20CTA
P-C15
2062

보안 과제( ), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개( )발간등록번호(11-B552989-000362-01)

R&D / 20CTAP-C152062

리모델링용 헬리컬 파일 연결기술 개발 최종보고서

2020.12.31.

주관연구기관 / (주)택한

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

리모델링용 헬리컬 파일 연결기술 개발 최종보고서
2020
국토교통과학기술진흥원
국토교통부

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'리모델링용 헬리컬 파일 연결기술 개발'(연구개발 기간 : 2020.04.19 ~ 2020.12.31) 과제의 최종보고서 10부를 제출합니다.

2021.1.13.

주관연구기관명 : (주)택한 대표이사 문종훈 (인)

참여기관명 : (주)티엔씨 대표이사 장동식 (인)

주관연구기관책임자: 조 광 일

참여기관책임자: 박 상 진

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에 동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	20CTAP-C152062	해당 단계 연구 기간	2020.04.19. ~ 2020.12.31.	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	-			
	세부사업명	국토교통기술촉진연구사업			
연구과제명	대과제명	-			
	세부과제명	리모델링용 헬리컬 파일 연결기술 개발			
연구책임자	조광일	해당단계 참여연구원 수	총: 6명 내부: 6명 외부: 0명	해당단계 연구비	정부:500,000천원 민간:168,000천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:668,000천원
		총 연구기간 참여연구원 수	총: 6명 내부: 6명 외부: 0명	총 연구비	정부:500,000천원 민간:168,000천원 정부외: 0천원 상대국: 0천원 계:668,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주)택한 기술개발팀			참여기업:(주)티엔씨	
국제공동연구	상대국명: -			상대국 연구기관명: -	
위탁연구	연구기관명: -			연구책임자: -	

※ 국내·외의 기술개발 현황은 연구개발계획서에 기재한 내용으로 갈음

연구개발성과의 보안등급 및 사유	일반 (본 기술은 폭넓은 활용의 실용화를 목표로 개발하는 과제로서, 특별한 보안이 필요하지 않은 내용임. 그러나 연구개발계획서 상 참여기업의 매출 실적 및 매출 전략은 공개되지 않는 것이 바람직함)

9대 성과 등록·기탁번호

구분	논문	특허	보고서 원문	연구시설·장비	기술요약 정보	소프트웨어	화합물	생명자원		신품종	
								생명정보	생물자원	정보	실물
등록·기탁 번호		14	1								

국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

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

요약

- 헬리컬 파일 연결장치 최적 사양 개발
- 헬리컬 파일 연결장치 실모델 제작 및 성능검증
- 헬리컬 파일 연결장치 제작 및 시공 매뉴얼 개발
- 헬리컬 파일 연결장치 현장적용 시험 검증
- 헬리컬 파일 관련 추가 기술(형상 개선 나선형 날개, 급속연결 지압판) 개발
- 실제 현장 초도적용 완료

보고서 면수 86

〈 요약문 〉

연구의 목적 및 내용	공공주택 리모델링 기초로 사용되는 헬리컬 파일의 토크 저항성능 20% 향상 및 그라우팅 시공성 개선을 통한 설계지지력 확보 가능 연결장치 개발				
연구개발성과	○ 헬리컬 파일 연결장치 최적 사양 개발 ○ 헬리컬 파일 연결장치 실모델 제작 및 성능검증 ○ 헬리컬 파일 연결장치 제작 및 시공 매뉴얼 개발 ○ 헬리컬 파일 연결장치 현장적용 시험 검증 ○ 헬리컬 파일 관련 추가 기술(형상 개선 나선형 날개, 급속연결 지압판) 개발 ○ 실제 현장 초도적용 완료 (현장적용 3건)				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	○ 신형식 헬리컬 파일 연결장치는 헬리컬 파일의 시공중 토크저항성능이 우수할 뿐만 아니라 원활한 그라우팅이 가능함과 동시에 경제성도 확보할 수 있어, 도심지의 리모델링과 같이 협소한 공간의 기초공사에서 적극 활용될 수 있음 ○ 연결장치 제공뿐만 아니라 구조적 성능검증 및 제반 매뉴얼 등 토탈 솔루션을 제공하여 원활한 현장적용이 가능				
핵심어 (5개 이내)	파일 연결부	헬리컬 파일	나선형 날개	지압판	강관

〈 SUMMARY 〉

Purpose & Contents	Development of connection device for helical piles with 20% improvement in torque resistance capacity and efficient grouting workability				
Results	○ Development of optimal connection specification ○ Manufacturing and performance evaluation ○ Development of manuals for manufacturing and construction ○ Practical construction of helical piles ○ Development of improved helix and bearing device ○ Application for construction projects				
Expected Contribution	○ Extented application to small-scale construction sites as economics and workability are improved ○ Improvement of technical reliability owing to various evaluation data and construction manual				
Keywords	Pile connection	Helical pile	Helix	Bearing device	Steel pipe

〈 Contents 〉

Chapter 1. R&D Overview ····· 1

1. Objectives ····· 1

2. R&D Necessity ····· 2

3. Scope ····· 5

Chapter 2. Status of Domestic and Overseas Technology Development ····· 9

1. Patents Analysis ····· 9

2. Market Analysis ····· 10

Chapter 3. R&D Results ····· 11

1. Strategy ····· 11

2. Outputs Overview ····· 13

3. Research A: Development of Optimal Connection Specification ····· 14

4. Research B: Manufacturing and Performance Evaluation ····· 30

5. Research C: Development of Manuals for Manufacturing and Construction ····· 47

6. Research D: Practical Construction of Helical Piles ····· 51

7. Results ····· 68

8. Research Outputs ····· 70

Chapter 4. Achievement and Contribution ····· 72

1. Achievement ····· 72

2. Contribution ····· 74

Chapter 5. Application and Business Plan ····· 75

1. Application Plan ····· 75

2. Business Plan ····· 76

Chapter 6. Global Science and Technology Information ····· 79

Chapter 7. Security of R&D Project ····· 79

Chapter 8. Equipment Registration ····· 79

Chapter 9. Activities for Laboratory Safety ····· 79

Chapter 10. Representative Achievements of R&D Project ····· 80

Chapter 11. Note ····· 80

Chapter 12. References ····· 80

Appendix. Manufacturing and construction manual of helical piles

〈 목 차 〉

제 1 장 연구개발과제의 개요 ····· 1

1. 연구개발 목적 ····· 1

2. 연구개발 필요성 ····· 2

3. 연구개발 범위 ····· 5

제 2 장 국내외 기술 개발 현황 ····· 9

1. 헬리컬 파일 연결부 관련 지식재산권 현황 및 국내·외 기관 ····· 9

2. 시장 규모 및 전망 ····· 10

제 3 장 연구수행내용 및 성과 ····· 11

1. 연구 개발의 추진전략·방법 및 추진체계 ····· 11

2. 연구내용 및 성과 개요 ····· 13

3. 핵심연구내용 A: 헬리컬 파일 연결장치 최적사양 개발 ····· 14

4. 핵심연구내용 B: 헬리컬 파일 연결장치 실모델 제작 및 성능검증 ····· 30

5. 핵심연구내용 C: 헬리컬 파일 연결장치 제작 및 시공매뉴얼 개발 ····· 47

6. 핵심연구내용 D: 헬리컬 파일 연결장치 현장적용 시험검증 ····· 51

7. 연구개발 성과 ····· 68

8. 핵심 연구성과 ····· 70

제 4 장 목표 달성도 및 관련 분야 기여도 ····· 72

1. 목표 달성도 ····· 72

2. 관련 분야 기여도 ····· 74

제 5 장 연구개발성과의 활용 계획 ····· 75

1. 활용 계획 ····· 75

2. 사업화 계획 ····· 76

제 6 장 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보 ····· 79

제 7 장 연구개발성과의 보안등급 ····· 79

제 8 장 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황 ····· 79

제 9 장 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적 ····· 79

제 10 장 연구개발과제의 대표적 연구 실적 ····· 80

제 11 장 기타 사항 ····· 80

제 12 장 참고 문헌 ····· 80

[부록] 헬리컬 파일 제작 및 시공 지침

제1장. 연구개발과제의 개요

1. 연구개발 목적

1-1. 연구 개발의 목표 및 내용

구분	내용 및 설정근거
최종 목표	○ 공공주택 리모델링 기초로 사용되는 헬리컬 파일의 토크 저항성능 20% 향상 및 그라우팅 시공성 개선을 통한 설계지지력 확보 가능 연결장치 개발 - 파일기초 최소화로 전체공사비 20% 절감 ■ 설정근거: 기존 pin 타입 대비 토크 저항성능을 20% 향상시켜 헬리컬 파일 회전 관입 안전성을 확보함과 동시에 시공성을 개선하여 설계지지력을 안정적으로 확보하며, 제작 단가를 낮추어 thread 타입 대비 경제성을 20% 이상 향상시키도록 함
세부 목표	○ 1차년도 - 헬리컬 파일 연결부 최적 상세 개발 ■ 설정근거 · 헬리컬 파일 연결부의 합리적·경제적 설계를 위한 최적 상세 필요 ○ 2차년도 - 헬리컬 파일 연결부 현장 성능평가 - 헬리컬 파일 연결부 제품화 ■ 설정근거 · 헬리컬 파일 연결부 최적 사양 시제작 및 현장시험을 통한 성능검증 필요 · 헬리컬 파일 연결부 경제성 확보 위한 제품 대량생산 체계 구축 필요

1-2. 최종성과물의 기술성숙도

구분		연구착수	연구종료	단계별 설명
기초연구 단계	TRL 1	□	□	TRL 1 이론적 연구단계
	TRL 2	■	□	TRL 2 기술적 개념정립 단계
실험 단계	TRL 3	□	□	TRL 3 실험적 증명 단계
	TRL 4	□	□	TRL 4 실험실 성능평가 단계
시작품 단계	TRL 5	□	□	TRL 5 유사환경 시험 단계
	TRL 6	□	□	TRL 6 유사환경 기술시범 단계
실용화 단계	TRL 7	□	□	TRL 7 실제환경 시작품 데모 단계
	TRL 8	□	□	TRL 8 시제품 설치 및 성능시험 단계
사업화 단계	TRL 9	□	■	TRL 9 현장적용/사업화 단계

최종성과물	기술성숙도(TRL)		설정근거
	연구시작시	연구종료시	
신형식 헬리컬 파일 연결장치 (직경 114.3, 139.8mm) - 특허/해석결과/시제품/현장성능 평가 결과/설계 및 시공매뉴얼	2	9	[연구시작시] ■ 기술적 개념 정립 단계 : 헬리컬 파일 연결장치 기술타당성 검증 · 건설용 부품 개발은 초기 투자비용이 높으므로, 민간에서는 주로 개념 정립 및 특허 출원 단계에 그침 [연구종료시] ■ 사업화 단계 : 헬리컬 파일 연결부 및 연구과제를 통해 개발된 헬릭스, 지압판의 실현장 3건 적용

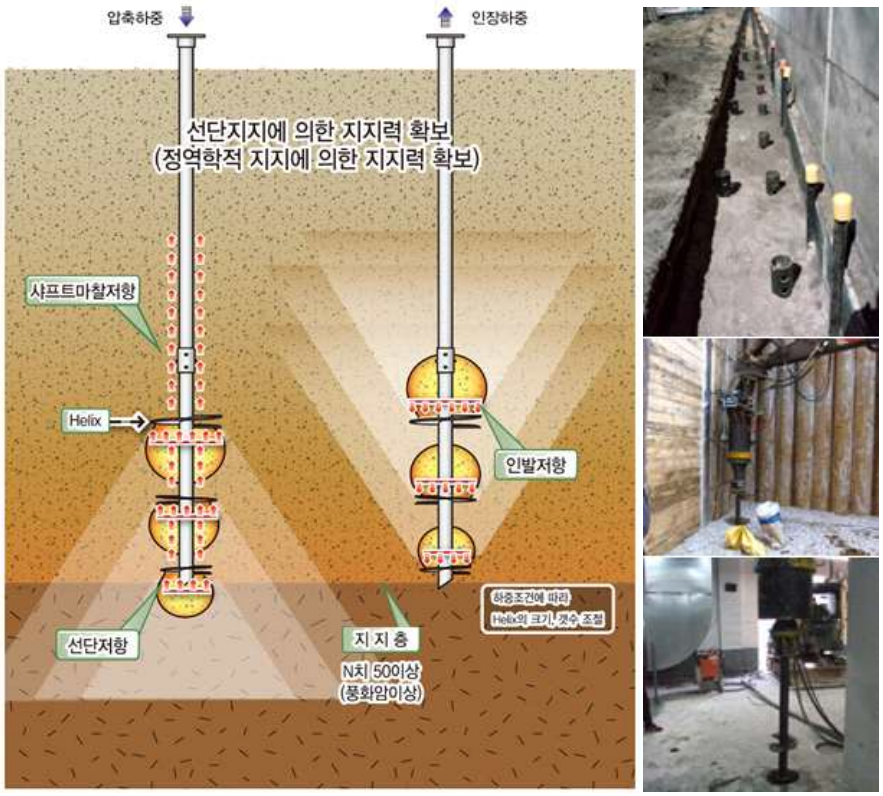


그림 1.1 헬리컬 파일의 하중저항 메커니즘 및 협소공간 시공사례

2. 연구개발의 필요성

2-1. 관련 기술 개요

○ 헬리컬 파일은 선단으로부터 한 개 또는 복수의 나선형 원판이 일정한 간격으로 용접 부착된 파일로 지반으로 회전관입한 후 교란된 지반을 그라우팅하여 나선형 원판에서 하중재하 시 발현되

는 선단지지력과 시공 후 압축 및 인발시 나선형 원판 사이에 있는 인접 지반에서 발현되는 주면 마찰력으로 지지력을 발현함 (그림 1.1 참조)

○ 정부는 '주거복지 로드맵'에 따른 청년 임대주택 30만실, 고령자 임대주택 5만호 공급계획의 일환으로 공공 리모델링 임대주택사업(LH공사가 노후주택을 매입 후 리모델링하여 임대공급)을 실시중 (그림 1.2 참조)



그림 1.2 공공 리모델링 임대주택사업

○ 도심지 노후주택의 리모델링을 위해서는 추가적인 하중저항을 위해 기초보강이 불가피하며 협소한 공간에서의 기초시공은 경제성, 시공성, 환경영향(소음/진동)의 이유로 헬리컬 파일이 적용되고 있음.

○ 헬리컬 파일 시공은 소규모의 장비(backhoe 등)에 유압장치를 이용하여 회전관입하므로 파일의 길이가 3m 이내로 제한되며 심도에 따라 다수의 연결부가 소요되는 특징이 있음.

○ 헬리컬 파일의 연결부는 홀이 가공된 연결강관을 강관의 양측에 용접하여 연결하고 소켓팅한 후 pin을 삽입하여 연결하는 pin 타입과 나사산이 가공된 연결강관을 강관의 양측에 용접한 후 회전체결하는 thread 타입이 사용되고 있으나 일반적으로는 경제성(40%이상 저렴)을 이유로 pin타입이 사용되고 있음 (그림 1.3 참조)



(a) Pin 타입 (b) Thread 타입

그림 1.3 헬리컬 파일의 연결방식

○ Pin 타입 연결부는 시공이 단순하여 널리 사용되고 있으나 회전관입시 발생하는 토크에 유격이 있는 pin홀과 pin이 저항함으로써 구조적으로 취약(그림 1.4)할 뿐만 아니라 연결부의 다수의 pin이 파일을 관통하고 있어 관입 완료 후 그타우팅을 위한 호수 삽입을 방해하여 선단부의 그라우팅이 불가능한 단점이 있음



그림 1.4 Pin 타입 파일 파괴사례

○ 이에 헬리컬 파일의 회전관입시 pin 타입 대비 20% 이상 토크저항성능을 확보하며 시공 후 원활한 그라우팅이 가능하도록 강관 내부공간을 확보함과 동시에 thread 타입 대비 20% 이상의 경제성을 확보할 수 있는 헬리컬 파일용 최적 연결장치 개발이 필요함.

2-2. 연구 개발 기술 개요

○ 본 제안 기술은 그림 1.5와 같이 상/하부 연결장치를 헬리컬 파일의 각 단부에 용접 부착하고 소켓팅 후 회전연결하면 회전방지 채움재가 하부로 하강하여 반대로 풀리지 않고 체결력을 확보할 수 있는 헬리컬 파일 연결장치임

○ 연결장치의 다수의 key가 토크에 저항할 뿐만 아니라 강관의 단면적을 모두 활용할 수가 있어 시공 후 압축/인장/휨에 대해서도 파일 본체의 설계강도 이상 확보가 가능하고 내부 공간을 통한 원활한 그라우팅이 가능함

○ 위에서 설명한 헬리컬 파일 연결장치의 결합 과정은 그림 1.6에 나타내었음

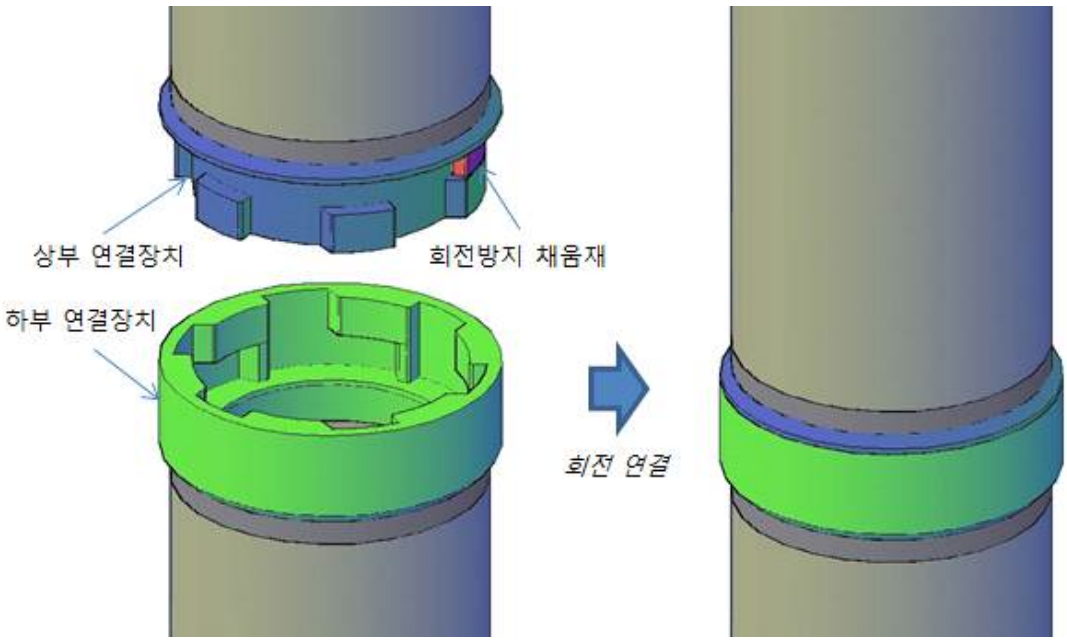
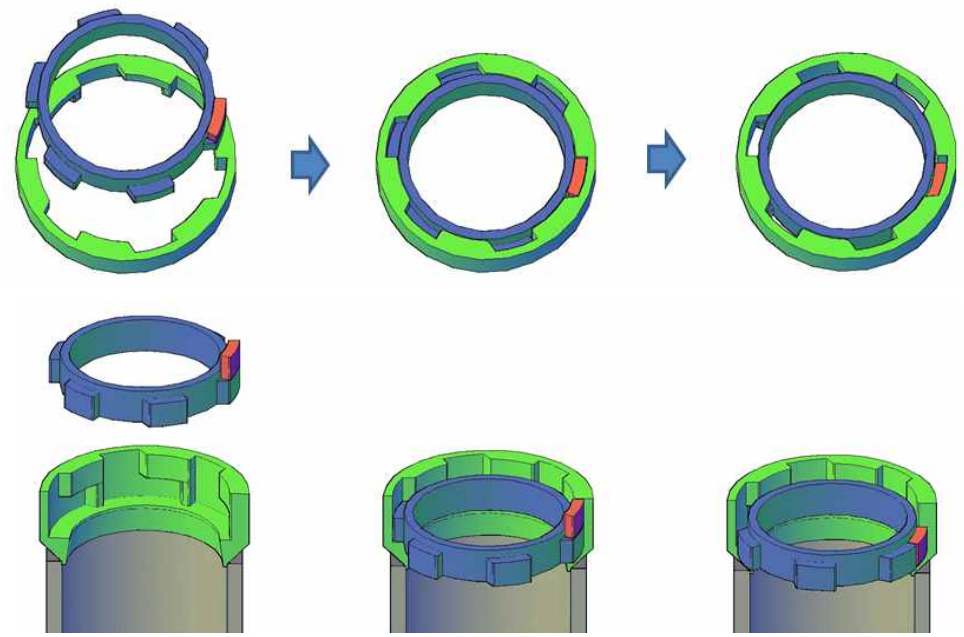


그림 1.5 신형식 헬리컬 파일 연결장치 개념도



<상/하부 파일 연결> <소켓팅> <회전결합>

그림 1.6 신형식 헬리컬 파일 결합 모식도

3. 연구개발 범위

3-1. 1차 연도

○ 헬리컬 파일 연결부 설계기준 정립

· 압축, 인장, 휨 요구성능 정립

○ 직경별 연결부 상세 도출

· 직경 114.3, 139.8mm 연결부 사양 도출

○ 구조해석 검증

· 강관&연결부 압축/인장/휨거동 유한요소해석 평가

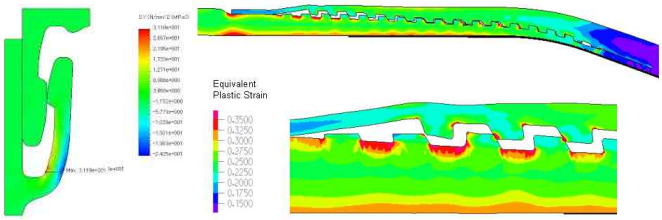


그림 1.7 연결부 구조해석 검증 사례

3-2. 2차 연도

○ 연결부 제작 프로세스 정립

· 가공방법 및 용접제작 최적화



그림 1.8 제작프로세스 정립

○ 연결장치 실모델 제작

· 주물/용접/가공 최적 프로세스 정립

· 연결장치 제작단가 산출

○ 연결장치 제작성능 평가

· 연결장치&강관 최적 결합방법 도출

· 연결장치 부착 강관 제작단가 산출

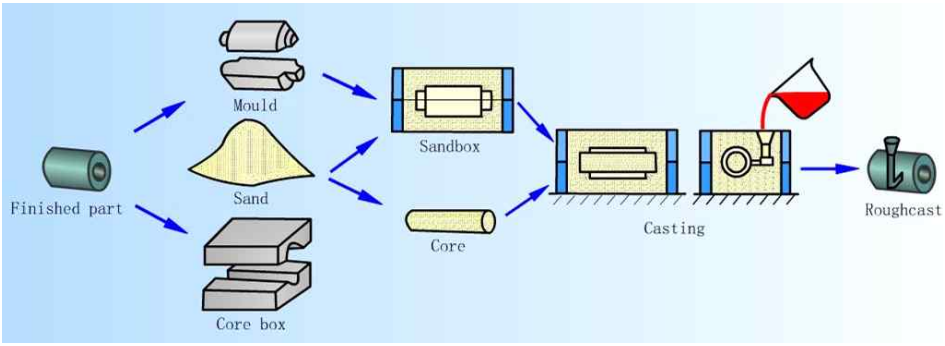


그림 1.9 연결장치 제작공정(주물제작)



그림 1.10 연결장치 체결성능 평가

○ 연결장치 체결성능 평가

· 시공장비 유압장치 어댑터 제작

· 체결 시공성(체결 속도 / 인력소요) 평가

○ 직경별 상세 표준화

· 114.3mm, 139.8mm 표준도면 개발

○ 경제성 분석

· 직경별 일위대가 산출

○ 제작 및 시공매뉴얼 개발

· 연결부 설계매뉴얼 정립

· 연결부 시공매뉴얼 정립(제작지침 포함)

○ 연결부 토크 저항 성능 평가 해석

· 본 연구개발 연결부 및 기존 pin 타입 연결부 토크 가력 해석 및 비교

○ 구조성능 평가 시험

· 연결부 휨/압축/인장 시험

○ 현장 시험시공

· 현장 섭외 및 시험준비

– 헬리컬 파일 현장시공 및 실험가능 부지 확보

: 실 시공현장 우선 섭외 추진 (불가 시 시험용 부지 임대)

– 현장 시험시공 계획 수립

: 헬리컬 파일 제작사, 시공사, 전문가 의견 반영

– 현장 시험시공용 헬리컬 파일 제작

: 연구개발 연결부 및 기존 pin 타입 연결부 반영 파일 본체(리드 파일, 샤프트 등 포함) 제작

· 현장 재하시험

– 정재하 및 수평/인발 성능 평가

· 회전방지 채움재 적용성 검토

– 회전방지 채움재 적용 후 토크 가력 및 인발 시 거동 검토

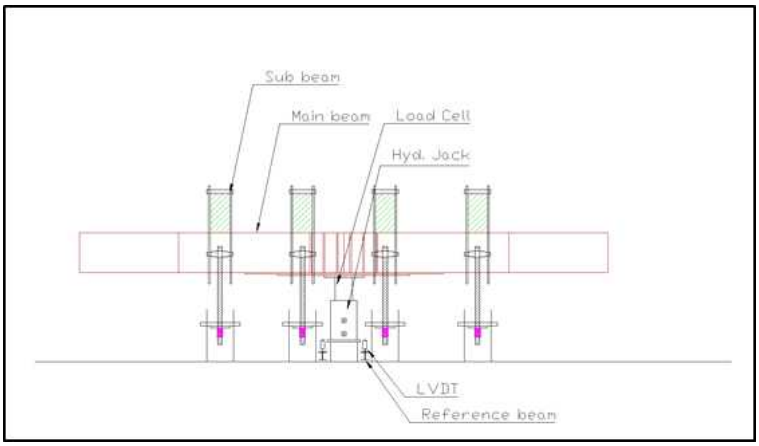
· 기존 pin 타입 연결부와 성능 비교

– 기존 및 본 연구개발 연결부 토크 성능 비교

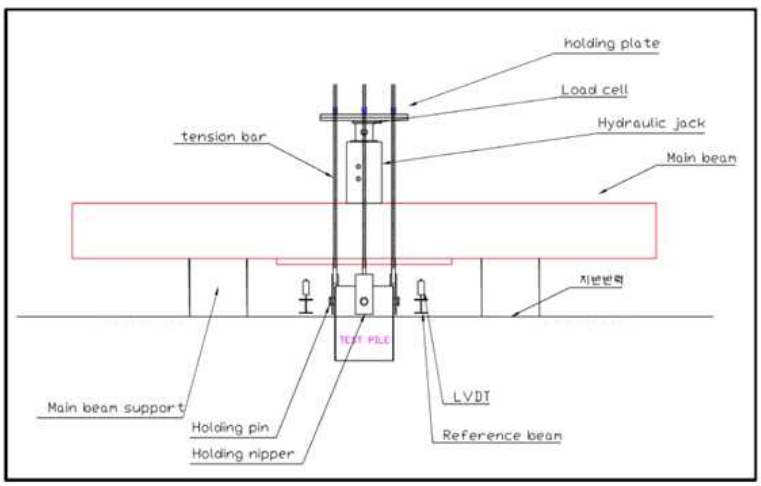
: 관입 장비에 토크 미터 설치

– 그라우팅 시공성 비교

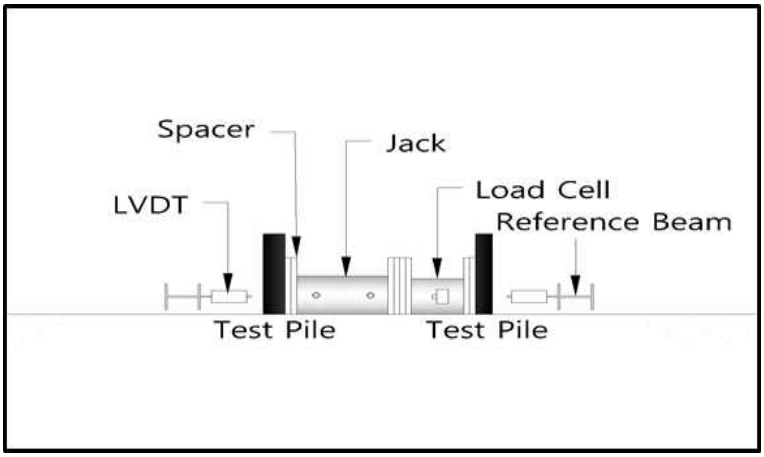
: 중력식 그라우팅 시공절차 및 시공시간 측정/비교



<정재하시험>



<인발시험>



<수평재하시험>

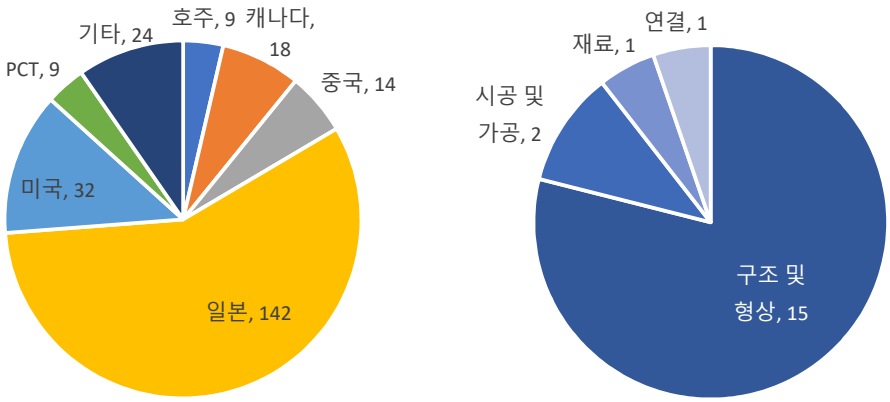
그림 1.11 현장적용 성능평가

1. 헬리컬 파일 연결부 관련 지식재산권 현황 및 국내·외 기관(기업)

1-1. 헬리컬 파일 관련 국내외 특허 통계 (그림 2.1 참조, KIPRIS 특허 검색 결과)

○ 헬리컬 파일은 국내외 중소규모 현장에서 다양한 목적으로 사용되고 있고 헬리컬 파일과 직간접적으로 관련된 특허는 그림 2.1(a)와 같이 일본 및 미국에 집중되어 있으나 기계적 연결과 관련된 특허는 매우 적음

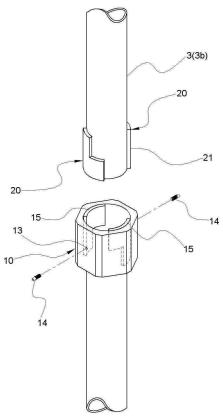
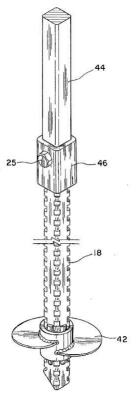
○ 국내의 헬리컬 파일 관련 특허는 헬리컬의 독특한 구조 및 형상을 통해 지지력을 높이기 위한 상세들이 주류를 이루고 있으며 연결과 관련된 특허는 거의 없음



(a) 해외 특허 건수 (b) 국내 특허 구분

그림 2.1 헬리컬 파일 관련 특허

표 2.1 헬리컬 파일 연결부 관련 대표 특허

대표도면	특허 현황	
	특허명	헬리컬 파일용 사프트 파일 연결구조
	국가	대한민국
	특허번호	10-2019-0000532 (2019.01.03.)
	주요내용	하부 샤프트 파일의 상단에 암 커플링이 장착되고, 암 커플링의 내주면에 "ㄱ" 형상으로 형성된 한 쌍의 걸림턱이 서로 마주보게 배치되며, 암 커플링과 짝을 이루는 "ㄴ" 형상으로 형성된 한 쌍의 수 커플링이 상부 샤프트 파일의 하단 외주면에 배치는 헬리컬 파일용 사프트 파일 연결구조
	차별성	암수부 걸쇠에 의해 축력 및 토크에 저항하나, 시공 및 공용 중 유압잭 해체를 위해 역회전력이 발생할 경우 연결이 해제될 수 있는 위험성을 내재하고 있으나, 본 과제의 연결구조는 회전방지 채움재에 의해 역회전 시 풀림이 발생할 수 없는 차별성을 가지고 있음
	특허명	System for terminating helical piles and tiebacks
	국가	미국
	특허번호	2011/0194901 A1 (2011.08.11.)
	주요내용	각형 강봉 형태의 헬리컬 파일 하부와 상부가 암수형태로 결합되어 외부 장치 없이 회전력에 저항할 수 있으며 파일 연결부를 관통하는 핀 또는 볼트를 통해 축력에 저항하는 연결구조
	차별성	각형 강봉 헬리컬 파일에 적용가능한 연결구조로서 국내에서는 대부분 원형 파이프 형태의 헬리컬 파일을 사용하므로 적용이 불가능함

1-2. 국내외 헬리컬 파일 연결 관련 대표 특허

○ 국내에 헬리컬 파일의 기계적 연결에 관한 특허가 있으나 단순한 상하부 걸쇠의 연결만이 이루어지므로 역회전에 저항이 불가능할 뿐만 아니라 연결부 제작이 어려움

○ 해외의 헬리컬 파일의 기계적 연결에 관한 특허는 주로 pin 타입에 관한 것이며 국내의 현황과 달리 그라우팅 없이 낮은 지지력만을 활용하는 각형 강관 형식의 헬리컬 파일에 대한 것들이 대부분이어서 국내의 적용이 어려움

2. 시장 규모 및 전망

2-1. 국내 헬리컬 파일 시장 규모

○ 헬리컬 파일은 국내에서 연간 약 5만본이 사용되는 것으로 알려져 있으며 평균길이는 약 15m임

○ 헬리컬 파일은 3m 길이로 연결되고 시공을 위해 최상단에도 유압잭과의 연결을 위해 연결부가 필요하므로 연간 약 25만개의 연결부가 소요됨

○ 본 과제 완료 후 새로운 헬리컬 파일 연결기술이 전체시장의 약 50%를 점유할 경우, 기존공법(6만원/개, thread 타입) 대비 약 20% 공사비를 절감할 수 있으므로 연간 약 15억원의 건설비용을 절감할 수 있음

표 2.2 헬리컬 파일 예상 공사비 비교

구 분	재료비* (원/본)	시공비 (원/본)	공사비 (원/본)	비고
Thread	150,000	30,000	180,000	-
신형식	120,000	24,000	144,000	20% 절감

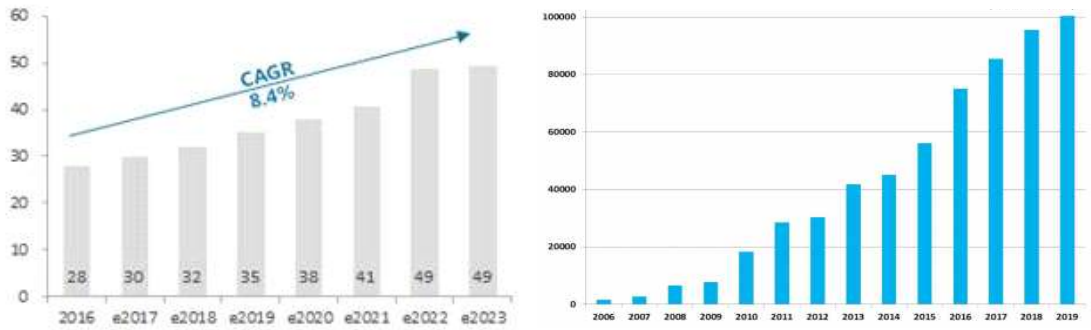
* : 샤프트 파일 + 연결부

2-2. 헬리컬 파일 적용가능 시장 규모

○ 헬리컬 파일은 중소규모 현장에 널리 사용되고 있으며 사용의 비약적인 증가가 기대되는 시장은 리모델링과 태양광발전 등의 분야임

○ 한국건설산업연구원은 국내 리모델링 시장규모의 성장률을 약 8.4%로 산정하고 있음 (그림 2.2 (a) 참조)

○ 한국수출입은행은 블룸버그 뉴 에너지 파이낸스의 통계자료를 활용하여 태양광발전 시장의 성장률을 연간 약 5~10%가 될 것으로 예상하고 있음 (그림 2.2(b) 참조)



(a) 국내 리모델링 시장 규모 (단위: 조원) (b) 세계 태양광 발전 규모 (단위: MW)

그림 2.2 헬리컬 파일 적용가능 시장 규모

○ 이상에서 기술한 관련 시장의 규모의 증가세를 고려하면 헬리컬 파일 연결부의 시장도 연간 약 5~10% 이상 성장할 것으로 예상되며, 과제가 완료되는 2020년 경에는 연간 약 28만~30만개의 헬리컬 파일 연결부가 소요될 것으로 예상됨

제3장. 연구수행내용 및 성과

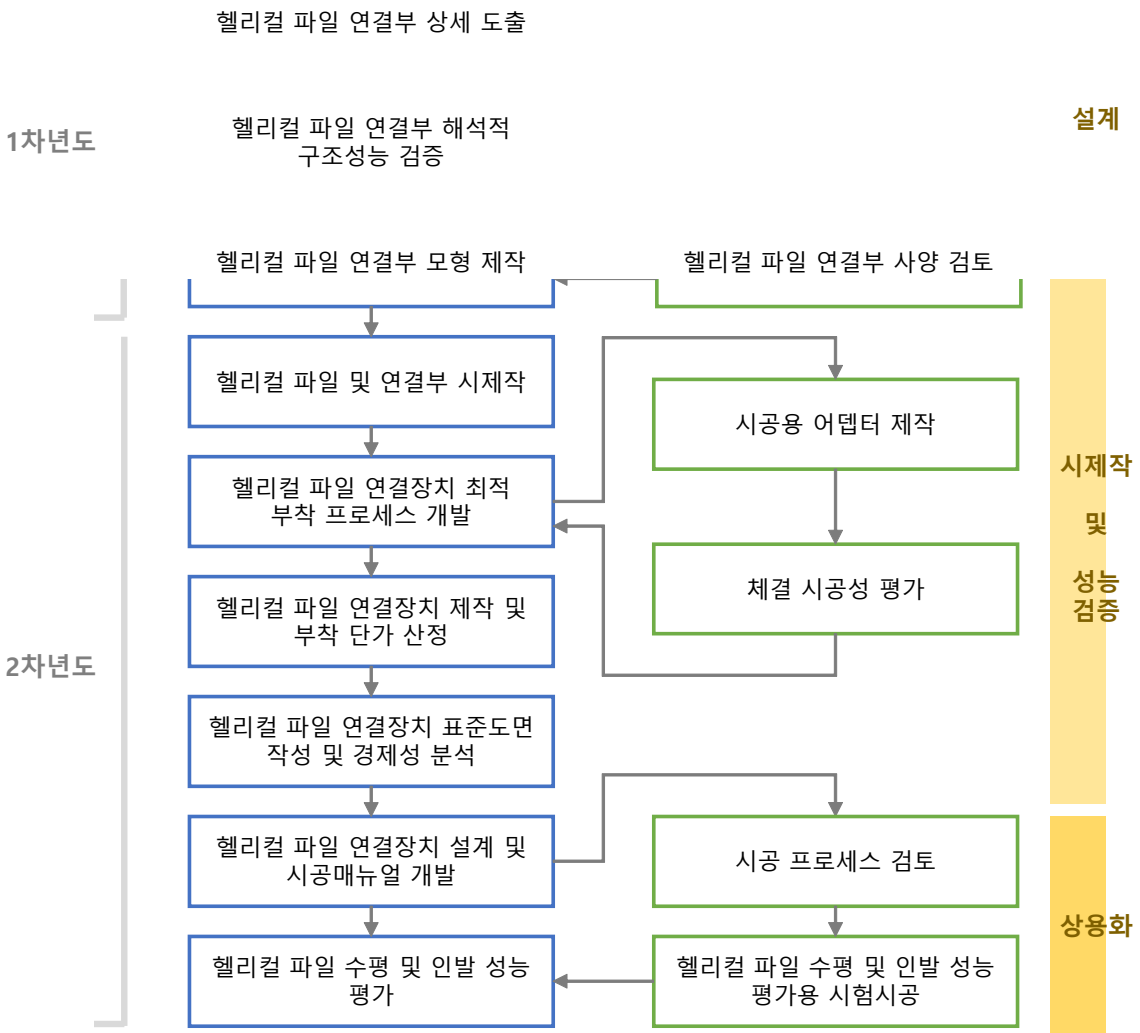
1. 연구 개발의 추진전략·방법 및 추진체계

1-1. 연구개발 추진전략·방법

○ 주관연구기관(택한) 및 참여기업(티엔씨)의 특장점을 적극적으로 활용하여 연구내용을 분담하고 추진체계를 구축하였음

○ 주관연구기관(택한)은 해석 및 설계, 특수 정밀 해석 등에 특화되어 있으므로 연결장치 사양개발, 설계 매뉴얼 개발, 성능평가 등을 담당함

○ 참여기업(티엔씨)는 강구조 및 철물 제작과 시공에 특화되어 있으므로 헬리컬 파일 시제작, 시공 매뉴얼 개발 등을 담당함



1-2. 연구개발 추진체계

연구개발과제		총 참 여 연 구 원
과제명	리모델링용 헬리컬 파일 연결기술 개발	주관연구책임자 조광일 외 총 4명

기 관 별 참 여 현 황		
구 분	연구기관수	참여연구원수
대 기 업	-	-
중견기업	-	-
중소기업	1	5
대 학	-	-
국공립(연)	-	-
출 연 (연)	-	-
기 타	-	-

주관연구기관: (주)택한
리모델링용 헬리컬 파일 연결기술 개발
조광일 외 5명
담당기술개발내용
헬리컬 파일 연결부 설계, 제작 및 성능검증

참여기업: (주)티엔씨
헬리컬 파일 및 연결부 시공매뉴얼 개발
담당기술개발내용
헬리컬 파일 및 연결부 시제작, 시험시공 및 성능검증 협업

1-3. 추진일정

1차년도																
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비 (단위: 천원)	책임자 (소속 기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	압축, 인장, 휨 요구성능 정립													20	조광일 (택한)
2	직경 114.3, 139.8mm 연결부 사양 도출													35	조광일 (택한)
3	강관&연결부 압축/인장/휨거동 유한요소해석 평가													95	조광일 (택한)
4	3D 프린팅 모형 제작													44	조광일 (택한)
5	성과물 취합 및 보고서 작성													10	조광일 (택한)

2차년도															
일련번호	연구내용	추진 일정												연구개발비(단위:천원)	책임자(소속기관)
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1	주물/용접/가공 최적 프로세스 정립													20	조광일(택한)
2	연결장치 제작단가 산출													28	조광일(택한)
3	연결장치&강관 최적 결합방법 도출													40	조광일(택한)
4	연결장치 부착 강관 제작단가 산출													40	조광일(택한)
5	시공장비 유압장치 어댑터 제작													58	박상진(티엔씨)
6	체결 시공성 평가													40	박상진(티엔씨)
7	114.3mm, 139.8mm 표준도면 개발													40	조광일(택한)
8	직경별 일위대가 산출													40	조광일(택한)
9	연결부 설계매뉴얼 정립													18	조광일(택한)
10	연결부 시공매뉴얼 정립													20	조광일(택한)
11	헬리컬파일 현장시공 및 실험가능 부지 확보													30	조광일(택한)
12	정재하 및 수평/인발 성능 평가													95	조광일(택한)
13	성과물 취합 및 보고서 작성													20	조광일(택한)

2. 연구내용 및 성과 개요

2-1. 핵심연구 A: 헬리컬 파일 연결장치 최적사양 개발

○ 단위연구 A-1: 헬리컬 파일 연결부 상세 설계

○ 단위연구 A-2: 헬리컬 파일 연결부 해석적 구조성능 검증

○ 단위연구 A-3: 헬리컬 파일 연결부 시제품 제작

2-2. 핵심연구 B: 헬리컬 파일 연결장치 실모델 제작 및 성능검증

○ 단위연구 B-1: 헬리컬 파일 연결장치 제작성능 평가

○ 단위연구 B-2: 헬리컬 파일 연결장치 체결성능 평가

2-3. 핵심연구 C: 헬리컬 파일 연결장치 제작 및 시공매뉴얼 개발

○ 단위연구 C-1: 헬리컬 파일 연결장치 상세 표준화 및 매뉴얼 개발

2-4. 핵심연구내용 D: 헬리컬 파일 연결장치 현장적용 시험검증

○ 단위연구 D-1: 헬리컬 파일 및 연결부 현장재하시험

3. 핵심연구내용 A: 헬리컬 파일 연결장치 최적사양 개발

3-1. 단위연구 A-1: 헬리컬 파일 연결부 상세 설계

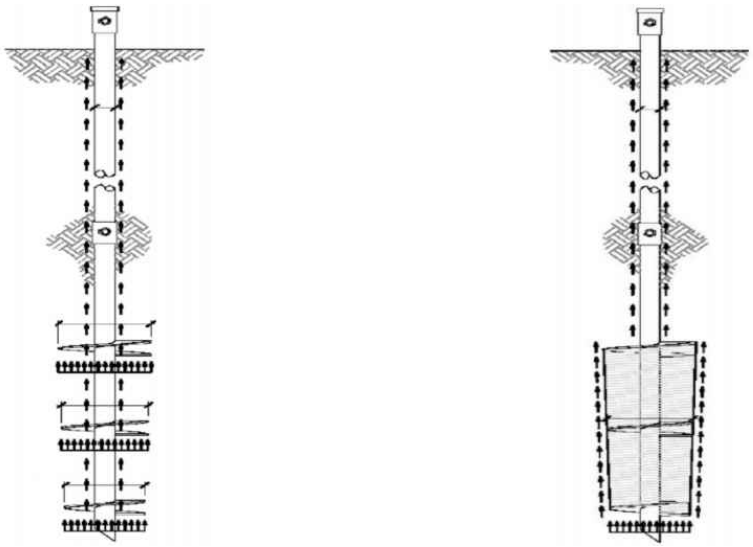
○ 헬리컬 파일의 설계

● 설계 개요

- 헬리컬 파일은 중공형 파일에 해당 파일의 직경보다 큰 직경을 갖는 나선형 원판을 부착: 파일의 주면마찰력 외에 각 나선형 원판이 선단지지력을 발휘

☞ Individual bearing method 또는 Cylindrical shear method로 나선형 원판의 지지력을 고려한 연직지지력 및 인발저항력 산정 필요

- 위의 방법을 활용하여 헬리컬 파일의 연직지지력, 인발저항력, 수평지지력을 산정하고 이에 대응할 수 있는 연결부의 설계강도를 산정함



(a) Individual bearing method (b) Cylindrical shear method

그림 3.1 헬리컬 파일의 지지력 산정 방법 (Perko, 2003)

● 연직지지력 (압축)

(1) 연직지지력 산정 개요

- Individual bearing method 또는 Cylindrical shear method를 사용하여 얻은 연직지지력 중 작은 값을 사용

(2) Individual bearing method 적용

- 헬리컬 파일에 부착된 각 원판이 선단지지력을 발현하는 것으로 하여 각 선단지지력의 합과 파일의 주면마찰력의 합으로 산정 (식 1)

$$\sum_{n} q_{ult} A_n + \alpha H(\pi D) \qquad (1)$$

여기서, q_{ult}: 극한지지응력

A_n: n번째 나선형 원판의 면적

α: 지반과 파일 사이의 부착력

H: 최상부 나선형 원판까지의 파일 길이

D: 파일 직경

- 극한지지응력(q_{ult}): Terzaghi(1943)의 제안식을 수정한 Meyerhof(1951)의 제안식이 보편적으로 사용되며 산정 방법은 식 2와 같음

$$q_{ult} = cN_c s_c d_c + q' N_q s_q d_q + 0.5\gamma B N_r s_r d_r \qquad (2)$$

여기서, c: 점차력, q': 유효응력

, L: 기초의 길이와 폭
: 지반의 단위중량
N , N_q, N_r: 지지력계수
s_c, s_q, s_r: 형상계수, d_c, d_q, d_r: 깊이계수

(3) Cylindrical shear method 적용
- 나선형 원판 사이의 지반 전체가 동일하게 저항하는 것으로 가정하여 지지력을 산정하는 방법으로서, 최하단 원판의 선단지지력, 원통형 지반의 전단력, 파일의 주면마찰력의 합으로 산정 (식 3)

$$P_u = q_{ult}A_1 + T(n-1)s\pi D_{ave} + \alpha H(\pi D) \qquad (3)$$

여기서, q_{ult}: 극한지지응력 (식 2 참조)
A_1: 최하부 나선형 원판의 면적
T: 원통형 지반의 전단강도
$(n-1)s$: 나선형 원판 사이에 형성된 원통형 지반의 높이
$_{ve}$: 나선형 원판의 평균 지름

● 인발저항력 (인장)
(1) 인발저항력 산정 개요
- 상기 연직지지력 산정 방법과 유사하나 지반의 콘 형태 인발(그림 2)을 추가로 고려하여 산정
- 파괴면을 따라 전단력이 0이 되면 그림 2와 같은 콘 또는 피라미드 형태의 인발파괴가 발생하며 파괴면의 각도는 보통 지반의 마찰각의 0.45~0.55배가 됨
- Individual bearing method 또는 Cylindrical shear method를 사용하여 얻은 인발저항력과 콘 형태 인발저항력 중 작은 값을 사용

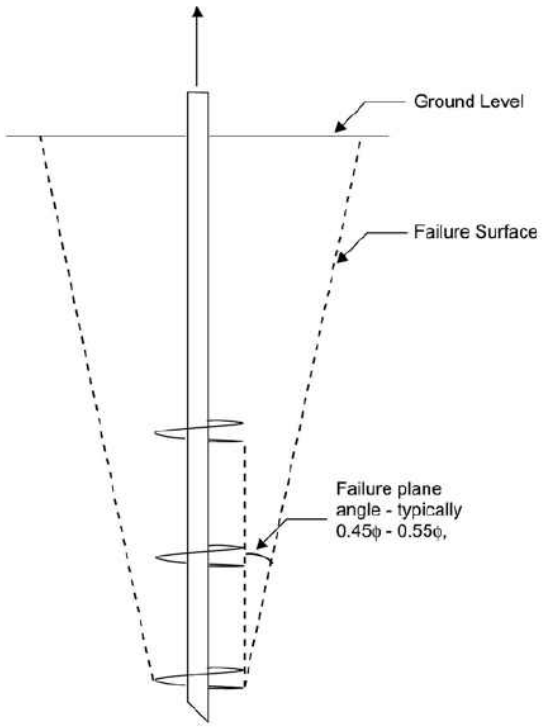


그림 3.2 헬리컬 파일의 콘 형태 인발

(2) Individual bearing method 및 Cylindrical shear method 적용
: 연직지지력 산정 시와 동일한 방법
(3) 콘 형태 인발저항력 산정
- 콘 형태의 토체 무게, 파일의 무게, 콘 형태 파괴면에서의 점착력을 합산하여 산정 (식 4)

$$V_{cone}\gamma + W_{pipe} + W_{helix} + A_{cone}c \qquad (4)$$

여기서, V_{cone}: 콘의 부피

W_{pipe}, W_{helix}: 파일 및 나선형 원판의 무게

A_{cone}: 콘의 측면적

c: 토체의 점착력

● 수평지지력 (휨)

(1) 수평지지력 산정 개요

- 헬리컬 파일도 일반적인 타입 파일 또는 현장타설 파일과 동일하게 구조물 기초설계기준 해설(2016)의 방법에 준하여 산정
- 파일머리의 수평 변위량(y_0)이 상부구조로부터 정해지는 허용수평변위량(y_{all}, 통상 15㎜)를 초과하지 않고, 파일에 발생하는 최대 휨모멘트(M_{max})가 허용휨모멘트(M_{all})를 초과하지 않도록 설계 (그림 3)
- 극한변형법, 지반반력법, p-y곡선 해석법 등을 사용

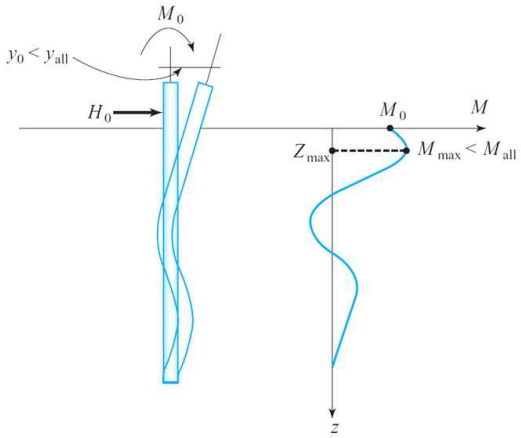


그림 3.3 수평재하 파일의 설계

(2) 극한평형법(Broms의 방법) 산정 절차

: Broms의 방법과 Hansen의 방법이 있으나 일반적으로 Broms의 방법이 널리 사용됨

1) 지반 종류 결정:사질토 또는 점성토
2) 수평 지반반력계수(k_h) 결정
3) 파일 관련계수 결정: 파일의 탄성계수,항복모멘트, 형상계수, 단면계수 등
4) 짧은 파일 또는 긴 파일 결정 (표 1, 길이 특성계수 산정)

표 3.1 짧은 파일 및 긴 파일의 구분

구 분	점성토	사질토
짧은 파일	2.25	$\eta L < 2.0$
중간 파일	–	2.0 ηL 4.0
긴 파일	$\beta L > 2.25$	$\eta L > 4.0$

여기서, L: 파일의 길이 (m)

$\beta = k D/4EI$ (m^{-1}), $\eta = \sqrt[5]{n_h/EI}$ (m^{-1})

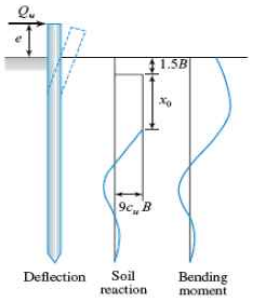
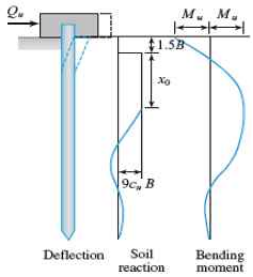
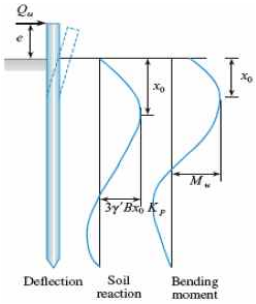
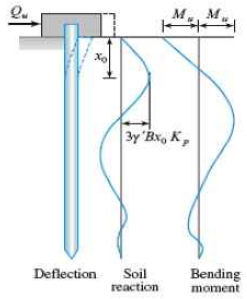
k_h: 수평방향 지반반력계수 (kN/m^3), n_h: 지반반력상수($k_h D/x$, kN/m^3)

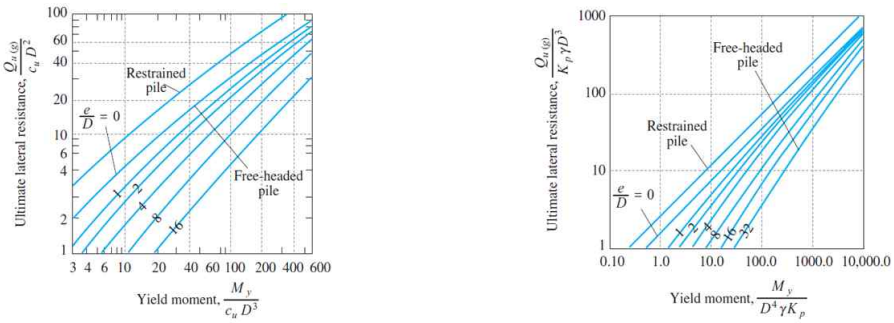
D: 파일 직경 (m), E: 파일의 탄성계수 (kN/m^2), I: 파일의 단면2차모멘트 (m^4)

5) 파일 근입깊이에 따른 지반계수 산정: 정지토압계수(K_p), 지반 단위중량, 비배수 점착력 (c_u) 등
6) 수평방향 극한 저항력(Q_u) 산정 (표 2, 그림 4)

: 연결부는 파일 길이가 3m 이상이 되는 경우에 필요하고, 파일단면 및 길이를 고려하면 모든 경우에서 긴 파일에 해당되므로 이의 산정방법만을 제시함

표 3.2 Broms 방법에 의한 긴 파일의 수평지지력 산정

구 분	파일머리 자유	파일머리 회전구속
점성토	 $\left(\frac{Q_u}{2}\right)^2 + 18\left(\frac{h}{D}+27\right)\left(\frac{Q_u}{c_uD^2}\right)=18\left(\frac{M_y}{c_uD^3}\right)$ $M_{\max}=M_y$	 $\left(\frac{Q_u}{c_uD^2}\right)^2+27\left(\frac{Q_u}{c_uD^2}\right)=36\left(\frac{M_y}{c_uD^3}\right)$ $M_{\max}=M_y$
사질토	 $\frac{Q_u}{K_p\gamma D^3}\left(\frac{h}{D}+0.544\frac{Q_u}{K_p\gamma D^3}\right)=\frac{M_y}{K_p\gamma D^4}$ $M_{\max}=M_y$	 $\frac{Q_u}{K_p\gamma D^3}=2.37\left(\frac{M_y}{K_p\gamma D^4}\right)^{\frac{2}{3}}$ $M_0=M_{\max}=M_y$



(a) 점성토 (b) 사질토

그림 3.4 긴 파일의 극한수평지지력에 대한 Broms의 해

(3) 지반반력법

- 파일을 탄성지반에 지지된 보로 가정하여 토체에 묻힌 파일의 휨변형에 관한 기본방정식의 해를 구한 것 (식 5)

$$EI\frac{d^4y}{dx^4}+P=0 \qquad (5)$$

여기서, x: 파일 축에 따라 측정한 지표면으로부터의 거리 (m)

y: 파일의 수평변위 (m)

P: 수평지반반력 (kN/m)

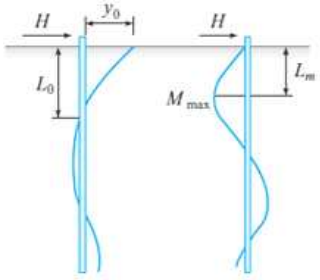
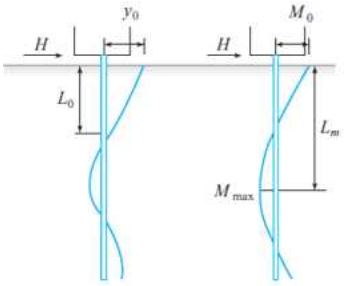
$P=k_hDy$ (k_h가 깊이에 따라 일정한 경우)

$P=n_hxy$ (k_h가 깊이에 따라 선형으로증가하는 경우)

- 파일 길이가 긴 파일 조건인 경우 파일의 고정, 힌지, 자유 등의 선단조건이 변해도 모멘트 및 변위는 무한길이 조건과 일치하여, 긴 파일에 대한 Chang의 해를 사용할 수 있음 (표

3.3)

표 3.3 Chang의 해에 의한 수평폭을 받는 긴 파일의 해석

파일머리 조건	파일머리 자유	파일머리 회전구속
$= \quad k \quad /4EI$		
파일머리의 휨모멘트, M_0	0	$\frac{H}{2\beta}$
지중부의 최대 휨모멘트, $M_{\max}$	$0.3224\frac{H}{\beta}$	$0.2079\frac{H}{\beta}$
파일머리의 수평변위, y_0	$\frac{H}{2EI\beta^3}=\frac{2H\beta}{k_hD}$	$\frac{H}{4EI\beta^3}=\frac{H\beta}{k_hD}$
지중부 최대 휨모멘트 발생깊이, L_m	$\frac{\pi}{4\beta}=\frac{0.785}{\beta}$	$\frac{\pi}{2\beta}=\frac{1.571}{\beta}$
제1부동점 깊이, L_0	$\frac{\pi}{2\beta}=\frac{1.571}{\beta}$	$\frac{3\pi}{4\beta}=\frac{2.356}{\beta}$

○ 헬리컬 파일 연결부 목표 강도 산정

● 헬리컬 파일 사용현황 조사

(1) 조사대상: 발주처(LH공사, P사 등), 헬리컬 파일 제작사(H사 등)

(2) 헬리컬 파일 사용 현황 및 전망

- 현재 가장 많이 사용되고 있는 헬리컬 파일의 지름은 114.3㎜이며, 단계적으로 대구경화 추세에 있음
- 직경이 커질수록 토크에 저항하기에 용이해지므로 작은 직경의 연결부 개발이 상대적으로 어려움
- 114.3㎜ 보다 한 단계 큰 파일의 직경은 139.8㎜이며 그 다음으로는 165.2㎜, 216.3㎜ 등이 있음

→ 당초 목표인 D200용 연결부보다 D114의 다음 단계인 D140용 연결부를 먼저 개발하는 것이 가장 합리적인 것으로 판단하여 개발목표 수정 (D200→D140)

● 모재(파일) 설정 (표 3.4)

- 고강도 소구경 파일(헬리컬 파일) 적용을 목표로 설정
- 본 과제의 헬리컬 파일 연결기술이 적용될 파일 단면(지름 및 두께) 설정
  : 가장 사용빈도가 높은 파일 제원을 우선 검토대상으로 설정

표 3.4 헬리컬 파일 제원

파일 외경 (D, mm)	두 께 (t, mm)	강 재
114.3 (D114)	9	SGT550 (F_a=330MPa, F_y=550MPa, F_u=690MPa)
139.8 (D140)	6	

● 연결부 연직지지력 (압축)

(1) 강도 설정

- 헬리컬 파일에 사용되는 **<u>고강도 파일(모재) 동등 수준으로 설정</u>**
  : 모재 SGT550 (F_y=550MPa, F_u=690MPa)

(2) 연결부 설계 연직지지력 도출

- 파일 단면적 및 항복응력을 고려하여 아래와 같이 산정

a) D114용: 모재 단면적(2959㎟) x 모재 항복응력 (550MPa) = 1628 kN
b) D140용: 모재 단면적(2920㎟) x 모재 항복응력 (550MPa) = 1606 kN

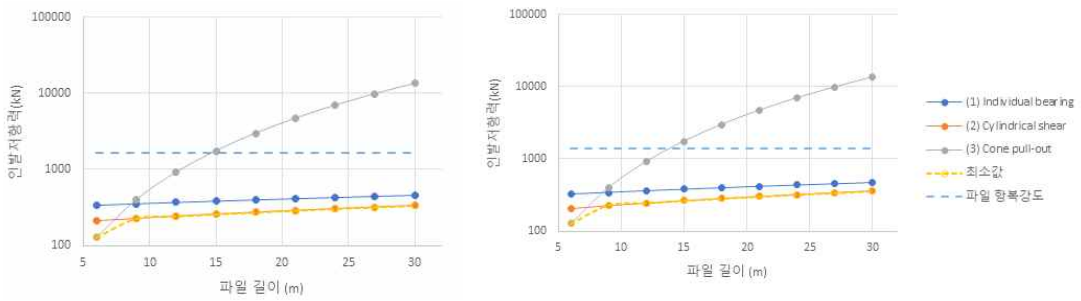
● 연결부 인발저항력 (인장)

(1) 연결부 인발저항력 설정 방법

- 각 지름별 헬리컬 파일의 인발저항력 수준을 우선 검토하고, 그 이상의 값을 연결부의 설계 인발저항력으로 설정

(2) 연결부 설계 인발저항력 산정

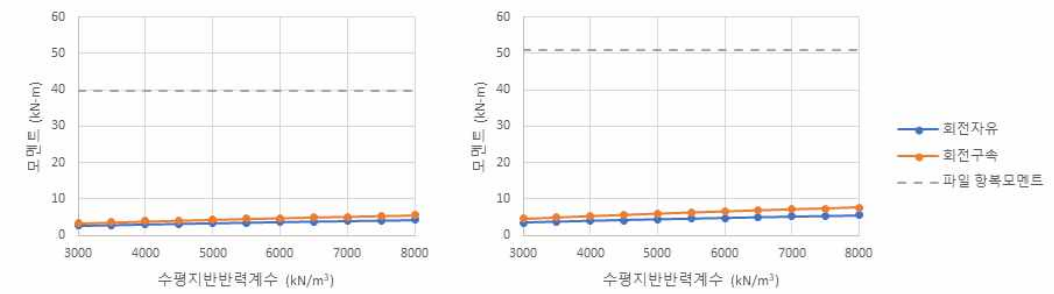
- 헬리컬 파일의 인발저항력은 주로 파일 길이에 따라 변화하므로, 파일 길이 변화에 따른 인발저항력을 산정하여 일반적인 인발저항력의 수준을 파악
- 헬리컬 파일 연결부는 약 6~30m 길이의 파일에 사용되는 것으로 가정하여 길이에 인발저항력 산정 및 분석 수행(그림 5)
  : 앞서 기술한 헬리컬 파일 설계방법에 따라 검토를 수행하였으며, 길이가 증가할수록 인발저항력이 증가하며 원판 저항력이 주로 지배
- 헬리컬 파일 인발저항력 수준
  a) D114: 최대 약 332kN (모재 항복강도 대비 약 20% 수준)
  b) D140: 최대 약 356kN (모재 항복강도 대비 약 21% 수준)
  → 연결부 목표 강도는 **모재 항복강도 대비 30%로 설정**



(a) D114 (b) D140

그림 3.5 헬리컬 파일의 길이별 인발저항력 분석

- 헬리컬 파일 인발저항력의 수준을 고려하여 연결부 설계 인발저항력 도출
  a) D114용: 파일 항복강도(1628 kN) x 30% = 488kN
  b) D140용: 파일 항복강도(1606 kN) x 30% = 482kN



(a) D114 (b) D140

그림 3.6 헬리컬 파일의 지반반력계수별 수평지지모멘트 분석

● 연결부 수평지지력 (휨)

(1) 연결부 수평지지력 설정 방법

- 각 지름별 헬리컬 파일 수평지지력 수준을 검토하고, 그 이상의 값을 연결부의 설계 인발저항력으로 설정

(2) 연결부 설계 수평지지력 산정

- 헬리컬 파일의 수평지지력은 항복모멘트가 아닌 파일머리의 허용수평변위에 의해 지배됨 → 파일머리의 허용수평변위를 15㎜로 가정하여 산정
- Chang의 방법에 따라 헬리컬 파일 수평지지력 산정 및 분석 수행(그림 6)
  : 지반반력계수를 변화시키며 파일머리의 수평변위가 허용수평변위에 도달했을 경우의 모멘트를 분석

- 헬리컬 파일 수평지지 모멘트 수준
  a) D114: 최대 약 5.5kN-m (모재 항복모멘트 40kN-m 대비 약 14% 수준)
  b) D140: 최대 약 7.6kN-m (모재 항복모멘트 51kN-m 대비 약 15% 수준)
  → 연결부 목표 강도는 **모재 항복강도 대비 20%로 설정**
- 헬리컬 파일 수평지지 모멘트를 고려하여 연결부 설계 수평지지 모멘트 도출
  a) D114용: 파일 항복모멘트(40kN-m) x 20% = 8kN-m
  b) D140용: 파일 항복모멘트(51kN-m) x 20% = 10kN-m

● 헬리컬 파일 연결부 설계강도
- 이상의 분석과정을 통해 헬리컬 파일 직경별 연결부 설계강도를 결정(표 5)하였고, 이를 기준으로 하여 이후의 연결부 설계 및 성능검증을 수행함

표 3.5 헬리컬 파일 연결부 설계강도 요약

파일 외경 (D, mm)	설계 연직지지력 (kN)	설계 인발저항력 (kN)	설계 수평지지 모멘트 (kN-m)
114.3	1,628	488	8
139.8	1,606	482	10

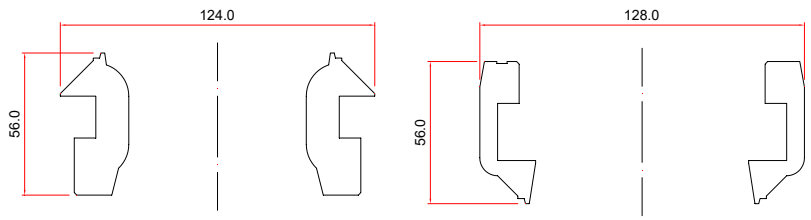
○ 헬리컬 파일 연결부 상세 **(성과지표 A-1 ①)**

● 사용 재료
- 고강도 헬리컬 파일 대응이 가능한 고강도 주강 재료 고려
- 향후 설계 기준강도가 상향된 헬리컬 파일 연결부 지침 등의 개발을 고려하여 2종의 재료 고려 (표 6)

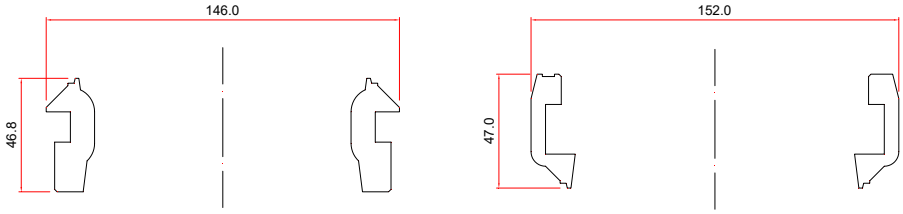
● 단면 형상
- 헬리컬 파일 연결부 설계강도 및 재료를 고려하여 연결부 상하부 제원 결정
(재료는 SCW550을 우선 고려함)
- 각 방향의 하중 및 토크에 저항할 수 있도록 키의 폭, 두께, 길이 등을 설정하여 2차원 및 3차원 도면화 (그림 3.7 및 3.8)

표 3.6 헬리컬 파일 연결부 재료

재료 기호	항복강도 (MPa)	인장강도 (MPa)
SCW550	355	550
A148 Gr105-85	550	690

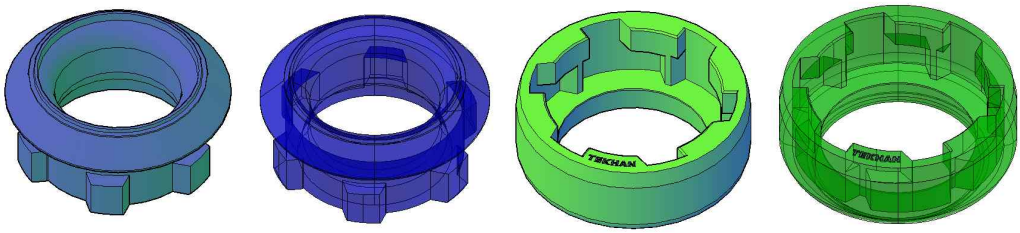


(a) D114 헬리컬 파일용 연결부 상부 및 하부

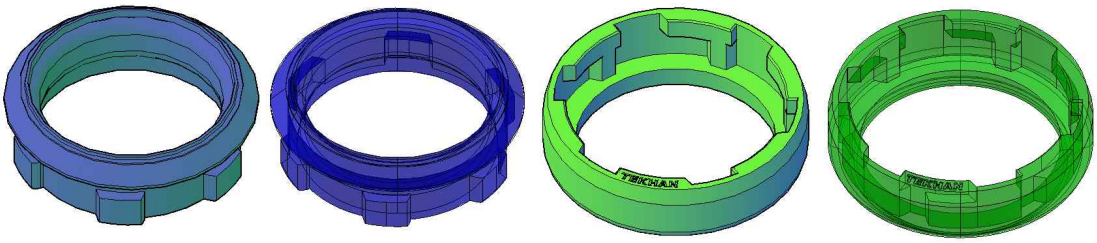


(b) D140 헬리컬 파일용 연결부 상부 및 하부

그림 3.7 헬리컬 파일 연결부 2차원 단면



(a) D114 헬리컬 파일용 연결부



(b) D140 헬리컬 파일용 연결부

그림 3.8 헬리컬 파일 연결부 상/하부 3차원 사시도 및 투시도

- 중량 분석
  - 헬리컬 파일에 연결부 용접시 작업성 확인을 위해 상하부 부피 및 중량 산정
    → 각 지름별 구성품 중량은 모두 2kg 미만이므로 용접 작업성이 용이할 것으로 판단

표 3.7 헬리컬 파일 연결부 부피 및 중량

파일 외경 (mm)	부피 (mm^3)		중량 (kg)	
	상부	하부	상부	하부
114.3	216,190	203,011	1.70	1.59
139.8	183,877	173,359	1.44	1.36

3-2. 단위연구 A-2: 헬리컬 파일 연결부 해석적 구조성능 검증

○ 헬리컬 파일 연결부 구조해석 개요

- 구조해석 목적
  - 헬리컬 파일 연결부의 압축, 인장, 휨 하중에 대한 설계 강도 만족 여부 파악
  - 시공 시 헬리컬 파일 연결부에 작용하는 토크에 대한 거동 분석

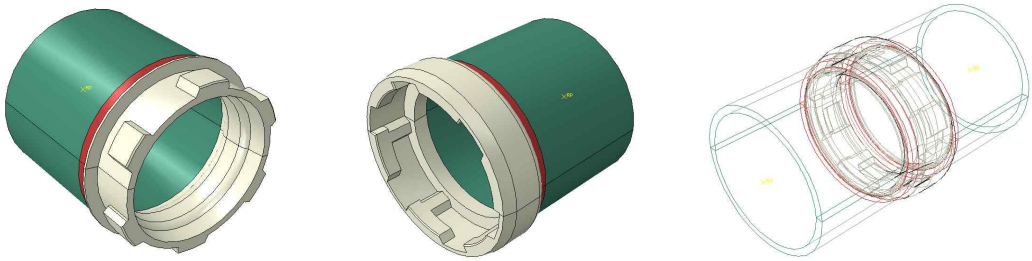
○ 헬리컬 파일 연결부 모형화 및 해석방법

- 모형화 대상 (그림 3.9~3.10)
  - 헬리컬 파일 연결부 및 파일 본체 일부: 총 길이 260㎜
  - D114 및 D140 헬리컬 파일용 연결부 각각 검토
  - 연결부 재료 2종 검토



(a) D114용 (b) D140용

그림 3.9 헬리컬 파일 연결부 구조해석 모형

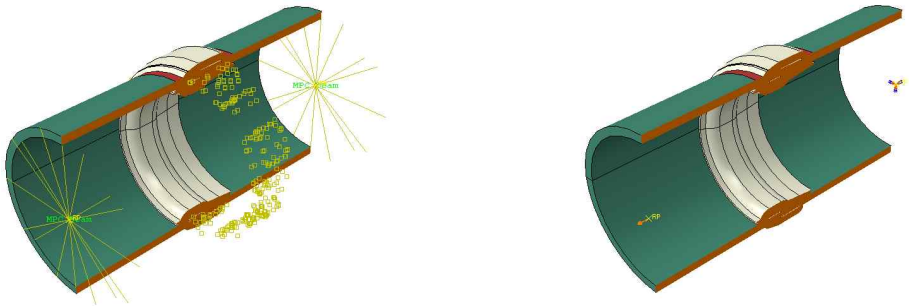


(a) 상부 (D140) (b) 하부 (D140) (c) 체결 투시도

그림 3.10 헬리컬 파일 연결부 구조해석 모형 상세

● 모형화 방법

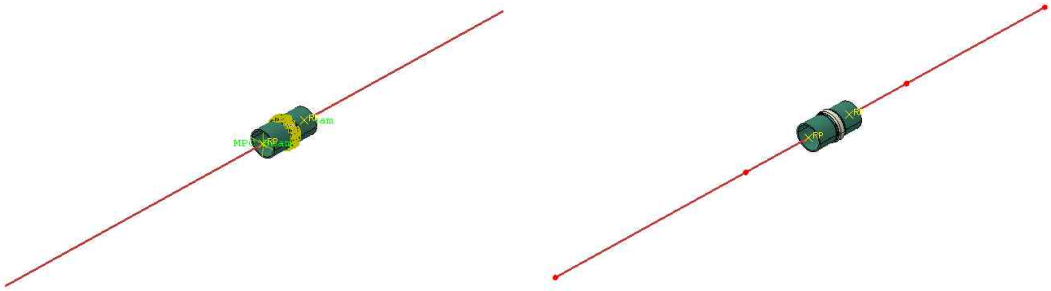
- 헬리컬 파일 연결부 상하부를 각각 모형화 하고, 접촉 경제조건을 부여 (그림 3.11)
- 각 단부는 일체로 거동하는 것으로 가정하여 구속조건을 부여하고 해당 점에 변위를 적용하여 하중(압축, 인장, 토크 하중) 재하



(a) 구속조건 및 접촉조건 (D140용) (b) 경계조건 및 재하 (D140용, 인장)

그림 3.11 헬리컬 파일 연결부 해석을 위한 조건 및 하중 부여

- 휨 해석 시에는 총 길이 3m가 되도록 헬리컬 파일을 프레임으로 모형화하여 연결하고, 단순보 4점 휨재하(재하위치 간격 1m)가 되도록 모형화 (그림 3.12)



(a) 기존 모형 양단 파일 연결 (D140용) (b) 지점 및 하중재하점 (D140용)

그림 3.12 헬리컬 파일 연결부 휨 해석 모형

○ 헬리컬 파일 연결부 구조해석 결과 분석

: 각 해석 케이스에서 응력분포 검토 및 연결부 설계하중과의 비교

● 압축해석 결과

- 응력 검토 (그림 3.13)
  a) 연결부 전면적이 압축하중에 저항하므로 상/하부가 맞닿는 면에 높은 응력 발생
  b) 모든 경우에 대해 과도한 응력집중은 발생하지 않음
- 내하력 검토 (그림 3.14 및 표 3.8)
  a) 헬리컬 파일 연결부에 압축하중이 작용하는 경우, 모재부근의 항복에 의해 거동이 지배되므로 연결부의 강도에 따른 압축하중 내하력이 유사하게 나타남
  b) 모재가 먼저 항복하며, 모든 경우에 대해 해석에 의한 연결부 내하력이 설계하중을 초과(설계하중 대비 101~109%)하므로 본 연결부는 압축하중에 대한 구조성능을 보유하고 있는 것으로 판단됨

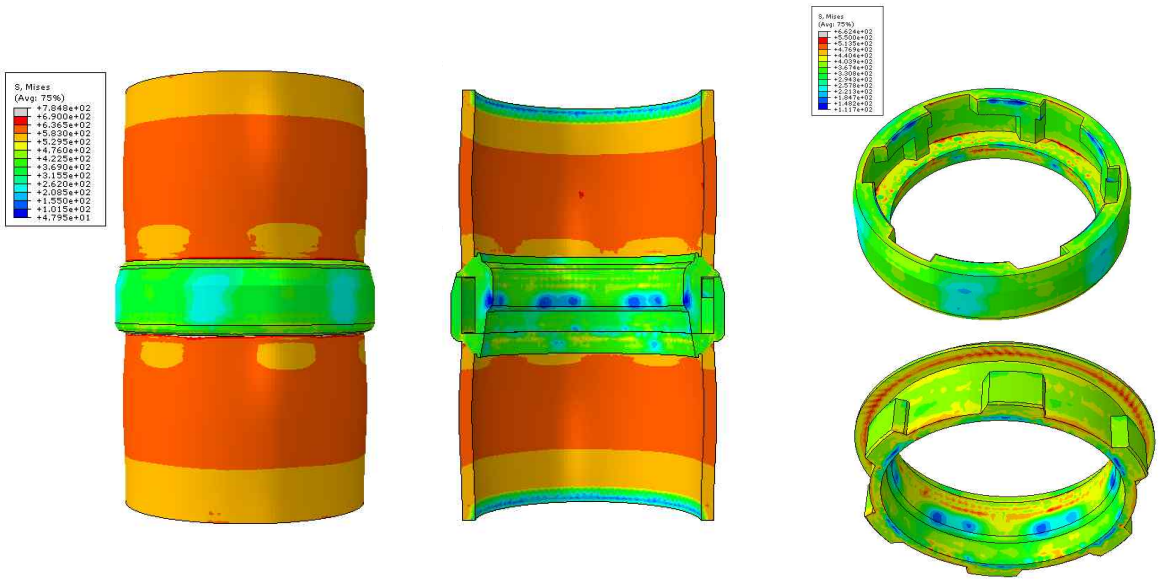
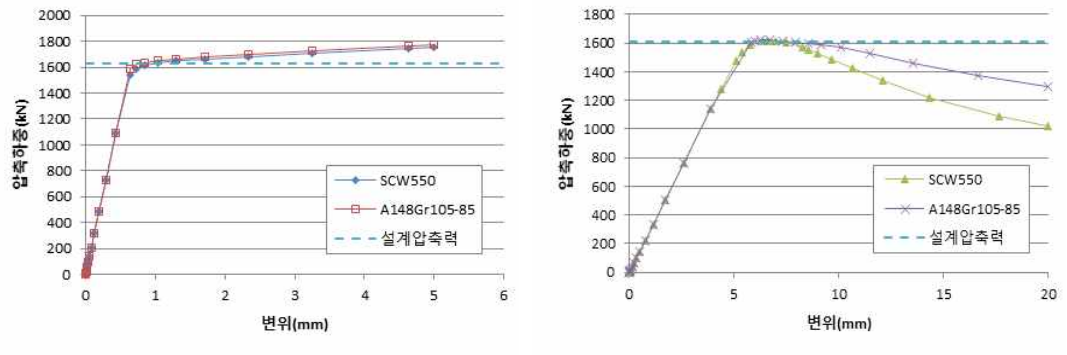


그림 3.13 압축하중에 의한 헬리컬 파일 연결부 응력도의 예 (D140, SCW550)



(a) D114용 (b) D140용

그림 3.14 압축하중에 의한 헬리컬 파일 연결부 하중-변위 곡선

표 3.8 압축하중에 대한 헬리컬 파일 연결부 내하력 검토 **(성과지표 A-2 ①)**

파일 외경 (mm)	설계하중 (kN)	내하력 (kN)		판정	
		SCW550	A148Gr105-85	SCW550	A148Gr105-85
114.3	1628	1757	1774	만족	만족
139.8	1606	1618	1619	만족	만족

- 인장 해석 결과
  - 응력 검토 (그림 3.15)
    a) 상하부 키가 연결부 외면 및 내면과 만나는 면적의 전단력이 인장하중에 대해 저항하므로 해당 위치에 높은 응력 발생
    b) 연결부 표면에서 국부적으로 항복응력을 초과하나 전반적으로 양호한 응력분포를 나타냄
  - 내하력 검토 (그림 3.16 및 표 3.9)
    a) 주로 헬리컬 파일 연결부의 키에 의해 인장하중에 저항하므로 본 연결부가 적용되는 헬리컬 파일이 고강도화 되거나 관련 기준값이 상향되는 경우에도 연결부 재료의 강도를 높임으로서 설계 인발저항력에 문제없이 대응할 수 있음
    b) 모든 경우에 대해 해석에 의한 연결부 내하력이 설계하중을 초과(설계하중 대비 106~148%)하므로 본 연결부는 압축하중에 대한 구조성능을 보유하고 있는 것으로 판단됨

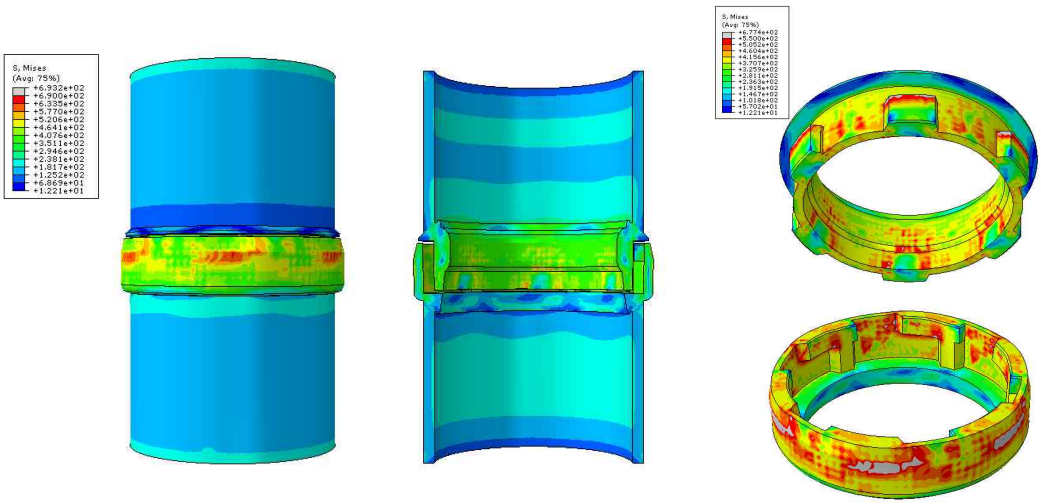
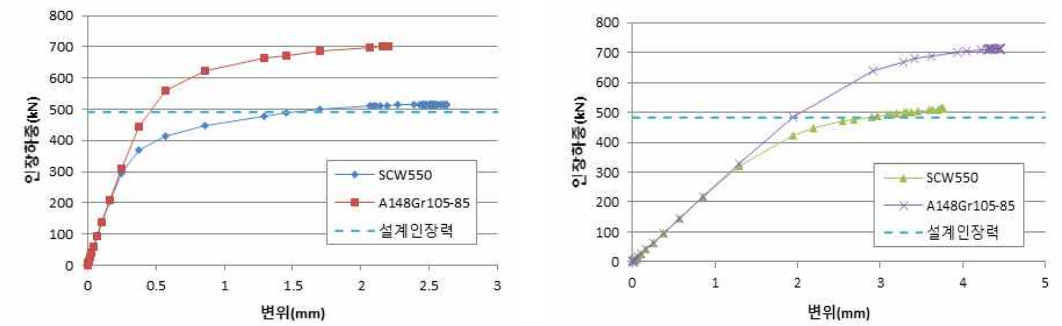


그림 3.15 인장하중에 의한 헬리컬 파일 연결부 응력도의 예 (D140, SCW550)



(a) D114용 (b) D140용

그림 3.16 인장하중에 의한 헬리컬 파일 연결부 하중-변위 곡선

표 3.9 인장하중에 대한 헬리컬 파일 연결부 내하력 검토 **(성과지표 A-2 ②)**

파일 외경 (mm)	설계하중 (kN)	내하력 (kN)		판정	
		SCW550	A148Gr105-85	SCW550	A148Gr105-85
114.3	488	517	703	만족	만족
139.8	482	511	714	만족	만족

- 휨 해석 결과
  - 응력 검토 (그림 3.17)
    a) 휨하중에 의한 압축부 대비 인장측의 응력이 높게 나타남
    b) 연결부 표면에서 국부적으로 항복응력을 초과하나 전반적으로 양호한 응력분포를 나타냄
  - 내하력 검토 (그림 3.18 및 표 3.10)
    a) 앞서 제시한 설계 수평지지 모멘트를 3m 길이의 4점 휨재하 시의 수직하중(휨하중)으로 환산하면 D114용 및 D140용에 대해 각각 12.9kN 및 16.0kN이 되며, 이를 기준으로 하여 휨에 대한 내하력을 비교함
    b) 모든 경우에 대해 해석에 의한 연결부 내하력이 설계하중을 크게 초과(설계하중 대비 410~564%)하므로 본 연결부는 휨하중에 대한 구조성능을 보유하고 있는 것으로 판단됨

표 3.10 휨하중에 대한 헬리컬 파일 연결부 내하력 검토 **(성과지표 A-2 ③)**

파일 외경 (mm)	설계하중 (kN)	내하력 (kN)		판정	
		SCW550	A148Gr105-85	SCW550	A148Gr105-85
114.3	12.9	54.5	72.7	만족	만족
139.8	16.0	65.6	86.5	만족	만족

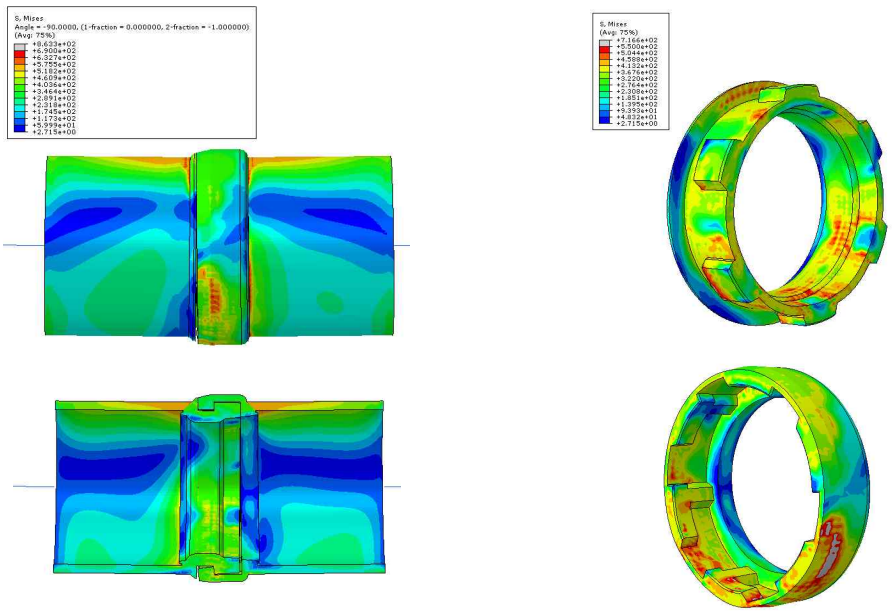
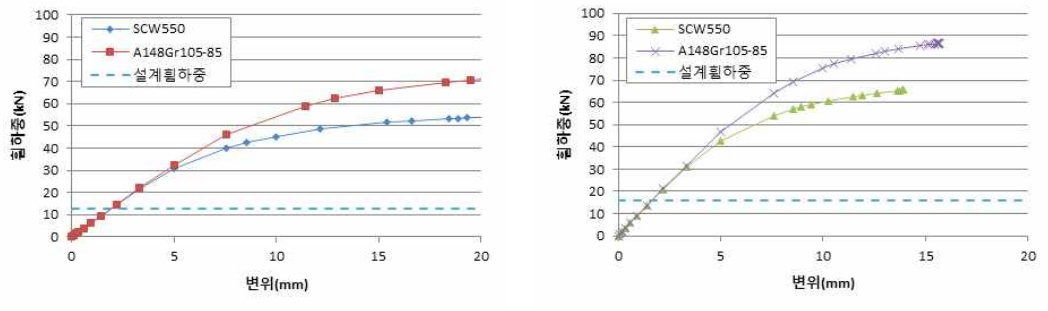


그림 3.17 휨하중에 의한 헬리컬 파일 연결부 응력도의 예 (D140, SCW550)



(a) D114용 (b) D140용

그림 3.18 휨하중에 의한 헬리컬 파일 연결부 하중-변위 곡선

● 토크(비틀림) 해석 결과

- 응력 검토 (그림 3.19)

a) 연결부와 만나는 헬리컬 파일 본체 외면에서 먼저 항복이 발생하고 이후에 연결부의 항복 영역이 확장됨

b) 연결부 키에 국부적으로 항복응력을 초과하나 전반적으로 양호한 응력분포를 나타냄

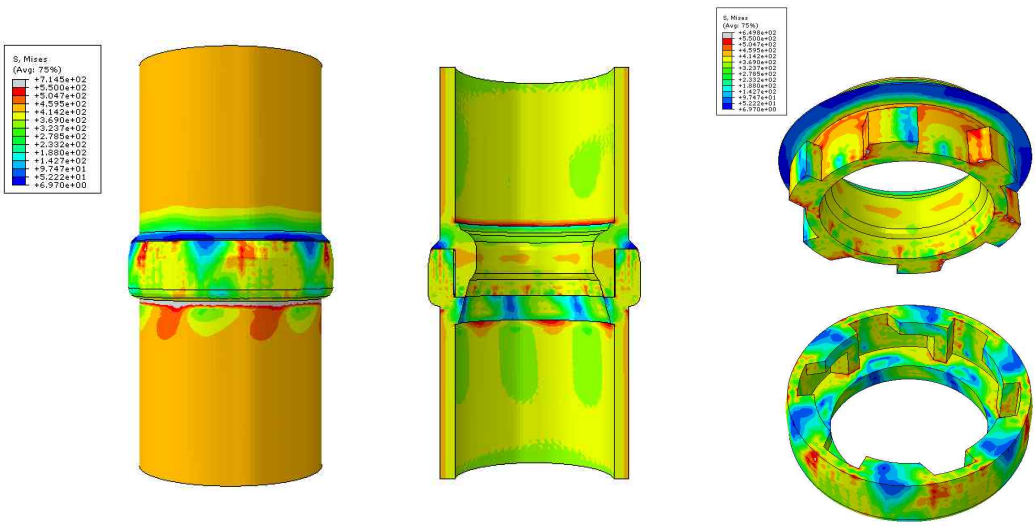
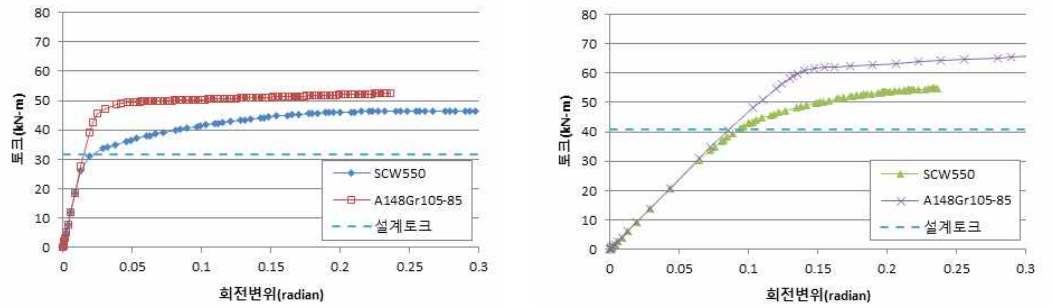


그림 3.19 비틀림하중에 의한 헬리컬 파일 연결부 응력도의 예 (D114, SCW550)



(a) D114용 (b) D140용

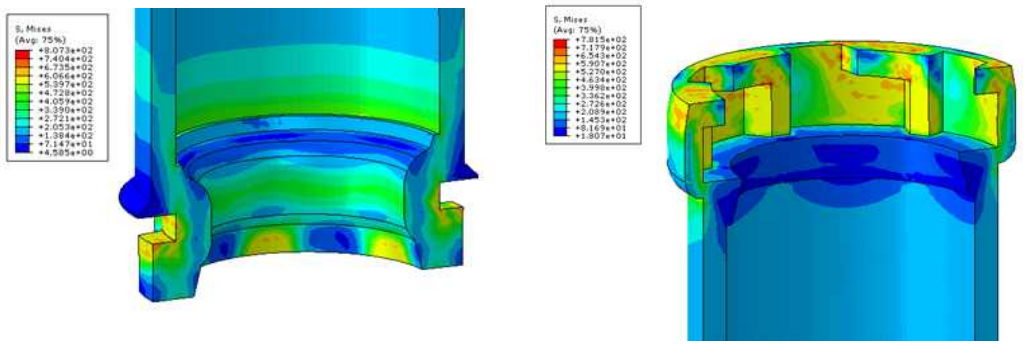
그림 3.20 토크에 의한 헬리컬 파일 연결부 하중-변위 곡선

- 내하력 검토 (그림 3.20 및 표 3.11)
  a) 헬리컬 파일 본체에 허용전단응력을 유발하는 토크를 설계토크로 설정하여 비교 (D114용 및 D140용에 대해 각각 31.8kN-m, 40.6kN-m)
  b) 모든 경우에 대해 해석에 의한 연결부 내하력이 설계하중을 초과(설계하중 대비 135~172%)하므로 본 연결부는 토크에 대한 구조성능을 보유하고 있는 것으로 판단됨

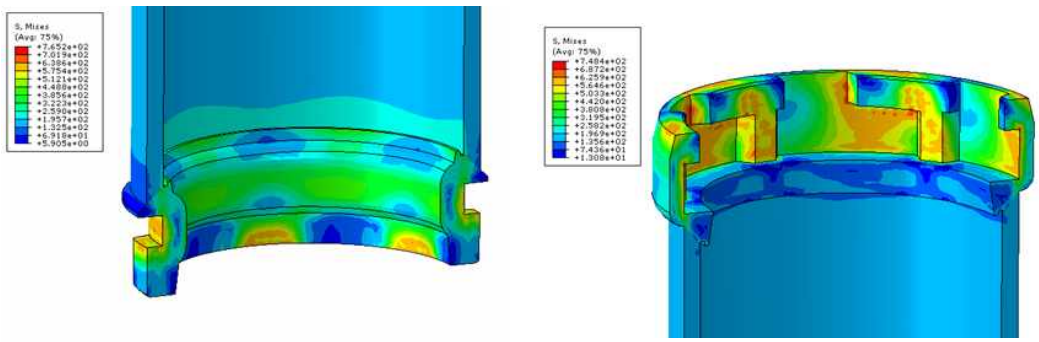
표 3.11 토크에 대한 헬리컬 파일 연결부 내하력 검토

파일 외경 (mm)	설계하중 (kN-m)	내하력 (kN)		판정	
		SCW550	A148Gr105-85	SCW550	A148Gr105-85
114.3	31.8	46.4	52.5	만족	만족
139.8	40.6	54.7	69.9	만족	만족

● 연결부 이음(용접부) 검토
  - 검토 대상
    a) 외경 114.3mm 및 139.8mm 헬리컬 파일 연결부 이음 부분
    b) 이음부 항복강도: SGT550 및 A148Gr105-85 동등 수준 (550MPa)
    c) 검토하중: 설계 인장력 및 설계 토크



(a) D114



(b) D140

그림 3.21 설계 인장하중에 의한 헬리컬 파일 이음부 응력 검토

- 인발 작용 시 응력 검토:
  a) 과도한 응력집중 미발생
  b) 설계 하중 하에서 최대 발생응력이 항복응력에 도달하지 않음
    • 외경 114.3㎜: 항복응력 대비 41~57% 응력 여유
    • 외경 139.8㎜: 항복응력 대비 30~41% 응력 여유

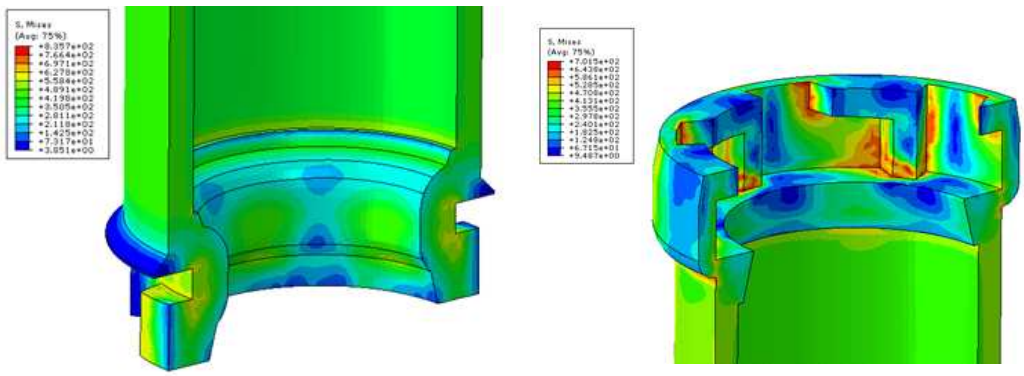
표 3.12 인발에 대한 이음부 검토

파일 외경 (mm)	구분	설계하중 (kN)	항복응력 (MPa)	발생응력 (MPa)	판정
114.3	상부	488	550	239.5	만족
	하부			327.0	만족
139.8	상부	482	550	325.5	만족
	하부			386.6	만족

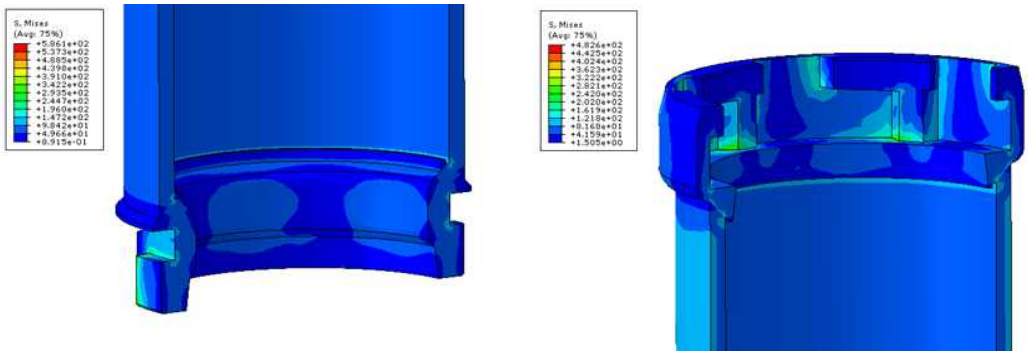
- 토크 작용 시 응력 검토:
  a) 과도한 응력집중 미발생
  b) 설계 하중 하에서 최대 발생응력이 항복응력에 도달하지 않음
    • 외경 114.3㎜: 항복응력 대비 30~37% 응력 여유
    • 외경 139.8㎜: 항복응력 대비 61~84% 응력 여유

표 3.12 토크에 대한 이음부 검토

파일 외경 (mm)	구분	설계하중 (kN-m)	항복응력 (MPa)	발생응력 (MPa)	판정
114.3	상부	31.8	550	349.4	만족
	하부			383.8	만족
139.8	상부	40.6	550	88.8	만족
	하부			214.2	만족



(a) D114



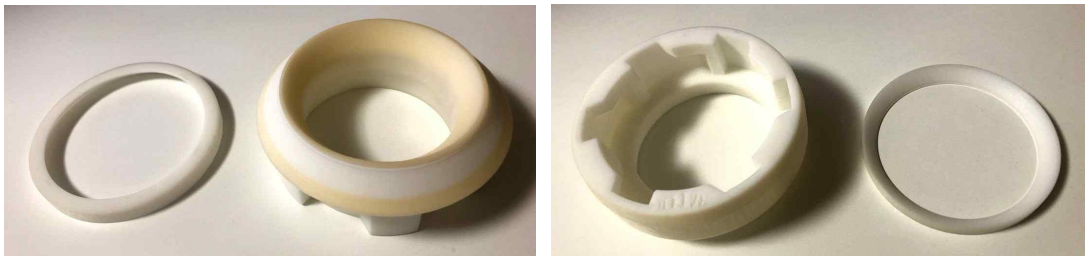
(b) D140

그림 3.22 설계 인장하중에 의한 헬리컬 파일 이음부 응력 검토

3-3. 단위연구 A-3: 헬리컬 파일 연결부 시제품 제작

○ 헬리컬 파일 연결부 3D 모형 제작 **(성과지표 A-3 ①)**

- 3D 모형 구성
  - 연결부 상/하부 및 파일과의 용접부 모사: 4개의 부품으로 구성
- 3D 모형 검토사항
  - 상/하부 제원 및 체결성 확인
  - 헬리컬 파일 용접연결 시 작업성 확인



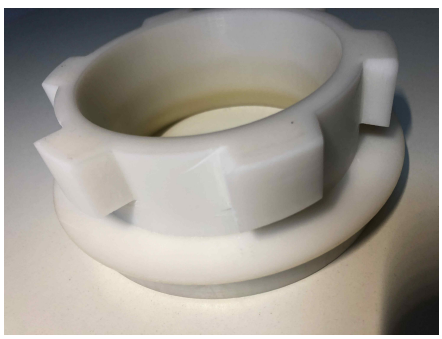
(a) 상부 연결체 및 용접부 (b) 하부 연결체 및 용접부

그림 3.23 헬리컬 파일 연결부 3D 모형 구성



(a) 상면 (b) 하면

그림 3.24 헬리컬 파일 연결부 3D 모형 상면 및 하면



(a) 상부 상세 (b) 하부 상세

그림 3.25 헬리컬 파일 연결부 3D 모형 상하부 상세



(a) 상면 (b) 하면

그림 3.26 헬리컬 파일 연결부 3D 모형 결합 상태

○ 헬리컬 파일 연결부 시제작

● 제작성 검증을 위한 연결부 초안 시제작 수행
- 제작대상: D114 및 D140용 헬리컬 파일용 연결부 (사용재료: SCW550)
- 제작방식: 로스트 왁스 주조법

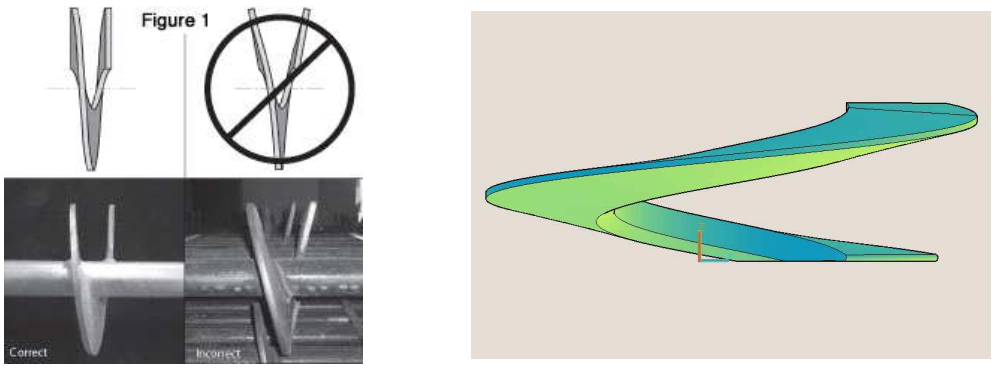


그림 3.27 헬리컬 파일 연결부 금형



그림 3.28 헬리컬 파일 연결부

● 나선형 날개 형상 개선 및 시제작
- 나선형 날개 파일 관입성 향상을 위한 나선형 날개 형상 개선
  : 기존의 나선형 날개는 원형 판재를 절단하여 가공하므로 단면이 뒤틀어져 정상적인 관입이 불가능함(그림 3.29 참조)
- 나선형 날개 시제품 제작 및 부착성 검토



(a) 나선형 날개 형상 비교 (b) 나선형 날개 형상 고안

그림 3.29 나선형 날개 형상





그림 3.30 형상 개선 나선형 날개 시제작

● 제작성 검증 및 시험 관입
- 연결부 상/하부 시제작
- 헬리컬 파일 본체 용접연결 수행
  : 연결부 중량이 낮아 용접연결 작업 용이함




그림 3.31 헬리컬 파일 시제작

- 시험 관입을 위한 샤프트 및 리드 파일 제작
- 연결부 시험 적용
  : 기존 헬리컬 파일 시공장비 활용성 확인




그림 3.32 헬리컬 파일 시험 관입

4. 핵심연구내용 B: 헬리컬 파일 연결장치 실모델 제작 및 성능검증

4-1. 단위연구 B-1: 헬리컬 파일 연결장치 제작성능 평가

○ 나선형 날개 성능 평가

● 나선형 날개 해석 목적
- 연직 지지력 보유 여부 파악

: 개선된 나선형 날개는 나선을 따라 동일한 단면을 가지며, 파일에 부착되는 부분은 두꺼운 두께를 적용하여 날개에 의한 지지력이 파일로 원활하게 전달될 수 있도록 하고 바깥 부분은 얇은 두께를 적용하여 용이한 관입이 이루어지도록 하였음

- 모형화 대상
  - D114 헬리컬 파일용 외측 지름 240mm 나선형 날개
  - 재료: SCW550 (항복강도: 355MPa, 인장강도: 550MPa)

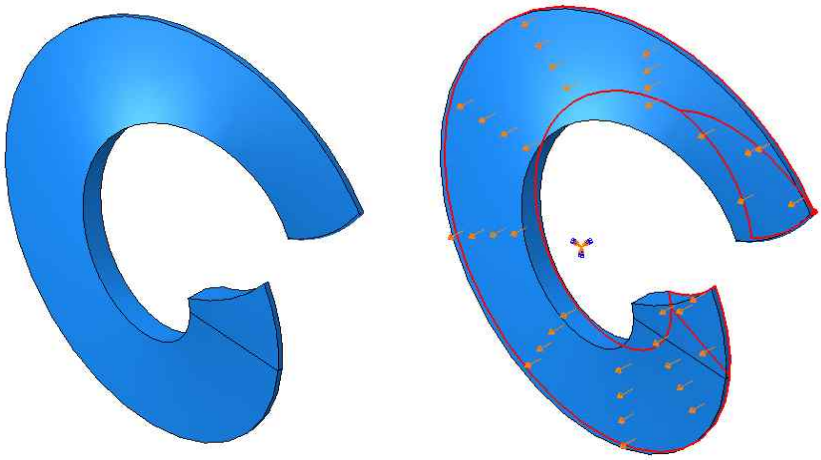


그림 3.33 나선형 날개 모형화, 경계조건, 하중

- 모형화 방법
  - 나선형 날개를 3차원으로 모형화 하고 파일 중심축을 고정
  - 용접부는 일체로 거동하는 것으로 가정
  - 파일 접촉면에 가해지는 토압을 하중으로 모사
- 해석 결과 분석
  - 내하력 검토
    a) 목표 지지력: 날개 1본 당 약 285kN (Meyerhof의 제안식 사용, 안전율 미고려)
    b) 나선형 날개가 시작되는 최하면, 중간면, 최상면의 최외측점에 대한 하중-변위 곡선 분석 (그림 3.32)
    c) 목표 지지력까지 안정적으로 거동하며 하측면의 변형이 발생하나 전체적으로는 450kN 이상의 지지력 보유 → 만족

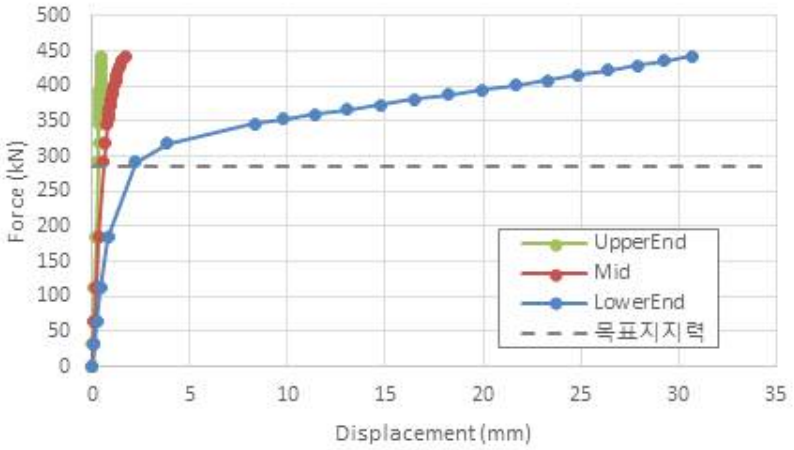
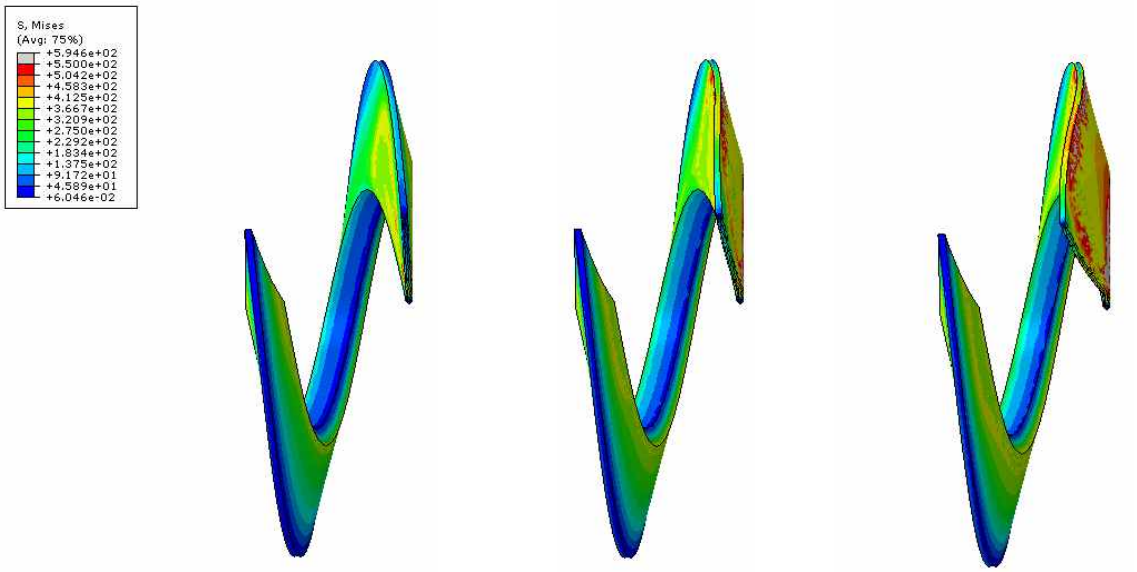


그림 3.34 나선형 날개 하중-변위 곡선

  - 응력 및 변형 형상 분석
    a) 하측면 변위 약 2mm 도달(하중 약 300kN) 시 국부적 항복 발생
    b) 약 10mm 변위 발생(하중 약 350kN)까지 주로 하측에서만 변형 발생
    c) 약 20mm 변위 발생 시에도 중앙부 이상에서의 변위는 2mm 이하로 발생
    d) 국부적 응력집중 발생 없음



(a) 2㎜ (b) 10㎜ (c) 20㎜

그림 3.35 하측면 변형량 별 응력도 및 변형 형상

○ 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 개발

- 개발 배경
  - 헬리컬 파일의 관입이 완료되면 파일 두부를 정리(절단)하고 지압판을 설치한 후 콘크리트를 타설한다. 그리고 지압판과 파일 본체를 용접으로 연결하므로 현장 시공성이 양호하지 못함 (그림 3.34)
  - 기존 헬리컬 파일용 지압판을 개선하기 위해 용접 연결 방법이 아닌 기계적 연결이 가능한 개선된 지압판을 고안함
- 급속 연결 지압판
  - 본 장치는 연결판, 쐐기, 구속구, 볼트 및 너트로 구성됨
  - 지압판은 파일 두부에 안착되어 압축력에 저항하며 볼트 체결에 의해 자리잡은 쐐기는 파일에 인장력이 작용할 경우 더욱 파일 외면에 밀착되어 인장력에 저항하는 방식임 (그림 3.45)

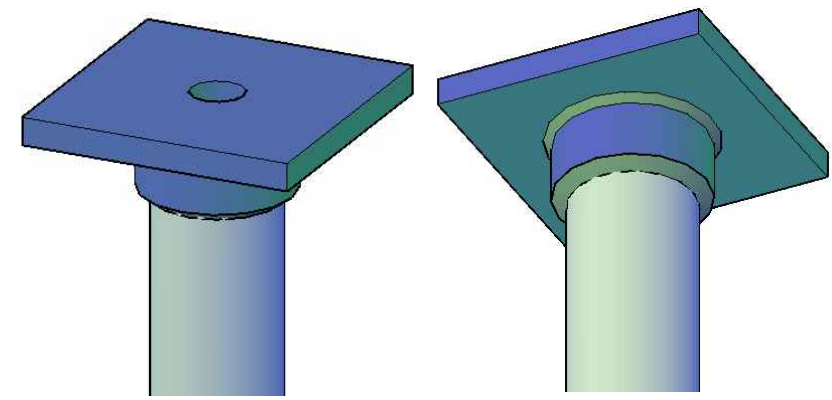
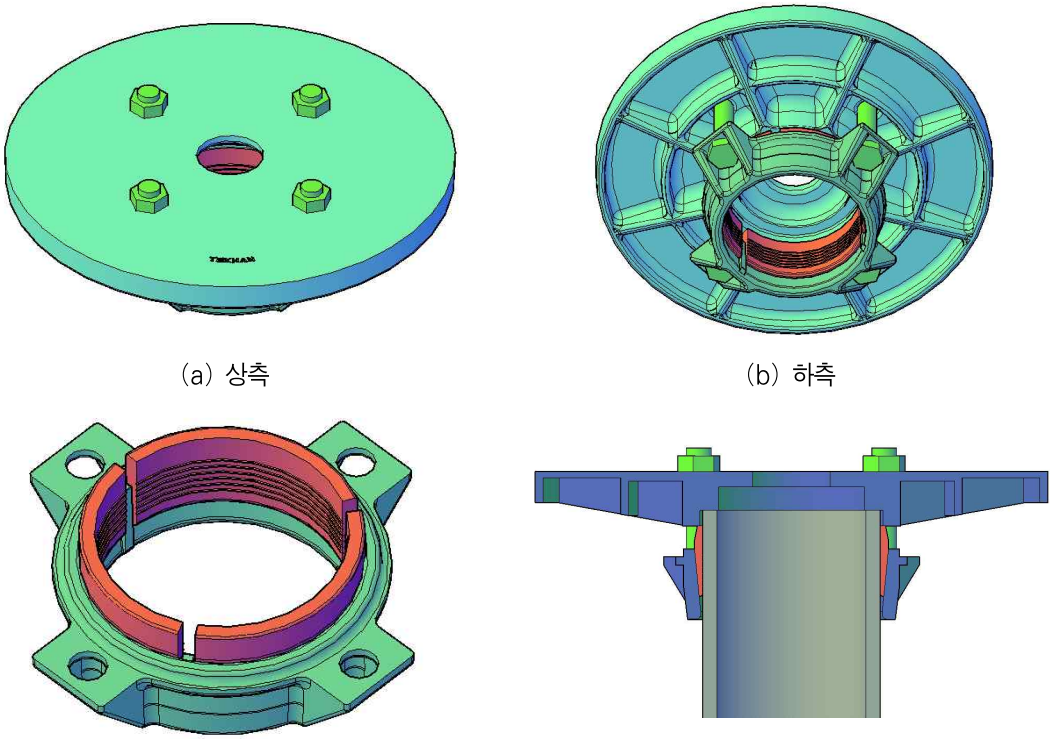


그림 3.36 기존 헬리컬 파일용 지압판



(a) 상측　　(b) 하측

(c) 쐐기 및 구속구　　(d) 단면

그림 3.37 급속 연결 헬리컬 파일용 급속연결 지압판

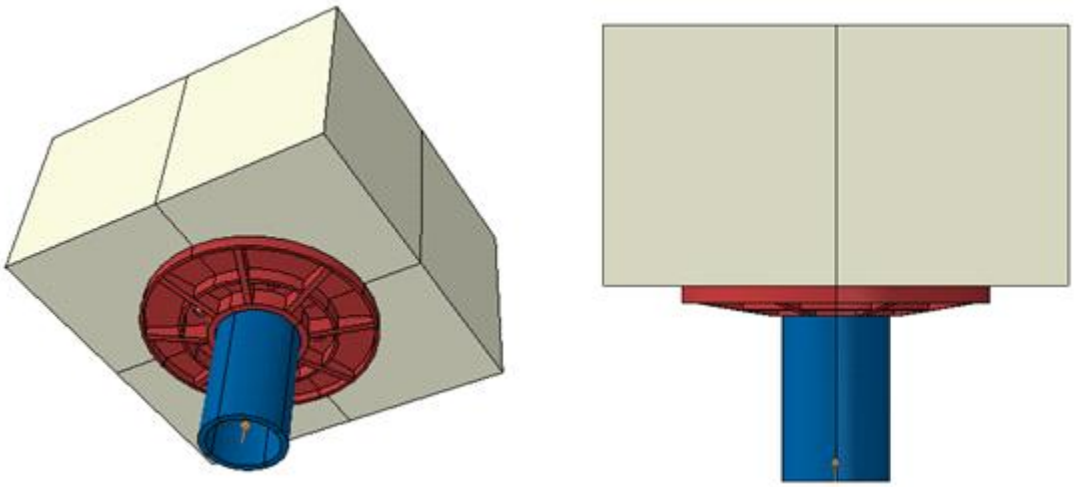


그림 3.38 급속 연결 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 해석 모형

○ 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 지지력 해석

- 해석 목적
  - 지압판의 상단에 위치하는 헤드의 지지력 보유 여부 파악
- 모형화 및 해석방법
  - 경계조건: 콘크리트 슬래브 측면 고정
  - 하중적용: 파일 하단부 상향 가력
- 사용 재료
  - 헤드: GCD450 (항복강도: 280MPa, 인장강도: 450MPa)
  - 파일: SGT550 (항복강도: 550MPa, 인장강도: 690MPa)
    SGT355 (항복강도: 355MPa, 인장강도: 550MPa)
  - 콘크리트: f_{ck} = 240 kgf/cm2
- 해석 결과 분석
  - 내하력 검토

a) 목표 지지력: 600kN
b) 헤드 상대변위(헤드 중심부와 최외측 간 연직방향 상대변위) 및 하중 분석
c) 지지력 비교
: 최대하중 1771kN 이상 > 목표 지지력 600kN → 만족
d) 파일 항복강도 비교
: 최대하중 1771kN 이상 > 파일 항복강도 834kN (SGT355) → 만족
최대하중 1771kN 이상 > 파일 항복강도 1638kN (SGT550) → 만족

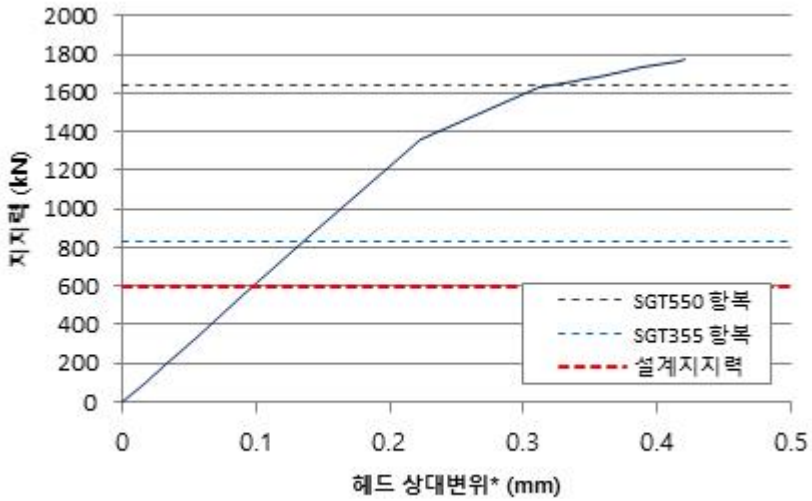
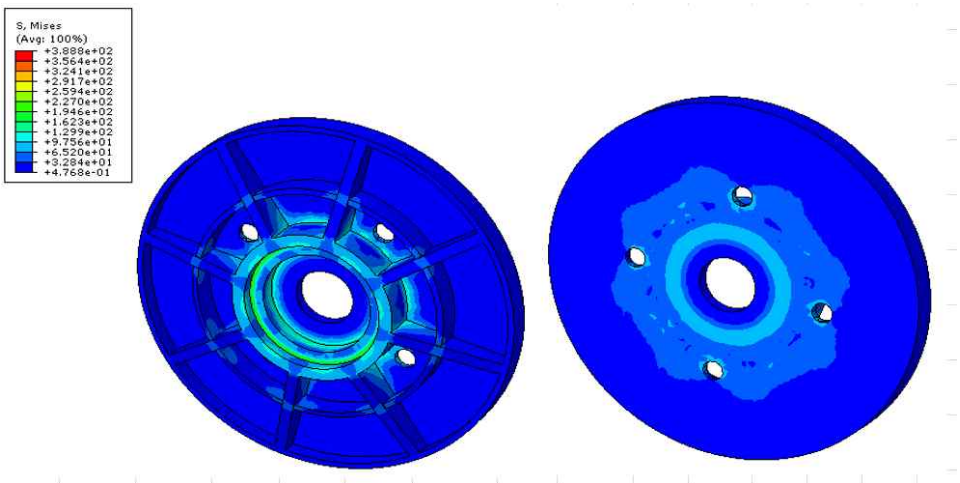
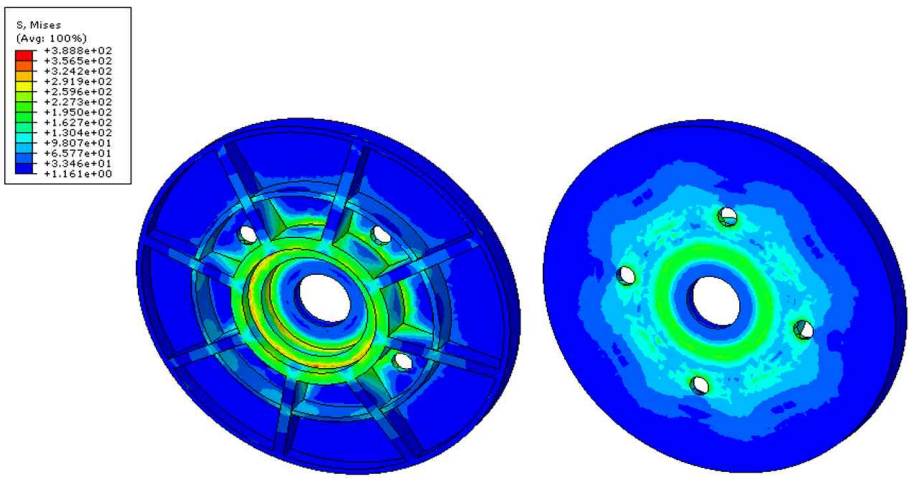


그림 3.39 나선형 날개 하중-변위 곡선



(a) 지지력 600kN 시



(b) 지지력 1,200kN 시

그림 3.40 나선형 날개 하중-변위 곡선

- 응력 및 변형 형상 분석
  a) 지지력 600kN(목표 지지력) 도달 시까지 선형 거동
     : 응력 수준 낮음
  b) 지지력 1,200kN 도달 시까지도 탄성 거동
     : 파일 접촉 부에 상대적으로 높은 응력 발생하나 항복 응력 이하
  c) 지지력은 파일의 강도가 지배

○ 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 인발력 검토 해석

● 해석 목적
- 헬리컬 파일은 연직 지지력 뿐만 아니라 인발에 저항해야 하는 상황이 발생할 수 있으므로 기존의 지압판은 파일에 용접을 실시하였음
- 본 지압판은 쐐기에 의해 용접 없이 즉각적 연결이 가능하며, 연결 후 인발력 수준에 대해 검토할 필요가 있음

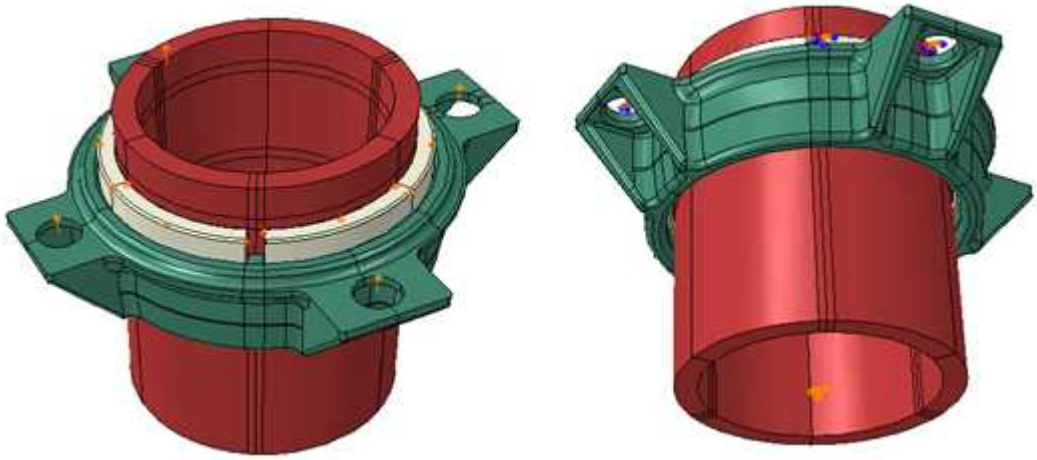


그림 3.41 무용접 지압판 인발력 검토해석용 모형

● 모형화 및 해석방법
- 경계조건: 파일 및 쐐기 상단 고정
- 하중적용: 볼트 홀 중심 상향 가력
- 구속조건: 볼트 홀 주변부를 볼트 홀 중심에 구속
- 접촉조건: 파일-쐐기, 쐐기-링 간 접촉(contact) 부여 (마찰계수: 0.2)

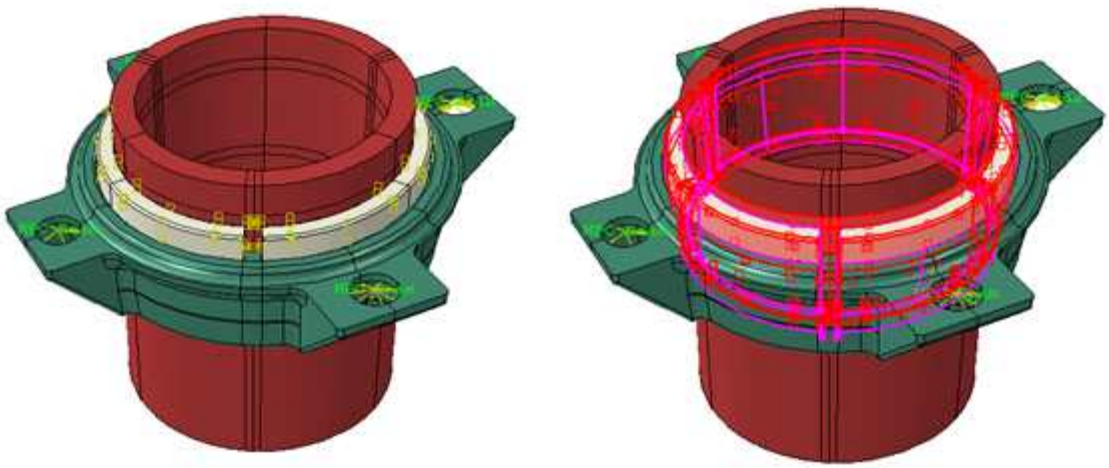


그림 3.42 구속조건 및 접촉조건 부여

● 사용 재료
- 링 및 쐐기: GCD450 (항복강도: 280MPa, 인장강도: 450MPa)
- 파일: SGT550 (항복강도: 550MPa, 인장강도: 690MPa)

● 해석 결과 분석

- 내하력 검토
  a) 목표 인발력: 100kN
  b) 인발력 비교
     : 최대하중 180kN 이상 > 목표 인발력 100kN → 만족

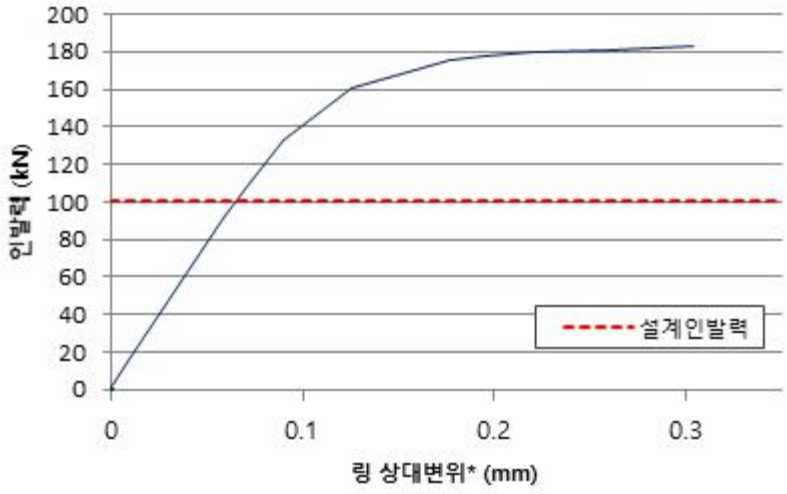
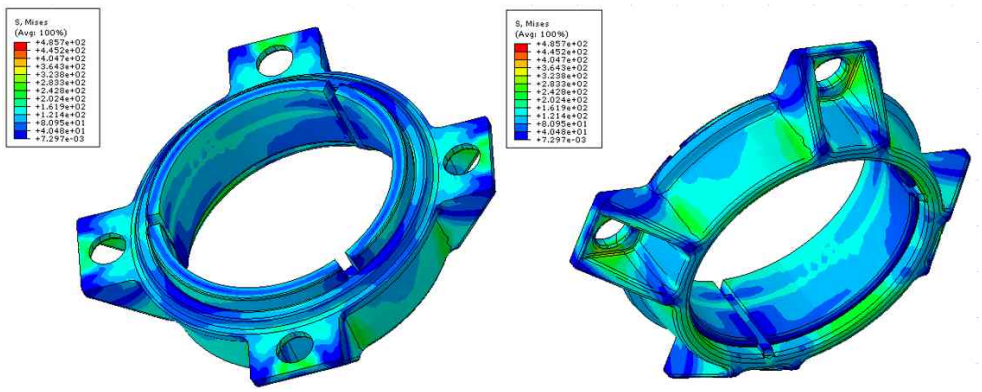
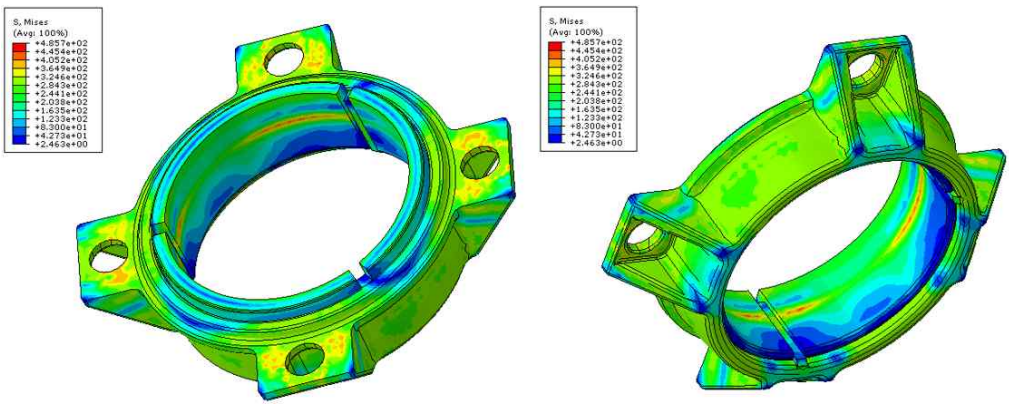


그림 3.43 무용접 지압판 하중-변위 곡선



(a) 인발력 100kN 시



(b) 인발력 180kN 시

그림 3.44 무용접 지압판 응력분포 및 변형 형상

- 응력 및 변형 형상 분석
  a) 목펴 인발력 100kN에서도 탄성 거동
     : 약 130kN까지도 탄성 거동
  b) 인발력 180kN 도달 시 국부적 항복 발생
  c) 쐐기 슬립 미발생
  d) 극한강도 도달 시 볼트 홀 주위에 변형 발생

○ 헬리컬 파일 및 연결부, 헬릭스, 지압판 주물/가공 시제작 **(성과지표 B-1 ①)**

- 헬리컬 파일 연결부 보완 제작
  - 정밀주조 제작 보완: 쉘 몰드 방법으로 변경
  - 1차년도 시제작 후 세부 치수 보완
    : 수차례 반복 수정
  - 회전방지 채움재 미적용 시에도 연결부가 끼워지도록 금형 수정
  - 파일 본체에 용접연결 시 작업성 향상 위한 턱 설치
  - 최종 시제품 제작 후 치수 확인 완료



그림 3.45 헬리컬 파일 연결부 최종 시제품



그림 3.46 헬리컬 파일 연결부 수정 금형

● 나선형 날개 보완 시제작
- 정밀주조 제작 보완: 쉘 몰드 방법으로 변경
- 소재: GCD450
- 외경 114㎜ 헬리컬 파일용 시제품 제작
- 나선형 날개 외경: 300㎜, 240㎜
- 제작 후 형상 확인 완료



그림 3.47 헬리컬 파일용 나선형 날개 금형

● 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 시제작
- 지압판, 쐐기, 구속구는 형삭이 복잡하여 주조 방법을 통해 제작
- 쉘 몰드 방법 적용
- 사용 소재: 모든 구성품에 GCD450 적용
- 총중량 9.9㎏: 인력으로 운반 및 설치 용이



그림 3.48 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 금형



그림 3.49 급속 연결 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 시제품



그림 3.50 급속 연결 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 무게 측정

- 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 체결성 확인
  - 지압판 설치 과정
    a) 두부에 본 장치를 올려 놓음
    b) 4개의 볼트 부분을 타격하여 지압판을 파일 두부면에 안착
    c) 안착 확인
    c) 볼트를 조여 이격 제거
  - 매우 급속한 시공을 통해 헬리컬 파일 지압판은 압축력 및 인장력에 모두 저항할 수 있게 되는 장점을 가지고 있음



(a) 두부 자리잡기



(b) 볼트 타격 안착



(c) 안착 확인



(d) 조이기

그림 3.51 급속 연결 헬리컬 파일용 급속연결 지압판 적용성 확인

○ 연결장치 및 헬릭스 최적 부착 프로세스 도출 **(성과지표 B-1 ②)**

- 헬리컬 파일 연결장치 파일 본체 부착성 검토
  - 헬리컬 파일 시공 시 다수의 파일이 연속적으로 현장 연결되어 관입되므로 연결에 의한 직진성 확보 필요 (양측 조립용 부자재 적용)
  - 1~2차년도에 걸친 다수의 시제작 및 현장적용 과정을 통한 연결장치 최적 부착 프로세스 도출
    a) 전용 조립대를 설치하여 파일 단부 및 연결장치 위치 맞춤
    b) 파일 단부와 즉각적으로 면 정렬이 가능하도록 연결장치 용접부에 돌기 추가
    : 금형 수정
    c) 용접부 건전성 확보를 위해 용접 수 증가: 1패스 → 2패스

표 3.13 연결장치 최적 부착 프로세스 주요 개선사항

구분	기존	개선
파일 및 연결장치 위치 고정	인력 고정 후 태그 용접	조립대 거치 후 태그 용접
파일 및 연결장치 단부 맞춤	인력 또는 조립대 조정에 의한 맞춤	연결장치 용접부에 파일 단부 정렬용 돌기 추가
용접 패스	1 패스	2 패스 (용접 목두께 확보)



그림 3.52 파일 및 연결장치 정렬을 위한 돌기 추가 가공

- 최종 부착 프로세스
  a) 파일 및 연결장치 정위치 안착
     : 연결장치 연결부 위치 확인 후 조립대 거치 (연결장치 단부 돌기 활용)
  b) 가용접
     : 4~5개소 태그 용접
  c) 본 용접
     : 완전용입용접 실시(2패스 이상 실시하며 파일 용접부 두께 외경 이상 확보)
  d) 외형 및 치수 검사
     : 시공 및 제작 지침 확인



(a) 조립대 고정



(b) 가용접



(c) 완성

그림 3.53 헬리컬 파일 연결장치 용접 프로세스

○ 연결장치, 헬릭스, 지압판 제작 및 부착단가 산정 **(성과지표 B-1 ③)**

● 연결장치 제작 및 부착단가 설정
  - D114용 및 D140용 연결장치에 소요되는 강재량은 유사함
    : D114용 2.7kg / D140용 2.6kg
  - D140용 연결장치에 소요되는 용접양은 D114에 비해 약 20% 높으나 절대량의 차이가 적고 작업 소요시간은 유사함
  - 주조 제작 비용, 용접 외주 제작 비용을 고려하여 연결장치의 단가는 아래와 같이 설정함
  - 연결장치 양측 제작비용 25,000원: 1개 당 제작비 12,500원
  - 연결장치 양측 용접비용 20,000원: 1개 당 부착비 10,000원

표 3.14 연결장치 제작 및 부착 단가

파일 외경 (mm)	제작 단가	부착 단가	계	목표	판정
114.3	12,500원/개	10,000원/개	22,500원/개	32,000원/개	만족
139.8	12,500원/개	10,000원/개	22,500원/개	32,000원/개	만족

표 3.15 나선형 날개 및 급속연결 지압판 제작 및 부착 단가

구분		제작 단가	부착 단가	계
나선형 날개	D300	25,000원/개	10,000원/개	35,000원/개
	D240	15,000원/개	10,000원/개	25,000원/개
급속연결 지압판	D114용	50,000원/개	-	50,000원/개

- 나선형 날개 제작 및 부착단가 설정
  - D114용 나선형 날개의 외경은 300㎜ 및 240㎜로 설정
    : 외경에 따라 무게 차이 발생
  - 나선형 날개의 단가는 지름에 따라 제작 단가 구분
  - 나선형 날개의 지름에 따른 용접량 차이는 있으나 소요시간 유사하여 단가 구분하지 않음

- 급속연결 지압판 제작 및 부착단가 설정
  - 급속연결 지압판 총중량: 약 9.9kg
  - 급속연결 지압판의 부착비는 소요되지 않음



그림 3.54 헬리컬 파일 연결장치 시공용 어댑터

4-2. 단위연구 B-2: 헬리컬 파일 연결장치 체결성능 평가

○ 헬리컬 파일 연결장치 시공용 어댑터 제작 **(성과지표 B-2 ①)**

● 파일 외경별 헬리컬 파일 연결장치 시공용 어댑터 부착
- 헬리컬 파일 시공장비 호환 연결구 제작
- 헬리컬 파일 연결장치 중 내측과 형상 호환
- 시험시공을 통한 적용성 확인 완료

○ 헬리컬 파일 시험시공

● 시험시공 개요
- 장소: 유니콘 기술연구소 (이천)
- 일시: 2020년 8~9월
- 확인 사항
  a) 헬리컬 파일 연결부 체결 시공성 확인
  : 기존 핀 연결과 비교
  b) 나선형 날개 관입성 확인
  : 기존 판재 가공형 날개와 비교



(a) 연결장치 내측



(b) 연결장치 외측



(c) 나선형 날개

그림 3.55 본 연구개발 기술의 헬리컬 파일 연결장치 및 나선형 날개



(a) 연결장치 내측



(b) 연결장치 외측



(c) 나선형 날개

그림 3.56 기존 헬리컬 파일 연결장치(핀 연결) 및 나선형 날개


(a) 천공


(b) 연결


(c) 그라우팅 및 연속 천공

그림 3.57 본 연구개발기술의 헬리컬 파일 시험시공

- 헬리컬 파일 연속 연결 시공성 비교 **(성과지표 B-2 ②)**
  - 비교대상: 핀 연결 방식 연속 시공
  - 방법: 각 연결 방식 별 시공성 비교


(a) 파일 인상 및 안착


(b) 파일 간 핀 연결


(c) 장비 운전 및 장비 안착


(d) 장비 연결

그림 3.58 핀 연결방식 시공 순서



(a) 파일 인상 및 안착



(b) 장비 운전 및 장비 안착

그림 3.59 본 연구개발의 연결방식 시공 순서

- 핀 연결 방식의 경우 파일을 인상하여 전 단계에서 관입한 파일의 상부에 다음 단계의 파일을 안착시킨 후 핀(볼트 및 너트)을 체결하고 임팩트 헤머로 조이는 작업이 필요하며, 상단에 관입 장비를 연결할 시에도 핀을 끼워 넣음(이 때 너트는 체결하지 않음)
- 반면 본 연구개발의 연결장치는 파일을 인상하여 전 단계에서 관입한 파일의 상부에 안착 시킨 후 인력으로 소량 회전시켜 연결 작업이 불필요하며, 상단에 관입 장비 연결 시에도 안착 후 장비를 가동시키면 곧바로 연결이 완성됨
- 두 가지 방법의 각 단계의 최소시간을 수 차례 측정하였으나 파일 위치에 따라 장비 운용 시간의 차이가 커서, 각 단계의 최소시간을 30초로 상정하여 표 3.14에 시공시간을 비교하여 나타냄
- 본 연구개발의 연결장치를 사용할 경우, 파일 및 장비를 연결하는 작업 단계가 생략되므로 공정이 단순화되고 작업시간을 단축할 수 있음

표 3.16 기존 및 본 연구개발의 연결장치 적용에 따른 시공단계 및 개략 소요시간

구분	파일 인상 및 안착	파일 간 연결	장비 운전 및 장비 안착	장비 연결	계
핀 방식	60초	60초	60초	30초	3분 30초
본 연구개발	60초	-	60초	-	2분 00초

- 그라우팅 시공성 검토
  : 그라우팅 시공성의 정량적 판단이 불가하여 핀 연결 시 발생할 수 있는 문제점 도출
  a) 중력 그라우팅 시공
     : 핀 연결의 경우 중력 그라우팅 시공 시 핀 홀로 누액이 발생하여 중력에 의한 그라우팅 액 주입이 원활하게 이루어지지 않는 경우가 발생할 수 있음
  b) 압력 그라우팅 시공
     : 압력 그라우팅 시 그림 3.61과 같은 패커를 사용하게 되는데 두부정리 후 마지막 핀 연결부위가 지표에서 가까울 경우 핀에 의해 패커의 삽입이 불가하므로 압력 그라우팅 시공이 불가능하게 됨



그림 3.60 중력 그라우팅 시 누액 사례



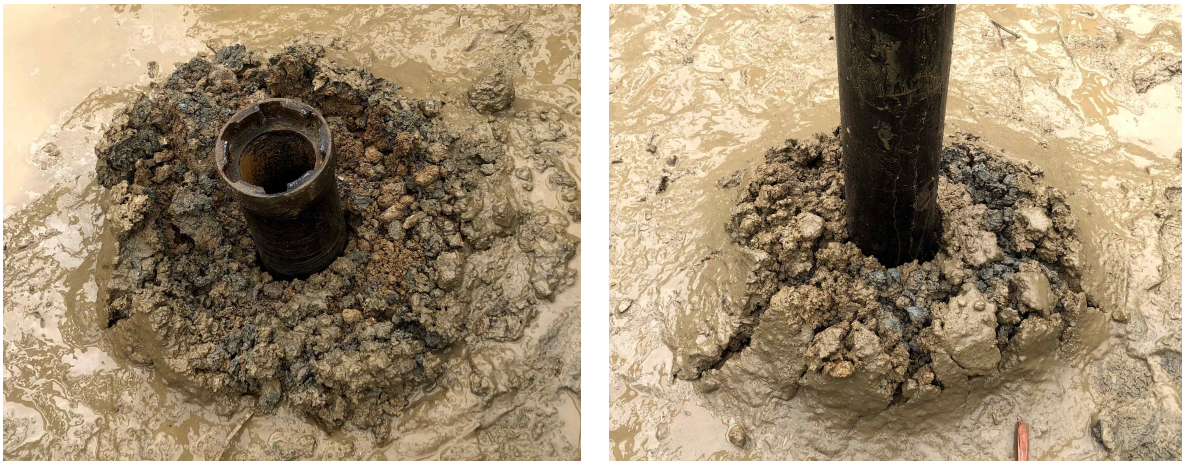
그림 3.61 압력 그라우팅용 패커

● 회전방지 끼움재 적용 효과
- 헬리컬 파일 시공 시 관입 완료 후 시공장비 분리를 위해 역방향 회전을 가하는 경우 발생
- 본 연구개발의 장치는 단순 회전에 의해 상하부가 고정되는 방식이나 회전방지 끼움재가 적용하여 역방향 회전을 근본적으로 차단할 수 있음
- 시험 시공 시 회전방지 끼움재를 적용한 결과, 역방향 회전이 방지되어 연속적인 헬리컬 파일 시공이 가능함을 확인하였음



그림 3.62 회전방지 끼움재 시험시공

● 나선형 날개 연결 시공성 비교
- 비교대상: 기존 판형 날개(프레스 가공) 및 본 연구개발의 나선형 날개
- 방법: 각 연결 방식 별 시공성 비교
- 기존 나선형 날개 및 개선된 나선형 날개가 적용된 헬리컬 파일 시공 후 배토 양상을 확인
- 기존 나선형 날개는 동일한 단면이 나선을 따라 형성되어 있지 않으므로 시공 시 주변의 토체를 교란하며 관입되므로 흐트러진 배토 양상을 보임
- 반면, 개선된 나선형 날개는 정확한 나선형이 구현되어 1회전 시 1피치 만큼 관입되므로 각 회전 시 날개가 동일한 위치를 지나게 되어 배토 형태이 양호하며 지표면 아래의 토체도 덜 교란되어 보다 양호한 파일 내하력을 기대할 수 있을 것으로 판단됨



(a) 기존 나선형 날개 적용　　(b) 개선된 나선형 날개 적용

그림 3.63 기존 및 개선 나선형 날개 적용에 따른 배토 형태

5. 핵심연구내용 C: 헬리컬 파일 연결장치 제작 및 시공매뉴얼 개발

5-1. 단위연구 C-1: 헬리컬 파일 연결장치 상세 표준화 및 매뉴얼 개발

○ 연결장치 표준 도면 작성 **(성과지표 C-1 ①)**

● 연결장치 최종 시제품 도면
- D114용 및 D140용 연결장치 도면을 작성하고 주요 치수를 설계도서에 반영하여 설계자 및 시공자가 사용할 수 있도록 함

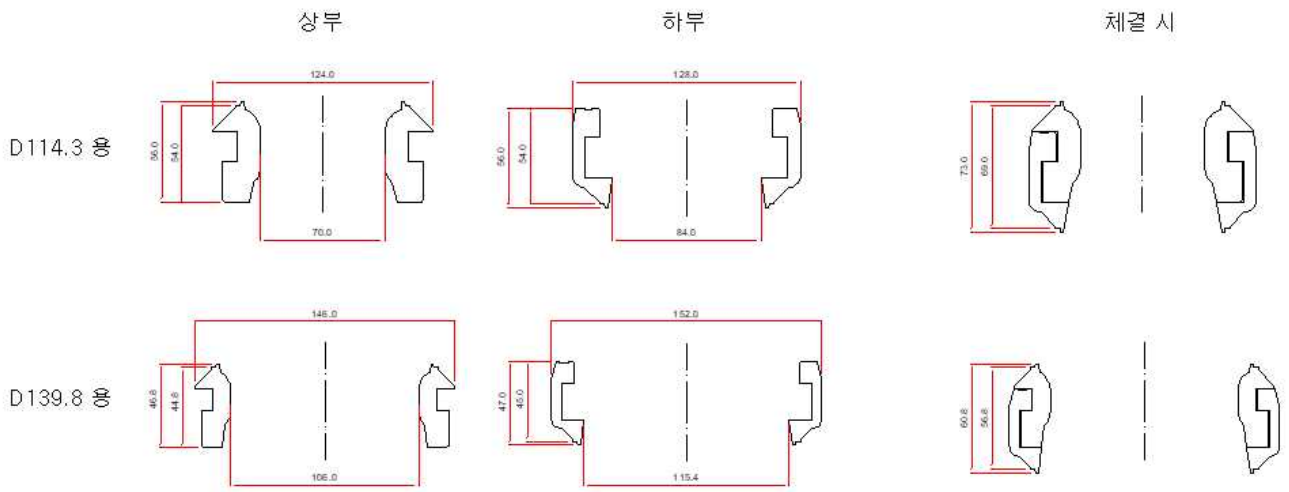


그림 3.64 헬리컬 파일용 연결장치 기본 도면

○ 헬리컬 파일 관련기술 설계도서 적용

- 상세도 및 시공순서도 작성
  - 연결장치, 나선형 날개, 지압판의 상세한 외형 및 치수를 제공하여 설계자 및 시공자가 사용할 수 있도록 함

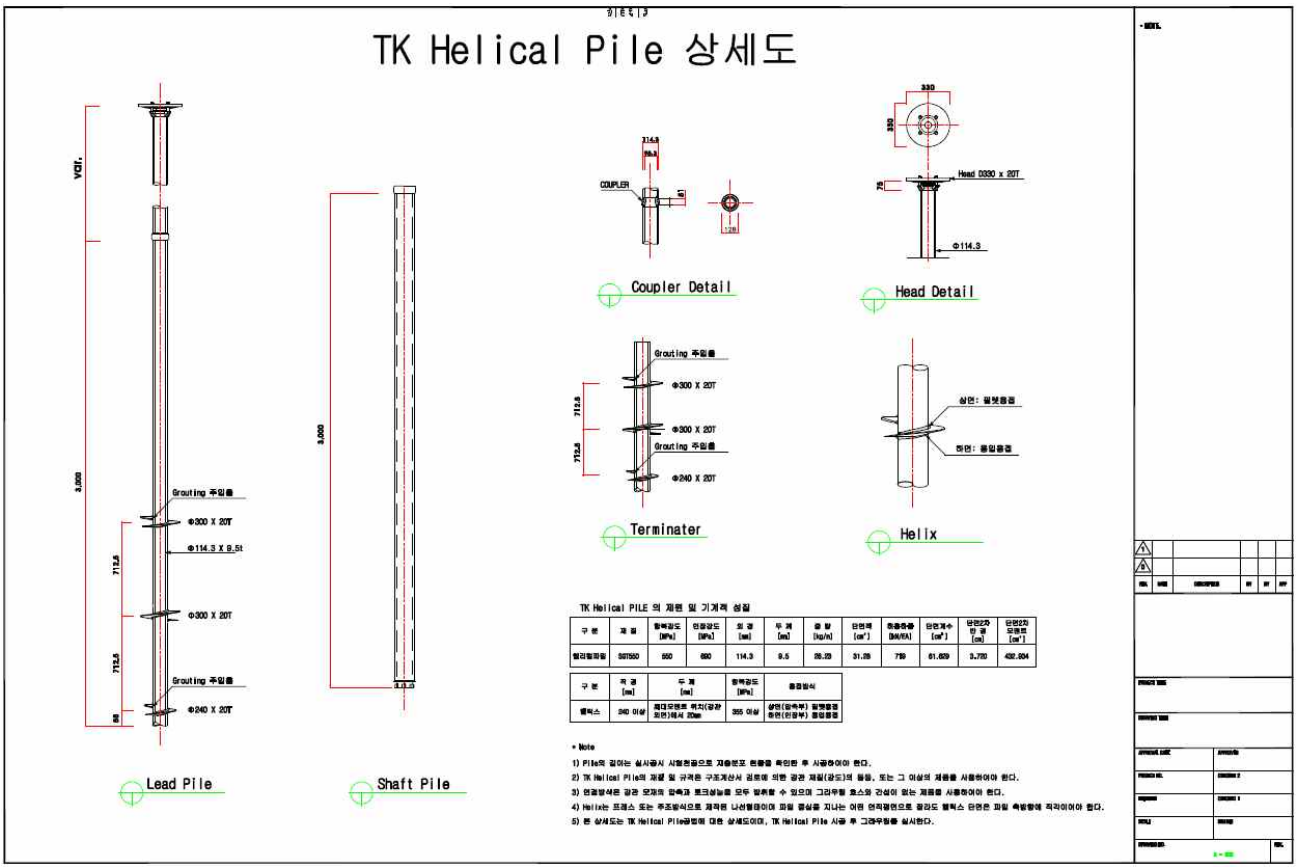


그림 3.65 헬리컬 파일 및 관련 기술 도면

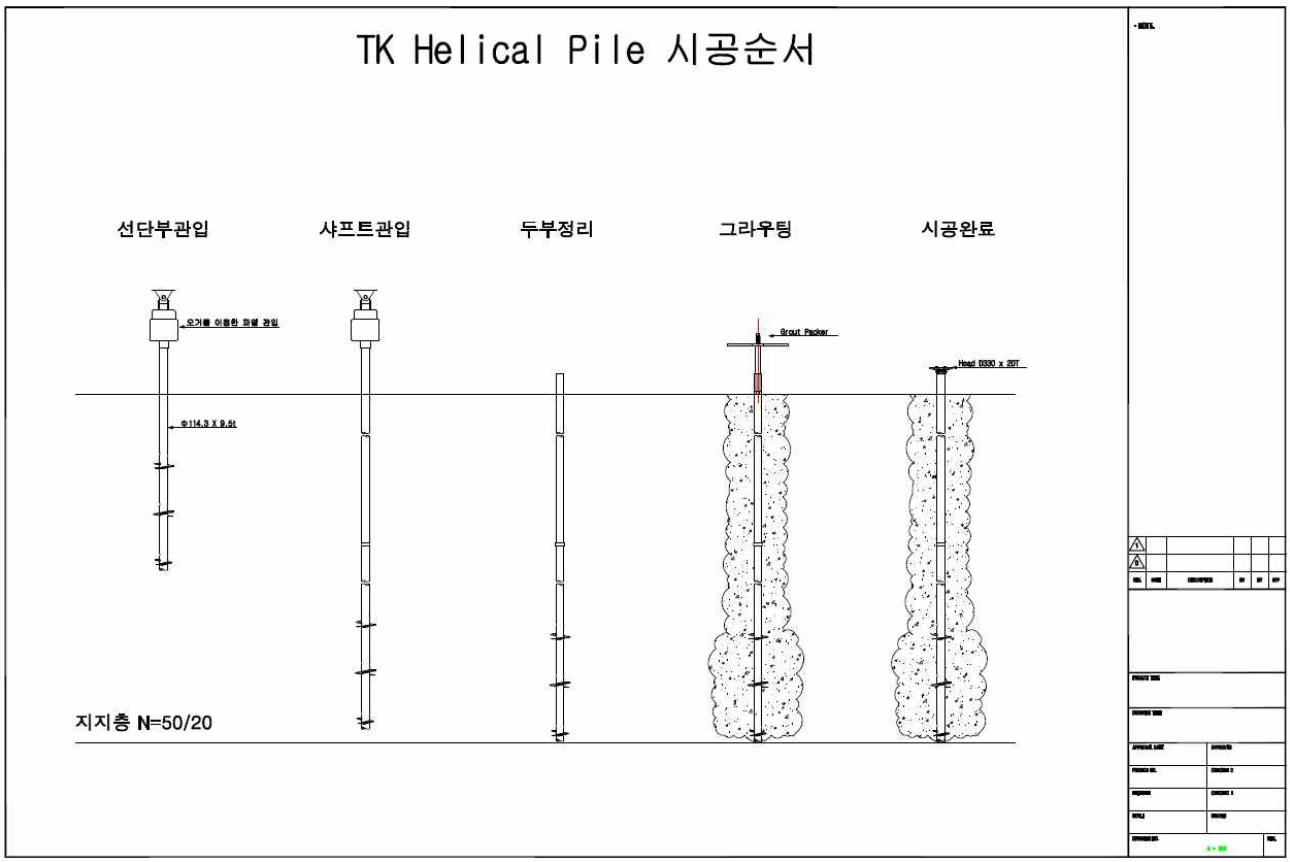


그림 3.66 헬리컬 파일 시공순서도

○ 연결장치 경제성 분석 **(성과지표 C-1 ②)**

- 실 적용 현장 대상 공사비 비교
  - 본 연구개발 기술인 헬리컬 파일 연결장치, 개선 나선형 날개, 급속연결 지압판 등의 기술이 초도적용된 현장의 공사비 내역 분석
  - 나사형 연결장치 단가 추산 (나사 가공 고려)
    a) 제작: 58,000원/조
    b) 용접: 20,000원/조 (타 형식과 동일)

표 3.17 단가 산출 근거
(a) 연결장치 제작 및 부착 단가

구분	제작 단가	부착 단가	계
나사형	58,000원/조	20,000원/조	78,000원/조
본 개발기술	25,000원/조	20,000원/조	45,000원/조

(b) 선단파일 및 연결파일 제작 단가

구분	연결부	용접	파일 본체	계
나사형	29,000원/개	10,000원/개	177,500원/개	216,500원/조
본 개발기술	12,500원/개	10,000원/개	177,500원/개	200,000원/조

(c) 천공 및 설치 단가

구분	천공 및 설치 속도	노무비	경비	노무비 단가	경비 단가
나사형	80m/일	960,000원/일	800,000원/개	12,000원/m	10,000원/m
본 개발기술	100m/일	960,000원/일	800,000원/개	10,000원/m	8,000원/m

표 3.18 본 개발기술 및 나사형 연결장치 공사비 비교 (단위: 원)
(a) 나사형 연결부 적용

공종명	규격	단위	수량	재료비		노무비		경비		계	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
1. 주요자재											
1) 헬리컬 선단파일	D114.3 / 9T	본	45	216,500	9,742,500					216,500	9,742,500
2) 헬리컬 연결파일	3.0m shaft pile	본	135	153,000	20,655,000					153,000	20,655,000
3) 파일두부 지압판	300x300x30t	ea	45	50,000	2,250,000					50,000	2,250,000
4) 시멘트	그라우팅용, 40kg/포	포	486	5,000	2,430,000					5,000	2,430,000
소계					35,077,500						35,077,500
2. 파일 시공											
1) 파일 천공/설치		m	540			12,000	6,480,000	10,000	5,400,000	22,000	11,880,000
2) 지압판 설치		ea	45			5,000	225,000	5,000	225,000	10,000	450,000
3) 그라우팅 주입		m	540			5,000	2,700,000	3,000	1,620,000	8,000	4,320,000
4) 두부정리		ea	45			5,000	225,000	5,000	225,000	10,000	450,000
소계							9,630,000		7,470,000		17,100,000
합계											52,117,500

(b) 본 연구개발 연결부 적용

공종명	규격	단위	수량	재료비		노무비		경비		계	
				단가	금액	단가	금액	단가	금액	단가	금액
1. 주요자재											
1) 헬리컬 선단파일	D114.3 / 9T	본	45	200,000	9,000,000					200,000	9,000,000
2) 헬리컬 연결파일	3.0m shaft pile	본	135	120,000	16,200,000					120,000	16,200,000
3) 파일두부 지압판	300x300x30t	ea	45	50,000	2,250,000					50,000	2,250,000
4) 시멘트	그라우팅용, 40kg/포	포	486	5,000	2,430,000					5,000	2,430,000
소계					29,880,000						29,880,000
2. 파일 시공											
1) 파일 천공/설치		m	540			10,000	5,000,000	7,600	4,104,000	17,600	9,504,000
2) 지압판 설치		ea	45			5,000	225,000	5,000	225,000	10,000	450,000
3) 그라우팅 주입		m	540			5,000	2,700,000	3,000	1,620,000	8,000	4,320,000
4) 두부정리		ea	45			5,000	225,000	5,000	225,000	10,000	450,000
소계							8,550,000		6,174,000		14,724,000
합계											44,604,000

- 표 3.17의 내용을 바탕으로 공사비 내역 산정(표 3.18)하였고, 여기에는 아래 사항이 추가로 고려됨
  a) 공사규모: 선단 및 연결파일 180본 수준
  b) 주요 자재비 및 시공비 반영 (인건비 절감 반영, 부대공사 미반영)
  c) 연결부를 제외한 자재비는 동일함
  d) 주요 자재는 별도로 외주 제작 (용접 단가 사전 반영)
  : 연결부 제외 시 헬리컬 선단 파일 177,500원/본
  연결부 제외 시 헬리컬 연결 파일 75,000원/본
- 본 연결기술 적용 시 비용 감소율 분석 (경제성 분석)
  a) 연결 파일 공사비(연결 파일 제작 및 공급, 연결 파일 시공비)에 대해 분석
  b) 본 연결기술 적용 시 나사형 연결 대비 공사비 21.0% 감소 추산

표 3.19 본 개발기술 적용에 따른 공사비 절감

구분	연결부 제작	연결 파일	시공비	**공사비**
나사형	78,000원/조	20,655,000원	11,880,000원	**32,535,000원**
본 개발기술	45,000원/조	16,200,000원	9,504,000원	**25,704,000원**
절감률 (%)	42.3%	21.6%	18.2%	**21.0%**

○ 제작 및 시공 매뉴얼 개발 **(성과지표 C-1 ③)**

● 제작 및 시공 매뉴얼 구성
- 본 연구개발의 연결부, 개선 나선형 날개, 급속연결 지압판 총괄 내용 포함
- 목차 구성 및 내용 (세부내용은 부록으로 첨부)
  a) 적용범위

: 본 매뉴얼의 적용 범위 설정 - 헬리컬 파일

b) 용어의 정의
: 각 용어 설명

c) 권한과 책임

d) 제출물

e) 파일제작
: 연결부, 나선형 날개, 지압판 구성 소재 및 제작 방법 제시

f) 파일시공
: 시공 조건, 준비사항, 장비, 시험말뚝, 시공 등

g) 파일이음
: 연결 시공 시 기본 사항

h) 두부정리 및 설치

i) 그라우팅

j) 파일 시공오차 및 보강

k) 재하시험

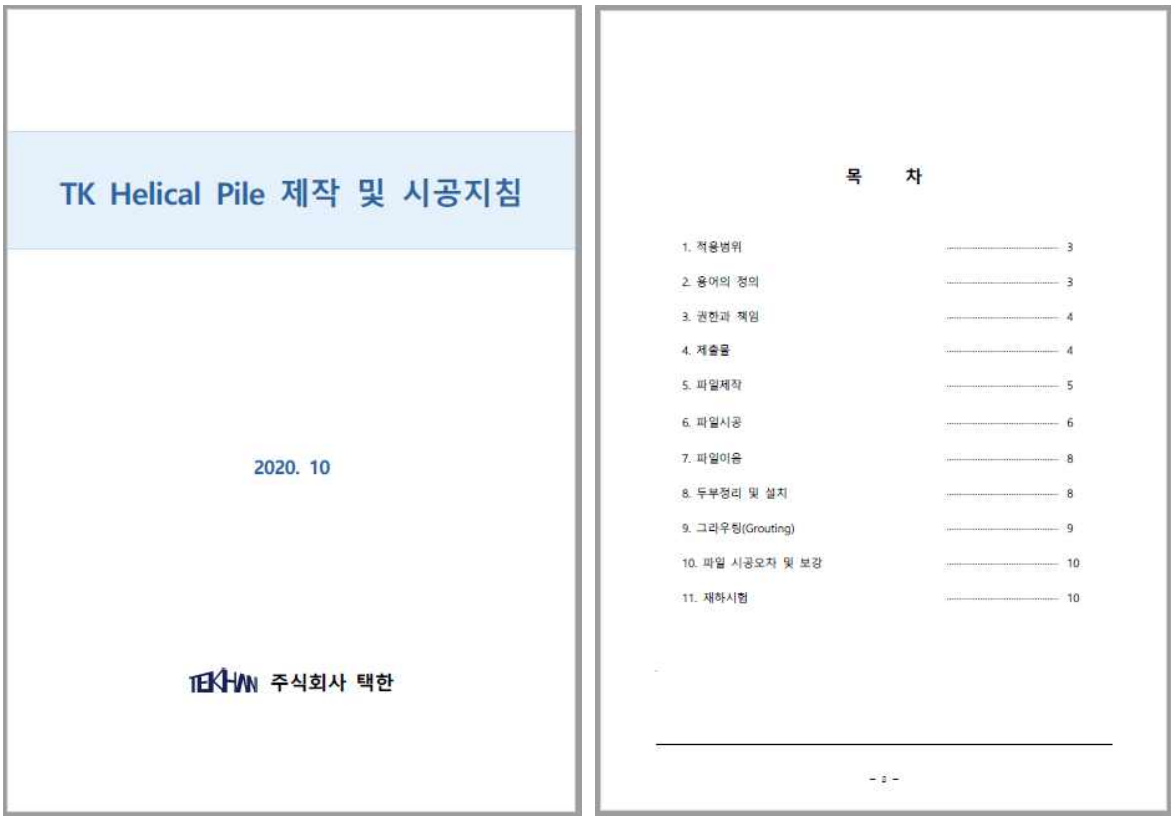


그림 3.67 헬리컬 파일 제작 및 시공 지침

6. 핵심연구내용 D: 헬리컬 파일 연결장치 현장적용 시험검증

6-1. 단위연구 D-1: 헬리컬 파일 및 연결부 현장재하시험

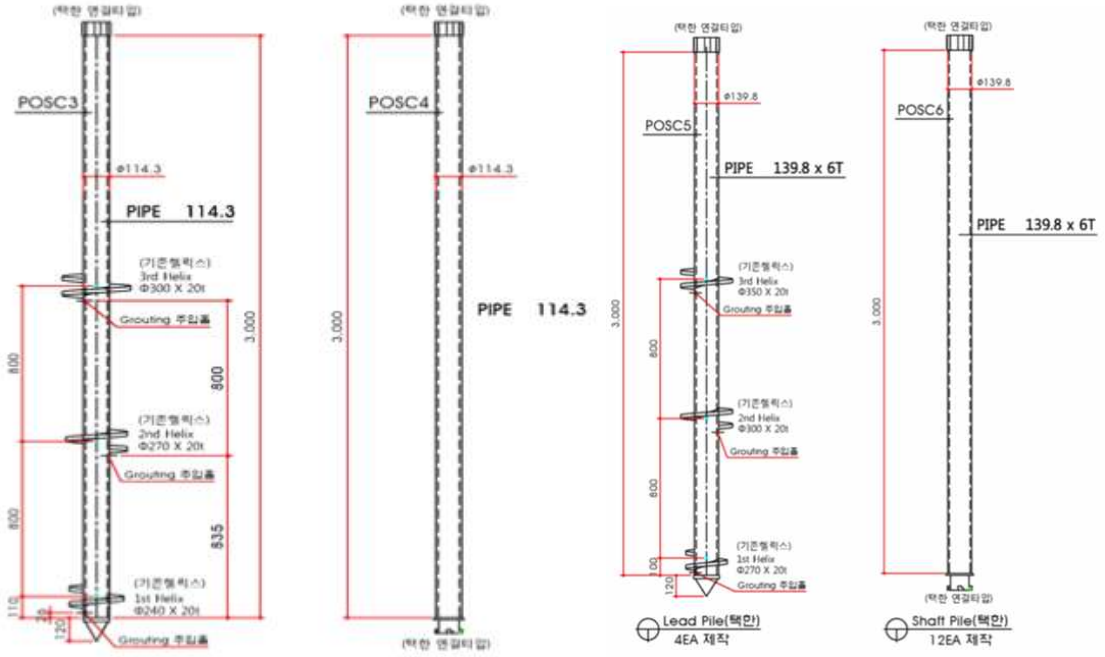
○ 시험 개요

- 시험부지에 시공된 기초공법의 극한지지력(동재하 및 정재하시험, 수평재하시험, 인발재하시험)확인 및 시공 방법 검토
- 세부 시험내용
  - D114 및 D139용 파일에 본 연구개발의 연결장치를 적용하여 시험 수행
  - 선정된 시험 부지내 배치 결정 후 시험시공 수행
  - 사전조사된 지반조사 보고서를 토대로 시공 가능한 헬리컬 파일의 시공 깊이 등을 예상하여 헬리컬 파일의 길이를 산정 (3본 연결)
  - 헬리컬 파일의 시공은 백호우에 부착된 오거를 이용하여 헬리컬 파일을 지반에 회전, 압입시

켜 근입

표 3.20 현장재하시험 내용

구분	시험 종류	시험 수량	대상말뚝	시험일자
STP 550 헬리컬 파일	동재하시험	2회	D139.6×6t, D114.3×9t	20. 09. 08.
	정재하시험	2회	D139.6×6t, D114.3×9t	20. 09. 10~11.
	수평재하시험	2회	D139.6×6t, D114.3×9t	20. 09. 21~22.
	인발시험	2회	D139.6×6t, D114.3×9t	20. 09. 17~18.



(a) D114 (b)D140

그림 3.68 현장시험시공용 헬리컬 파일

○ 재하시험 내용

● 동재하시험

- 헬리컬 파일의 각각의 타입에 1개소의 동재하시험(Restrike)을 실시하였고 CAPWAP 분석에 의한 극한 마찰지지력 및 선단지지력(하중침하곡선 및 분석에 의한 지지력 분석, Davisson 지지력 포함), 말뚝 시공에 관련된 각종 측정데이터(압축/인장응력, 항타에너지, 최종관입량, 건전도 등) 획득
- 정재하시험의 극한지지력에 준하는 최대 지지력을 확인할 수 있도록 말뚝 재료허용한도 내에서 최대 타격력 시험 수행
- PAL 보다 상위 버전인 model PAX PDA장비를 사용
- 동재하시험 측정센서는 유효기간 이내인 것을 사용
- 해머: 3.15ton 사용(자유낙하식)
- 헬리컬 파일 동재하시험시 편심이 생기지 않도록 해머의 수평을 정밀하게 조정하며, 헬리컬 파일의 두부에 캡을 설치 후 항타

표 3.21 동재하시험장비

장비명	사양(규격) 및 기능		수량	비고
P.D.A (Pile Driving Analyzer)	model PAX		1식	美 PDI 사
변형률계 (Strain transducer)	Resistance foil gauges		2EA	
가속도계(Accelerometer)	Piezoresistive type		2EA	
시험용 해머	Drop hammer		1식	3.15 ton
해머드릴	콘크리트, 강관용		1식	
기타부수장비	Main cable		1식	

● 정재하시험
- 헬리컬 파일에 대한 극한지지력(하중침하곡선 및 각종 방법에 의한 지지력분석)확인
- 파괴하중이 확인될 때까지 재하

● 수평재하시험
- 최대시험하중은 파괴하중까지 재하

● 인발재하시험
- 최대시험하중은 파괴하중까지 재하

표 3.22 정재하, 인발재하, 수평재하 시험 장비

장비명		용량(규격)	수량	비고
실린더	Hydraulic Jack	400ton	1ea	-
재하대	H-beam	Main:912x600X13X24 : 2ea Sub:500x300x11x18 : 10ea	1식	-
가압장치	Electric Hydraulic Pump	max. Pressure 700kg/㎠, 220V, 3상	1식	-
변위 기준보	Reference Beam	4m	1식	-
계측장치	LVDT	150.0 mm	4ea	-
	Load-Cell	200ton	1ea	-
	Pressure gauge	700kg/㎠	1ea	-
	Magnetic Holder	자석식	4ea	-
	기타부수 장비	유압호스, 핸드펌프	1set	-
기타	반력봉, 원판 등	-	1식	공통

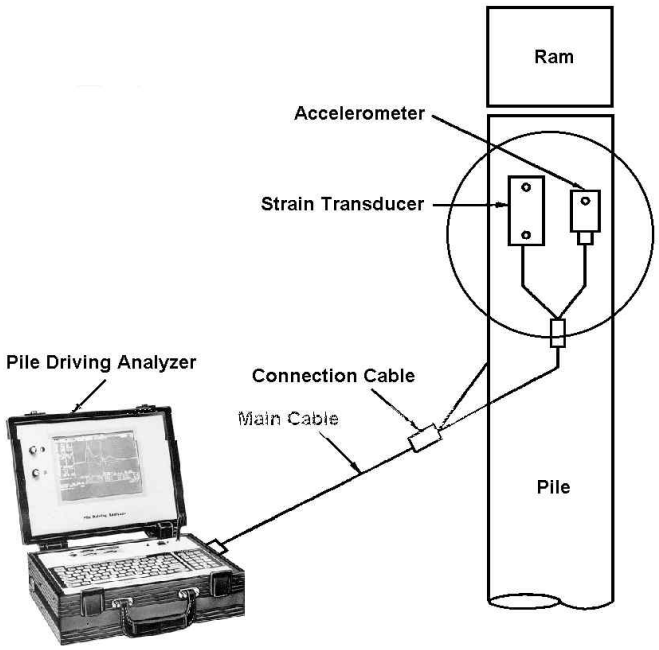


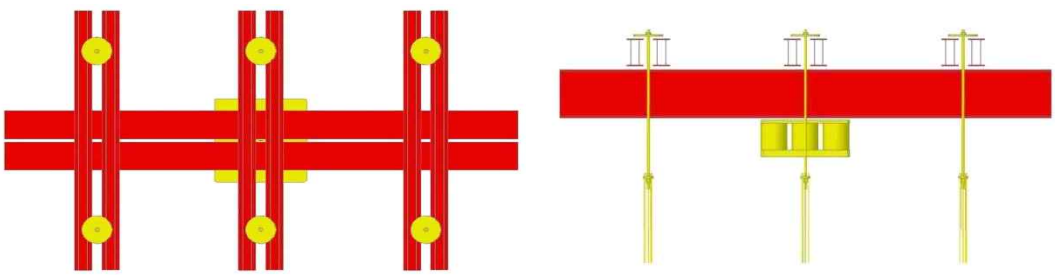
그림 3.69 동재하시험 장치도

○ 시험 및 분석 방법

● 동재하시험
- 본 시험 방법은 항타분석기(Pile Driving Analyzer)를 사용하여 항타로 인한 말뚝의 변형률과 가속도에 관한 데이터를 측정하여 해머의 효율, 말뚝에 작용하는 압축력 및 인장력, 말뚝의 지지력 등을 결정하는 동적 재하시험 방법으로서 정적하중 시험의 단점 해소의 한 방안으로 개발·사용되어 왔음
- 정재하시험의 정확성의 장점에도 불구하고 시험 소요시간이 길어 장시간 시공 중단과 재하물 동원 필요성으로 인한 비경제성의 단점을 의미하며, 이 단점은 재하물 거치를 위한 보조파일 시공에까지 필요하여 경비와 시험소요 시간이 가중됨
- 이러한 단점들을 극복하고 항타말뚝에 적용하기 위해 1980년대 미국에서 개발·실용화되기 시작하여 현재 전세계적으로 활성화되어 있는 동적해석방법이며, 국내에서는 1994년부터 실무에 적용되기 시작하였으며 기성말뚝 및 현장타설말뚝 등 모든 기초말뚝에 적용되고 있음
- 동재하시험의 활용은 재하시험에서 정적지지력을 선단지지력과 주면마찰력으로 각각 별도로 산정 할 수 있다는 장점 외에도 각 현장 토질별 말뚝시공 작업의 적정성 판단 및 시공기준설

정(Pile Driving Criteria), 건전도 파악, 해머의 타격에너지 전달효율 측정 및 말뚝의 지지력 평가(Dynamic Analysis)등 전반적인 말뚝시공 작업의 관리와 평가가 가능함

- 지지력 산정 이론
  a) PDA 측정자료 중 적정 blow를 선정, CAPWAP 방법을 통하여 분석
  b) CAPWAP 분석결과 구해진 지지력 중 선단저항과 주면마찰저항을 분리하여 평가한 후 이들 지지력을 시험시점의 최대 또는 극한지지력으로 판정
  c) 시험말뚝의 허용지지력은 기본적으로 Davisson 방법(후술하는 설명 참조)을 적용하여판정하였으며, 재항타시험(restrike test)에서 해석되는 지지력은 전술한 판정방법을 통하여 결정
- 동재하시험 절차
  a) 시험말뚝 지정
  b) 시험말뚝 두부정리(필요시): 시험말뚝의 말뚝두부는 타격시 편심이 최소화되도록 그라인더로 면 정리를 실시한 후 말뚝두부 보호를 위한 쿠션, 타격력을 전달시키기 위한 strike plate를 거치
  c) Gauge 부착 Hole 천공: 말뚝 두부로부터 대략 1,200㎜이상 되는 지점에 드릴을 사용하여 대칭으로(180° 방향) 각각 두 쌍씩 90° 간격으로 4쌍의 구멍을 천공한다. 대구경말뚝일 경우에는 데이터의 품질향상을 위해 일반적인 시험에서와는 달리 대칭으로 설치되는 두 쌍의 게이지를 설치
  d) Gauge 부착: 천공한 구멍에 고강도 볼트를 사용하여 변형률계(strain transducer)와 가속도계(accelerometer)를 견고하게 부착
  e) 초기 DATA 입력: 항타분석기에 프로젝트 정보 및 시공상황과 초기값(말뚝의 물성, 말뚝의 관입깊이 및 게이지 위치 등)을 입력하고 측정준비
  f) 말뚝 타격 준비: 말뚝을 타격하기 위하여 해머를 말뚝에 거치한다. 이 때 유의할 점은 편타가 최소화하도록 해머와 말뚝축선을 가능한 한 일치시키도록 조치
  g) Gauge 점검: 게이지 케이블을 말뚝항타 분석기(PDA)에 연결하고 게이지 테스트를 실시하여 게이지의 이상 유무를 확인
  h) 입력 DATA 검정: 게이지에 이상이 없으면 초기타격을 1회~2회 실시하여 필요에 따라 초기입력치를 조정
  i) 타격(측정): 초기 입력값 조정 후 낙하고를 조절하면서 적절한 타격 에너지가 확보되는 상태에서 수회 타격하여 말뚝에 전달된 가속도와 변형률을 측정하여 간편 분석방법(Case 방법 등)으로 현장에서 시험품질을 일차적으로 확인하고, 그 결과 적정한 시험이라고 판단되면 시험을 종료하고 시험결과를 기록한 후 매칭기법(CAPWAP) 분석을 위해 데이터를 저장
- 시험종류 및 방법
  a) EOID Test: 매입말뚝 시공종료 직전에 수행하므로 주면마찰력보다는 선단지지력 확인에 주목적이 있는 시험이며 시공관리 기준을 설정하기 위한 경타과정에서의 항타에너지, 항타응력(압축 및 인장)을 측정함으로써 말뚝재료의 건전성을 확인하고 본시공의 안전한 시공관리를 위한 최종관입량, 낙하고 조건 등을 제시하는데 주안점을 두고 시행
  b) Restrike Test: 재항타 동재하시험이라고 불리며 매입말뚝의 주면고정액인 시멘트풀의 양생조건에서 수행하는 시험으로서 시험말뚝의 총지지력과 허용지지력을 결정하기 위해 수행하며, 특히 주입된 시멘트풀에 의한 주면마찰력 확보상태를 평가하기 위한 시험이며 이 결과 또한 양방향재하시험의 시험하중 또는 가압잭의 설치위치 등을 결정하는 주요 참고결과로 활용



(a) 평면도 (b) 정면도

그림 3.70 정재하시험 재하대 설치도

● 정재하시험

- 말뚝의 허용지지력을 결정하는데는 말뚝의 근입깊이, 말뚝의 종류 및 말뚝의 크기 등 말뚝에 대한 제원과 말뚝을 항타할 때으 제반사항 즉 항타기의 종류, 해머의 종류 등을 복합적으로 검토하여 허용지지력을 결정하게 됨
- 과거에는 말뚝의 종류에 따라 또 말뚝의 크기에 따라 경험적인 방법에 따라 말뚝의 허용지지력을 결정하여 왔으나 토질공학의 발전에 따라 이론이 정립되어 항(말뚝)과 흙과의 극한평형상태를 규명하기에 이르렀으며, 이러한 이론에 기초하여 정역학적인 공식에 의하여 토질조건을 고려한 말뚝이 허용지지력을 구하는 동역학적인 지지력 계산방법이 제시됨
- 현재로서는 실물시험으로 가장 근사한 지지력을 측정하는 방법인 말뚝재하시험방법이 실제지지력 판정에 가장 정확한 방법이나, 재하시험에 필요한 하중원의 설치가 용이하지 않음으로 인한 문제가 내재되어 있음
- 즉 재하시험의 최대하중은 설계 예상하중의 약 2배 내지는 3배의 하중을 재하하고 있는 바 이는 재하에 따른 막대한 비용을 고려하여야 하기 때문이며, 이 경우 극한상태까지의 도달이 되지 않을 수 있으므로 본 시험에서는 재하하중에 따라 말뚝의 허용지지력이 결정되는 모순 내지는 제약성을 없애고자 별도의 반력용 앵커를 시공하여 최대 240tonf 또는 파괴하중까지 재하
- 정재하 시험 방법

  : 본 시험방법은 시험말뚝 주변에 시공된 반력앵커를 이용하는 방법으로서 재하대 설치 및 시험에 있어서 고하중의 시험 하중에서도 정확하게 측정할 수 있는 장점이 있어 현재 많이 이용되고 있는 재하시험 방법 중 하나임
- 파일의 허용지지력 판정

  a) 정적 말뚝재하시험 결과로부터 말뚝기초의 허용지지력을 판정하는 데에는 일반적으로 아래와 같은 국내의 설계기준이 적용됨

  b) 구조물기초설계기준에 따르면 극한하중이 판정되었을 경우 3.0 안전율을 적용하며 이때 지반조건, 시공의 정밀도, 말뚝거동의 특성 및 재하시험 횟수를 고려하여 지반공학전문가의 검토를 통해 이보다 낮은 안전율 적용할 수 있도록 하고 있음

  c) 극한하중이 판정되지 못할 경우에는 항복하중에 2.0의 안전율을 적용하도록 되어 있으며 항복하중을 구하는 데는 S-Logt, Log P-Log S, ds/d(Log t)-P 분석법에 의하도록 규정

  d) 이들 방법들은 항복하중으로서 주면마찰력의 선 항복으로 인한 가항복하중이 판정 될 가능성이 있으므로 이러한 불확실성을 배제하기 위하여 본 시험의 검토에서는 이들 방법 외에 허용하중 결정시 상대적으로 신뢰도가 높은 것으로 평가되고 있는 Davisson 판정기준을 병행하여 항복하중을 판정

● 수평재하시험

- 수평재하 시험 방법

  a) 수평재하시험(또는 횡방향재하시험)은 기초말뚝에 작용하는 수평하중에 대하여 말뚝의 저항력과 수평변위량을 측정하므로써 설계수평력의 적정성 및 허용범위이내의 수평변위량 발생여부를 판정하기 위해 수행함

  b) 시험의 기본원리와 시험방법 등은 ASTM D 3966-07에 적시되어 있으며, 말뚝의 상호반력을 동시에 이용하여 재하하는 방법이 가장 일반적으로 적용됨

  c) 다음 3가지 조건 중 가장 먼저 발생되는 현상까지 재하하고 종료

  ① 설계수평력의 특정% (125%) 도달

  ② 허용수평변위량 초과 도달

  ③ 말뚝본체의 파괴 발생

  본 시험에서는 본 말뚝(사용말뚝)에 대한 시험이므로 상기 ① 또는 ②항 조건 중 먼저 만족되는 경우 시험을 종료하는 것을 원칙으로 함

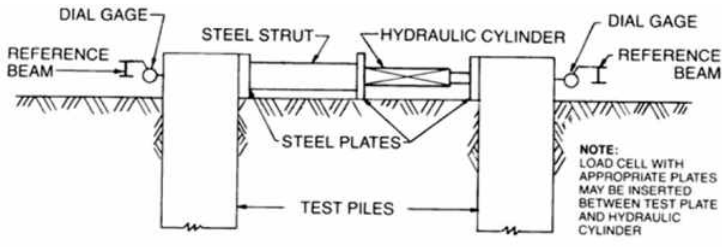


그림 3.71 수평재하시험 모식도

- 수평재하시험 분석방법
  a) 말뚝의 횡방향 지지력을 구하는 이론은 토압론에 근거하여 말뚝의 극한지지력을 구할 수 있는 Brinch Hansen의 방법(1961) 및 Broms의 방법(1964)등이 있으며, 작용하중에 대한 말뚝의 변위관계를 구할 수 있는 지반반력법 및 탄성법 등이 있음
  b) Brinch Hansen의 방법(1961)은 단말뚝에 대하여만 적용할 수 있다는 단점이 있으나, 층상의 지반에 대해 내부마찰각과 점착력을 모두 고려할 수 있다는 장점도 있음
  c) Broms의 방법(1964)은 사질토 및 점성토에 대하여만 적용할 수 있으며, 장말뚝 및 단말뚝에 대하여 극한하중을 구할 수 있음
  d) 대표적인 지반 반력법으로는 P-Y해석법을 들 수 있으며, 지반의 각 층에 대한 성질을 고려할 수 있고 지반의 비선형성도 고려할 수도 있음 (탄성법은 지반반력법을 고려할 수 없는 지반의 연속성을 고려하여 지반을 탄성연속체로 가정하고 말뚝의 거동을 해석하는 방법임)

● 인발재하시험
- 본 시험 중 정재하시험으로 주면 마찰력 및 선단지지력의 구분이 불가하며 동재하시험의 경우 헬릭스의 영향으로 지반의 마찰력을 정확하게 확인하는 것이 명확하지 않을 것으로 판단되어 각각의 규격에 1회씩 인발재하시험을 실시하여 주면마찰력을 확인
- 항복하중의 판단은 정재하시험의 방법과 동일하게 적용하였으며, Fuller's offset (4mm+PL/AE) 방법도 병행하여 판정

○ 시험 결과 및 분석

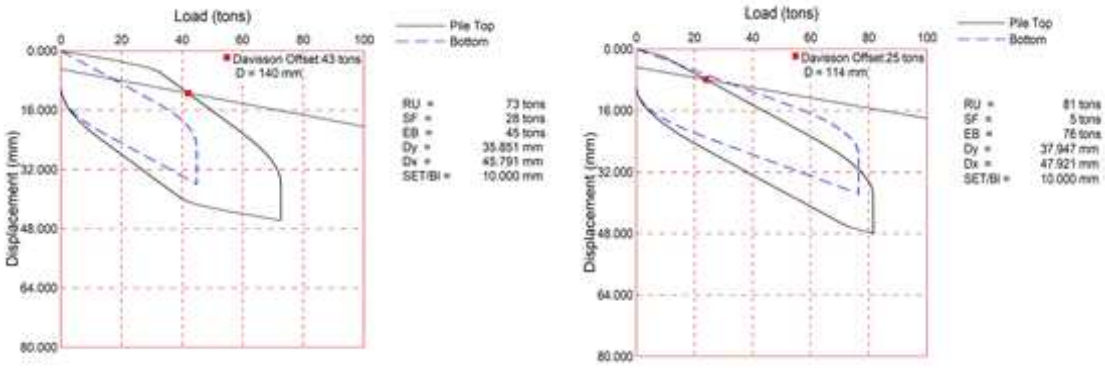
● 동재하시험
- CAPWAP 방법 및 Davisson 방법에 의한 지지력을 산정하고 각 방법에 대한 허용지지력을 산정함

표 3.23 동재하시험 내용

시험위치	관입깊이 (m)	해머 램중량 (ton)	낙하고 (m)	최종 관입량 (mm/bl)	Case (RMX)	CSX (MPa)	CSB (MPa)	EMX (ton-m)
D140	7.9	1.0	1.0	10.0	73.0	3.3	2.1	2.13
D114	7.9	1.0	1.0	10.0	81.0	3.6	3.3	3.32



그림 3.72 동재하시험 장면



(a) D140 (b) D114

그림 3.73 하중-침하거동 및 Davisson 판정결과

표 3.24 동재하시험 결과

	관입 깊이 (m)	Case (RMX)	EMX (tn·m)	CAPWAP 분석결과(ton)					
				주면 마찰력	선단 지지력	전체	허용 지지력	Davisson Method	
								Failure Load	허용 지지력
D140	7.9	73.0	2.13	28.0	45.0	73.0	29.2	43.0	21.5
D114	7.9	81.0	3.32	5.0	76.0	81.0	32.4	25.0	12.5



그림 3.74 정재하시험 장면

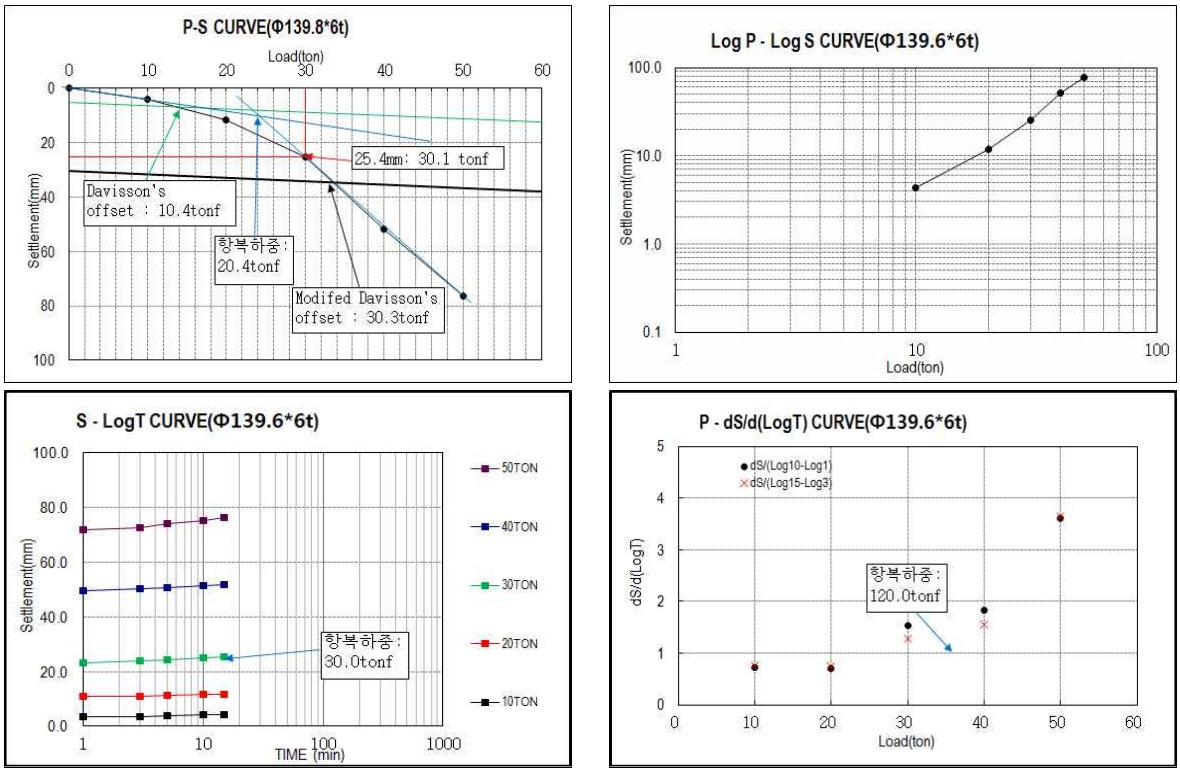
- 정재하시험
  - 본 시험의 주된 목적이 연직지지력을 획득하는 것이 목적이므로 이에 대한 결정방법을 채택/적용해야 하므로 그 기준 내지는 방법을 상기와 같이 설정하고 당 현장에서 수행한 정재하시험 결과에 반영/분석함
  - 정재하시험 결과, D114의 경우 설계 지지력보다 높은 하중이 나타났으나 D140의 경우 시공중 오류(충분히 관입되지 않음)로 인해 충분한 지지력이 나타나지 않는 것으로 보임

표 3.25 정재하시험 내용

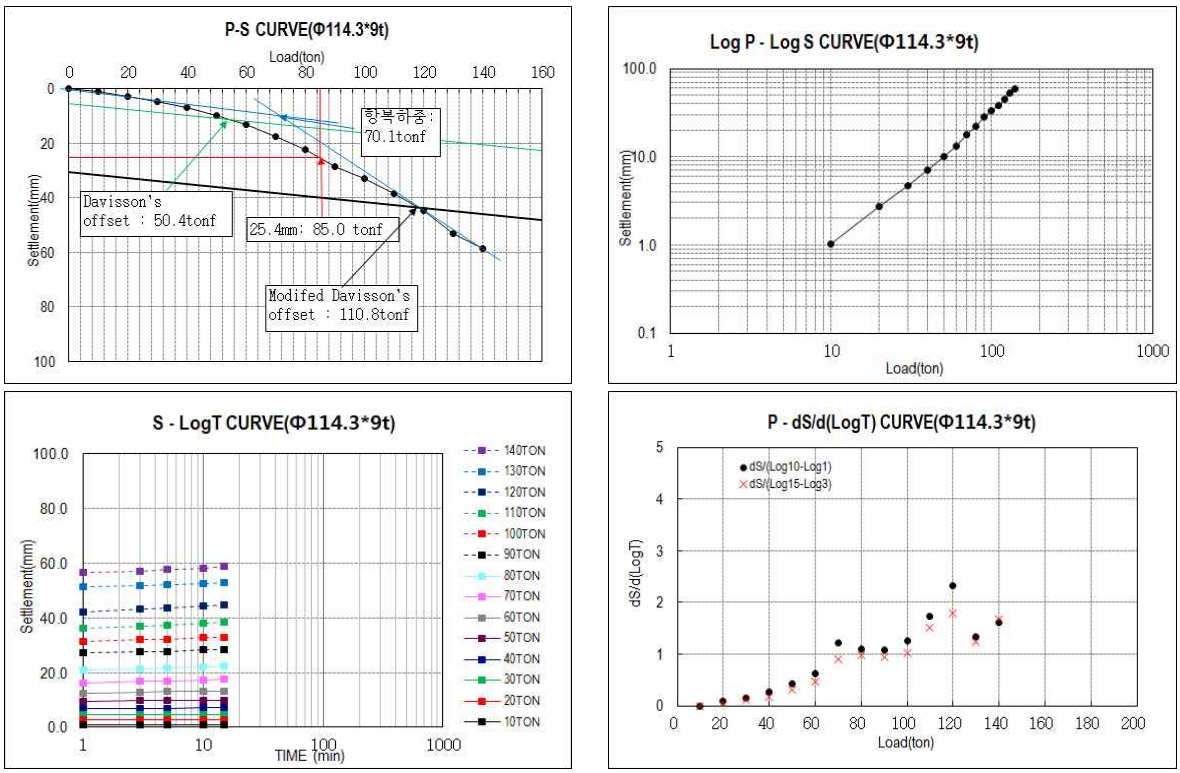
시험위치	관입길이(m)	최대 시험하중 (tonf)	최종 침하량 (mm)	설계 지지력 (tonf)
D140	6.5	50.0	76.27	25.4
D114	6.8	140.0	58.74	20.1

표 3.26 정재하시험 결과

시험위치	25.4mm 일때 하중	최소항복하중 (분석방법)	허용하중 (Fs=2.0)	Davisson's method		Modifed Davisson's method	
				Failure Load	허용하중 (Fs=2.0)	Failure Load	허용하중 (Fs=2.0)
D140	30.1	20.4 (P-S)	10.2	10.4	5.2	30.3	15.15
D114	85.0	70.1 (P-S)	35.05	50.4	25.2	110.8	55.4



(a) D140



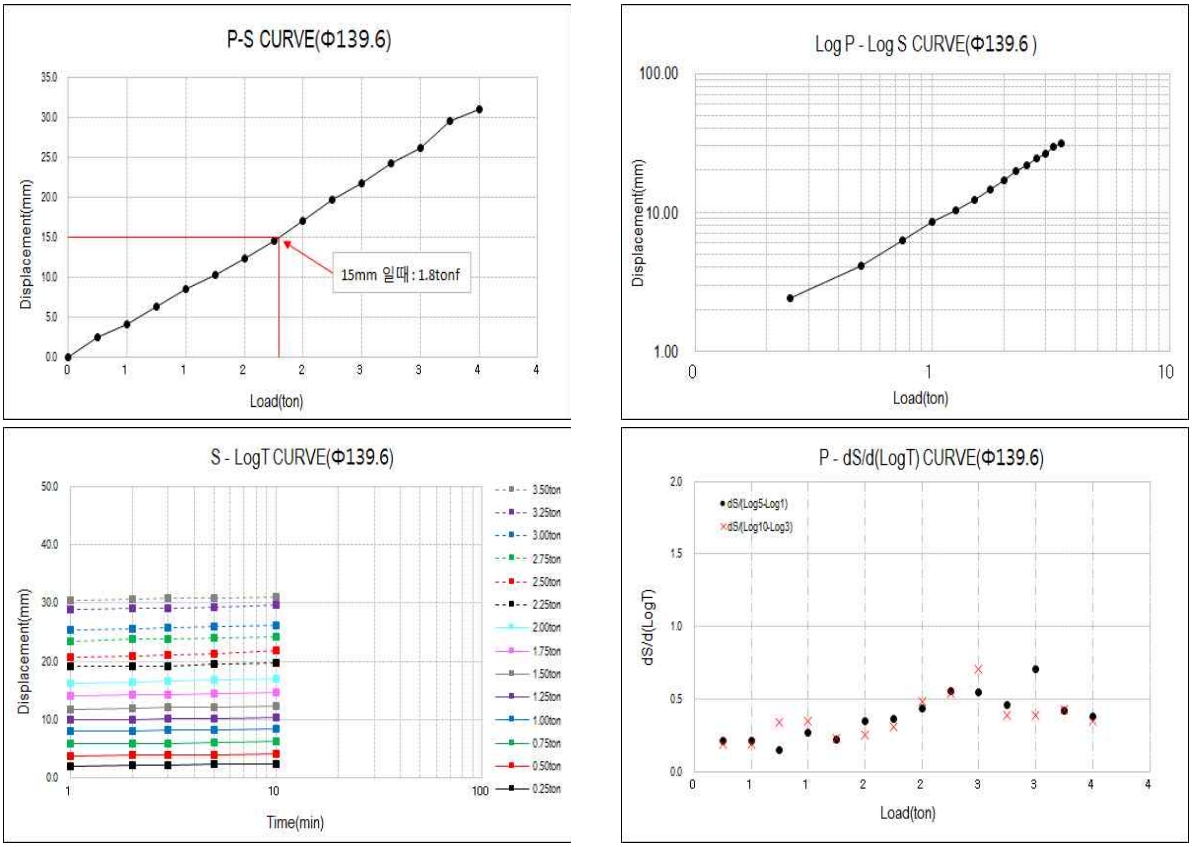
(b) D114

그림 3.75 정재하시험 파일 거동

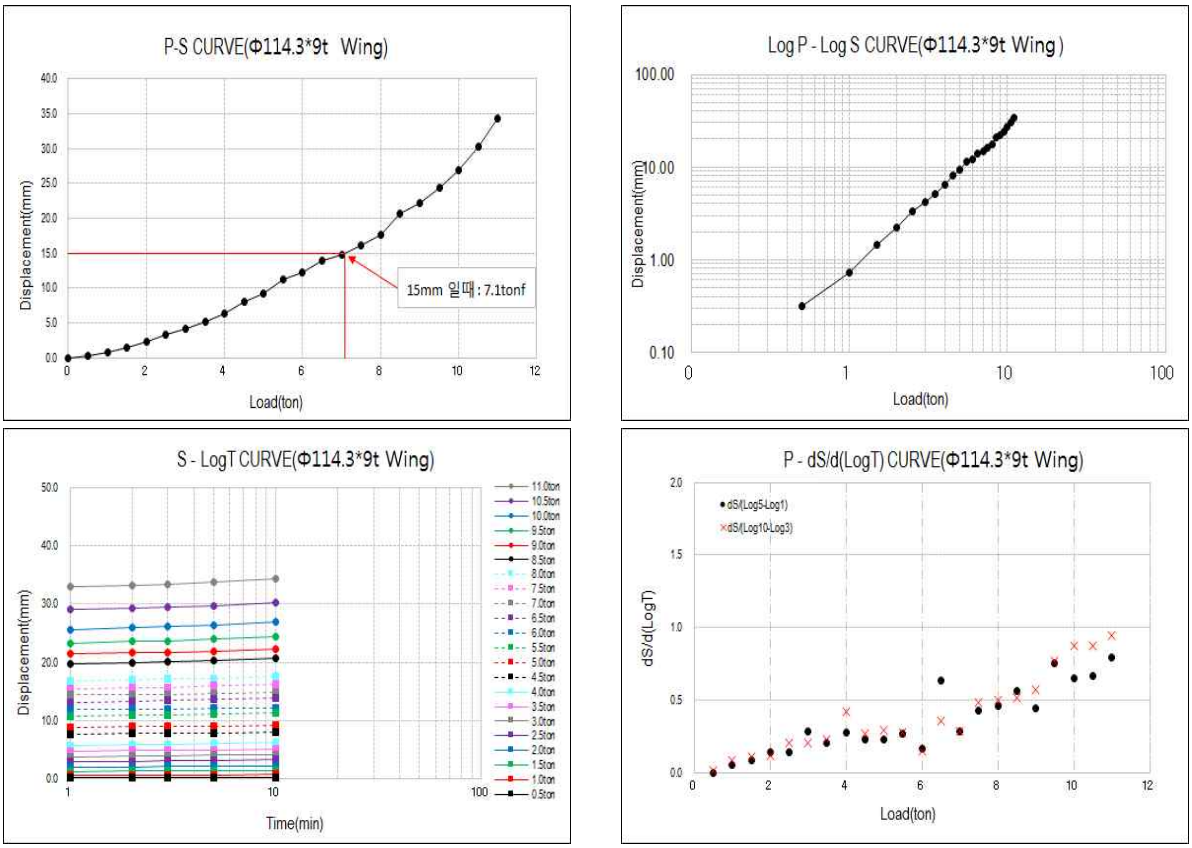
- 수평재하시험 **(성과지표 D-1 ①)**
  - 본 시험의 주된 목적이 수평지지력을 획득하는 것이 목적이므로 이에 대한 결정방법을 채택/적용해야 하므로 그 기준 내지는 방법을 상기와 같이 설정하고 당 현장에서 수행한 수평재하시험 결과에 반영/분석함
  - 수평재하시험 결과, 두 종류의 파일 모두 설계 지지력 대비 높은 허용 지지력이 나타남

표 3.27 수평재하시험 내용

	관입길이(m)	최대 시험하중 (tonf)	최종 변위량 (mm)	설계 지지력 (tonf)
D140	6.0	3.5	31.1	0.6
D114	6.0	11.0	34.3	0.5



(a) D140



(b) D114

그림 3.76 수평재하시험 파일 거동



그림 3.77 수평재하시험 장면

표 3.28 수평재하시험 결과

시험위치	15.0mm 일 때 하중	최소항복하중 (분석방법)	허용지지력 (Fs=2.0)
D140	1.8	1.8 (15mm)	0.9
D114	7.1	7.1 (15mm)	3.55

- 인발재하시험 **(성과지표 D-1 ②)**
  - 지지력의 분석방법은 정재하시험의 방법과 동일하며, Fuller’s offset : 「4mm + PL/AE」에 의해 지지력을 산정하는 방법을 병행
  - D114 시험 결과, 30.0ton에서 25.4mm 변위가 발생하였고 35.0ton 가력 중 변위가 급작스레 발생하며 인발
  - D140 시험 결과 25.0ton에서 25.4mm 변위가 발생하였으며, 25.0ton 유지 중 34.22mm의 변위가 발생하였으며, 이후 30ton 가력 중 26ton에서 하중증가 없이 변위만 증가하여 인발
  - 인발재하시험 결과, 두 종류의 파일 모두 설계 지지력 대비 높은 허용 지지력이 나타남

표 3.29 인발재하시험 내용

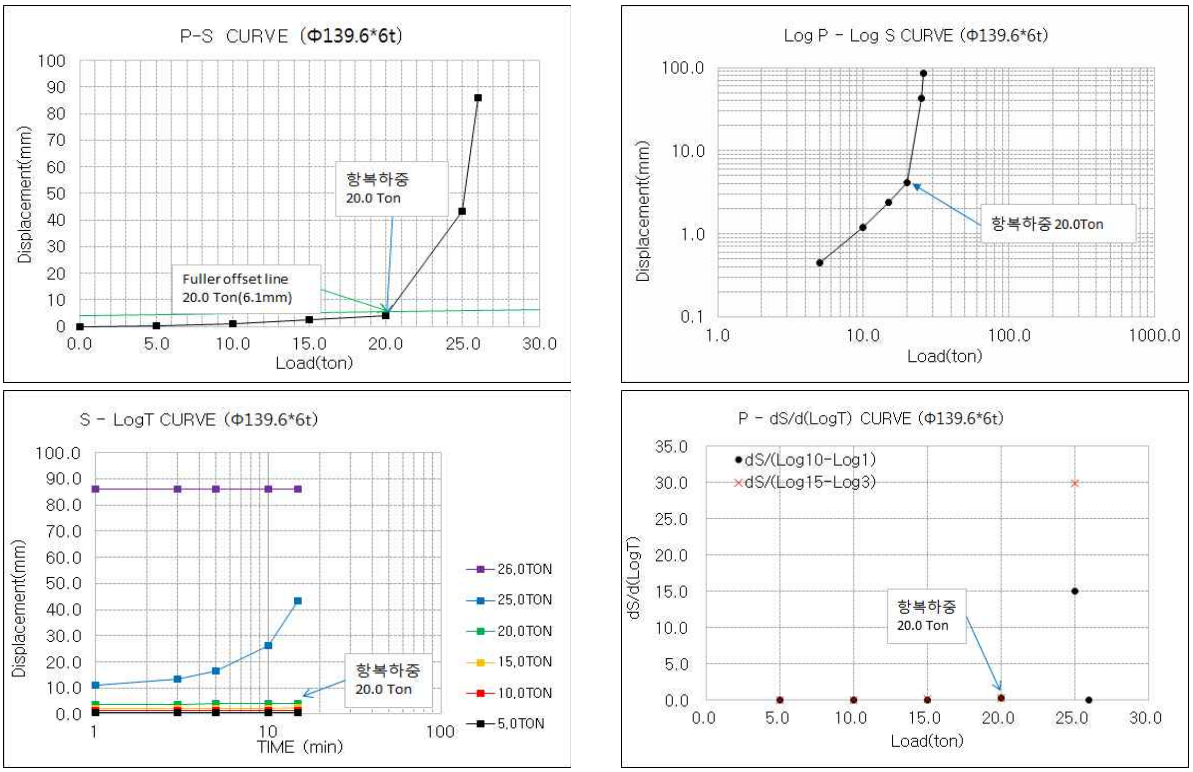
시험위치	관입길이 (m)	최대시험하중 (tonf)	최종변위량 (mm)	설계 지지력 (tonf)
D140	7.6	26.0	86.05	8.1
D114	7.3	31.0	88.74	7.8



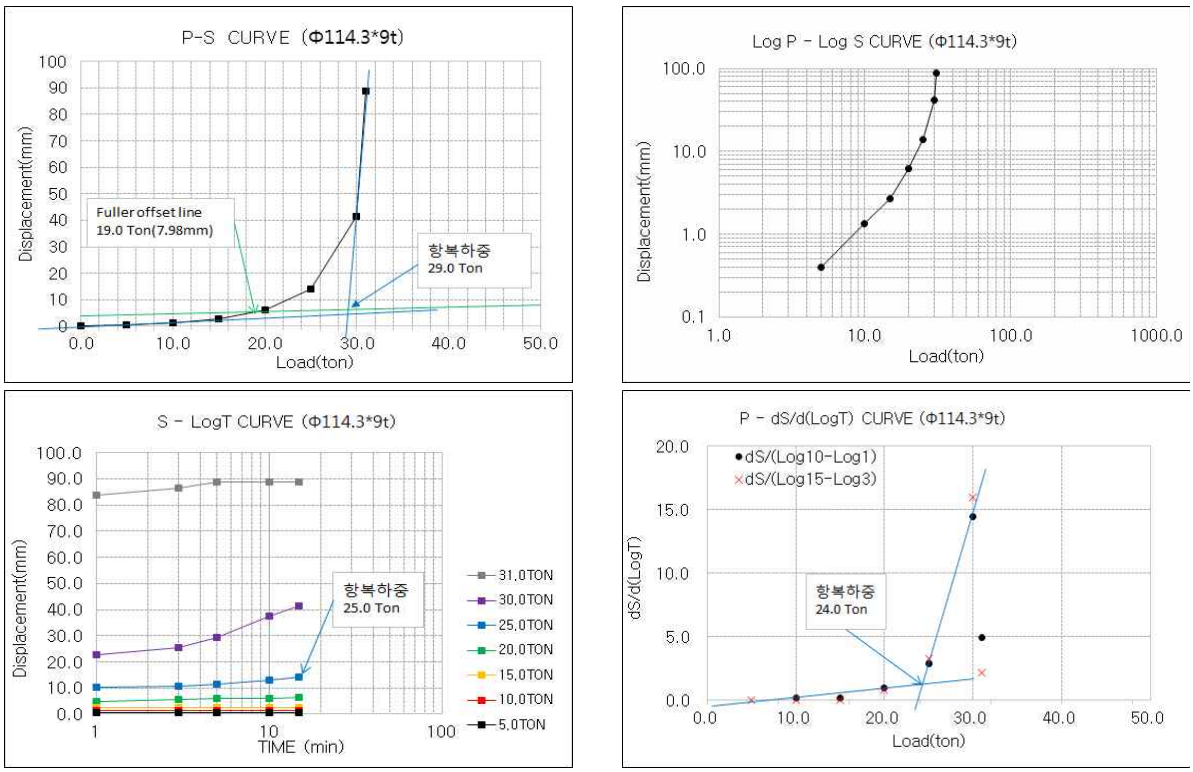
그림 3.78 인발재하시험 장면

표 3.30 인발재하시험 결과

시험위치	25.4mm 일 때 하중	Fuller’s offset	최소항복하중 (분석방법)	허용하중 (Fs=2.0)
D140	1.8	20.0	20.0 (도해법, Fuller’s offset)	0.9
D114	7.1	19.0	19.0 (Fuller’s offset)	3.55



(a) D140



(b) D114

그림 3.79 인발재하시험 파일 거동

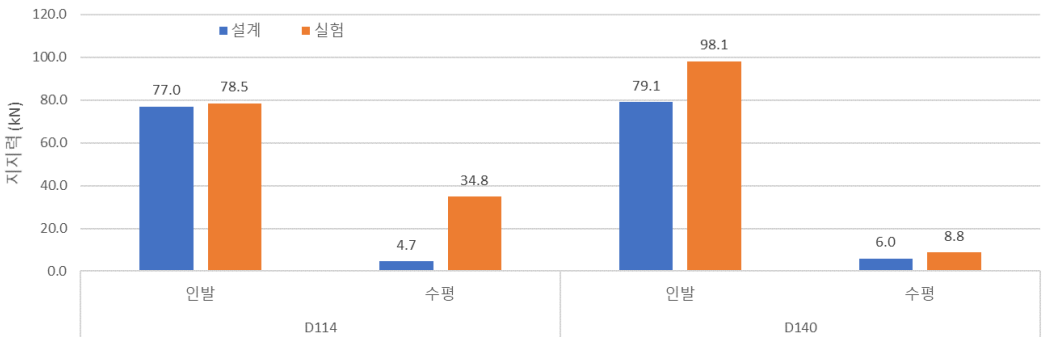


그림 3.80 수평재하시험 및 인발재하시험 결과 요약

○ 헬리컬 파일 연결부 토크 저항성능 평가 **(성과지표 D-1 ③)**

- 해석 목적
  - 핀 연결장치 및 본 연구개발의 연결장치 토크 저항성능 비교
- 모형화 대상
  - D114 헬리컬 파일용 핀 연결장치
  - 재료: SGT550 (항복강도: 550MPa, 인장강도: 690MPa)

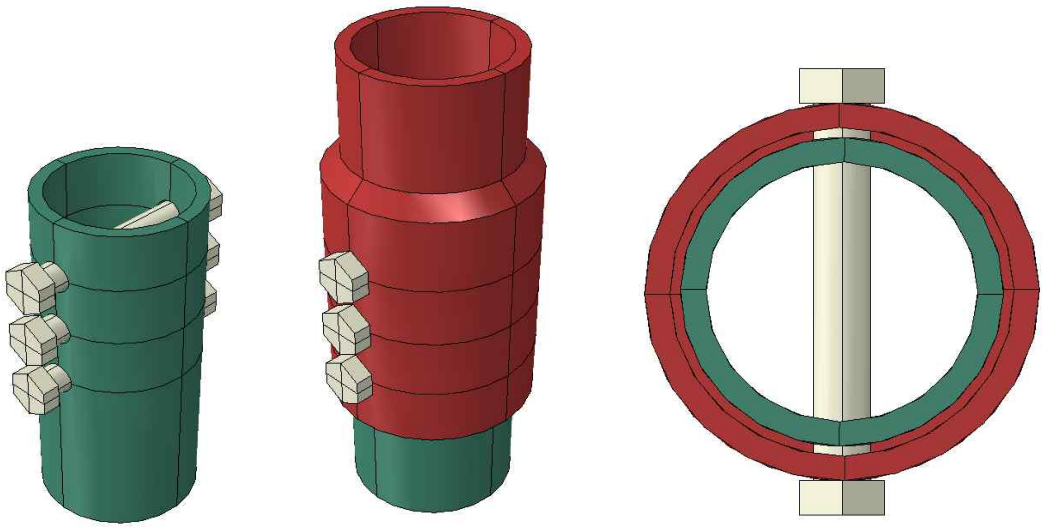


그림 3.81 핀 연결장치 모형

- 모형화 방법
  - 파일의 상단 및 하단 구속
  - 하측 중심점 구속 후 상측 중심점 회전 가력 (변위 하중)
  - 각 접촉부는 Contact으로 묘사 (마찰계수 0.2)
- 해석 결과 분석
  - 내하력 검토
    a) 핀 연결장치 최대 내하력: 42.8kN-m
    b) 본 연구개발의 연결장치 최대 내하력: 52kN-m (약 21.5% 향상)
    c) 핀 연결장치 하중-변위 곡선
    : 핀과 홀 사이의 유격으로 인해 초반 변위 발생 및 탄성거동 하중 구간 짧음

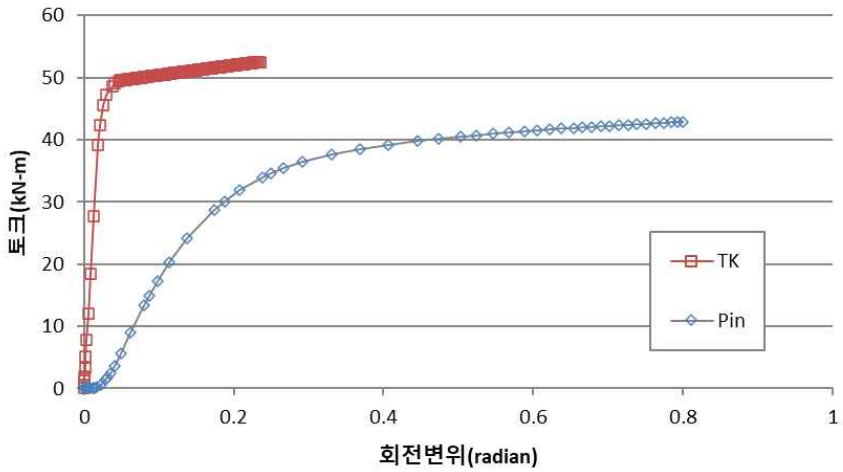
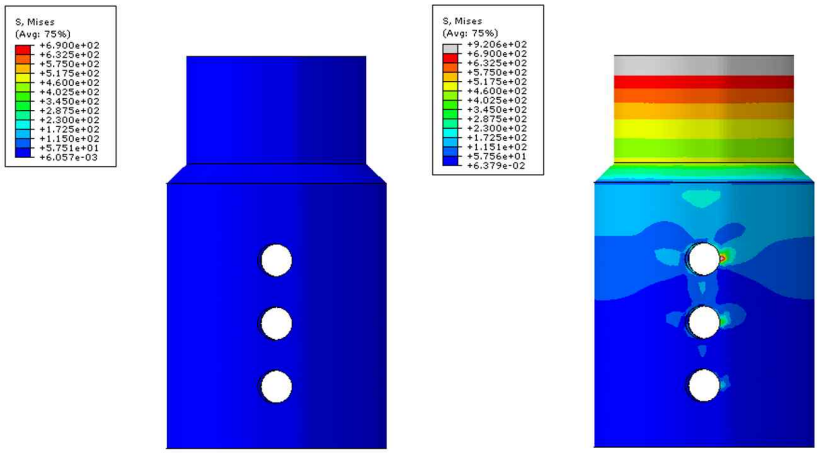
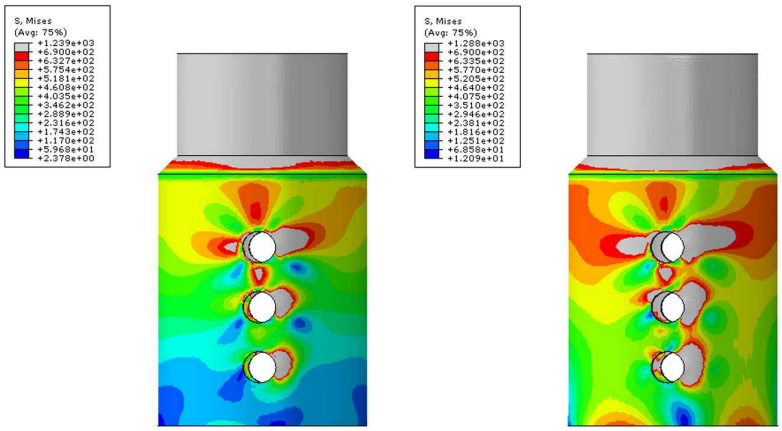


그림 3.82 핀 연결장치 및 본 연구개발 연결장치 하중-변위 곡선 (토크)

  - 응력 및 변형 형상 분석
    a) 연결장치 인장강도 도달 시 모재도 도달
    b) 핀 홀 주위에 과다한 변형 발생



(a) 초기 형상 (b) 인장강도 도달 시점



(c) 0.2rad (d) 0.5rad

그림 3.83 핀 연결장치 응력도 및 변형 형상

○ 헬리컬 파일 연결부 추가 개발

- D89용 연결부 고안
  - 상하 연결장치 동일: 제작 단가 절감 가능
  - 다수 돌기 구성: 현장 시공성 개선 (상부파일 및 장비 즉각 연결 가능)
  - 외력 저항 매커니즘
    a) 압축 및 토크: 상하 연결장치 돌기
    b) 인장 및 휨: 외측 클램프
  - 소형 공구로 간단한 체결 완료 가능
  - 소재 (SGT550 강관 대응)
    a) 연결장치: SCW620
    b) 연결장치: GCD450

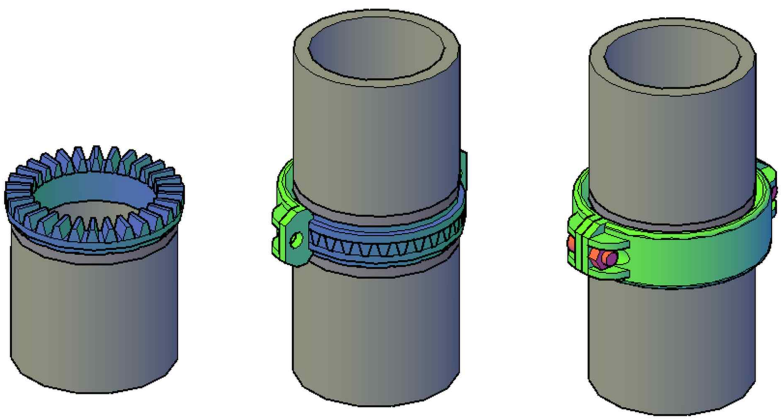


그림 3.84 추가 개발 헬리컬 파일 연결부 개요도

● 성능검증 해석 수행
- 구조적 특성 상 인발에 상대적으로 취약할 것으로 예상되므로 인발에 대해 우선 검토
● 모형화 방법
- 1/2 모형화
- 파일의 하단 구속 후 상단 변위하중 가력
- 각 접촉부는 Contact으로 묘사 (마찰계수 0.2)

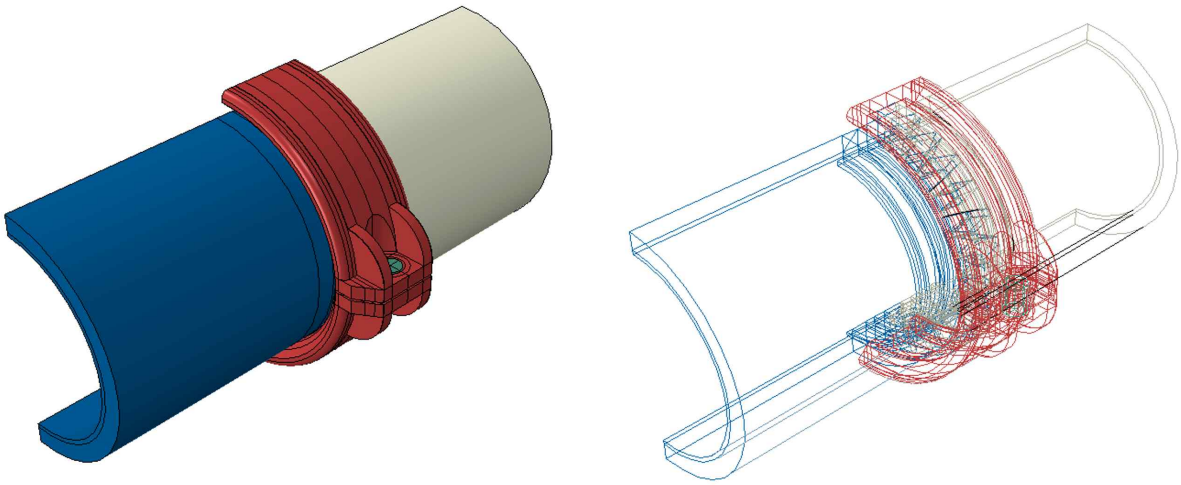


그림 3.85 추가 개발 헬리컬 파일 연결부 모형화

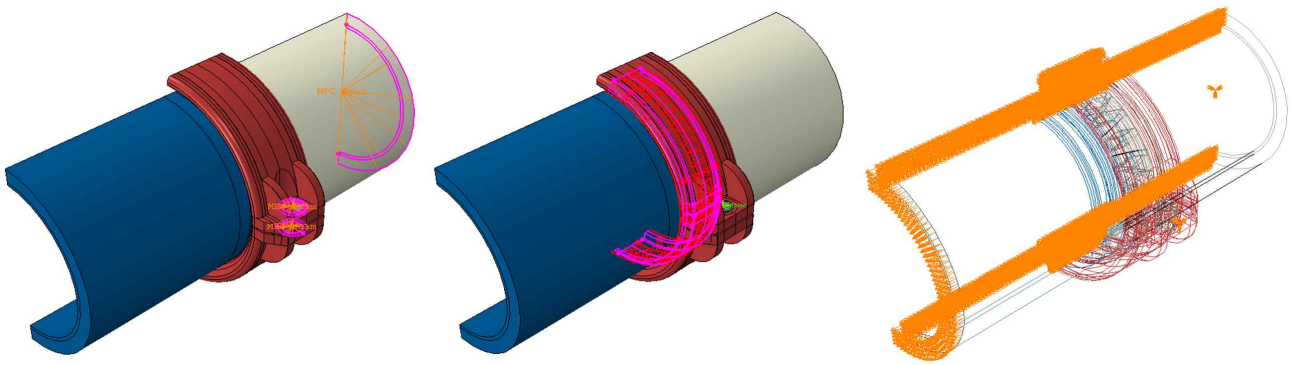


그림 3.86 추가 개발 헬리컬 파일 연결부 해석모형 구속조건 및 경계조건

● 해석 결과 분석
- 내하력 검토
a) 목표 인장력: 41kN (항복인장력 대비 30% 수준)
b) 본 연구개발의 연결장치 최대 내하력: 600kN 이상
c) 하중-변위 관계를 상대변위로 분석
- 클램프의 변형이 크게 나타남 (클램프의 강도가 인발강도 지배)

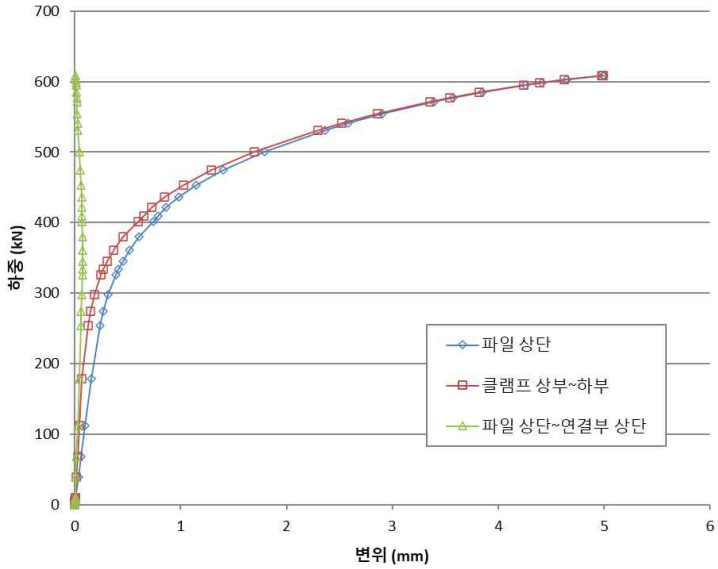
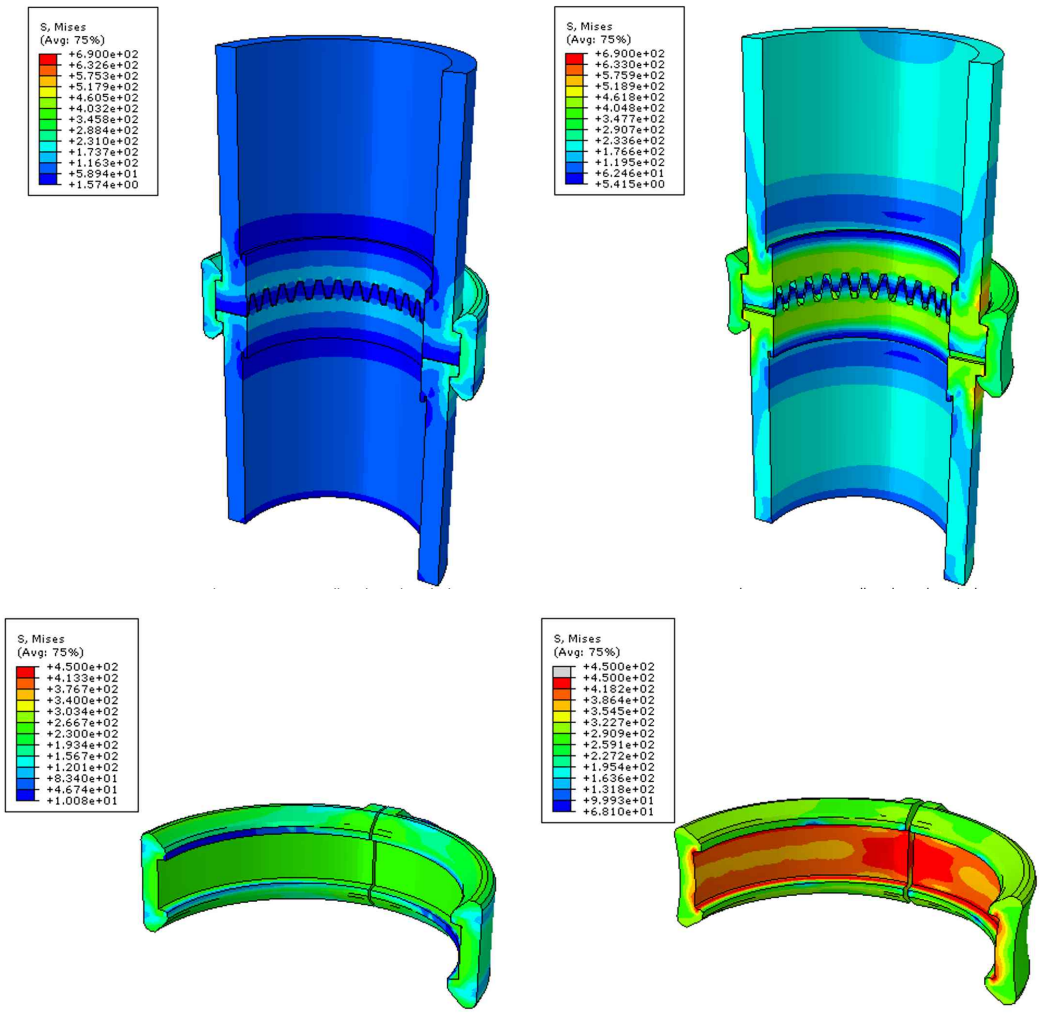


그림 3.87 추가 개발 헬리컬 파일 연결부 하중-변위 곡선 (인장)

- 응력 및 변형 형상 분석
  a) 클램프 응력 수준 높음
  b) 과도한 응력집중 미발생



(a) 하중 약300kN (b) 하중 약 580kN

그림 3.88 추가 개발 연결장치 응력도 및 변형 형상

● D89용 연결부 시제작
- 제작성 검토용 금형 제작 및 시제작
- 쉘 몰드 방법 적용
- 시제작품 결합성 검토 완료

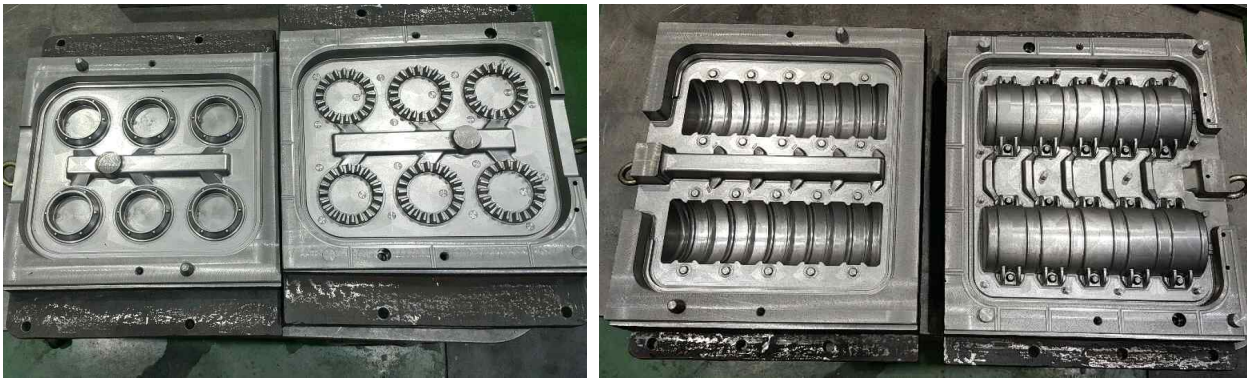


그림 3.89 추가 개발 연결장치 시제작용 금형



그림 3.90 추가 개발 연결장치 시제작

○ 헬리컬 파일 초도 현장적용

● 공사명
- 북구 도활사업 공동체센터 신축공사 중 헬리컬 파일 공사 (한국토지주택공사)
● 공사위치
- 광주광역시 북구 중흥동 646-12
● 공사기간
- 2020년 8월 20일 ~ 2020년 9월 2일
● 적용 기술
- 헬리컬 파일 연결장치
- 형상 개선 나선형 날개
- 급속연결 지압판

표 3.31 헬리컬 파일 기술 초도적용 현장 공사내용 및 수량

공종	규격	단위	수량
코어작업	D300	ea	15
파일천공 및 설치	D114.3㎜ / T9㎜	m	540
그라우팅	-	m	540
두부정리	-	ea	45
지압판 설치	∅330㎜×T30㎜	ea	45
재하시험	동재하시험	회	1



(a) 코어작업



(b) 자재 반입



(c) 천공



(d) 연결 및 연속 천공



(e) 두부 정리



(f) 그라우팅



(g) 지압판 설치



(h) 두부 정리



(i) 현장정리

그림 3.91 헬리컬 파일 기술 현장 초도적용

- 추가 현장적용
  - 고양시 일산구 성석동 428-52번지 단독주택 로타리 파일 공사 (2020.6.20.~ 2020.6.25.)
    : 급속연결 지압판 공급
  - 화성시 남양읍 남양로 로타리 파일 공사 (2020.7.8.~ 2020.7.31.)
    : 급속연결 지압판 공급

7. 연구개발 성과

7-1. 국내 및 국제학술회의 발표

번호	회의 명칭	발표자	발표 일시	장소	국명
1	한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회	조광일	2019.10.09. ~ 2019.10.11	부산 해운대 한화리조트	한국
2	한국구조물진단유지관리공학회 학술발표대회	조광일	2020.11.19. ~ 2020.11.20	한국과학기술관	한국

7-2. 지식재산권(특허, 실용신안, 디자인, 상표, 신품종 등)

번호	지식재산권 등 명칭 (건별 각각 기재)	국명	출원			등록			
			출원인	출원일	출원번호	등록인	등록일	등록번호	
1	강관 파일 연결구	한국	(주)택한	2019.04.29	10-2019-0049686	(주)택한	2020.01.07	10-2065742	100
2	강관 파일 연결구	한국	(주)택한	2019.04.29	30-2019-0023888	(주)택한	2020.01.07	30-1041021	100
3	헬리컬 파일용 블레이드	한국	(주)택한	2019.07.02	30-2019-0031594	(주)택한	2020.02.20	30-1047425	100
4	건축용 파일	한국	(주)택한	2019.07.17	30-2019-0043125	(주)택한	2020.04.01	30-1053641	100
5	관입성 향상 헬리컬 파일	한국	(주)택한	2019.07.19	10-2019-0087638				100
6	연약 지반용 주면 지지 파일	한국	(주)택한	2019.07.23	10-2019-0088887				100
7	파일 두부 정착구	한국	(주)택한	2020.01.03	10-2020-2151726	(주)택한	2020.08.28	10-2151726	100
8	강관 파일 연결구	한국	(주)택한	2020.09.09	30-2020-0042899				100
9	강관 파일 연결구	한국	(주)택한	2020.09.11	10-2020-0116589				100

7-3. 기술 거래(이전) 등

번호	기술 이전 유형	기술 실시 계약명	기술 실시 대상 기관	기술 실시 발생일	기술료 (해당 연도 발생액)	누적 징수 현황
1	기술 실시	헬리컬파일 특허 통상실시 계약	㈜에이치앤드 에이치엔지니어링	2020.08.11	75,761,500원	75,761,500원

7-4. 사업화 현황

번호	사업화 방식	사업화 형태	지역	사업화명	내용	업체명	매출액		매출 발생연도	기술 수명
							국내	국외		
1	이전 (통상실시)	기존 제품 개선	국내	파일 급속 연결장치, 형상개선 헬릭스 날개, 무용접 지압판	헬리컬 파일 연결장치, 날개, 지압판 통합 기술이전	(주)택한	75,761,500 원	-	2020년	20년
2	자가 실시	기존 제품 개선	국내	헬리컬 파일 무용접 지압판	헬리컬 파일 무용접 지압판 생산 및 공급	(주)택한	10,250,000 원	-	2020년	20년

7-5. 현장적용

번호	기존기술명	R&D기술명	R&D기술유형	R&D기술개요	공사명	공사기간	공사비	발주처	시공업체
1	파일 용접 지압판	헬리컬 파일 무용접 지압판	자재 및 재료	소구경 파일 두부 마감용 무용접 급속 설치 가능 지압판	일산 성석동 428-52번지 단독주택 로타리파일공사	2020.06.20. ~2020.06.25	20,000,000	개인	반석기초 이앤씨(주)
2	헬리컬 파일 용접 지압판	헬리컬 파일 무용접 지압판	자재 및 재료	소구경 파일 두부 마감용 무용접 급속 설치 가능 지압판	경기도 화성시 남양읍 남양로 로타리파일공사	2020.07.08. ~2020.07.31	100,000,000 원	개인	반석기초 이앤씨(주)
3	헬리컬 파일 핀 연결장치, 판 가공 헬릭스 날개, 용접 지압판	헬리컬 파일 급속 연결장치, 형상개선 헬릭스 날개, 무용접 지압판	공법/기법	헬리컬 파일 시공성 및 경제성 향상 통합 기술	북구 도촬사업 공동체센터 신축공사 중 헬리컬파일 공사	2020.08.20. ~2020.09.02	61,480,000원	한국 토지 주택 공사	㈜에이치 앤드에이치 엔지니어링

7-6. 기타

번호	성과물 종류	명 칭	내용
1	시제품	헬리컬 파일 연결부 3D 모형	헬리컬 파일 연결부 실스케일 3D 프린팅 모형 상/하부
2	시제품	헬리컬 파일 연결부 시제품 (정밀주조 공법)	헬리컬 파일 연결부 주조품 및 헬리컬 파일 본체와 용접연결
3	시제품	헬릭스 시제품 (정밀주조 공법)	헬리컬 파일 관입성 향상을 위한 형상 개선 헬릭스
4	시제품	헬리컬 파일 연결부 시제품 (쉘몰드 공법)	헬리컬 파일 연결부 형상 및 성능개선을 위한 연결구 개선품 주물 시제작
5	시제품	헬릭스 시제품 (쉘몰드 공법)	헬리컬 파일 현장시공시험 및 관입성 향상을 위한 주물 시제작
6	시제품	헬리컬 파일 두부 시제품	헬리컬 파일 현장시공시험 및 인발시험을 위한 주물 시제작

8. 핵심 연구성과

핵심성과 1	헬리컬파일 연결장치 최적사양개발	
정의	직경 114mm 및 140mm 헬리컬 파일의 성능기준을 만족하는 연결부 상세 사양	
목적	헬리컬 파일의 설계 연직지지력, 인발저항력, 수평지지력을 만족시키며 시공 중 발생토크에 대응할 수 있고, 경제성을 확보한 연결기술 필요	
성능목표	(기존기술 수준) 명확한 성능사양 없음 (개발기술 수준) 각 하중에 대한 설계 및 구조해석을 통한 성능 검증	
성과달성 책임자 (소속기관)	조광일(택한)	
소요기간	'19.4 ~ '19.12 (9개월, 1년차)	
성과달성 확인방법	헬리컬 파일 연결부 설계강도 산정 및 3차원 정밀 구조해석	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	특허 출원 : 3건 / 디자인 출원 : 3건
	논문	학술발표논문 : 1건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	시제품 2건

핵심성과 2	헬리컬 파일 연결장치 실모델 제작 및 성능검증	
정의	직경 114mm 및 140mm 헬리컬 파일의 성능기준을 만족하는 연결부 시제작품 제작 및 체결 시공성 평가	
목적	헬리컬 파일 연결부의 제작성 및 시공성을 검토하고 제작 및 부착단가를 파악함	
성능목표	(기존기술 수준) 핀 및 나사형 연결방법 제작 및 시험체결 / 제작 및 부착비 100% (개발기술 수준) 핀 및 나사형 연결방법 제작 및 시험체결 / 제작 및 부착비 80%	
성과달성 책임자 (소속기관)	조광일(택한) / 박상진(티엔씨)	
소요기간	'19.4 ~ '20.12 (21개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	헬리컬 파일 연결부 시제작 및 체결성 평가	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	특허 출원 1건, 등록 1건 / 디자인 출원 1건, 등록 : 2건
	논문	0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	시제품 2건 / 기술이전 1건 / 사업화 2건 / 현장적용 3건

핵심성과 3	헬리컬 파일 연결장치 설계 및 시공매뉴얼 개발	
정의	헬리컬 파일 연결장치 표준제품 도면 및 헬리컬파일 연결장치 설계/시공매뉴얼 개발	
목적	다양한 지름의 헬리컬 파일에 대응하는 연결부를 즉각 제공할 수 있도록 하기 위해 연결장치의 설계 매뉴얼을 작성하고, 본 연결부의 원활한 사용을 위한 시공매뉴얼 작성	
성능목표	(기존기술 수준) 없음 (개발기술 수준) 헬리컬 파일 연결부 설계 및 시공매뉴얼	
성과달성 책임자 (소속기관)	조광일(택한)	
소요기간	'19.4 ~ '20.12 (21개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	헬리컬 파일 연결부 도면 및 설계/시공매뉴얼 작성여부	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	특허 출원 1건, 등록 1건 / 디자인 등록 1건
	논문	0건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건

핵심성과 4	헬리컬 파일 및 연결부 현장재하시험	
정의	현장적용 헬리컬 파일에 대한 정재하 및 수평/인발 성능 평가	
목적	헬리컬 파일 및 연결부의 현장재하시험을 통해 현장 시공성 및 구조적 성능을 실험적으로 검증	
성능목표	(기존기술 수준) 없음 (개발기술 수준) 헬리컬 파일 연결부 설계하중 대비 내하력 100% 이상	
성과달성 책임자 (소속기관)	조광일(택한) / 박상진(티엔씨)	
소요기간	'19.4 ~ '20.12 (21개월, 2년차)	
성과달성 확인방법	헬리컬 파일 및 연결부의 현장시험시공을 통한 내하력 100% 이상 보유 확인	
성과달성에 따른 정량적 성과	특허 출원/등록	0건
	논문	학술발표논문 1건
	저작	0건
	S/W	0건
	신기술	0건
	기타	0건

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

1. 목표 달성도

○ 토크 저항성능 20% 향상 및 그라우팅 시공성 개선이 가능한 헬리컬 파일 연결부 개발의 성공여부 평가를 위해 설계, 실험, 시제작, 현장시험 등 전과정에 걸친 연구추진 현황은 아래와 같음

○ 정량적 연구성과

구분	년도	세부 연구목표	세부 연구개발 내용	평가목표 및 착안점	달성치	가중치,% (연구비, 백만원)	추진일정			
							1분기 (1/4)	2분기 (2/4)	3분기 (3/4)	4분기 (4/4)
1차년도	2019	헬리컬 파일 연결부 상세 설계	헬리컬 파일 연결부 상세 도출	헬리컬 파일 대표 직경별 (114.3mm, 200m) 상세도출	100% (대표 직경 상세도출 2식)	10 (30)				-
		헬리컬 파일 연결부 해석적 구조성능 검증	압축/인장/휨 성능 평가	헬리컬 파일 작용 하중 방향별 설계대비 강도 100% 이상 보유 확인	100% (설계대비 강도 100%이상 보유 확인)	28 (100)				-
		헬리컬 파일 연결부 모형 제작	3D 프린팅 모형 제작	헬리컬 파일 연결장치 사양 반영 모형 제작	100% (모형 제작)	10 (49)				-
2차년도	2020	헬리컬 파일 연결장치 제작성능 평가	연결부 장치 주물/가공 시제작	헬리컬 파일 연결장치 시제작 및 연결단가(3.2만원/개 이하) 산정	-	17 (93)				
			연결장치 최적 부착 프로세스							
			연결장치 제작 및 부착 단가							
		헬리컬 파일 연결장치 체결성능 평가	시공용 어뎁터 제작	헬리컬 파일 연결장치 시공을 위한 전용 어뎁터 제작 및 시공성 검토	-	10 (103)				
			체결 시공성 평가							
		헬리컬 파일 연결장치 상세 표준화 및 매뉴얼 개발	연결장치 표준도면	헬리컬 파일 대표 직경별 표준도면 작성 및 설계 및 시공 매뉴얼 각 1식 개발	-	15 (123)				
			연결장치 경제성 분석							
			설계 및 시공매뉴얼 개발							
		헬리컬 파일 및 연결부 현장재하시험	연결부 수평 성능 평가	현장재하 시험 통한 설계대비 수평 및 인발 강도 100% 이상 확인	-	10% (130)				
			연결부 인발 성능 평가							

○ 이상의 정량적 연구성과 목표와 연계한 논문, 특허, 소프트웨어, 시제품 등의 산출물은 아래와 같음

구분			1차년도	2차년도	계
국내논문 게재	SCI		-	-	-
	SCI		-	-	-
	학술발표		1	1	2
	계		1	1	2
특허출원	국내		6	3	9
	국외		-	-	-
	계		6	3	9
특허등록	국내		-	5	5
	국외		-	-	-
	계		-	5	5
기술이전	계약건수		-	1	1
	계약액		-	75,762천원	75,762천원
	징수액		-	75,762천원	75,762천원
국제 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
국내 표준화	기고서 제출		-	-	-
	기고서 채택		-	-	-
	표준안 채택		-	-	-
등록·기탁 대상 성과물	보고서 원문		-	1	1
	연구시설·장비		-	-	-
	기술요약정보		-	1	1
	생명자원	생명정보	-	-	-
		생물자원	-	-	-
		신품종	-	-	-
	소프트웨어		-	-	-
	화학물		-	-	-
기타	시제품		3	3	6
	성과 홍보		-	1	1
	일자리 창출		-	1	1

2. 관련 분야 기여도

○ 기술적 측면

■ 리모델링용 헬리컬 파일의 구조성능(토크) 및 시공성(그라우팅)을 확보할 수 있는 연결장치 개발 및 현장재하시험 검증으로 상용화 단계의 기술이 확립된다면 기술개발 완료시 선진 수준 이상의 기술을 보유할 수 있음

■ 국내뿐만 아니라 해외 헬리컬 파일 업체를 통해 해외적용이 용이하므로 사업화 대상 기술을 국제특허로 출원하여 제품 수출뿐만 아니라 기술력을 수출하는 새로운 고부가가치 창출의 토대가 될 수 있음. 따라서 향후 국제적으로 나아가는 발판을 제공할 수 있음

○ 사회적/경제적 측면

■ 신형식 헬리컬 파일 연결장치는 전체공사비 절감뿐만 아니라 공공주택 리모델링 임대주택에 적용하여 국민의 생활안전성 제고를 통해 삶의 질 향상에 이바지할 것으로 기대됨

■ 헬리컬 파일 시장은 국내에서 약 50,000본이 사용되며, 평균길이 15m로 산정하면 연결부는 250,000개가 사용됨. 전체 시장의 50%를 대체할 경우 기존공법(6만원/개, thread타입)대비 20% 공사비를 절감할 수 있으므로 연간 국내 약 15억원의 건설비용 절감 가능

제5장. 연구개발성과의 활용계획

1. 활용 계획

○ 신형식 헬리컬 파일 연결장치는 헬리컬 파일의 시공중 토크저항성능이 우수할 뿐만 아니라 원활한 그라우팅이 가능함과 동시에 경제성도 확보할 수 있어, 도심지의 리모델링과 같이 협소한 공간의 기초공사에서 적극 활용될 수 있음.

○ 연결장치 제공뿐만 아니라 구조적 성능검증 및 제반 매뉴얼 등 토탈 솔루션을 제공하여 원활한 현장적용이 가능.

○ 최종 구매에 의사결정을 하는 목표고객별 맞춤형 전략을 수립하고 제품공급을 수행할 예정임.

■ 발주처 : 공공리모델링 임대주택사업* 시 성능개선 헬리컬 파일 적용

*LH공사가 노후 다가구주택 등을 리모델링후 저렴한 가격으로 임대(2만호)

■ 제작사 : 대상스틸, 영광엔지니어링, 진양비지엠텍 등 경제성 우위 연결장치 공급

■ 시공사 : HNH엔지니어링. 반석기초, 도건이엔텍 등 시공성 개선 연결장치 부착 강관 공급

○ 현재 헬리컬 파일 지지력 산정 방법에 대한 국내 기준이 명확하지 않으므로, 향후 헬리컬 파일 관련 시장 적용 확대를 위해 추가 연구를 통한 헬리컬 파일 지지력 산정 방안 개발 계획 수립

○ 헬리컬 파일 공사현장 적용 확대 위한 기술 비교표 및 관련자료 지속 업데이트

○ 다양한 조건의 시공환경에 대응하고 현장 적용을 확대하기 위해 실현장 중심으로 다양한 지반에 대한 현장실험을 수행하여 추가적인 데이터 수집 및 제품 개선

표 5.1 헬리컬 파일 연결부 기술 비교

구분		핀 형식	나사 형식	본 연결기술
형 상				
특징비교	체결 시공성	△	○	◎
	토크 저항성	○	◎	◎
	그라우팅 시공성	△	◎	◎
	경제성	◎	△	◎
제작비		45,000원/조	78,000원/조	45,000원/조

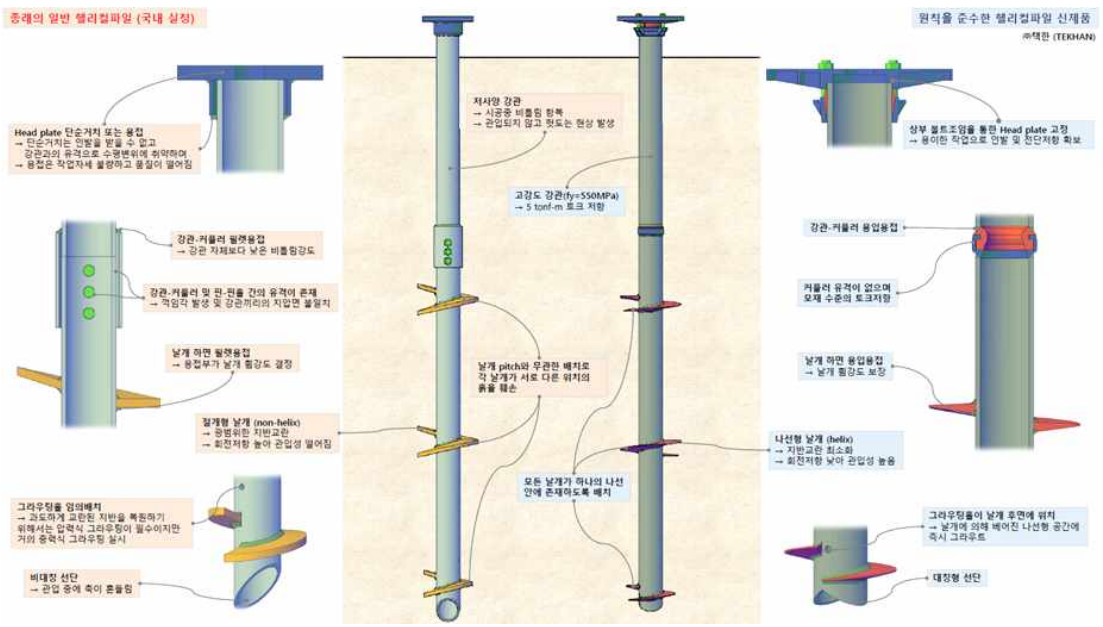


그림 5.1 핀 연결 방식 대비 기술 비교 자료

2. 사업화 계획

○ 제품홍보, 판로확보, 판매전략 등의 사업화 추진전략

구분	구체적인 내용
형태/규모	ㅇ 상용화 형태 : 설계/제작/판매 일체 ㅇ 수요처 : 헬리컬 파일 제작 및 시공 업체 등 ㅇ 단가 : 개당 2.5만원 (+ 용접 2만원) ㅇ 개발투입인력 : 5명
상용화 능력 및 자원 보유	ㅇ PHC 파일 기계식 연결부 개발 후 상용생산 및 공급 ㅇ 구조물 관련 기술이전 및 연구개발 실적 다수 ㅇ 구조물 설계 및 해석 관련 10년 이상 경력 인력 4인 보유 (박사 3인)
상용화 계획 및 일정	ㅇ 연구과제 진행 중 생산설비를 확보하고 판매영업시작 (2020년부터 상용화 판매)

가. 사업화 모형 수립(BM) 배경

○ 협소한 공간 내 시공, 경제성 및 시공성 확보, 소음 및 진동 감소가 가능한 헬리컬 파일은 노후 건물 리모델링 시장이 성장함에 따라 적용량이 증가하고 있는 상황임

○ 헬리컬 파일은 3m 마다 연결부가 발생하며 여기에는 pin 타입과 thread 타입의 연결부가 사용되는데, pin 타입은 토크 저항력이 낮고 그라우팅이 어려워 점차 시장에서 퇴출되고 있으며 thread 타입은 가격이 높아 새로운 형식의 경제적인 헬리컬 파일용 연결방법이 요구되고 있음

○ 이에 pin 타입 대비 20% 이상 토크 저항성능을 보유함과 동시에 thread 타입 대비 20% 이상 경제성이 향상된 새로운 연결장치에 대한 사업화 모델을 수립하였음

나. 사업화 모형의 목표 및 핵심 경쟁 요인

○ 제품/기술의 장점

■ 상/하부 연결장치를 각 단부에 용접하므로 파일 단면 손실이 없음

■ 상/하부의 암수 형상에 의해 축력 및 회전력에 저항하며 회전방지 채움재에 의해 역회전 발생 시에도 풀림의 우려가 없음

○ 공공적 가치

■ 헬리컬 파일 연결부의 신뢰도를 확보하여 노후 주택 리모델링 등 중소규모 건설현장의 안전성 확보

■ 경제성 향상으로 연간 약 15억 이상 건설비용 감축

○ 차별화 방안

■ 상/하부 연결장치의 대량 생산을 통해 제작 단가를 크게 낮추어 경제성 확보 가능

■ 헬리컬 파일 제작 및 시공 업체와 협업하여 범용 연결장치로 개발 및 공급

다. 목표 시장 구조

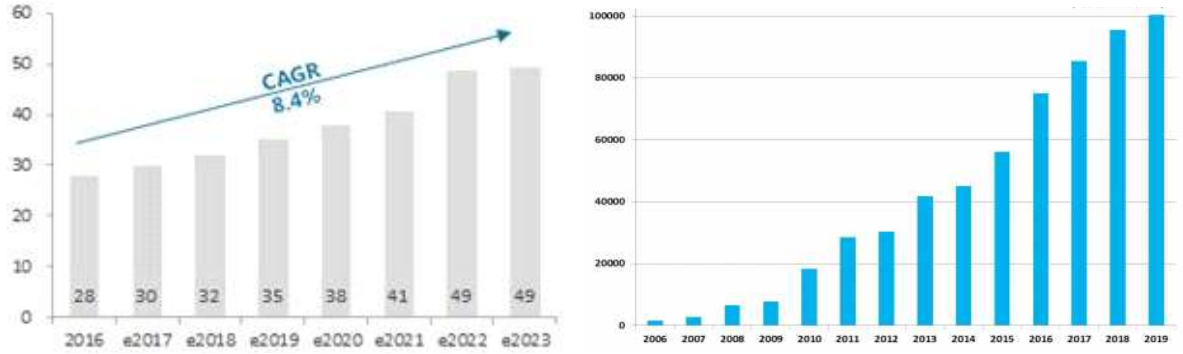
(1) 시장 규모 및 전망

■ 국내 헬리컬 파일 시장 규모

- 헬리컬 파일은 국내에서 연간 약 5만본이 사용되는 것으로 알려져 있으며 평균길이는 약 15m 임
- 헬리컬 파일은 3m 길이로 연결되고 시공을 위해 최상단에도 유압잭과의 연결을 위해 연결부가 필요하므로 연간 약 25만개의 연결부가 소요됨
- 본 과제 완료 후 새로운 헬리컬 파일 연결기술이 전체시장의 약 50%를 점유할 경우, 기존공법 (약 6만원/개, 나사형) 대비 약 20% 공사비를 절감할 수 있으므로 연간 약 15억원의 건설비용을 절감할 수 있음

■ 헬리컬 파일 적용가능 시장 규모

- 헬리컬 파일은 중소규모 현장에 널리 사용되고 있으며 사용의 비약적인 증가가 기대되는 시장은 리모델링과 태양광발전 등의 분야임
- 한국건설산업연구원은 국내 리모델링 시장규모의 성장률을 약 8.4%로 산정하고 있음 (그림 5.2 (a)참조)
- 한국수출입은행은 블룸버그 뉴 에너지 파이낸스의 통계자료를 활용하여 태양광발전 시장의 성장률을 연간 약 5~10%가 될 것으로 예상하고 있음 (그림 5.2(b) 참조)



(a) 국내 리모델링 시장 규모 (단위: 조원)　　(b) 세계 태양광 발전 규모 (단위: MW)

그림 5.2 헬리컬 파일 적용가능 시장 규모

- 이상에서 기술한 관련 시장의 규모의 증가세를 고려하면 헬리컬 파일 연결부의 시장도 연간 약 5~10% 이상 성장할 것으로 예상되며, 과제가 완료되는 2020년 경에는 연간 약 28만~30만개의 헬리컬 파일 연결부가 소요될 것으로 예상됨

(2) 경쟁 기업 현황

■ Pin 타입 연결부는 토크 저항성능이 매우 낮고 그라우팅이 어려워 시장에서 점차 사라지는 상황이므로 경쟁 형식에서 배제함

■ 그 외 타입 연결부 및 이에 대해 아래와 같이 분석하였음

표 5.2 헬리컬 파일 연결부 관련 경쟁 기업 현황

구분	경쟁자의 전략	자사 대비 강점	자사 대비 약점
경쟁자1 - 이엑스티(주)	암수로 thread 가공된 연결부를 사용하여 회전에 의한 상/하부 체결이 가능하며 pin 타입 대비 토크 저항성능 높음	전통적인 thread 타입을 채용하여 연결에 대한 신뢰도가 높음	수나사측 thread 가공 시 단면손실이 발생할 수 있으며, 암수부 thread 가공비용이 높아 경제성이 낮음
경쟁자2 - 고강이엔씨(주)	하부 헬리컬 파일의 상단에 판재를 용접하여 키를 형성하고, 커플러 내측에 판재를 용접하여 키를 형성하여 암수 형태로 결합되도록 함	상하부에 키를 용접하여 구조적으로 단순함	시공 및 공용 중 역회전력 발생 시 연결부 풀림 우려가 있고, 양측 키를 용접가공하여 가공비가 높아 경제성이 낮음

(3) 시장 진입 장벽

■ 새로운 형식의 기계적 이음에 대한 사용자 거부감 존재

■ 헬리컬 파일 본체에 상하부 연결부를 부착하기 위한 용접작업 필요

[대응 방안]

- 정밀 구조해석, 최적화 설계, 성능검증 실험 등을 통한 제품의 신뢰도 확보
- 사전 공장 용접을 통한 용접부 품질 확보



(a) 이엑스티(주) (b) 고강이엔씨(주)

그림 5.3 다양한 헬리컬 파일 연결부

라. 수익 확보 전략

(1) 주요 고객군

- 헬리컬 파일 제작업체: 강관을 구입하거나 직접 제작하고 헬리컬 파일용 부품을 부착하여 헬리컬 파일 시공업체에 공급
- 헬리컬 파일 시공업체: 헬리컬 파일 및 연결부를 구입하여 현장에 관입 시공

(2) 사업화 모형(BM)을 통한 수익 창출 방안

- 헬리컬 파일 제작업체: 자사 고유의 헬리컬 파일 연결부를 보유하고 있지 않은 경우가 많으므로 본 과제를 통해 개발된 제품의 직접적 공급이 가능하고 헬리컬 파일 시공업체 및 공사 발주처 등으로 간접적/단계적 홍보 가능
- 헬리컬 파일 시공업체: 헬리컬 파일 및 연결부 별도 구입 후 조립하는 방식과 연결부가 사전 부착된 헬리컬 파일을 구입하는 방식을 모두 고려할 수 있으므로 현장 특성에 따라 유연하게 대처하여 공급 추진
- 대형 발주처: 토크 저항성능 확보 및 경제성 향상 등의 장점을 기술설명회 등을 통해 홍보하고 이와 연계하여 현장별 제품 공급 추진

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

해당 없음

제7장. 연구개발성과의 보안등급

보안등급 분류	보안	일반
		○
결정 사유	본 기술은 폭넓은 활용의 실용화를 목표로 개발하는 과제로서, 특별한 보안이 필요하지 않은 내용임. 그러나 연구개발계획서 상 참여기업의 매출 실적 및 매출 전략은 공개되지 않는 것이 바람직함.	

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설 · 장비 현황

- 해당 없음

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

○ 연구실 안전점검 실시
  - 연간 1회 이상 의무적으로 반드시 실시
  - 주관 및 참여기관 실험실 : 사무실 제외한 실험실
  - 안전진단 실시 후 반드시 진단결과에 의거 문제부분에 대한 보완설치
○ 연구실 정밀안전진단 실시
  - 2년에 1회 이상 의무적으로 반드시 실시
  - 주관 및 참여기관 실험실 : 사무실 제외한 실험실
  - 안전진단 실시 후 반드시 진단결과에 의거 문제부분에 대한 보완설치
○ 참여연구원의 교육훈련
  - 매년 1회 이상 실험실습실 안전교육 실시
  - 정밀안전진단 점검결과를 바탕으로 교육 실시
  - 장소: 주관 및 참여기관 회의실
  - 담당: 주관 및 참여기관 지정 교육업체(주관/참여 기관 시설팀, 전문업체)
○ 실험실 안전수칙 제작
 - 실험실 안전수칙 내용 작성

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

[특허 및 디자인 정리]

번호	구분 (논문/특허/기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부 (단독 사사 또는 중복 사사)	특기 사항 (SCI 여부/인용 횟수 등)
1	특허	강관 파일 연결구	(주)택한	권리자	한국	-	2020.01.07	단독	
2	디자인	강관 파일 연결구	(주)택한	권리자	한국	-	2020.01.07	단독	
3	디자인	헬리컬 파일용 블레이드	(주)택한	권리자	한국	-	2020.02.20	단독	
4	디자인	건축용 파일	(주)택한	권리자	한국	-	2020.04.01	단독	
5	특허	관입성 향상 헬리컬 파일	(주)택한	권리자	한국	-		단독	
6	특허	연약 지반용 주면 지지 파일	(주)택한	권리자	한국	-		단독	
7	특허	파일 두부 정착구	(주)택한	권리자	한국	-	2020.08.28	단독	
8	디자인	강관 파일 연결구	(주)택한	권리자	한국	-		단독	
9	특허	강관 파일 연결구	(주)택한	권리자	한국	-		단독	

제11장. 기타 사항

- 해당 없음

제12장. 참고 문헌

1. Perko, H.A. (2009) Helical Piles: A Practical Guide to Design and Installation, John Wiley and Sons, pp. 103-215.
2. 한국주물공업협동조합 (2013), 용접구조용 주강품 SPS-KFCA-D4106-5009
3. ASTM A148 (2020) Standard Specification for Steel Castings, High Strength, for Structural Purposes, American Society for Testing and Materials.
4. Don Deardorff (2014) The Importance of Properly Manufactured Helix Platesfor Helical Pile Performance, Foundation Supportworks.

TK 헬리컬 파일 제작 및 시공지침

2020. 10

TEKHAN 주식회사 택한

목 차

1. 적용범위 3

2. 용어의 정의 3

3. 권한과 책임 4

4. 제출물 4

5. 파일제작 5

6. 파일시공 6

7. 파일이음 8

8. 두부정리 및 설치 8

9. 그라우팅(grouting) 9

10. 파일 시공오차 및 보강 10

11. 재하시험 10

.

1. 적용범위

1) 본 특기시방서는 헬리컬파일(helical pile)의 나선형 회전운동을 통해 말뚝의 수직방향으로 회전관입하고 그라우팅을 실시하여 말뚝의 주면마찰력 및 선단지지력을 극대화시키는 말뚝의 제작 및 시공에 대하여 규정한다.

2) 설계도면, 현장설명서 및 질의응답서와 본 지침의 다른 내용이 있는 경우, 해당 공사의 설계도서 등에 기재된 사항을 준용한다.

2. 용어의 정의

1) **헬리컬파일(helical pile)** : 헬리컬파일을 나선형 회전운동으로 지지층까지 관입하고 그라우팅을 실시하여 지반 지지력을 확보하는 파일

2) **지지층** : 헬리컬파일의 선단부가 지지되는 지층(암반상부 토사층)

3) **헬릭스(helix)** : 헬리컬파일의 회전관입을 위해 선단부에 일정 간격으로 부착된 나선모양의 날개

4) **연결구** : 강관 사이의 연결 부재로 강관 모재의 압축 및 토크성능을 만족시키는 부재

5) **헤드 플레이트(head plate)** : 헬리컬파일과 기초 콘크리트의 하중전달을 위해 강관 상부에 체결하는 부재

6) **시험파일** : 본 공사 착수 전에 지지층이나 시공법의 적절성, 장비의 적합성 등을 파악하기 위해 미리 시공해 보는 파일 또는 재하시험용 파일

7) **재하시험** : 상부 구조물의 하중에 대하여 파일기초의 지지력을 확인하는 시험

8) **공사계약문서** : 계약서, 설계도서, 공사입찰유의서, 공사계약 일반조건, 공사계약 특수조건 및 산출내역서 등으로 구성

9) **공인시험기관** : 국가표준기준법에 의거하여 기술표준원의 한국교정시험기관 인정기구에서 “시험 및 검사 기관 인정제도”에 의해 인정한 시험기관

3. 권한과 책임

3.1 담당원(시공관리자)

1) 담당원은 건설기술관리법 제35조(건설공사감독자의 감독의무)에 정하는 바에 따라 감독업무를 수행한다.

2) 지시, 승인, 조정 및 검사는 담당원의 권한과 책임으로 간주한다. 담당원의 지시 및 승인은 문서로 하여야 한다.

3) 담당원은 감리원이 공사감리업무를 원만히 수행할 수 있도록 협력하여야 한다.

3.2 시공자

1) 시공자는 공사계약문서 및 설계도서 등에 따라 시공하되, 담당원의 지시, 승인, 조정 및 검사 결과에 따라야 한다.

2) 시공자는 공사의 품질에 책임을 진다.

3) 시공자는 감리원이 공사감리업무를 원만히 수행할 수 있도록 협력하여야 한다.

4. 제출물

1) 시공계획서

2) 제품자료(파일의 종류와 규격, 수량)

3) 시공상세도면

- 파일 배치도(평면도)
- 파일 상세도

4) 시험보고서

- 공인시험기관 발부 자재시험성적서
- 시공 및 두부정리 완료 후 재하시험 결과보고서

5) 파일기록부

- 시공한 말뚝에 대해 아래 사항을 명기한 천공일지를 제출한다.

  * 말뚝번호, 시공일, 최종 관입량 산정근거
  * 말뚝길이 및 직경
  * 기초저면에서 말뚝선단까지 측정한 말뚝 실제 관입길이

5. 파일 제작

5.1 헬리컬파일 자재의 제원 및 기계적 성질

구분	직경 (mm)	두께 (mm)	단면적 (㎠)	항복강도(주1)
헬리컬파일	114.3	9.0	29.77	F_y = 550MPa 이상

주1) 구조계산서 검토에 의한 강관 재질(강도)의 동등, 또는 그 이상의 제품을 사용하여야 한다.

5.2 헬릭스의 제원 및 기계적 성질

구분	직경 (mm)	두께 (mm)	항복강도	용접방식
헬릭스(주1)	240 이상	최대모멘트 위치(강관 외면)에서 20mm	F_y = 355MPa 이상	상면(압축부) 필렛용접 하면(인장부) 용입용접

주1) 헬릭스는 프레스 또는 주조방식으로 제작된 나선형태이며 파일 중심을 지나는 어떤 연직평면으로 잘라도 헬릭스 단면은 파일 축방향에 직각이어야 한다.

5.3 연결구의 제원 및 기계적 성질

구분	항복강도	강관 용접방식
연결구(주1)	F_y = 430MPa 이상	용입용접(주2)

주1) 연결구는 주조방식으로 제작되며 강관 모재의 강도를 고려하여 설계 및 시공 시 요구되는 압축과 토크성능을 모두 발휘할 수 있으며 그라우팅 호스와 간섭이 없어야 한다.

주2) 강관 본체에 용접작업 시 파일 연결부의 직전성 확보를 위해 조립대를 구비하여야 하며 가용접을 통해 위치를 고정한 후 2 패스(path) 이상 본 용접(용입용접)을 실시하여야 한다.

5.4 헤드 플레이트의 제원 및 기계적 성질

구분	직경 (mm)	두께 (mm)	항복강도	설치방식
헤드 플레이트(주1)	330	20 이상	F_y = 280MPa 이상	쐐기에 의한 기계적 이음

주1) 헤드 플레이트의 규격은 콘크리트 기초의 펀칭을 고려한 면적과, 콘크리트 지압력에 의한 휨에 저항할 수 있는 두께를 가지는 형상의 주물제품으로 한다.



(a) 파일 및 연결구



(b) 헬릭스



(c) 헤드 플레이트

6. 파일 시공

6.1 시공조건 확인

6.1.1 현장주변 여건 확인

1) 시공현장 주변에 진동, 소음 등에 의한 민원발생 가능성을 조사하여야 한다.

2) 시공현장의 지하매설물 및 지상의 장애물에 대한 현황자료를 받아 간섭여부를 확인하고 지하매설물 및 지상의 장애물 간섭 시 감독관 확인 후 시공한다.

6.1.2 현장지반 조건 확인

1) 시공현장의 주변여건상 말뚝이 소정의 지내력을 확보할 수 있는 지지층까지 관입될 수 있는지 여부를 검토하여야 한다.

2) 시공현장의 지반조건상 헬리컬파일을 조밀하게 시공할 경우 말뚝의 휨이나 솟아오름이 예상되면 적정한 방법을 검토 강구하여야 한다.

3) 시공현장의 지반조건상 시공 장비가 기울어질 위험이 있는 지점에는 미리 시공 장비가 위치할 지면을 사전 정지 및 개량하여야 한다.

6.2 시공준비

6.2.1 자재반입

1) 자재의 운반, 반입, 하역시 자재의 변형, 손상이 이루어지지 않아야 하며, 특히 헬릭스 부분의 변형이 발생하지 않도록 유의한다.

2) 파일의 자재 하역위치는 파일 시공 위치에 가깝고 배수가 양호하며 지반이 평탄, 견고한 곳을 택하여 야적하도록 한다.

3) 자재 하역 후 단기간 내 시공할 경우는 지면접촉이나 별도 보호조치가 불필요하나, 장기 보관 시에는 천막 등을 이용하여 보호조치를 하여야 한다.

4) 자재 반입시 모양 및 치수의 허용차, 겉모양을 확인하고 제성능이 규격에 미달하면 사용하지 않도록 페인트 등으로 표식하여 별도로 구분하여야 한다.

6.2.2 시공 장비 반입

1) 시공 장비는 파일에 손상을 주는 것이어서는 안 되며, 작업 실시 전 지반조사 자료 및 시공 장비의 제원 등을 파악하여 반입한다.

2) 시공 장비는 관입 깊이에 따른 지지력, 지반조사 및 현장여건 등을 고려하여 적정한 시공 장비의 사용 여부를 확인한다.

6.3 시험말뚝 시공

6.3.1 일반사항

1) 시험 말뚝 시공은 감독자의 입회 하에 이루어져야 한다.

2) 시험말뚝 시공 위치

- 시험말뚝은 기초의 적절한 위치를 선정하여 파일을 시공하도록 한다.

6.4 파일 시공

6.4.1 파일 시공 시 유의사항

1) 본 파일 시공 전 시공 장비의 이동로 및 시공순서 등을 검토하여 실시하도록 한다.

2) Shaft가 손상되는 것을 방지하기 위하여 안전한 위치로 야적하도록 한다.

3) 파일 시공위치는 소정의 관입깊이와 관입속도로 정확한 위치에 수직으로 관입한다.

4) 파일은 설계도서에 명시된 높이에 맞추어 두부절단을 하도록 한다.

5) 기존시설, 구조물 또는 도로에 인접하여 파일을 시공할 경우 시공여건에 따라 안전하게 파일을 시공하도록 한다.

6) 헬리컬파일 시공 후 천공장비를 이용하여 구조계산상의 깊이만큼 암반 천공을 실시한다.

7. 파일이음 및 관입

7.1 이음시공

1) 커플러는 설계 및 시공 시 요구되는 압축과 토크성능을 모두 발휘할 수 있으며 그라우팅 호스와 간섭이 없는 제품을 사용한다.

2) 파일의 연결부가 손상되지 않도록 체결하여야 한다.

3) 파일 연결 시 연결부가 풀리지 않도록 최대한 정확하게 시공하여야 한다.

7.2 관입시공

1) 회전 관입 시 관입장비에 의한 최대 토크는 모재의 항복을 유발하는 토크 이상이 되지 않도록 시공하여야 한다.

2) 회전 관입 시 커플러 본체 및 커플러의 용접부에는 주로 압축과 토크가 작용되고 추가적인 과도한 휨모멘트가 작용하지 않도록 관입장비의 회전축과 파일의 축이 일치되도록 시공하여야 한다.

8. 두부정리 및 설치

8.1 파일 두부정리

1) 파일은 설계도서에 표시된 높이에서 축 방향과 직각으로 절단하여야 하며, 절단 시 손상된 부분은 깨끗이 정리하여야 한다.

2) 파일 두부정리는 설계도서에서 지시한 깊이까지 기초 콘크리트 속에 매입하도록 하여야 한다. 단 연결부의 길이를 고려하여 절단하여야 한다.

8.2 헤드 플레이트 설치

1) 파일 절단 부위 손상여부 및 절단상태 등을 확인 후 미흡할시 깨끗이 정리(수평상태 등)한 후 플레이트 설치를 실시한다.

2) 헤드 플레이트 설치 시 절단부위와 플레이트 상부가 정확히 접합될 수 있도록 한다.

3) 헤드 플레이트의 규격은 콘크리트 기초의 펀칭을 고려한 면적과, 콘크리트 지압력에 의한 휨에 저항할 수 있는 두께를 가지는 형상의 주물제품으로 한다.

4) 헤드 플레이트의 하면에는 파일의 중심을 잡고 이탈을 방지하는 소켓 또는 홈이 존재해야 한다.

5) 헤드 플레이트는 파일의 설계인발하중 및 수평하중을 지지할 수 있도록 플레이트 하부의 소켓과 강관 사이의 유격이 없는 기계적 이음을 수행한다.

9. 그라우팅

9.1 일반사항

1) 밀실한 그라우팅을 위해 파일 근입과 동시에 그라우팅을 실시한다.

2) 그라우팅 작업 시 균질한 그라우팅이 되도록 연속적으로 작업을 수행하며, 천공상부에서 오버플로(over flow)될 때까지 수행한다.

3) 그라우팅 작업 시, 책임기술자는 그라우팅의 배합, 수량, 그라우팅 압력 등을 기록하여 보존한다.

9.2 그라우트 품질 및 주입

1) 그라우트 재료는 보통 포틀랜드 시멘트(portland cement), 물, 팽창제 또는 혼화재로 구성되며 시멘트는 포대로 현장에 수송되어야 하며, 종류와 제조일, 함유물비와 분말도가 기재된 제조자의 증명서가 첨부되어야 한다.

2) 그라우트 혼합에 필요한 물은 청수를 사용하여야 하며, 유해물질을 함유하여서는 안 된다.

3) 그라우트는 SRH 파일을 시공하는 중이나 이후에도 침전, 슬럼핑(slumping), 물과 분말의 블리딩(bleeding) 현상이 없어야 한다. 만약 시공자가 그라우트 배합비를 변경하려면, 먼저 설계자의 승인을 위한 안(案)을 제시하고, 시방서의 조건을 만족하는지 시험을 실시해야 한다.

a. 건조한 재료의 계량은 무게로 계량하며, 물 : 시멘트비(W/C)는 100%가 되도록 한다.

시멘트 밀크 표준 배합비율(m^3)

배치	시멘트	물	물/시멘트비
1	200 kg(5.0포)	200 kg	최대 100%

b. 혼합의 순서는 적정량의 물을 받은 후 혼화재를 투입한 후 시멘트를 투입한다.

c. 그라우트는 약 5분정도의 배합시간에서 균질한 점성을 갖는 혼합물을 만들 수 있도록 동력을 사용한 믹서에 의하여 배합되어야 한다.

d. 그라우트 믹싱 진행은 그라우트가 혼합하는 동안 믹싱 유닛으로 계속적으로 배출하고 재충전되는 순환장치를 갖추어야 한다.

e. 혼합 후 그라우트는 계속적으로 교반되어야 한다.

f. 그라우트는 혼합 후 가능한 한 빨리 사용해야 하며 감리자의 별도의 동의가 없는 한 교반 후 1시간 이내에 사용해야 하며, 그 이상 시간이 경과하면 폐기 처분해야 한다.

g. 상기 전 단계의 작업이 완료된 상태에서 강관 내부로 주입용 패커장치를 설치하여 주입을 시행하여야 하며, 이때의 주입압은 0.5MPa 이상이 되어야 한다.

h. 그라우트 몰드의 압축강도는 7일 강도가 21MPa 이상이어야 하며, 현장의 지반조건 및 그라우트 시험에 의하여 그라우트의 배합을 조정할 수 있으나 감독관 및 감리자의 승인을 받아야 한다.

10. 파일 시공오차 및 보강

10.1 시공오차

- 다음과 같이 시공 오차가 발생할 경우 보강조치를 실시하여야 한다.

1) 설계위치에서 벗어난 경우

- 말뚝의 연직도나 경사도는 1/100 이내로 하고, 말뚝 근입 후 평면상의 위치가 설계도서의 위치로부터 D/4(D는 최대 헬릭스 지름)와 150mm 중 큰 값 이상으로 벗어나지 않아야 한다.

- 설계위치에서 벗어난 거리가 150mm를 초과한 경우에는 구조검토를 실시하여 이상이 없을 시 별도의 보강 조치가 필요없으나, 이상이 있을시 추가 보조 말뚝을 시공하거나 기초를 보강 조치한다.

2) 수직으로 시공되지 않은 경우

- 시공 완료 후 각도기 등으로 계측하여 수직에 대한 기울기가 말뚝길이의 1/50 이상일 경우에는 보강말뚝을 시공한다.

11. 재하시험

지지력 확인을 위해 동재하시험 또는 정재하시험을 실시한다.

11.1 시험방법 선정 및 시험빈도

- 파일 시공 완료 후 말뚝 지내력 확인 및 재료의 건전도 판단 등을 위하여 설계에 따라 재하시험을 실시하여야 하며, 주변 민원 및 여건을 확인하여 감독자와 협의하여 적정한 시험방법을 강구하며, 시험빈도는 아래와 같다.

구 분	시험빈도
축방향 정적 연직재하시험	말뚝 250개당 1회 또는 구조물별로 1회
동재하시험	말뚝개소의 1% 또는 구조물별로 1회

* 지반조건에 큰 변화가 있거나 시공방법이 다를 때에는 시험 횟수를 추가해야 한다. 또한 인명과 관련된 중요구조물일 경우에는 시험횟수를 별도로 설정하여 안정성을 충분히 확인하도록 한다.

11.2 시험결과보고서 제출

- 파일 시공 완료 후 재하시험을 실시하며 시험성적서는 교부받는 즉시 감독자에게 제출하도록 한다.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 국토교통기술촉진연구사업의 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.