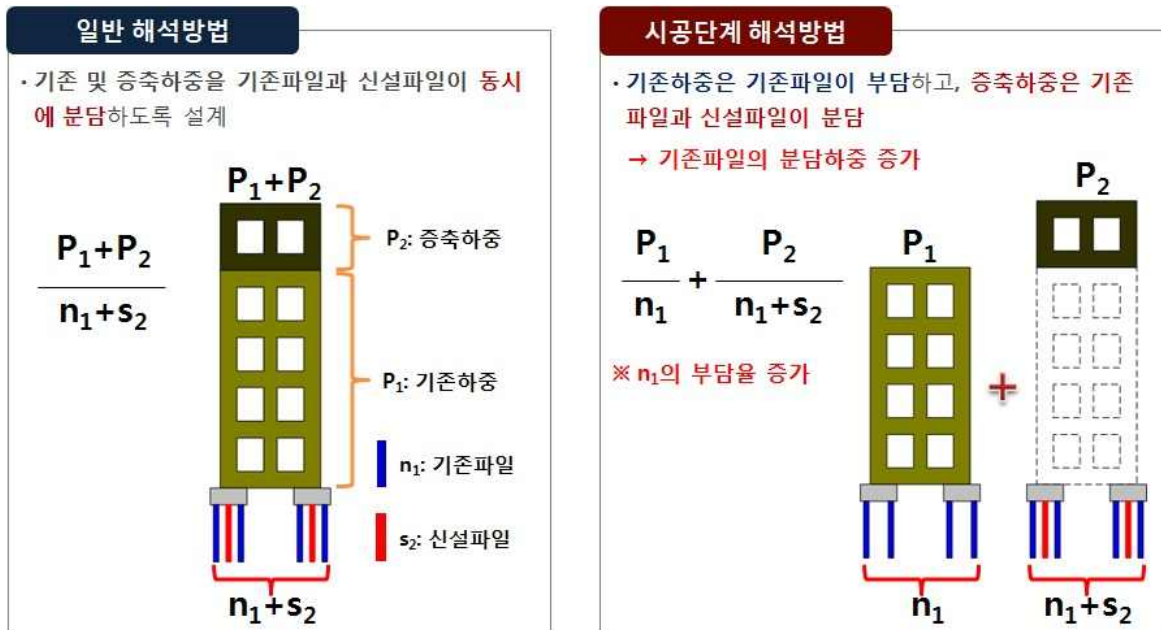


그림 1.10 시공단계 해석 개념도(한국건설기술연구원, 2014)

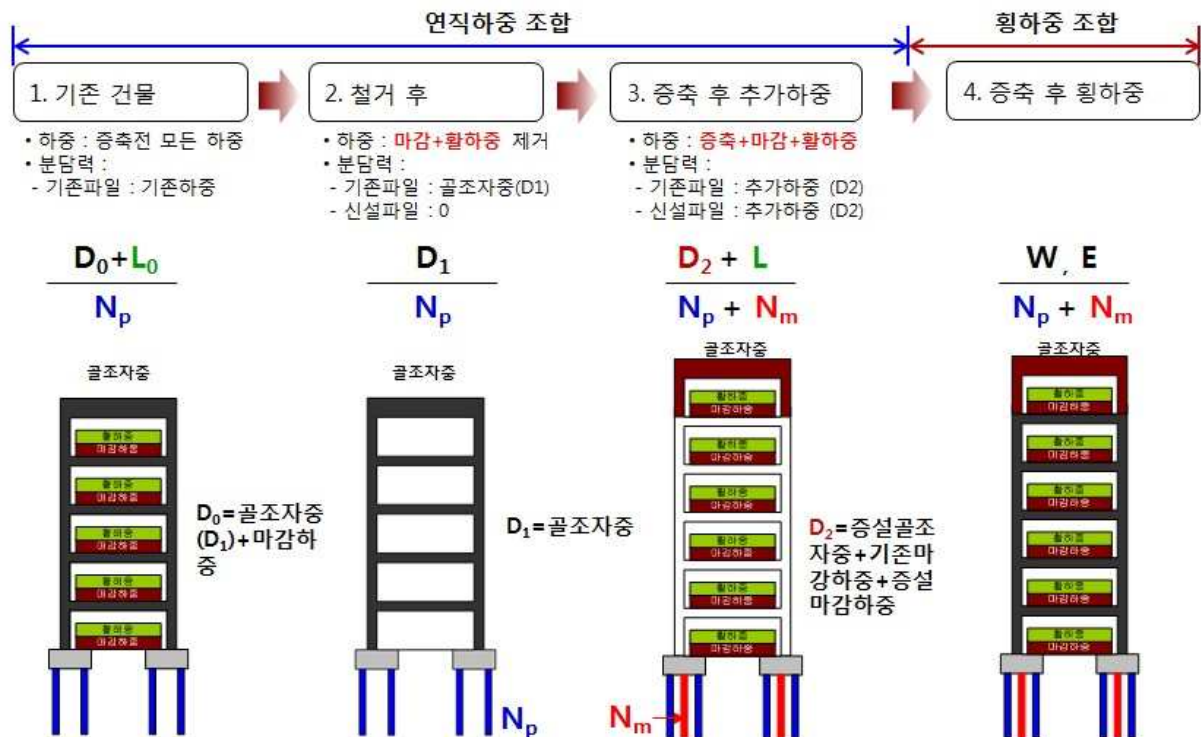
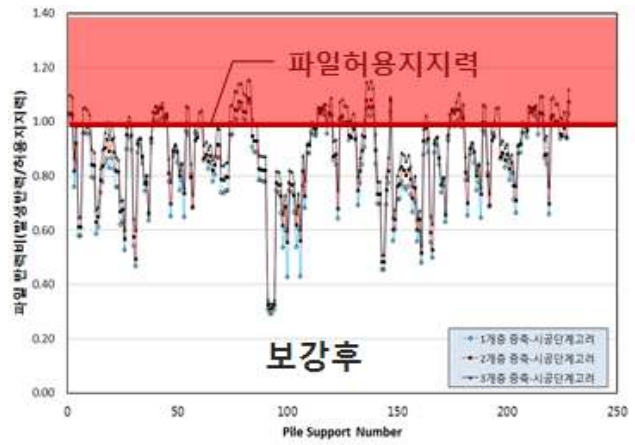
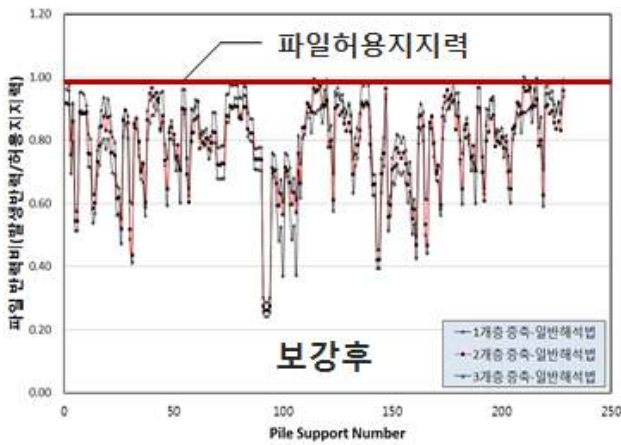


그림 1.11 횡하중을 고려한 시공단계 해석 프로세스(한국건설기술연구원, 2014)



(a) 보강후 일반 해석법에 의한 파일지지력 (b) 보강후 시공단계 해석법에 의한 파일지지력
그림 1.12 시공단계 해석결과(한국건설기술연구원, 2014)

이를 해결하기 위한 방법으로 시공단계 해석시 그림 1.13과 같이 신설 말뚝에 선재하를 실시하는 것이다.

아파트 마감하중과 활하중을 제거하고 증축하중에 대응하는 신설 말뚝을 설치 및 선재하를 실시하는 시공단계 해석을 하면 그림 1.14와 같이 기존 말뚝 및 신설 말뚝 모두 말뚝허용지지력 이내가 되어 말뚝의 안정성을 확보할 수 있는 것이다.

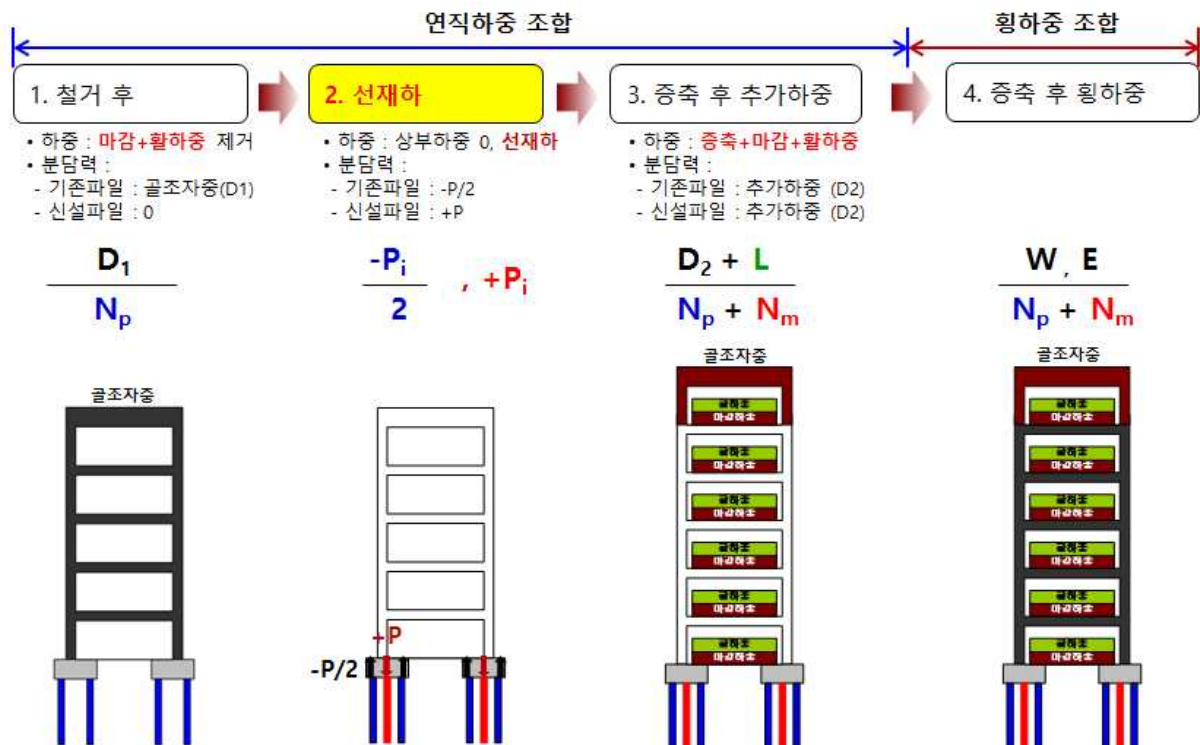


그림 1.13 선재하를 고려한 시공단계해석 프로세스(한국건설기술연구원, 2014)

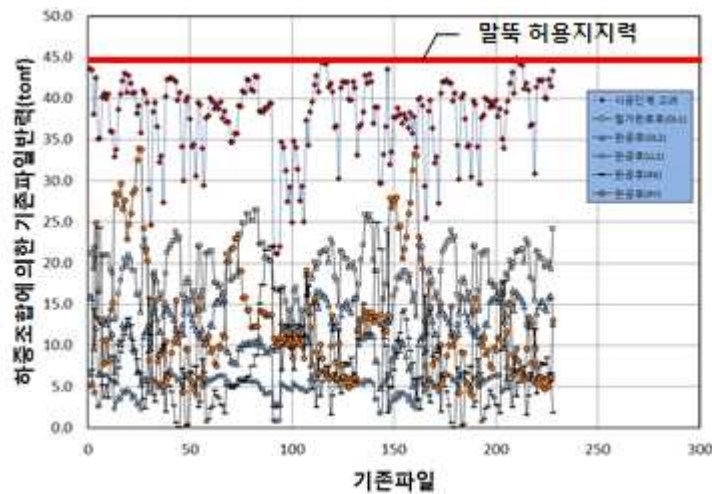


그림 1.14 선재하 보강에 의한 파일지지력(한국건설기술연구원, 2014)

- 개별하중에 의한 말뚝반력 산정 후 전체 하중조합별 말뚝반력 산정
- 73개 하중조합

D + L (1 Case)

$$(D + L \pm WX, WY)/1.5 \quad (4 \text{ Case})$$
 $(D \pm WX, WY)/1.5$ (4 Case)
$$(D + L \pm 0.7 \times (1.0(S.F)(RX(RS)) \pm 0.3(S.F)(RY(RS)))) / 1.5 \quad (16 \text{ Case})$$
$$(D + L \pm 0.7 \times (1.0(S.F)(R_Y(RS)) \pm 0.3(S.F)(R_X(RS)))) / 1.5 \quad (16 \text{ Case})$$
$$(D \pm 0.7 \times (1.0(S.F)(RX(RS)) \pm 0.3(S.F)(RY(RS)))) / 1.5 \quad (16 \text{ Case})$$
$$(D \pm 0.7 \times (1.0(S.F)(R_Y(RS)) \pm 0.3(S.F)(R_X(RS)))) / 1.5 \quad (16 \text{ Case})$$

※ 여기서, $D=D_1+D_2$

D1: 철거 후 고정하중에 의한 말뚝 반력

D2: 증축 후 추가고정하중에 의한 말뚝 반력

[illegible]

그림 1.15 해석적용 하중조합(한국건설기술연구원, 2014)

한국건설기술연구원에서는 상기와 같은 연구를 통해 수직중축 리모델링 공사시 시공단계 해석 프로세스를 정립하여 해석표준에 대한 절차를 배포하였으며, 기존 말뚝과 신설 말뚝의 선재하로 인한 하중분배를 확인하고자 모형실험을 통하여 그 효과에 대한 검증을 실시하였다(그림 1.16 및 1.17 참조).



그림 1.16 신설 말뚝 하중분담비 실내모형실험(한국건설기술연구원, 2014)

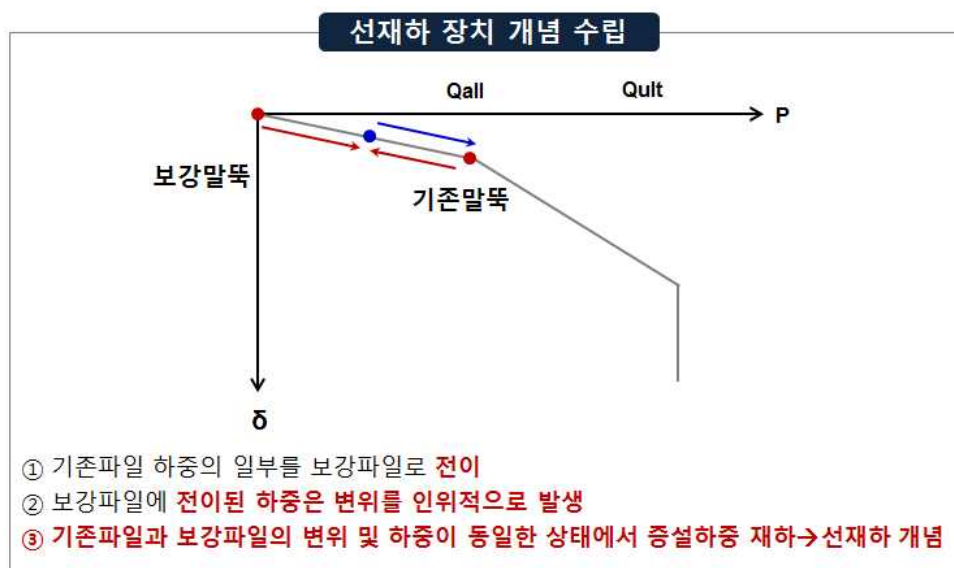


그림 1.17 선재하 장치 개념(한국건설기술연구원, 2014)

선재하 방법은 신설 말뚝에 변위를 인위적으로 발생시켜 기존 말뚝과 보강 파일의 변위 및 하중이 동일한 상태에서 증설하중 재하시 그 하중을 받도록 하는 것으로서 좀 더 쉽게 설명하면, 그림 1.18과 같이 추가하중을 받기 전 20의 압축하중으로 신설 파일을 선재하하고 말뚝 두부를 기초 slab에 정착시키면 신설말뚝의 반력에 의해 기존말뚝의 작용하중이 10정도 감소하게 되며, 그 후 추가하중 30이 작용하게 되면 신설 파일이 추가하중 30을 다 받는 구조가 되도록 하여 기존 파일의 안정성을 확보하는 것이다.

이러한 보강 말뚝에 대한 선재하 목적에 대해 싱가포르 규정에 「Pre-loading and 'lock-in' of underpinning piles is to serve the purpose of relieving part of the load from the existing piles to prevent overloading of the existing piles when the new or additional load is applied. Pre-loading should be carried out by jacking the underpinning piles against the existing foundation structure and the pre-load be properly and permanently locked in the underpinning piles. The sum of pre-load and the subsequent additional load should not exceed the allowable load-carrying capacity of the piles」라고 제시되어 있으며, 이는 선재하에 대한 개념적인 설명으로, 보강 말뚝에 선재하를 적용함으로써 기존 말뚝에 작용하고 있는 하중은 경감되고 이로 인해 추가하중 작용시 기존 말뚝의 안정성 확보가 가능하다는 설명이다.

상기의 연구 결과를 수용할 수 있도록 수직증축 리모델링시 추가하중 작용전 신설 말뚝에 선재하가 가능하고 동시에 기존 구조물의 위해한 영향을 주지 않으면서 기초 slab에 신설 말뚝을 연결하는 정착장치의 개발이 필요하다.



그림 1.18 선재하 파일 시공방법(한국건설기술연구원, 2014)

3. 연구개발 범위

표 1.2 연구개발 범위

구 분	주 요 내 용
선재하 및 두부정착 장치 시작품 제작	- 개발 장치의 장·단점을 분석하여 단계별로 시작품 개선 - 선재하 동시 두부정착 장치 개발 - 선재하가 필요하지 않은 구간에서 마이크로파일-확대기초 연결부의 구조적 지지성능 향상을 위한 단순 두부정착 장치 추가 개발
시작품 현장시험시공	- 국내 리모델링 현장을 대상으로 시작품 시험시공 - 시험시공을 통해 개발된 시작품 개선방안 도출
시작품 구조성능 시험	마이크로파일-확대기초 연결부의 하중지지 성능을 비교·평가하기 위해 실내 압축재하시험 수행
마이크로파일 축력 측정용 하중계 개발	마이크로파일에 전달되는 선재하 하중 및 증축하중을 측정하기 위한 하중계 개발
지적재산권 확보	개발된 기술에 대한 특허 출원
도면 및 시공가이드 작성	개발 장치에 대한 표준도 작성 및 현장적용을 위한 시공관리 지침서 작성
경제성 분석	공사비 및 공기 등을 분석하여 공법의 경제성 입증
학술발표회 논문 발표	학술발표회 논문을 발표하여 건설수요자 및 관련 공학자들에게 개발 기술의 장점을 홍보하고 기술정보를 공유

제2장. 국내외 기술 개발 현황

1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가연구개발사업 유사연구 검토

표 2.1 국가연구개발사업 유사연구

부처명	사업명	과 제 명	예산	비 고
교육부	일반연구자 지원	말뚝-지반-말뚝 상호작용을 고려한 말뚝기초 최적 보강기법 개발	0.54	
중소기업청	산학협력 기술개발	기존 구조물 기초 직하부 반력증대를 위한 후시공 말뚝공법 개발	1.38	
중소기업청	중소기업 기술혁신개발	구조물의 기초보강 및 인상을 위한 PILE REACTION기술 및 임베디드 시스템 개발	0.81	
-	-	공동주택 리모델링을 위한 기초구조물 하중 선재하 기술 개발	2.40	한국건설 기술연구원 기본연구 사업

표 2.2 유사연구 검토결과

과 제 명	내 용	검토결과
말뚝-지반-말뚝 상호작용을 고려한 말뚝기초 최적 보강기법 개발	서로 다른 강성, 크기 및 말뚝간 격으로 구성된 군말뚝의 거동분석을 실내모형시험과 수치해석을 통해 보다 근본적인 말뚝-지반-말뚝 상호작용을 파악하고 정량화함으로써 이를 이용해 말뚝기초의 최적 보강기법을 개발	해당연구는 수치해석과 실내시험 결과 비교 검증을 통한 군말뚝의 거동특성 파악에 관한 것으로서, 본 연구에서 수행하고자 하는 보강기초의 선재하 공법 개발과는 중복성이 없음

표 2.2 유사연구 검토결과(계속)

과 제 명	내 용	검토결과
기존 구조물 기초 직하부 반력증대를 위한 후시공 말뚝공법 개발	협소한 공간에서 시공이 가능한 무소음 무진동 말뚝압입공법 개 발	해당연구는 소구경 천공으로 협 소한 장소나 높이가 제한적인 지 역에서 구조물의 지지력 증가 또 는 지반 침하 억제를 목적으로 사용되는 마이크로파일과 관련된 것으로, 마이크로파일을 구성하 는 강관말뚝을 지반에 압입 시공 할 때, 강관말뚝의 변형을 방지 할 수 있는 강관말뚝 압입장치 및 압입 강관말뚝 공법에 대한 연구임. 본 연구에서 수행하고자 하는 보강기초의 선재하 공법 개 발과는 중복성이 없음
구조물의 기초보강 및 인상을 위한 PILE REACTION 기술 및 임베디드 시스템 개발	압입말뚝을 이용한 기초 보강/인 상 기술 및 실시간 무선 모니터 링 시스템 개발	해당연구는 기초의 보강, 침하복 원 및 승상을 목적으로 가압틀을 이용하여 설치되는 압입말뚝 공 법 및 무선 계측 시스템에 관한 연구로서, 본 연구에서 수행하고 자 하는 보강기초의 선재하 공법 개발과는 중복성이 없음
공동주택 리모델링을 위한 기초구조물 하중 선재하 기술 개발	공동주택 리모델링 시장에서 수 직증축을 위한 효과적인 기초구 조물 보강 기술에 초점을 맞추 어, 보강된 기초구조물의 설계하 중 만큼 사전에 하중을 재하 할 수 있는 설계법 및 공법 개발	해당연구는 수직증축형 공동주택 리모델링의 보강기초 선재하 설 계법 개발, 선재하 장치 시작품 을 이용한 실내모형실험, 증축하 중 기초전이를 위한 시공기법 제 시에 관한 연구임

나. 사업화과제의 차별화 방안

한국건설기술연구원에서 수행한 연구(공동주택 리모델링을 위한 기초구조물 하중 선재하 기술 개발)는 보강 말뚝의 선재하 기술에 관한 것으로서, 사업화 대상 기술과 동일한 기술 개념이다. 주 연구내용은 실내모형실험을 통한 보강 말뚝 선재하 기술의 개념 정립 및 분석, 공동주택 구조해석을 통한 시공단계 및 선재하 해석/설계 프로세스의 정립이다.

핵심기술인 선재하 기술을 현실적으로 실용화하기 위해서는 선재하 장치 및 말뚝 두부 정착 장치의 효과 검증이 필수 선결과제이고, 더불어 선재하가 필요하지 않은 구간에서 마이크로 파일-확대기초 연결부의 구조적 지지성능 향상을 위한 단순 두부정착 장치 개발 또한 필요하므로, 본 사업화 과제에서는 개발 장치의 기능 검증 테스트에 초점을 맞추어 연구를 진행함으로써 차별화를 달성할 예정이다.

2. 기술 특허 동향

표 2.3 기술 특허 동향

번호	특허명	등록번호	대상기술과의 차이점
1	강관말뚝 압입장치 및 압입 강관말뚝 공법파일보강공법	10-1427340	마이크로 파일을 구성하는 강관말뚝을 지반에 압입 시공할 때, 강관말뚝의 변형을 방지할 수 있는 강관말뚝 압입장치 및 압입 강관말뚝 공법
2	파일 자동 압입 시스템 및 이를 이용한 파일 시공방법	10-1402334	보강파일을 절단하지 않고 연속적으로 압입할 수 있으며, 자동으로 파일의 압입 시공이 이루어질 수 있는 파일 자동 압입 시스템 및 이를 이용한 파일 시공방법
3	구조물 기초 보강 또는 보수방법	10-0886922	지반에 천공홀을 형성시키고, 상기 천공홀에 강관파일, 마이크로파일, 콘크리트파일과 같은 보강체를 삽입한 후, 내력을 확인 또는 구조물을 인상

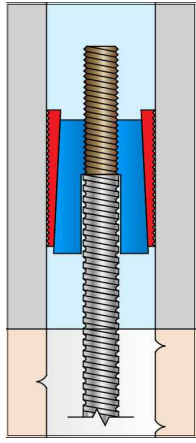
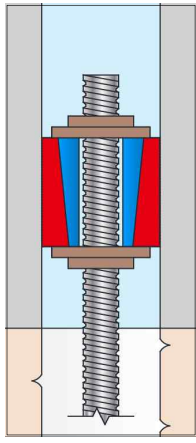
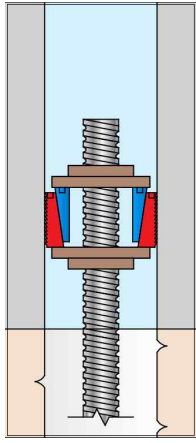
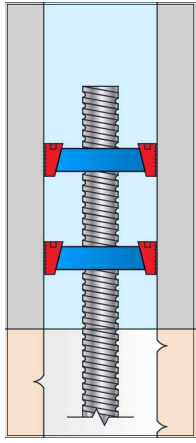
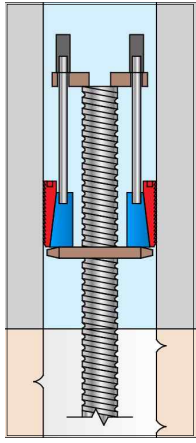
제3장. 연구 수행 내용 및 성과

1. 선재하 및 두부정착 장치 시작품 제작

가. 시작품 개발 개요

- 당초 개발 계획한 선재하 동시 두부정착 장치의 문제점을 분석한 후, 이를 개선하여 아래 표 3.1과 같이 1~3차 시작품을 단계별로 제작하였음

표 3.1 마이크로파일 두부정착 장치 시작품

구 분	당초 개발 계획	1차 시작품	2차 시작품		3차 시작품
	선재하 동시 두부정착 장치	선재하 동시 두부정착 장치	선재하 동시 두부정착 장치	단순 두부정착 장치	선재하 동시 두부정착 장치
설치개요도 (시공완료시)					
선재하 적용 유무	○	○	×	×	○
선재하 장비	대형 토크렌치	복동식 유압잭	—	—	단동식 유압잭
선재하 방법	회전력으로 축방향력 (압축하중) 간접 재하	축방향력(압축하중) 직접 재하	—	—	축방향력 (압축하중) 직접 재하
반력시스템 설치 유무	×	○ (반력대, 케미컬 앵커 등)	—	—	×
내하체 제원	• 썬기 : 4EA (H=250mm) • 콘 : 1EA (H=240mm)	• 썬기 : 3EA (H=200mm) • 콘 : 1EA (H=200mm)	• 썬기 : 3EA (H=100mm) • 콘 : 1EA (H=100mm)	• 썬기 : 3EA (H=60mm) • 콘 : 1EA (H=42mm)	• 썬기 : 4EA (H=120mm) • 콘 : 1EA (H=100mm)
비 고	미제작		1차 시작품 대비 내하체 크기 축소	현장상황에 따라 내하체 1~3Set 설치	

나. 선재하 동시 두부정착 장치 개발 계획(당초)

- 당초 개발 계획(1장 참조)된 두부정착 장치의 시공순서는 표 3.2와 같음
- 콘 내부와 보조강봉 외부에 나사산을 형성시켜 두 부재를 연결한 후, 대형 토크렌치를 이용하여 보조강봉을 회전시킴으로써, 회전력으로 선재하 하중(마이크로파일 축방향 압축하중)을 간접 작용시키는 방식

표 3.2 시공순서도(당초 개발 계획 장치)

1 코어보링홀 기존 기초판 강봉 그라우트재 기초 지반	2 보조강봉 보조강봉 커플러 빼기 콘	3 보조강관
• 기존 기초판 코어보링 • 마이크로파일 시공	• 보조강봉을 이용하여 콘 및 빼기 설치	• 보조강관으로 빼기를 경타하여 고정
4 지압판 유압잭 받침판 겸용 지압판 유압잭 빼기 고정용 보조강관	5	6 무수축물탈
• 지압판 및 유압잭 설치 • 보조강봉을 인장하여 내하체 정착(빼기압착)	• 보조강봉을 회전시켜 마이크로파일 선재하(콘 내부 및 보조강봉 외부 나사산 형성)	• 상부 보조강봉 및 커플러 해체 • 무수축물탈 타설(설치완료)

다. 1차/2차 시작품 제작

(1) 선재하 동시 두부정착 장치 시작품

- 표 3.3과 같이 당초 개발 계획한 선재하 동시 두부정착 장치의 문제점을 개선하여 시작품을 제작하였으며, 개발 장치의 시공순서는 표 3.5와 같음

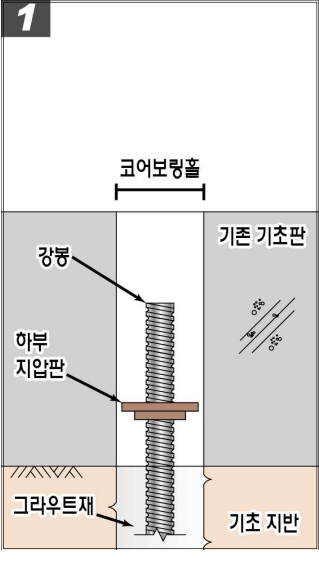
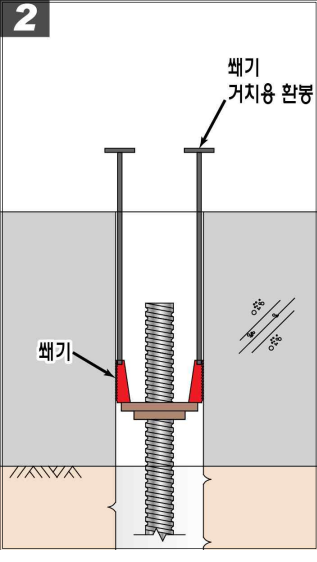
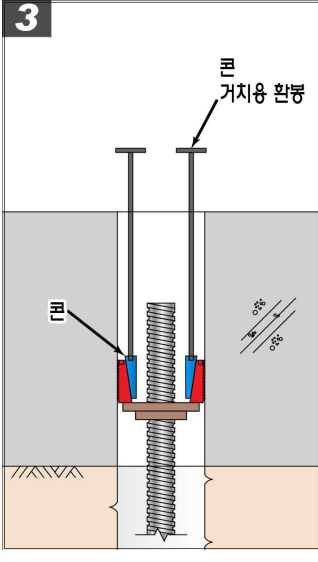
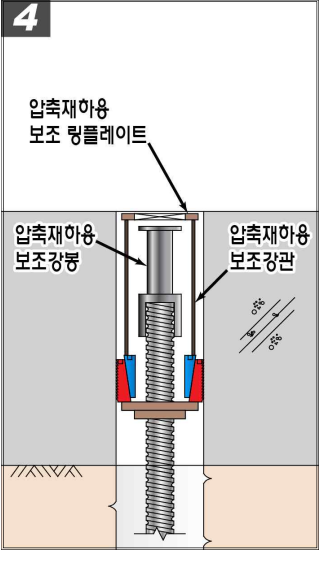
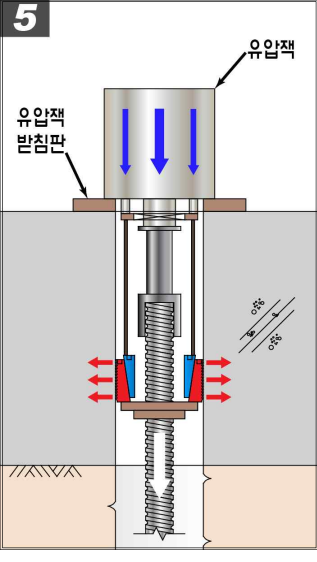
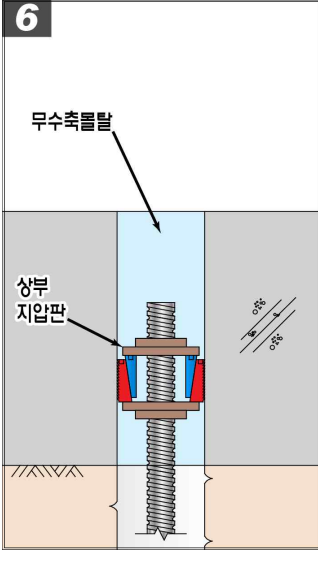
표 3.3 개발 계획 장치 문제점 분석 및 1차/2차 시작품 개선사항

구 분	내 용	비 고
당초 개발 계획 장치의 문제점 분석	• 회전력(토크)과 선재하 하중과의 상관관계 분석 필수 • 동일한 회전력을 적용하여도 콘과 보조강봉의 재질, 윤활정도, 접촉부 상태, 표면처리 등 여러 가지 요인에 따라 전해지는 선재하 하중값에 차이가 발생 • 일정한 값으로 선재하하기 위해서는 체결 조건이 다르면 토크도 달라져야 하는 문제점 발생	
당초 계획 대비 1차 시작품 개선사항	• 일정한 값으로 선재하하기 위해, 회전력을 이용한 간접 재하방식에서 유압잭을 이용한 직접재하 방식으로 변경	표 3.2 및 표 3.5 참조
1차 시작품 대비 2차 시작품 개선사항	• 내하체의 무게를 경감시켜 시공성 및 경제성 향상 • 1차 및 2차 시작품의 시공순서는 동일	표 3.4 참조

표 3.4 1차/2차 시작품 내하체

구 분	1차 시작품 (선재하 동시 두부정착 장치 내하체)	2차 시작품 (선재하 동시 두부정착 장치 내하체)
시작품 사진		
제원	• 콘(1EA) – 높이 : 200mm – 내경 : 80mm – 두께 : 상단 38.5mm, 하단 18.5mm • 췌기(3EA) – 높이 : 200mm – 두께 : 상단 30mm, 하단 50mm	• 콘(1EA) – 높이 : 100mm – 내경 : 116.5mm – 두께 : 상단 26.5mm, 하단 11.5mm • 췌기(3EA) – 높이 : 100mm – 두께 : 상단 20mm, 하단 35mm

표 3.5 시공순서도(2차 시작품-선재하 동시 두부정착 장치)

1 	2 	3 
• 기존 기초판 코어보링 • 마이크로파일 시공 • 하부 지압판 설치	• 빼기 설치	• 콘 설치
4 	5 	6 
• 압축재하용 보조강봉, 보조강관 및 링플레이트 설치	• 유압잭 반침판 및 복동식 유압잭 설치 • 마이크로파일을 먼저 선재하한 후, 콘에 하중을 가해 내하체 정착	• 유압잭 및 보조장비 해체후 상부 지압판 설치 • 무수축물탈 타설(설치완료)

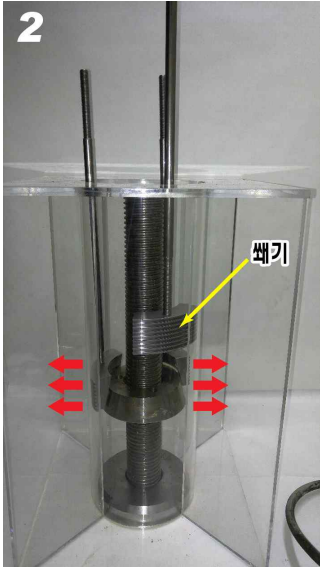
(2) 단순 두부정착 장치 시작품

- 리모델링 및 내진성능향상 등을 목적으로 기존 구조물 기초(말뚝기초 또는 직접기초 등)를 보강하기 위한 마이크로파일 설치시, 선제하가 필요하지 않은 구간에서 마이크로파일-확대기초 연결부의 구조적 지지성능을 향상시키기 위해 단순 두부정착 장치를 개발하였으며, 개발 장치의 시공순서는 표 3.6 및 3.7과 같음

표 3.6 시공순서도(2차 시작품-단순 두부정착 장치)

- 기존 기초판 코어보링 - 마이크로파일 시공	콘 설치(콘 내부 나사산 형성)	뺨기 설치
보조강관으로 뺨기를 경타하여 고정	설계하중에 따라 내하체 1~3Set 설치	무수축몰탈 타설(설치완료)

표 3.7 시공순서 사진(2차 시작품-단순 두부정착 장치)

1 	2 	3 
• 콘 설치(콘 내부 나사산 형성)	• 쌔기 설치 및 경타 고정	• 무수축물탈 타설(설치완료)

라. 3차 시작품 제작

- 현장시험시공(2절 참조) 결과를 바탕으로, 표 3.8과 같이 2차 시작품(선재하 동시 두부 정착 장치)의 문제점을 개선하여 3차 시작품을 제작하였으며, 개발 장치의 시공순서는 표 3.10 및 3.11과 같음

표 3.8 2차 시작품 문제점 분석 및 3차 시작품 개선사항

구 분	내 용	비 고
2차 시작품의 문제점 분석	• 복동식 유압잭을 이용해 마이크로파일을 먼저 선재하한 상태에서 콘을 재하하여 내하체를 정착시키는 방식으로, 내하체 정착상태에 따라 선재하 하중값 변동 가능 • 마이크로파일 선재하 및 콘 재하를 위한 별도 반력시스템(반력대, 케미컬 앵커 등) 필요	표 3.5 참조 표 3.9 참조
2차 시작품 대비 3차 시작품 개선사항	• 내하체를 코어보링홀 내 먼저 정착시킨 후, 이를 반력구조물로 이용하여 마이크로파일을 선재하함으로써, ① 일정한 하중으로 선재하 가능, ② 별도의 선재하 반력시스템 불필요	표 3.10 및 3.11 참조

표 3.9 선재하 반력시스템(선재하 동시 두부정착 장치-2차 시작품 적용시)

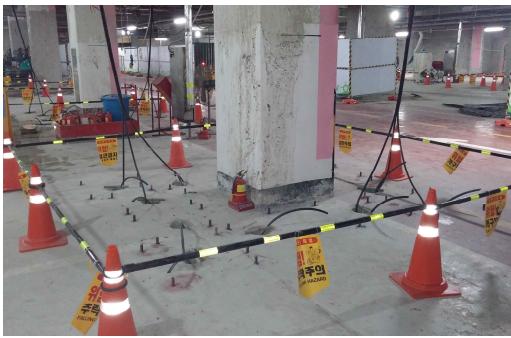
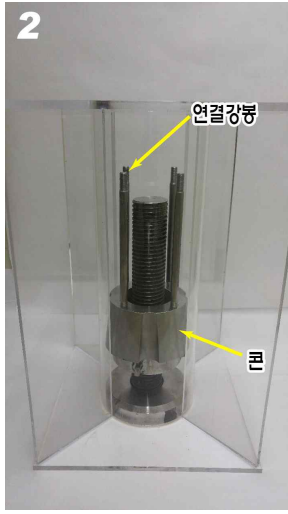
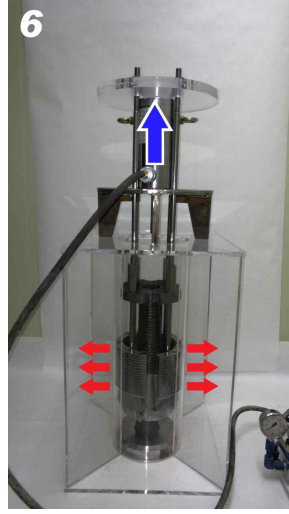
구 분	내 용
케미컬 앵커 (공당 4개소 설치)	 
소형 반력지지대 (H형강 및 채널)	 

표 3.10 시공순서도(3차 시작품-선제하 동시 두부정착 장치)

1	2	3
• 기존 기초판 코어보링 • 마이크로파일 시공 • 간격재 겸용 받침판 설치	• 콘 및 연결강봉 설치	• 뺨기 설치
4	5	6
• 지압판 설치	• 체결 너트 및 인장강봉 설치 • 유압잭으로 인장강봉을 인장하여 내하체 정착	• 압축재하용 보조강봉 및 너트 조임홀더 설치
7	8	9
• 유압잭으로 강봉을 압축하여 선제하 • 선제하한 상태에서 조임홀더로 너트 체결	• 유압잭, 보조강봉, 인장강봉 및 너트 조임홀더 해체	• 무수축몰탈 타설(시공완료)

표 3.11 시공순서 사진(3차 시작품-선재하 동시 두부정착 장치)

 1 코어보링홀 강봉 간격재 겸용 받침대	 2 연결강봉 콘	 3 쐐기
• 기존 기초판 코어보링 • 마이크로파일 시공 • 간격재 겸용 받침대 설치	• 콘 및 연결강봉 설치	• 쐐기 설치
 4 지압판	 5 인장강봉 지압판 체결 너트	 6
• 지압판 설치	• 체결 너트 및 인장강봉 설치	• 유압잭으로 강봉을 인장하여 내하체 정착
 7 너트 조임홀더	 8 압축재하용 보조강봉	 9
• 너트 조임홀더 설치	• 유압잭으로 강봉을 압축하여 선재하 • 선재하한 상태에서 조임홀더로 너트 체결	• 무수축물탈 타설(시공완료)

2. 시작품 현장시험시공

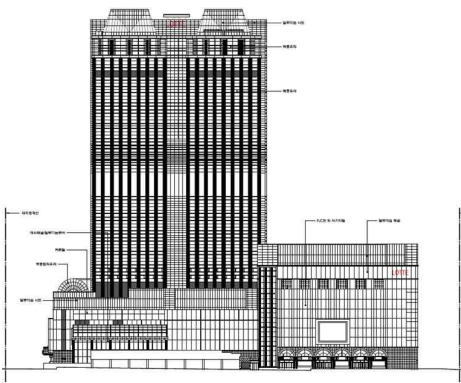
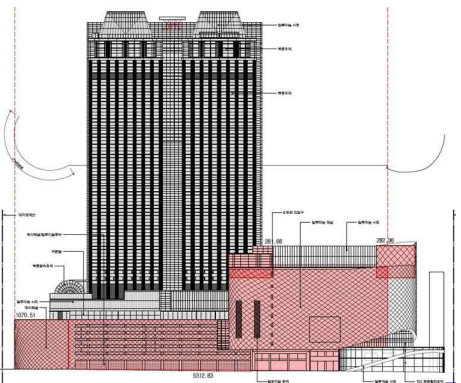
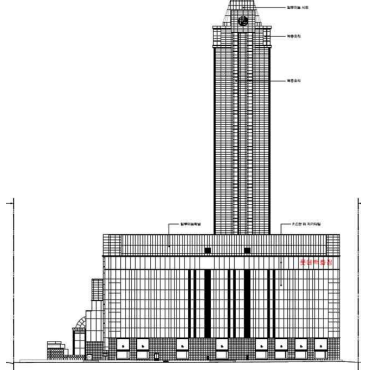
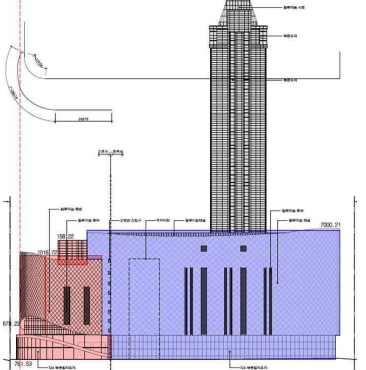
가. 현장개요

- 롯데백화점 부산본점 리모델링 공사와 관련하여, 건축물 증축시 기존 기초(독립기초)에 작용하는 하중이 증가함에 따라 마이크로파일을 설치하여 기초를 보강하는 것으로 계획
- 설계개요 및 구조물 증축 범위는 표 3.12 및 3.13과 같음

표 3.12 설계개요 및 현장전경

구 분		변경전	변경후	비 고	현 장 전 경
공사명		롯데백화점 부산본점 증축공사			
현장위치		부산광역시 부산진구 가야대로 772			
대지면적		35,273m ²			
건축면적		19,428m ²	25,236m ²	5,808m ² (증가)	
연면적	지상층	208,463m ²	252,688m ²	44,225m ² (증가)	
	지하층	127,191m ²	127,191m ²	—	
규모/높이		지하 5층, 지상 42층 / 건축높이 171.66m			
구조		철골철근콘크리트조			

표 3.13 구조물 증축 범위

구분	당 초	증 축	비 고
배면도			호텔 부지 5개층 증축
좌측면도			백화점 부지 8개층 증축

나. 선재하 동시 두부정착 공법 현장 적용성 검토

(1) 검토개요

(가) 검토목적

- 3차원 유한요소해석을 통해 말뚝지지 독립기초의 침하에 대한 안정성을 검토하여, 선재하 동시 두부정착 공법의 현장 적용성 파악

(나) 기초 설계현황

표 3.14 기초 설계현황

구 분	기 준	증 축
기초형태	• 독립기초(정방형 및 장방형) - 폭 : 3.6~5.0m - 길이 : 3.6~6.5m - 높이 : 1.75m	• 말뚝지지 독립기초 (필요구간 기초판 확장)
마이크로파일 제원	-	• 직경 : $\Phi 150$ • 보강재 : 강봉 $\Phi 65$ • 설치길이(지반근입) : 15.5m • 설치개수 : 2~20본 (독립기초 1개소당)
설계하중 (kN)	5,000~22,000	800~14,700 (하중 증가분)

(다) 검토방법

- 보강 대상 독립기초 중 대표적인 기초 한 개소 선정
- 선정된 기초를 대상으로 아래 3가지 경우에 대해 각각 침하 안정성 검토 수행
 - CASE1 : 독립기초
 - CASE2 : 말뚝지지 독립기초
 - CASE3 : 선재하 말뚝지지 독립기초
- 기 수행한 마이크로파일 정재하시험(압축) 결과 검토 반영
(백화점 부산본점 증축공사 말뚝정적재하시험 보고서-시험과측량, 2015.11)

(라) 검토대상 독립기초 선정

- 설계하중/설계하중 증가비율/마이크로파일 본당하중이 크고, 마이크로파일 설치개수가 많은 상위 5개소 독립기초(표 3.15 참조) 중, 부등침하의 영향을 가장 많이 받게 되는 구간(미증축 구간)과의 거리가 가장 가까운 RF14를 검토대상 독립기초로 선정

표 3.15 기초 설계하중 및 보강계획

구 분	기초 설계하중 Ps (kN)		기존대비 설계하중 증가비율 (%)	마이크로파일			독립기초		보강여부(확장)	
	기존	증가		직경 (mm)	개수 (EA)	본당하중 (kN)	폭 (m)	길이 (m)	기둥	기초판
RF1	11,000	9,500	86	150	12	791.7	3.6	3.6	○	×
RF1A	11,000	8,400	76	150	12	700.0	3.6	3.6	○	×
RF1B	11,000	10,270	93	150	14	733.6	3.6	3.6	○	○
RF1C	11,000	10,930	99	150	14	780.7	3.6	3.6	○	○
RF1D	11,000	11,280	103	150	15	752.0	3.6	3.6	○	○
RF1E	11,000	12,970	118	150	17	762.9	3.6	3.6	○	○
RF1F	11,000	13,850	126	150	18	769.4	3.6	3.6	○	○
RF4	8,800	5,960	68	150	8	745.0	3.6	3.6	○	×
RF4A	7,000	9,170	131	150	12	764.2	3.6	3.6	○	○
RF1G	10,000	14,700	147	150	20	735.0	3.6	3.6	○	○
RF6	12,000	7,590	63	150	10	759.0	4.2	4.2	○	×
RF6A	12,000	5,890	49	150	8	736.3	4.2	4.2	○	×
RF9, RF9A	11,700	3,200	27	150	4	800.0	4.8	4.8	○	×
RF6B	12,000	4,590	38	150	6	765.0	4.2	4.2	○	×
RF6C	11,000	10,060	91	150	14	718.6	4.2	4.2	○	×
RF7	11,550	7,990	69	150	12	665.8	4.4	4.4	○	×
RF8	12,000	800	7	150	2	400.0	4.8	4.8	○	×
RF8A	12,000	1,990	17	150	4	497.5	4.8	4.8	○	×
RF8B	12,000	3,840	32	150	6	640.0	4.8	4.8	○	×
RF8C	12,000	850	7	150	2	425.0	4.8	4.8	×	×
RF13	22,000	850	4	150	2	425.0	4.8	4.8	×	×
RF4D	9,200	5,950	65	150	8	743.8	3.8	3.8	○	×
RF4B	9,200	6,270	68	150	8	783.8	3.8	3.8	○	×
RF4C	6,000	7,900	132	150	10	790.0	3.8	3.8	○	×
RF1H	7,000	8,490	121	150	12	707.5	3.6	3.6	○	○
RF6D	11,000	14,290	130	150	19	752.1	4.2	4.2	○	○
RF10A	14,900	5,340	36	150	8	667.5	5.0	5.0	○	×
RF11	7,000	8,910	127	150	12	742.5	3.6	3.6	○	○
RF9B	11,000	4,000	36	150	5	800.0	4.8	4.8	○	×
RF9C	11,500	3,000	26	150	4	750.0	4.8	4.8	○	×
RF9D	12,900	7,380	57	150	12	615.0	4.8	4.8	○	×
RF10	14,900	4,800	32	150	6	800.0	5.0	5.0	○	×
RF14	10,000	12,670	127	150	16	791.9	4.0	5.5	○	×
RF15	15,800	4,500	28	150	6	750.0	5.0	6.5	○	×
RF21	5,000	990	20	150	2	495.0	—	—	○	—
RF21A	5,000	1,390	28	150	2	695.0	—	—	○	—
RF22	14,500	7,000	48	150	10	700.0	—	—	○	—
RF22A	5,000	2,010	40	150	4	502.5	—	—	○	—

※ 마이크로파일 본당하중 : 기초 설계하중(증가분) 전체를 마이크로파일이 균등하게 지지하는 것으로 가정

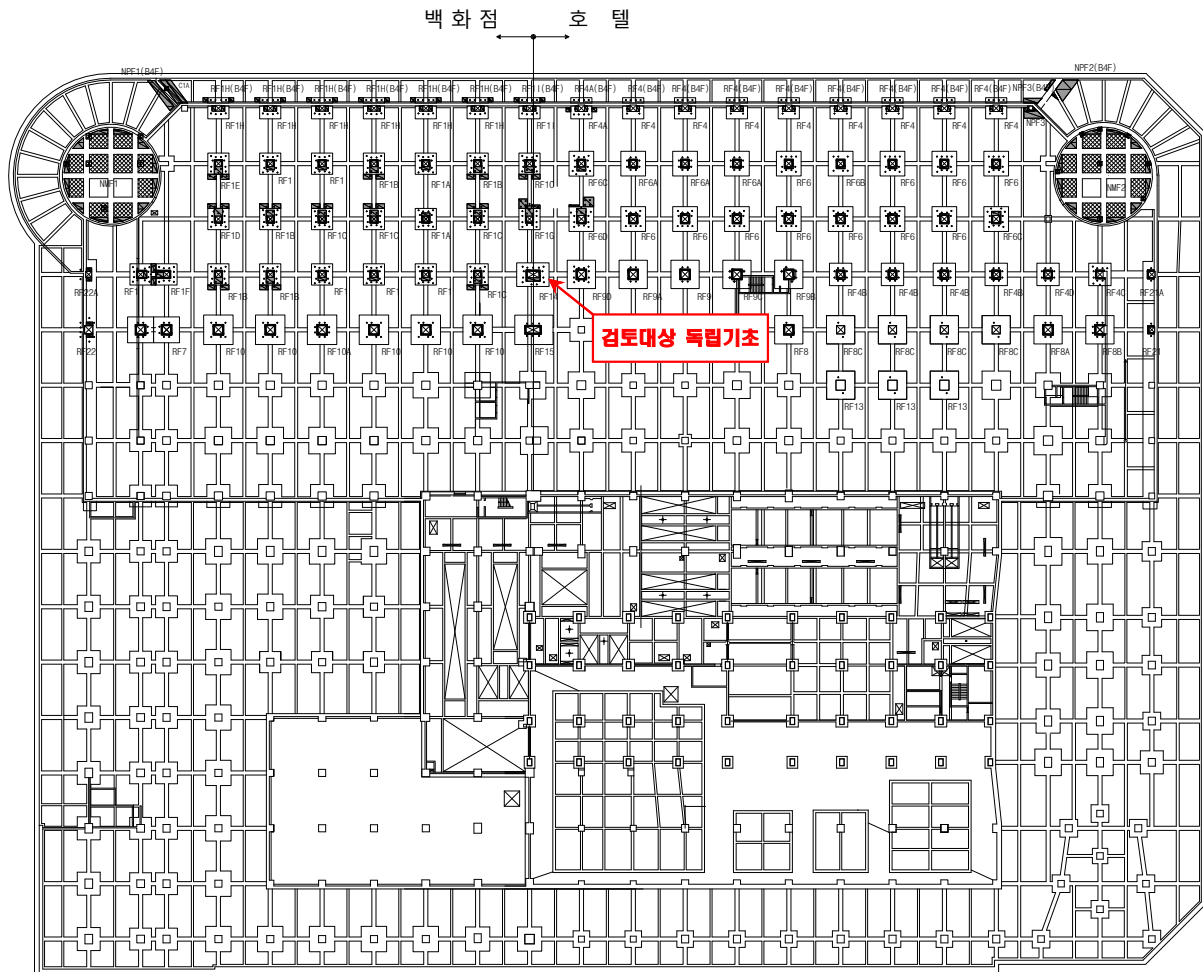


그림 3.1 기초보강 안내도

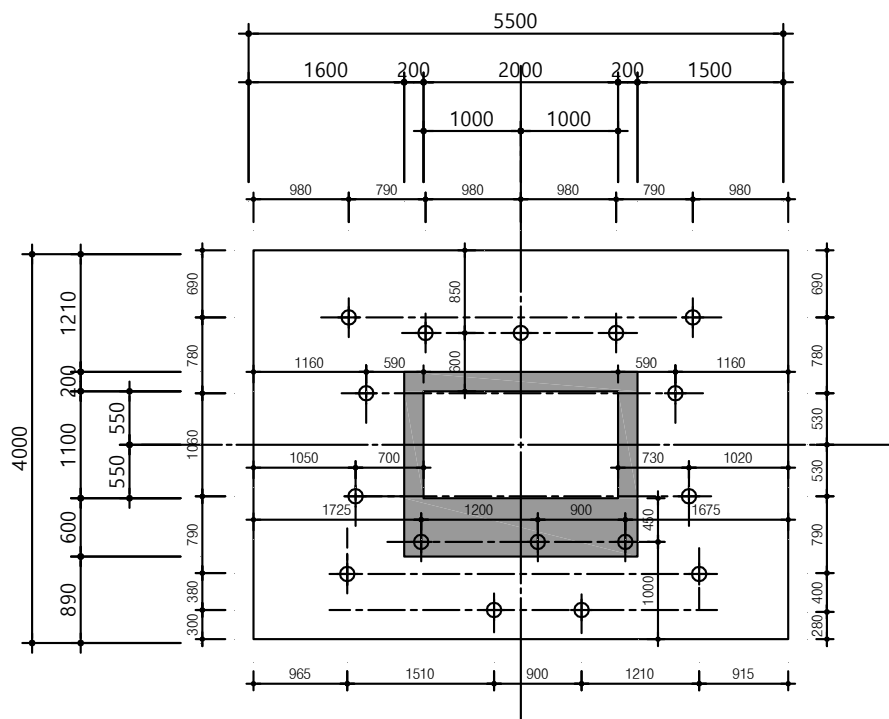


그림 3.2 검토대상 독립기초(RF14) 보강 상세도

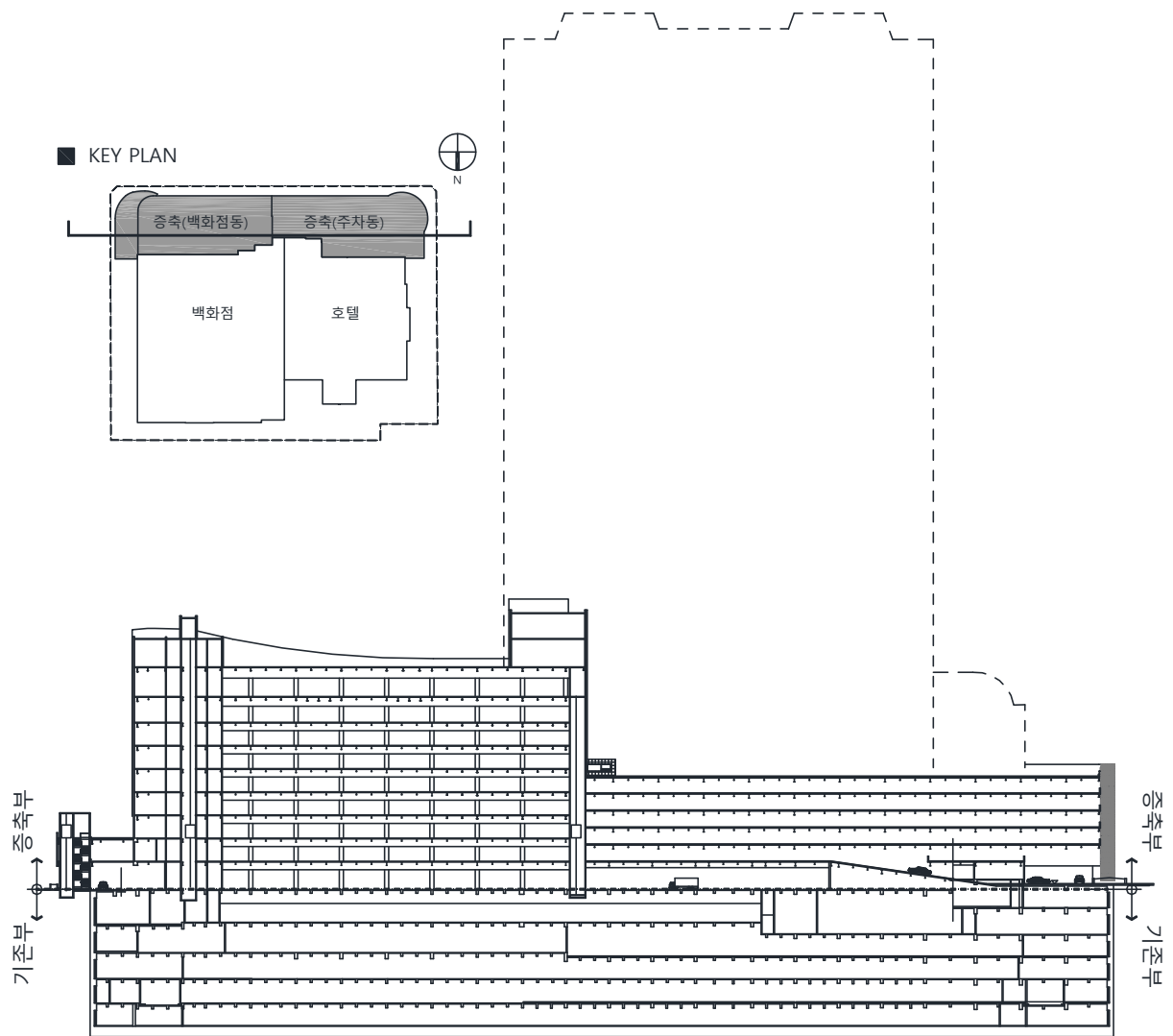


그림 3.3 횡단면도

(2) 말뚝지지 독립기초 안정성 검토

(가) 해석개요

① 기본방향

- 시공단계 및 마이크로파일-독립기초-지반의 상호작용 고려
- 마이크로파일의 하중분담율 산정
- 독립기초 및 말뚝지지 독립기초의 침하량 산정
- 마이크로파일 선재하 영향 검토

② 해석프로그램

- 수치해석 프로그램은 상용 유한요소해석 프로그램인 MIDAS/GTS NX 사용
- GTS NX는 지반 및 터널 시스템의 상세해석을 위해 개발된 프로그램이며, 해석을 효과적으로 수행하기 위하여 지반 및 터널의 정확한 모델링을 위한 다양하고 특화된 요소 제공

(나) 검토조건

① 시공단계

표 3.16 해석 CASE별 시공단계

구 분	독립기초 (CASE1)	말뚝지지 독립기초 (CASE2)	선재하 말뚝지지 독립기초 (CASE3)
1단계	원지반	원지반	원지반
2단계	터파기 완료	터파기 완료	터파기 완료
3단계	독립기초 설치, 뒤채움 및 바닥슬래브 설치	독립기초 설치, 뒤채움 및 바닥슬래브 설치	독립기초 설치, 뒤채움 및 바닥슬래브 설치
4단계	현재상태	현재상태	현재상태
5단계	증축	마이크로파일 설치 및 증축	마이크로파일 설치 및 선재하
6단계	—	—	증축

- 1단계 원지반 상태 모사시, 지반은 독립기초 하부지반(풍화암)만을 모델링하였으며, 원지반의 초기응력 분포상태를 산정하기 위해, 이전에 굴착되었던 지반(매립층~풍화암)의 자중을 기초 하부면 위치에 유효상재하중으로 적용
- 2단계 터파기는 독립기초 하부면까지 굴착하는 것으로 하였으며, 터파기 완료시 지하수위는 독립기초 하부면에 위치하는 것으로 가정
- 3단계 독립기초 측면부 뒤채움 및 바닥슬래브는 등분포하중으로 적용
- 4단계 현재상태에서 기초 설계하중(기존) 재하
- 5~6단계 증축시 증가된 하중 반영

② 지반조건

- 지하수위, 지반정수, 지층구성 및 층후 등 지반관련 제반조건은 기 수행된 지반 조사 결과(부산 롯데백화점 증축공사 구조물 기초보강 설계 보고서-토우엔지니어링, 2015.09)를 반영하였으며, 대표 시추공으로 BH-3을 적용함

③ 경계조건

- 해석영역의 크기 : 폭 40.0m, 길이 55.0m, 깊이 40.0m
 - 독립기초(4.0m×5.5m) 크기의 10배 및 마이크로파일 설치길이(15.5m)의 2.5배 이상
- 지반경계조건 : 수직면 수평방향 변위구속, 저면부 수직방향 변위구속

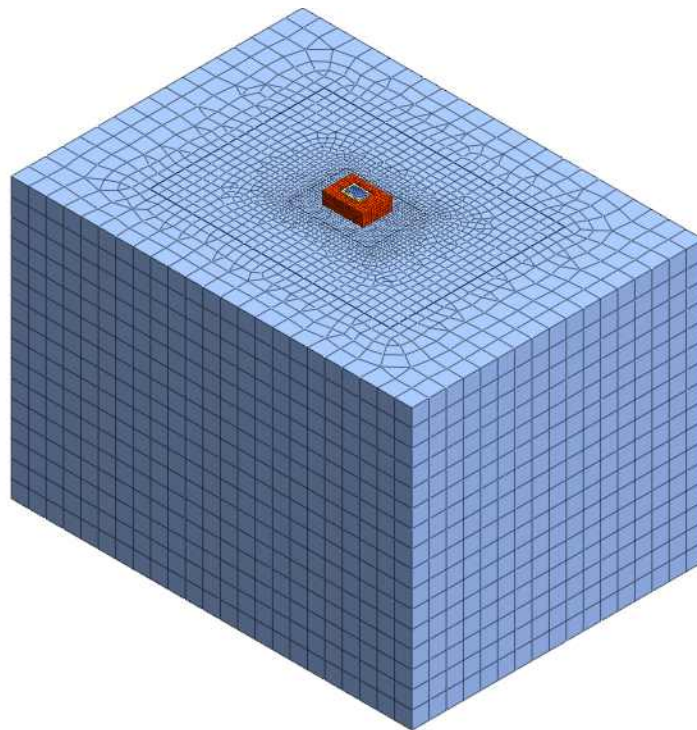


그림 3.4 3차원 유한요소망

④ 기타

- 인접 독립기초 및 Footing Girder의 영향으로 인한 지반의 응력, 변형률 등의 변화는 고려하지 않음

(다) 적용하중

표 3.17 적용하중

구 분	해석 적용하중 산정					
수 압	● 지하수위 이하 정수압 적용					
	구 분	지하수위	비 고			
	원지반	GL(-)26.70m	BH-3 시추공 기준으로 가정			
	현지반	GL(-)28.60m	독립기초 하부면에 위치한다고 가정			
독립기초 하부면 위치 유효상재하중	● BH-3 시추공 기준으로 산정					
	구 분	심도 (m)	층두께 (m)	전체단위중량 (kN/m³)	수중단위중량 (kN/m³)	작용하중 (kPa)
	매립층	2.30	2.30	18.00	-	41.40
	퇴적층	3.50	1.20	18.00	-	21.60
	풍화토층	18.00	14.50	19.00	-	275.50
	풍화암층	26.70	8.70	21.00	-	182.70
		28.60	1.90	-	22.00	22.80
	Σ		28.60			544.00
독립기초 측면부 되메움 및 바닥슬래브	구 분		층두께 (m)	단위중량 (kN/m³)	작용하중 (kPa)	
	바닥슬래브		0.15	24.00	3.60	
	되메움 토사		1.60	18.00	28.80	
	Σ		1.75		32.40	
기초 설계하중 (건축하중-기둥)	구 분	기둥 크기 (m)	설계축력 (kN)	작용하중 (kPa)		
	기 준	1.1×2.0	10,000	10,000/(1.1×2.0) = 4,545		
	증 축	1.9×2.4	10,000 + 12,670	10,000/(1.1×2.0)+12,670/(1.9×2.4) = 7,324 → 기존 기둥부 12,670/(1.9×2.4) = 2,779 → 기둥 확장부		
마이크로파일 선재하	● 본당 200kN(압축) ⇒ 마이크로파일 두부에 길이 0.05m Beam 요소를 모델링하여 프리스트레스 도입					
자 중	● 프로그램 내에서 자동 산정					

(라) 지반 및 기초구조물 재료 물성

- 재료의 탄성계수 및 포아송비는 도로교 설계기준(국토해양부, 2010)에 근거하여 적용하였으며, 독립기초 및 마이크로파일의 그라우트재의 단위중량은 각각 24kN/m^3 및 23kN/m^3 로 가정함

– 독립기초 탄성계수

$$m_c = 2,400\text{kg/m}^3, f_{ck} = 24\text{MPa}, f_{cu} = f_{ck} + 8 = 24 + 8 = 32\text{MPa}$$

$$E_c = 0.077m_c^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} = 0.077 \times (2,400)^{1.5} \times \sqrt[3]{32} = 28,700\text{MPa}$$

– 마이크로파일 그라우트재 탄성계수

$$m_{\text{grout}} = 2,300\text{kg/m}^3, f_{c-\text{grout}} = 24\text{MPa}, f_{cu} = f_{c-\text{grout}} + 8 = 24 + 8 = 32\text{MPa}$$

$$E_{\text{grout}} = 0.077m_{\text{grout}}^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} = 0.077 \times (2,300)^{1.5} \times \sqrt[3]{32} = 27,000\text{MPa}$$

– 마이크로파일 환산단면적

$$A = A_{\text{bar}} + A_{\text{grout}} \times \frac{E_{\text{grout}}}{E_{\text{bar}}} = \frac{\pi}{4}(0.065)^2 + \frac{\pi}{4}[(0.15)^2 - (0.065)^2] \times \frac{27,000}{205,000}$$

$$= 0.005208\text{m}^2$$

– 마이크로파일 환산단면2차모멘트

$$I = I_{\text{bar}} + I_{\text{grout}} \times \frac{E_{\text{grout}}}{E_{\text{bar}}} = \frac{\pi}{64}(0.065)^4 + \frac{\pi}{64}[(0.15)^4 - (0.065)^4] \times \frac{27,000}{205,000}$$

$$= 4.03 \times 10^{-6}\text{m}^4$$

표 3.18 지반물성(부산 롯데백화점 증축공사 구조물 기초보강 설계 보고서-토우엔지니어링, 2015.09)

구 분	Model	전체단위중량 γ_t (kN/m^3)	내부마찰각 ϕ ($^\circ$)	점착력 C (kPa)	탄성계수 E (MPa)	포아송비 ν
풍화암층	소성재료 (Mohr-coulomb)	21.0	34.8	31.0	240	0.30

표 3.19 재료물성

구 분	Model	제 원	탄성계수 E (MPa)	포아송비 ν
독립기초	탄성재료	$4.0\text{m} \times 5.5\text{m} \times 1.75\text{m}$	28,700	0.17
마이크로파일	탄성재료 (Beam 요소)	환산단면적 : 0.005208m^2 환단단면2차모멘트 : $4.03 \times 10^{-6}\text{m}^4$ $\Rightarrow$ 강제로 환산	205,000	0.30

(마) 경계면 물성

① 마이크로파일 정재하시험 결과 분석

- 재료의 탄성계수 및 포아송비는 도로교 설계기준(국토해양부, 2010)에 근거하여 적용하였으며, 마이크로파일 두부 보강부 그라우트재의 단위중량은 23kN/m^3 로, 설계기준강도는 45MPa 로 가정

- 마이크로파일 두부보강부 그라우트재 탄성계수

$$m_{\text{grout}} = 2,300\text{kg/m}^3, f_{c-\text{grout}} = 45\text{MPa}, f_{cu} = f_{c-\text{grout}} + 8 = 45 + 8 = 53\text{MPa}$$

$$E_{\text{grout}} = 0.077m_{\text{grout}}^{1.5} \sqrt[3]{f_{cu}} = 0.077 \times (2,300)^{1.5} \times \sqrt[3]{53} = 31,900\text{MPa}$$

- 마이크로파일 두부보강부 환산단면적(강재로 환산)

$$D_{\text{casing}} = 165.2\text{mm}, t_{\text{casing}} = 4.5\text{mm}$$

$$A = A_{\text{bar}} + A_{\text{casing}} + A_{\text{grout}} \times \frac{E_{\text{grout}}}{E_{\text{bar}}}$$

$$= \frac{\pi}{4}(0.065)^2 + \frac{\pi}{4}[(0.1652)^2 - (0.1652 - 2 \times 0.0045)^2]$$

$$+ \frac{\pi}{4}[(0.1652 - 2 \times 0.0045)^2 - (0.065)^2] \times \frac{31,900}{205,000} = 0.008055\text{m}^2$$

- 하중재하 단계별 두부보강부의 탄성압축량(δ_{er})을 산정해 마이크로파일 실제 두부(기초판 하부면) 침하량을 추정하였으며, 그 결과는 표 3.20과 같음

- 하중재하 단계별 마이크로파일 두부 침하량

$$\text{두부보강부 길이}(d) = 0.2\text{m}(\text{기초판 상부 노출 길이}) + 1.75\text{m}(\text{기초판 두께}) = 1.95\text{m}$$

$$s = s_m - \delta_{er} = s_m - \frac{P_i d}{EA} = s_m - \frac{1.95\text{m}}{(205,000,000\text{kPa})(0.008055\text{m}^2)} \times P_i$$

표 3.20 정재하시험(압축) 결과 및 마이크로파일 두부 침하량 추정

재하 하중 P_i (kN)	두부보강부 탄성 압축량 δ_{er} (mm)	TYPE-1 (L=13.5m)		TYPE-2 (L=14.5m)		TYPE-3 (L=15.5m)		TYPE-4 (L=16.5m)	
		침하량(mm)		침하량(mm)		침하량(mm)		침하량(mm)	
		계측 s_m	두부 s	계측 s_m	두부 s	계측 s_m	두부 s	계측 s_m	두부 s
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
200	0.24	0.78	0.54	1.15	0.91	0.43	0.19	0.59	0.35
400	0.47	1.77	1.30	2.43	1.96	1.24	0.77	1.25	0.78
600	0.71	2.83	2.12	3.49	2.78	2.19	1.48	2.17	1.46
800	0.94	4.29	3.35	4.60	3.66	3.68	2.74	3.08	2.14
1,000	1.18	5.92	4.74	5.64	4.46	5.19	4.01	4.13	2.95
1,200	1.42	7.44	6.02	6.58	5.16	6.58	5.16	5.24	3.82
1,400	1.65	9.56	7.91	7.56	5.91	7.94	6.29	6.26	4.61
1,600	1.89	11.48	9.59	8.52	6.63	9.27	7.38	7.25	5.36

- 마이크로파일 축하중 분포양상을 파악하기 위해, 마이크로파일 선단부에는 하중이 전이되지 않고, 발휘된 주변마찰력이 깊이에 관계없이 일정한 경우(그림 3.5 참조)에 대해 마이크로파일의 탄성압축량(=두부 침하량)을 산정하였으며, 그 결과는 표 3.21과 같음

– 마이크로파일 탄성압축량

$$\delta_e = \frac{1}{2} \frac{PL}{EA} = \frac{1}{2} \times \frac{(1,600\text{kN})}{(205,000,000\text{kPa})(0.005208\text{m}^2)} \times L$$

표 3.21 마이크로파일 두부 침하량 비교

재하 하중 P_i (kN)	TYPE-1 (L=13.5m)		TYPE-2 (L=14.5m)		TYPE-3 (L=15.5m)		TYPE-4 (L=16.5m)	
	두부 침하량 s (mm)	탄성 압축량 δ_e (mm)	두부 침하량 s (mm)	탄성 압축량 δ_e (mm)	두부 침하량 s (mm)	탄성 압축량 δ_e (mm)	두부 침하량 s (mm)	탄성 압축량 δ_e (mm)
1,600	9.59	10.12	6.63	10.87	7.38	11.61	5.36	12.36

- 표 3.21과 같이, 마이크로파일 두부 침하량(계측 보정)이 탄성압축량(축하중 분포 가정)보다 작으므로, 실제 마이크로파일 축하중 분포는 그림 3.6과 같은 형상 중 하나와 유사할 것으로 추정됨

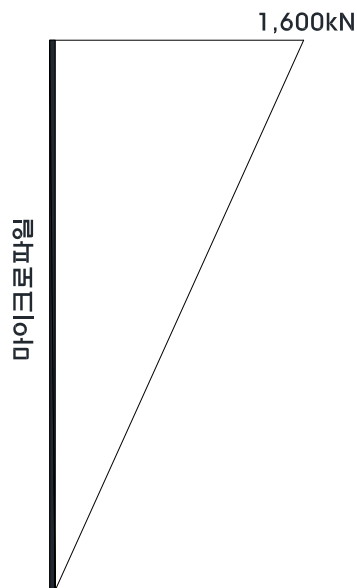


그림 3.5 축하중 분포양상(가정)

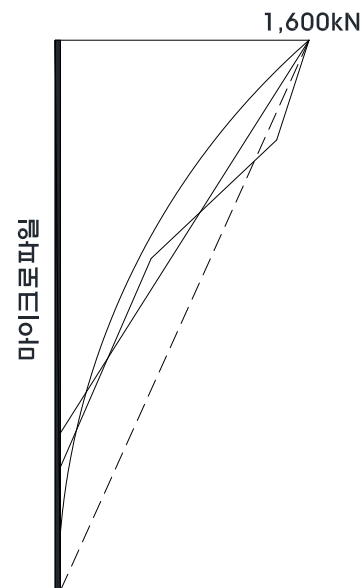


그림 3.6 실제 축하중 분포양상(추정)

② 경계면 물성

- 마이크로파일의 거동을 모사하기 위하여 경계면 요소 적용
- 경계면 물성(극한전단력 및 전단강성계수)을 산정하기 위해 본 해석과 동일한 조건(지반 및 경계조건)에서 길이 15.5m 단독말뚝을 모델링하여 정재하시험을 수치해석적으로 모사함
- 아래와 같은 가정조건하에서, 최종 시험하중(1,600kN) 작용시 두부 침하량의 계측값과 해석결과가 유사한 값이 될 때까지 극한전단력 및 전단강성계수 값을 변경하면서 반복해석을 수행하였으며, 경계면 물성 최종 적용값 및 마이크로파일 두부 하중-침하 곡선은 각각 표 3.22 및 그림 3.7과 같음
 - 안전측으로 검토하기 위해 정재하시험 침하량 계측치를 마이크로파일 실제 두부 침하량으로 적용
 - 주면부 경계면 특성은 해석의 단순화를 위해 깊이에 따라 일정한 것으로 가정
 - 마이크로파일은 상대적으로 단면적이 작아 설계시 선단지지력을 일반적으로 고려하지 않고(토사층 및 연약한 암반에 근입된 경우), 재하시험 분석결과 선단부로는 하중이 전이되지 않는 것으로 판단되므로, 선단부 경계면 물성은 적용하지 않음
 - 주면부 수직강성계수는 지반(풍화암)의 탄성계수 값과 동일한 것으로 가정
 - 극한전단력은 마이크로파일과 주변 지반과의 상대변위가 1.5mm(마이크로파일의 직경의 1%)일 때 발생하는 것으로 가정
 - ⇒ 현장타설말뚝의 경우, 주면마찰력 최대값은 말뚝 직경의 0.5~3.0%에 해당하는 상대변위가 있을 때 발생함

표 3.22 마이크로파일 경계면 물성

대상 지반	주 면 부		
	극한전단력 (kPa)	전단강성계수 K_t (kPa/m)	수직강성계수 K_n (kPa/m)
풍화암	218	145,000	240,000

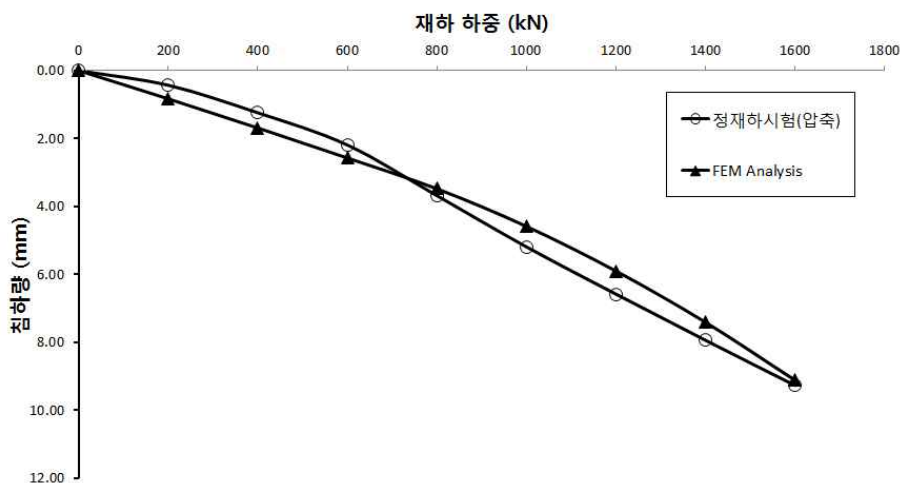
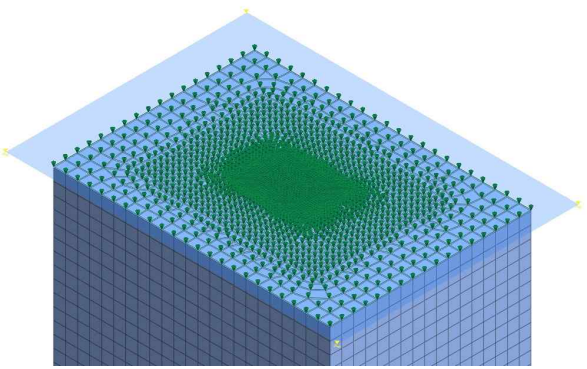
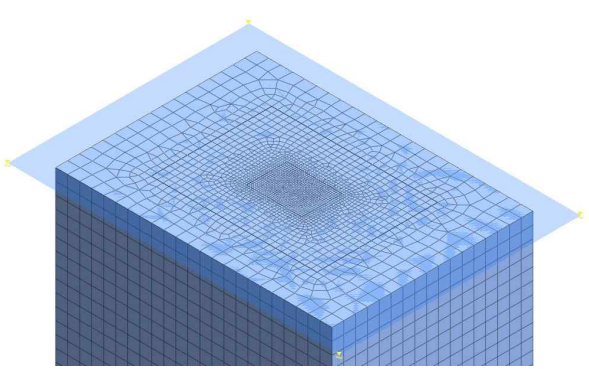
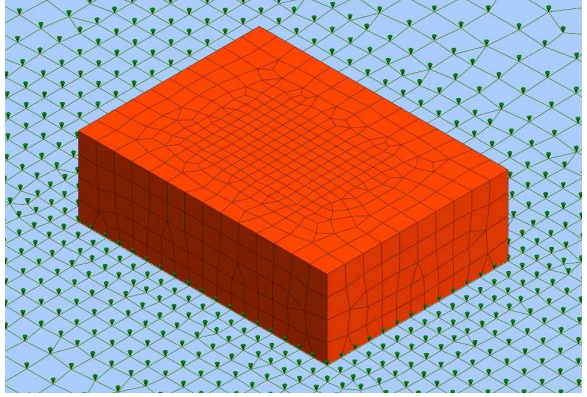
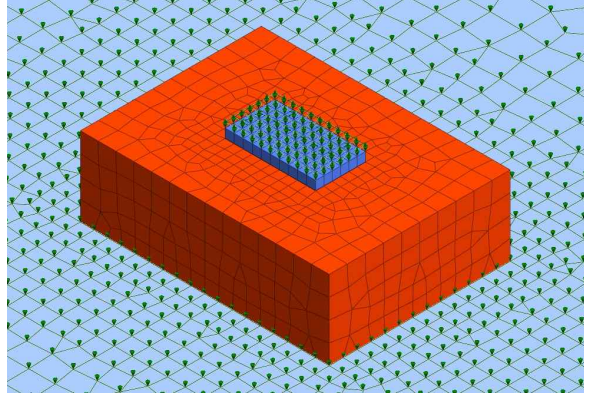
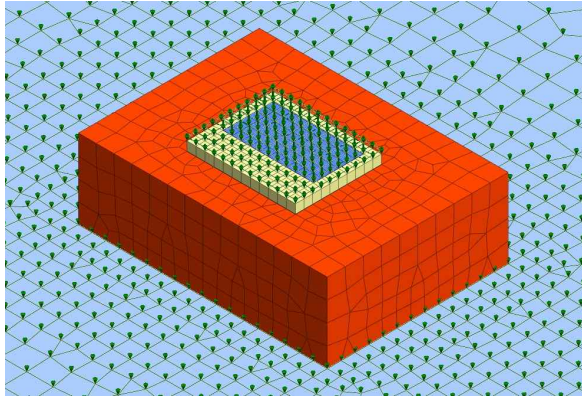
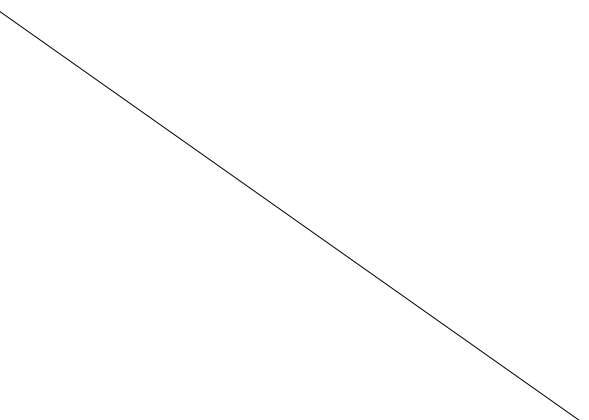


그림 3.7 마이크로파일(L=15.5m) 두부 하중-침하 곡선

(바) 해석모델링

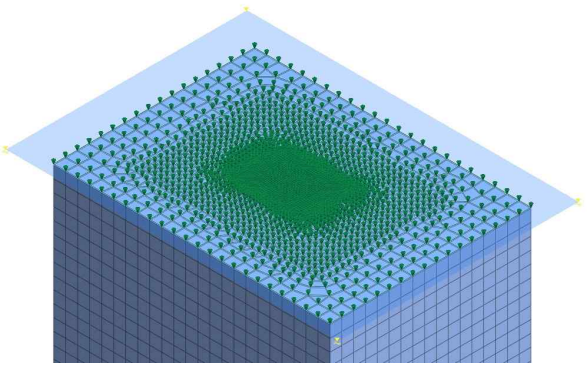
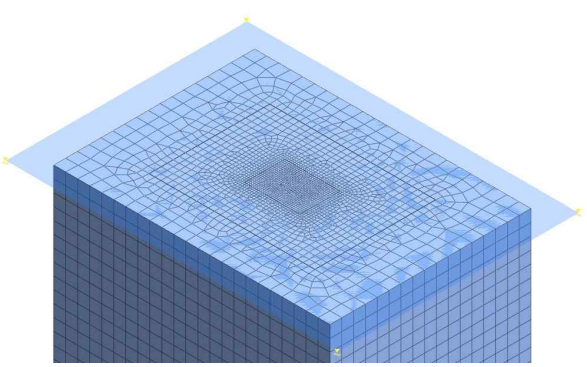
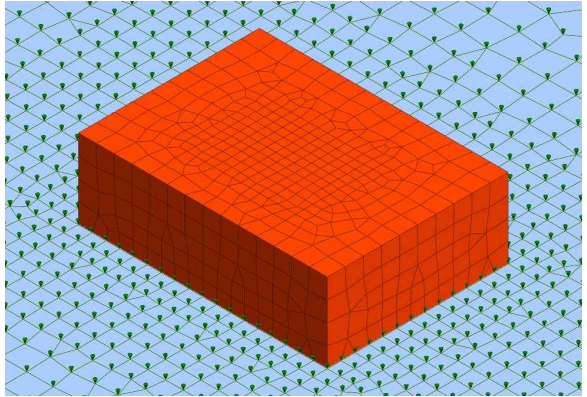
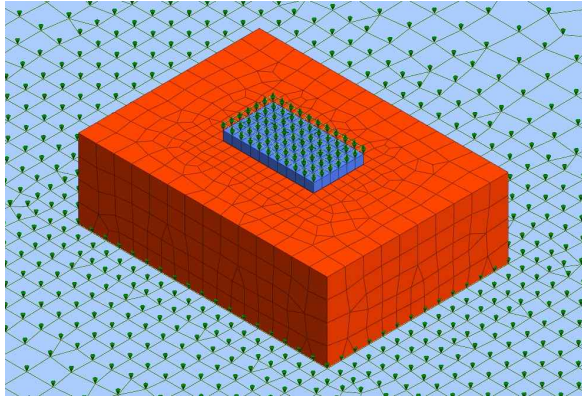
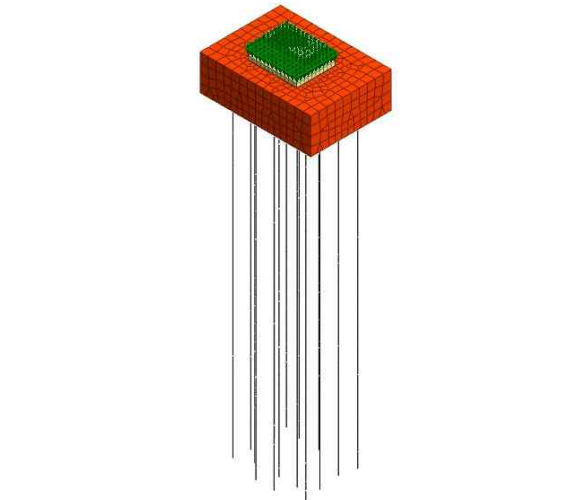
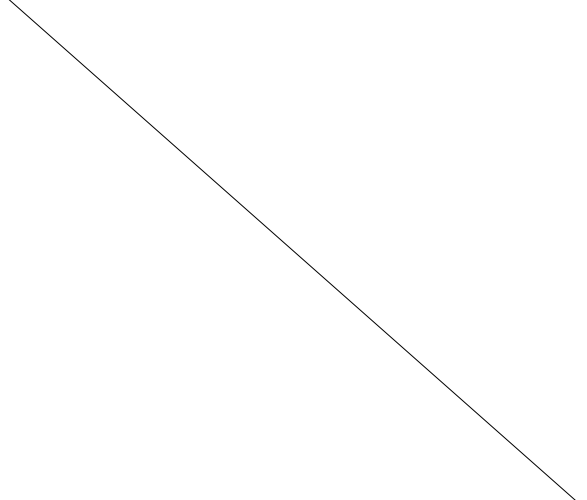
① 독립기초(CASE1)

표 3.23 시공단계 모델링 (CASE1)

1단계 : 원지반	2단계 : 터파기 완료
	
3단계 : 독립기초 설치, 뒤채움 및 바닥슬래브 설치	4단계 : 현재상태-기초 설계하중(기존) 재하
	
5단계 : 증축-기초 설계하중(증축) 재하	—
	

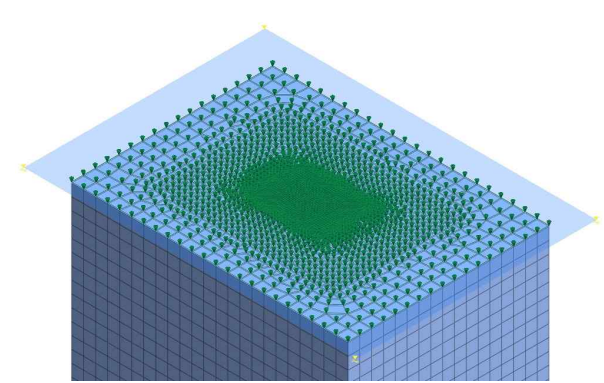
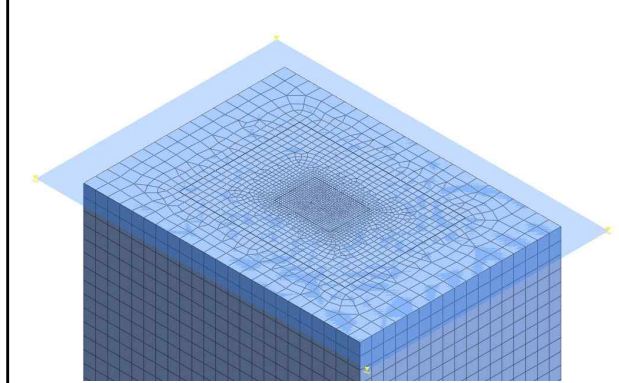
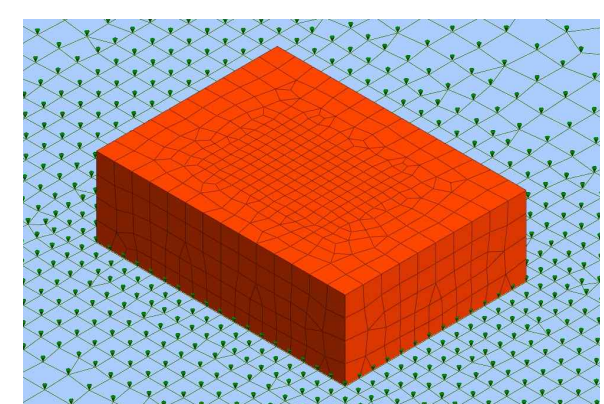
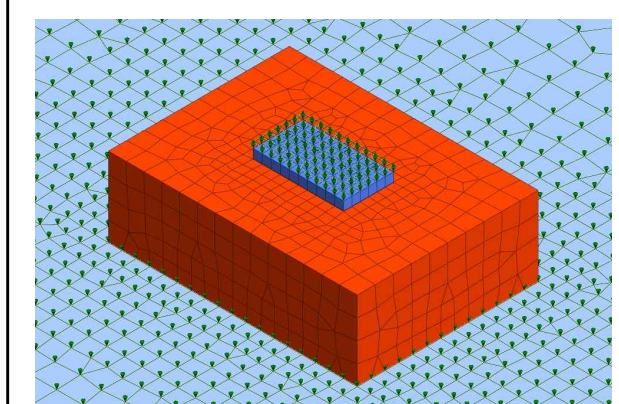
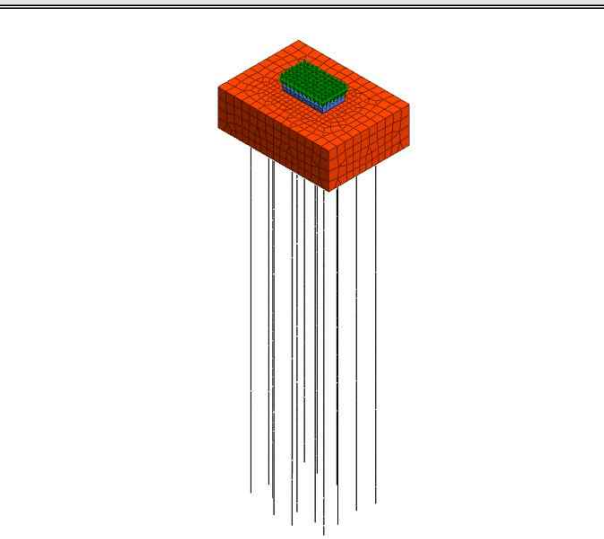
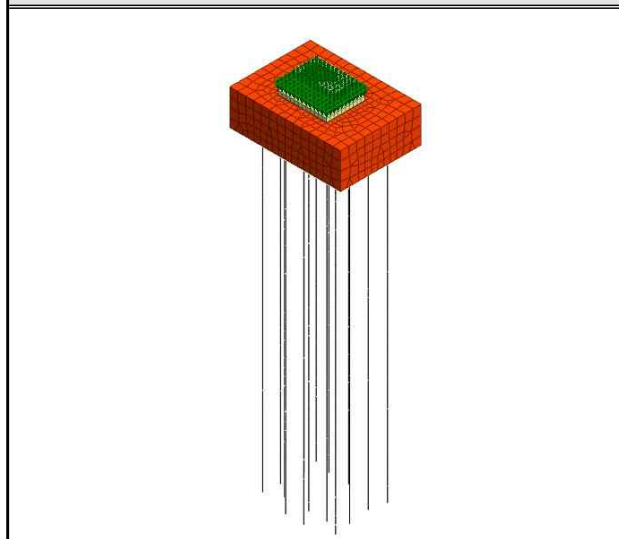
② 말뚝지지 독립기초(CASE2)

표 3.24 시공단계 모델링(CASE2)

1단계 : 원지반	2단계 : 터파기 완료
	
3단계 : 독립기초 설치, 뒤채움 및 바닥슬래브 설치	4단계 : 현재상태-기초 설계하중(기준) 재하
	
5단계 : 마이크로파일 설치, 증축-기초 설계하중(증축) 재하	—
	

③ 선재하 말뚝지지 독립기초(CASE3)

표 3.25 시공단계 모델링(CASE3)

1단계 : 원지반	2단계 : 터파기 완료
	
3단계 : 독립기초 설치, 뒤채움 및 바닥슬래브 설치	4단계 : 현재상태-기초 설계하중(기준) 재하
	
5단계 : 마이크로파일 설치 및 선재하	6단계 : 증축-기초 설계하중(증축) 재하
	

(사) 해석결과

① 기초판 상부면 침하량

표 3.26 침하량 산정 결과

(mm)

구 분	독립기초 (CASE1)	말뚝지지 독립기초 (CASE2)	선재하 말뚝지지 독립기초 (CASE3)
[1]	10.38	6.16	5.54
[2]	10.70	6.30	5.65
[3]	10.41	6.03	5.37
평균치	10.50	6.16	5.52
[4]	7.94	5.31	4.87
[5]	8.20	5.45	4.98
[6]	7.97	5.20	4.74
평균치	8.04	5.32	4.86

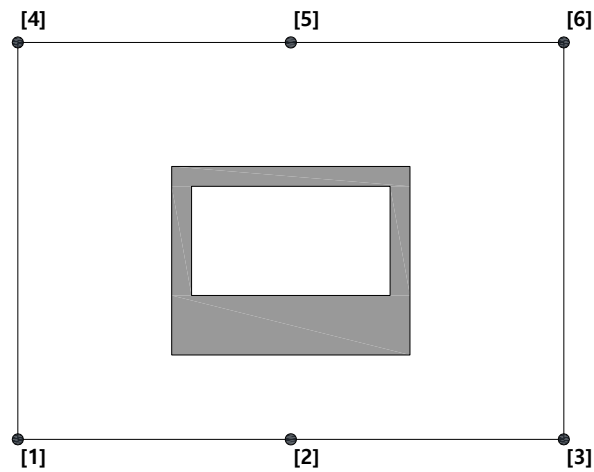


그림 3.8 침하량 산정 위치

표 3.27 해석결과-기초판 침하량

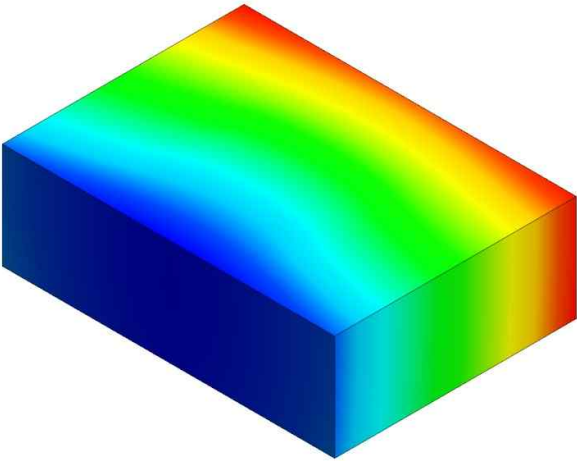
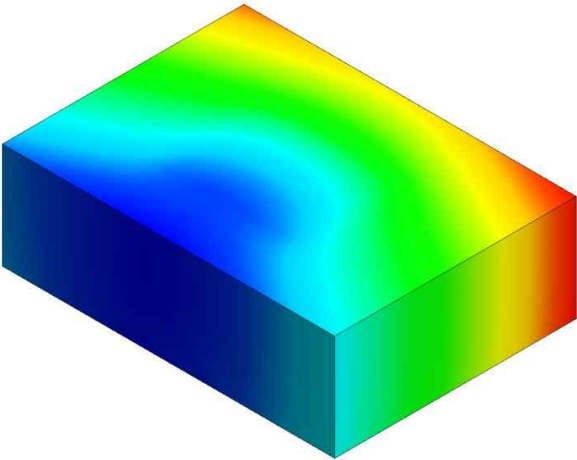
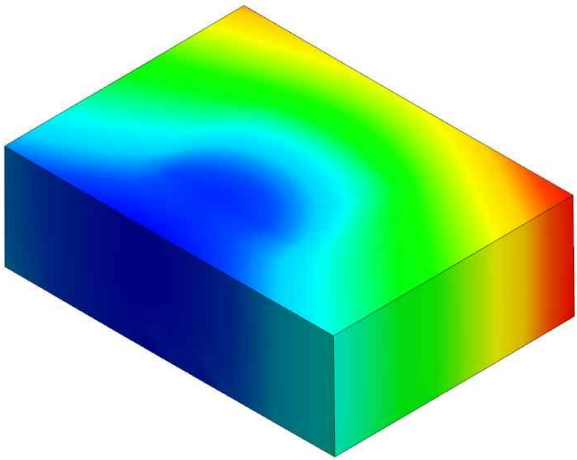
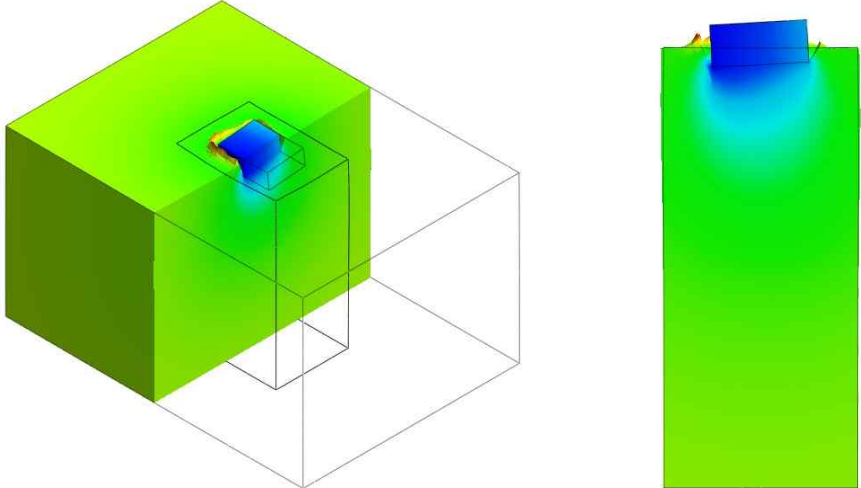
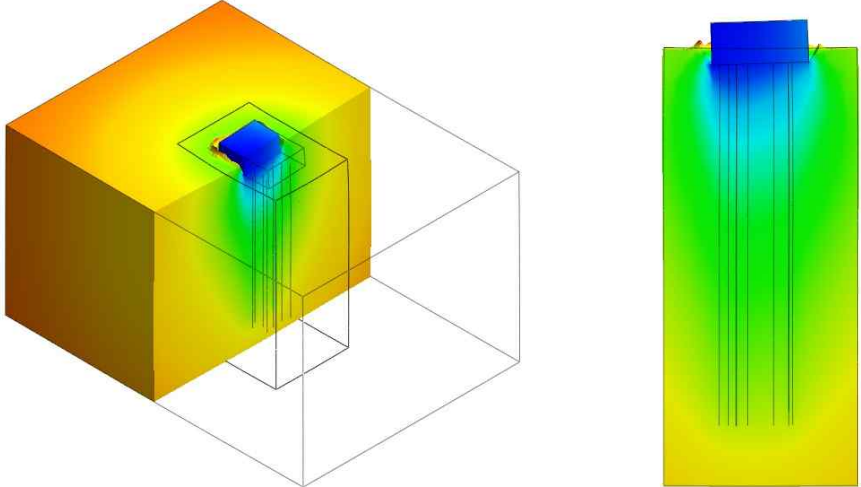
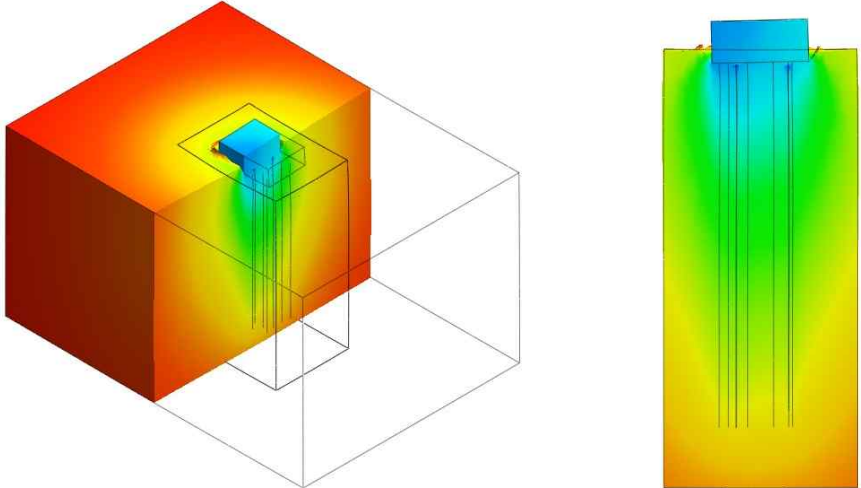
구 분	해 석 결 과
독립기초	 DISPLACEMENT T2, m 0.9% 8.12768e-003 3.7% 8.36170e-003 7.4% 8.59573e-003 8.7% 8.82975e-003 9.1% 9.06377e-003 10.0% 9.29780e-003 11.2% 9.53182e-003 12.1% 9.76584e-003 11.9% 9.99987e-003 13.6% 1.02339e-002 8.2% 1.04679e-002 3.2% 1.07019e-002
말뚝지지 독립기초	 DISPLACEMENT T2, m 0.2% 5.15710e-003 1.1% 5.25212e-003 3.9% 5.34714e-003 7.5% 5.44216e-003 7.4% 5.53719e-003 9.1% 5.63221e-003 9.7% 5.72723e-003 12.4% 5.82225e-003 14.9% 5.91728e-003 16.2% 6.01230e-003 12.7% 6.10732e-003 9.8% 6.20235e-003 6.2% 6.29737e-003
선재하 말뚝지지 독립기초	 DISPLACEMENT T2, m 0.2% 4.72631e-003 0.9% 4.80449e-003 3.0% 4.88267e-003 6.1% 4.96085e-003 7.7% 5.03903e-003 9.0% 5.11721e-003 9.6% 5.19538e-003 11.8% 5.27356e-003 14.2% 5.35174e-003 16.4% 5.42992e-003 14.5% 5.50810e-003 6.6% 5.58628e-003 6.6% 5.66446e-003

표 3.28 해석결과-침하형상(연직방향)

구 분	해 석 결 과
독립기초	
말뚝지지 독립기초	
선재하 말뚝지지 독립기초	

② 마이크로파일 두부 축력

- 전통적인 말뚝기초 설계방법(마이크로파일이 모든 수직하중을 지지)으로 각 마이크로파일에 작용하는 축력을 산정한 결과는 표 3.30과 같으며, 유한요소해석 결과는 표 3.31과 같음

- 마이크로파일 본당 축력

$$P = \frac{Q}{n} + \frac{M_x \cdot d_{yi}}{\sum_{i=1}^n d_{yi}^2} + \frac{M_y \cdot d_{xi}}{\sum_{i=1}^n d_{xi}^2}$$

여기서, P = 마이크로파일에 작용하는 본당 축력

Q = 마이크로파일 군의 도심에 작용하는 전체 수직하중

n = 전체 마이크로파일의 수

M = 마이크로파일 군의 도심에 작용하는 전체 모멘트

d_i = 마이크로파일 군의 도심에서 해당 마이크로파일까지의 거리

- 마이크로파일 군의 도심 위치

$$y = [2(3.700m) + 2(3.330m) + 3(3.000m) + 2(2.530m) + 2(1.470m) + 3(0.850m) + 2(0.690m)]/16 = 2.187m$$

$$x = (2.475m + 3.375m + 0.965m + 4.585m + 1.725m + 2.925m + 3.825m + 1.050m + 4.480m + 1.160m + 4.340m + 0.980m + 1.770m + 2.750m + 3.730m + 4.520m)/16 = 2.791m$$

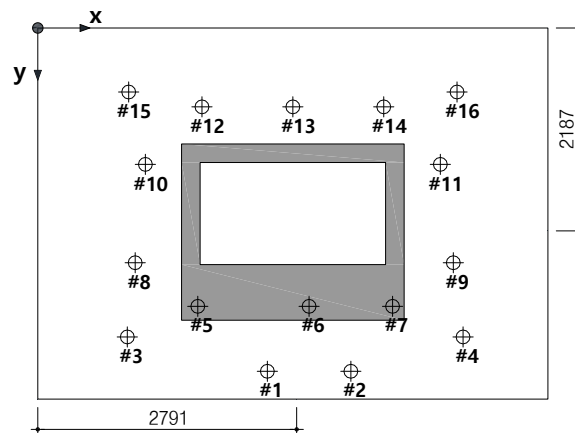


그림 3.9 마이크로파일 군의 도심 위치

표 3.29 마이크로파일 군의 도심 위치에 작용하는 하중

수직하중, Q (kN)	모멘트, M_x (kN·m)	모멘트, M_y (kN·m)
12,670 (증가)	165 (12,670×0.013) 마이크로파일 군의 도심 위치 기준 기둥 중심 편심거리 = 0.013m	519 (12,670×0.041) 마이크로파일 군의 도심 위치 기준 기둥 중심 편심거리 = 0.041m

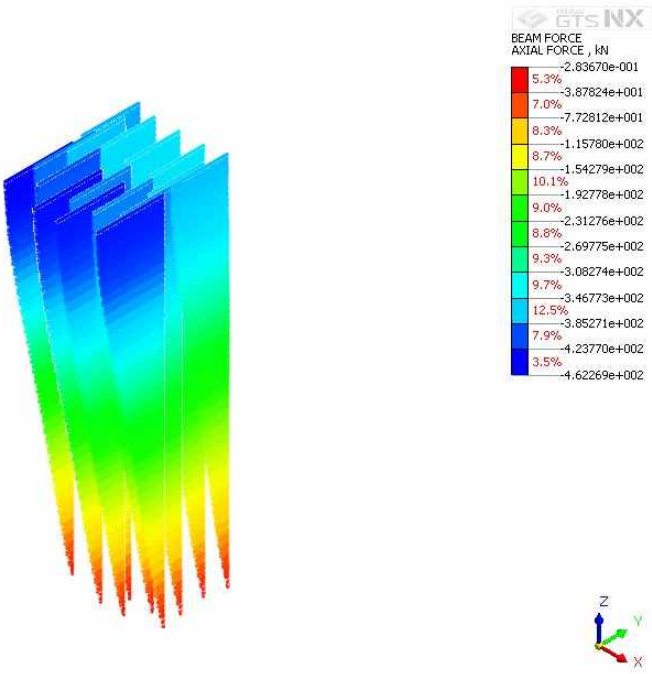
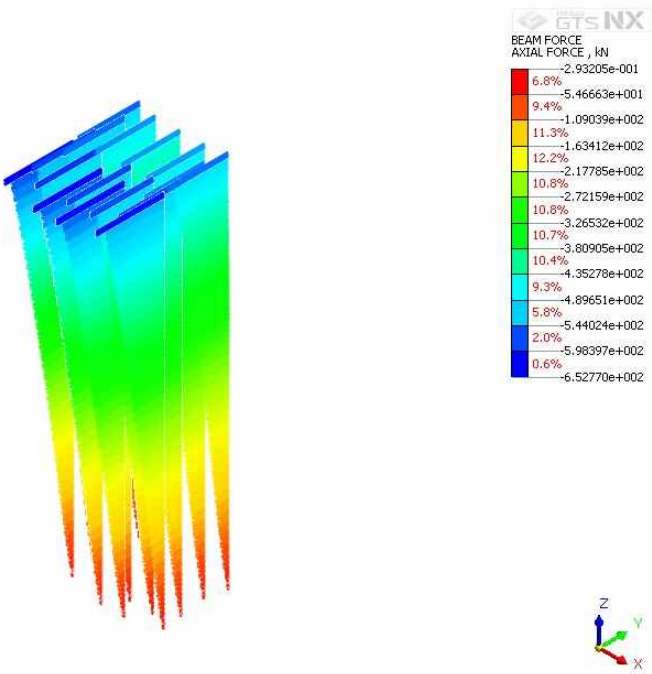
표 3.30 각 마이크로파일에 작용하는 축력

구 분	d_{yi} (m)	d_{xi} (m)	Q/n (kN)	$M_x \cdot d_{yi} / \sum d_{yi}^2$ (kN)	$M_y \cdot d_{xi} / \sum d_{xi}^2$ (kN)	P (kN)
#1	1.513	0.316	791.875	12.308	5.784	810
#2	1.513	-0.584	791.875	12.308	-10.689	793
#3	1.143	1.826	791.875	9.298	33.422	835
#4	1.143	-1.794	791.875	9.298	-32.836	768
#5	0.813	1.066	791.875	6.614	19.511	818
#6	0.813	-0.134	791.875	6.614	-2.453	796
#7	0.813	-1.034	791.875	6.614	-18.926	780
#8	0.343	1.741	791.875	2.790	31.866	827
#9	0.343	-1.689	791.875	2.790	-30.914	764
#10	-0.717	1.631	791.875	-5.833	29.853	816
#11	-0.717	-1.549	791.875	-5.833	-28.352	758
#12	-1.337	1.021	791.875	-10.877	18.688	800
#13	-1.337	0.041	791.875	-10.877	0.750	782
#14	-1.337	-0.939	791.875	-10.877	-17.187	764
#15	-1.497	1.811	791.875	-12.178	33.147	813
#16	-1.497	-1.729	791.875	-12.178	-31.646	748

표 3.31 마이크로파일 두부 축력 비교

구 분		유한요소해석		기존 말뚝기초 설계방식 (표 3.24 참조)
		말뚝지지 독립기초 (CASE2)	선재하 말뚝지지 독립기초 (CASE3)	
마 이 크 로 파 일 축 력 (kN)	#1	457	647	810
	#2	451	641	793
	#3	462	653	835
	#4	449	640	768
	#5	418	611	818
	#6	404	597	796
	#7	403	591	780
	#8	410	600	827
	#9	399	591	764
	#10	382	576	816
	#11	373	565	758
	#12	367	559	800
	#13	364	555	782
	#14	361	554	764
	#15	391	581	813
	#16	383	577	748
	Σ	6,474	9,538	12,670
설계하중(증가) (kN)		12,670	12,670	12,670
말뚝 하중분담율 (%)		51	75	100

표 3.32 해석결과-마이크로파일 축하중 분포

구 분	해 석 결 과
말뚝지지 독립기초	 BEAM FORCE AXIAL FORCE , kN -2.83670e-001 5.3% -3.87824e+001 7.0% -7.72812e+001 8.3% -1.15780e+002 8.7% -1.54279e+002 10.1% -1.92778e+002 9.0% -2.31276e+002 8.8% -2.69775e+002 9.3% -3.08274e+002 9.7% -3.46773e+002 12.5% -3.85271e+002 7.9% -4.23770e+002 3.5% -4.62269e+002
선재하 말뚝지지 독립기초	 BEAM FORCE AXIAL FORCE , kN -2.93205e-001 6.8% -5.46663e+001 9.4% -1.09039e+002 11.3% -1.63412e+002 12.2% -2.17785e+002 10.8% -2.72159e+002 10.8% -3.26532e+002 10.7% -3.80905e+002 10.4% -4.35278e+002 9.3% -4.89651e+002 5.8% -5.44024e+002 2.0% -5.98397e+002 0.6% -6.52770e+002

③ 기초 구조물 [CASE2(독립기초⇒말뚝지지 독립기초)] 하중-침하 곡선

- 시공단계를 고려한 3차원 유한요소해석을 통해 기초 구조물의 하중-침하 곡선 산정(그림 3.10 참조)
- 기초 구조물의 설계하중 및 마이크로파일로 보강된 말뚝지지 독립기초의 극한지지력 추정치는 표 3.33과 같음

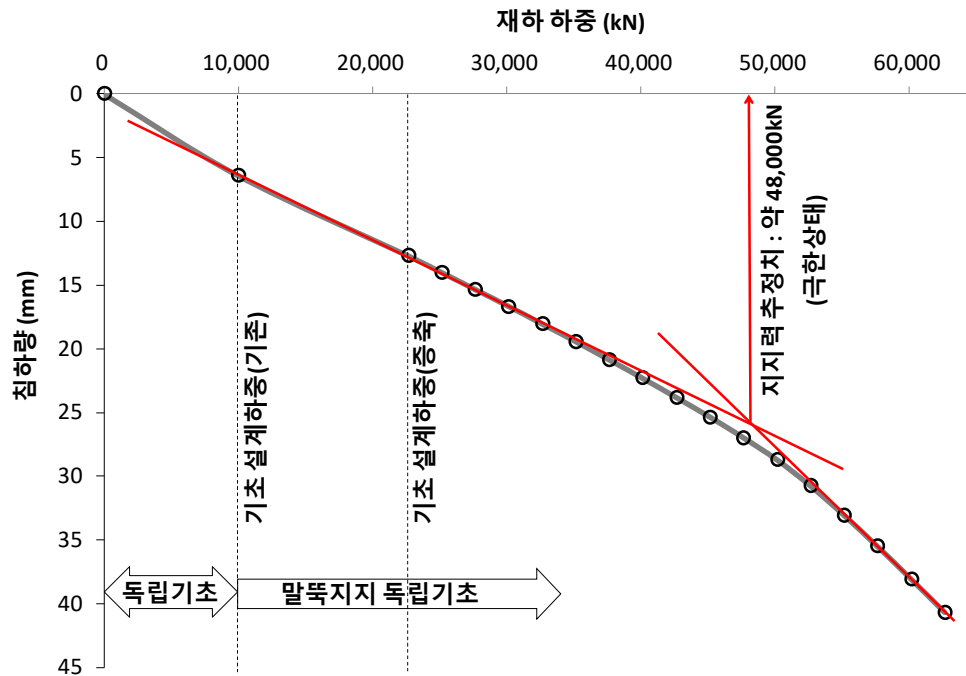


그림 3.10 기초 구조물(CASE2) 하중-침하 곡선

표 3.33 기초 구조물 설계하중 및 극한지지력 추정치(CASE2)

독립기초 설계하중 (kN)	말뚝지지 독립기초 설계하중 (kN)	말뚝지지 독립기초 극한지지력 추정치 (kN)
10,000	22,670 (증축으로 인해 12,670kN 증가)	48,000

(3) 검토결론

(가) 사용하중상태에서의 기초 구조물 침하량

- 건축물 하중이 독립기초에 작용하고 있는 상태이며, 리모델링 공사로 인한 추가 하중을 지지하기 위한 방안으로 독립기초를 마이크로파일로 보강함에 따라, 하중 증가시 보강된 기초 구조물의 침하량을 3차원 유한요소해석(지반-구조물 상호작용과 시공단계 고려)을 통해 산정하였으며, 검토결과 말뚝지지 독립기초의 침하량은 최대 약 6.30mm 정도 발생하는 것으로 검토되었음
- 검토대상 독립기초(RF14)와 가장 가까운 독립기초(미충축 구간)는 약 6.5m 이격되어 있어, 예상 각변위(1/952)가 건물에 균열이 없도록 하는 안정한계치[1/500, 구조물 기초 설계기준 해설(2009), p.33 참조] 보다 작으므로, 기초 구조물은 침하에 대해 안정한 것으로 판단됨
- 마이크로파일을 선재하 할 경우, 침하량이 최대 약 0.70mm 정도 더 감소하는 것으로 검토되었으며, 침하량 차이가 크지 않은 것은 기초지반이 양호하여 전체 예상 침하량 자체가 작기 때문인 것으로 판단됨

(나) 마이크로파일 축력 및 하중분담율

- 기존 말뚝기초 설계방식에 따라 증가하중 전부를 마이크로파일이 지지하는 것으로 설계 반영되어 있으나, 기초 구조물에 하중이 작용할 경우 반드시 침하를 수반하게 되어 있으며, 작용하는 하중은 마이크로파일과 독립기초가 함께 분담하여 지지하게 됨
- 수치해석 결과 기초 시스템의 하중분담을 확인할 수 있었으며, 사용하중상태에서 마이크로파일의 하중분담율은 선재하 적용여부에 따라 각각 51% 및 75%로 산정되었음
- 선재하 효과로 인해 마이크로파일의 하중분담율이 증가하게 되고, 기초 구조물의 침하량도 감소하게 되는 것으로 판단되나, 당 현장의 경우 말뚝지지 독립기초의 침하량이 크지 않을 것으로 예상되므로, 선재하 공법의 적용효과는 크지 않을 것으로 판단됨

(다) 기초 구조물의 지지력

- 기초 구조물[CASE2(독립기초⇒말뚝지지 독립기초)]의 하중-침하량 관계로부터 추정된 극한지지력은 48,000kN으로, 설계하중 22,670kN의 약 2배 이상이므로 지지력에 대한 안정성은 확보되는 것으로 판단됨

다. 현장시험시공

- 선재하 동시 두부정착 공법의 현장 적용성을 검토한 결과, 당 현장의 경우 지반이 양호하여 선재하 공법을 적용하지 않아도 기초 구조물의 안정성이 확보되는 것으로 판단됨
- 기초보강 작업일정 등 현장여건을 감안하여, 표 3.34과 같이 현장시험시공 수행

표 3.34 현장시험시공 계획

구 분	내 용	비 고
시공목적	• 개발장치 현장적용시 문제점을 파악하여 시제품 개선방안 도출	
대상 기초 위치	• N열 9번(RF1) 독립기초	그림 3.11 참조
시공 공수	• 총 12공(신설 보강말뚝 개수와 동일)	그림 3.12 참조
적용 시작품	• 2차 시작품(선재하 동시 두부정착 장치)	표 3.4 및 3.5 참조
반력시스템	• 지압판, 케미컬앵커 및 반력지지대	그림 3.13 참조



그림 3.11 시험시공 대상 기초 위치

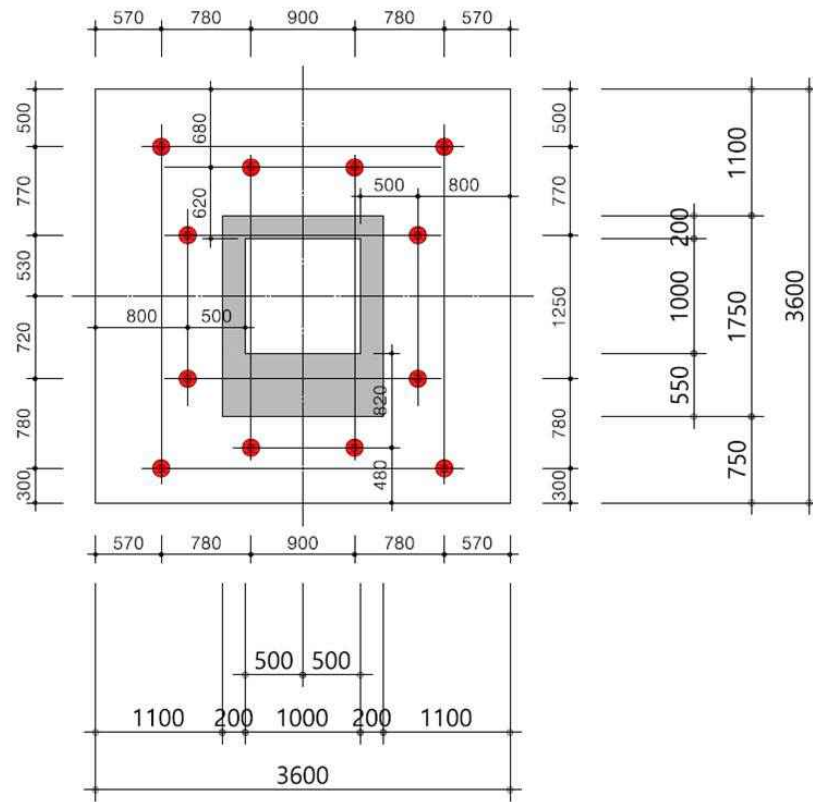


그림 3.12 시험시공 대상 기초 상세도

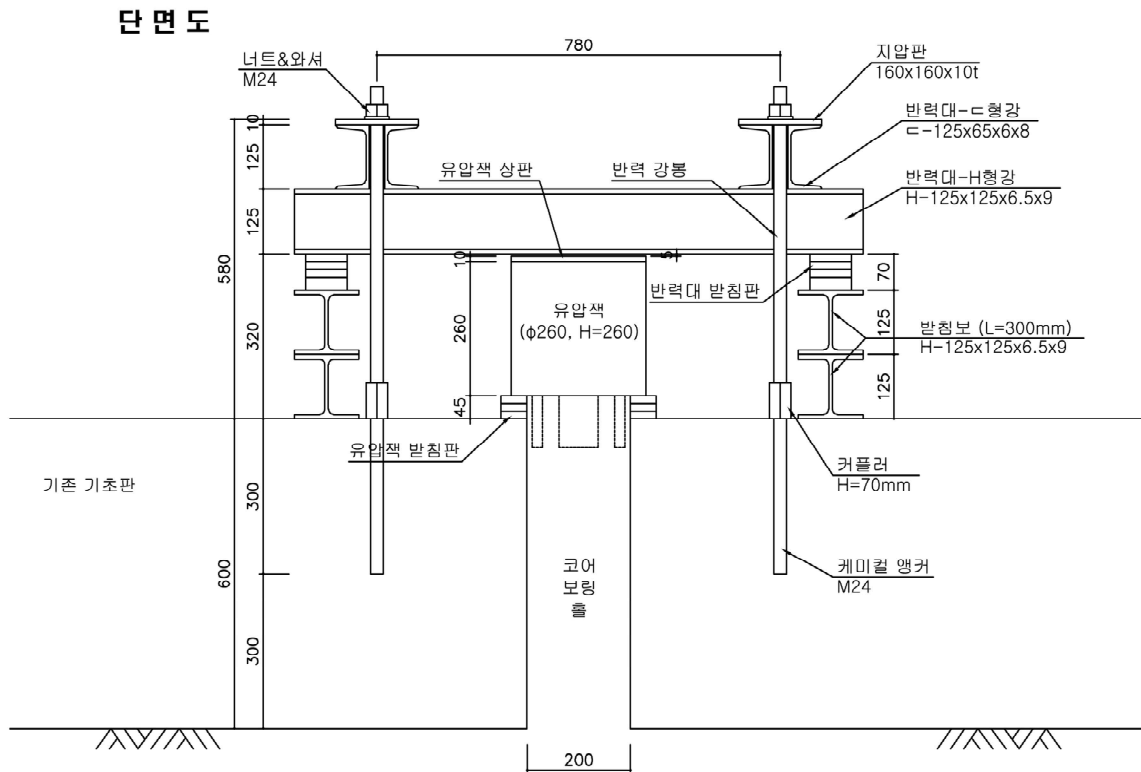


그림 3.13 선재하 반력시스템

평면도

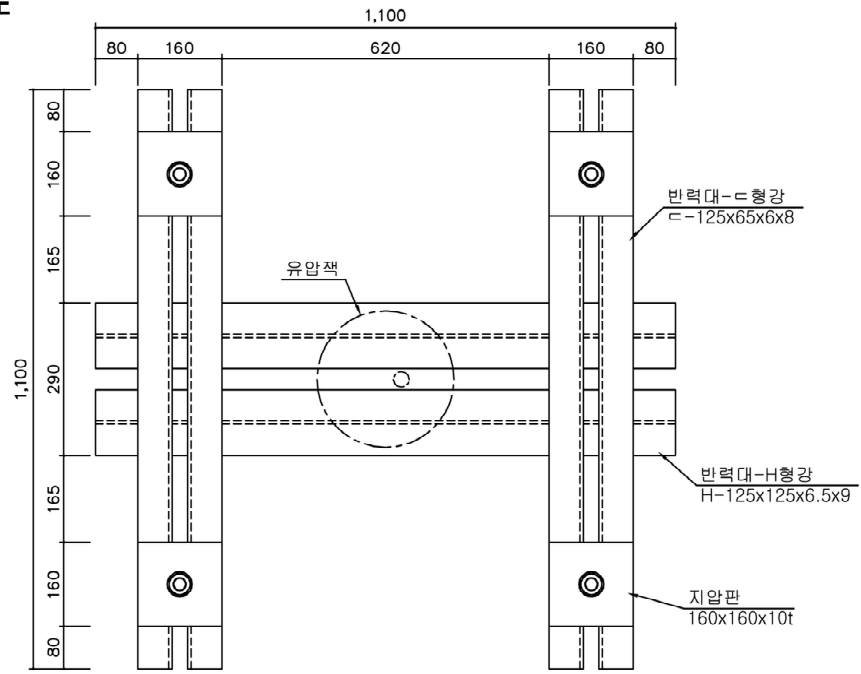
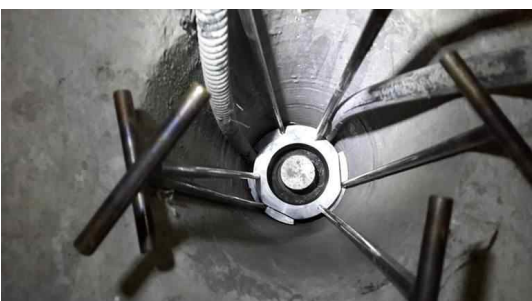
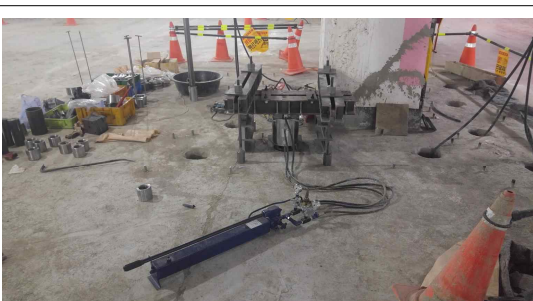
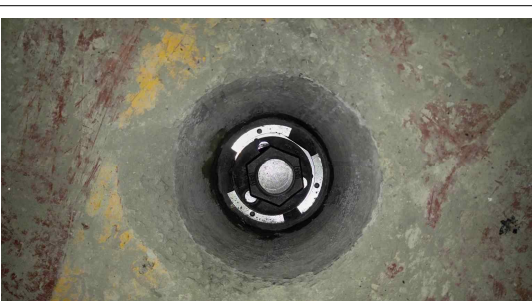


그림 3.13 선재하 반력시스템(계속)

표 3.35 시공순서 사진

	
① 기존 기초판 코어보링 및 지반천공	② 마이크로파일 강봉 설치 및 그라우트제 주입
	
③ 케미컬앵커 시공	④ 하부 지압판 설치
	
⑤ 내하체(썰기) 설치	⑥ 내하체(콘) 설치
	
⑦ 내하체(콘) 재하용 보조강관 설치	⑧ 마이크로파일 재하용 보조강봉 설치
	
⑨ 반력지지대 설치, 유압잭을 이용하여 선재하 및 두부정착	⑩ 상부지압판 설치, 무수축물탈 타설(시공완료)

라. 현장시험시공 결과 분석

(1) 마이크로파일(신설 보강말뚝) 선재하 영향

- 당 현장의 경우, 기존 말뚝기초 설계방식에 따라 증축하중 전부를 마이크로파일이 지지(하중분담율 100%)하는 것으로 설계 반영되어 있으나, 이는 실제 거동(기존 기초 구조물과 신설 말뚝이 증축하중을 함께 분담)과는 분명한 차이가 있으며, 보강 대상 독립기초 중 한 개소를 선정(RF14)하여 해석적 방법으로 검토한 결과, 선재하 미적용시 신설 마이크로파일의 증축하중에 대한 하중분담율은 약 50% 정도로 기존 설계 개념과는 많은 차이가 있음
- 선재하를 적용할 경우, 신설 마이크로파일의 증축하중에 대한 하중분담율은 약 75%로 증가하며, 이로 인해 기존 기초 구조물(당 현장의 경우 독립기초)의 증축하중에 대한 분담율이 감소되는 것으로 검토되었음
- 따라서 마이크로파일(신설 보강말뚝)을 선재하함으로써, ① 추가되는 하중에 대한 기존 기초 구조물(직접기초 또는 말뚝기초)의 하중분담율을 경감시킬 수 있고, ② 하중 지지능력이 우수한 마이크로파일의 성능을 최대한 활용 가능하며(최적설계 가능), ③ 전체 기초 구조물의 침하량을 저감시킬 수 있는 것으로 판단됨
- 특히, 보강 대상 구조물이 침하에 대해 민감하거나, 기초(직접기초 또는 말뚝기초)의 지지력 또는 구조성능에 있어 여유가 없는 경우(추가하중 작용시 지지력 또는 구조성능 허용치 초과)에는, 반드시 선재하 공법의 적용을 검토해야 할 것으로 판단됨

(2) 선재하 동시 두부정착 장치(2차 시작품) 시공성

- 유압잭을 이용해 마이크로파일을 선재하하고 내하체를 정착하였으며, 압축하중(선재하)에 저항하기 위해 그림 3.13과 같은 반력시스템을 설치하였음
- 기존 콘크리트 독립기초에 케미컬 앵커 설치(말뚝 1본당 4개소), 형강으로 구성된 반력대 반복 설치 및 해체작업, 복동식 유압잭 무게 등으로 인해 설치비용이 증가하고 작업효율이 저하되므로 시공성 향상을 위해 시작품 개선 필요

3. 시작품 구조성능 시험

가. 마이크로파일-확대기초 연결부 압축재하시험

- 마이크로파일-확대기초 연결부의 하중지지 성능을 비교 검증하기 위해, 기존 두부정착 장치와 1차~2차 시작품이 설치된 연결부에 대해 실내 압축재하시험 수행

(1) 재하시험계획 및 시험체 제작

표 3.36 재하시험계획(기존 두부정착 장치 및 1차 시작품)

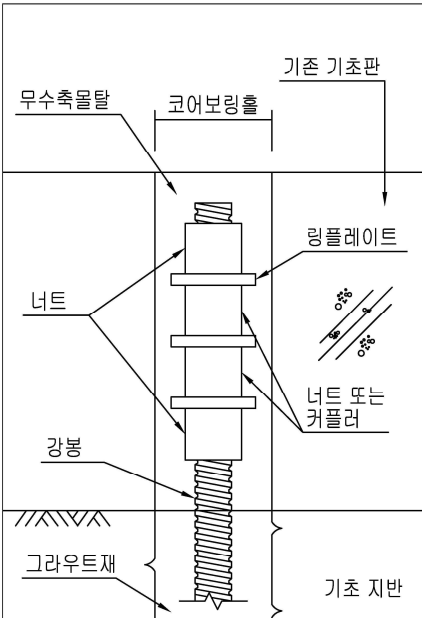
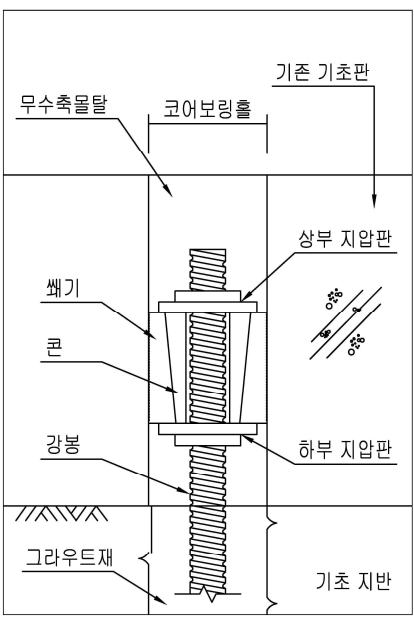
구 분	기존 두부정착 장치	선재하 동시 두부정착 장치 (1차 시작품)
설치 개요도		
정착 장치 내하체 제원	• 링플레이트(3EA) - 외경 : 170mm / 두께 : 25mm • 너트(2EA) - 높이 : 90mm / 외경 : 100mm • 커플러(2EA) - 높이 : 180mm / 외경 : 100mm	• 콘(1EA) - 높이 : 200mm - 내경 : 80mm - 두께 : 상단 38.5mm, 하단 18.5mm • 썸기(2EA) ⇒ 3EA 중 2EA 설치 - 높이 : 200mm - 두께 : 상단 30mm, 하단 50mm
강봉 직경	65mm	65mm
확대 기초판 제원	• 무근콘크리트 블록 - 1,200mm×1,200mm×600mm • 콘크리트 강도 : 27MPa • 무수축물탈 강도 : 30MPa	• 무근콘크리트 블록 - 1,200mm×1,200mm×600mm • 콘크리트 강도 : 27MPa • 무수축물탈 강도 : 30MPa
코어 보링홀 직경	200mm (PVC 파이프를 설치하여 hole 형성)	200mm (PVC 파이프를 설치하여 hole 형성)
내하체 정착하중	—	300kN

표 3.37 시험체 제작과정 및 시험전경 사진(기존 두부정착 장치 및 1차 시작품)

구 분	기존 두부정착 장치	선재하 동시 두부정착 장치 (1차 시작품)
정착 장치		
콘크리트 블록 (확대기초) 제작		
코어 보링홀 내 정착장치 설치		
무수축몰탈 타설		
실내 압축재하 시험		

표 3.38 재하시험계획 (2차 시작품)

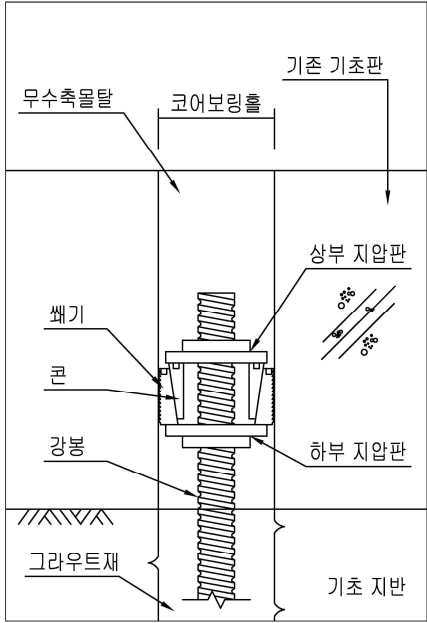
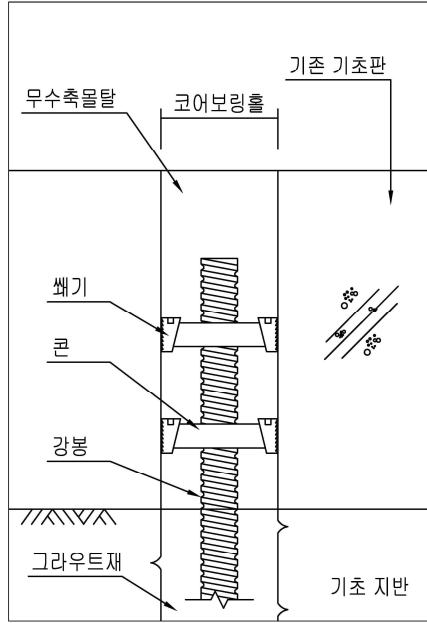
구 분	선재하 동시 두부정착 장치 (2차 시작품)	단순 두부정착 장치 (2차 시작품)
설치 개요도		
정착 장치 내하체 제원	• 콘 (1EA) - 높이 : 100mm - 내경 : 116.5mm - 두께 : 상단 26.5mm, 하단 11.5mm • 썰기 (3EA) - 높이 : 100mm - 두께 : 상단 20mm, 하단 35mm	• 콘 (1EA) - 높이 : 42mm - 외경 : 상단 142.5mm, 하단 163.5mm • 썰기 (3EA) - 높이 : 60mm - 두께 : 상단 35mm, 하단 20mm
강봉 직경	65mm	65mm
확대 기초판 제원	• 철근콘크리트 블록 - 1,000mm×1,000mm×600mm • 콘크리트 강도 : 27MPa • 무수축물탈 강도 : 30MPa	• 철근콘크리트 블록 - 1,000mm×1,000mm×600mm • 콘크리트 강도 : 27MPa • 무수축물탈 강도 : 30MPa
코어 보링홀 직경	200mm	200mm
내하체 정착하중	250kN	—

표 3.39 시험체 제작과정 및 시험전경 사진(2차 시작품)

구 분	선재하 동시 두부정착 장치 (2차 시작품)	단순 두부정착 장치 (2차 시작품)
정착 장치		
콘크리트 블록 (확대기초) 제작		
코어 보링홀 내 정착장치 설치		
유압잭을 이용하여 내하체 정착		
실내 압축재하 시험		

(2) 마이크로파일-확대기초 연결부 압축재하시험 결과

- 마이크로파일-확대기초 연결부 압축재하시험 결과는 표 3.40 및 그림 3.14와 같음

표 3.40 마이크로파일-확대기초 연결부 압축재하시험 결과

구 분	정착 장치 제원	보링홀 직경 (mm)	콘크리트 블록 크기 (mm)	항복하중 (kN)
기준 두부정착 장치	- 링플레이트(3EA) : OD=170mm - 너트(2EA) : H=90mm - 커플러(2EA) : H=180mm	200	1,200×1,200×600 (무근콘크리트)	550
선재하 동시 두부정착 장치 (1차 시작품)	- 콘(1EA) : H=200 - 썰기(2EA) : H=200mm	200	1,200×1,200×600 (무근콘크리트)	1,220 이상
선재하 동시 두부정착 장치 (2차 시작품)	- 콘(1EA) : H=100 - 썰기(3EA) : H=100mm	200	1,000×1,000×600 (철근콘크리트)	1,140
단순 두부정착 장치 (2차 시작품)	- 콘(1EA) : H=42mm - 썰기(3EA) : H=60mm ⇒ 2Set 설치	200	1,000×1,000×600 (철근콘크리트)	1,200

※ 선재하 동시 두부정착 장치 1차 시작품의 경우, 1,220kN에서 강봉 변형발생으로 Unloading

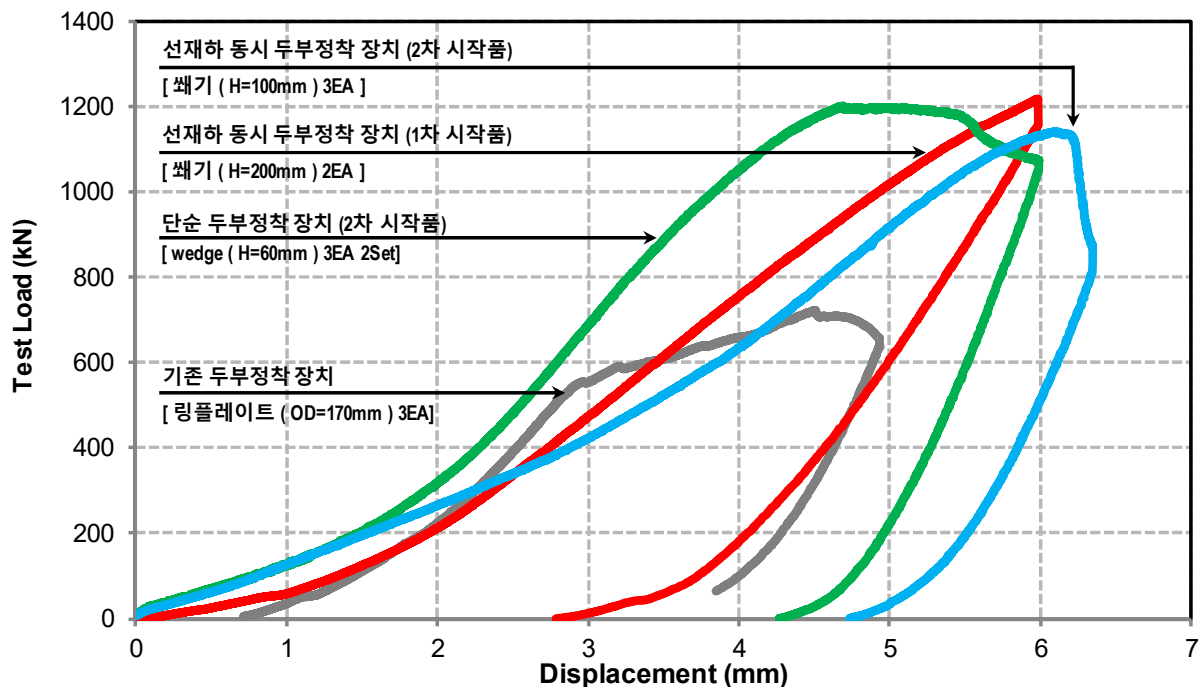


그림 3.14 마이크로파일-확대기초 연결부 압축재하시험 결과(하중-변위 곡선)

나. 내하체 정착부 압축재하시험

- 내하체(선재하 동시 두부정착 장치) 정착부의 하중지지 성능을 평가하기 위해, 3차 시작품이 설치된 정착부에 대해 실내 압축재하시험 수행

(1) 재하시험계획 및 시험체 제작

표 3.41 재하시험계획(3차 시작품)

구 분	선재하 동시 두부정착 장치 (3차 시작품)	선재하 동시 두부정착 장치 (3차 시작품-크기 축소)
정착 장치 내하체 개요도		
정착 장치 내하체 제원	• 콘(1EA) - 높이 : 100mm - 내경 : 100mm - 두께 : 상단 30mm, 하단 40mm • 쐼기(4EA) - 높이 : 120mm - 두께 : 상단 26mm, 하단 14mm	• 콘(1EA) - 높이 : 60mm - 내경 : 100mm - 두께 : 상단 30mm, 하단 36mm • 쐼기(4EA) - 높이 : 80mm - 두께 : 상단 30mm, 하단 18mm
확대 기초관 제원	• 구속강관 - OD=508mm, t=9mm, H=530mm • 콘크리트 강도 : 27MPa	• 구속강관 - OD=508mm, t=9mm, H=530mm • 콘크리트 강도 : 27MPa
코어 보링홀 직경	206mm (아크릴 파이프를 설치하여 hole 형성)	206mm (아크릴 파이프를 설치하여 hole 형성)
내하체 정착하중	150kN(CASE1) / 200kN(CASE2)	200kN(CASE3)

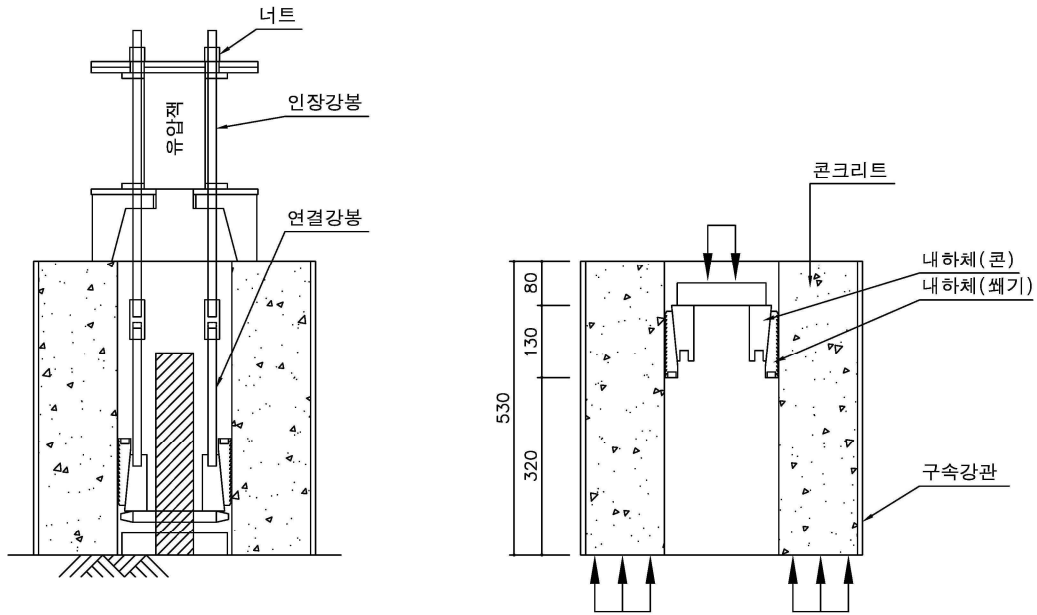


그림 3.15 내하체 정착 및 압축재하시험 개요도

표 3.42 시험체 제작과정 및 시험전경 사진(3차 시작품)

① 콘크리트 블록(확대기초) 제작	② 내하체(콘) 설치
③ 내하체(썰기) 설치	④ 체결 너트 및 강봉 설치
⑤ 유압잭으로 강봉을 인장하여 내하체 정착	⑥ 실내 압축재하시험

(2) 내하체 정착부 압축재하시험 결과

- 내하체 정착부 압축재하시험 결과는 그림 3.16 및 3.17과 같음

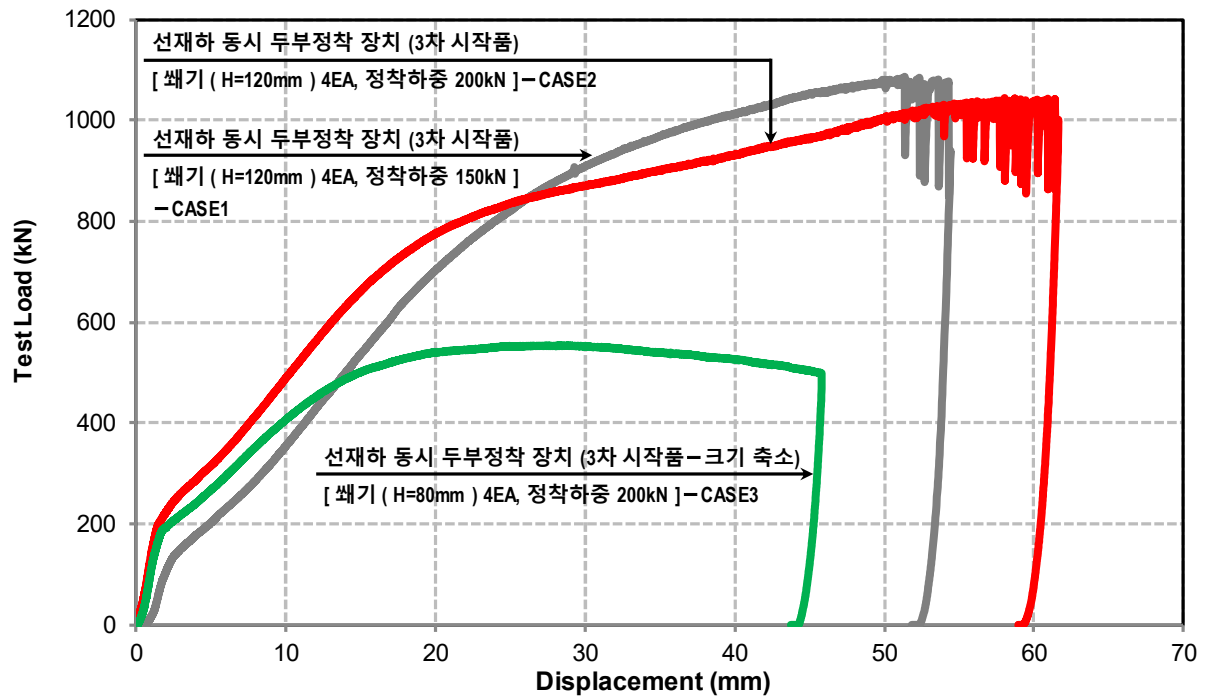


그림 3.16 내하체 정착부 압축재하시험 결과(하중-변위 곡선)

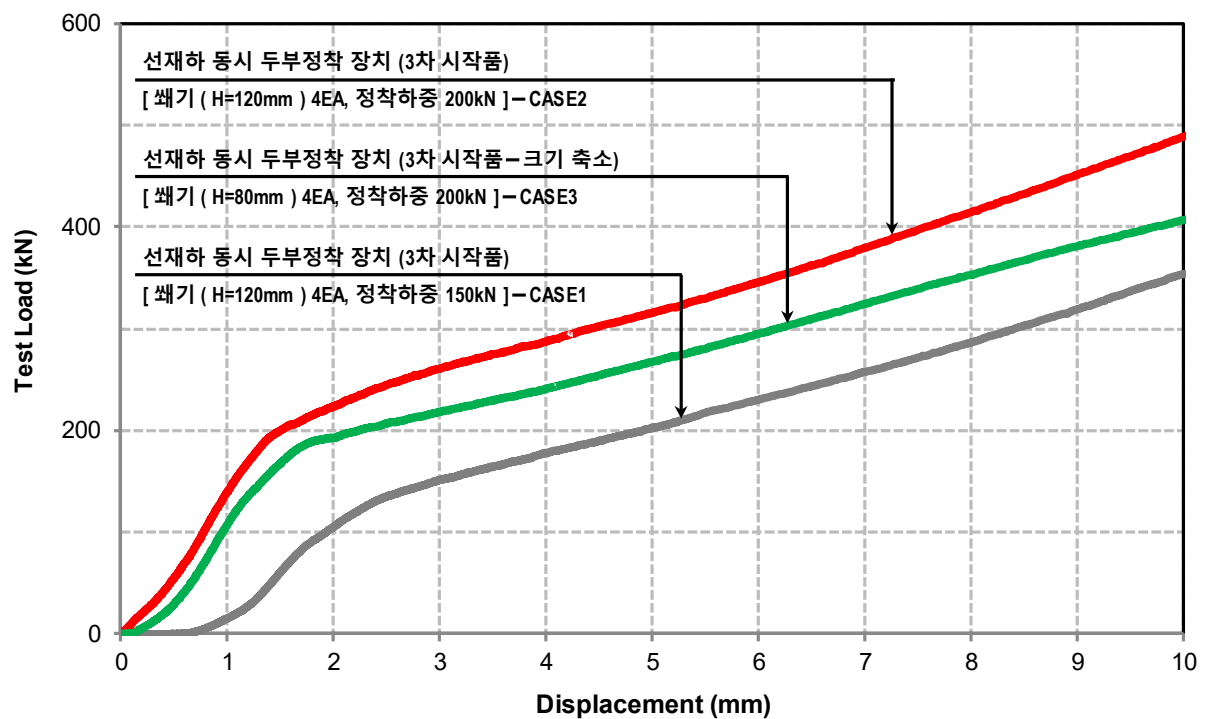


그림 3.17 내하체 정착부 압축재하시험 결과(하중-변위 곡선, 초기변위 구간)

다. 구조성능 시험 결과 분석

(1) 마이크로파일-확대기초 연결부 압축재하시험

- 마이크로파일-확대기초 연결부의 하중지지 성능을 비교 검증하기 위해, 기존 두부정착 장치와 1차~2차 시작품(선재하 동시 두부정착 장치 및 단순 두부정착 장치)이 설치된 연결부에 대해 실내 압축재하시험(변위제어 방식)을 수행하였음
- 기존 두부정착 방식은 종류가 다양하나, 국내에서 가장 일반적으로 적용되는 링플레이트 보강 방식(표 3.36 참조)을 비교 대상으로 하였음
- 연결부에 대한 압축재하시험 결과, 개발된 장치가 설치된 연결부의 구조성능이 기존 방식 대비 2배 이상 향상되는 것으로 나타남(표 3.40 및 그림 3.14 참조). 이는 내하체(콘과 췌기) 설치로 인해 지압강도가 증가하고, 기존 기초 콘크리트와의 경계면에서 마찰저항성능이 증가하였기 때문인 것으로 판단됨

(2) 내하체 정착부 압축재하시험

- 내하체(선재하 동시 두부정착 장치) 정착부의 하중지지 성능을 평가하기 위해, 3차 시작품이 설치된 정착부에 대해 실내 압축재하시험(변위제어 방식)을 수행하였음
- 크기가 축소된 내하체(표 3.41 참조)를 비교 대상으로 하였으며, 유압잭을 이용한 내하체 정착하중(인장하중)은 실제 현장적용시 선재하 하중 예상치인 150kN 및 200kN 두 가지 경우로 하였음
- 시험결과 그림 3.17과 같이 3가지 CASE 모두 초기변위 구간에서의 하중-변위 관계는 두 개의 직선형태에 가까운 것으로 나타났으며, CASE2 및 CASE3의 경우 첫 번째 변곡점의 가력하중은 내하체 정착하중 200kN과 거의 동일함. CASE1의 경우 초기변위가 상대적으로 크고, 첫 번째 변곡점의 가력하중이 정착하중 150kN 보다 다소 작은 것으로 나타났는데, 이는 시험체 이동 및 상하 위치 변경시 충격이 가해져 보링홀 내 정착된 내하체가 느슨해졌기 때문인 것으로 추정됨
- 내하체 정착부의 강성(Stiffness)은 하중-변위 관계(그림 3.17)에서 두 번째 직선부의 기울기이며, 각 CASE별 강성은 약 29kN/mm(CASE1), 33kN/mm(CASE2) 및 27kN/mm(CASE3)로, 내하체 크기 및 정착하중이 클수록 정착부의 강성이 크지는 경향을 나타냄
- 그림 3.16에서 하중-변위 관계가 비선형적으로 변하는 점(세 번째 변곡점)의 가력하중은 CASE1 및 CASE2의 경우 약 800kN이고 CASE3의 경우 약 500kN으로, 변곡점에서의 가력하중 비율($=800\text{kN} \div 500\text{kN} \approx 1.6$)은 내하체 크기 비율과 거의 유사한 것으로 나타남

(3) 기 타

- 마이크로파일-확대기초 연결부의 하중지지 성능은 기존 기초 콘크리트 강도/구속정도, 무수축물탈과 기존 기초 콘크리트 경계면에서의 저항성능(코어보링홀 면상태 및 형성방식에 따라 변동), 내하체(정착 장치)의 지압강도 및 마찰저항성능 등 여러 가지 요인에 따라 달라지므로, 다양한 조건하에서의 실험적 평가가 요구됨

4. 마이크로파일 축력 측정용 하중계 개발

가. 하중계 개발 필요성

- 기존 기초 보강용 마이크로파일(신설 말뚝) 설치시, ① 해당 프로젝트 요구사항으로 마이크로파일로 전이되는 축하중 계측이 필요할 수 있으며, ② 선재하 기술이 적용될 경우 마이크로파일 시공중 선재하 하중값 계측, 시공후 추가 하중전이에 따른 말뚝 축력 변화량 계측이 요구됨
- 마이크로파일에 작용하는 축력은 주로 변형률계를 이용하여 측정하고 있으며, 변형률계는 다음과 같은 단점을 가지고 있음
 - 마이크로파일 강봉 표면에 변형률계를 부착하기 위해서는 강봉 나사산 절삭작업(면처리 가공) 필요
 - 부착된 변형률계 손상방지 처리 필요
 - 변형률값(계측치)과 말뚝 탄성계수값(추정치)을 이용해 산식으로 계산
- 따라서 설치가 용이하고 상대적으로 계측값의 신뢰도가 높은 하중계를 강봉에 설치하는 방안을 개발하였음

나. 하중계 성능 시험

- 개발된 하중계 설치 개요도는 그림 3.18과 같음. 하중계(Ring Type)는 상·하부 너트를 이용해 강봉에 체결되며, 강봉에 작용하는 압축력은 너트를 통해 하중계에 전달되게 됨
- 계측기의 신뢰도를 파악하기 위해 하중계 성능 시험을 수행(그림 3.20 참조)하였으며, 시험 결과는 표 3.43과 같음

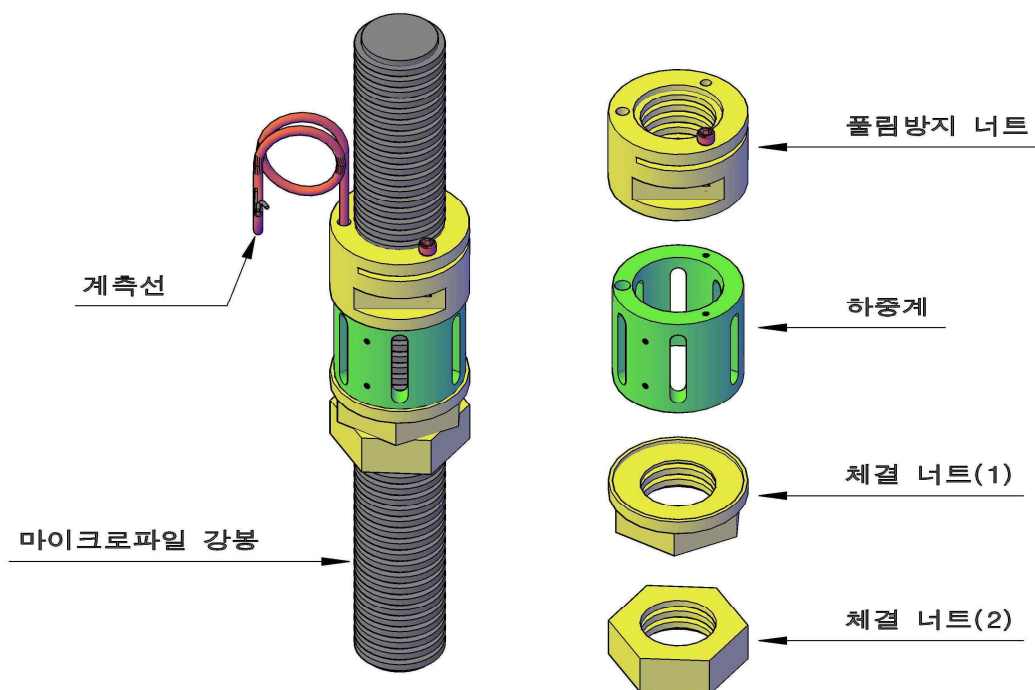


그림 3.18 마이크로파일 축력 측정용 하중계 설치 개요도



그림 3.19 하중계 설치



그림 3.20 하중계 성능 시험

표 3.43 하중계 성능 시험 결과

Test1		Test2		Test3	
Load (kN)	Linearity (%)	Load (kN)	Linearity (%)	Load (kN)	Linearity (%)
0	—	0	—	0	—
50	0.62	50	0.59	50	0.68
100	-1.12	100	-1.16	100	-1.52
150	-1.59	150	-1.37	150	-1.17
200	-0.82	200	-0.63	200	-0.70
300	3.00	300	2.57	300	3.25

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

본 과제와 관련, 연구개발 성과목표와 달성도는 다음 표 4.1과 같다.

표 4.1 목표달성도

구 분	핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					양적 성과목표	성과목표 달성건수
					질적 성과 지표	목표 치	측정 방법	검증 방법	가중 치		
총 괄	A	설계 기술 개발	A-1	국내외 논문 게재	논문	2건	발표 논문수	논문집	20	논문 : 2건	국내 2건 해외 1건(예정)
			A-2	경제성 분석	보고서	1건	공인 기관 의뢰	보고서	10	기타 : 1건 (경제성 분석 보고서)	경제성 분석 보고서 1건
	B	시공 기술 개발	B-1	시작품 제작	보고서	2건	성능시험 및 Pilot Test	보고서	20	시작품 : 2건	시작품 3건
			B-2	시공 가이드 작성	보고서	1건	현장 적용	보고서	20	기타 : 1건 (도면, 시공가이드)	도면, 시공가이드 1건
	C	특허 및 신기술	C-1	특허 등록 및 출원	특허 출원	2건	특허 출원	명세서	20	특허 : 출원 2건	특허출원 4건
			C-2	신기술 신청	신청서	1건	신기술 지정 신청	신청서	10	기타 : 1건 (신기술 신청)	-

시작품 제작 및 특허출원은 성과목표치를 초과하여 달성하였으며(특허등록은 계속 추진), 학술지 논문 게재 및 당초 목표했던 건설 신기술 신청은 향후 리모델링 현장(마이크로파일을 이용한 기존 기초 보강이 요구되는 현장)에 개발 기술을 적용한 후 추진할 예정이다.

표 4.2 목표달성계획(논문 게재 / 특허등록 / 신기술 신청)

구 분	목표달성계획	비 고
학술지 논문 게재	- 리모델링 현장 선재하 기술 적용 및 개발 하중계를 이용한 계측 수행 - 전통적인 방법에 의한 보강말뚝 설계 - 선재하 기술을 적용한 시공단계별 해석에 의한 보강말뚝 설계 - 증축하중 작용시 신설 보강말뚝으로 전이되는 하중값 측정 - 마이크로파일 선재하 효과 현장검증 후 학술지 논문 게재	
특허 등록	- 출원 특허 4건에 대한 등록 추진 - 특허심사국 심사결과 의견제출통지시, 재심사 청구(의견서 및 보정서 제출) 등을 통한 적극적인 대응	
신기술 신청	- 전문시공업체와 기술실시계약 후 선재하 기술 현장적용 - 현장적용 과정에서 개발 장치의 최적화 및 사양 다양화 도모 - 시공시 공사시간을 세부 공종별로 확인하여 기존 기술 대비 공기단축 효과 확인 - 특허등록 및 관련 기술 현장적용실적 확보 후 신기술 신청	

2. 관련 분야 기여도

가. 기술적 측면

건설기술연구원에서 수직증축 리모델링시 기존 말뚝과 신설 말뚝의 하중분배를 고려한 선재하 설계기법을 개발하였으며, 본 개발 기술은 이러한 설계개념을 시공현장에서 구현할 수 있는 선재하 및 보강 말뚝 두부정착 장치에 관한 것으로, 수직 및 수평증축 리모델링 현장에 선택이 아닌 필수로 적용해야 되는 기술이다. 따라서 리모델링 구조물의 기초 보강에 있어 세계적인 원천 기술 확보가 가능할 것으로 판단된다.

나. 사회·경제적 측면

수직증축 리모델링 공사를 위한 말뚝 공사시 기존 구조물에 위대한 영향 없이 공사가 가능하여 노후 건물의 안정성을 확보할 수 있고, 건설재료, 건설공해의 총량이 감소하므로 친환경적인 건설 공사가 가능하여, 급격히 증가하고 있는 국내 및 해외 리모델링 시장을 주도할 기술(기초 보강 분야) 선점이 가능할 것으로 판단된다.

다. 정책적 측면

국내 리모델링 수요뿐 아니라 세계적으로도 그 수요가 증가하고 있는 상황에서, 쉽게 해외 진출이 가능한 세계적 수준의 기초 보강 기술로 국가 건설 기술력 위상 제고가 가능하다.

제5장. 연구개발성과의 활용 계획

1. 국내·외 시장규모 및 전망

가. 국내 시장규모 및 전망

(1) 공공주택 리모델링

- 2012년말 기준 15년 이상 된 아파트가 전국 약 400만호에 이르는 등 향후 노후 공동주택의 재고가 증가할 것으로 예상되며, 노후 공동주택 대다수(350만호 내외)가 재건축 연한에 미치지 못하여 주민불편 해소를 위한 리모델링 활성화 필요
- 주택법 등 관련 법령 개정으로 리모델링 활성화 및 수요 증가 예상

표 5.1 리모델링 관련 주택법 개정 주요내용

개정일 (시행일)	법령	주요내용
'07.03.16 ('07.03.16)	주택법 시행령 제4조의2	• 공동주택 증축 리모델링 <u>허용 연한을 20년에서 15년으로 단축</u>
'13.12.24 ('14.04.25)	주택법 제2조 등	• 수직증축 리모델링 허용 및 세대수 증가범위 확대(기존 세대수의 10%→15%) • 안전진단 보완, 전문기관 안전성 검토, 수직증축 구조기준 등 안전성 확보방안 마련 • 리모델링 기본계획 수립 의무화(특·광역시, 50만 이상 대도시) 등
'16.11.22 입법예고 '17.01 시행예정	주택법 시행령 제75조의1	• 리모델링 <u>동의비율 완화</u> (재건축사업과 유사한 수준으로 리모델링 동의비율(80%→75%)을 완화하여 정함)

- 서울시 4,136개 단지를 분석한 결과, 세대수 증가형 리모델링 추정 168개 단지로 도출(2025 서울특별시 공동주택 리모델링 기본계획, 서울특별시, 2016)



그림 5.1 수요예측 결과 추정값

나. 해외 시장규모 및 전망

- 국가별로 건설시장에서 리모델링 건설시장이 차지하는 비중을 보면, 이탈리아 46%, 프랑스와 영국이 43%를 점유하고 있으며, 덴마크, 스웨덴, 노르웨이가 39%를 점유하고 있음. 그러나 포르투갈의 경우 리모델링 건설시장의 비중이 5% 미만을 나타내고 있는데, 이는 자가 수선의 비중이 매우 높고, 지하경제의 영향으로 통계에 반영되지 않기 때문임
- 유럽의 리모델링 건설산업은 건설 산업내에서 고도성장을 유지하는 신규 사업으로 각광을 받고 있으며, 이는 향후 우리나라를 포함한 아시아에도 큰 영향을 미칠 것으로 전망됨

2. 사업화 전략

가. 개발 장치의 생산특성

- 개발 장치는 일반적인 철강제품을 가공한 부품형태의 제품으로 체결 너트, 지압판, 강봉, 콘, 썰기 등이 있음.
- 각 부속장치의 재질은 일반적인 강재로 재료 수급에 있어 문제가 없고, 국내 순수 제작으로 현장 여건에 맞게 쉽게 변경 제작 및 공급이 용이
- 중규모 생산시설로 아웃소싱에 의한 일괄 생산 예정
- 국내 제작으로 제작 기간은 통상 7일 정도 소요

나. 기존 자원 활용정도

- 기존 사업아이템과 R&D과제의 연관정도
 - 연관 없음
- 기존 생산라인(설비포함) 예상 활용정도
 - 어스앵커의 콘과 썰기와 같은 방식으로 강재를 절삭 가공하므로, 기존 생산라인 100% 이용 가능
- 원재료 및 개발설비 공용화정도
 - 일반적인 철강을 사용, 별도의 개발설비 필요 없음

다. 수익모델

수익모델		주요 내용
① 개발 장치 판매		• 선재하 동시 두부정착 장치 - 선재하가 필요한 구간 적용 • 단순 두부정착 장치 - 확대기초 연결부 구조성능 향상을 목적으로, 선재하가 필요하지 않은 구간에 적용 - 모든 업체 시공 가능하도록 할 예정으로, 별도의 기술료 징수 없이 장치만 판매(원가율 50% 이하)할 예정 • 마이크로파일 축력 측정용 하중계 - 강봉 타입 보강재를 사용하는 모든 마이크로파일에 적용 가능하므로, 개발 두부정착 장치가 적용되지 않은 현장에도 판매할 예정
② 기술료 징수	정액 기술료	• 전문시공업체와 선재하 동시 두부정착 공법에 대한 기술실시계약 체결(10여개 전문업체와 계약 체결 예정) • 통상실시권에 대해 년 단위로 정액기술료 징수
	경상 기술료	• 전문시공업체와 선재하 동시 두부정착 공법에 대한 기술실시계약 체결(10여개 전문업체와 계약 체결 예정) • 마이크로파일 공사비를 포함한 매출액을 기준으로 하여, 매년 경상기술료 징수

3. 개발 기술의 활용방안

- 국내뿐만 아니라 전 세계적으로 향후 수 년 안에 기존 기초구조물 보강 수요가 급격히 증가할 것으로 예상
- 개발 장치는 초기투자 비용이 크지 않고 시공절차가 간단하여 조기 상용화 및 현장적용 가능
- 본 개발기술은 수직, 수평증축 리모델링 아파트 기초 보강공사 필수적용 기술로서, 선제하 기술을 적용할 경우 ① 신설 마이크로파일의 증축하중에 대한 하중분담율이 증가하게 되므로, 이로 인해 기존 기초 구조물(직접기초 또는 말뚝기초)의 하중분담율을 경감시킬 수 있고, ② 하중지지능력이 우수한 마이크로파일의 성능을 최대한 활용할 수 있으며(최적설계 가능), ③ 전체 기초 구조물의 침하량을 저감 가능. 특히, 보강 대상 구조물이 침하에 대해 민감하거나, 기초(직접기초 또는 말뚝기초)의 지지력 또는 구조성능에 있어 여유가 없는 경우(추가하중 작용시 지지력 또는 구조성능 허용치 초과)에는, 반드시 선제하 공법의 적용 검토 필요
- 또한 일반 구조물 기초 보강공사 등 여러 방면에서 활용성이 증대될 것으로 예상
 - 수직, 수평증축 리모델링 아파트 기초 보강공사 필수적용 기술
 - 공장 증축 기초공사
 - 교량 기초 보수공사
 - 내진보강 구조물 기초공사
 - 침하된 건물 인상
- 적극적인 홍보를 통하여 시장성 확대
- 리모델링 구조물 기초 보강기술 발전 및 시공품질 향상에 기여

**제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보
(해당사항 없음)**

제7장. 연구개발성과의 보안등급

표 7.1 보안등급의 분류 및 결정사유

보안등급 분류	보 안	일 반
		○
결정 사유	국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제24조의5(분류 절차)에 따라 검토한 결과 일반으로 분류	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록된 연구시설·장비 현황
(해당사항 없음)

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적
(해당사항 없음)

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

표 10.1 대표적 연구 실적

번 호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/ 기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	논문	마이크로파일 선재하 동시 두부정착 공법 개발	(주)골든 엔지니어링, 롯데건설(주)	공동	한국지반 공학회 봄학술 발표회		2016.03.17	단독	
2	논문	마이크로파일 선재하 동시 두부정착 공법 현장 적용성 검토	(주)골든 엔지니어링, 롯데건설(주)	공동	한국지반 환경 공학회 학술 발표회		2016.09.23	단독	
3	특허 (출원)	말뚝의 선행하중 재하장치 및 이를 이용한 선행하중 재하방법	(주)골든 엔지니어링, 롯데건설(주)	공동	대한 민국		2015.07.31		
4	특허 (출원)	말뚝의 선행하중 재하장치 및 이를 이용한 선행하중 재하방법	(주)골든 엔지니어링, 롯데건설(주)	공동	대한 민국		2015.09.23		
5	특허 (출원)	하중계를 이용한 파일 시공방법	(주)골든 엔지니어링, 롯데건설(주)	공동	대한 민국		2016.11.08		

제11장. 기타 사항

리모델링시 수직증축을 위해 추가로 말뚝을 보강함에 있어, 기존 기초판에 보강 말뚝을 시공할 수 없는 경우(기존 기초판의 크기가 작거나, 건축물 기둥 또는 벽체와의 간섭으로 인해 보강말뚝 시공이 불가능한 경우 등)가 종종 발생하는데, 이런 경우에는 기존 기초판 옆에 보강 말뚝 및 신설 기초판을 시공하여 기존 기초판과 일체화 되도록 해야 한다. 기존에는 선재하 개념이 없었기 때문에 보강 말뚝에 일반적인 지압판을 설치하여 신설 기초판에 연결하였다. 따라서, 신설 기초 시공시 기초판 내부에 매입할 수 있는 선재하가 가능한 두부 정착 장치의 개발 또한 필요하다.



그림 11.1 기존 기초판과 신설 기초판 연결

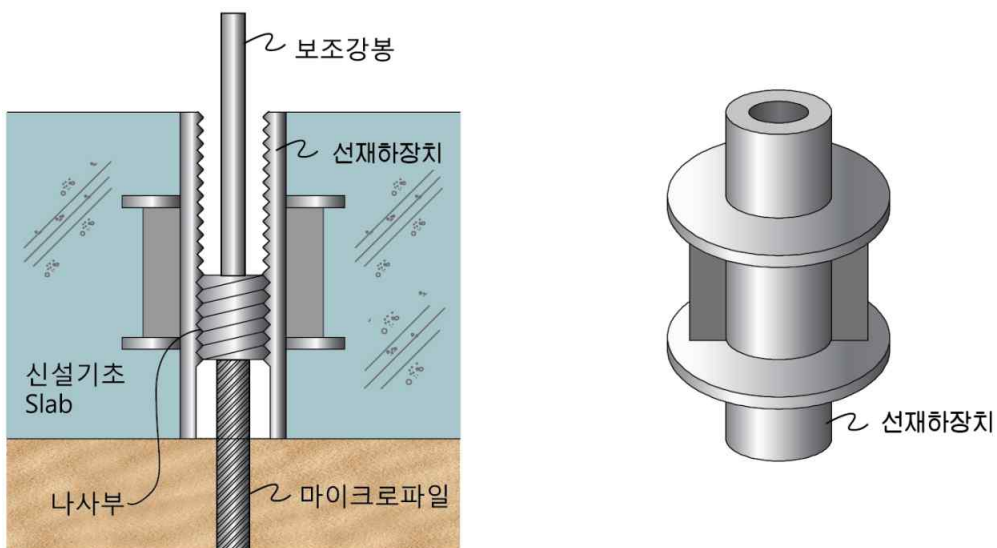


그림 11.2 신설 기초판 연결부 및 두부정착 장치

제12장. 참고 문헌

1. 골든엔지니어링, 한국건설기술연구원(2013), 말뚝의 선행하중 재하장치 및 이를 이용한 선행하중 재하방법, 대한민국, 특허출원, 10-2013-0154136.
2. 국토교통부(2014), 수직중축형 리모델링 구조기준.
3. 국토해양부(2010), 도로교 설계기준.
4. 국토해양부 (2012), 전단벽식 공동주택 리모델링의 구조설계기준 작성 및 안정성 평가 등 연구, 한국건설기술연구원.
5. 서울특별시 (2016), 2025 서울특별시 공동주택 리모델링 기본계획.
6. 한국건설기술연구원(2013), 공동주택 리모델링을 위한 기초구조물 하중 선재하 기술 개발.
7. 한국건설기술연구원(2014), 2014년도 시드사업 중간점검 자문회의 발표자료(선재하 기술 개발 관련).
8. 한국지반공학회(2009), 구조물 기초 설계기준 해설.
9. SPRING Singapore(2012), Singapore Standard-Code of Practice for Foundations.

주 의

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