R&D
66888

1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술

최종보고서

2015.06

국토교통부
국토교통과학기술진흥원

국토교통기술사업화지원사업

R&D-66888

1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용
기둥 설계 및 시공 기술

최종보고서

2015.06.

주관연구기관 /(주)영구조엔지니어링
공동연구기관 /고 려 대 학 교
/롯데건설(주)
/삼표피앤씨(주)
/(주)삼영엠텍
참 여 기 업 /신일기초(주)

Infrastructure
R&D Report

국 토 교 통 부
국토교통과학기술진흥원

주 의 사 항

1. 이 보고서는 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술 연구개발사업의 최종보고서입니다.
2. 본 보고서의 내용을 발표할 때에는 반드시 국토교통부가 출연하고 국토교통과학기술진흥원이 위탁 시행한 국토교통기술연구개발사업의 연구결과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.

제 출 문

국토교통부 장관 귀하

이 보고서를 "1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술"과제(세부과제 "HAT-T Joint 프로토타입 외 1개")의 보고서로 제출합니다.

2015.06.05

주관연구기관명 : (주)영구조엔지니어링
주관연구책임자 : 김영식
연 구 원 : 박노웅
" : 김정현
공동연구기관명 : 고려대학교
공동연구책임자 : 주영규
공동연구기관명 : 롯데건설(주)
공동연구책임자 : 장성훈
공동연구기관명 : 삼표피앤씨(주)
공동연구책임자 : 유일욱
공동연구기관명 : 삼영엠텍(주)
공동연구책임자 : 김성원

과제고유번호	14CTAP-C066889-02-000000	해 당 단 계 연 구 기 간	2014.04.29~ 2015.02.28	단 계 구 분	2/2
연 구 사 업 명	국토교통기술사업화 지원사업				
연 구 과 제 명	1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술				
연 구 책 임 자	김영식	총연구기간 참 여 연구원수	총 : 27명 내부 : 22명 외부 : 5명	총연구비	정부 : 430,000천원 기업 : 433,000천원 계 : 863,000천원
연구기관명 및 소 속 부 서 명	(주)영구조엔지니어링		참여기업명	삼표피앤씨(주), 삼영엠텍, 롯데건설(주), 고려대학교	
국제공동연구	상대국명 :		상대국연구기관명 :		
요약(연구결과를 중심으로 개조식 500자 이내)				보고서면수	286

색 인 어 (각 5개 이상)						
	한 글	PHC 파일	반구형접합부	파일기초	철골기둥	Up-Up 공법
	영 어	PHC Pile	HAT Joint	Pile Foundation	Steel Column	Up-Up System

요약문

Ⅰ. 제목

1000ton급 반구형(HAT Joint)를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술

Ⅱ. 연구개발과제 개요

기존 현장타설말뚝의 단점을 보완하기 위한 PHC 파일말뚝 시공 시 철골기둥 간의 반구형 접합부 개발

Ⅲ. 연구개발 수행내용 및 결과(연구수행과정, 연구수행결과 등을 기술)

- 유한요소해석을 통한 HAT Joint H, T, P, K-Type의 Prototype 개발
  (각각 H형강 기둥, 각형 강관기둥, 원형 강관기둥, 왕(王)형 기둥)
- 구조성능평가를 통한 Prototype 검증
- 파일길이 조정방법 개발
- 휨, 볼트 인발 실험을 통한 파일길이 조정방법 검증
- 기존 공법과의 비교를 통한 경제성 검토
- 실제 현장 시공(Pilot 프로젝트)

Ⅳ. 최종 연구성과 및 적용실적

- HAT Joint H, T, P, K-Type 개발 및 검증
- 파일길이 조정방법 개발 및 검증
- 경제성 검토를 통한 HAT Joint 공법의 우수성 확인
- Pilot 프로젝트

Ⅴ. 연구목표 달성 및 효과

- HAT Joint 프로토타입, 파일길이 조정을 위해 개발된 선단캡, 파일길이 조정방법 검증을 위한 휨, 볼트, 진동 실험체, Pilot Test용 HAT Joint 등 시제품 제작
- 학술발표 1차년도 2건 및 2차년도 3건
- 학술논문 1차년도 2건, 2차년도 4건
- 1차년도 특허 출원 2건, 2차년도 디자인 등록 2건
- 시방서 5건 등 HAT Joint 관련 지침서 작성
- 실제 시공 시 기자재비 감소 및 획기적인 공기 단축 효과 확인

Ⅵ. 연구성과 활용계획

- 현장타설콘크리트 말뚝을 HAT Joint를 이용한 PHC 파일 공법으로 대체
- Up-Up공법 현장에 HAT Joint공법 적용
- 기타 PHC 파일 공법 적용이 가능한 현장에 HAT Joint 공법 대체 적용

영문 요약서

Ⅰ. Content

Design and construction technologies of underground columns using the 1000ton class HAT Joint

Ⅱ. Research Outline

Development of Hemisphere Joint between PHC Pile and Steel column for supplement Cast-in-place Concrete Pile System.

Ⅲ. Research's Contents and Results

- Development prototypes of HAT Joint H, T, P, K-Type for using FEM Analysis(H, Tube, Pipe, King-shape Column)
- Verification of Prototype using pressure test
- Development how to adjust the length of Pile
- Verification of way to adjust the length of Pile using Moment test and Bolt drawing test
- Checking Economic efficiency comparing with existing method of construction
- Pilot Project

Ⅳ. Final Result and Application actual result

- Verify prototypes of HAT Joint H, T, P, K-Type
- Verify the way to adjust the length of pile
- Check excellence of HAT Joint system using Economic efficiency
- Pilot Project will be on end of March

Ⅴ. Achievement Object of research and the effect

- Making prototype of HAT Joint H, T, P, K-Type, Pile-cap for adjust the length of pile, Moment test, Bolt Drawing test, and Pilot Project, etc
- Academic publication(2 for 1st year, 3 for 2nd year)
- Academic treatise(2 for 1st year, 4 for 2nd year)
- 2 Patent application for 1st year, 2 Design registration for 2nd year
- Check the effect of decreasing materials cost and construction period

Ⅵ. Application Plan

- Substitute PHC Cast-in-place Concrete Pile System to PHC Pile system
- Apply HAT Joint system to Using Up-Up system Area
- Substitute HAT Joint system in other construction Areas that can be use PHC Pile system

영문 목차

Chapter 1 Research Outline ····· 1

1. Purpose and necessity ····· 1
2. Definition ····· 3
3. Trend of technology ····· 5
4. Excellence and Differentiation of Research Results ····· 8

Chapter 2 Research Contents and Results ····· 10

1. Results Summary ····· 10
2. Main Contents ····· 15

Chapter 3 Final Research Results and Application ····· 76

1. Individual Research Results ····· 76
2. Main Research Results ····· 77
3. PILOT Project ····· 79

Chapter 4 Achievement of Research Objective ····· 90

1. Progress Rate for Research ····· 90
2. Achievement of Research ····· 90
3. Standard Table for checking Performance ····· 91

Chapter 5 Research Application and Necessity of Additional Research ····· 93

1. Research Application ····· 93
2. Necessity of Additional Research ····· 103

Reference ····· 103

[Appendix]

1. Information of Quantitative Results ····· 105
2. Technology Information ····· 287
3. Main Change for Research ····· 287

목 차

제1장 연구개발과제 개요

1. 연구개발의 목적 및 필요성 ····· 1
   가. 연구개발 개요 ····· 1
   나. 연구개발의 목적 ····· 2
   다. 연구개발의 필요성 ····· 2
2. 연구개발의 정의 ····· 3
   가. 반구형 접합부 ····· 3
   나. 반구형 접합부 세부 형상 ····· 4
3. 기술 동향 ····· 5
   가. 고강도 대구경 PHC 파일과 강재 기둥 접합부 기술 동향 ····· 6
   나. PHC 말뚝과 강관으로 이루어진 복합말뚝의 접합구조 ····· 6
   다. 기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝 ····· 6
   라. 복합파일을 이용한 지하골조 구조물 시공방법 ····· 7
4. 연구개발결과의 우수성 및 차별성 ····· 8

제2장 연구수행 내용 및 결과

1. 연구개발결과 요약 ····· 10
2. 연구개발 주요내용 ····· 15
   가. 반구형 접합부 개발 ····· 15
   나. 반구형 접합부 프로토타입 개발 ····· 18
   다. PHC 파일 길이 조정방법 개발 ····· 56
   라. 경제성 분석 ····· 73

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1. 개별 연구성과 ····· 76
2. 주요 연구성과(실적) ····· 77
3. PILOT 프로젝트 ····· 79
   가. PILOT 프로젝트 개요 ····· 79
   나. MOCK-Up Test ····· 83
   다. 본 시공 ····· 84
   라. 양방향재하시험 ····· 87
   마. 기존 공법과 HAT Joint 공법 비교 ····· 88

제4장 연구목표 달성도

1. 연구개발 수행 진도율 ····· 90
2. 연구개발목표 달성도 ····· 90
3. 성과점검 기준표 ····· 91
가. 성과목표 ····· 91
나. 성과목표달성도 ····· 92

제5장 연구성과 활용 및 추가연구 필요성

1. 연구성과 활용방안 ····· 93
가. 사업화 전략 계획 ····· 93
나. 마켓팅 전략 계획 ····· 96
다. 가격전략 및 손익 분기점 분석 ····· 98
라. 국내시장 수요 확보 계획 ····· 99
마. 해외시장 수요 확보 계획 ····· 100
바. 진행 예정 프로젝트 ····· 101
사. 신규 시장 창출 및 추가 활용방안 ····· 103
2. 추가연구 필요성 ····· 104

참고문헌 ····· 104

[부록]

1. 성과 증명 ····· 105
2. 해외과학기술정보 ····· 287
3. 중요 연구 변경사항 ····· 287

제1장 연구개발과제 개요

1. 연구개발의 목적 및 필요성

가. 연구개발 개요

최근 건설되는 건물의 중고층화가 진행되며 말뚝기초의 사용 또한 증가하고 있다. 말뚝기초는 크게 현장타설 말뚝과 기성말뚝으로 나눌 수 있다. 현장타설 말뚝은 기둥의 수직, 수평도를 맞추기 간편하며 기둥의 위치 등을 변경하는데 용이하여 일반적인 시공현장에서 많이 사용되고 있다. 콘크리트 사용량이 많아 콘크리트를 운반하기 위한 레미콘 차량의 수가 많이 필요하게 되어 Top-Down 공법과 같은 협소한 공사현장에서는 시공 시 현장관리가 매우 어려워 <그림 1.1(a)>와 같이 현장이 매우 난잡해져 안전사고 발생 가능성이 높다. 또한, <그림 1.1(b)>에서와 같이 현장타설 말뚝에 철골기둥 근입시 시공오차가 발생한다. 이러한 문제점이 발생하게 되면 추가적인 구조해석이 이루어져야 하며 기둥과 기둥을 이어주는 보의 설계도 다시 이루어져야 하므로 매우 어려운 상황이 된다. <그림 1.1(a), (b)>와 같은 단점들을 극복하기 위하여 현장 타설말뚝을 대체할 수 있는 추가적인 방법이 검토 되어야 한다고 판단하였다.

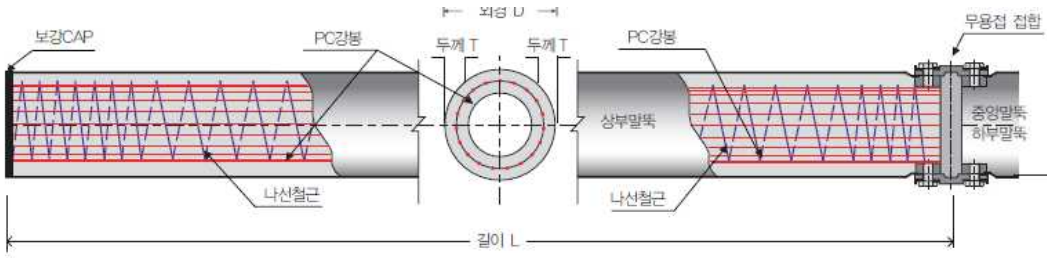


(a) 타설에 필요한 레미콘 차량　　(b) 철골기둥 시공 오차

<그림 1.1> 현장타설 말뚝 시공 현장

따라서 현장타설 말뚝의 단점들을 해소하고자 기성 말뚝의 사용을 검토하였으며 기성 말뚝 종류 중 보다 상용화가 넓게 이루어진 PHC말뚝을 효과적으로 사용하는 방법에 대한 연구를 진행하였다.

PHC파일은 공장에서 제작되고 원심력을 활용한 증기양생으로 균일한 품질관리가 가능하며 재령기간이 1~2일로 빠르고 축하중이 크며, 시공비 · 재료비 등을 절감시킬 수 있는 장점을 갖고 있다.(<그림 1.2>) 또한 PHC 파일은 공장제작을 통해서 기성제품으로 현장에 배달되기 때문에 시공현장을 쾌적하게 유지할 수 있다는 추가적인 장점도 가질 수 있다.



<그림 1.2> PHC 파일 형상 상세

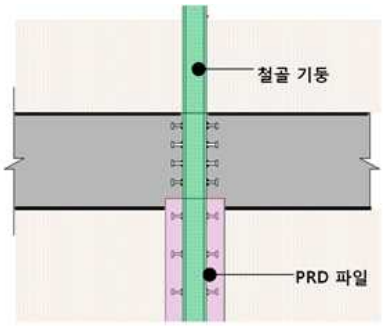
현장타설 말뚝이 갖는 단점인 콘크리트 타설량과 철골기둥 근입시 발생하는 시공오차를 PHC 파일을 사용함으로써 극복할 수 있도록 현장에 적용할 수 있는 방법에 대한 검토가 이루어져야 한다고 판단하였다.

나. 연구개발의 목적

친환경적이면서 내구성과 시공성이 향상된 고강도 대구경 PHC 말뚝과 강재 기둥의 접합을 개발하고 구조성능 평가를 진행하는 것이 연구의 목적이다.

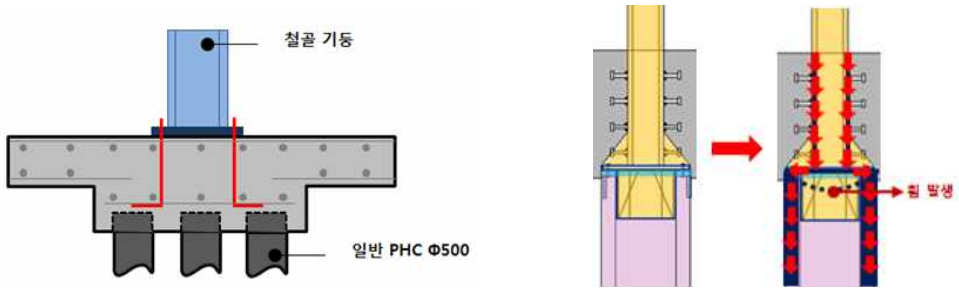
다. 연구개발의 필요성

현장타설 말뚝은 별도의 콘크리트 양생기간을 필요로 하며 시공 과정이 파일 구멍천공, 철근망 삽입, 콘크리트 타설, 철골기둥 삽입, 양생기간, 기초 타설 순으로 매우 복잡하다는 단점을 가지고 있다.(<그림 1.3>)



<그림 1.3> 현장타설 말뚝 상세

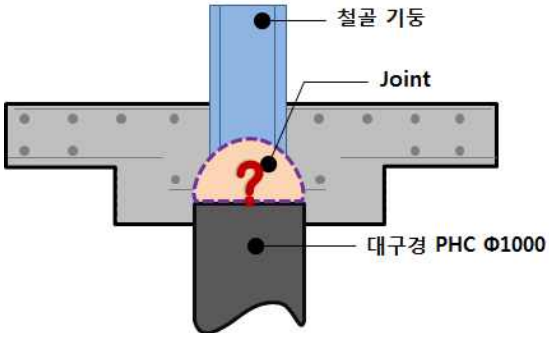
<그림 1.4(a)>는 PHC 파일을 이용하여 시공하는 기존의 방식으로서 파일설치, 기초타설, 앵커볼트 매립, 베이스플레이트 설치, 기둥설치의 시공과정을 거치게 된다. 이러한 기존의 PHC 파일 시공방법은 과다한 PHC 파일 사용으로 시공비용 및 시공기간이 상승하며 복잡한 시공과정으로 인해 시공 시 어려움이 많이 따르는 방법이었다. 또한 골조 공사를 진행하기 위해 기초를 콘크리트를 타설하고 별도의 콘크리트 양생기간이 필요하다는 단점도 갖고 있다. <그림 1.4(b)>에 나타낸 또 다른 PHC 파일을 이용한 시공 방법은 파일 설치, 베이스플레이트 설치, 철골기둥 설치, 리브플레이트 설치의 시공과정을 거치게 된다. 이 방법은 기초 타설 전 골조공사가 가능한 장점이 있으나 리브플레이트를 현장 용접하여 설치해야 하므로 시공기간이 길어지게 되고 PHC 파일 내부 중공부에서 상부하중에 의해 발생하는 휨 때문에 베이스플레이트의 두께가 과다해진다는 극심한 단점을 갖고 있어 상용화 되지 않은 방법이다.



(a) PHC 파일 시공방법 1 (b) PHC 파일 시공방법 2

<그림 1.4> PHC 파일 시공 상세

하지만 <그림 1.5>와 같이 PHC 파일과 철골기둥을 연결하는 반구형의 접합부를 개발하면 기존의 접합상세가 갖는 단점인 상부하중에 의해 PHC 파일 내부에서 발생하는 휨을 제어하여 상부의 하중을 압축력으로만 PHC 파일에 전달할 수 있다.



<그림 1.5> PHC 파일과 철골기둥 접합부 개요

또한 PHC 파일 설치, 접합부 설치, 기둥설치로 이어지는 간단하고 효율적인 시공과정을 가질 수 있으며 기초타설 전 골조공사가 가능하여 공사기간을 획기적으로 줄일 수 있다.

2. 연구개발의 정의

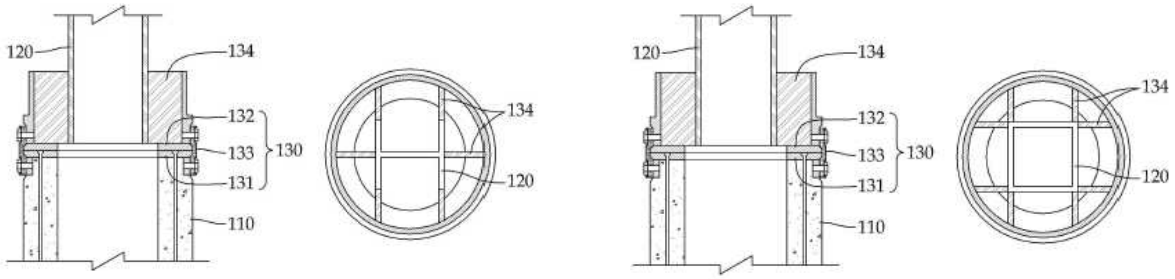
가. 반구형 접합부(HAT Joint)

PHC 파일과 기둥을 접합부를 이용해 연결하기 위해서는 접합부위에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다. 해당 분야의 연구는 '복합파일을 이용한 지하골조구조물 시공방법(출원번호: 10-2010-0066954)', '기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝 (출원번호 10-2010-0068233)' 등이 있다.

<그림 1.6>에서 기존의 PHC 파일과 강재 기둥을 연결하는 접합 상세에 관한 것을 나타내었다. 그러나 이러한 접합 방식은 PHC 파일 중공부에서 발생하는 휨을 제어하기 어려워 필요이상으로 베이스 플레이트가 과다해지며, 과다한 리브플레이트(Rib-plate)의 활용으로 시공성과 경제성이 낮다(<그림 1.7(a)>).

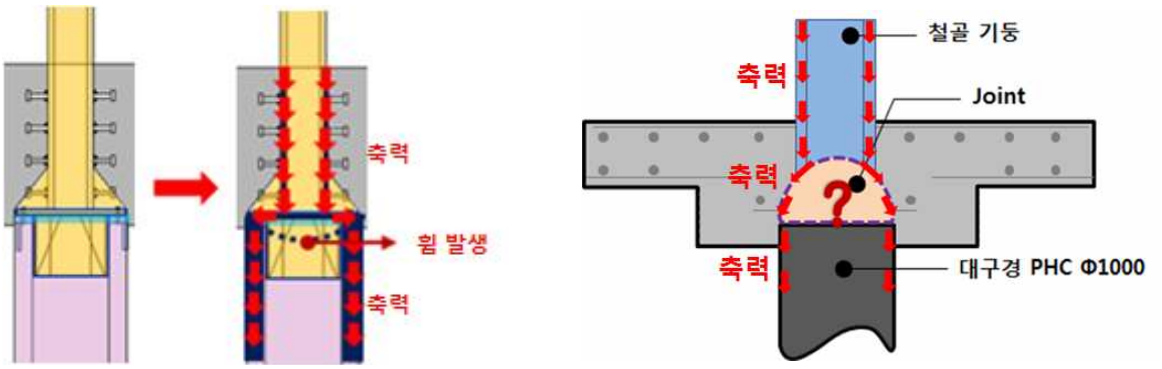
<그림 1.7(b)>에 나타낸 것과 같이 PHC 파일과 강재기둥을 연결하는 부분을 반구형으로 활용함으로써 기존의 축력-휨-축력으로 전달되는 기둥에서 말뚝까지의 하중 전달 메카니즘을, 축력-축력-축력으로 전환시켜 하중 전달 과정에서의 손실을 최소화하였다. 또한 PHC 파일 설치 이후 기초 타설 없이 기둥을 설치할 수 있으므로 PHC 파일설치, 접합부 설치, 기둥설치로 이어지는 간편한 시공이 가능하게 되었고 상부의 골조공사를 지하 공사와 동시에 진행

할 수 있게 되어 공기 단축에 있어서도 탁월할 것으로 판단된다.



(a) PHC 파일과 H형강 기둥 간 접합 상세　　(b) PHC 파일과 강관 기둥 간 접합 상세

<그림 1.6> PHC 파일과 강재기둥 간 접합 상세



(a)기존 접합부　　(b)반구형 접합부

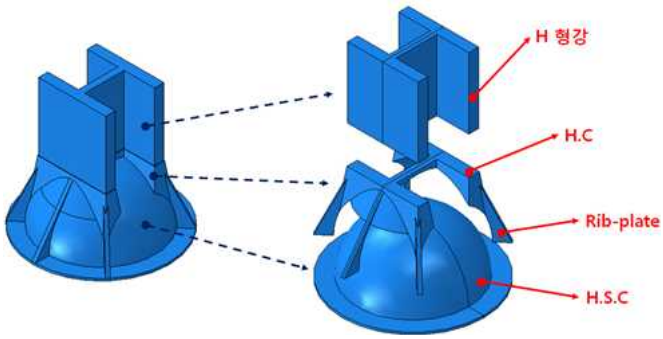
<그림 1.7> 기존 PHC 파일-강재기둥 간 접합부와 반구형 접합부 비교

나. 반구형 접합부(HAT Joint) 세부 형상

PHC 파일과 H형 강재 기둥을 연결하는 반구형 접합부의 형상을 <그림 1.8>에 나타내었다. 이 반구형 접합부를 HAT(Hollow hAlf-sphere sTeel) Joint라 칭한다.

HAT Joint는 H.S.C(Half Sphere Connector), Rib-plate, H.C(H-column Connector)로 이루어져 있다. H.S.C는 반구의 형상으로 상부의 하중을 축력만으로 PHC 파일에 전달하고, PHC 파일과 HAT Joint를 볼트로 연결할 수 있도록 해주어서 현장에서의 시공성을 향상시키는 역할을 한다. Rib-plate는 상부의 하중을 효과적으로 H.S.C로 전달하는 역할을 하며 또한 상부 철골 기둥에서 H.C를 거쳐 H.S.C로 전달되는 하중이 집중되지 않도록 막아준다.

이와 같이 다소 복잡할 수 있는 접합부의 형상을 효과적으로 구현하기 위해 주강으로 제작하였으며 사용강재는 SCW550으로 하였다.



<그림 1.8> Basic shape of HAT Joint

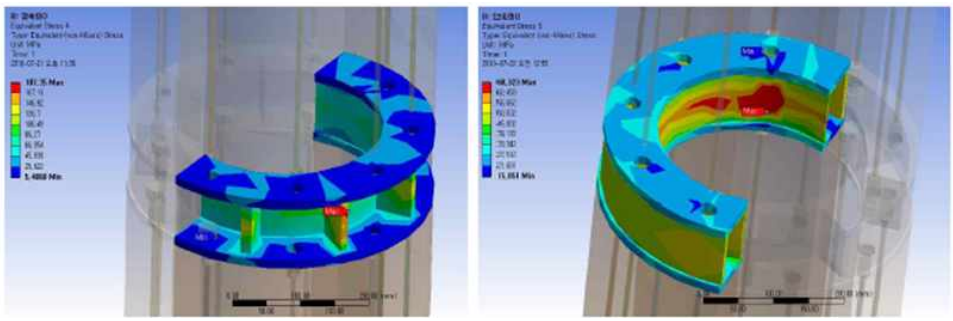
H형강에 대응하여 개발된 HAT Joint를 기본으로 다양한 형태의 강재 기둥마다 선택하여 사용할 수 있는 접합부 개발의 단계로 원형, 각형강관기둥과 왕(王)형 기둥에 대한 추가 연구를 진행하였다.

3. 기술 동향

PHC 파일은 1992년에 일본에서 기술을 도입하여 생산이 시작된 기술로서 2000년대에는 국내 콘크리트 파일 생산량의 90% 이상을 차지하고 있다. PHC 파일은 공장에서 PC 강선을 거푸집에 삽입, 콘크리트 주입, 철근에 인장을 가하여 프리스트레스를 준 뒤, 원심성형공정을 거쳐 고온고압양생으로 이루어지는 공정 과정을 거치며, 일련의 과정들이 모두 공장에서 진행됨에 따라 품질 관리 면에서 우수하다.

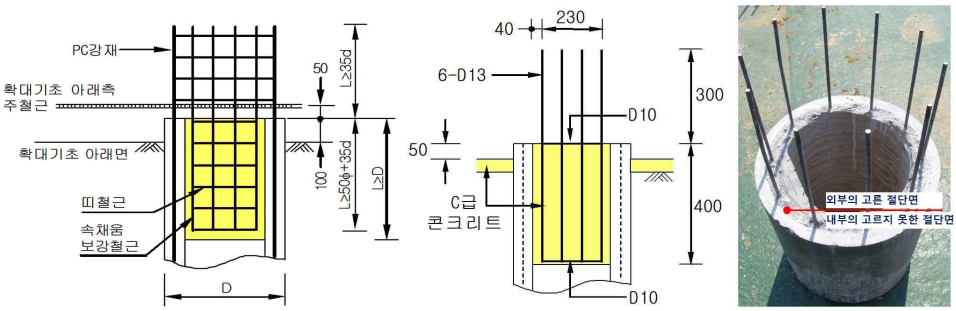
고강도 대구경 PHC 파일과 관련된 연구는 <그림 1.9>, <그림 1.10>와 같이 PHC 파일과 PHC 파일간의 접합에 대한 연구와 PHC 파일을 절단한 후 PHC 파일의 파손을 최소화하기 위한 연구가 진행되어 왔다.

<그림 1.9>과 같은 PHC 파일과 PHC 파일간의 접합의 형식은 크게 용접형과 볼트형으로 나눠질 수 있다. 용접형은 일반적으로 사용되는 방법이고 볼트형은 명지대학교의 PHC 파일의 볼트이음부에 대한 해석적 연구, 삼표피앤씨의 무용접 복합 말뚝 등의 연구 결과가 있다.



<그림 1.9> PHC 파일의 볼트이음부에 대한 해석적 연구(명지대학교)

<그림 1.10>의 PHC 파일의 절단 방법은 PC 강선이 존재하는 영역까지는 기계를 사용하고 PC 강선 내부는 해머 등을 이용하여 파쇄하는 방법으로 절단되는데, 이 경우 고르지 못한 단면에 대한 불확실성 등을 극복하기 위하여 PHC 파일의 절단에 대한 연구 역시 지속적으로 연구되고 있다.



<그림 1.10> 조립철근망을 사용한 PHC말뚝과 기초판 접합부의 역학성능 검증 및 현장시공 사례

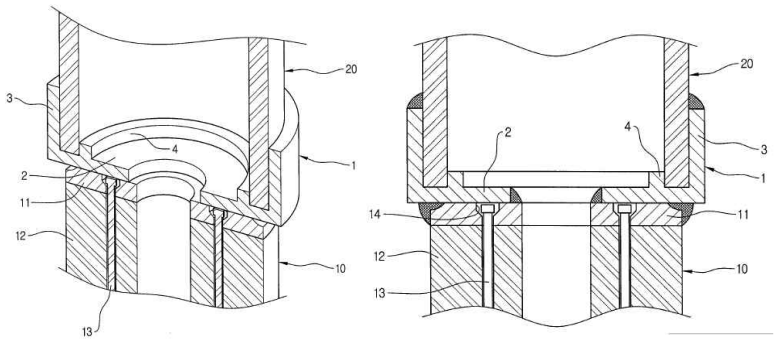
가. 고강도 대구경 PHC 파일과 강재 기둥 접합부 기술 동향

PHC 파일과 강재 기둥의 연결은 PHC 파일과 원형 강관기둥과의 접합에 대한 연구가 주를 이루었으며 PHC 파일과 H형강과의 접합에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다.

나. PHC 말뚝과 강관으로 이루어진 복합말뚝의 접합구조(특허 10-1010028)

PHC 파일과 강관을 일체로 연결하는 복합 말뚝 제작시, 강관이 PHC 말뚝 상단부에 직접 놓임으로써 발생하는 응력 집중을 방지하기 위해 접합부 보강을 실시함으로써 응력 집중을 해소할 수 있다.

<그림 1.11>에 나타낸 PHC 파일과 강재기둥과의 접합 방법은 PHC 파일과 강관의 중심 일치 작업을 정확하고 용이하게 수행할 수 있도록, 강관과 접합하는 부위에 수직 돌기를 형성하여 일체성을 증가시킬 수 있는 PHC 파일과 강관으로 이루어진 접합구조이다. PHC 말뚝과 접합부는 용접을 이용하여 체결되는 방식을 선택하고 있는데 이는 현장 용접 시 균질한 품질관리의 어려움과 시공 단계의 어려움을 갖는 방식이다. 또한, 접합부에 존재하는 돌기는 강관과의 접합을 용이하게 하는데 좋은 방법이지만, 시공오차 발생 시 큰 장애가 존재 할 것으로 판단된다

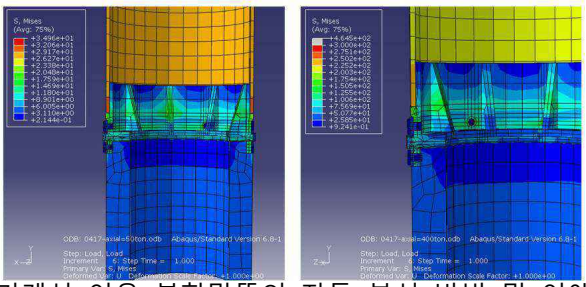


<그림 1.11> PHC 말뚝과 강관으로 이루진 복합말뚝의 접합구조 도면

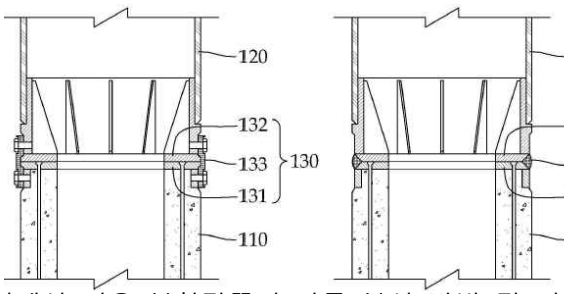
다. 기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝(특허 10-2010-0068233)

상부는 강관말뚝의 기능을 유지하면서 수평력이 작게 작용하는 하부에서는 강관말뚝과 다른 이종 말뚝인 PHC 파일로 구성되고 기계식 이음으로 연결되는 복합말뚝이다.

<그림 1.12>, <그림 1.13>에서 나타내는 PHC 파일과 강재 기둥과의 접합방법에서는 지하구조물의 특성상 수평력이 크게 작용할 수 있기 때문에 수평력이 작용하는 경우에 대해서도 해석을 통하여 검증하고 있다. 강관말뚝과 접합부의 접합은 두 구조물의 조립으로 구성이 되도록 하고 있으며, PHC 파일과의 접합은 보강밴드를 활용한 접합 방식과 용접에 의한 접합방식 둘로 나누어 제안하고 있다. 용접이나 볼트 접합을 사용하지 않고 두 부재간의 조립으로 접합하는 방식을 사용하고 있는데, 파일과 강관 기둥이 압축력만을 받을 경우 문제가 없지만 지하구조물의 특성상 수평력이 존재하게 되면 매우 불안전한 구조물이 될 수 있다. PHC 파일과 접합부의 접합 방식인 보강밴드를 활용하여 현장에서 조립할 수 있도록 한 방식은 이점이 있다



<그림 1.12> 기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝 해석



<그림 1.13> 기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝 도면

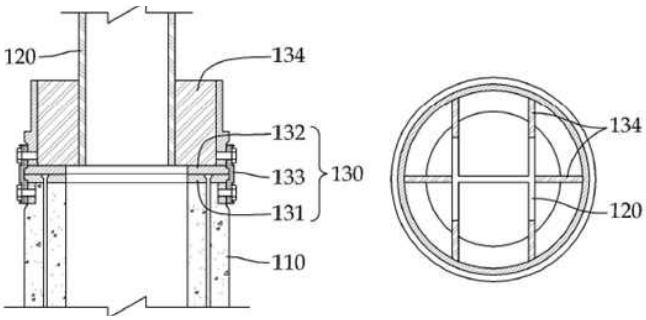
라. 복합파일을 이용한 지하골조 구조물 시공방법(출원 10-2010-0055954)

<그림 1.14>에 나타낸 PHC 파일과 H형강과의 접합 방법은 PHC 파일의 중공부에서의 거동을 제어하기 위해서 추가적인 보강을 하여 상부 하중을 효과적으로 PHC 파일에 전달할 수 있도록 하였다.

볼트와 추가적인 보강밴드를 이용한 접합방식을 사용하고 있으며, PHC 파일 제작 단계에서 PHC 파일의 선단을 대체하여 생산이 가능하다는 장점을 갖고 있다.

H형강과 PHC 파일간의 접합 시 기존에 사용되던 베이스플레이트를 사용하고 리브플레이트를 설치하는 형상은 PHC 파일의 중공부에 의한 불안정한 거동을 제어하기 쉽지 않다.

중공부의 불안정한 거동을 제어하기위해 베이스플레이트 두께는 과다하게 증가할 수 있고, 리브플레이트 또한 필요 이상으로 과다하게 설계될 수 있다.



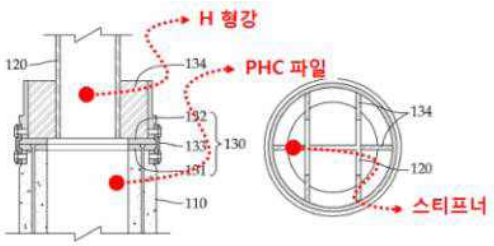
<그림 1.14> 복합파일을 이용한 지하골조 구조물 시공방법

기존에 연구되어 왔던 대부분의 PHC 파일과 철골 기둥의 접합부는 PHC 파일의 중공부에서 거동을 효과적으로 제어하지 못하여 <그림 1.11>, <그림 1.13>에 나타낸 것과 같이 PHC 파일 내부직경보다 큰 직경을 갖는 원형강관을 주로 사용하고 있다. PHC 파일의 중공부의 거동을 효과적으로 제어하지 못하면 베이스플레이트 두께를 과다하게 증가시키고, 리브플레이트의 과다한 사용으로 불필요한 강재사용을 증가시키며, 형상이 복잡하여 시공이 매우 불리하게 된다.

PHC 파일과 철골 기둥의 접합에서 PHC 파일의 중공부의 거동을 효과적으로 제어할 수 있다면, 역타 공법 현장 등에서 보다 폭 넓게 PHC 파일을 사용할 수 있게 되고, 이는 PHC 파일 생산 및 개량의 기술력을 확보하는데 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

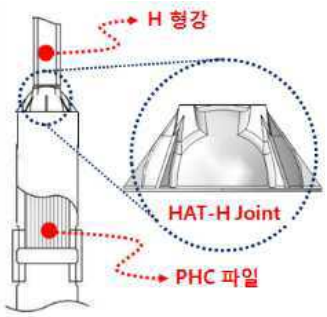
4. 연구개발결과의 우수성 및 차별성

기존 개발된 PHC 파일과 철골기둥의 접합부는 <그림 1.15>와 같이 PHC 파일과 H형강을 플레이트를 통해 연결함으로써 플레이트에 휨 모멘트가 발생하여 불리하다. 이를 보완하기 위해 추가적인 스티프너가 필요하고 이로 인해 작업이 번거롭고 불편하다.



<그림 1.15> 기존 플레이트 공법 상세

본 연구과제를 통해 새롭게 개발된 반구형 접합부(HAT Joint)는 <그림 1.16>과 같이 PHC 파일과 H형강 사이의 하중전달을 축력만으로 존재하게 하여 자연스러운 하중전달이 가능하며 주강을 활용한 공장제작을 통해 시공기간단축 및 균일한 품질관리가 가능하다. 또한 주강을 활용하여 PHC 파일과 철골기둥을 연결하는 이와 같은 접합부는 세계적으로 사례를 찾아보기 힘들며 이를 활용하여 구조성능평가를 진행한 사례는 더더욱 드문 기술로써 기존 공법에 비해 더욱 우수하고 창의적이다.



<그림 1.16> HAT Joint 공법 상세

기존의 Top-Down공법, Up-Up공법 현장 등에 이용되지 않던 고강도 대구경 PHC 파일을 사용 가능케 함으로써 보다 폭 넓게 PHC 파일을 사용할 수 있으며, 이로 인해 PHC 파일 생산 및 개량의 기술력을 확보하는데 기여할 수 있고 철골 생산 산업에 또한 파급효과가 크다.

철골조 건물뿐만 아니라 SRC 건물의 기초에도 해당 기술이 적용 가능하므로 작업의 편이성, 시공기간의 단축, 품질의 확보 측면에서 다양한 건물에 적용 및 시도가 가능할 것으로 판단된다.

또한 대구경 PHC 파일을 제작하는 삼표피앤씨와 유사 주물 생산의 경험이 많은 삼영엠텍 등 참여기업들의 수준이 높아 제품의 생산, 조립 및 시공에 수입기술의 도입 없이 순수 국내 기술로 진행하였으며 해외 건설이 활발히 진행되고 있는 건축계의 동향으로 보아 향후 기술의 수출이 가능할 것으로 예상된다.

제2장 연구수행 내용 및 결과

1. 연구개발결과 요약

<table>
<tr><td rowspan="2">연구개발
목 표</td><td>최종
목표</td><td>○ 반구형 접합부(HAT Joint) 프로토타입 개발
– FEM 해석을 통한 프로토타입 제안
• FEM 해석을 통해 목표 성능을 만족시키는 타입별 프로토타입 제안
– 구조성능 평가
• 해석을 통해 선정한 HAT Joint 프로토타입을 실제 압축 실험을 통해 구조 성능을 검증
– 신기술 신청

○ PHC 파일 길이 조정방법 개발
– 구조 성능 평가
• 제안된 방법으로 공정 작업을 하여 제작한 프로토타입의 인발력 구조성능평가와 휨 내력 구조성능평가를 진행
• 축소 모형을 이용한 진동대 실험을 통해 횡 하중 가력 시 기존 공법과 HAT Joint 공법 간 차이점 검토

○ 경제성 분석
• 실제 현장에 적용하였을 때의 기존 공법과의 경제적 효과 비교/분석

○ PILOT 프로젝트
• PHC 파일, 반구형 접합부(HAT Joint), 철골기둥을 실제 건축물에 적용</td></tr>
<tr><td>당해
년도
목표</td><td>○ HAT Joint T, P, K Type개발
– 구조성능 평가
• 해석을 통해 선정한 HAT Joint T, P, K Type의 프로토타입을 실제 압축 실험을 통해 구조 성능을 검증

○ PHC 파일 길이 조정방법 개발
– 구조 성능 평가
• 제안된 방법으로 공정 작업을 하여 제작한 프로토 타입의 인발력 구조성능평가와 휨 내력 구조성능평가를 진행
• 기존 Base Plate를 이용한 PHC 파일과 철골기둥 이음부의 축소모형과 HAT Joint를 이용한 H, T, P, K Type의 축소모형을 제작, 진동대 실험을 통해 횡 하중 가력 시 차이점 검토

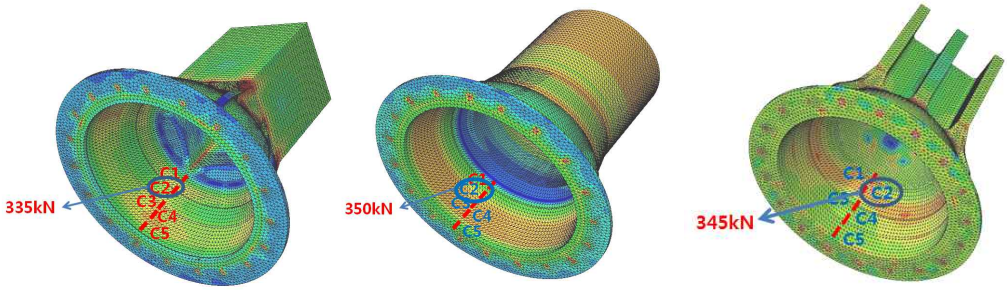
○ PILOT 프로젝트
• PHC 파일, 반구형(HAT) Joint, H형강 기둥을 실제 건축물에 적용</td></tr>
</table>

주 요 연구내용 (총 괄)

○ **반구형 접합부(HAT Joint) 프로토타입 개발**

– FEM해석을 통해 H, T, P, K 총 4가지 Type에 대한 프로토타입 도출

– HAT Joint H-Type은 1차년도 연구로 개발되었으며, 2차년도 연구를 통해 T, P, K-Type을 개발



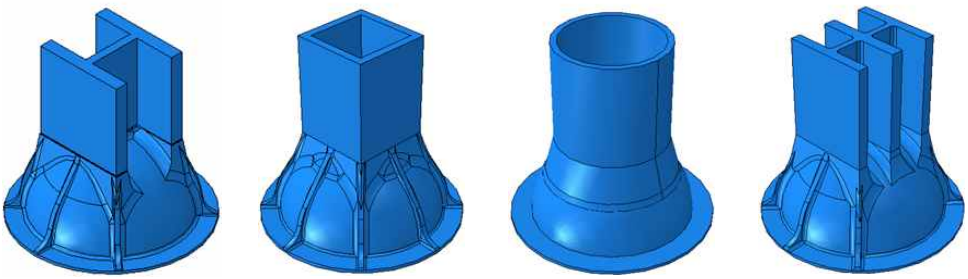
<그림 2.1> HAT Joint의 FEM해석

○ **HAT Joint 구조 성능 평가**

– 구조 성능 평가 개요

• PHC 파일의 허용 축하중인 967ton의 1.5배인 1500ton을 견딜 수 있도록 유한요소 해석을 통해 각 Type별 HAT Joint를 설계하였고, 재료와 구조적 거동의 적절성을 판별 하기위해 구조성능 평가를 진행

• HAT Joint H-Type의 구조성능 평가는 1차년도에 수행되었으며, HAT Joint T, P, K-Type에 대한 구조성능평가는 2차년도 수행



H Type T Type P Type K Type

<그림 2.2> Type별 HAT Joint 형상



<그림 2.3> HAT Joint 구조성능평가

ㅇ PHC 파일길이 조정 방법 구조성능 평가

– 파일길이 조정 방법 제안

• 1차년도에 제안된 파일길이 조정 방법 검증을 통해 제안된 프로세스를 실제 시공할 때 발생할 수 있는 문제점 혹은 2차년도에 추가로 필요한 연구 방향 파악



<그림 2.4> PHC 파일길이 조정 방법 현장 검증

– 볼트 인발 실험

• 파일길이 조정 방법으로 인한 PHC 파일 절단 후 선단캡 설치 시 PHC 파일과 선단캡의 볼트 연결에 대한 검토를 2차년도에 진행

• PHC 파일-선단캡 연결에 사용되는 M20 볼트를 콘크리트에 설치한 19개의 실험체에 대해 Actuator를 이용한 인발 테스트



<그림 2.5> 볼트 인발 실험

– 휨 실험

• PHC 파일과 HAT Joint 접합부의 모멘트로 인한 휨 성능을 평가하기 위해 2차년도 연구 시 PHC파일-HAT Joint-철골기둥 연결체를 제작하여 휨 구조성능평가 실험 진행

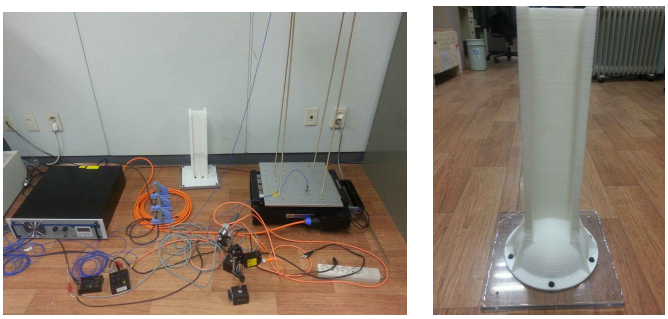


<그림 2.6> 휨 성능 평가

– 진동 모델 실험

• HAT Joint 시공 시 지진 등의 횡 하중에 대한 검토를 위해 2차년도 연구 시 진동대실험 진행

• 실제 HAT Joint의 1/5 스케일로 제작하여 일반 PHC-철골기둥 접합부와의 진동 가력 시 차이점 검토



<그림 2.7> 진동 모델 실험

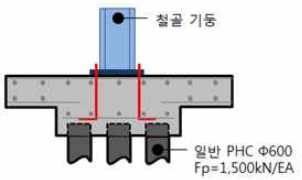
○ 경제성 분석

– HAT Joint의 적용성 및 기대효과 분석

• 현장에 적용되는 기존 공법들과 HAT Joint를 이용한 대구경 PHC 파일을 사용한 공법과의 기대효과를 분석

▶원안 설계

일반 중구경 PHC 파일 기초

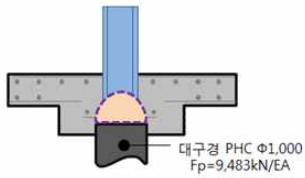


일위대가		공사기간
수량(m)	620본 X 25m=15,500m	620본÷20(본/1일)=31일
비용(원)	1,035,229,500	

내역	단위	단가(원)	수량(m)	금액(원)
자재비	m	43,789	15,500	678,729,500
시공비	m	15,000	15,500	232,500,000
용접조인트	개소	170,000	620	105,400,000
용접비	개소	30,000	620	18,600,000
총계				1,035,229,500

▶VE 제안

HAT Joint를 이용한 대구경PHC 파일 기초



재료비+공사비		공사기간
수량(m)	124본 X 25m=3,100m	124본÷10(본/1일)=12.4일
비용(원)	674,528,504	

내역	단위	단가(원)	수량(m)	금액(원)
자재비	M	133,835	3,100	414,888,500
시공비	M	62,000	3,100	192,200,000
용접조인트	개소	480,000	124	59,520,000
용접비	개소	63,871	124	7,920,004
총계				674,528,504

<그림 2.8> HAT Joint 공법 비교

○ Pilot Project

– Mock-Up Test 진행

- 2차년도 연구로 서울 마곡지구 내 공동연구기관인 롯데건설(주) 시공현장에 개발된 HAT Joint의 Mock-Up Test 진행
- 실제 시공 프로세스 확인 및 본 Pilot Project 전 시험 시공
- 볼트 인발 실험을 바탕으로 PHC 파일-HAT Joint간 볼트 연결



<그림 2.9> Mock-Up Test

– 실제 시공 Pilot Test

- Mock-Up Test가 수행된 현장 내 실제 HAT Joint 시공
- 4월 22일 진행
- 양방향 재하시험(2015.05.20 실시)



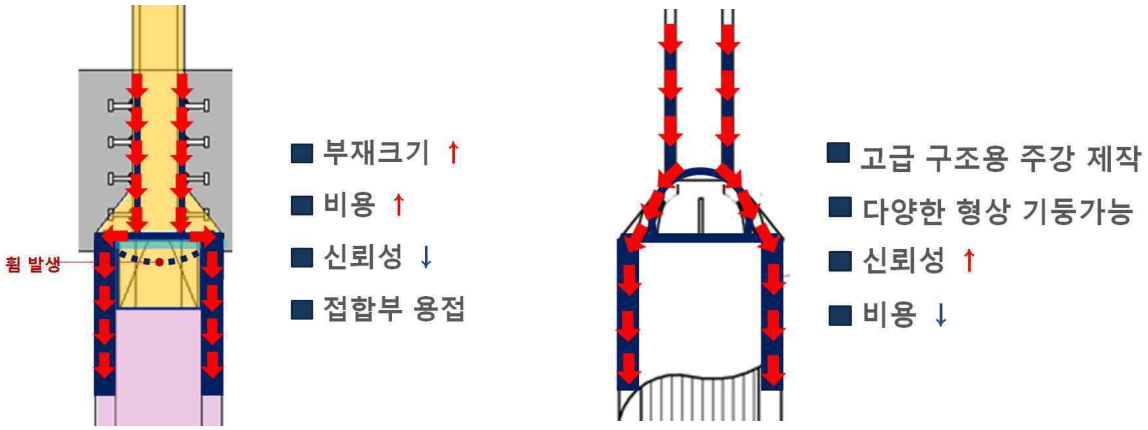
<그림 2.10> Pilot Test

2. 연구개발 주요내용

가. 반구형 접합부(HAT Joint) 개발

(1) 기본 개념

PHC 파일과 강재 기둥을 접합할 때 기존에 개발된 베이스플레이트 상세를 사용할 경우<그림 2.11(a)>처럼 상부 철골기둥은 압축력을 받게 되고 베이스플레이트는 PHC 파일의 중공부에서 휨이 발생하고, 최종적으로 PHC 파일은 다시 압축력을 받게 된다. 힘의 전달과정에서 발생하는 휨을 제어하기 위해서 베이스플레이트의 두께는 필요 이상으로 과다하게 설계되어지고, 이를 보강하는 리브플레이트의 보강 역시 매우 복잡하여 제작이 어렵고 많은 물량이 사용된다. 휨 발생을 제어하기 위해서 <그림 2.11(b)>와 같은 휨이 발생하지 않는 반구형의 접합부를 채택하게 되었다. 반구형 접합부의 아치(arch) 효과로 인해 상부 철골기둥의 압축력이 반구형 베이스플레이트를 통해 PHC파일까지 휨으로 변환되지 않고 압축력으로만 전달되어 하중의 흐름이 보다 더 효율적이고 이로 인해 구조물의 구조적 신뢰성을 향상시킬 수 있다.



(a)기존 접합부 상세 (b)HAT Joint 접합부 상세

<그림 2.11> PHC 파일+H형강 접합 상세

본 연구과제에서 제안하고 있는 H형강 기둥, 각형강관 기둥, 원형강관 기둥, 왕(王)형 철골기둥과 고강도 대구경 PHC 파일의 접합부는 각각 HAT(Hollow hAlf-spere sTeel) Joint H-Type(H형강), T-Type(Tube), P-Type(Pipe), K-Type(King)이라 지칭한다. HAT Joint는 반구의 기본형상이 특징이지만 반구형의 베이스플레이트로만 설계된 접합부는 필요 이상의 물량을 사용하게 되므로, 반구형 베이스플레이트 이외에 다른 추가적인 보강을 통하여 베이스플레이트의 물량을 감소시키고 하중을 효과적으로 분배할 수 있는 형상을 만드는데 중점을 두었다. 반구형의 베이스플레이트를 보강하기 위해 내부 보강 링의 위치, 리브플레이트의 수, 두께에 대하여 검토가 이루어졌으며, 설계 축 하중을 견디기에 가장 최적화된 접합부 형상을 개발하였다

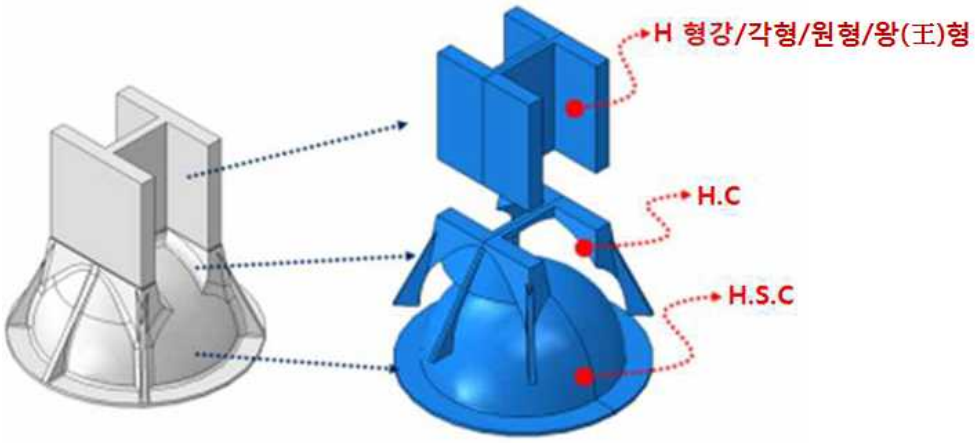
(2) HAT Joint 디자인

(가) 세부상세

반구형의 베이스플레이트 제작은 압연방식으로는 제작이 어려우므로 비정형 제작에 용이한 구조용 주강으로 제작한다.

HAT Joint는 PHC 파일과 H형강, 원형강관, 각형강관, 왕(王)형 기둥과의 접합을 효율적으로 하기위해 개발 되었으며, 상부의 하중에 대해서 효과적으로 거동하기 위해 다양한 변수들을

조합하여 개발 되었다. HAT Joint의 형상은 반구형 베이스플레이트와 H형강, 각형강관, 원형강관, 왕(王)기둥과 반구형 베이스플레이트의 연결부로이루어지고, H형강, 각형강관, 원형강관, 왕(王)기둥이 HAT Joint의 상부에 공장 용접되어 현장에 제공되도록 한다.

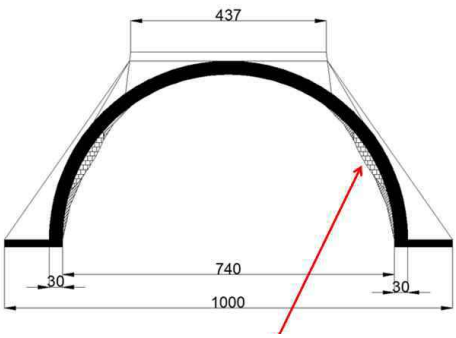


<그림 2.12> HAT Joint 상세

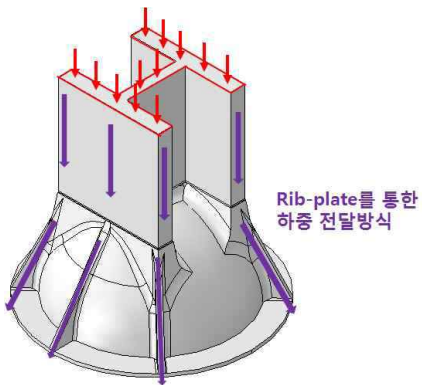
HAT Joint는 <그림 2.12>와 같이 반구형의 베이스플레이트(Half Sphere Connector, 이하 H.S.C)와 H형강에서 H.S.C로 하중을 전달하는 H형강 연결부(H-column Connector, 이하 H.C), 각형강관 연결부(Tube-cloumn Connector, 이하 T.C), 원형강관 연결부(Pipe-column Connector, 이하 P.C), 왕(王)형 기둥 연결부(King-column Connector, 이하 K.C)로 되어 있다.

H.S.C는 <그림 2.13>과 같이 중공형 반구를 기반으로 설계 되었으며, 효과적인 하중전달을 위해 내부에 Ring으로 추가적인 보강을 실시하였고, 효율적이고 경제적인 응력 분배를 위해 반구의 두께를 변화시켜 설계 하였다.

H.C(T.C, P.C, K.C)는 H형강기둥(각형강관, 원형강관, 왕(王)형 기둥)에서 전달되는 하중을 <그림 2.14>와 같이 H.S.C를 통과해 PHC 파일로 이동시키기 위해 Flange 단부와 Web 단부에 Rib-plate를 가지며, H형강 기둥을 H.S.C에 효과적으로 접합할 수 있도록 H.C(T.C, P.C, K.C)를 가진다.



<그림 2.13> 두께 30mm Single Ring 보강



<그림 2.14> Rib-plate의 필요성

(나) HAT Joint의 볼트 구멍

HAT Joint는 PHC 파일과 연결할 수 있는 15~16개의 볼트 구멍을 갖는다. PHC 파일의 선단 캡은 강선과의 연결을 위해 <그림 2.15>와 같이 19개의 볼트 구멍이 존재하며, HAT Joint는 이 중 15~16개의 볼트 구멍과 접합하도록 설계 되었다.

HAT Joint는 시공현장에서는 PHC파일과 볼트 체결만으로 시공을 완료할 수 있다. 현장 작업을 최소로 하여 시공성 향상, 용이한 품질 관리, 공사기간 단축 등의 이점을 가질 수 있다.

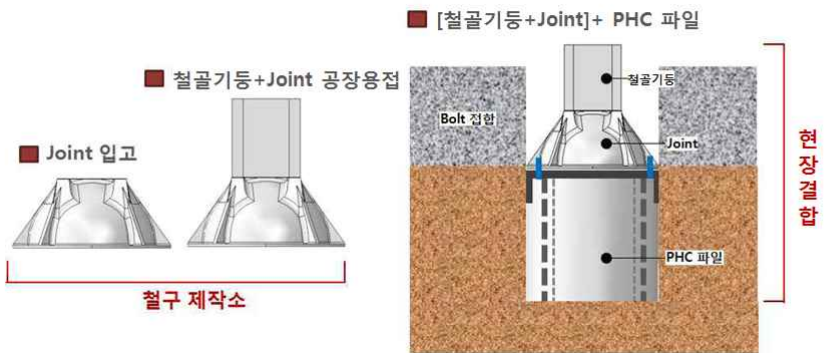


<그림 2.15> PHC 파일의 볼트 구멍

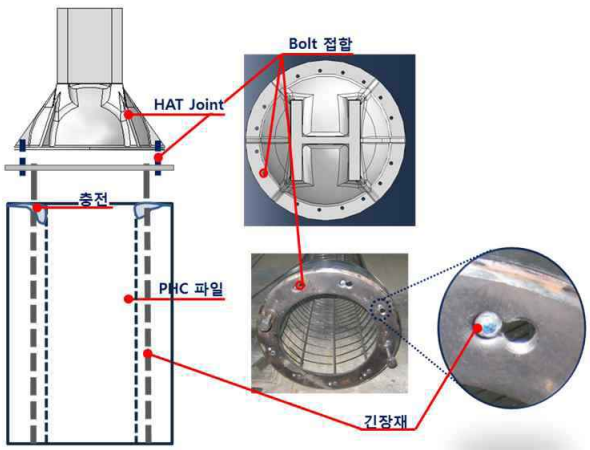
(다) HAT Joint와 PHC 파일 접합

주조로 제작된 HAT Joint가 완성 되면, 철구제작소에서 기둥(단주)을 HAT Joint에 용접하며, 용접이 마무리 된 HAT Joint는 현장에서 PHC 파일과 볼트로 접합된다(<그림 2.16> 참조).

PHC 파일의 절단이 불가피하여 파일 캡의 볼트 구멍과 접합이 어려울 경우, <그림 2.17>과 같이 PHC 파일 절단 시 원 컷팅 방식으로 PHC 파일을 절단하고 PHC 파일과 HAT Joint를 연결할 수 있는 추가적인 플레이트 커버를 제작하여 설치한다.



<그림 2.16> HAT Joint 제작 및 시공상세



<그림 2.17> HAT Joint 접합상세

나. 반구형 접합부(HAT Joint) 프로토타입 개발

(1) FEM해석을 통한 최적모델 도출

(가) 유한요소해석 개요

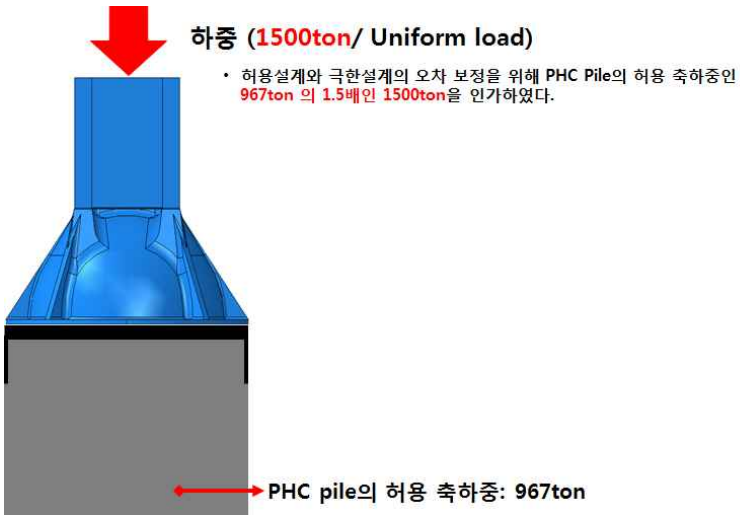
HAT Joint 개발을 진행함에 있어 초기에 고려된 모델은 기본적인 접합부 형상에 대한 것부터 H.S.C의 기본 두께를 변화시킨 모델들과 Rib-plate의 개수를 변화시킨 모델 곡면 가공에 대한 검토, Web과 Flange 단부에 대한 검토 등을 해석을 통하여 다양하게 진행하였으며, 이런 해석을 분석하여 Prototype을 제안하였다. 유한요소해석은 ABAQUS v6.10을 활용하여 진행되었으며 실제 제작될 모델과 1:1스케일로 모델링하여 실제 접합부와 최대한 유사한 거동을 확인할 수 있도록 하였다. Element type은 반구형상에 따라 Quadratic Tetrahedron을 사용하였으며, Element의 크기는 최소 두께(반구 하단)를 고려한 16mm를 사용하였다.

① 해석 목표

접합부에서의 파괴를 방지하기 위해, 967ton(PHC 파일의 허용 축하중)의 1.5배인 약 1500ton의 하중이 가력되었을 경우, 접합부의 응력은 접합부 강재인 SCW550의 항복응력 355MPa를 넘지 않고 내력은 1500ton 이상을 견딜 수 있게 하는 형상을 도출하는 것이 최종 목표이다.

② 가력 방식

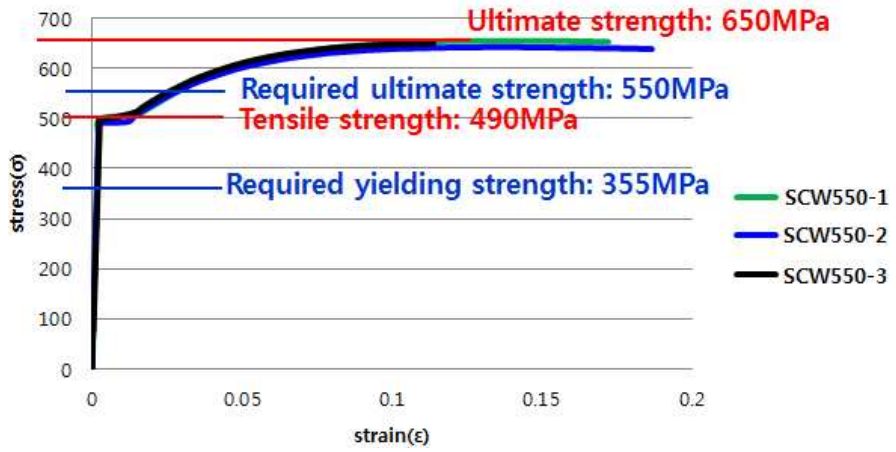
해석은 하중제어 방식과 변위제어 방식으로 두 번에 걸쳐 진행되었으며 하중제어 방식은 구조물에 1500ton의 하중을 인가하여 최대응력이 355MPa를 넘지 않음을 확인하기 위함이고 변위제어 방식은 구조물의 최대 변위를 20mm로 선정하여 구조물의 최대내력이 1500ton이상임을 확인하기 위해 수행되었다.(<그림 2.18> 참조)



<그림 2.18> 유한요소 해석 상세

③ Material

SCW550의 설계 항복강도는 355MPa이상이며, 설계 극한강도는 550MPa 이상이다. 하지만 1차년도 실험에 사용된 강재의 항복강도는 다음 <그림 2.19>와 같이 항복강도 490MPa, 극한강도 650MPa로 실제 기준치보다 훨씬 웃돌았다.



<그림 2.19> SCW550 재료 물성치

본 연구를 수행함에 있어 <그림 2.19>의 재료 물성치를 그대로 사용할 경우 너무 높은 재료 강도로 인하여 실제로 제작되는 구조물의 거동과 해석의 거동이 차이가 있을 것으로 판단되었다. 보다 정확한 결과를 얻기 위하여 SCW550 시편 제작 업체에 25개의 SCW550 시편을 새로 요구하여 시편 실험을 재 수행하였다. 그 결과 값인 평균항복강도 390MPa, 평균 극한강도 590MPa를 SCW550의 물성치로 선정하여 해석을 진행하였다.

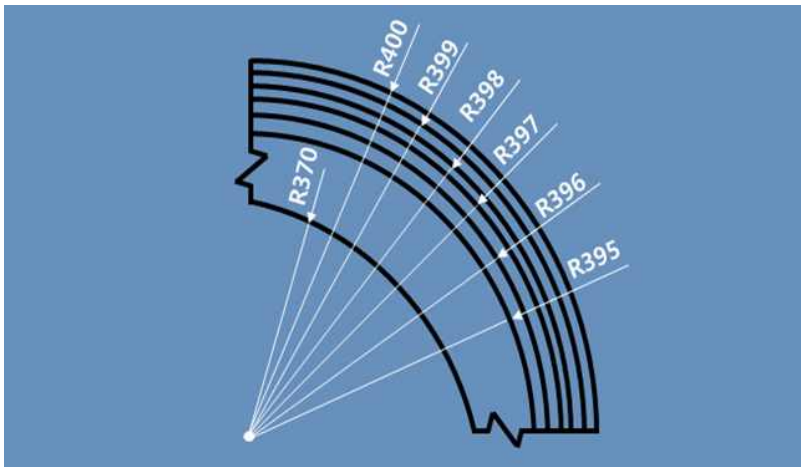
이에 따라 해석은 1500ton의 하중이 인가되었을 경우 최대 내력은 390MPa 이내가 되도록, 변위가 20mm가 변하였을 경우 내력이 1875ton 이상이 되도록 보정한 값으로 해석하여 최초 Prototype을 선정하였다.

(나) 변수 설정

① H.S.C 단면의 두께

HAT Joint는 Φ1000의 대구경 PHC 파일에 사용하는 것을 목적으로 하고 있으며, 이때 PHC 파일의 내부 직경은 740mm이다. 따라서 H.S.C 단면의 두께의 내부 반지름 역시 370mm로 고정되며, 외부의 지름을 395mm부터 400mm까지 1mm 간격으로 변화시켜 모델을 해석하였다.

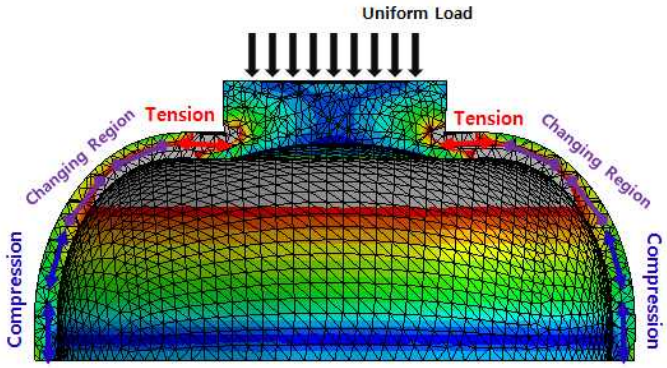
최적의 H.S.C 단면의 두께를 판별하는 해석은 (나).②에서 수행될 내보 보강 링의 최적위치를 기본으로 갖으며, 25mm~30mm까지 두께를 변화시켜 해석하였다(<그림 2.20>). 해석 결과 앞에서 언급한 응력과 내력 목표를 만족하는 최소 두께를 최적 두께로 선정하였다.



<그림 2.20> 단면두께

② H.S.C 내부 보강 링의 위치

<그림 2.21>에 나타낸 바와 같이 H.S.C와 같은 반구에 하중이 작용하였을 경우 아치 액션(Arch Action)에 의해 압축과 인장이 교차하는 지점이 발생하게 된다. 이러한 압축과 인장이 작용하는 부분은 추가적인 보강이 이루어져야 하며, 이를 위해 H.S.C 내부에 보강 링을 위치시키게 된다.

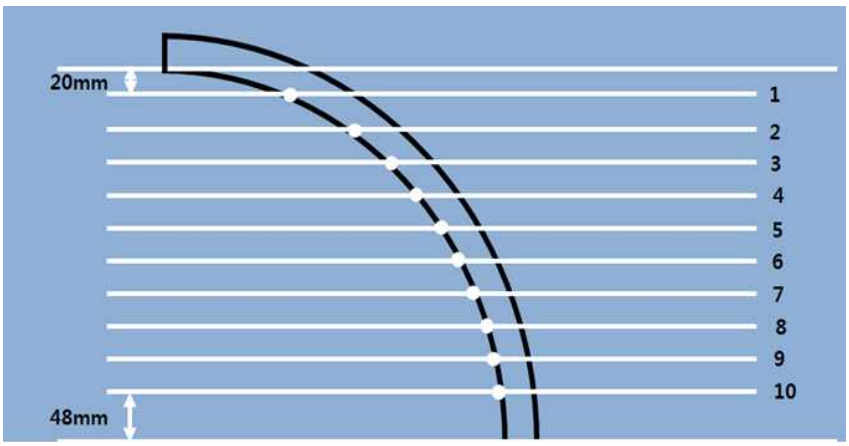


<그림 2.21> 반구의 아치 액션

H.S.C 내부 Ring보강 위치는 H.S.C 내부 지름 370mm 중 상부 20mm와 하부 48mm를 제외한 나머지 구간을 총 9등분 하여 10개의 링 위치를 선정하였다(<그림 2.22>). 상부의 20mm와 하부의 48mm를 제외한 이유는 Ring의 단면이 완전한 형상을 유지할 수 있도록 하기 위함이다.

H.S.C두께를 기본 30mm로 가정하고 리브플레이트는 없는 상태에서 해석을 진행하였다. 최적의 Ring 보강 위치를 알기위해 각각의 Ring의 위치별로 응력분포와 최대내력을 검토하여 그래프를 통하여 최적의 Ring위치를 판별하였다.

H.S.C 내부 Ring보강 위치 변수는 상부의 하중이 H.S.C로 전달되면서 아치액션을 하는데, 이때 수평방향으로 생기는 압축과 인장이 교차하는 지점을 강화하기 위함이다.

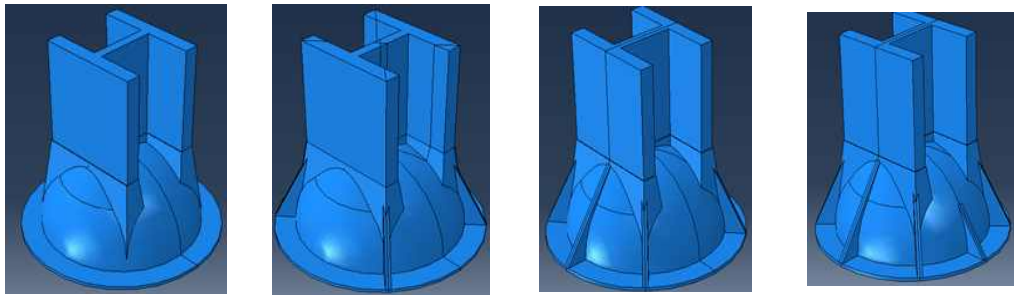


<그림 2.22> 내부 보강 링의 위치

③ 리브플레이트의 개수

<그림 2.23>의 리브플레이트의 개수에 따른 변수는 (나).②에서 판별된 최적의 보강 링의 위치를 기본으로 갖으며 리브플레이트 개수별로 H.S.C 단면의 두께는 25mm~30mm로 변화시켜 가며 각각의 형상별로 해석을 진행하였다. 이 때 최대응력과 최대내력을 검토하여 최종

HAT Joint Prototype을 선정할 수 있다. 리브플레이트의 개수는 상부의 하중을 최소의 물량으로 효과적으로 분배시킬 수 있는 리브플레이트 위치와 개수를 파악하기 위함이다.



(a) 리브 0개 (b) 리브 4개 (c) 리브 6개 (d) 리브 8개

<그림 2.23> 리브플레이트의 개수

(다) Modeling

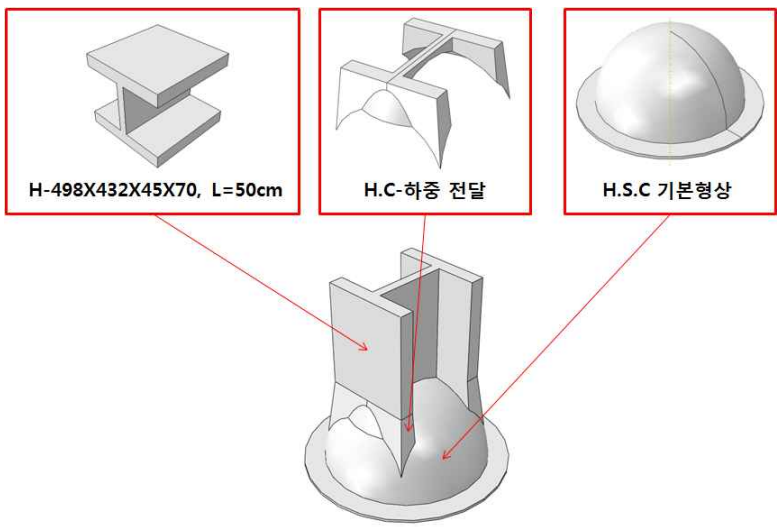
① Type별 상세

유한요소해석 모델은 HAT Joint H-Type(1차년도), T, P, K-Type(이상 2차년도)를 모델링 하였으며 각각의 기본형상을 아래 <그림 2.24>에 나타내었다.

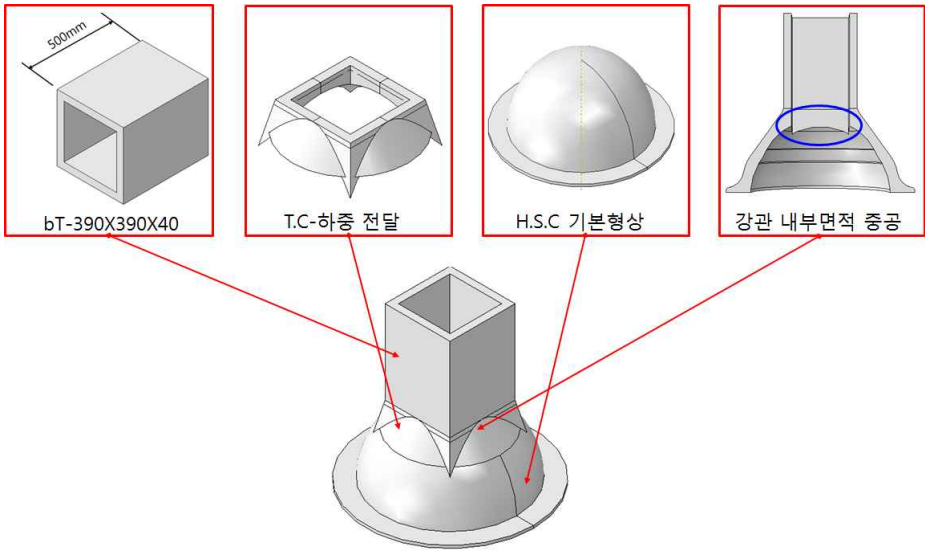
<그림 2.24(a)>는 H형강에 사용되는 HAT Joint H-Type의 기본 형상을 보여주고 있다. H형강은 보편적으로 사용되는 사이즈 중 하나인 H-498×432×45×70을 사용하였으며, 이에 맞는 H.C 형상으로 하중 전달이 이루어지게 된다.

<그림 2.24(b),(c)>는 각각 각형강관기둥과 원형강관기둥을 사용하였을 시의 T-Type과 P-Type의 기본형상이다. T-Type은 bT-390×390×40, P-Type은 bP-550×30을 기본으로 모델링하였다. H, K-Type과 달리 해당 Type은 강관기둥의 형태로 인해 강관내부면적만큼의 중공을 갖는다.

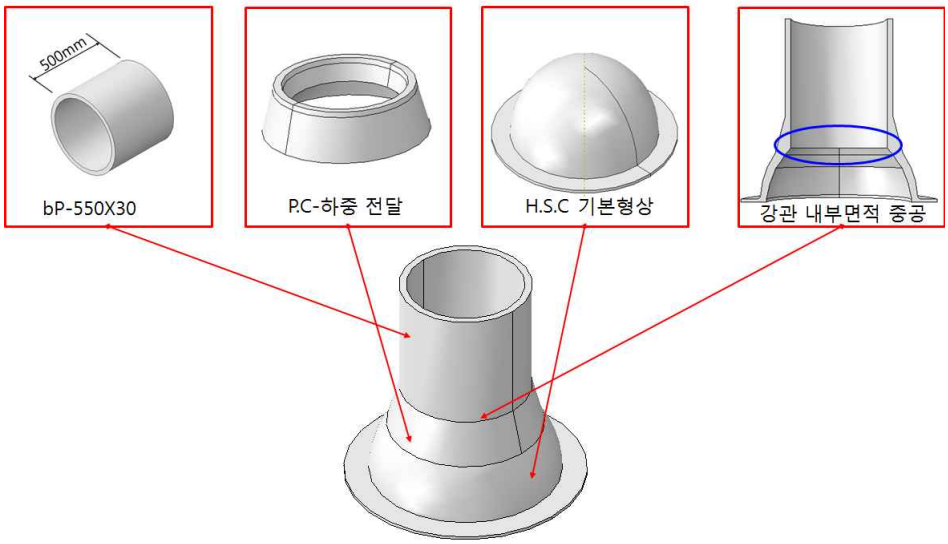
<그림 2.24(d)>는 왕(王)형 형상에 따라 King-Type으로 명명한 K-Type의 기본 형상이다. 왕(王)형 기둥은 H형강에 스티프너를 설치했을 경우를 대비한 모델이다.



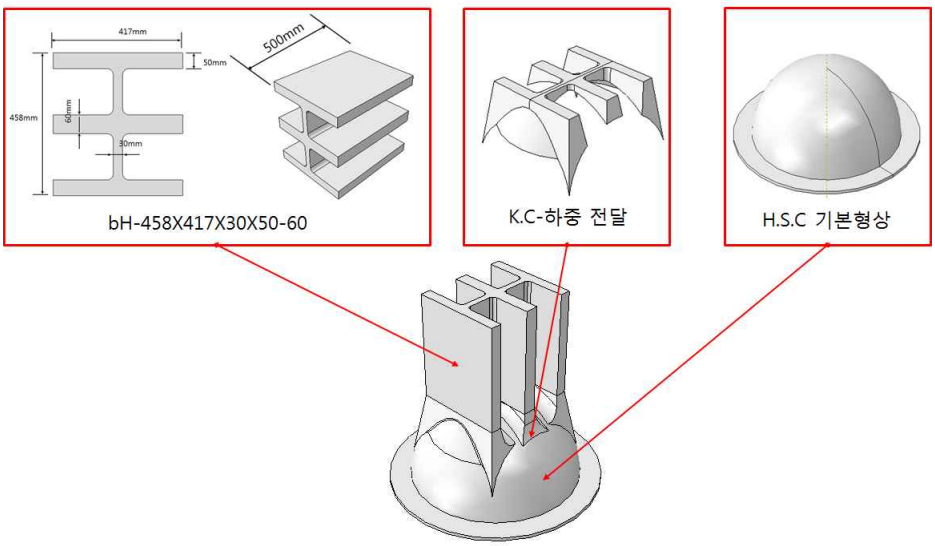
(a) H-Type



(b) T-Type



(c) P-Type



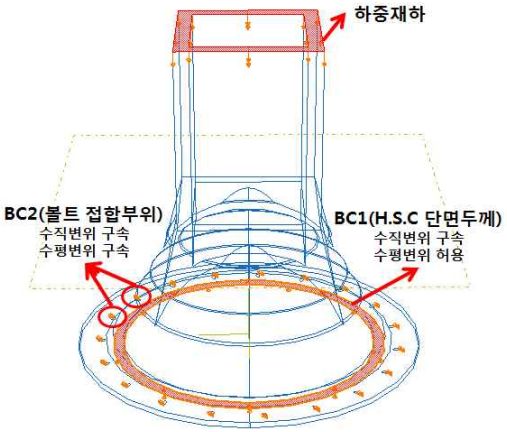
(d) K-Type

<그림 2.24> HAT Joint Type별 기본 형상

② Boundary Condition

<그림 2.25>에 나타낸 것과 같이 HAT Joint의 실제 거동과 가장 유사하도록 선정된 지점조건은 H.S.C 단면두께부분에 대하여 수직변위는 구속하고 수평변위는 허용하였는데 이는 상부의 압축력에 의해 PHC 파일과 완전하게 접합하는 면적에 대해서 수직변위는 없을 것이고 이때 Slip에 의한 수평변위는 발생할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.

볼트 접합부위의 지점 조건은 수직변위를 구속하고 수평변위 역시 구속하였는데 이는 상부하중 작용시 100%의 압축력이 아닌 일부 모멘트에 의해 발생하는 수평력에 대해 저항하기 위함이고 이때 발생되는 수직력에 대해서도 저항할 수 있도록 하기 위함이다.



<그림 2.25> Boundary Condition

(라) 해석 결과

① HAT Joint H-Type

내부 보강 링의 위치, H.S.C의 두께, Rib-plate 개수를 변수로 한 총 34개의 모델에 대해 해석 검토하였다.(<표 2.1>)

<표 2.1> H-Type 변수 정리

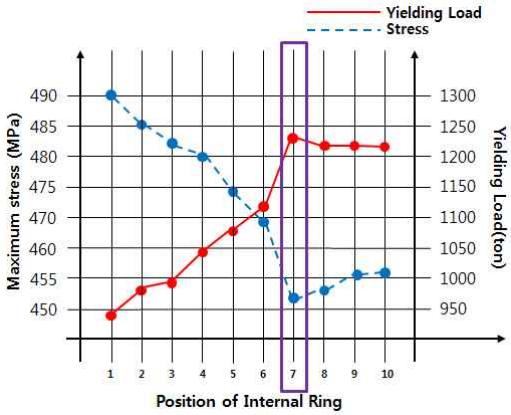
두께(mm)	내부 보강 Ring 위치	모델링
30	1~10번	10개

두께(mm)	Rib-plate 개수				모델링
25	0	4	6	8	24개
26	0	4	6	8	
27	0	4	6	8	
28	0	4	6	8	
29	0	4	6	8	
30	0	4	6	8	

㉮ 최적 링 위치 판별

HAT Joint H-Type의 최적 Ring 위치에 대한 결과는 H,S,C 두께 30mm, Rib-plate 0개를 기본으로 하여 해석하였다.

<그림 2.26>의 해석 결과를 보면 Ring 7번 위치에서 응력은 452MPa로 최소이며 내력은 1230ton으로 최대임을 알 수 있었다. 이 결과를 토대로 H.S.C 내부 Ring 보강의 최적 위치는 7번 위치로 판단하였다.

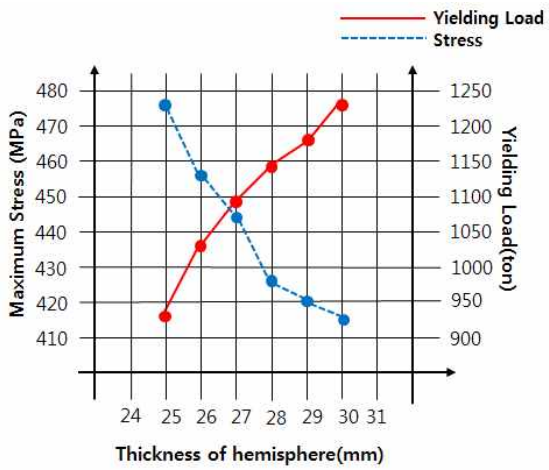


<그림 2.26> 최적 내부 Ring 위치 해석 결과

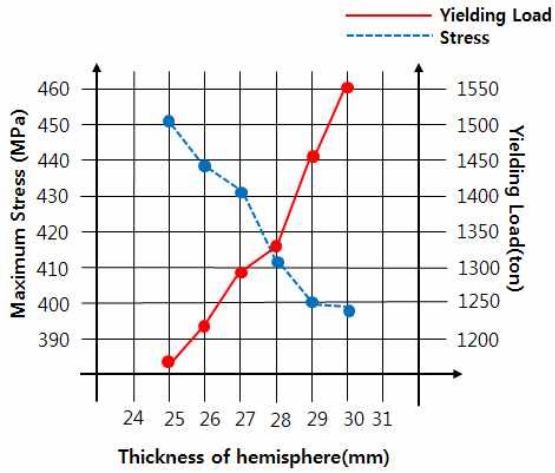
㉰ 최적 두께 및 리브의 개수별 해석결과

내부 Ring 위치는 7번을 기본으로 하며, Rib-plate 개수를 0, 4, 6, 8개로 변화시키고 각각의 경우 두께를 25mm~30mm까지 늘려감에 따라 변화하는 응력과 최대 내력에 대하여 해석결과를 나타내었다.

Rib-plate 개수를 0개로 하였을 때 해석 결과는 <그림 2.27>에 나타내었다. 두께가 증가함에 따라 최대응력은 475MPa에서 415MPa까지 감소함을 확인할 수 있었고 최대 내력은 930ton에서 1225ton까지 증가함을 확인할 수 있었다. 해석결과는 최대응력이 355MPa를 초과하며 최대 내력역시 1500ton에 못 미치는 결과로써 추가적인 리브의 활용이 필요함을 확인할 수 있었다.



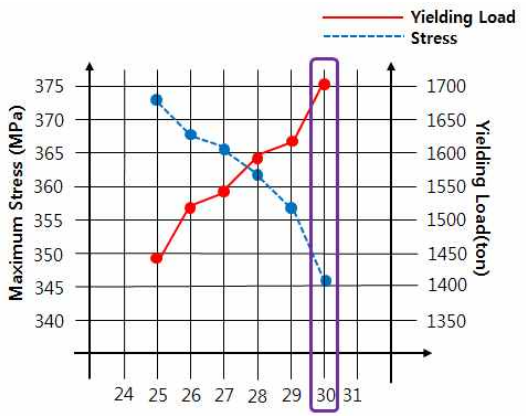
<그림 2.27> Ring 위치 7번, Rib-plate 0개



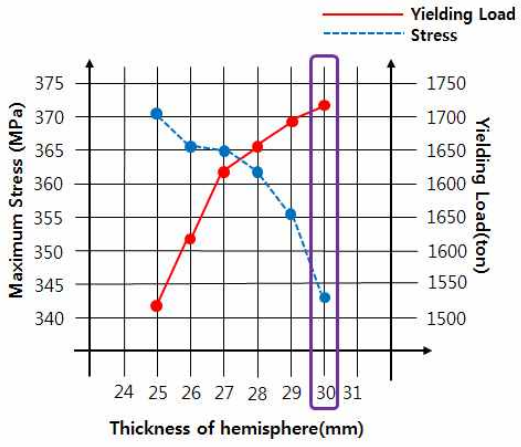
<그림 2.28> Ring 위치 7번, Rib-plate 4개

Rib-plate 개수를 4개로 하였을 때 해석결과는 <그림 2.28>에 나타내었다. Rib-plate가 0개 일 때와 마찬가지로 두께가 증가함에 따라 응력은 감소하고 내력은 증가함을 확인할 수 있었다. 또한 Rib-plate가 4개일 때의 결과는 30mm 모델의 최대내력이 기준치의 최대내력인 1500ton 이상의 결과가 도출 되었으나 이 모델 역시 기준치의 최대응력인 355MPa보다 높은 응력을 가지므로 Prototype으로는 적절하지 않다.

Rib-plate 개수를 6개로 하였을 때 해석결과는 <그림 2.29>에 나타나내었다. 해석 결과 두께 30mm 모델에서 기준치인 최대응력 355MPa 이하, 최대내력 1500ton 이상의 결과가 도출되었다.



<그림 2.29> Ring 위치 7번, Rib-plate 6개



<그림 2.30> Ring 위치 7번, Rib-plate 8개

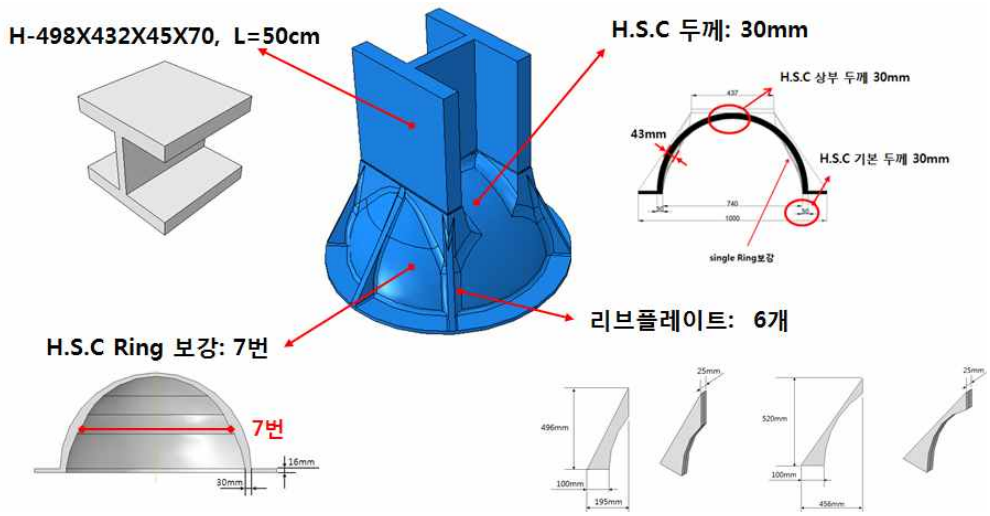
Rib-plate 개수를 8개로 하였을 때 해석 결과는 <그림 2.30>에 나타내었다. 해석 결과 Rib-plate가 6개일 때의 경우와 큰 차이가 없었으며 두께 30mm 모델에서 기준치를 만족함을 확인할 수 있었다.

최적 두께 및 Rib-plate의 개수 판별에 대한 해석 결과를 토대로 기준치를 만족시키는 모델은 Ring 위치 7번, H.S.C 두께 30mm, Rib-plate 6개 일 때의 모델과 Ring 위치 7번, H.S.C 두께 30mm, Rib-plate 8개 일 때의 모델 두 가지이다.

㉰ Prototype 선정

변수별 해석결과에서 기준치를 만족하는 두 가지 모델을 HAT_TH30_R6과 HAT_TH30_R8이라고 칭하였다. HAT은 HAT Joint를 나타내고 TH30은 H.S.C의 두께, R6과 R8은 각각 Rib-plate의 개수를 나타낸다.

HAT_TH30_R6과 HAT_TH30_R8 중 최적 HAT Joint의 Prototype은 HAT_TH30_R6으로 정하였다. 두 모델의 하중을 비교하였을 때 HAT_TH30_R6 은 432kg이고 HAT_TH30_R8은 448kg으로 HAT_TH30_R6모델이 16kg 더 가볍기 때문에 물량에 있어서 보다 더 효율적이다. 최적 HAT Joint Prototype에 대한 상세를 <그림 2.31>에 나타내었다.



<그림 2.31> H-Type Prototype

② HAT Joint T-Type

내부 보강 링의 위치, H.S.C의 두께, Rib-plate 개수를 변수로 한 총 25개의 모델에 대해 해석 검토하였다.(<표 2.2>)

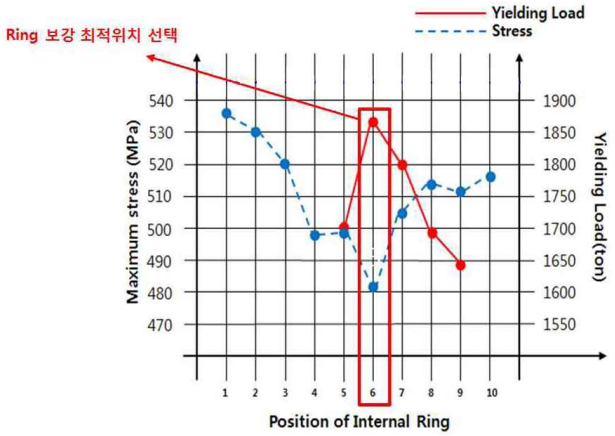
<표 2.2> T-Type 변수 정리

두께(mm)	내부 보강 Ring 위치	모델링
30	1~10번	10개

두께(mm)	Rib-plate 개수			모델링
25	0	-	-	15개
26	0	-	-	
27	0	4	8	
28	0	4	8	
29	0	4	8	
30	0	4	8	
31	-	-	8	

㉮ 최적 링 위치 판별

<그림 2.32>의 HAT-T Joint의 최적 보강 링 위치에 대한 결과를 살펴보면 링 위치 6번에서 응력은 최소이면서 내력은 최대임을 알 수 있다. 이는 링 보강 위치가 6번에서 최적임을 판별할 수 있는 근거가 된다. 그래프의 경향으로 보아 링 1~4번의 위치에서는 최대 내력이 링 6번의 위치에서 보다 높지 않을 것으로 판단되어 해석을 생략하였다.

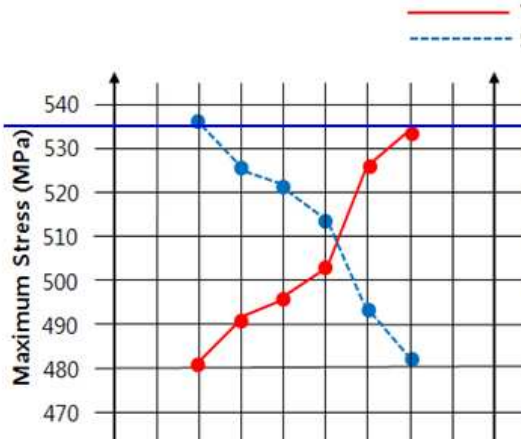


<그림 2.32> HAT-T Joint 최적 링 위치 해석결과

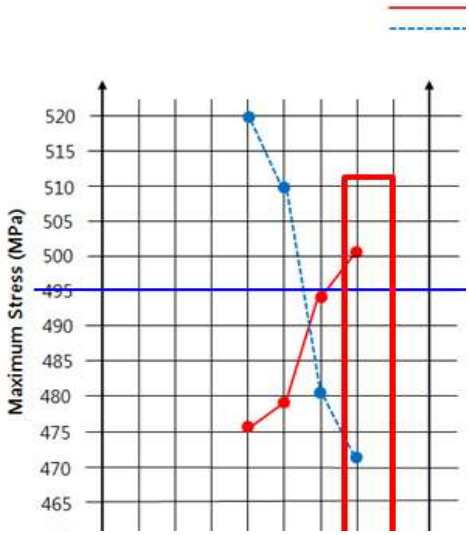
㉯ 최적 두께 및 리브의 개수별 해석결과

링의 위치는 6번을 기본으로 하며, 리브의 개수를 0, 4, 8개로 변화시키고 각각의 경우 두께를 25mm~30mm까지 늘려감에 따라 변화하는 응력과 최대내력에 대하여 나타내었다.

링의 위치를 6번으로 하고 리브가 없는 경우에 대한 해석결과는 <그림 2.33>에 나타내었다. 두께가 증가함에 따라 최대응력은 537MPa에서 482MPa까지 감소함을 확인할 수 있고 최대내력은 1600ton에서 1870ton까지 증가함을 확인할 수 있다. 위의 결과는 최대응력이 390MPa를 초과하며 내력역시 1875ton에 못 미치는 결과로써 추가적인 리브의 활용이 필요함을 확인할 수 있다.



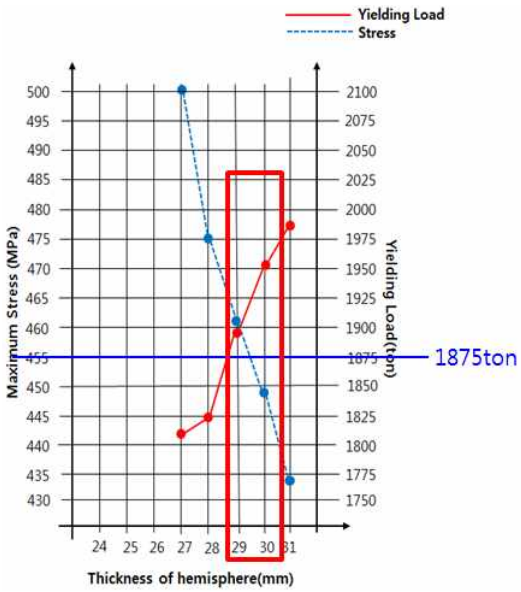
<그림 2.33> 링위치 6번,
리브 없음 해석결과



<그림 2.34> 링위치 6번,
리브 4개 해석결과

링의 위치를 6번으로 하고 리브가 4개인 경우에 대한 해석결과는 H.S.C단면의 두께를 27mm~30mm까지 변수로 두어 해석하였다. 이는 <그림 2.33>의 리브가 없는 경우의 해석결과를 바탕으로 두께가 얇아질 경우 응력은 증가하고 내력은 감소함을 확인할 수 있었고 27mm이하의 두께를 갖는 모델은 최적두께와 최적 리브개수에 판별에 영향을 끼치지 못한다고 판단하여 해석을 진행하지 않았다.

<그림 2.34>에서 링 위치 6번, 리브 4개의 모델은 두께 30mm일 경우 최대내력이 1875ton 이상의 내력을 나타냄을 확인할 수 있었다. 하지만 최대응력이 390MPa를 초과하였다. 내력은 충분하지만 응력이 과다하게 발생하여 Prototype으로 선정하기에는 무리가 있다고 판단하였다.



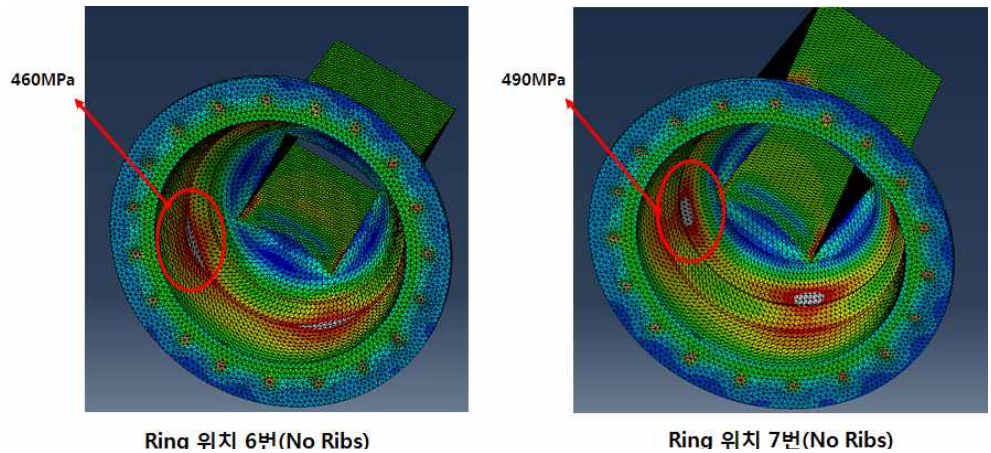
<그림 2.35> 링위치 6번, 리브 8개 해석결과

<그림 2.35>은 링의 위치를 6번으로 하고 리브가 8개인 경우에 대한 해석결과를 나태내었다. <그림 2.34>]의 리브가 4개인 경우와 다르게 H.S.C 단면의 두께를 27mm~31mm까지 해석하였다. 추가적으로 31mm를 해석한 이유는 링 위치 6번, 리브 8개, H.S.C 단면의 두께

30mm의 결과가 최대 내력은 1875ton을 이상의 내력을 나타내지만 최대응력에 있어서 390MPa를 초과하는 결과가 나타났다 이를 제어하기 위해 추가적으로 H.S.C 단면의 두께 31mm를 추가적으로 진행하였으나 이 역시 390MPa를 초과하는 결과를 나타내었다.

위 결과를 토대로 판단하면 링위치 6번, 리브 8개, H.S.C 단면의 두께 31mm의 경우도 Prototype에 적합하지 않다고 판단하여 링의 최적위치를 조금 더 정확하게 판별하고 응력집중이 과도한 부분을 수정한 모델을 추가적으로 해석하였다.

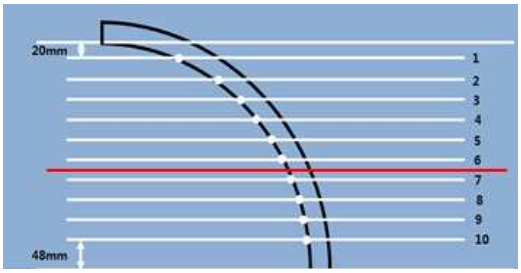
<그림 2.36>에서 링 보강위치 6번의 해석결과와 7번의 해석결과를 살펴보면 링이 6번 위치에 있는 경우 링보다 아래에서 최대응력이 발생함을 확인할 수 있고 링이 7번 위치에 있는 경우 링보다 윗부분에서 최대응력이 발생함을 확인할 수 있다.

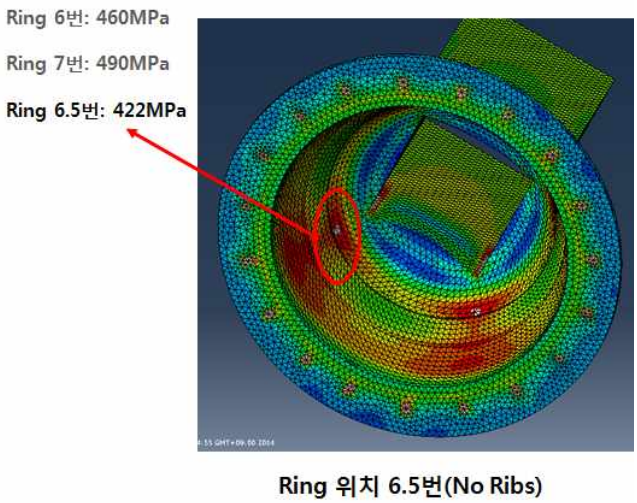


(a) 링위치 6번 해석결과 (b) 링위치 7번 해석결과

<그림 2.36> 링 위치 별 해석결과

추가적인 해석을 통하여 보다 정확한 링 보강위치를 판별하기 위하여 6번과 7번 사이로 링 위치를 변경하여 추가적인해석을 수행하였다. 그 결과는 아래 <그림 2.37>에 나타내었다.





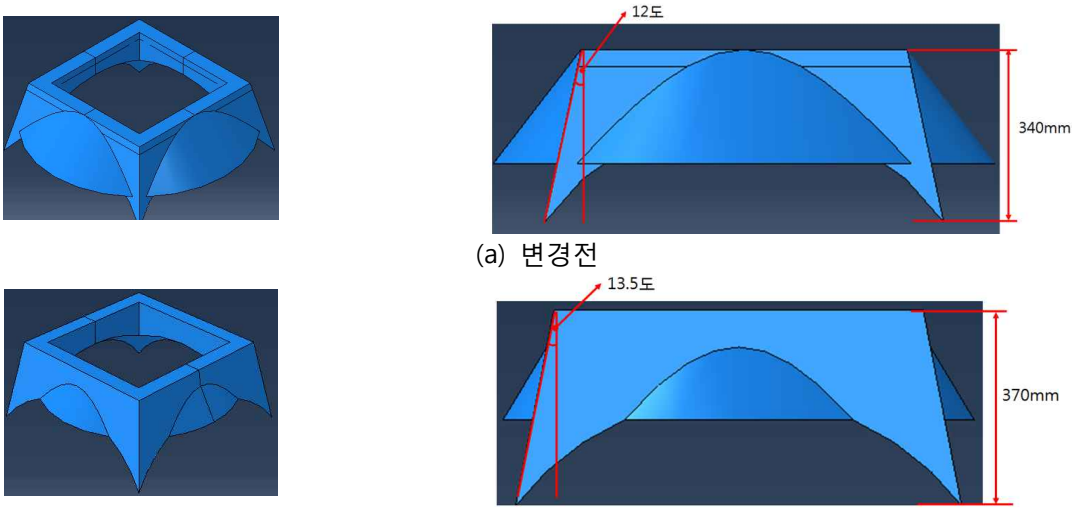
<그림 2.37> 링 위치 6.5번 해석결과

해석결과 링 6번과 링 7보다 38MPa~68MPa낮은 422MPa의 응력이 발생함을 확인할 수 있었고 이는 링 보강 최적의 위치는 6.5번임을 판단할 수 있는 근거 자료이다.

㉱ 형상 변경 및 곡률 변화

해석결과 최대응력은 각형강관기둥과 T.C가 접합하는 구간에서 발생함을 알 수 있었다. 이러한 최대응력은 응력집중현상에 의해 발생하게 되고 이러한 응력집중현상을 해소시킴으로써 최적의 Prototype을 제안할 수 있다고 판단하였다.

아래 <그림 2.38>은 변경전 T.C와 변경후의 T.C를 나타 내었다. 응력집중을 해소하기 위해 T.C가 이루는 각도를 1.5도 증가시켰으며 높이는 약 30mm 증가 시켰다.



(a) 변경전

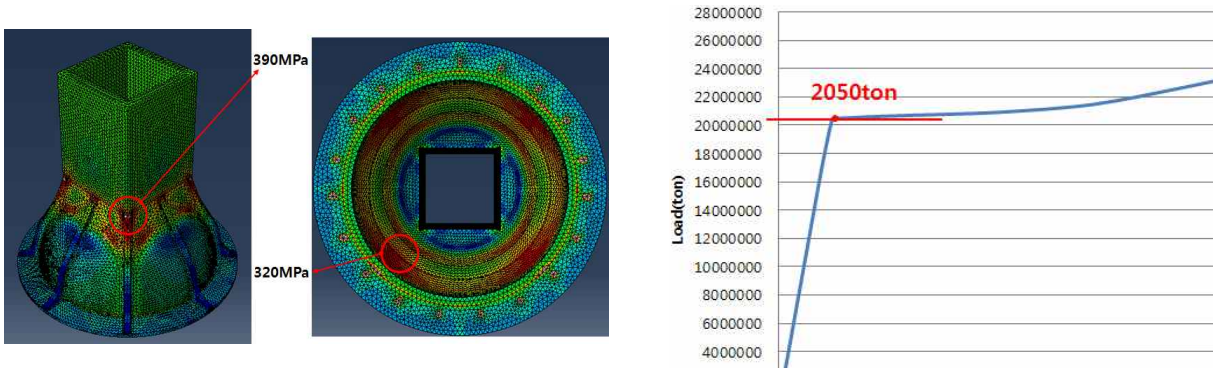
(b)변경 후

<그림 2.38> T.C 형상 변화

㉲ 해석 결과

리브플레이트의 형상과, T.C의 형상을 변화 시켜 해석한 결과를 아래 <그림 2.39>에 나타내었다. <그림 2.39(a)>는 최대 응력을 나타내고 있으며 <그림 2.39(b)>는 하중-변위 그래프를 나타내고 있다.

최대 응력은 390MPa 이하로 측정되었으며, 최대내력은 2050ton으로 측정되었다. 기준치인 최대응력 390MPa와 최대내력 1875ton에 알맞은 모델임을 확인할 수 있다.



(a) 응력 그래프 (b) 하중-변위 그래프

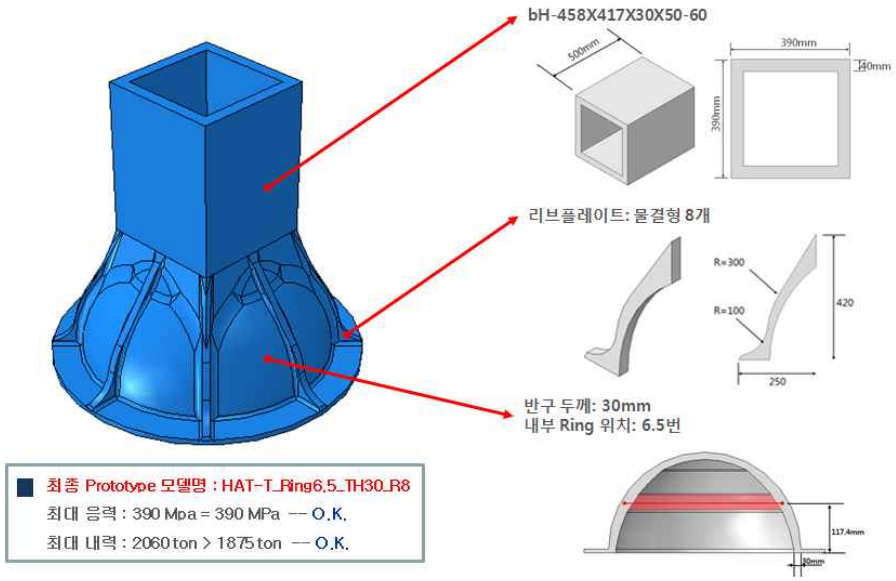
<그림 2.39> HAT-T Joint 추가해석 결과

㉳ Prototype 선정

Prototype 선정은 변수(최적 링의 위치, 최적 두께, 최적 리브의 개수)를 선정하고 이를 토대로 유한요소해석을 통하여 기준치인 최대응력 390MPa이하, 최대내력 1875ton이상인 모델을 최종 Prototype으로 선정하였다.

앞에 나타낸 유한요소 해석 결과를 토대로 선정된 모델은 HAT-T_Ring6_TH30_R6 모델이

다. HAT-T_Ring6_TH30_R6은 최대응력이 390MPa이고 최대내력은 2050ton으로 기준치에 적합하다. HAT-T_Ring6_TH30_R6 모델에 대한 형상 상세는 <그림 2.40>에 나타내었다.



<그림 2.40> T-Type Prototype

③ HAT Joint P-Type

내부 보강 링의 위치, H.S.C의 두께, Rib-plate 개수를 변수로 한 총 28개의 모델에 대해 해석 검토하였다.(<표 2.3>)

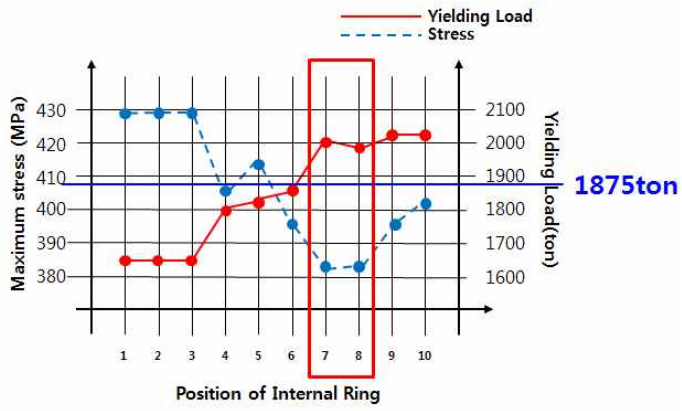
<표 2.3> P-Type 변수 정리

두께(mm)	내부 보강 Ring 위치	모델링
30	1~10번	10개

두께(mm)	Rib-plate 개수			모델링
25	0	6	8	18개
26	0	6	8	
27	0	6	8	
28	0	6	8	
29	0	6	8	
30	0	6	8	

㉮ 최적 링 위치 판별

<그림 2.41> HAT Joint P-Type의 최적 링 위치에 대한 결과를 살펴보면 링 위치 7,8번에서 응력은 최소이면서 내력은 최대임을 알 수 있다. 이는 링 보강 위치가 7번 또는 8번에서 최적임을 판별할 수 있는 근거가 된다. HAT-P Joint의 최적 Ring 위치는 7번으로 선정하였다. 이유는 7번 위치가 8번에 비해 강재 사용량에 있어서 보다 더 경제적이며, 최대내력에 있어서 근소하게 효율이 좋다. 링 위치 1~3번은 H.S.C에서 강관 내부에 해당하는 부분으로 해석결과가 존재하지 않는다. 4번이 5번에 비해 응력 면에서 근소하게 앞서는 이유는 링 4번의 위치가 5번에 비해 기둥과 H.S.C의 만나는 부분의 응력집중현상이 발생하는 부분에 더욱 효율적이기 때문이다. 또한 링 위치 7,8번은 최대응력이 390MPa이하이고 최대내력은 1875ton 이상임을 확인할 수 있다.

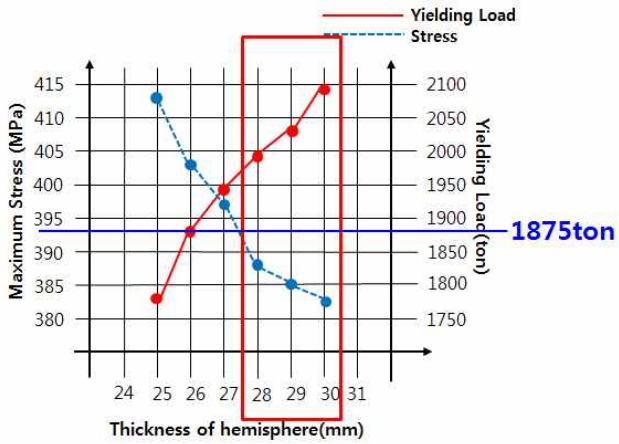


<그림 2.41> P-Type 최적 링 위치 해석 결과

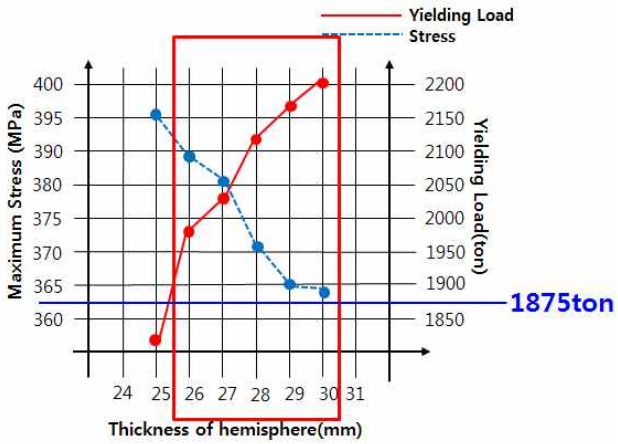
㉰ 최적 두께 및 리브의 개수별 해석결과

아래의 해석결과는 링의 위치는 7번을 기본으로 하며, 리브의 개수를 0, 6, 8개로 변화시키고 각각의 경우 두께를 25mm~30mm까지 늘려감에 따라 변화하는 응력과 내력에 대하여 나타내었다.

링의 위치를 7번으로 하고 리브가 없는 경우에 대한 해석결과는 <그림 2.42>에 나타내었다. 두께가 증가함에 따라 최대응력은 413MPa에서 384MPa까지 감소함을 확인할 수 있고 최대내력은 1775ton에서 2090ton까지 증가함을 확인할 수 있다. 결과에서 기준치를 만족하는 모델은 두께 링위치 7번, 리브 0개, 두께 28mm이상의 모델임을 확인할 수 있다.



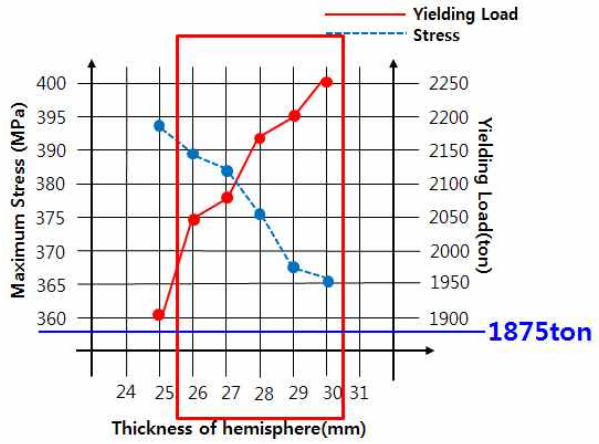
<그림 2.42> 링 위치 7번,
리브 0개 해석 결과



<그림 2.43> 링 위치 7번,
리브 6개 해석 결과

링의 위치를 7번으로 하고 리브가 6개인 경우에 대한 해석결과는 <그림 2.43>에 나타내었다. <그림 2.42>과 마찬가지로 두께가 증가함에 따라 응력은 감소하고 내력은 증가함을 확인할 수 있다. 링 위치 7번 리브 6개의 모델은 두께 26mm이상의 경우 기준치를 만족시킴을 확인할 수 있다.

링의 위치를 7번으로 하고 리브가 8개인 경우에 대한 해석결과는 <그림 2.44>에 나타내었다. 두께 26mm 이상의 경우 기준치를 모두 만족함을 확인할 수 있었으며 <그림 2.43>과 비교했을 때 응력과 내력에 있어서 큰 변화는 찾아볼 수 없었다. 리브의 개수는 6개 이상일 경우 효율적이지 못한 것으로 판단할 수 있다.



<그림 2.44> 링 위치 7번, 리브 8개 해석 결과

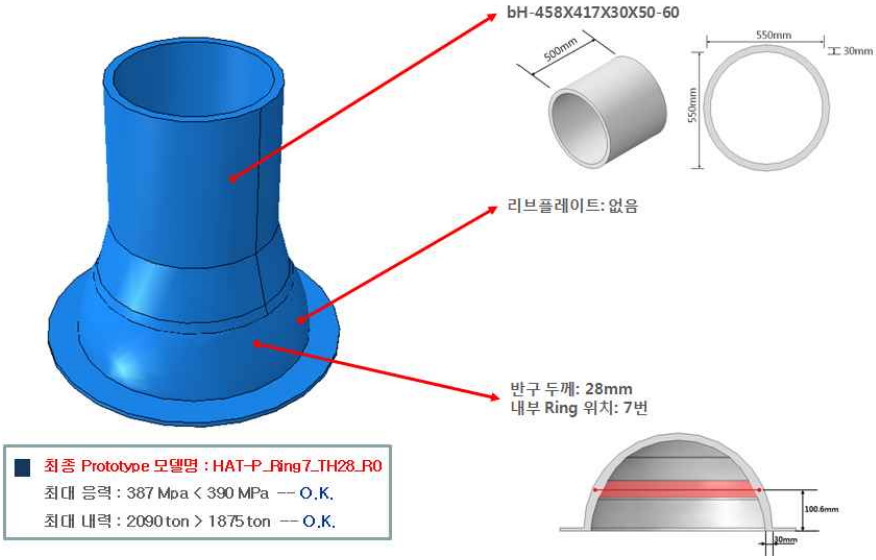
㉱ Prototype 선정

T-Type의 경우 기준치를 만족시키는 모델이 1개인 반면 P-Type은 기준치를 만족하는 모델의 수가 많음으로 기준치를 만족하는 모델 중 사용 강재 사용량이 가장 적은 모델을 Prototype으로 선정하였다. 만족하는 모델별 단위 중량을 <표 2.4>으로 정리하여 나타내었다.

<표 2.4> 모델별 중량 비교

모델명	중량
HAT-P_Ring7_TH28_R0	**323kg**
HAT-P_Ring7_TH29_R0	331kg
HAT-P_Ring7_TH30_R0	340kg
HAT-P_Ring8_TH30_R0	348kg
HAT-P_Ring7_TH26_R6	343kg
HAT-P_Ring7_TH27_R6	350kg
HAT-P_Ring7_TH28_R6	358kg
HAT-P_Ring7_TH29_R6	366kg
HAT-P_Ring7_TH30_R6	374kg
HAT-P_Ring7_TH26_R8	364kg
HAT-P_Ring7_TH27_R8	371kg
HAT-P_Ring7_TH28_R8	379kg
HAT-P_Ring7_TH29_R8	387kg
HAT-P_Ring7_TH30_R8	395kg

위 <표 2.4>에서 보는 바와 같이 HAT-P_Ring7_TH28_R0의 경우 기준치를 만족하며 가장 효율적임을 확인할 수 있다. 따라서 프로토 타입은 HAT-P_Ring7_TH28_R0으로 결정한다. HAT-P_Ring7_TH28_R0에 대한 형상 상세는 <그림 2.45>에 나타내었다.



<그림 2.45> P-Type Prototype

④ HAT Joint K-Type

내부 보강 링의 위치, H.S.C의 두께, Rib-plate 개수를 변수로 한 총 28개의 모델에 대해 해석 검토하였다.(<표 2.5>)

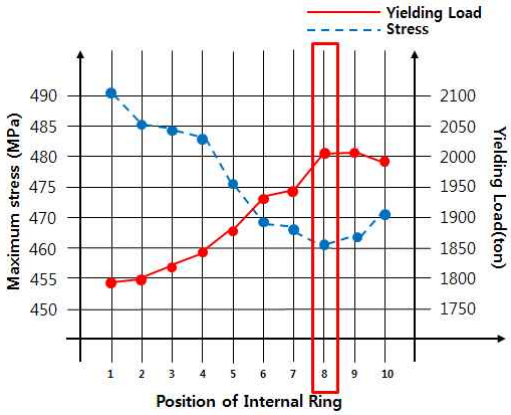
<표 2.5> K-Type 변수 정리

두께(mm)	내부 보강 Ring 위치	모델링
30	1~10번	10개

두께(mm)	Rib-plate 개수			모델링
25	0	6	8	18개
26	0	6	8	
27	0	6	8	
28	0	6	8	
29	0	6	8	
30	0	6	8	

㉮ 최적 링 위치 판별

<그림 2.46>의 HAT-K Joint의 최적 링 위치에 대한 결과를 살펴보면 링 위치 8번에서 응력은 최소이면서 내력은 최대임을 알 수 있다. 이는 링 보강 위치가 8번에서 최적임을 판별할 수 있는 근거가 된다. HAT-K Joint의 최적 Ring 위치는 8번으로 선정하였다.

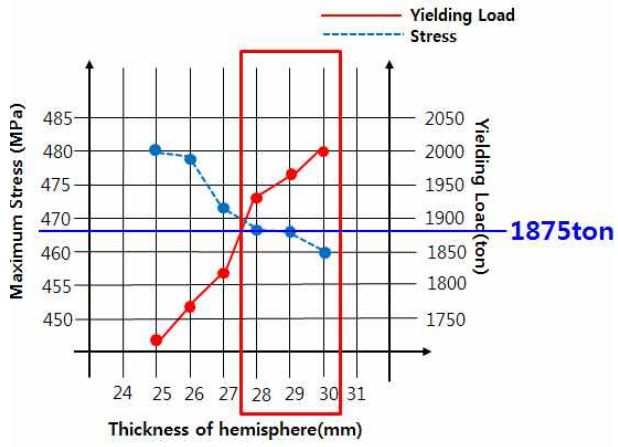


<그림 2.46> HAT-K Joint 최적 링 위치

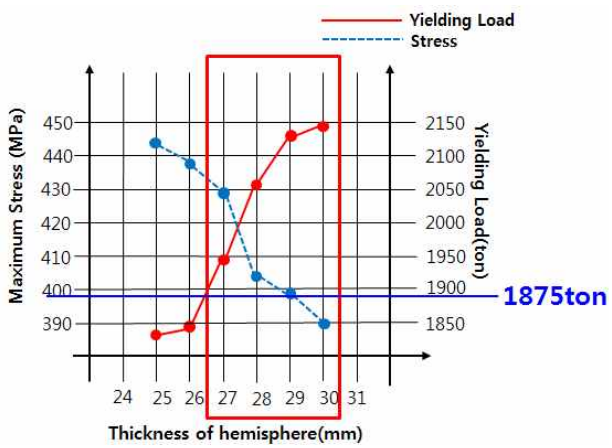
㉰ 최적 두께 및 리브의 개수별 해석결과

아래의 해석결과는 링의 위치는 8번을 기본으로 하며, 리브의 개수를 0, 6, 8개로 변화시키고 각각의 경우 두께를 25mm~30mm까지 늘려감에 따라 변화하는 응력과 내력에 대하여 나타내었다.

링의 위치를 8번으로 하고 리브가 없는 경우에 대한 해석결과는 <그림 2.47>에 나타내었다. 두께가 증가함에 따라 최대응력은 480MPa에서 460MPa까지 감소함을 확인할 수 있고 최대내력은 1725ton에서 2000ton까지 증가함을 확인할 수 있다. 결과에서 기준치인 응력 390MPa 이하인 모델은 존재하지 않고 내력 1875ton 이상인 모델은 두께 28mm~30mm의 모델이다. 리브를 추가하여 최대응력을 390MPa 이하가 되는 모델을 찾는데 중점을 둔다.



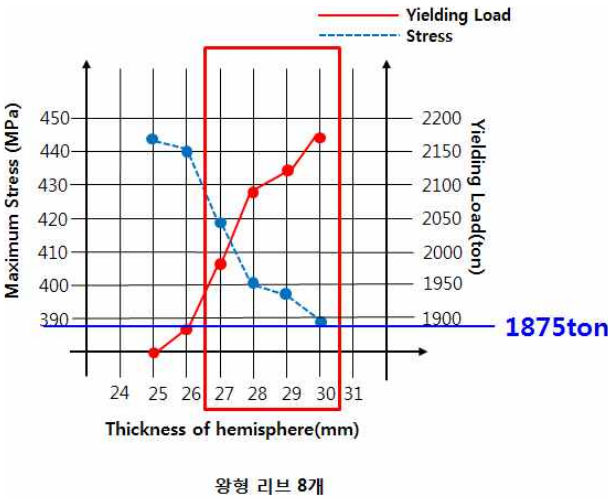
<그림 2.47> 링 위치 8번,
리브 0개 해석 결과



<그림 2.48> 링 위치 8번,
리브 6개 해석 결과

링의 위치를 8번으로 하고 리브가 6개인 경우에 대한 해석결과는 <그림 2.48>에 나타내었다. <그림 2.47>과 마찬가지로 두께가 증가함에 따라 응력은 감소하고 내력은 증가함을 확인할 수 있으며, 링 위치 8번 리브 6개의 모델은 두께 30mm의 경우 기준치를 만족한다.

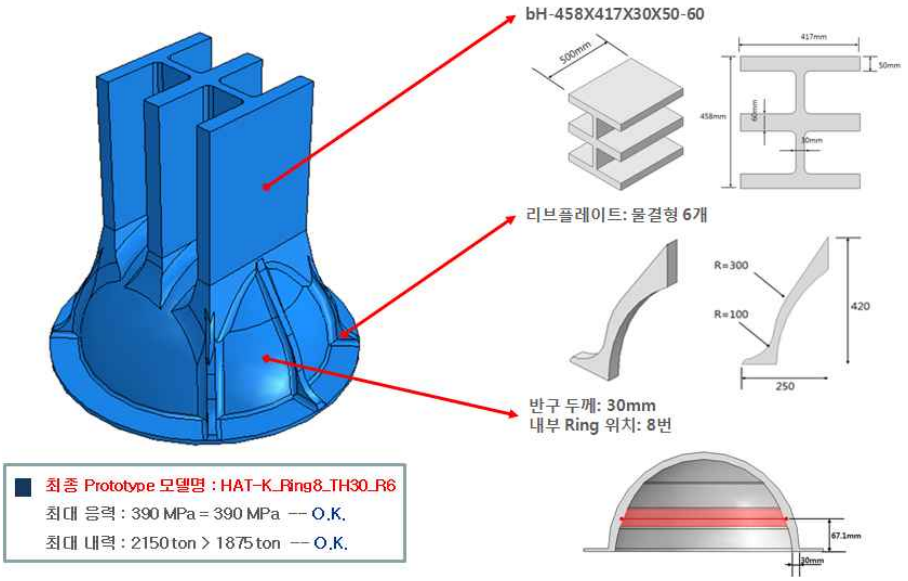
링의 위치를 8번으로 하고 리브가 8개인 경우에 대한 해석결과는 <그림 2.49>에 나타내었다. 두께 30mm경우 기준치를 모두 만족함을 확인할 수 있었으며 <그림 2.48>과 비교했을 때 응력과 내력에 있어서 큰 차이점은 없다. 리브의 개수는 6개 이상일 경우 최대내력과 최대응력에 큰 영향을 끼치지 못하므로 효율적이지 못한 것으로 판단할 수 있다.



<그림 2.49> 링 위치 8번, 리브 8개 해석 결과

㉰ Prototype 선정

HAT-K Joint는 기준치를 만족시키는 모델이 HAT-K_Ring8_TH30_R6모델과 HAT-K_Ring8_TH30_R8모델 두 가지 이다. 하지만 해석 결과를 토대로 리브가 6개일 경우와 8개일 경우 큰 차이는 없으나 사용 강재 사용량에서 리브가 6개일 경우가 8개일 경우에 비해 더 효율적이므로 최종 Prototype은 HAT-K_Ring8_TH30_R6모델로 선정한다. HAT-K_Ring8_TH28_R6에 대한 형상 상세는 <그림 2.50>에 나타내었다.



<그림 2.50> K-Type Prototype

(2) 구조성능평가를 통한 프로토타입 검증

(가) 구조성능평가 개요

유한요소해석을 통해 HAT Joint H, T, P, K-Type의 프로토타입을 도출하였다. H-Type의 경우 1차년도 연구를 통해 구조성능평가가 이루어졌으며, 2차년도 연구 시 T, P, K-Type에 대한 검증이 이루어졌다.

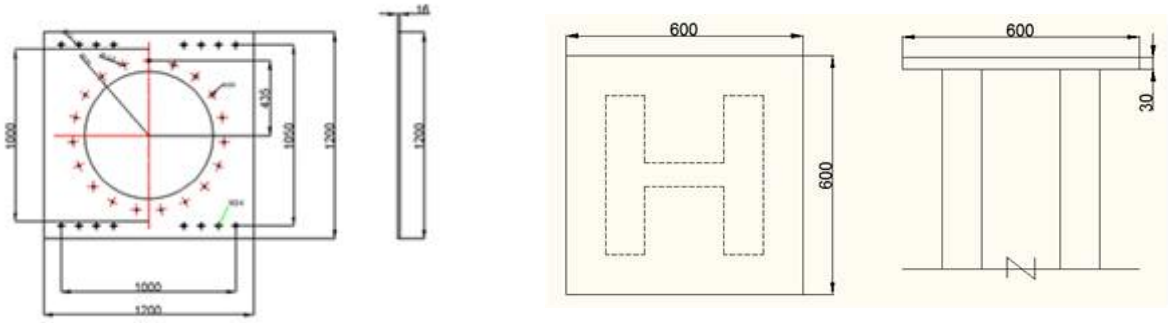
HAT Joint 실험체는 (주)삼영엠텍에서 제작되었으며, 삼영 제2공장에서 보유한 Actuator를 이용해 실험이 진행되었다.

구조성능평가는 PHC 파일의 허용 축하중과 안전율을 고려한 1,875ton이상의 압축내력에 대한 저항 성능을 검증하는데 중점을 두었으며 Strain Gauge를 통하여 볼트에 작용하는 전단력 측정, Rib-plate의 효율성, 내부 Ring 보강 위치의 타당성 등을 검증하였다.

(나) 가력계획

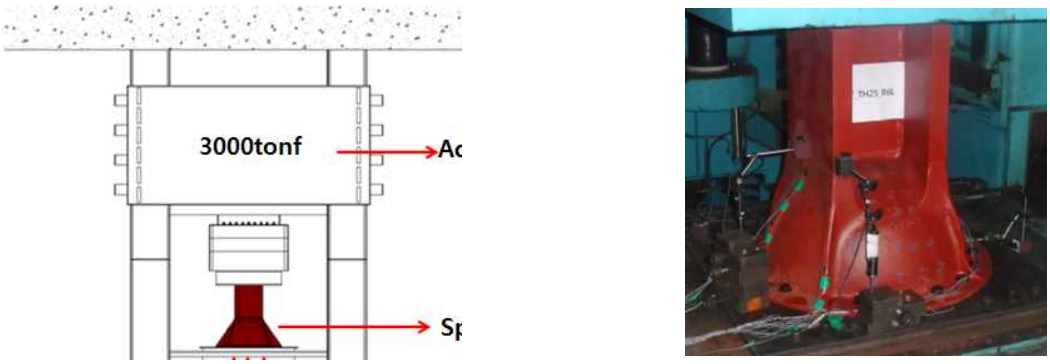
HAT Joint를 Actuator에 고정하기 위해서 <그림 2.51(a)>와 같은 하부 고정판을 제작하여 Actuator와 완전히 결합한다. <그림 2.51(b)>와 같은 가력판을 시험체 상부에 위치하여 시험체와 Actuator의 파괴를 막고 하중이 균일하게 인가될 수 있도록 배치한다. 하부 고정판은 직경 1000mm PHC 파일의 선단캡과 동일한 두께와 위치에 볼트구멍을 가지도록 하여 실제 PHC 파일과 결합하였을 경우와 최대한 유사한 거동을 할 수 있도록 하였다.

<그림 2.52(a)>는 실험체 가력에 대한 개념도를 보여주고 있으며 <그림 2.52(b)>에 제작된 HAT Joint를 Actuator에 설치한 사진을 나타내고 있다. 가력은 0.5mm/sec(1차년도), 0.05mm/sec(2차년도)의 속력으로 변위제어로써 진행되었다.



(a) 하부 고정판 (b) 상부 가력판

<그림 2.51> 시험체 고정판 도면



(a) 실험체 가력 개념도 (b) 실험체 세팅 사진

<그림 2.52> 실험체 가력 계획

(다) 측정계획

① Strain Gauge 측정 계획

대칭이 되는 동일한 위치에 여러 개의 Strain gauge를 설치하여 실험체 보강의 타당성 및 실험체의 효율적인 응력분포를 확인하고자 하였다.

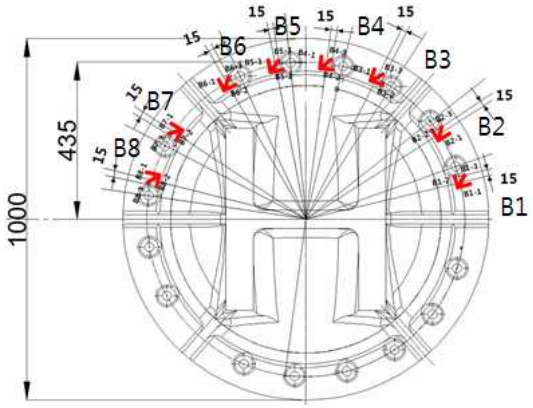
<그림 2.53(a)>, <그림 2.54(a)>, <그림 2.55(a)>, <그림 2.56(a)>에서는 H.S.C 볼트 구멍 근처에 설치한 게이지 B의 위치를 보여준다. 볼트에 작용하는 Strain의 방향성에 대해서 정확하게 판단하기 어려워 3축게이지를 부착하여 해석결과와 비교할 수 있도록 하였다.

유한요소 해석결과 가장 큰 응력이 집중되는 B2, B7과 응력이 적게 걸리는 B1, B3, B4, B5, B6, B8의 변형률을 비교하여 기둥에서 전달되는 하중이 특정부분에 집중됨 없이 적절하게 분산되는지 확인하고자 하였다.

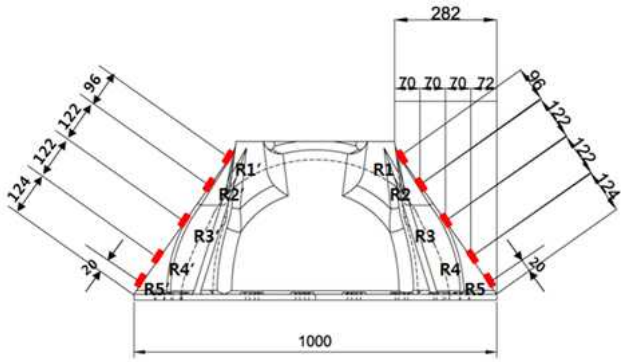
<그림 2.53(b)>, <그림 2.54(b)>, <그림 2.55(b)>, <그림 2.56(b)>에서는 Rib-plate에 설치한 게이지 R(P-Type의 경우 반구 측면인 게이지 S)를 표시하였다. Rib-plate는 상부의 하중에 대해 수직 방향으로 변형이 많이 일어날 것으로 판단하였고 Rib-plate의 역할 역시 상부의 하중을 수직방향으로 하부로 전달할 수 있도록 설계 되었으므로 수직방향을 측정하는 것을 기본으로 1축 게이지를 부착하였다.

<그림 2.53(c)>, <그림 2.54(c)>, <그림 2.55(c)>, <그림 2.56(c)>에서는 H.S.C의 내부 보강 Ring에 대한 타당성을 확인하기 위한 게이지 C의 위치를 나타내고 있다. 내부 보강 Ring의 타당성을 검증하기 위해 상부 하중에 따라 발생하는 Load path를 해석을 통하여 확인하였고 이 Load path를 따라서 1축 게이지를 부착하였다. 타당성에 대한 검증은 해석 시 확인된 응

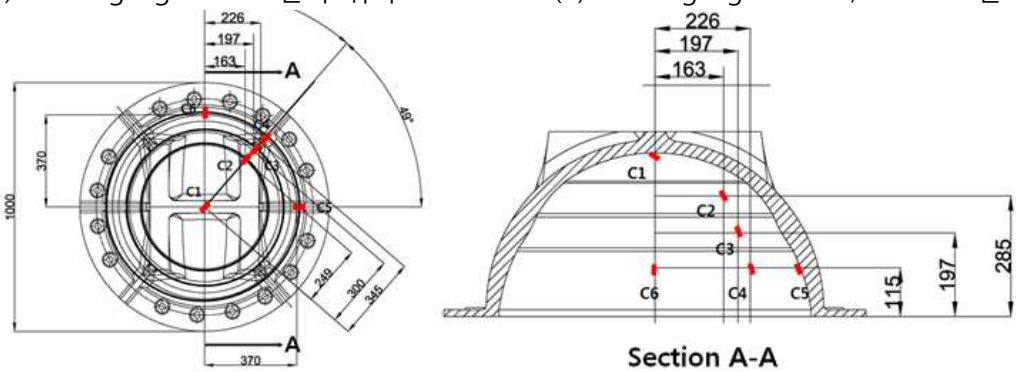
력집중현상이 발생하는 부분의 게이지인 C3게이지와 C1, C2, C4, C5, C6의 게이지 값을 비교하여 적절한 위치에 Ring 보강이 되었는지에 대하여 판단하고자 하였다.



(a) Strain gauge B1~B8설치 위치

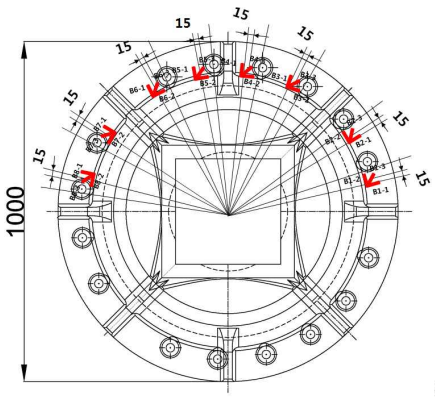


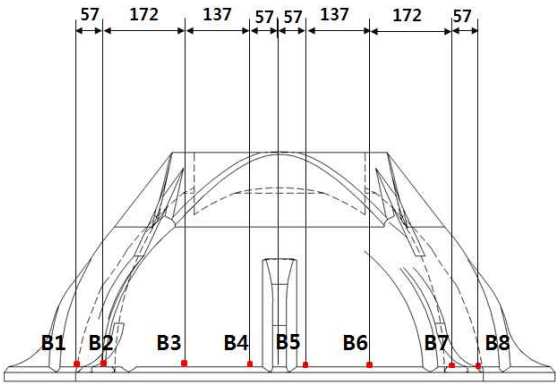
(b) Strain gauge R1~R5, R1′~R5′ 설치 위치



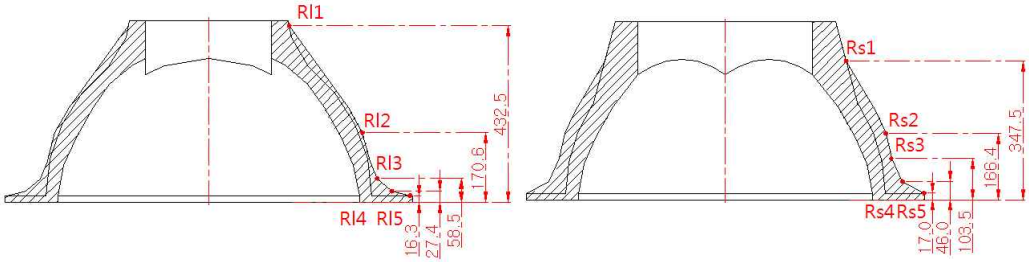
(c) Strain gauge C1~C6 설치 위치

<그림 2.53> H-Type Strain gauge 설치 계획

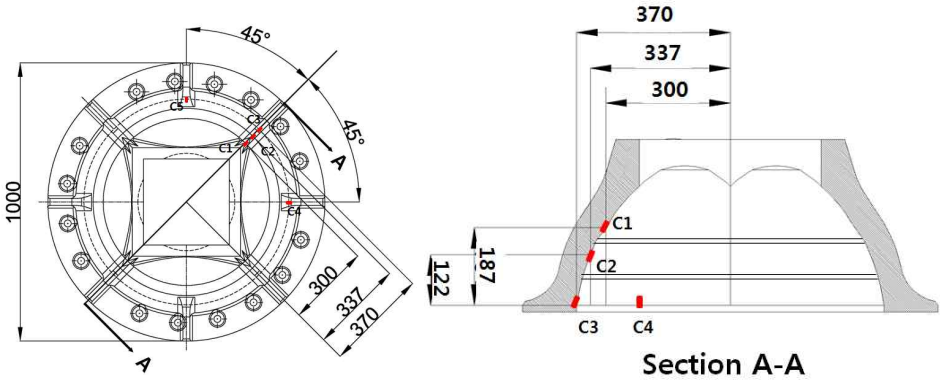




(a) Strain Gauge B1~B8설치 위치

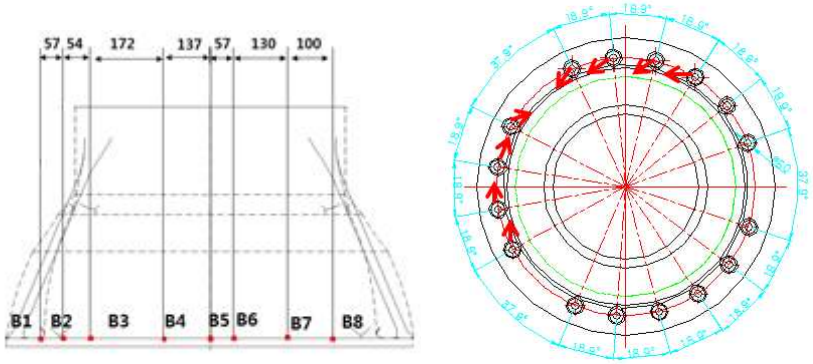


(b) Strain Gauge Rs1~Rs5, Rl1~Rl5설치 위치

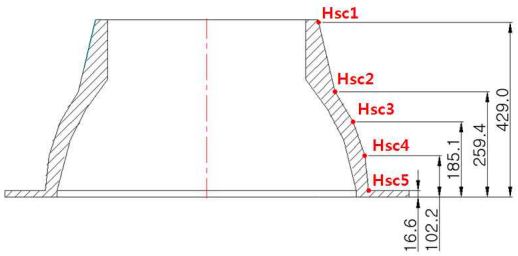


(c) Strain Gauge C1~C5설치 위치

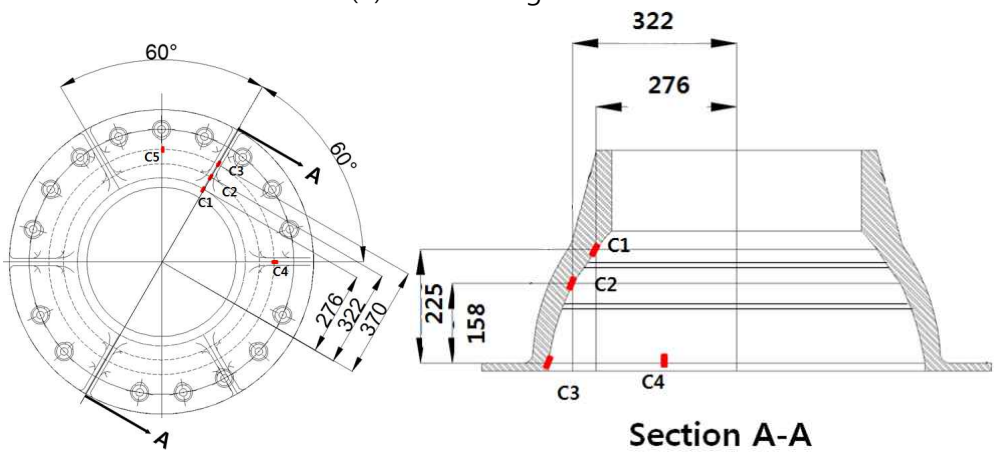
<그림 2.54> T-Type Strain Gauge 측정 계획



(a) Strain Gauge B1~B8설치 위치

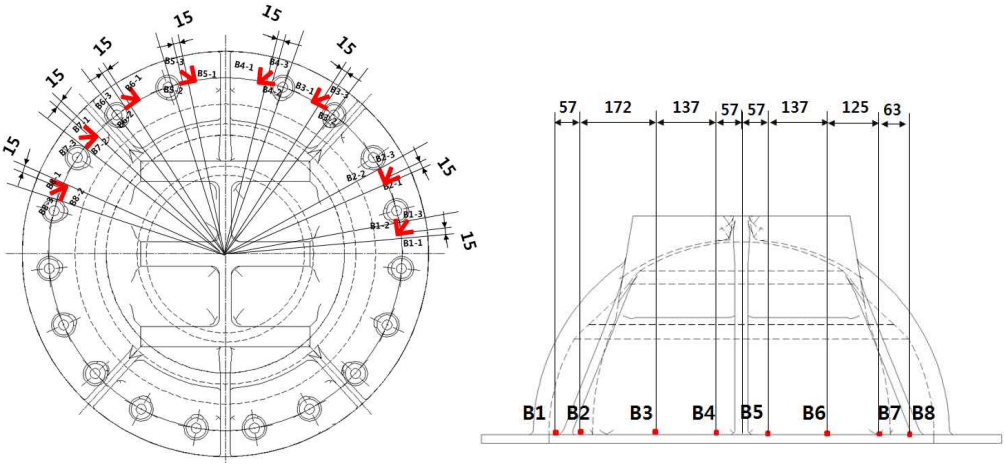


(b) Strain Gauge S1~S5

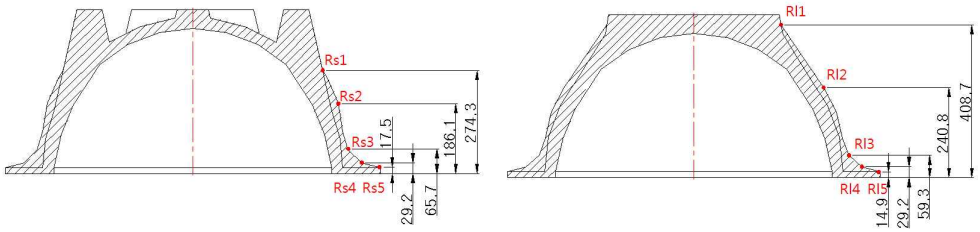


(c) Strain Gauge C1~C5설치 위치

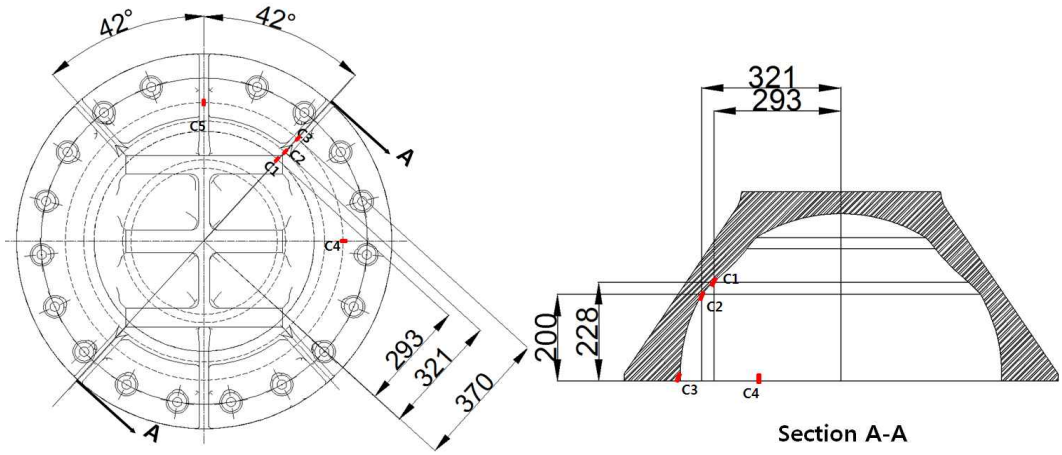
<그림 2.55> P-Type Strain Gauge 측정 계획



(a) Strain Gauge B1~B8설치 위치



(b) Strain Gauge S1~S5



(c) Strain Gauge C1~C5설치 위치

<그림 2.56> K-Type Strain Gauge 측정 계획

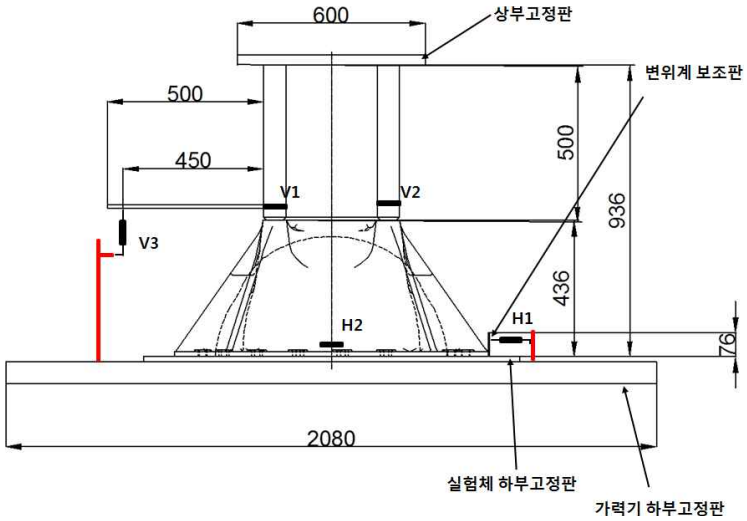
② 변위계 측정 계획

변위계는 실험체의 전체적인 변위와 주요지점의 변위를 파악하여 구조물의 전체 강성을 확인하고, 실험체의 위험 지점을 확인하고자 하였다.

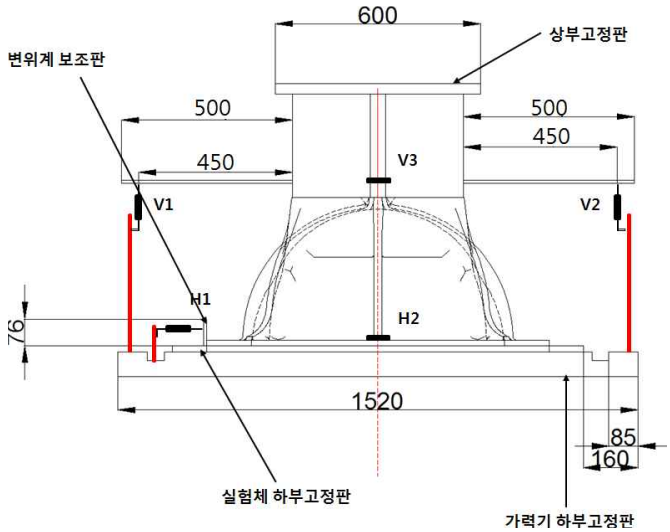
변위계 (V1), (V2), (V3)는 HAT Joint의 전체의 수직변위를 측정하기 위해서 설치되었다. (V1)과 (V2)는 서로 대칭으로 설치하였으며, 이는 두 곳의 수직변위를 측정하여 평균을 내기 위함이다. (V3)의 위치는 H형강의 플랜지 끝부분에 위치한 (V1), (V2)와는 다르게 플랜지의 중간이자 웹의 끝부분으로써 H형강 기둥에서 HAT Joint로 하중이 치우침 없이 일정하게 전달되는지 여부를 확인하고자 설치하였다.

(H1), (H2) 변위계는 H.S.C의 수평 변위를 측정하기 위해 설치하였다. (H1)은 수평변위가 가장 클 것으로 예상되는 부분에 설치하였으며, 이와 비교하기 위해 (H2)는 수평변위가 가장

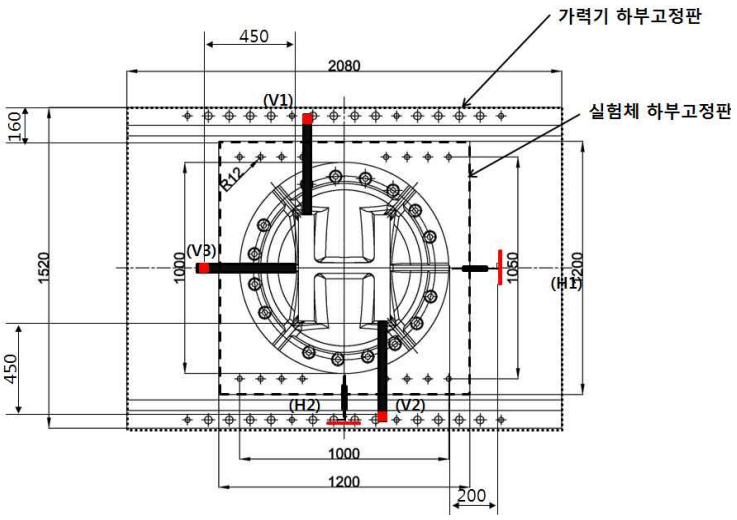
작을 것으로 예상되는 부분에 설치하였다. 변위계의 위치는 <그림 2.57>, <그림 2.58>, <그림 2.59>, <그림 2.60>에 나타내었다(<그림 2.61> 변위계 설치 사진).



(a) 변위계 측정위치 정면도

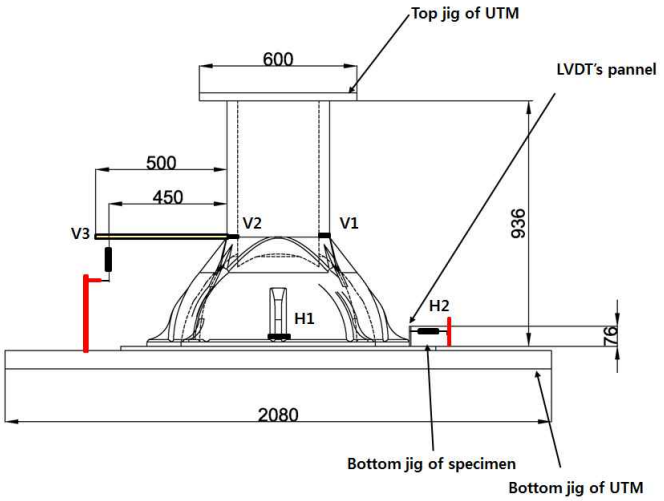


(b) 변위계 측정위치 측면도

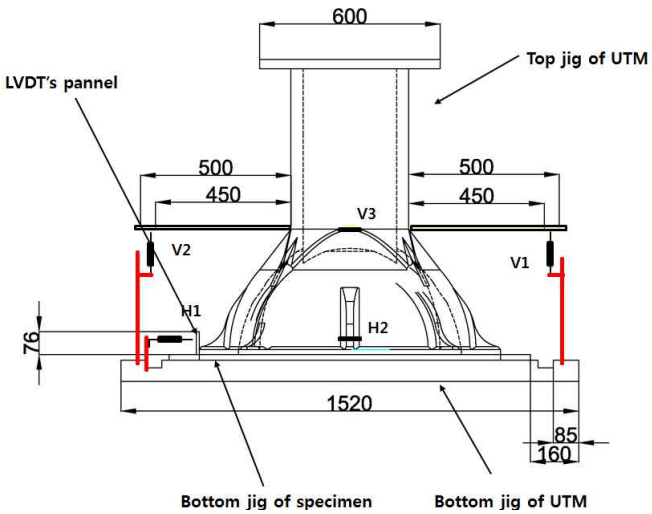


(c) 변위계 측정위치 평면도

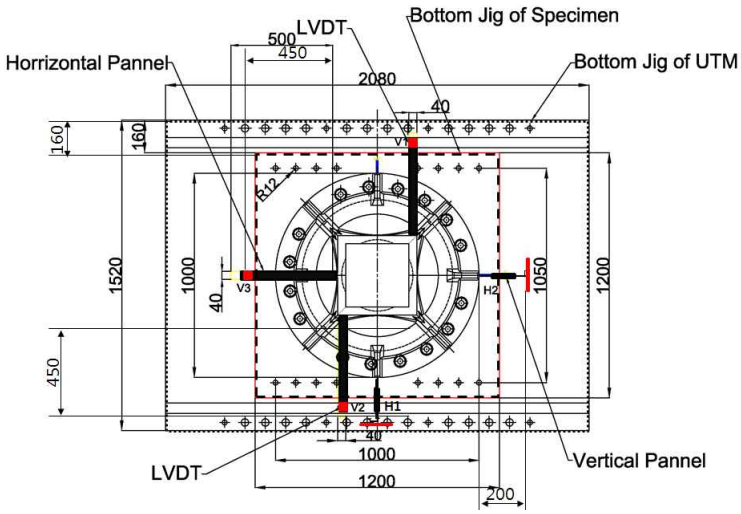
<그림 2.57> H-Type 변위계 측정 계획



(a) 변위계 측정위치 정면도

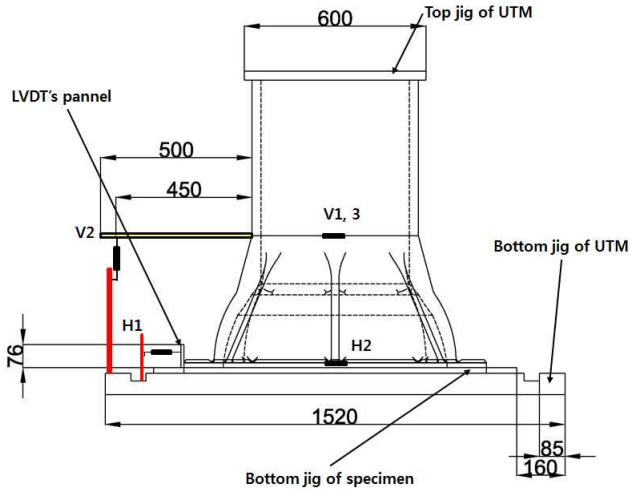


(b) 변위계 측정위치 측면도

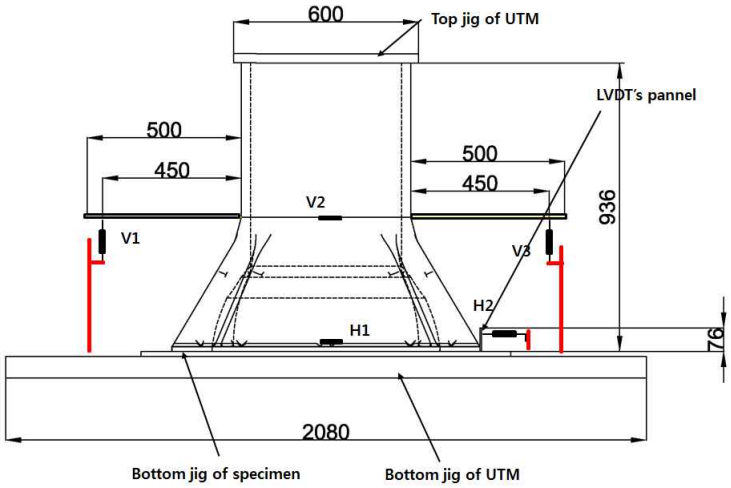


(c) 변위계 측정위치 평면도

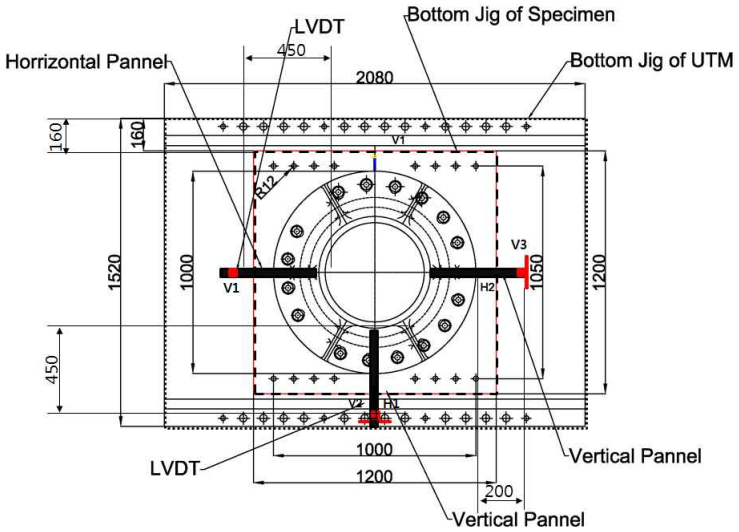
<그림 2.58> T-Type 변위계 측정 계획



(a) 변위계 측정위치 정면도

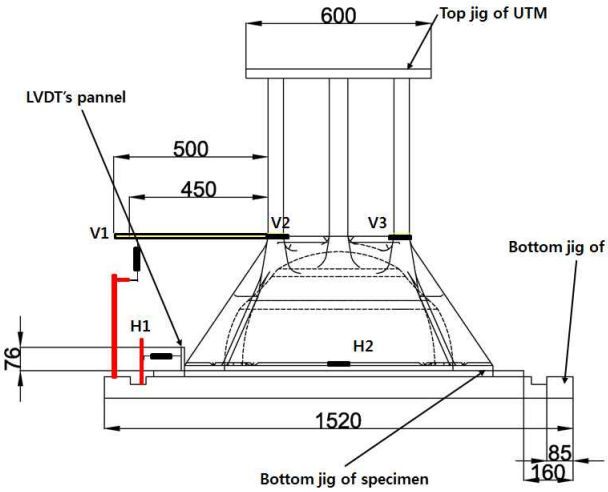


(b) 변위계 측정위치 측면도

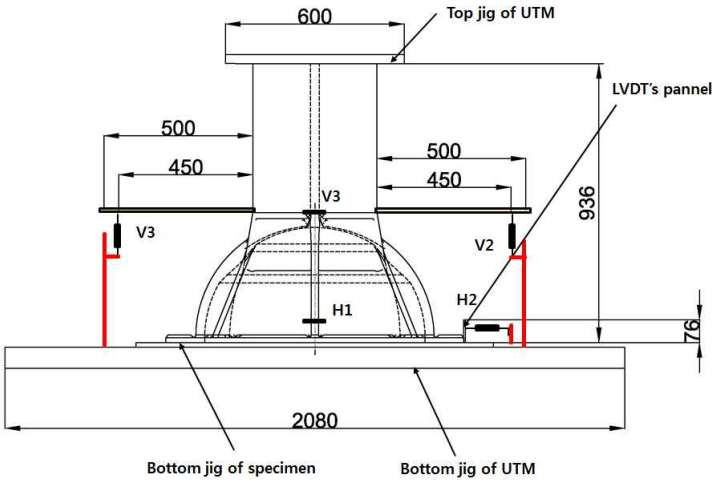


(c) 변위계 측정위치 평면도

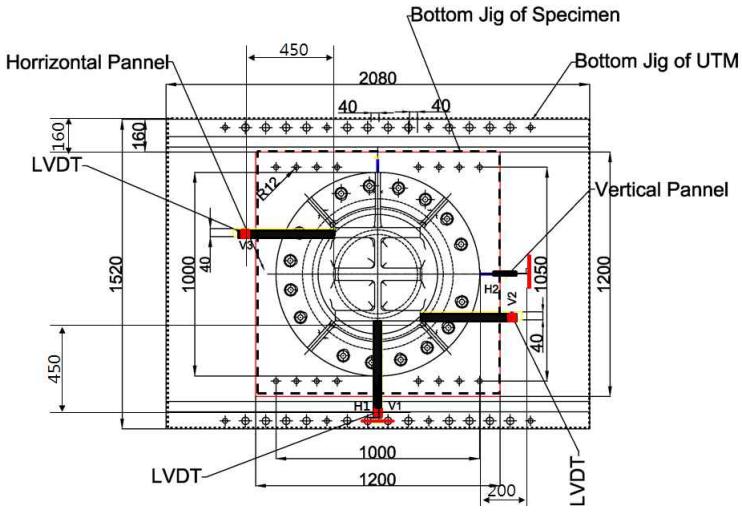
<그림 2.59> P-Type 변위계 측정 계획



(a) 변위계 측정위치 정면도

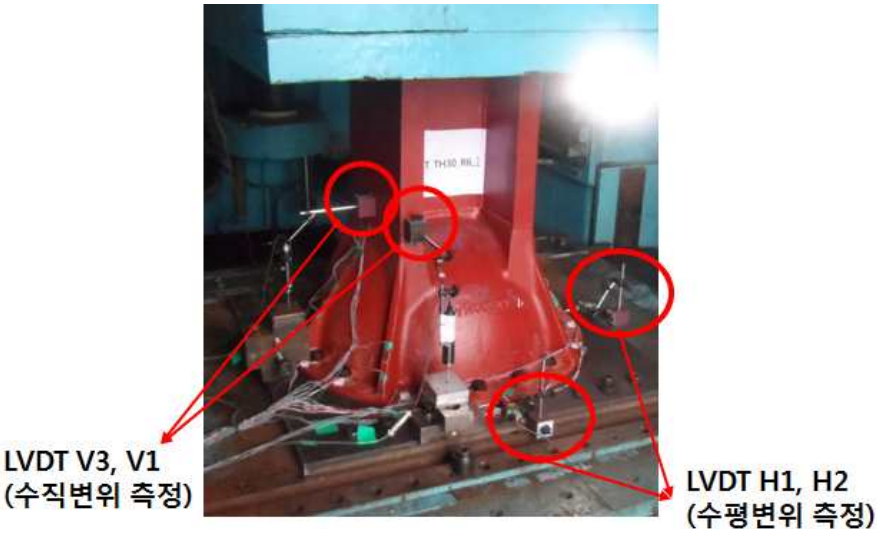


(b) 변위계 측정위치 측면도



(c) 변위계 측정위치 평면도

<그림 2.60> K-Type 변위계 측정 계획



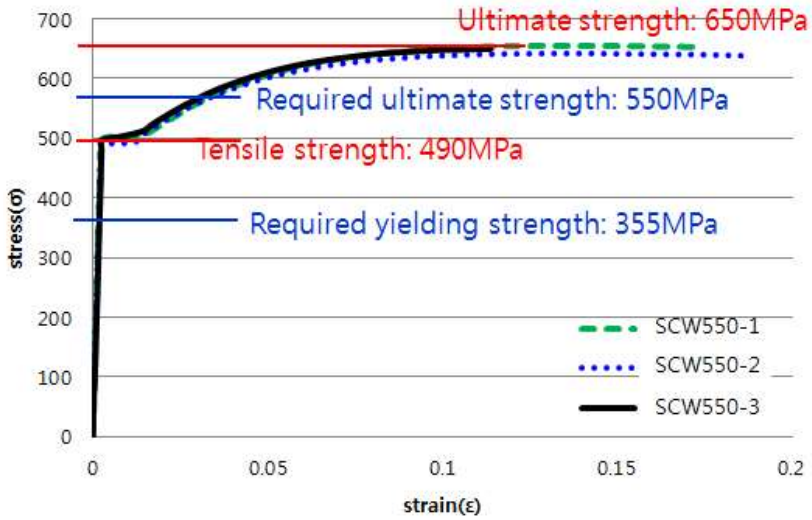
<그림 2.61> 변위계 설치 사진

(라) 실험결과 및 분석

① 재료실험 결과

㉮ H-Type(1차년도)

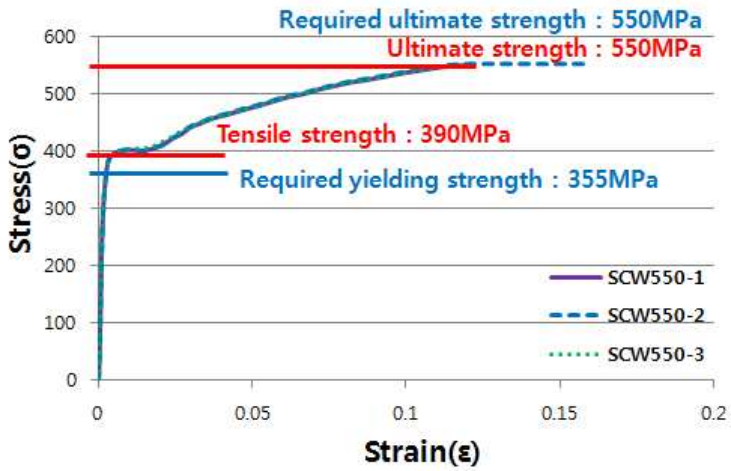
실험체 제작에 사용된 강재는 SCW550이며 실험결과는 아래 <그림 2.62>에 나타내었다. 재료 실험 결과 SCW 550의 실험 항복강도는 490MPa로 측정되었고, 실험 극한강도는 550MPa로 측정되었다. 이 값은 SCW550의 설계 항복강도 355MPa, 설계 극한강도 490MPa를 훨씬 웃도는 결과 값이다.



<그림 2.62> 1차년도 SCW550 재료 실험 그래프

㉯ T, P, K-Type(2차년도)

실험체 제작에 사용된 강재는 SCW550으로 동일하며 실험 결과는 아래 <그림 2.63>과 같다. 재료 실험 결과 SCW550의 실험 항복강도는 390MPa, 실험 극한강도는 550MPa로 측정되었다.

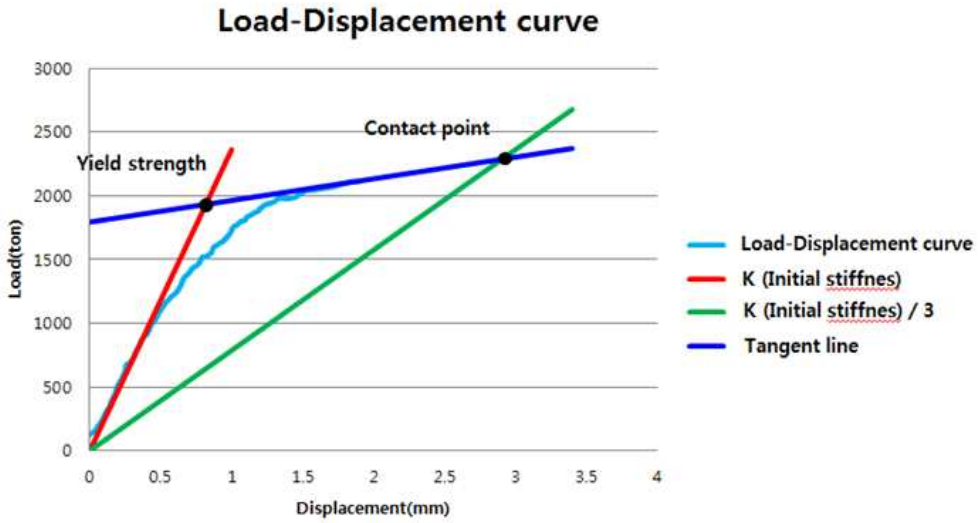


<그림 2.63> 2차년도 SCW550 재료 실험 그래프

② 구조적 거동 및 압축내력

실험은 압축가력을 통해서 실험체의 구조적 성능에 대해서 검증하였다. 구조 실험을 통해서 실험체의 하중-변위 그래프를 그리고 항복점을 규명하여 이 실험체가 우리가 원하는 기준치를 만족하는지에 대해서 검증 하였다.

실험체의 하중-변위 그래프에서 항복점의 규명 방법은 '비정형 Diagrid System의 내진성능평가에 관한 연구, 고창균' 을 참조 하였으며 <그림 2.64>에 나타내었다. 하중-변위 그래프의 초기 강성을 기울기로 갖는 직선과 초기 강성의 1/3을 기울기로 갖는 직선을 그리고 초기 강성의 1/3을 기울기로 갖는 직선과 하중-변위 그래프가 만나는 지점에서의 접선을 그린다. 접선과 초기 강성을 기울기로 갖는 직선과 만나는 점을 항복점으로 규명한다.



<그림 2.64> 항복점의 규명

1차년도의 경우 <그림 2.62>의 재료 실험 결과를 보면 항복강도가 490MPa로 실제 기준치보다 훨씬 높은 값을 갖는 것으로 측정되었다. 따라서 실제 실험체가 사용화 되었을 경우 안전율을 고려하고자 실험체 제작 업체인 삼영엠텍(주)에 의뢰하여 SCW550의 재료 실험 결과 40개의 평균 항복강도를 확인하였고 그때의 평균 항복 강도는 390MPa로 검토 되었다.

충분한 안전율을 고려하고자 항복강도 355MPa일 때의 압축내력 1500ton을 항복강도 390MPa일 때 압축내력 1875ton으로 산정하여 실험체의 타당성에 대해서 검토 하였다.

2차년도는 T, P, K-Type 제작에 사용된 SCW550의 3개의 시편에 대한 실험결과를 <표 2.6>에 정리하였다.

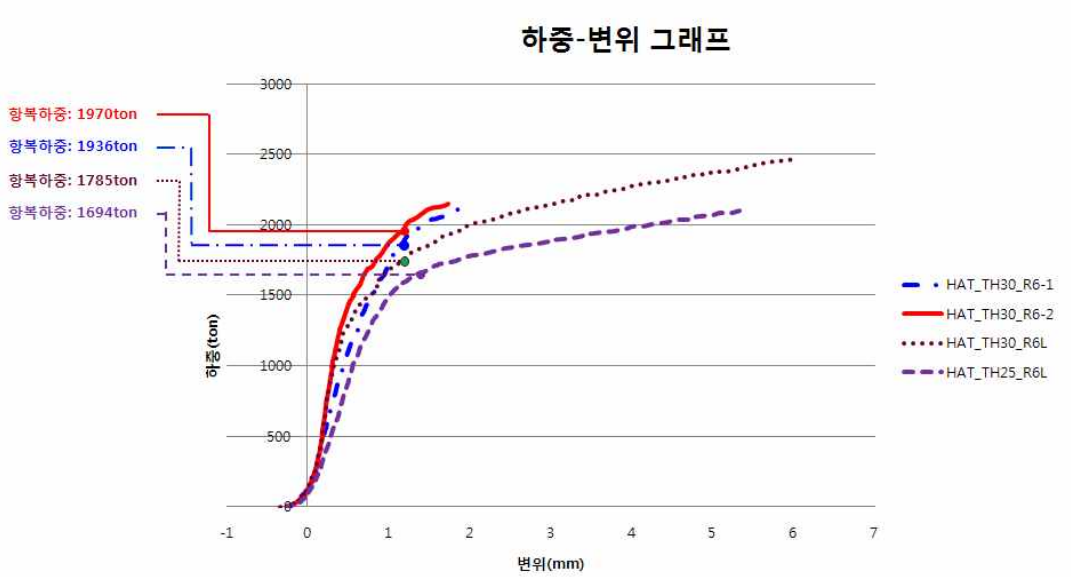
<표 2.6> 2차년도 SCW550 재료 실험 결과

구 분	항복강도 (N/mm²)	인장강도 (N/mm²)
SCW550-1	393.55	558.69
SCW550-2	399.59	563.12
SCW550-3	391.63	561.62
평균	**394.92**	**561.14**

재료 실험 결과 SCW550의 실험 항복강도는 394.92MPa, 실험 극한강도는 561.14MPa로 측정되었다. 이는 설계 항복강도 355MPa, 설계 극한강도 550MPa에 비해 각각 11%, 2% 높은 값이다.

따라서 기존 SCW의 설계항복강도 355MPa일때의 1500ton이었던 목표 내력을 실험 항복강도 인394.92MPa에서는 11%높은 1670ton으로 조정하여 실험체의 타당성에 대해서 검토하였다.

㉮ H-Type(1차년도)



<그림 2.65> H-Type 하중-변위 그래프

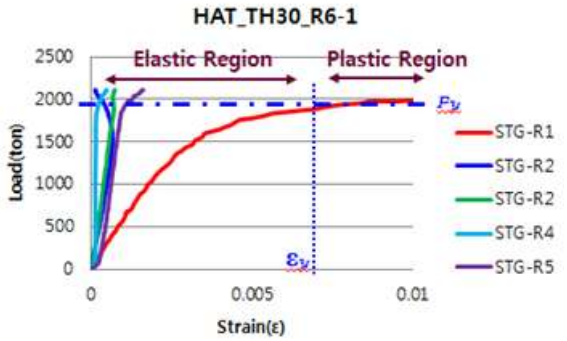
위 실험체의 실험결과를 항복하중, 항복변위, 초기 강성, 설계하중으로 정리하여 <표 2.6>에 나타내었으며 기준치 1875ton 이상의 실험체는 HAT_TH30_R6-1, HAT_TH30_R6-2 두 개의 실험체로 두 실험체의 형상은 같으며 유한요소 해석을 통해서 최적의 Prototype으로 도출된 형상이다.

<표 2.7> 실험 결과 분석

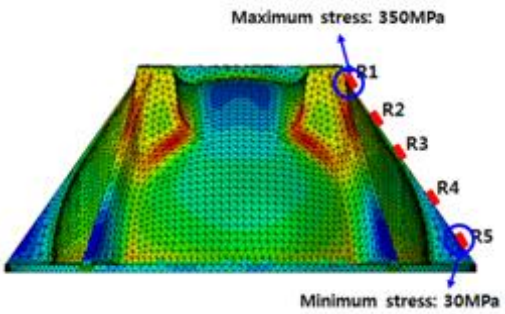
실험체 명	항복하중 (ton)	항복변위 (mm)	초기강성 (ton/mm)	설계하중 (ton)	성능 검토
HAT_TH30_R6-1	1936	0.82	2361	1875	항복하중>설계하중
HAT_TH30_R6-2	1970	0.61	3230	1875	항복하중>설계하중
HAT_TH30_R6L	1785	0.63	2833	1875	항복하중<설계하중
HAT_TH25_R6L	1694	0.94	1802	1875	항복하중<설계하중

실험체에 부착된 Strain gauge를 통하여 유한요소 해석의 타당성에 대해서 검증하고, 실험체의 거동에 대해서 나타내었다.

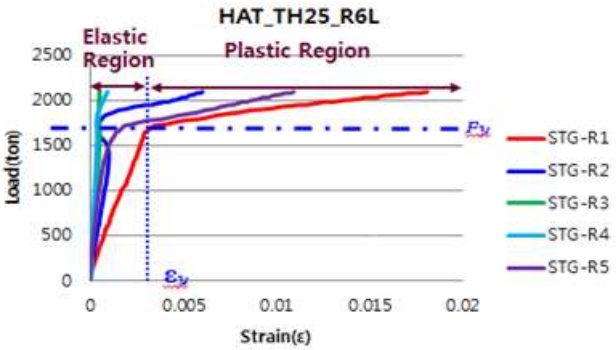
<그림 2.66(a),(b)>에 HAT_TH30_R6-1실험체의 Strain gauge R1~R5의 하중-변형률 곡선과 유한요소 해석의 응력 분포도를 나타내었으며 <그림 2.66(c),(d)>에 HAT_TH25_ R6L 실험체의 Strain gauge R1~R5의 하중-변형률 곡선과 유한요소 해석의 응력 분포도를 나타내었다.



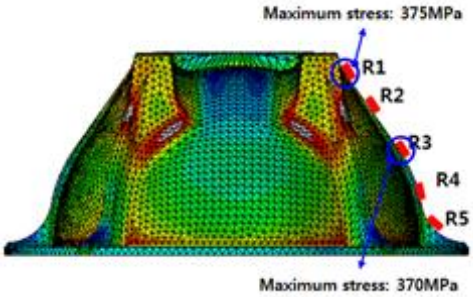
(a) HAT_TH30_R6-1 Srain guage R1~R5 하중-변형률 곡선



(b) HAT_TH30_R6-1 유한요소 해석 응력 분포도



(c) HAT_TH25_R6L Strain gauge R1~R5 하중-변형률 그래프



(d) HAT_TH25_R6L 유한요소 해석 응력 분포도

<그림 2.66> Strain guage R1~R5 분석

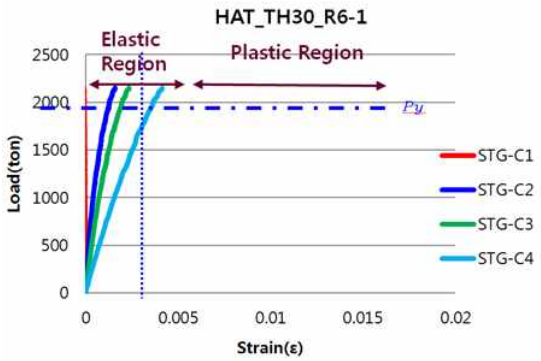
Strain guage R1~R5는 직선형 Rib-plate와 물결형 Rib-plate의 효율성에 대해서 검토하기 위해 부착되었다.

<그림 2.66 (a)>, <그림 2.66(c)>를 비교하여 직선형 Rib-plate와 물결형 Rib-plate의 효율성을 비교하였다. <그림 2.66(a)> HAT_TH30_R6-1 실험체의 Strain guage는 R1 Strain gauge만 항복하중에서 소성화 되었음을 확인할 수 있다. 이 R1은 유한요소 해석에서 R1~R5 위치 중 가장 높은 응력을 갖는 위치이다.

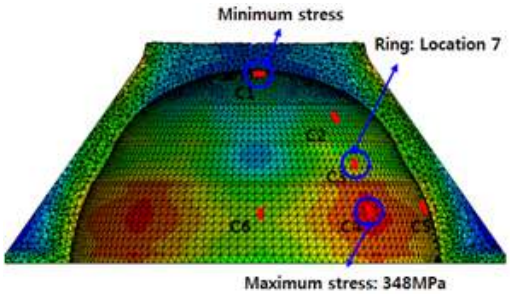
<그림 2.66(c)>의 HAT_TH25_R6L 실험체의 Strain gauge는 R1, R2, R5 세 가지 Strain gauge가 항복하중에서 소성화 되었다. 이 세 Strain gauge는 유한요소 해석에서 가장 높은 응력을 갖는 지점이며 R3의 경우 가장 낮은 응력을 갖는 지점이다. 유한요소 해석과 실험의 결과가 일치함을 확인할 수 있으며 직선형 Rib-plate 보다 항복하중에서 소성화가 더 많이 진행되는 물결형 Rib-plate가 보다 더 효율적임을 파악할 수 있다.

<그림 2.67(a)>에 HAT_TH30_R6-1실험체의 Strain gauge C1~C4의 하중-변형률 그래프를 나타내었으며 <그림 2.67(b)>에 HAT_TH30_R6-1의 유한요소 해석의 응력분포도를 나타내었다.

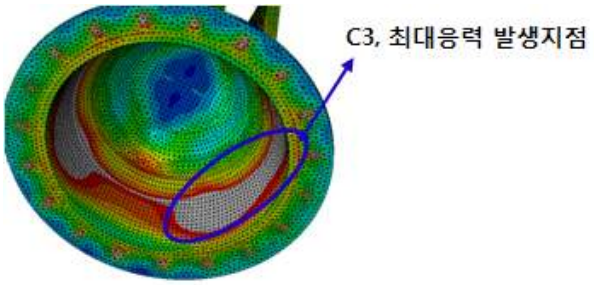
Strain gauge C1~C4는 내부 Ring의 타당성에 대해서 검증하기 위하여 설치되었으며, 유한요소 해석과 실험을 통해 계측된 하중-변형률 그래프를 비교하여 내부 Ring 보강의 타당성에 대해서 검증하였다. 유한요소 해석과 실험체의 하중-변형률 그래프를 보다 쉽게 비교하기 위해 내부 Ring보강이 되어있지 않은 경우에 대한 유한요소 해석의 응력분포도를 <그림 2.67(c)>에 나타내었다.



(a) HAT_TH30_R6-1 Strain gauge C1~C4 하중 변형률 그래프



(b) HAT_TH30_R6-1 유한요소 해석 응력 분포도



(c) 내부Ring 보강이 되어있지 않은 모델의 유한요소 해석 응력 분포도

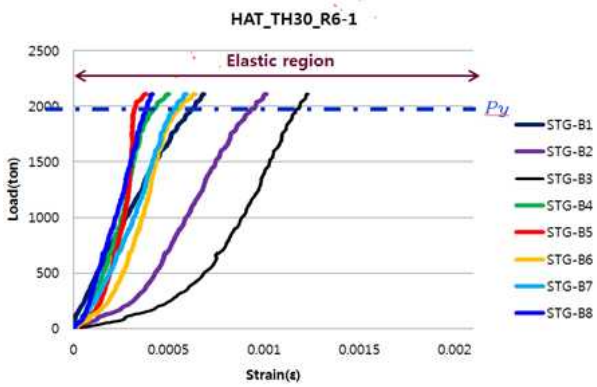
<그림 2.67> Strain gauge C1~C4 분석

<그림 2.67(c)>를 보게 되면 내부 Ring 보강이 되어있지 않은 경우 H.S.C내부에서 매우 높은 응력 값을 확인할 수 있다. 따라서 이 응력 값이 높은 지점에 Ring 형태로 보강을 하였고 그 결과 <그림 2.67(a)>에 나타낸 것과 같이 Strain gauge C3의 값이 항복하중에서도 소성화가 진행되지 않았음을 확인할 수 있다.

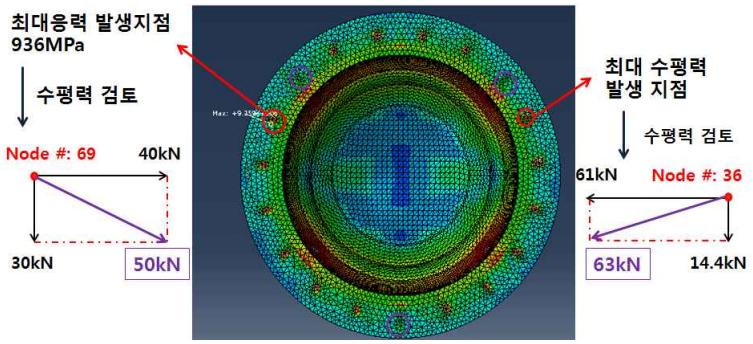
이 결과는 내부 Rign보강이 적절한 위치에 되었음을 파악할 수 있는 결과 이다.

<그림 2.68(a)>에 HAT Joint의 볼트에 작용하는 전단력에 대해 검토하기 위해 부착된 HAT_TH30_R6-1실험체의 Strain gauge B1~B8에 대한 하중-변형률 그래프를 나타내었다. 또한, <그림 2.58(b)>에 유한요소 해석을 통해서 측정된 볼트에 작용하는 최대 하중에 대한 값을 나타내었다.

유한요소 해석을 통해 측정된 볼트에 작용하는 최대 하중은 63kN으로 측정되었으며 볼트가 받을 수 있는 최대 전단력은 170kN으로 계산 되었다(<그림 2.68(c)참조>. 또한, 실험결과 계측된 Strain gauge B1~B8의 경우 항복하중에서 모두 탄성범위 내에 있음을 확인 할 수 있었으며, 변위계 H1, H2에서는 최대 변위가 0.282mm로 매우 작은 값으로 측정되었다.



(a) HAT_TH30_R6-1 Strain gauge B1~B8 하중-변형률 그래프



(b) HAT_TH30_R6-1 유한요소 해석을 통한 볼트의 전단력 측정

고력볼트 F10T M24 사용

· **설계 전단 강도**

F_{nv} **(나사부 전단면 포함)** $= 400N/mm^2$

F_{nv} **(나사부 전단면 불포함)** $= 500N/mm^2$

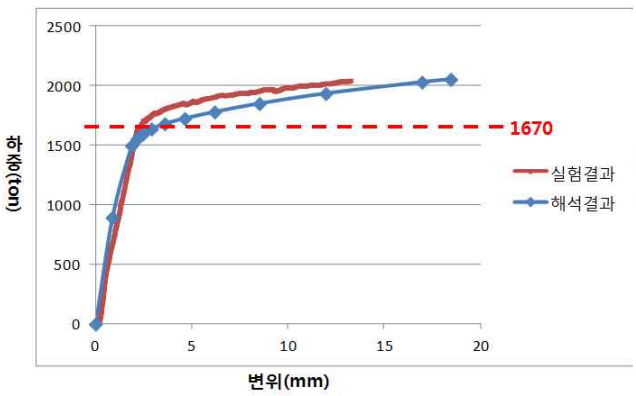
$$\phi R_n = \phi n_b F_{nv} A_b N_s$$
$$= 0.75 \times 1 \times 500N/mm^2 \times 453mm^2 \times 1$$
$$= 169875N = 170kN$$

(c) F10T M24 볼트의 최대 전단력 검토

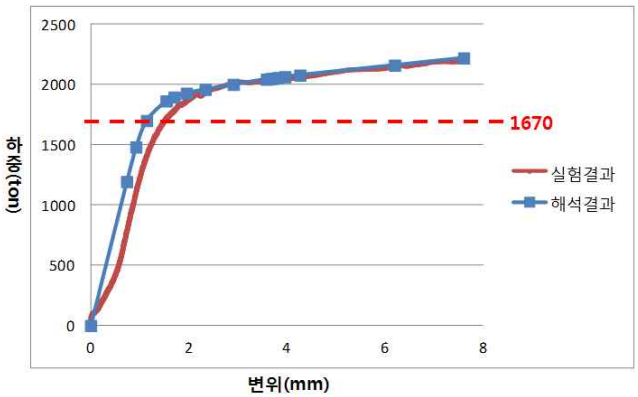
<그림 2.68> Strain gauge B1~B8

㉯ T, P, K-Type(2차년도)

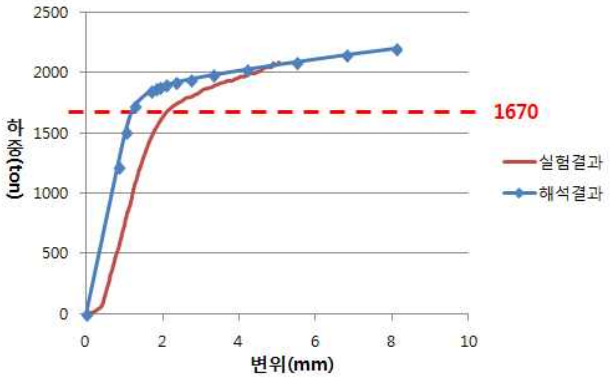
<그림 2.69(a), (b), (c)>를 보면 실험결과 항복하중은 T-Type 1800ton, P-Type 1930ton, K-Type 1750ton이며 유한요소해석 결과는 T-Type 1900ton, P-Type 1950ton, K-Type 1900ton이다. 그래프와 같은 세 타입의 거동 양상은 해석-실험간 유사성을 보여준다.



(a) T-Type 압축 실험 결과



(b) P-Type 압축 실험 결과



(c) K-Type 압축 실험 결과

<그림 2.69> 압축 실험 결과

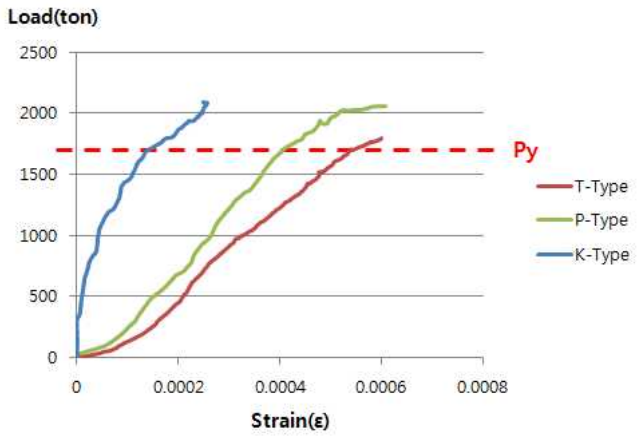
<표 2.8> 압축 실험 결과

실험체	설계하중(ton)	항복하중(ton)	성능검토
T-Type	1670	1800	O.K
P-Type	1670	1930	O.K
K-Type	1670	1750	O.K

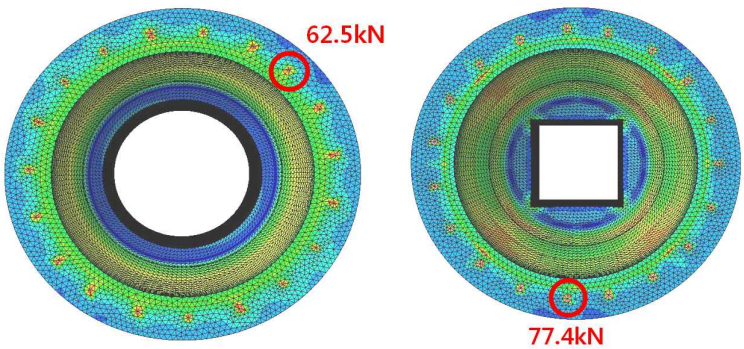
실험체의 볼트 부근, Rib, 링 부근에 부착된 Strain Gauge를 통해 실험체의 거동을 파악하였다. <그림 2.70>에 T, P, K-Type의 Bolt 에 작용하는 전단력에 대해 검토하기 위해 부착된 Strain Gauge B에 대한 하중-변형률 곡선을 나타내었다.

유한요소 해석을 통해 계산된 볼트의 최대 하중은 T-Type과 P-Type 각각 77.4kN, 62.5kN, 46.1kN으로 측정되었으며, 볼트가 받을 수 있는 최대 전단력은 170kN으로 계산되었다(<그림 2.71>).

또한 실험 결과 계측된 Strain Gauge가 항복하중까지 탄성범위 내에 있음을 확인할 수 있었으며, 변위계 H1, H2에서 최대 변위 역시 0.012mm, 0.0135mm, 0.008mm로 매우 작은 값으로 측정되었다.



<그림 2.70> T, P-Type Gauge B

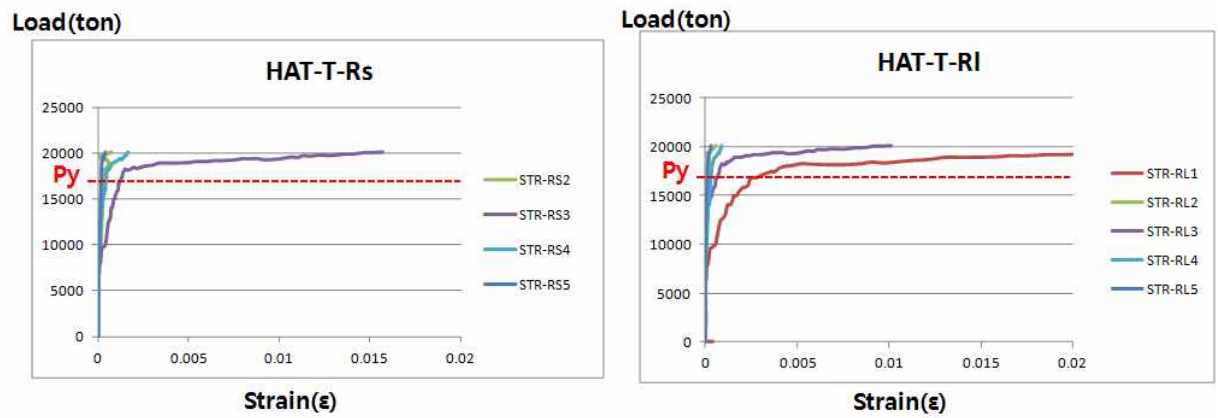


$$\phi R_n = \phi n_b F_{nv} A_b N_s$$
$$= 0.75 \times 1 \times 500 N/mm^2 \times 453 mm^2 \times 1$$
$$= 169875 N = 170 kN$$

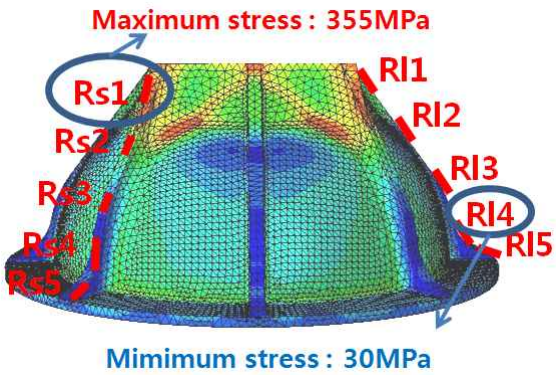
<그림 2.71> 볼트 최대 수평 하중

Strain Gauge Rl1~Rl5, Rs1~Rs5은 물결형 Rib의 타당성을 확인하기위해 부착하였다. T-Type은 각형 형태로 인한 응력 흐름 시 집중 현상을 완화하기 위해 Rib를 설치하였으나 P-Type의 경우 원형으로 반구 전체가 Rib의 목적을 나눠서 수행한다고 볼 수 있다. <그림 2.72>에 T-Type의 Rib-plate 검토 결과를 나타내었으며, <그림 2.73>는 P-Type의 H.S.C, <그림 2.74>에 K-Type의 Rib-plate 검토 결과를 정리하였다.

<그림 2.72(b)> T-Type 유한요소 해석 응력 분포도를 보면 기둥과 연결되는 부분의 응력이 가장 높으며, 물결형으로 파인 부분의 응력이 가장 낮다. 이는 <그림 2.73(a)>의 Strain Gauge에서도 마찬가지로 윗부분의 Gauge가 항복하중 이상에서 가장 먼저 소성화가 진행 되는 것으로 보아 유한요소 해석과 실험의 결과가 유사함을 확인할 수 있었다. 또한 물결형 Rib-plate의 절삭부분인 3, 4, 5번 위치의 Gauge가 모두 항복하중 내에서 탄성영역이므로 Rib-plate 형태의 타당성을 확인하였다.



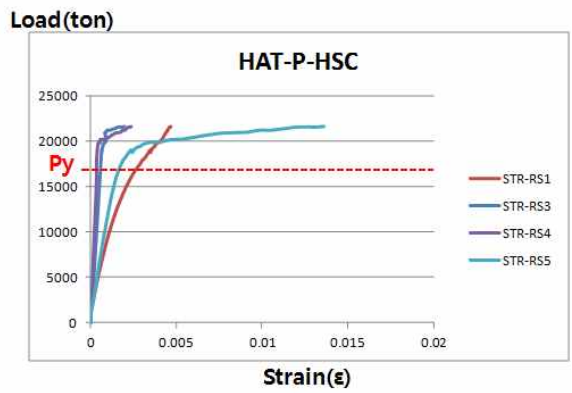
(a) T-Type Gauge Rs, Rl



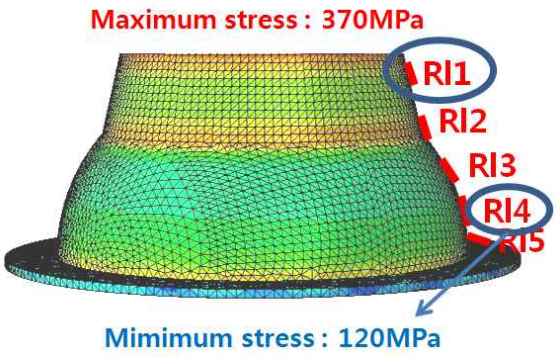
(b) Stress distribution of FEM analysis

<그림 2.72> Analysis of Rib-plate(T-Type)

<그림 2.73(a)>는 그 원형 형태로 인해 유한요소 해석 결과 Rib-plate가 필요 없다고 판단된 P-Type의 타당성을 확인하기 위한 위치에 부착된 Strain Gauge의 결과 그래프 이다. <그림 2.73(b)>와 같이 가장 큰 응력을 갖는 Rl1위치에서도 항복하중에서 탄성영역에 위치함을 확인할 수 있다. 또한 유한요소 해석상 가장 작은 응력을 갖는 4번 위치에서 Strain Gauge의 결과 또한 유사한 거동을 보이므로, 해석과 실험 결과가 일치함을 확인할 수 있다.



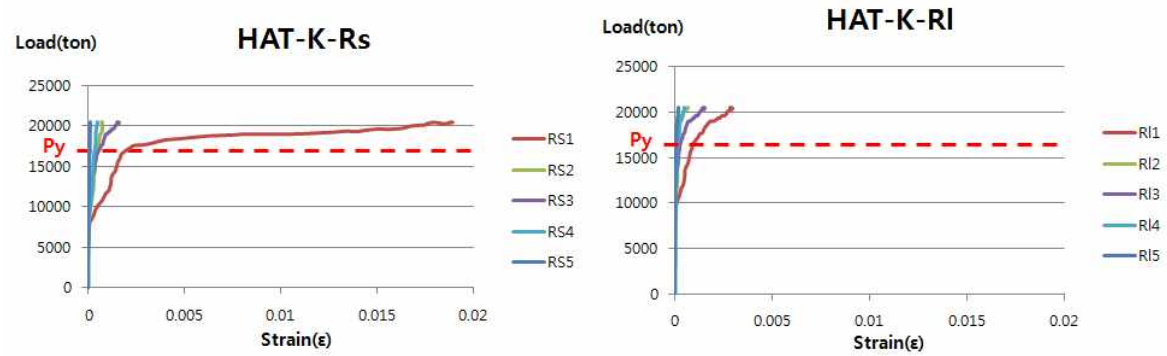
(a) P-Type Gauge HSC



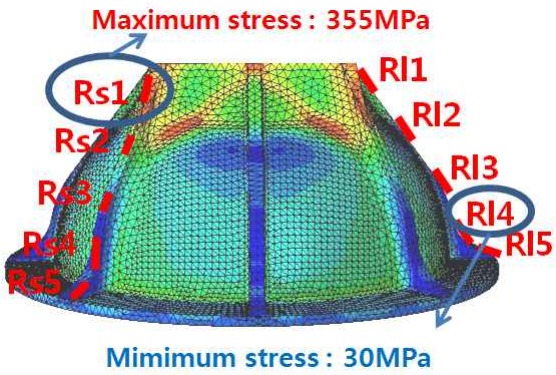
(b) Stress distribution of FEM analysis

<그림 2.73> P-Type H.S.C 해석 결과

<그림 2.74(b)> K-Type 유한요소 해석 응력 분포도를 보면 T-Type과 마찬가지로 기둥과 연결되는 부분의 응력이 가장 높으며, 물결형으로 파인 부분의 응력이 가장 낮다. 이는 <그림 2.74(a)>의 Strain Gauge에서도 윗부분의 Gauge가 항복하중 이상에서 가장 먼저 소성화가 진행 되는 것으로 보아 유한요소 해석과 실험의 결과가 유사함을 확인할 수 있었다. 또한 물결형 Rib-plate의 절삭부분인 3, 4, 5번 위치의 Gauge가 모두 항복하중 내에서 탄성영역이므로 Rib-plate 형태의 타당성을 확인하였다.



(a) K-Type Gauge Rs, RI



(b) Stress distribution of FEM analysis

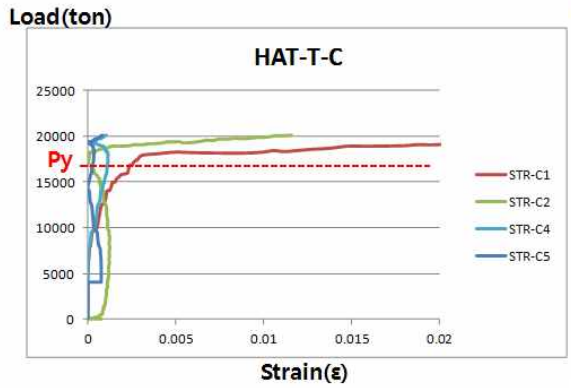
<그림 2.74> Analysis of Rib-plate(K-Type)

<그림 2.75>, <그림 2.76>과 <그림 2.77>에서는 T, P, K-Type에 설치된 Strain Gauge C1~C5로 내부 보강 Ring의 타당성을 유한요소 해석과 Strain Gauge 결과의 비교를 통해 확인할 수 있다.

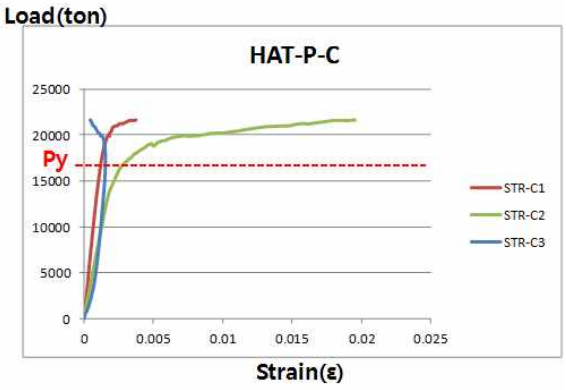
<그림 2.75>은 T-Type의 내부 Ring 보강 위치에 부착된 Gauge 결과 유한요소 해석 응력 분포도이다. 해석 결과 가장 큰 응력을 보이는 부분은 Gauge C2에 해당하는 위치이며 C1, C2에서 다른 부분보다 상대적으로 큰 응력이 존재한다. <그림 2.75(a)>의 Strain Gauge 결과 1번과 2번에서 항복하중 이상에서 가장 먼저 소성화가 진행되나 항복하중 내에서는 모든 위치에서 탄성영역 안에 위치하고 있음을 보여주고 있다.

<그림 2.76>은 P-Type의 Gauge와 유한요소 해석 응력 분포도를 보여주고 있다. P-Type의 경우 해석 결과 가장 큰 응력을 보이는 부분이 내부 Ring 윗부분으로 Gauge C2에 해당하는 위치이다. <그림 2.76(a)>에서 모든 Gauge가 항복하중 내 탄성 영역에 위치하나 유한요소 해석 결과 가장 큰 응력 위치인 C2에서 가장 먼저 소성화가 진행되었다.

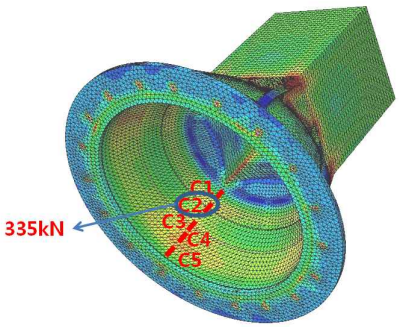
<그림 2.77>은 K-Type의 Gauge와 유한요소 해석 응력 분포도이다. K-Type의 유한요소 해석 결과 가장 큰 응력을 보이는 부분이 내부 Ring 윗부분으로 Gauge C2에 해당하는 위치이다. <그림 2.76(a)>에서 Strain Gauge 1번과 2번에서 항복하중 이상에서 가장 먼저 소성화가 진행되나 항복하중 내에서는 모든 위치에서 탄성영역 안에 위치하고 있다.



(a) T-Type Gauge C

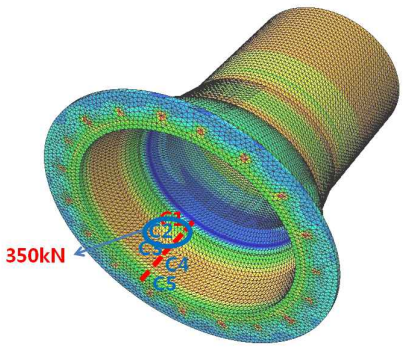


(a) P-Type Gauge C



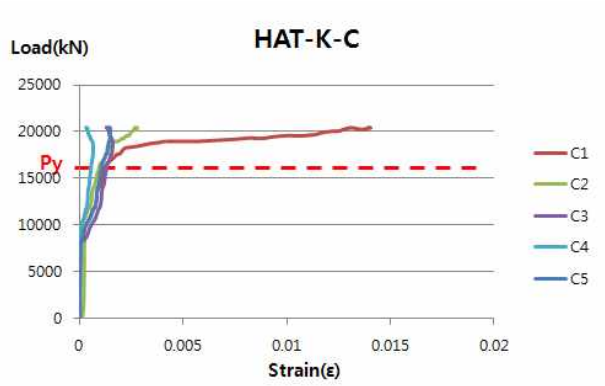
(b) Stress distribution of FEM analysis

<그림 2.75> Gauge for Inner Ring(T-Type)

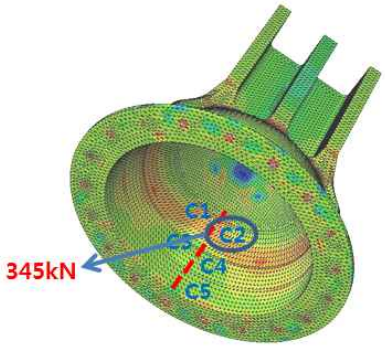


(b) Stress distribution of FEM analysis

<그림 2.76>Gauge for Inner Ring(P-Type)



(a) K-Type Gauge C



(b) Stress distribution of FEM analysis

<그림 2.77> Gauge for Inner Ring(K-Type)

③ 결론

유한요소 해석을 통해 PHC 파일과 강재 기둥과의 접합부에 대하여 최적화 된 Prototype을 제안하고 실험을 통해 접합부의 거동과 내력 등의 구조적 성능을 알아보고 결과 비교를 통해 제안된 Prototype의 타당성을 검증하였으며 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

- 1차년도 유한요소 해석 결과 도출된 H-Type의 Prototype은 HAT-H_Ring7_TH30_R6 모델이며 6개의 응력이 적게 걸리는 부분을 감소시키지 않은 직선형 Rib-plate를 갖는다.

- 2차년도 개발된 T, P, K-Type의 Prototype은 각각 HAT-T_Ring6.5_TH30_R8, HAT-P_Ring7_TH28_R0, HAT-K_Ring8_TH30_R6이며 물결형 Rib-plate를 갖는다.

- 위에서 언급한 최적의 Prototype으로 제안된 모델들에 대한 구조성능평가를 진행하였으며 모두 구조 실험에서 기준치를 모두 만족하였다.

- 1차년도 실험 결과 중 Strain gauge 분석을 통하여 항복하중에서 소성화가 진행되지 않은 직선형 Rib-plate 보다 항복하중에서 소성화가 진행된 물결형 Rib-plate가 보다 효율적임을 파악할 수 있었으며, 이에 따라 2차년도 T, P, K-Type의 모델은 물결형 Rib-plate를 사용하였다.

- 해석시 내부 Ring보강이 없는 경우 가장 높은 응력을 갖는 부분에 Ring 보강을 실시하였다. 이 보강의 타당성을 검증하기 위해 실험의 Strain gauge 분석을 통하여 내부 Ring보강의 Strain gauge 값으로 보강의 타당성을 확인하였다.

- PHC 파일과 접합부 연결에 사용되는 볼트에 작용하는 전단력은 해석결과 T-Type에서 최대 77.4kN으로 측정되었으며 이는 볼트가 받을 수 있는 170kN에 비해 상당히 작은 값으로 실험에서 문제가 없을 것으로 판단하였고 실제 실험결과 측정된 수평 변위는 H-Type에서 최대 0.282mm로 매우 작은 값으로 측정되었다.

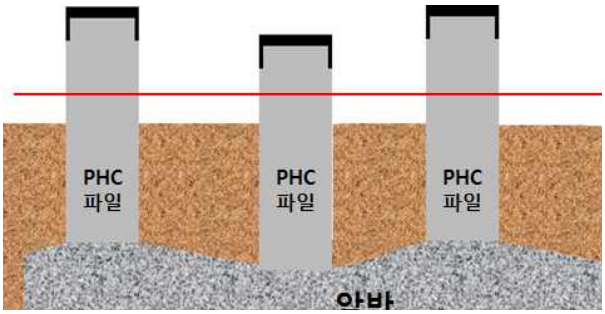
다. PHC 파일 길이 조정방법 개발

(1) PHC 파일 길이 조정방법 개요

(가) 파일길이 조정 방법 필요성 검토

<그림 2.78>와 같이 서로 다른 지하 암반까지의 깊이로 인해 발생하는 위상차이, 현장의 필요에 의해 <그림 2.78(b)>와 같이 PHC 파일의 길이 조정은 PHC파일을 사용하는 현장의 99%에서 파일을 절단하여 사용하고 있다. 하지만 기존의 PHC 파일 절단 방식은 강선 남김방식으로 절단 후 PHC 파일의 긴장선을 기초 철근에 연결하는 방식은 단면 연결의 불균형을 이루어 100%의 성능을 발휘하지 못할 것으로 예상하였다.

따라서 HAT Joint를 이용하는 수직 길이 조정 기술을 개발하여 시공성과 구조성능을 향상시키고 요구되는 파일의 길이만큼 절단 후 HAT Joint와 PHC 파일을 연결하는 디테일을 개발이 필요할 것으로 판단하였다.



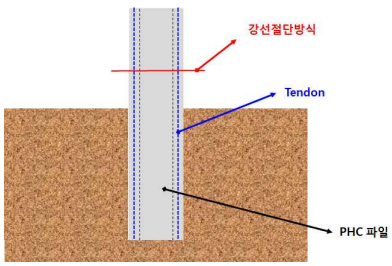
(a) PHC파일의 서로 다른 위상 차이



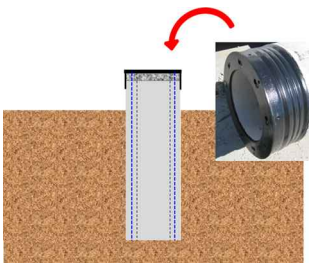
(b) 절단된 PHC 파일

<그림 2.78> 파일길이 조정방법의 필요성

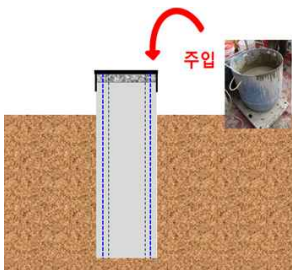
(나) 파일길이 조정 방법 개념



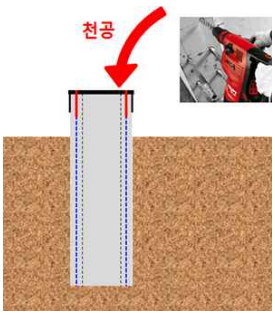
(a) 파일절단



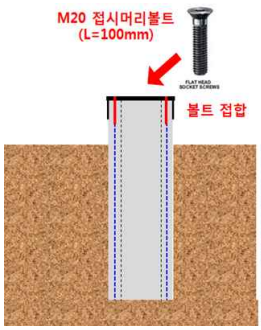
(b) 플레이트 커버 시공



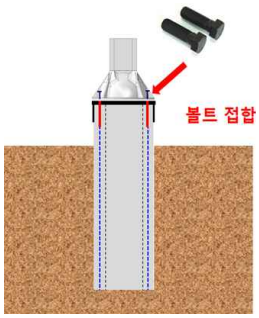
(c) 무수축 모르타르 주입



(d) HILTI 천공



(e) 커버와 PHC 파일 결합



(f) HAT Joint와 커버 결합

<그림 2.79> 파일길이 조정방법 시공 순서도

<그림 2.79>와 같이 새롭게 제시되는 PHC 파일길이 조정방법은 크게 3단계 과정을 거쳐 HAT Joint가 시공되는 것을 기본으로 한다.

첫 번째, 서로 다른 위상을 갖는 PHC 파일을 같은 길이로 절단하는 과정
두 번째, 절단된 PHC 파일의 고르지 못한 단면을 보강하는 과정
세 번째, HAT Joint 시공 과정

<그림 2.79(c),(d)>에서와 같이 PHC 파일 절단이 후 고르지 못한 단면은 플레이트 커브를 씌운 후 무수축 모르타르를 타설함으로써 고르지 단면을 보강하고 무수축 모르타르가 25MPa의 강도를 발현하는 3일 후 HAT Joint를 시공한다.

(2) PHC 파일 길이 조정방법 검토

HAT Joint는 시공 편의를 통한 공기 단축의 목적을 이유로 볼트를 이용해 결합을 하게 된다. 기성 PHC 파일 사용 시 파일캡은 HAT Joint와 M24 고력볼트를 통해 결합이 되게 되며, 파일 길이 조정 시 PHC 파일과 제작된 선단캡은 M20 볼트로 연결되며 이 선단캡과 HAT Joint는 다시 M24 고력볼트를 사용하여 결합한다. 따라서 볼트 연결에 대한 검토가 필요할 것으로 판단하여 휨 내력실험, 볼트 인발 실험을 계획하였다.

휨 내력 실험은 파일캡과 HAT Joint를 연결하는 M24 볼트에 대한 검토를 목적으로 하며 볼트 인발 실험은 PHC 파일과 제작된 선단캡 간 M20 볼트에 대한 검토를 수행한다.

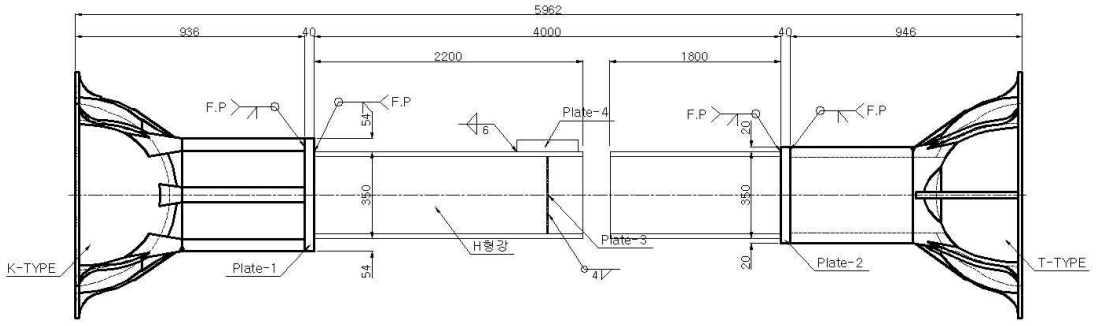
파일캡과 HAT Joint 연결의 경우 SS400으로 제작된 파일캡과 SCW550으로 제작된 HAT Joint를 볼트 결합하게 되므로 파일캡과 HAT Joint 연결부위의 파단보다는 M24 볼트의 휨에 의한 파단이 가장 큰 고려요소로 판단하였다.

PHC 파일과 제작된 선단캡 간 M20 볼트 결합은 PHC 파일의 콘크리트에 볼트가 결합되게 되므로 이에 따른 인발력 검토가 필요하다.

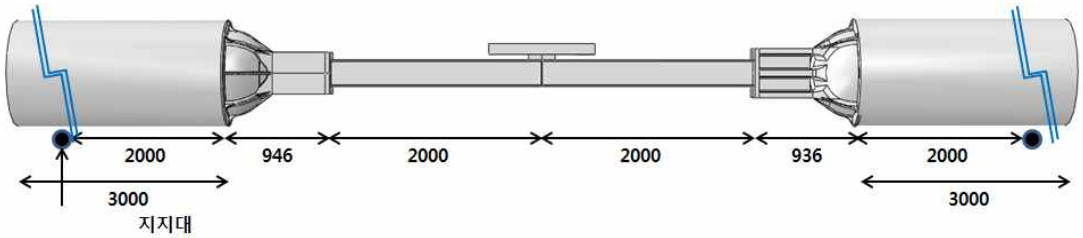
(가) 휨 내력 실험

① 휨 실험 개요

HAT Joint와 PHC파일 간 조립에 사용되는 볼트 연결부위에 대해 휨에 대한 성능 정도를 파악하기 위한 실험을 진행하였다. 실험은 계명대학교에 위치한 첨단건설재료실험센터에서 진행되었으며, 실험체 도면 및 실험 형상은 아래 <그림 2.80>과 같다. 2차년도 연구 대상인 T, P, K-Type 중 각형 형상으로 인해 휨 내력이 상대적으로 크다고 판단한 T, K-Type을 H형강으로 연결을 함으로써 실제 시공 중 발생할 수 있는 충격하중에 대한 실험을 계획하였다.



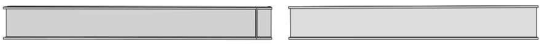
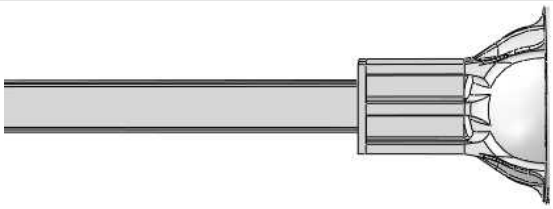
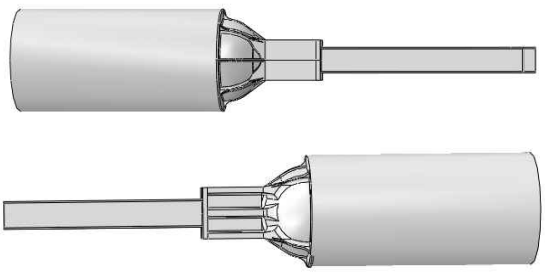
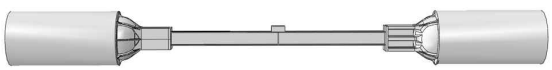
<그림 2.80> 휨 실험체 도면



<그림 2.81> 실험체 전체 형상

실험체 전체 길이는 총 11.962m(용접 부위 제외)이며 실험체 최대 높이는 PHC 파일 직경인 1000mm이다. 약 12m의 길이로 인한 운반문제를 해결하기 위해 휨 실험체는 아래 <표 2.9>와 같은 순서로 제작이 진행되었다.

<표 2.9> 휨 실험체 제작 순서도

장소	내용	비고
공장		H형강-Stiffner 용접 (H형강 : 350X350X12X194m)
		2200, 1800 지점 절단
		(P-Type)-(Endplate) -(H형강) 용접
		(K-Type)-(Endplate) -(H형강) 용접
운 반		
실험장		(HAT Joint)-(엔드플레이트) -(H형강)과 PHC파일 결합
		H형강 절단 부분, Connector 용접

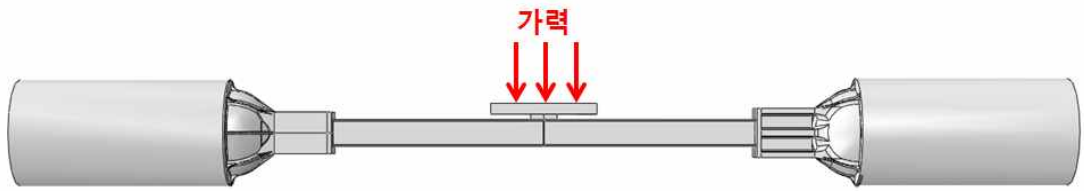
위 계획에 따라 아래 <그림 2.82>과 같이 실험장에서 결합된 휨 실험체를 Actuator에 설치하여 실험을 진행하였다.



<그림 2.82> 휨 실험체 실험 사진

② 가력 계획

<그림 2.83>의 휨 실험체는 Actuator의 손상과 실험체 중심부 가력을 위해 중심부에 가력을 받는 판을 설치하였으며, 실험체 가력은 0.05mm/sec의 변위제어를 이용한 단조압축 가력으로 진행하였다.



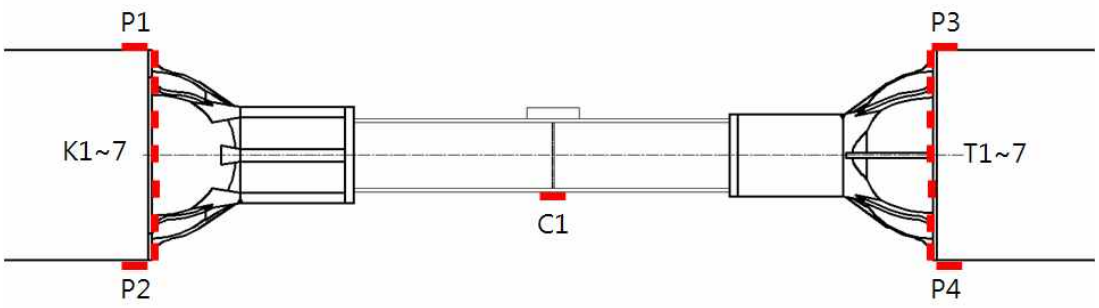
<그림 2.83> 실험체 가력 계획

휨 실험의 목적은 HAT Joint와 PHC 파일캡을 연결하는 M24 고력볼트의 안정성을 확인하는 것이다. PHC 파일캡은 내부 PC 강봉으로 고정이 되어있으며, 이 파일캡과 HAT Joint는 다시 M24 볼트로 연결이 된다. 따라서 내부 PC 강봉과 볼트의 인장강도가 같다면 접합부의 특성 상 HAT Joint는 PHC 파일의 연장으로 봐도 무방하다. 공동연구기관인 삼표피앤씨에서 답변한 자사 PHC 파일 내부 PC강봉(11.2mm)의 인장강도는 1514N/㎟으로 전체 19개 PC강봉의 인장강도의 합은 2832kN이다. 휨 실험의 경우 PC 강봉의 절반이 인장력으로 모멘트에 저항을 하게 되며 이는 볼트 또한 마찬가지이다. 따라서 휨을 통해 인장을 받는 HAT Joint 볼트부분이 1416kN 이상의 인장력에도 파단이 일어나지 않는다면 이는 PC 강봉과 같거나 높은 인장성능을 갖고 있는 것을 뜻한다. 이와 같은 인장력을 HAT Joint의 볼트에 가할 때의 중앙부 하중은 188.8kN이며 이를 실험 목표하중으로 결정하였다. 목표 하중 이상에서도 HAT Joint에 설치된 M24 볼트에 파단 등의 문제가 발생하지 않는다면 볼트연결부위는 PC 강봉보다 높은 성능을 가지며 HAT Joint 볼트 연결부가 충분히 안정적인 것을 뜻한다.

③ 실험 측정 계획

㉮ Strain Gauge 위치

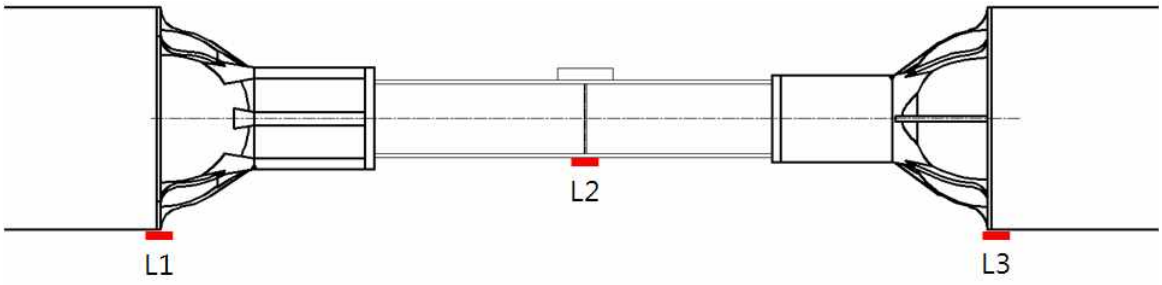
Strain Gauge는 <그림 2.84>와 같이 총 19개를 부착하였다. K1~7과 T1~7은 각각 K-Type과 T-Type의 볼트부위에 장착되었으며, 가력 방향에 맞춰 1축 게이지로 진행하였다. P1~4는 PHC 파일캡에 설치하여 SS400재질의 파일캡의 거동을 확인하는 목적을 갖는다. C1은 H형강 가력부위의 반대쪽인 아래에 위치하며 H형강의 변형을 확인하기 위해 설치하였다.



<그림 2.84> Strain Gauge 부착 위치

㉯ LVDT 측정 위치

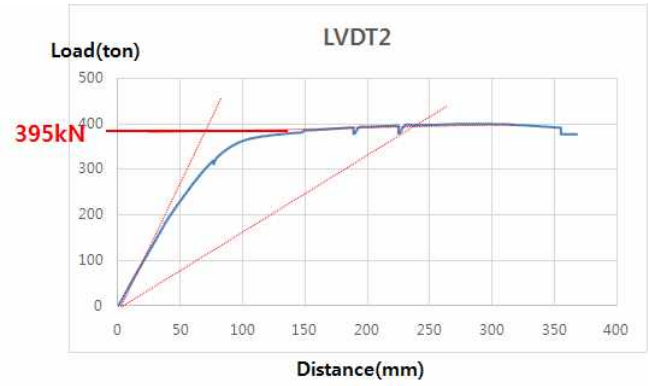
LVDT는 아래 <그림 2.85>과 같은 총 3개의 지점에 LVDT를 설치하였다. L1, L3는 실험 목표인 볼트 접합 부위의 변위를 확인하기 위해 설치하였으며 L2는 H형강의 휨에 의한 처짐을 확인하기 위함이다.



<그림 2.85> LVDT 측정 위치

④ 실험 결과

<그림 2.86>은 2개의 HAT Joint를 연결한 H형강이 양쪽 HAT Joint로 충분히 하중을 전달할 수 있는지 확인하기 위해 설치한 LVDT이다. 목표하중인 188.8kN을 초과한 395kN에서 H형강이 항복함을 볼 수 있으며, 목표한 하중까지는 충분히 하중을 전달하였음을 확인할 수 있다.



<그림 2.86> L2 하중-변위 그래프

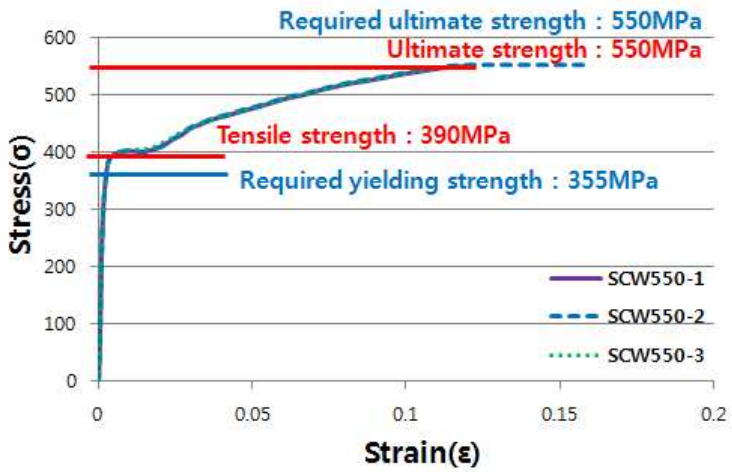
마찬가지로 <그림 2.87>의 L1, L3의 하중-변위 그래프를 확인하면 목표 하중인 188.8kN 부근에서 하중 전달이 원활하였음을 확인할 수 있다.



(a) L1 (b) L3

<그림 2.87> L1, L3 하중-변위 그래프

압축 구조성능평가 때와 동일하게 Bolt 부근의 변형률 측정을 위해 HAT Joint 볼트 연결부위 옆에 하중과 같은 방향으로 Strain Gauge를 설치하였다. <그림 2.88>의 HAT Joint 재료실험 시 SCW550은 0.0012의 변형률에서 항복함을 확인하였으며, 휨 시험시 측정된 각 부근의 변형률을 이와 비교하여 재료의 항복을 확인하였다.



<그림 2.88> SCW550 재료 실험 그래프

<표 2.10> 위치별 최대 변형률

위치	최대 변형률	검토	위치	최대 변형률	검토
P1	0.00011(9%)	< 0.0012	P3	0.00040(33%)	< 0.0012
K1	0.00012(10%)	< 0.0012	T1	0.00015(13%)	< 0.0012
K2	0.00003(2.5%)	< 0.0012	T2	0.00026(22%)	< 0.0012
K3	0.00005(4.2%)	< 0.0012	T3	0.00014(12%)	< 0.0012
K4	0.00016(13%)	< 0.0012	T4	0.00007(5.8%)	< 0.0012
K5	0.00018(15%)	< 0.0012	T5	0.00009(7.5%)	< 0.0012
K6	0.00032(27%)	< 0.0012	T6	0.00016(13%)	< 0.0012
K7	0.00024(20%)	< 0.0012	T7	0.00027(23%)	< 0.0012
P2	0.00021(18%)	< 0.0012	P4	0.00021(18%)	< 0.0012

각 볼트 위치의 최대 변형률 검토 결과 SCW550의 재료 실험 결과 항복 변형률인 0.0012에 모두 크게 미치지 못하는 것을 확인할 수 있다. K-Type의 볼트 변형률의 경우 평균 15.7%, T-Type의 경우 16.3%로 T-Type이 약간 더 큰 변형률을 보였지만 모두 검토 기준의 25%에도 미치지 못한다. 이를 통해 HAT Joint의 볼트 결합이 PHC 파일 선단캡과 충분히 강한 결합을 하고 있어 휨에 의한 인발 성능을 만족한다는 것을 확인할 수 있다. 목표하중인 188.8kN은 PC강봉의 강도를 기준으로 잡은 만큼 볼트의 결합력이 PHC 파일의 강봉보다 우수함을 나타내며, 접합부의 특성상 결합부위의 강함은 접합부가 PHC 파일의 연장으로 봐도 무방하다고 판단된다.

(나) 볼트 인발 실험

HAT Joint 시공 시 PHC파일-선단캡 간 결합에 사용되는 M20 볼트의 콘크리트 설치 시의 인발력을 파악하여 최대 PHC 파일 길이 50m의 무게인 46.1ton(452.27kN)을 초과하는지 확인을 위함이다. 실험은 2차년도 연구의 일환으로 삼영엠텍 제2공장에서 진행되었다.

① 시험체 선정

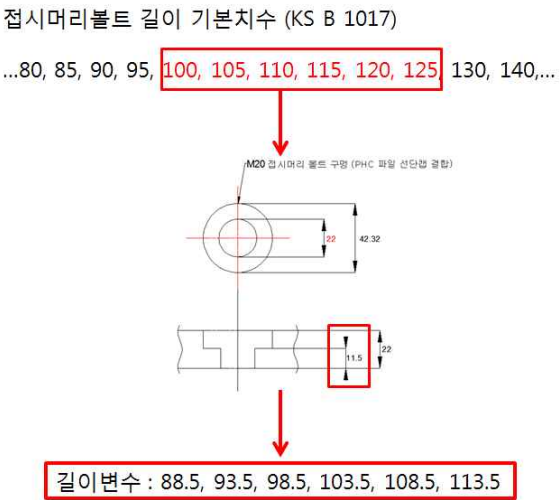
PHC파일-선단캡 간 결합에 사용되는 M20 볼트의 길이는 L=100mm를 기준으로 적용되었다. 천공 직경의 경우 시공 상의 이유로 19mm까지 가능하였으며, 18mm 직경부터는 볼트 설치 시 과도한 힘을 필요로 하여 시공 시 적합하지 않은 것으로 판단되었다. <그림 2.89>와 같은 방법으로 우선 요구한 19mm의 직경에 맞는 천공 후 볼트 삽입 순서로 진행하였다.



(a) 시험체 천공 (b) 볼트 삽입

<그림 2.89> 천공 및 볼트 삽입

볼트의 삽입 깊이는 <그림 2.90>과 같이 제작된 선단캡 볼트 구멍의 높이를 제외한 실제 콘크리트 설치 부분으로 정했으며, 접시머리볼트 길이의 기본치수(KS B 1017)에 따라 시중 규격에 맞는 볼트 길이에 따른 변수를 선정하여 <표 2.11>과 같은 총 19개의 시험체를 결정하였다.



<그림 2.90> 시험체 볼트 길이 변수 산정

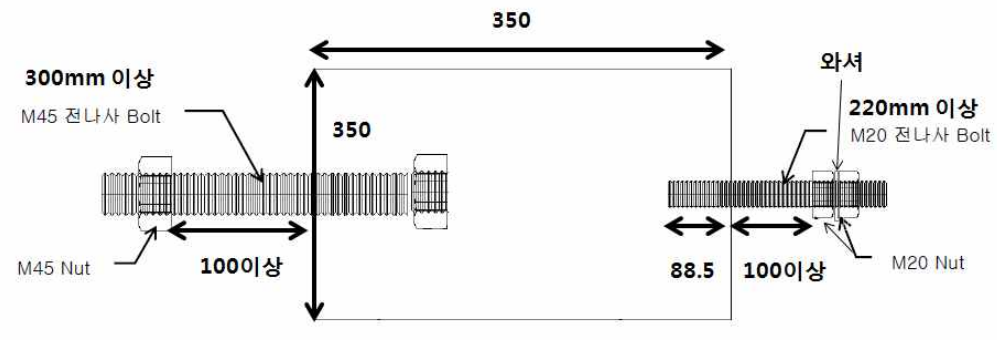
<표 2.11> 인발 시험체 정리

천공직경 / 삽입깊이	88.5	93.5	98.5	103.5	108.5	113.5
19mm	4	3	3	3	3	3

볼트 인발 시험을 진행할 Actuator는 <그림 2.91>와 같다. 사용할 Actuator에 맞춰 인발 시험체의 형상은 <그림 2.92>와 같이 고려되었다. 시험체는 콘크리트와 M45 전나사, M20 전나사로 이루어져 있다. M45 전나사는 콘크리트 양생 시 내부 너트와 함께 설치되어 시험체를 지그로 고정할 때 사용되게 되며 M20 전나사는 너트를 이용해 Actuator의 지그에 설치 후 인발 가력함으로써 볼트와 콘크리트가 분리되는 인발 하중을 파악한다.



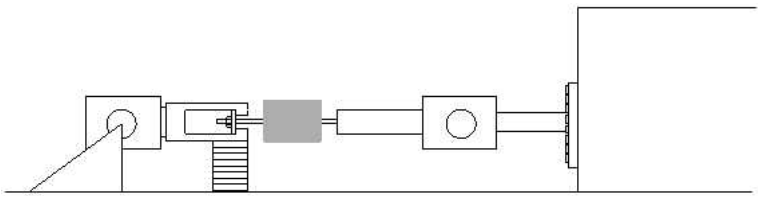
<그림 2.91> 볼트인발시험용 Actuator



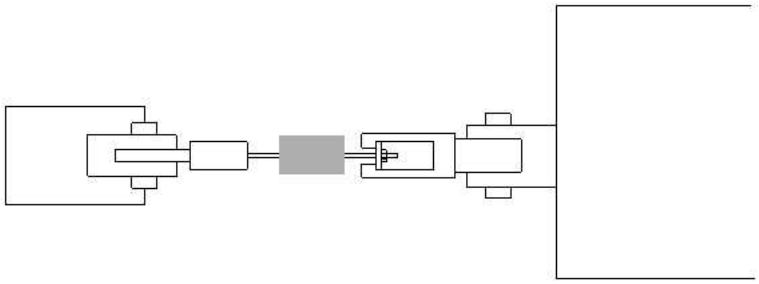
<그림 2.92> 시험체 형상 예시

② 가력 계획

시험체는 <그림 2.93>과 <그림 2.94>와 같이 설치를 하였으며 인발하중의 재하속도는 0.2mm/s 변위제어로 진행하였다. 시험은 시험기를 이용한 가력 후 콘크리트 시편과 볼트의 분리 및 콘크리트 파괴의 이유로 내력 감소가 일어났을 경우의 가력 하중을 결과값으로 측정하였다.



(a) 시험체 설치(정면도)



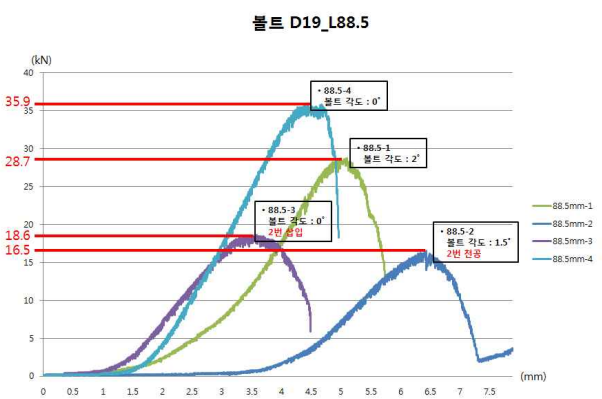
(b) 시험체 설치(평면도)

<그림 2.93> 시험체 설치 계획

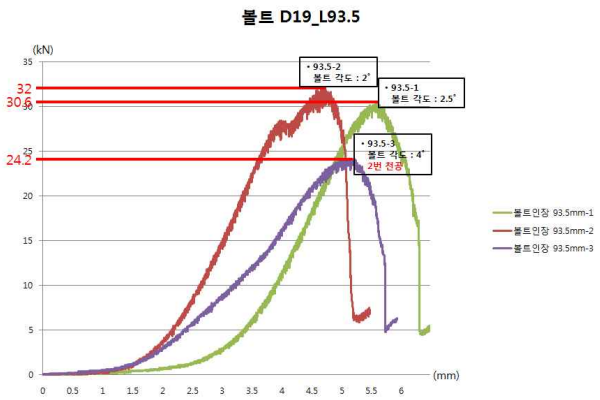


<그림 2.94> 시험체 세팅 사진

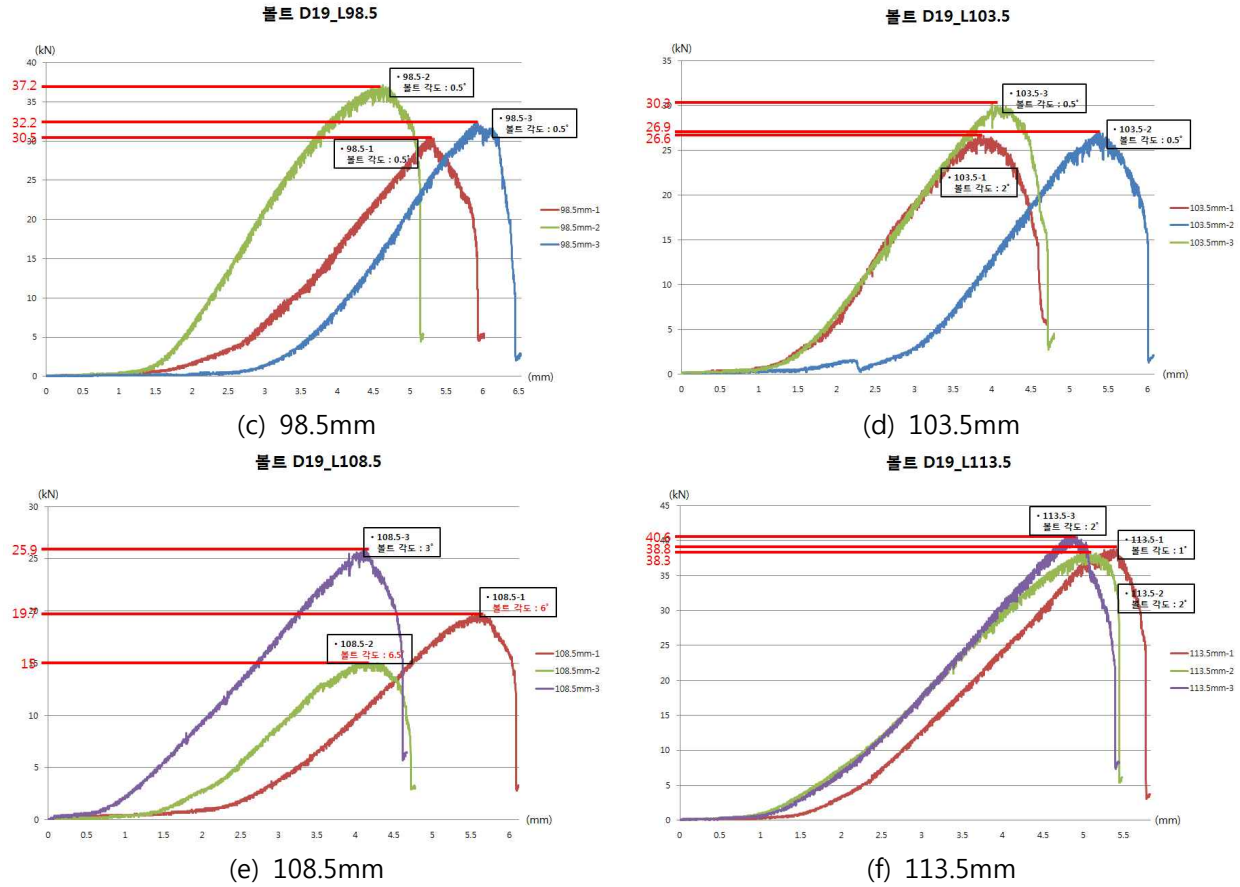
③ 시험 결과



(a) 88.5mm



(b) 93.5mm



(c) 98.5mm (d) 103.5mm

(e) 108.5mm (f) 113.5mm

<그림 2.95> 볼트 인발 시험 결과 그래프

<그림 2.95>은 볼트 인발 시험 결과를 볼트 삽입 깊이 별로 정리한 그래프이다. <그림 2.95 (a)>를 보면 1회 천공 시 인발력은 35kN과 28kN, 2회 천공 시 18kN과 16kN으로 인발력 감소가 일어난 것을 볼 수 있다. 이는 <그림 2.95 (b)>의 3번째 실험체의 경우에서도 마찬가지로 2회 천공 시 발생할 수 있는 문제점을 보여준다.

콘크리트에 설치되는 볼트의 인발력은 천공 시 생기는 콘크리트 가루와 나사산에 의한 저항력으로 판단되며, 위와 같은 이유로 천공 후 콘크리트 가루를 제거하지 않고 볼트를 시공하는 것을 권장할 필요성이 있다고 판단하였다.

<표 2.12>은 시험 결과를 정리한 표이다. 앞에서 언급한대로 2번 천공이나 드릴을 하게 될 경우 인발력의 큰 감소가 보였으며, 이 외에도 수직도 문제가 인발력에 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 88.5mm의 삽입 깊이로부터 113.5mm까지 볼트 깊이에 따른 인발력은 증가 추세를 보이고 있다.(<그림 2.96>) 그 중 108.5mm 삽입깊이를 갖는 3개의 실험체는 다른 실험체들보다 볼트 설치 시 수직도의 문제가 있었다. 기계를 이용한 정밀 삽입이 아닌 이상 현장 적용 시 볼트 설치 각도는 1~2 °정도의 오차가 있을 것으로 판단되며, 실제 실험체 볼트 삽입 시 대부분의 실험체들이 이 정도의 수직도 오차를 갖고 있다. 108.5mm 삽입깊이의 실험체들은 이보다 큰 6 °내외의 수직도 오차를 갖고 있었다. 이러한 수직도 문제는 볼트 삽입을 위한 천공과 볼트 드릴링 사이의 이격을 발생시켜 2회 천공과 유사한 감소 문제를 발생한 것으로 판단된다. 따라서 HAT Joint 파일 길이 조정방법에 따른 제작된 선단캡과 PHC 파일의 M20볼트 연결 시 최대한 수직도를 고려한 단 1회 천공 및 1회 설치가 이루어져야한다.

인발 강도는 일반적인 경우 최소 28.7kN(88.5mm 실험체)으로 나타났으며, 이 실험 결과를 반영한 총 19개의 M20볼트로 연결되는 HAT Joint는 최소 55ton의 인발력을 견딜 수 있다.

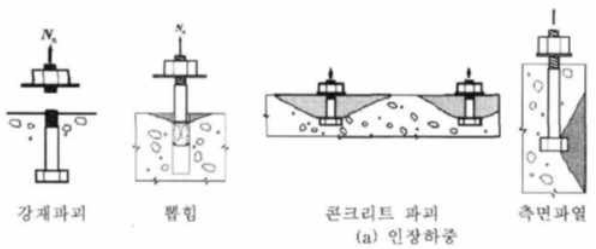
직경 1000mm의 PHC 파일의 무게가 1ton/m이므로 이는 50m의 PHC 파일 연결까지는 무리가 없을 것으로 판단되며, 50m는 기초공사 전문업체에 문의한 시공된 국내 PHC 파일 의 최대 깊이이다.

<표 2.12> 인발 시험 결과 정리

삽입 깊이	인발 강도		인발 강도 평균	비고
88.5	1	28.7	24.9	
	2	16.5		2번 천공
	3	18.6		2번 드릴
	4	35.9		
93.5	1	30.6	28.9	
	2	32		
	3	24.2		2번 천공
98.5	1	30.5	33.3	
	2	37.2		
	3	32.2		
103.5	1	26.6	27.9	
	2	26.9		
	3	30.3		
108.5	1	19.7	20.2	수직도 문제
	2	15		수직도 문제
	3	25.9		수직도 문제
113.5	1	38.8	39.2	
	2	38.3		
	3	40.6		

다음으로 볼트 인발식을 통해 계산 실험 결과를 비교해보았다.

조사 결과 콘크리트 설치 볼트 인발에 대한 연구는 거의 이루어지지 않고 있다. 대부분의 연구는 앵커볼트를 위주로 이루어졌으나 볼트와 앵커의 인발 양상은 유사하므로 결과값에 대한 보수적인 평가는 가능하다고 판단하였다.



<그림 2.96> 앵커의 인장하중 시 형상

인장하중 시 앵커는 <그림 2.96>과 같은 4가지의 파괴 양상을 보인다. 우선 강재 파괴강도식은 $N_{sa}=nA_{se}f_{uta}$이다.(f_{uta}는 1.9×항복강도, 인장강도, 860MPa 중 최소값, A_{se}=볼트의 단면적) 따라서 f_{uta}=254.469, A_{se}=0.4를 대입한 결과 강재파괴 강도는 101.8kN이다.

뽑힘 강도는 식 $N_{pm}=\psi_{c,P}N_p$에 따라 계산되며 $\psi_{c,P}$는 균열이 있을 때의 값인 1로 보수적으로 계산하였을 때 223.9kN의 값이 나온다.

콘크리트 파괴강도는 $N_{cb}=\dfrac{A_N}{A_{N_0}}\psi_2\psi_3N_b$로 계산되며 실험체의 $N_b=k\sqrt{f_{ck}}h_{ef}^{1.5}$=61.12kN이므로 85.6kN이다.

마지막으로 콘크리트 측면 파열 강도는 $N_{sb}=13c_{a1}\sqrt{A_{brg}}\sqrt{f_{ck}}$=77.0kN이다.

이를 정리하면 <표 2.13>과 같다.

<표 2.13> 인장강도 계산 결과

	계산결과(kN)
강재파괴 강도	101.8
콘크리트 파괴 강도	85.6
뽑힘 강도	223.9
콘크리트 측면 파열 강도	77.0

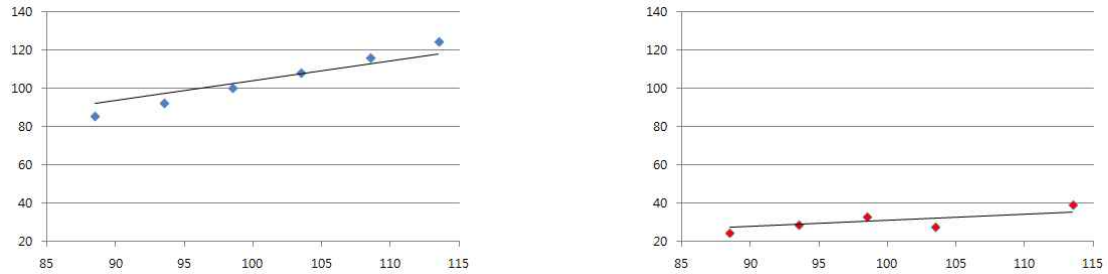
계산결과에 따라 인장강도는 그 최소값인 측면 파열 강도일 때 77.0kN이어야 하나, 앵커와 달리 볼트의 경우 콘크리트 측면 파열 강도는 현실적으로 불가능하다 판단하여 콘크리트 파괴 강도인 85.6kN을 예상값으로 선정하였다.

이와 같이 계산된 88.5mm부터 113.5mm까지의 인발 예상 강도는 <표 2.14>와 같다.

<표 2.14> 삽입 깊이 별 예상 인발 강도

삽입 깊이(mm)	계산 결과(kN)
88.5	85.6
93.5	92.6
98.5	100.5
103.5	108.2
108.5	116.2
113.5	124.3

예상 인발 강도와 실제 실험 결과를 그래프로 표현하면 <그림 2.97>과 같다. 실험 결과 그래프의 108.5mm의 경우 수직도 오차로 인해 인발 강도의 신뢰성이 크게 떨어지므로 그래프에서 제외하였다. 예상 인발강도와 실험결과 모두 삽입깊이에 따라 인발력이 증가하는 추세를 보이고 있으나 인발력 증가율과 그 결과값에서 큰 차이를 보이고 있다.



(a) 예상 인발 강도 (b) 실험 결과

<그림 2.97> 볼트 깊이에 따른 인발력 비교

따라서 예상 인발 강도 계산 결과를 통해 도출된 인발 강도식인 $y=1.039x$에 실험 결과를 반영하는 과정을 통해 삽입 깊이에 따른 볼트 인발 강도식을 제시하였다. 제시된 볼트 인발 강도식은 각 변수들의 감소폭을 고려한 $y=0.3153x$이다. 이 식은 실제 콘크리트 설치 볼트가 아닌 앵커 볼트의 계산식을 보수적인 결과로 사용하였으며, 19개의 적은 실험 결과에 반영된 인발 강도 식이다. 따라서 보수적인 값을 구할 경우 위 식을 사용하며 보다 정확한 식을 제시하기 위해서는 추가적인 실험이 필요할 것으로 판단된다.

국내 시공되는 PHC 파일의 최대 길이인 50m의 자중은 제안된 인발 강도식을 약 48.35ton이다. HAT Joint에는 총 19개의 콘크리트 설치 볼트가 사용되며 제안된 인발 강도 식을 통해 필요한 볼트의 최소 삽입 깊이를 계산하면 79.2mm이며, 현재 사용 계획된 L=100mm볼트의 경어 삽입깊이 88.5mm로 만족함을 확인할 수 있다.

(다) 축소 모형 실험

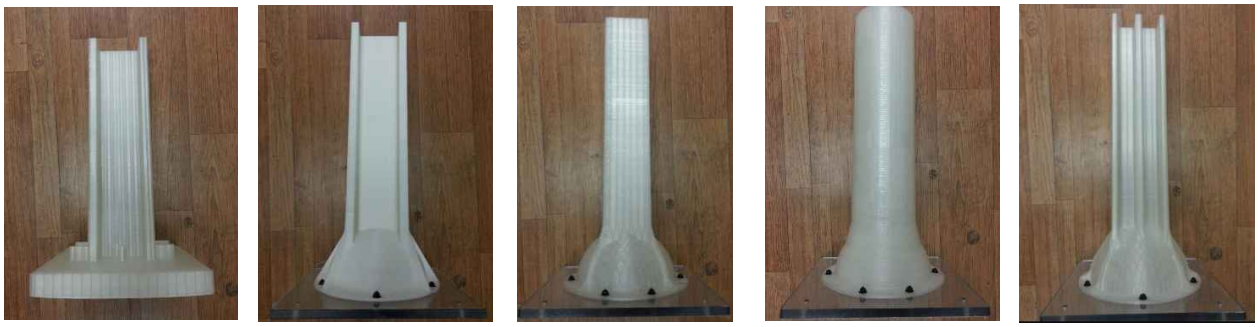
HAT Joint를 PHC 파일에 설치하게 될 경우 기존 공법과는 새로운 형상의 접합부로 인해 하부 구조 형상이 변화하게 되며 지진 하중과 같은 횡하중에 대한 하부구조의 영향을 고려해야만 한다. 따라서 축소모형을 대상으로 기존 Plate 접합부와 HAT Joint 형상의 변화를 확인하여 하부구조에 따른 상부 철골기둥의 기본적인 동적특성의 변화를 파악하고자 한다.

① 시험체 선정

실제 HAT Joint에 대해 상사의 법칙을 적용하여 축소모형을 제작할 경우 시험체 제작이 불가능할 정도로 내부 Ring 보강과 Bolt 접합과 같은 복잡한 형상을 가지고 있다. 따라서 축소모형 실험은 실제 HAT Joint의 동적특성을 갖도록 하는 특징적인 형상 고려에 중점을 맞춰서 제작하였다.

모형은 1:5 스케일로 축소시켰으며, HAT Joint에 설치된 철골 기둥은 한 층의 높이를 고려한 360mm로 제작되었다.

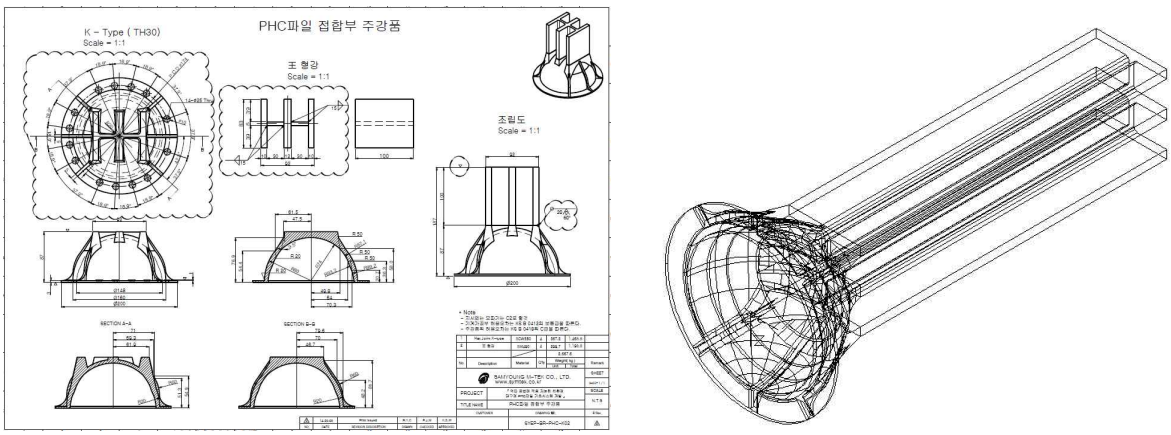
<그림 2.97>과 같이 총 5개의 모형을 제작하였으며, 기본 Basic 모델과 HAT Joint 모형의 동적 특성을 파악하는데 목적을 두었다.



(a) Basic (b) H-Type (c) P-Type (d) P-Type (e) K-Type

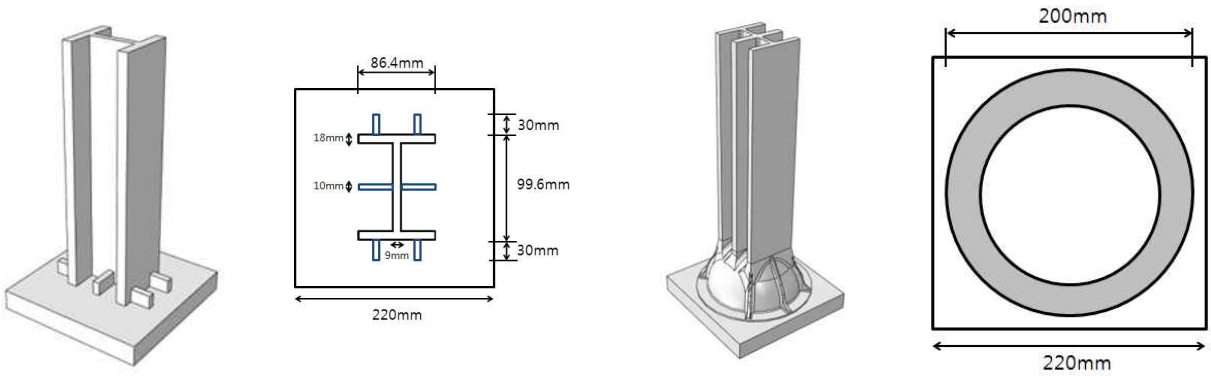
<그림 2.97>HAT Joint 축소모형

각각의 모형은 실제 사이즈로 모델링된 도면을 1:5로 축소시킨 3D 모델링을 통해 만들어졌으며(<그림 2.98>), 구현하기 힘든 볼트를 제외한 내부 두께, 보강 Ring 등 중요 요소를 모두 반영하였다. Basic 모형은 기존 플레이트형 접합부를 반영하였으며, HAT Joint 모형은 접합부를 개발한 반구형태로 대체하였다.<그림 2.99>



(a) HAT Joint 2D 도면 (b) HAT Joint 3D 도면

<그림 2.98> HAT Joint 축소모형 도면

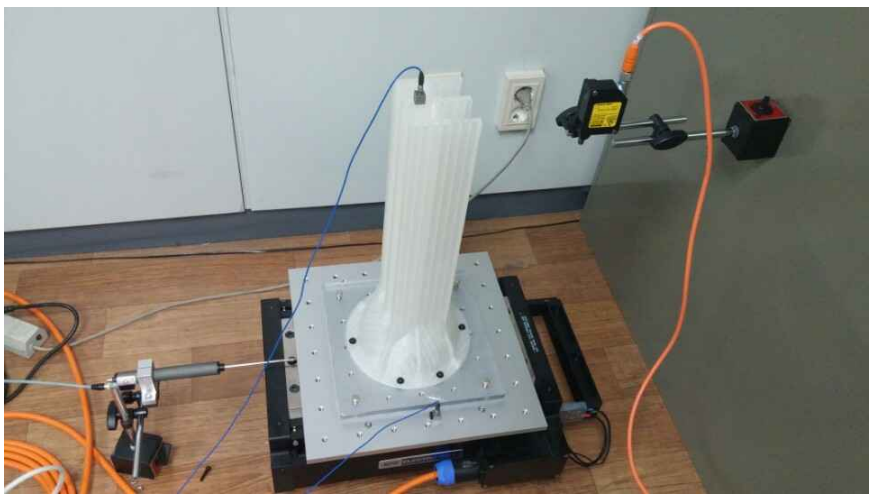


(a) Basic 모형 특징 (b) HAT Joint 모형 특징

<그림 2.99> Basic 모형과 HAT Joint 모형 간 차이점

② 가력 계획

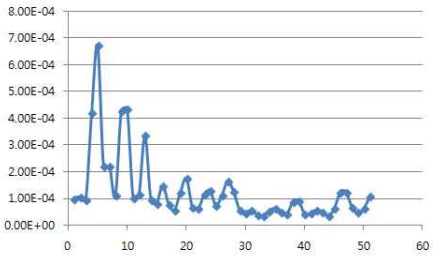
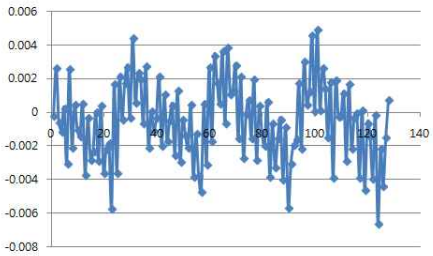
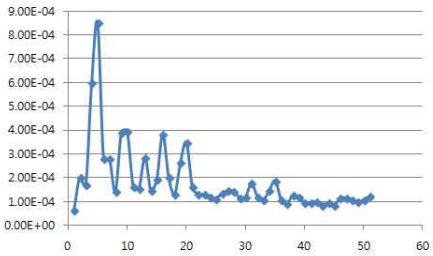
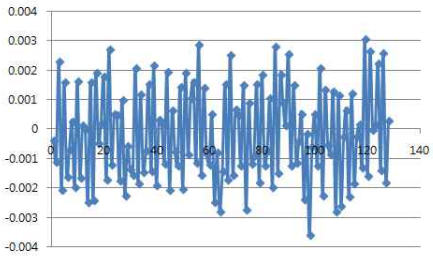
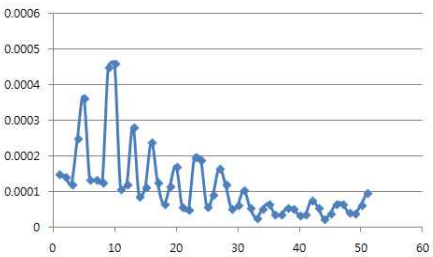
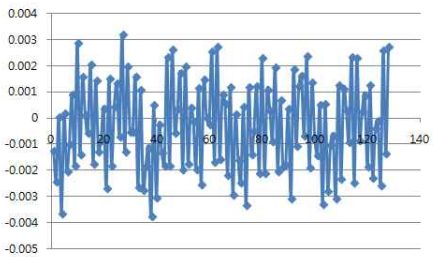
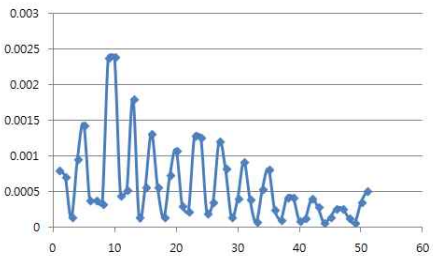
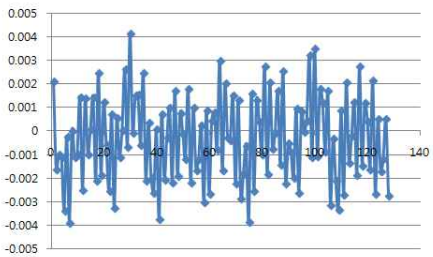
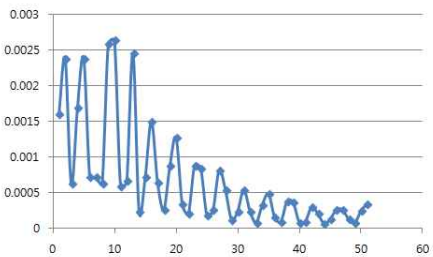
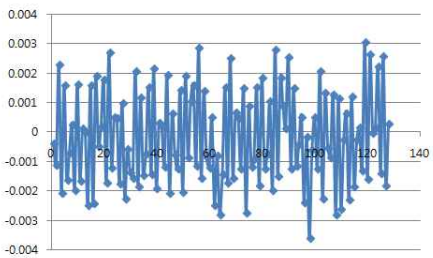
<그림 2.98>과 같은 진동 실험 장비를 이용하여 실험이 진행되었다. Shaker System은 진동대로써 전기적인 신호를 받아 물리적인 진동을 발생 시키는 가진 장치이며, Power Amplifier를 이용해 전기적인 신호를 증폭하여 가진기가 충분한 진동을 발생시킬 수 있도록 한다. 진동수는 Software를 통해 입력하며 진폭은 Power Amplifier의 버튼을 통해 가력하게 된다. 수동 조절로 진폭을 조절해야하는 문제점을 해결하기 위해 진동을 측정하기 위한 충분한 진폭을 실험 전 조절하여 결정한 후 이를 고정시켜 실험 변수에서 제외시켰다. 가속도계와 LVDT를 이용해 5개 모형의 거동을 측정하며 기존 Basic 모형과 HAT Joint 모형의 평균 가속도와 평균 변위를 통해 HAT Joint로 인한 하부 형상 변화에 따른 동적 특성 변화를 확인한다.



<그림 2.100> 진동 실험 세팅 형상

모형의 상부와 진동판을 LVDT로 측정하여 이를 보정한 값을 통해 실험체의 평균 변위를 계산하며, 가속도계 역시 상부와 진동판에 각각 부착한다. 입력되는 진동수는 대표적인 지진 중 하나인 노스리지 지진의 FFT 해석 결과에 따른 주요 진동수 범위를 입력하였다(T.K.Datta, Seismic analysis of structures). 따라서 가력 진동수는 3Hz의 Sin파로 결정하였으며 진폭은 레이저변위계의 측정 변위 내로 수동 조절한 후 고정하였다.

③ 시험 결과

	가속도	변위
Basic		
H-Type		
T-Type		
P-Type		
K-Type		

<그림 2.101> 진동 실험 결과 그래프

<표 2.15> 평균 가속도 및 변위 정리

	평균 가속도(g)	평균 변위(mm)
Basic	0.000127(기준)	0.021(기준)
H-Type	0.000128(+0%)	0.020(-5%)
T-Type	0.000130(+2%)	0.020(-5%)
P-Type	0.000127(0%)	0.019(-9%)
K-Type	0.000131(+3%)	0.020(-5%)

<그림 2.101>은 진동 실험 결과 측정된 가속도와 변위 데이터를 그래프로 정리한 것이다. 가속도는 주파수 변화 따른 그래프이며, 변위는 시간에 따른 그래프이다. <표 2.15>에 기존 플레이트 접합부에 따른 Basic 모델과 H, T, P, K-Type의 모델을 비교 정리하였다. HAT Joint 모형은 Basic 모형에 비해 평균 가속도는 약간 늘었으며, 평균 변위는 감소한 것을 볼 수 있다. 이는 HAT Joint 형태의 변화에 따른 강성값 증가가 원인으로 판단된다. 하지만 전체적인 가속도와 변위는 Basic 형상에 비해 뚜렷한 차이를 보이지 않으며 이에 따라 형상에 따른 동적 특성의 변화는 매우 작다고 볼 수 있다. 기본적으로 PHC 파일과 철골기둥을 연결하는 접합부는 지하 콘크리트 안에 위치하게 되므로 설치 후에는 지진에 대한 큰 문제가 되지 않는다. 하지만 시공과정 중에 발생할 수 있는 충돌하중 및 콘크리트 양생 전 발생할 수 있는 혹시 모를 지진에 대한 검토를 위해 이 실험은 진행되었다.

접합부의 형상 변화가 건물의 고유주기에 끼치는 영향 또한 전체 건물 높이에 비해 0.6m 정도의 매우 작은 강성 변화로 무시할 수준으로 판단되어지며, 평균 가속도 및 변위를 <표 2.15>와 같이 확인하였을 때 큰 차이점이 확인되지 않는다. 결과적으로 횡하중에 의한 동적 특성은 기존 접합부와 유사한 거동을 보이며 이는 기존 접합부에 사용되는 시공 규정을 그대로 사용할 수 있다는 것을 의미한다.

(라) 시공 프로세스 현장 검증



(a) PHC 파일절단



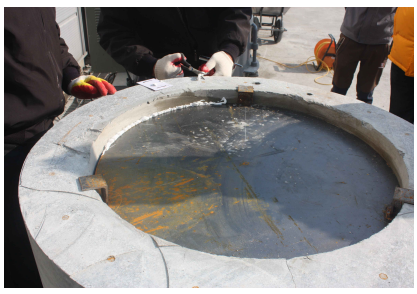
(b) 고르지 못한 절단면



(c) 플레이트 커버 제작



(d) 플레이트 커버 수평 조절



(e) PHC 파일 내부 마개



(f) 모르타르 타설



(g) 실리콘 마감



(h) 볼트 구멍 필름마개



(i) HILTI 천공



(j) 천공 후 구멍



(k) M20 접시머리볼트 시공



(l) 접시머리볼트 시공 후



(m) M24 육각볼트 결합



(n) 시공완료

<그림 2.102> PHC 파일길이 조정 방법 현장검증

<그림 2.102(a),(b)>는 PHC파일을 절단하는 과정과 절단 뒤 절단된 PHC 파일의 고르지 못한 절단면을 보여주고 있다.

<그림 2.102(c),(d)> 플레이트 커버의 형상과 플레이트 커버를 씌우고 수평을 조정하는 과정을 보여주고 있다. <그림 2.102(c)>는 가장 기본이 되는 플레이트 커버이다. <그림 2.102(d)>는 플레이트 커버의 볼트 구멍에 3개의 볼트를 결합 후 수평을 조정하는 과정을 나타내고 있으며 이 때 사용되는 볼트는 HAT Joint와 플레이트 커버의 결합에 사용되는 M24 볼트를 활용하여 수행한다.

<그림 2.102(e),(f)>는 무수축 모르타르를 타설하는 단계 이다. <그림 2.102(e)>는 무수축 모르타르 타설시 모르타르가 PHC 파일 내부로 흘러드는 것을 막기 위한 PHC 파일 내부 마개이고, <그림 2.102(f)>는 <그림 2.102(d)>의 수평 조절이후 무수축 모르타르를 타설하는 과정이다. 무수축 모르타르는 PHC 파일 내부와 PHC 파일과 PHC 파일위에 설치된 플레이트 커버 안쪽을 모두 채울 수 있는 양을 타설하며 외부로 무수축 모르타르가 새는 것을 방지하기 위하여 실리콘으로 마감하고, 볼트 구멍으로 모르타르가 올라옴을 방지하기 위해 플레이트커버 내부에 필름을 활용하여 마감한다(<그림 2.102(g),(h)>참조).

<그림 2.102(i),(j)>는 플레이트 커버와 PHC 파일을 결합하는 과정을 설명한 단계이다. <그림 2.102(i)>는 M20 접시머리 볼트 구멍에 HILTI를 활용하여 천공하는 과정을 보여주고 있

으며 <그림 2.102(j)> 천공후의 사진을 보여주고 있다.

<그림 2.102(k),(l)>은 천공된 구멍에 볼트를 설치하는 과정과 볼트가 설치된 후 의 모습을 보여주고 있다. <그림 2.102(k)>는 M20 육각접시머리 볼트를 활용하여 플레이트 커버와 PHC 파일을 결합하는 과정을 보여주고 있는데 이때 별도의 앵커 없이 M20 육각접시머리 볼트가 PHC 파일의 고강도 콘크리트와 직접 결합이 이루어진다. <그림 2.102(l)>은 M20 육각접시머리 볼트를 설치 한 후의 모습을 보여주는 육각접시머리 볼트의 머리가 플레이트 커버 위로 올라오지 않도록 시공한다.

<그림 2.102(m),(n)>은 HAT Joint, 플레이트 커버, 절단된 PHC 파일을 모두 결합하는 과정을 보여주고 있다. <그림 2.102(m)>은 M24 육각볼트를 활용하여 HAT Joint와 플레이트 커버를 결합하는 과정을 보여주며 <그림 2.102(n)>은 모두가 완료된 후 의 모습이다.

위의 과정은 기존의 방법인 절단된 PHC 파일 위에 기초 콘크리트 타설 후 양생기간 28일 거쳐 기둥을 시공하는 과정에 비해 절단된 PHC 파일에 플레이트 커버 시공 후 무수축 모르타르가 25MPa를 발현하는 기간인 3일 후 바로 기둥 시공이 가능하다는 장점을 갖고 있으며 이는 공사기간을 획기적으로 단축할 수 있다.

라. 경제성 분석

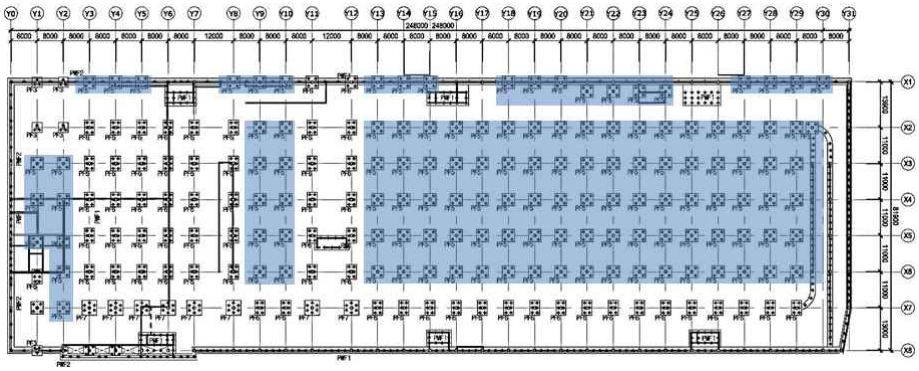
(1) 중구경 PHC 파일 시공현장 적용사례 검토

<그림 2.103>은 기존의 소구경 PHC 파일을 사용한 경기도 광명시에 위치한 광명 역세권 지구내 판매 시설 2동 시공현장을 나타내고 있다. 제안한 고강도 대구경 PHC 파일을 적용한 경우의 효용에 대해 검토하였다. 기존에 사용되던 공법은 중소구경 PHC 파일 5개로 이루어졌지만 이를 대구경 PHC 파일 1개로 대체하여 HAT Joint를 적용시켰을 때 어떤 이점이 있는지 분석하였다(<그림 2.104> 참조).

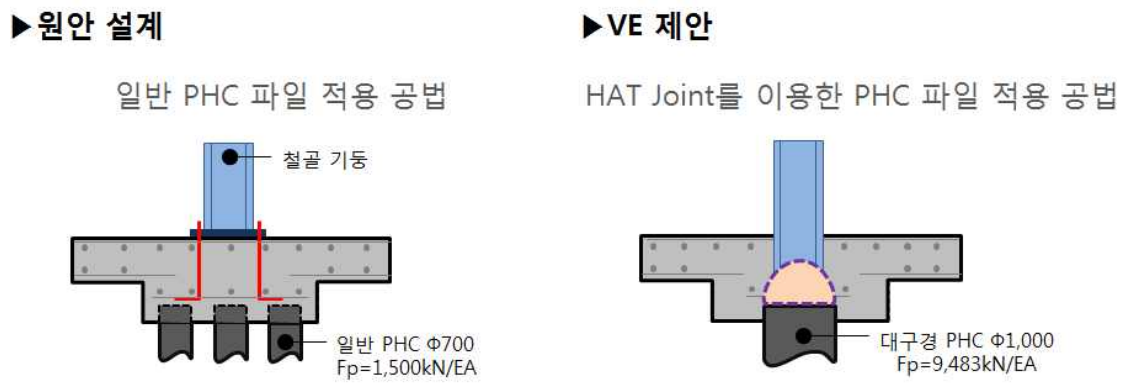


구분	내용	
건물개요	공사명	광명역세권지구내 판매 시설 2동
	위치	경기도 광명시
	용도	판매시설
구조 시스템	구조형식	철골철근콘크리트 모멘트골조
	기초형식	파일기초(Ø700)

<그림 2.103> 소구경 PHC 파일 공법 시공현장 개요



(a) VE 제안으로 대체되는 PHC 파일



(b) 원안설계, VE 제안 공법 비교

<그림 2.104> VE 제안 방법

<표 2.13> 원안설계, VE 제안설계 비교 분석

원안 설계		
재료비+공사비		공사기간
수량(m)	620EA X 10m =6,200m	620EA÷6(EA/1일)=103일
단가(원/m)	52,500	
비용	325,500,000	

VE 제안 설계		
재료비+공사비		공사기간
수량(m)	124EA X 10m =1,200m	124EA÷3(EA/1일)=41일
단가(원/m)	200,000(추정)	
비용	240,000,000	

분석결과 <표 2.13>에서 정리한 바와 같이 재료비와 공사비의 경우 8,550만원이 절감되는 것으로 산정 되었고 이는 26.3%의 절감효과를 갖는 것이다. 또한 전체공사기간은 62일 단축됨으로써 인건비, 기자재 운용비에 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

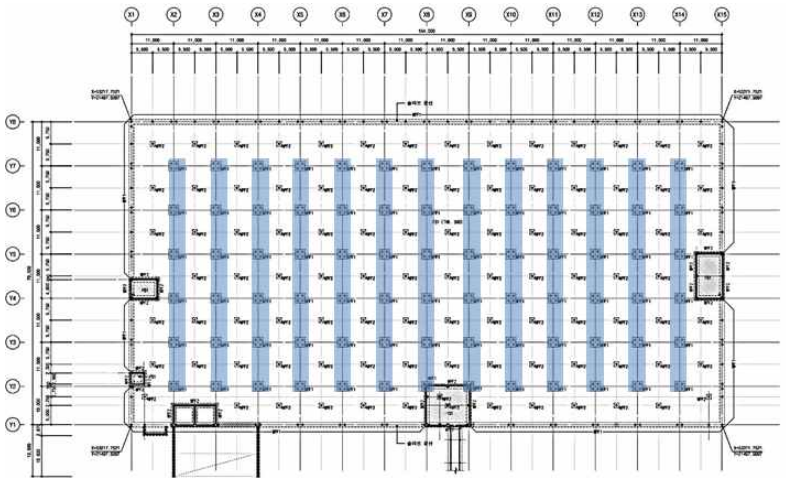
(2) 소구경 PHC 파일 시공현장 적용사례 검토

<그림 2.105>은 기존의 소구경 PHC 파일을 사용한 인천광역시에 위치한 한국 면세점협회 통합 물류 창고 시공현장을 나타내고 있다. 제안한 고강도 대구경 PHC 파일을 적용한 경우의 효용에 대해 검토하였다. 기존에 사용되던 공법은 중소구경 PHC 파일 4개로 이루어졌지만 이를 대구경 PHC 파일 1개로 대체하여 HAT Joint를 적용시켰을 때 어떤 이점이 있는지 분석하였다(<그림 2.106> 참조).

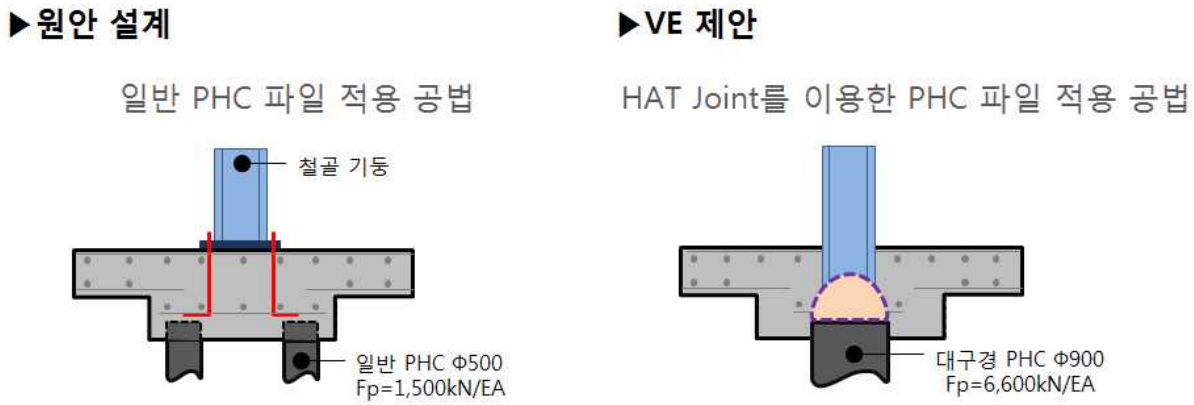


구분	내용	
건물개요	공사명	한국 면세점협회 통합 물류 창고
	위치	인천광역시
	용도	창고시설
구조 시스템	구조형식	철골철근콘크리트 구조
	기초형식	파일기초(Ø500 SPHC Pile)

<그림 2.105> 일반 PHC 파일 공법 시공현장 개요



(a) VE 제안으로 대체되는 PHC 파일



(b) 원안설계, VE 제안 공법 비교

<그림 2.106> VE 제안 방법

<표 2.14> 원안설계, VE 제안설계 비교 분석

원안설계		
재료비+공사비		공사기간
수량(m)	312EA X 25m =7,800m	312EA÷4(EA/1일)=78일
단가(원/m)	52,500	
비용	409,500,000	

VE 제안설계		
재료비+공사비		공사기간
수량(m)	78EA X 25m =1,950m	78EA÷2(EA/1일)=39일
단가(원/m)	163,000(추정)	
비용	317,850,000	

분석결과 <표 2.14>에서 정리한 바와 같이 재료비와 공사비의 경우 9,165만원이 절감되는 것으로 산정 되었고 이는 22.4%의 절감효과를 가진다. 또한 공사기간은 39일 단축되었다.

(3) 경제성 검토 결과

<그림 2.103, 2.105> 두 개의 현장에 대한 비교 분석 결과 공사비용은 평균 24%절감 공사기간은 평균 50일이 단축됨을 확인할 수 있었다. 또한 공사 규모가 크면 클수록 공사비 절감 효과가 커짐을 확인할 수 있었으며 이와 마찬가지로 공사 규모가 클수록 공사기간의 단축률 역시 증가함을 확인할 수 있었다.

공사비만 비교했을 경우에도 기존 방법에 비해 경쟁력 있음이 입증되었고, 공사기간까지 고려하였을 경우 이에 따른 기회비용은 훨씬 더 큰 폭으로 증가함을 확인할 수 있다.

제3장 최종 연구성과 및 적용실적

1. 개별 연구성과

연구개발분류	연구성과
HAT Joint 프로토 타입 개발	• 유한요소 해석을 통하여 HAT Joint의 기본 형상 및 변수 해석을 진행하였으며 이를 기반으로 최적화된 HAT Joint의 형상을 제안하였다. • HAT Joint H-Type(H형강 기둥)에 대한 유한요소 해석을 1차년도 연구를 통해 진행하였다. • HAT Joint T, P, K-Type(각각 각형강관, 원형강관, 왕(王)형 기둥)에 대한 접합부 해석을 2차년도 연구를 통해 진행했다. • 해석으로 제안된 각 타입별 HAT Joint의 프로토 타입에 대해 압축 구조성능평가를 통해 실제 목표 하중을 만족하는지 확인하였다. • 1500ton의 설계하중에 대해 유한요소해석을 통한 구조성능은 H-Type 1700ton, T-Type 1700ton, P-Type 1746ton, K-Type 1700ton이며 실제 실험을 통한 결과는 H-Type 1764ton, T-Type 1800ton, P-Type 1930ton, K-Type 1750ton으로 모두 충분히 만족한다.
PHC 파일 길이조정방법 개발	• 절단된 PHC 파일에 HAT Joint를 시공할 수 있는 새로운 방법의 파일길이 조정방법을 개발하고 제안함으로써 기존에 사용되던 일반적인 PHC 파일 시공 방법 보다 공사기간을 단축시키고 보다 효율적인 시공이 가능한 PHC 파일 길이 조정방법을 제시하였으며 이를 현장 검증을 통해 확인하였다. • PHC 파일 절단 후 콘크리트와 선단캡의 M20볼트 연결의 안전성을 확인하고자 해당 볼트에 대한 인발 실험을 진행하였다. 실험 결과 필요 볼트 삽입 깊이는 79.2mm로 현재 사용하는 L=100mm 볼트의 88.5mm 삽입 깊이로 충분히 만족한다. • 연결 부위에서의 휨에 대한 저항력을 확인하고자 휨 구조성능평가를 진행하였으며 PHC 파일에 설치된 PC강봉보다 우수한 성능을 확인하였다. 이는 접합부의 특성상 PHC 파일의 연장으로 볼 수 있다. • HAT Joint 공법의 기존 공법과의 횡하중 가력 시 차이점을 확인하기 위해 축소모형을 통한 진동 실험을 진행하였으며, 횡하중에 대해 뚜렷한 동적 특성의 변화가 나타나지 않은 것으로 보아 기존 사용 중인 설계 코드를 이용하여도 무방한 것으로 판단한다.
경제성 분석	• 개발된 HAT Joint와 PHC 파일길이 조정 방법을 토대로 롯데건설과 삼표피앤씨에서 시공 중인 파일시공 현장에 대해서 경제성 분석을 진행한 결과 공기 단축면에서 큰 효과를 확인하였다. • Pilot 프로젝트 현장의 경우 5.5%정도의 기자재비 감소 효과를 확인하였다.
Pilot Project	• 롯데건설에서 현재 시공중인 마곡지구 현장에 우선적으로 Mock-Up Test를 통해 시공 프로세스를 검토하였다. • 실제 시공 중인 건물에 HAT Joint설치를 위한 Pilot Project를 2015.04.22일 수행하였다.

2. 주요 연구성과(실적)

주 요 연구성과 (실적)	**– 시제품** • HAT Joint H, T, P, K Type별 프로토타입 제작(H-Type 4개, T, P, K-Type 각 1개) • 파일길이 조정을 위한 선단 캡 제작 후 실제 검증 수행 • 휨 실험을 위해 PHC파일-HAT Joint-철골기둥 연결체 제작 • 볼트 성능 평가를 위한 인발 실험체 19개 제작 • 진동 실험 평가를 위한 축소 모형 5개 제작 • Pilot Test 전 Mock-Up Test를 위해 실제 시공 용 HAT Joint 제작 **– 학술발표(1차년도 2건, 2차년도 3건)** • Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column PART I : Analysis, ICEMEMSCE 2013(1차년도, 2013.10) • Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column PART II : Experiment, ICEMEMSCE 2013(1차년도, 2013.10) • K형 주강 접합부 유한요소해석, 대한건축학회(2차년도, 2014.10) • 반구형 접합부(HAT Joint)시공 프로세스 및 경제성 검토, 한국방재학회(2차년도, 2015.02) • 휨 실험을 통한 반구형 접합부(HAT Joint) 성능평가, 한국방재학회(2차년도, 2015.02) **– 학술논문(1차년도 2건, 2차년도 4건)** • Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column PART I : Analysis, Applied Mechanics and Materials(1차년도, 2014. vol.470) • Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column PART II : Experiment, Applied Mechanics and Materials(1차년도, 2014. vol.470) • 강재기둥과 PHC파일을 연결하는 반구형 접합부(HAT Joint)의 유한요소해석 PART I : 원형강관기둥, 공간구조학회(2차년도, 2015.03) • 강재기둥과 PHC파일을 연결하는 반구형 접합부(HAT Joint)의 유한요소해석 PART II : 각형강관기둥, 공간구조학회(2차년도, 2015.03) • ES2 합성기둥의 압축성능평가, 대한건축학회(2차년도, 2015.03) • SAFE댐퍼 보강골조의 구조성능 실험적 평가, 공간구조학회(2차년도, 2015.03)

– 특허

1차년도(특허출원 2건)

• 반구형 HAT 조인트를 이용한 스피드업 공법, 10-2014-0026886 (출원일:2014.03.07)

• PHC 파일 길이 조정용 스마트 선단캡 및 이를 이용한 파일길이 조정방법, 10-2014-0026891 (출원일:2014.03.07)

2차년도(디자인 등록 2건)

• 제30-0776950, 건축 구조재용 연결구(□타입) (출원일:2014.03.07, 등록일:2014.12.16)

• 제30-0776951, 건축 구조재용 연결구(王타입) (출원일:2014.03.07, 등록일:2014.12.16)

3. PILOT 프로젝트

가. PILOT 프로젝트 개요

개발된 HAT Joint를 실제 건축물에 적용하여 HAT Joint를 활용한 공법이 기존 공법에 비해 갖는 장점에 대한 입증 자료가 필요하다. 개발된 HAT Joint가 실제 시공현장에서 사용되었을 경우 발생하는 문제점 등을 미리 파악하고 경제적으로 우수함을 입증하기 위한 목적을 갖는다. 2차년도에 진행된 Pilot 프로젝트는 롯데건설(주)에서 시공 중인 마곡지구 오피스텔 현장에 적용되었으며 Mock-Up Test(2015.03.04)를 통해 시공 프로세스를 우선적으로 검토 후 본 시공(2015.04.22)을 실시하였다.

구분	내 용
공사명	마곡지구 B4-2블럭 오피스텔
공사위치	서울 강서구 마곡동 마곡도시개발구역 상업용지 B4-2블럭
용도	업무시설(오피스텔) 및 근린생활시설
공사기간	2014. 09. 18 ~ 2016. 12. 31
공사규모	지하6층, 지상 14층, 1개 동 648세대
건축주	마곡지구피에프브이㈜
시행사	롯데자산개발
감리자	㈜다인그룹엔지니어링 건축사사무소
설계자	㈜다인그룹엔지니어링 건축사사무소
대지면적	4,259㎡(1,288평)
연 면 적	43,1778㎡(13,061평)
용 적 률	586%(법정 : 600%)



(a) 공사 개요

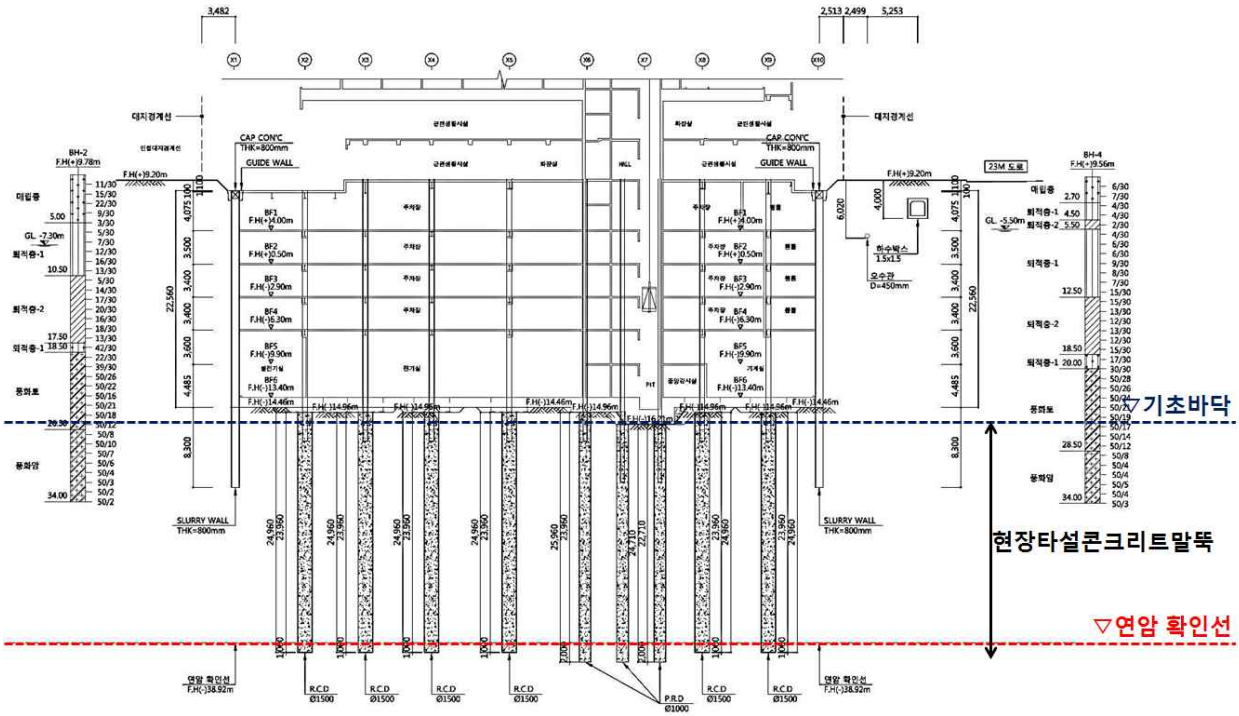
구분	내 용
구조설계사	가온구조기술사사무소
구조형식	철골철근콘크리트 라멘구조(지하)+철근콘크리트 벽식구조(지상)
바닥구조시스템	Slab + Wall, Beam + Girder
횡력저항시스템	내력벽시스템(철근콘크리트 보통전단벽)
토목설계사	㈜한미씨엔디
흙막이벽체공법	Slurry Wall(800㎜)
흙막이지지공법	SPS EG-Down
기초형식	현장타설 말뚝기초(65본)
	공사기간 : 2015년 1월 말부터
	기초타설 : 2015. 12
	Ø1,000 PRD 35본 : 800, 1,000tonf/EA
	Ø1,500 RCD 30본 : 1,500, 1,800tonf/EA



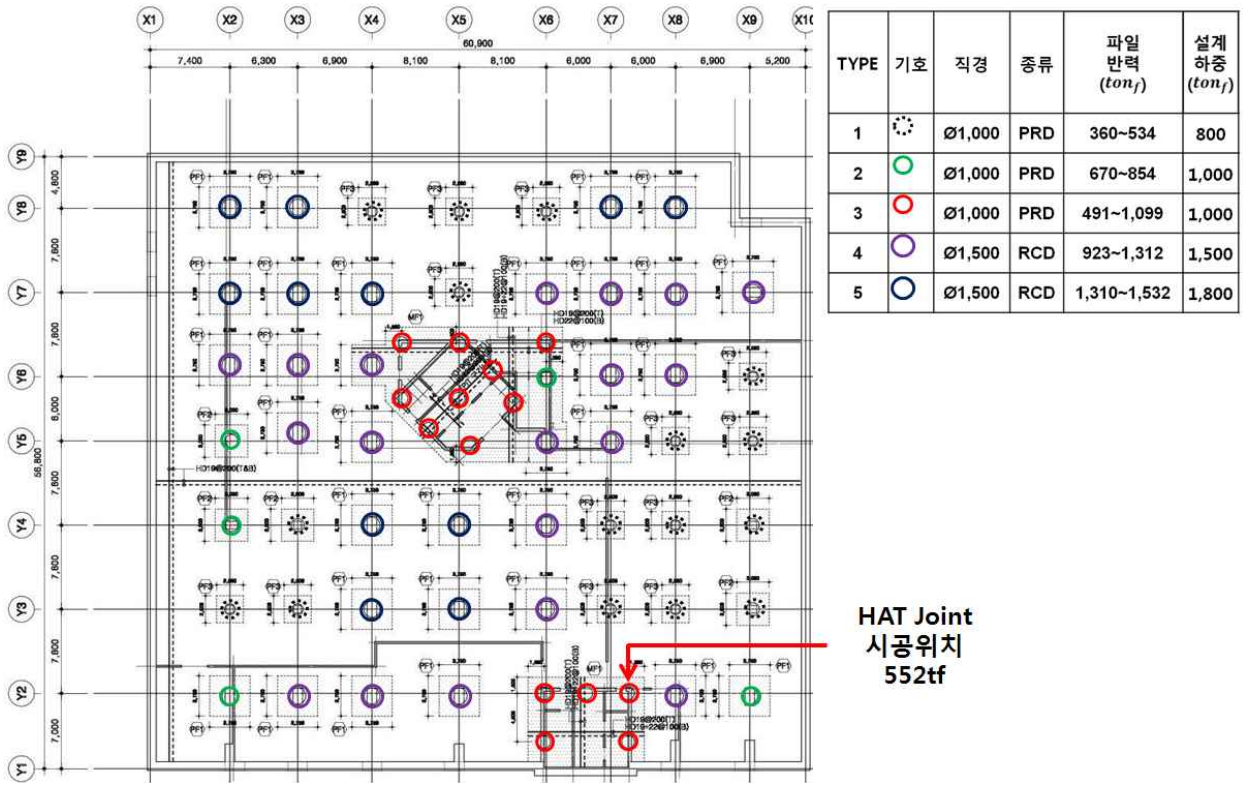
(b) 구조 개요

<그림 3.1> Pilot 프로젝트 적용 현장 개요

기존 시공 예정이었던 현장타설 콘크리트말뚝을 HAT Joint를 이용한 PHC 파일말뚝으로 변경을 위한 사전 조사를 진행하였다. 우선적으로 <그림 3.2>의 지반 조사와 <그림 3.3>의 현장타설 말뚝의 설계하중을 고려하여 파일 적용이 가능한 구역을 판단하였다.



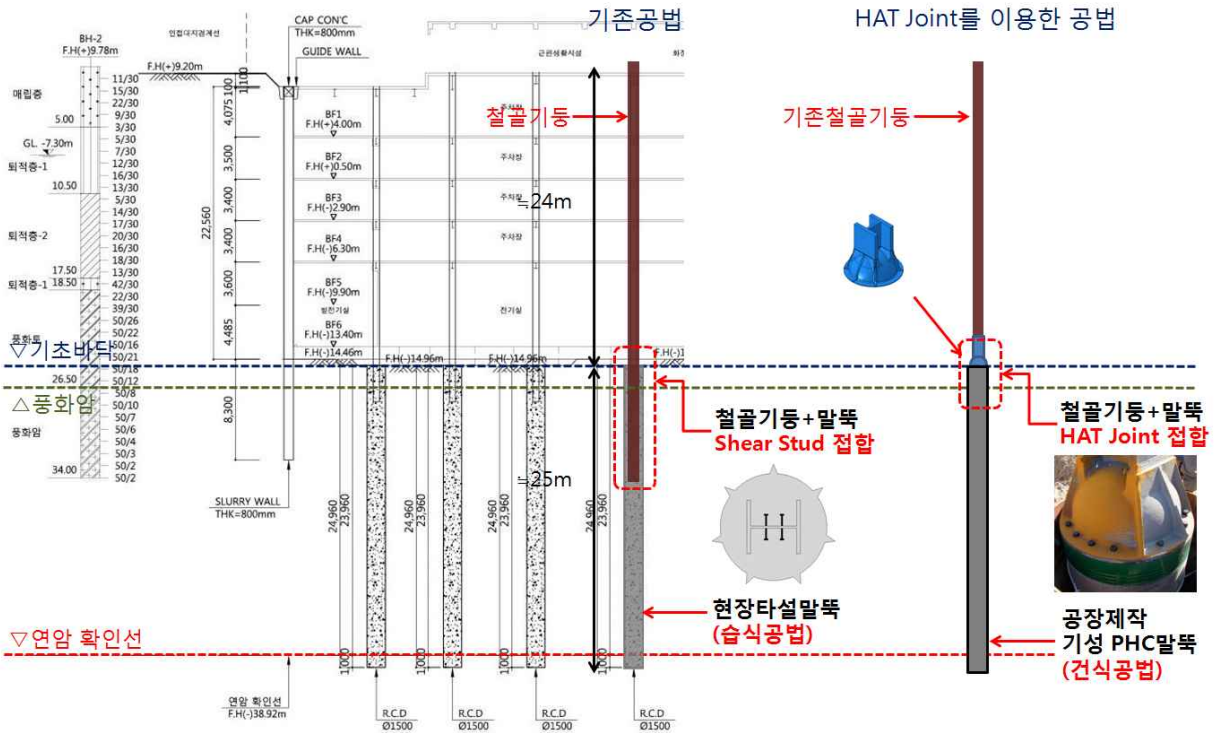
<그림 3.2> 현장 지반조사 결과



TYPE	기호	직경	종류	파일 반력 (ton_f)	설계 하중 (ton_f)
1		Ø1,000	PRD	360~534	800
2		Ø1,000	PRD	670~854	1,000
3		Ø1,000	PRD	491~1,099	1,000
4		Ø1,500	RCD	923~1,312	1,500
5		Ø1,500	RCD	1,310~1,532	1,800

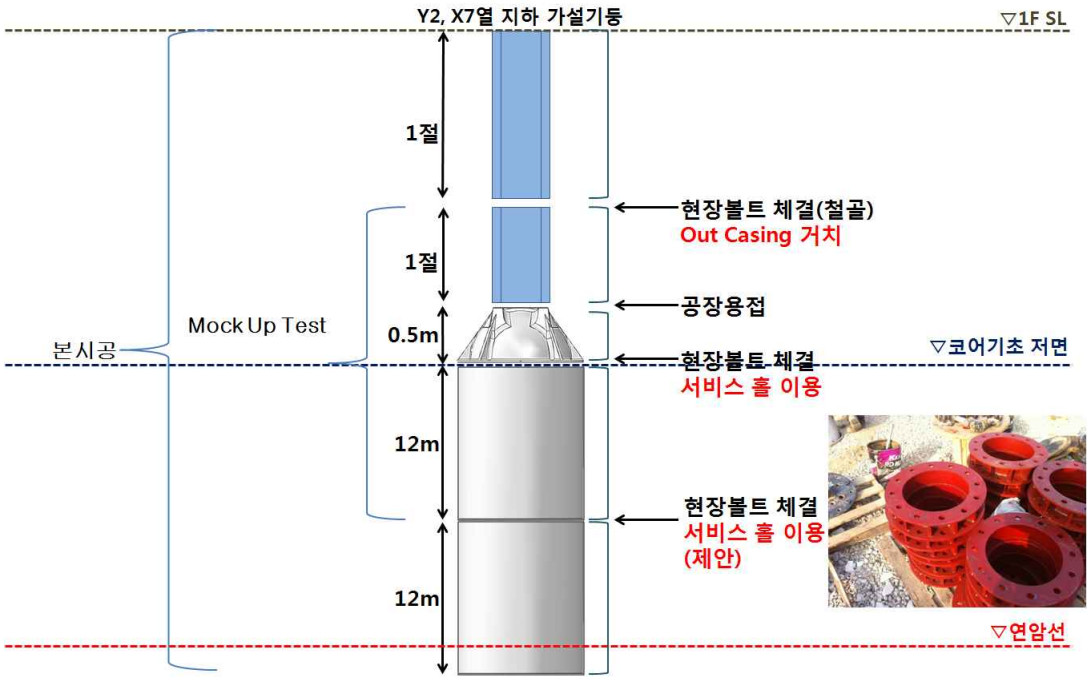
<그림 3.3> 파일 위치 및 설계하중 확인

<그림 3.2>과 <그림 3.3>을 기반으로 HAT Joint공법으로 기존 현장타설콘크리트말뚝을 대체할 장소를 선정한 후 <그림 3.4>와 같이 연암까지의 깊이와 상부 철골 기둥 길이를 고려한 HAT Joint 제작형태 및 고려사항을 검토하였다.



<그림 3.4> HAT Joint공법 제작형태 및 고려사항

최종적으로 계획된 Pilot 프로젝트용 HAT Joint 제작 및 조립계획은 <그림 3.5>와 같다. HAT Joint와 상부 철골 1절은 공장용접 후 현장으로 반입되며 서비스 홀을 이용해 PHC 파일 1절과 결합을 한다. PHC 파일 하부 1절은 추가로 현장에서 볼트를 이용해 체결이 되며, 상부 철골 기둥 또한 나머지 부분에 대해 현장볼트로 체결된다. 시공 프로세스 현장 검토 및 확인을 위해 각 1절씩을 조립한 부분에 대해 Mock-Up Test를 선행한다.



<그림 3.5> HAT Joint 제작 및 조립계획안

<그림 3.6>은 HAT Joint 공법의 시공 프로세스 안 이다. Pilot 프로젝트를 통해 해당 시공 프로세스에 대한 검토를 진행하였으며 최종적으로 시공 매뉴얼을 제작하였다.


(a) 자재 반입


(b) P.R.D 위치 측량


(c) Guide Block 설치


(d) Guide Block 콘크리트타설


(e) 천공


(f) 수직도 Check


(g) 심도 및 Slime 제거 확인


(h) Casing Center 확인


(i) K oden Test


(j) 기둥 근입용 Guide Frame


(k) 시멘트 밀크 주입


(l) Pile+철골기둥 근입


(m) 기둥 근입


(n) 시멘트 밀크 양생


(o) 되메우기


(p) 되메우기 후 Casing 인발


(q) Guide Block 철거

<그림 3.6> HAT Joint 공법 시공 프로세스

나. Mock-Up Test(2015.03.04 수행)

Mock-Up Test는 실제 시공 전 각 협력업체별 담당 업무 수행 능력 체크, 현장에서의 조인트 연결 시공성 확인, 장비 용량 및 운용성 확인, 시공 오차 관리를 목적으로 시행되었으며 <그림 3.7>은 세부 과정을 정리한 그림이다.



<그림 3.7> Mock-Up Test 순서도

HAT Joint는 제작되어 철골업체로 발송된다. 현장철골업체에서는 HAT Joint와 철골기둥을 공장 용접 이음 후 현장으로 운반한다. 따라서 현장에는 HAT Joint와 철골기둥 연결체와 PHC 파일이 시공을 위해 반입되게 된다. 현장에서는 서비스홀을 천공하며 PHC 파일을 우선적으로 서비스홀에 거치시킨다. 거치된 PHC 파일과 HAT Joint-철골기둥을 <그림 3.8(a),(b)>와 같이 크레인을 이용하여 이동시킨다. 이동시킨 HAT Joint는 <그림 3.8(c)>과 같이 M24볼트로 PHC 파일과 결합된다. 최종적으로 연결된 PHC 파일-HAT Joint-철골기둥을 크레인을 이용해 서비스홀에서 실제 시공할 장소로 이동시킨다(<그림 3.8(d),(e)>).



(a) 크레인에 설치



(b) 서비스홀로 이동



(c) HAT Joint-PHC 파일 결합



(d) 크레인 이동



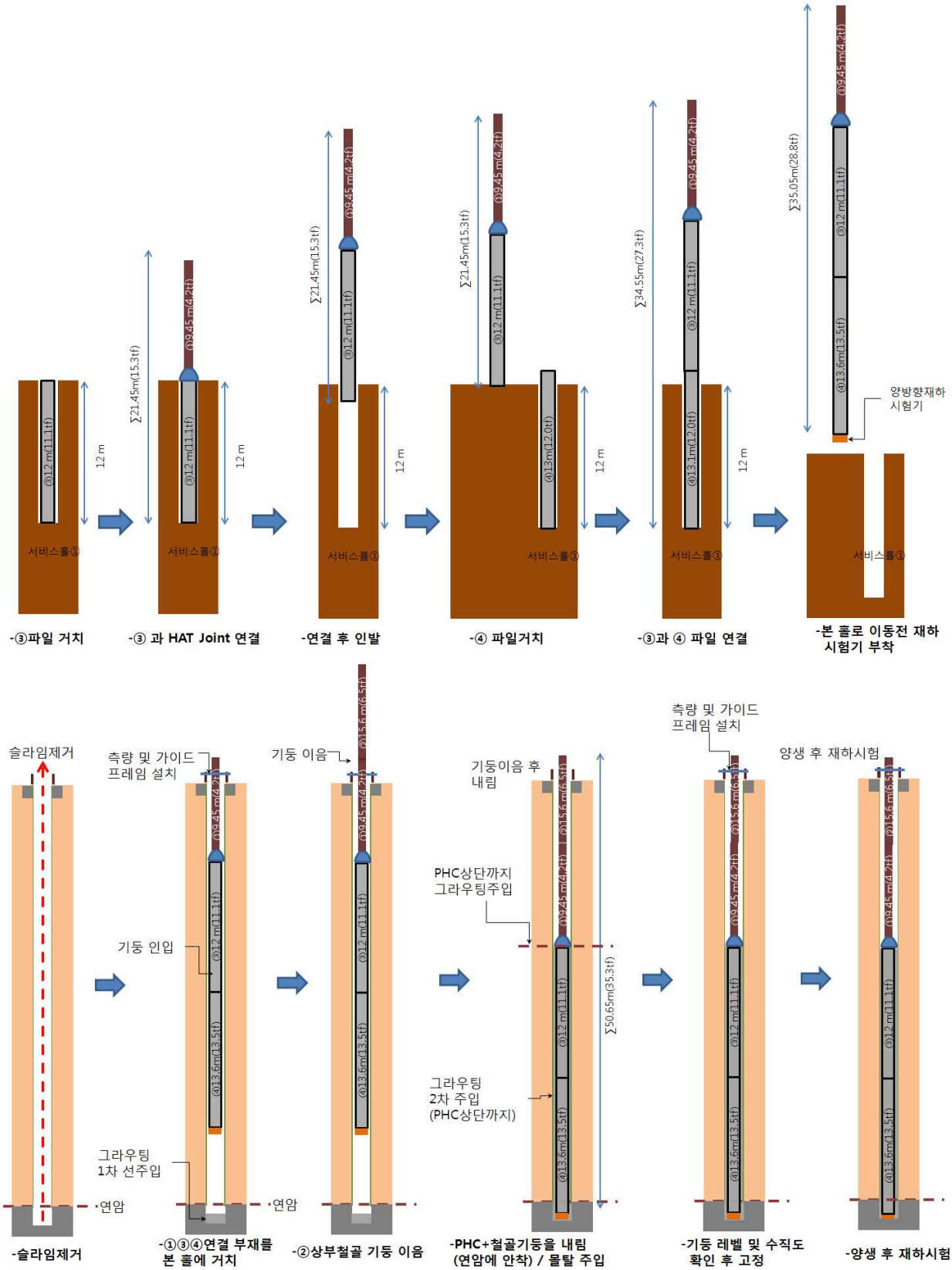
(e) 설치

<그림 3.8> HAT Joint-PHC 파일 설치 사진

다. 본 시공(2015.04.22 수행)

실제 HAT Joint공법이 시공될 현장에 사전 Mock-Up Test를 시행하였으며, 본 시공은 4월 22일 진행되었다. 전체적인 흐름은 Mock-Up Test와 유사하며, PHC 파일과 철골기둥에 각 1절씩 길이가 추가된다. 이에 따른 양방향 재하시험을 5월 20일 진행하였다. 본 시공의 전체 과정 순서도는 <그림 3.9>와 같으며 시공 과정 사진은 <그림 3.10>에 정리하였다.

Mock-Up Test와 동일하게 HAT Joint는 철골기둥과 용접이음해서 현장에 반입되며 현장에는 서비스홀을 시공한다. PHC 파일과 HAT Joint는 서비스홀을 이용해 설치되나 본 시공에서는 전체 파일 길이로 인해 우선 1절의 PHC 파일과 HAT Joint를 연결 후 서비스홀에 PHC 파일 2절을 설치하여 <그림 3.7>의 6번과 같이 두 파일을 연결한다. 이때 양방향 재하시험을 위한 양방향 재하시험기를 부착한다. PHC 파일과 양방향 재하시험기가 모두 결합된 상태에서 PRD 본 홀에 삽입을 하게 되고, 철골기둥의 수직도, 레벨을 확인한 후 8번과 같이 가이드 프레임을 이용해 고정시킨다. 고정된 철골기둥에 추가 철골기둥을 이은 후 가이드 프레임을 해체하고 최종 삽입을 한다. 최종 삽입 후 콘크리트 밀크를 주입하게 되며, 밀크 양생 후 양방향 재하시험을 실시한다.



<그림 3.9> 본 시공 전체과정 순서도



<그림 3.10> 본 시공 전체과정 사진

라. 양방향 재하시험(2015.05.20 실시)

(1) 시험 목적

『마곡도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 사업 신축공사』 중 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물 용 기둥 설계 및 시공기술의 성능을 확인하기 위한 대구경 PHC 말뚝(Φ1,000)에 대하여 양방향 재하시험을 실시하고, 시험 결과로부터 얻어진 시험말뚝의 등가 하중 – 침하량 곡선을 구하여 HAT Joint 대구경 PHC 말뚝의 지지력을 분석하여 대구경 PHC 말뚝 (Φ1,000) 시공에 대한 지반 공학적인 자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

(2) 설치 과정

양방향 재하장치 설치 과정은 <그림 3.11>과 같다. 보다 상세한 사항은[부록]에서 단계별 현장 사진으로 나타내었다.



(a) 양방향 재하장치 조립 (b) PHC 말뚝 근입 (c) Mortar 주입재 충진

<그림 3.11> 양방향 재하장치 설치과정

(3) 결 론

기초 말뚝으로 설계 시공된 HAT Joint 기술을 이용한 대구경 PHC 말뚝(D 1000)에 대한 양방향 재하시험의 결과는 다음과 같다.

상향변위(mm)		하향변위(mm)		말뚝 머리 변위(mm)		비고
전체변위	잔류변위	전체변위	잔류변위	전체변위	잔류변위	
7.40	2.99	47.38	21.22	1.12	0.53	

적용하중(MN)	변위량(mm)	안전율(F.S.)	허용 지지력(MN)
12.30	23.62	2.0	6.15

<표 3.1> 지지력분석 결과표

<표 3.1>에서 나타나듯이 본 말뚝의 최소 허용 지지력은 6.15(626.9TON)MN으로 설계하중 5.42(552 TON)MN을 충분히 만족하는 것으로 판단된다.

마. 기존 공법(현장타설말뚝)과 HAT Joint 공법 비교

(1) 경제성 비교

<그림 3.12>은 실제 Pilot 프로젝트 현장에 현장타설말뚝을 대체하여 HAT Joint 공법을 이용한 PHC 파일이 설치될 경우의 기자재비 부분에 대한 경제성 검토이다. HAT Joint 공법 사용 시 파일 1본 당 약 140만원의 절감 효과가 있다(−5.5%).

	명칭	규격	단위	현장타설말뚝[Ø=1000]			PHC+HATJoint			비고
				수량	단가	금액	수량	단가	금액	
	안내홀설치및해체	토공/철콘/해체/반출포함	EA	1	206,200	206,200	1	206,200	206,200	
	천공	토사,캐이싱포함	M	24.91	250,000	6,227,500	24.91	250,000	6,227,500	
	천공	풍화암	M	23.21	320,000	7,427,200	23.21	320,000	7,427,200	
	천공	연암	M	2.00	380,000	760,000	2.00	380,000	760,000	
	굴착토및슬라임처리		M3	39.36	15,990	629,366	39.36	15,990	629,366	
	철근망조립및근입	스페이서설치포함	TON	2.89	257,750	744,898	-	257,750	-	
삭제되는 공정	H-PILE근입	철골기둥설치,가데보양포함	M	6.00	22,690	136,140	-	22,690	-	
	레미콘타설		M3	19.13	17,020	325,593	-	17,020	-	
	CASING인발		M	24.91	4,130	102,878	24.91	4,130	102,878	
	공벽채움	자재포함	M3	19.56	18,050	353,058	19.56	18,050	353,058	
	TOEGROUTING	PIPE포함	개소	1	1,031,000	1,031,000	1	1,031,000	1,031,000	
	두부정리	잔재처리포함	개소	1	103,100	103,100	-	103,100	-	
	KODENTEST		회	1	206,200	206,200	1	206,200	206,200	
삭제되는 공정	철근	HD16~HD32	TON	2.89	670,000	1,936,300	-	670,000	-	
	철골	H-498X432X45X70	TON	3.6	1,400,000	5,082,000	-	1,400,000	-	
	HATJoint	자재비 및 설치비	개소	-	-	-	1	2,000,000	2,000,000	추정
	PHC PILE	Ø=1000	M	-	160,000	-	26	160,000	4,160,000	
신규 공정	용접조인트	Ø=1000	개소	-	480,000	-	1	480,000	480,000	일위대가
	HAT Joint-철골기둥 이음	용접	개소	-	300,000	-	1	300,000	300,000	추정
	계					25,271,433			23,883,403	

<그림 3.12> 경제성 검토

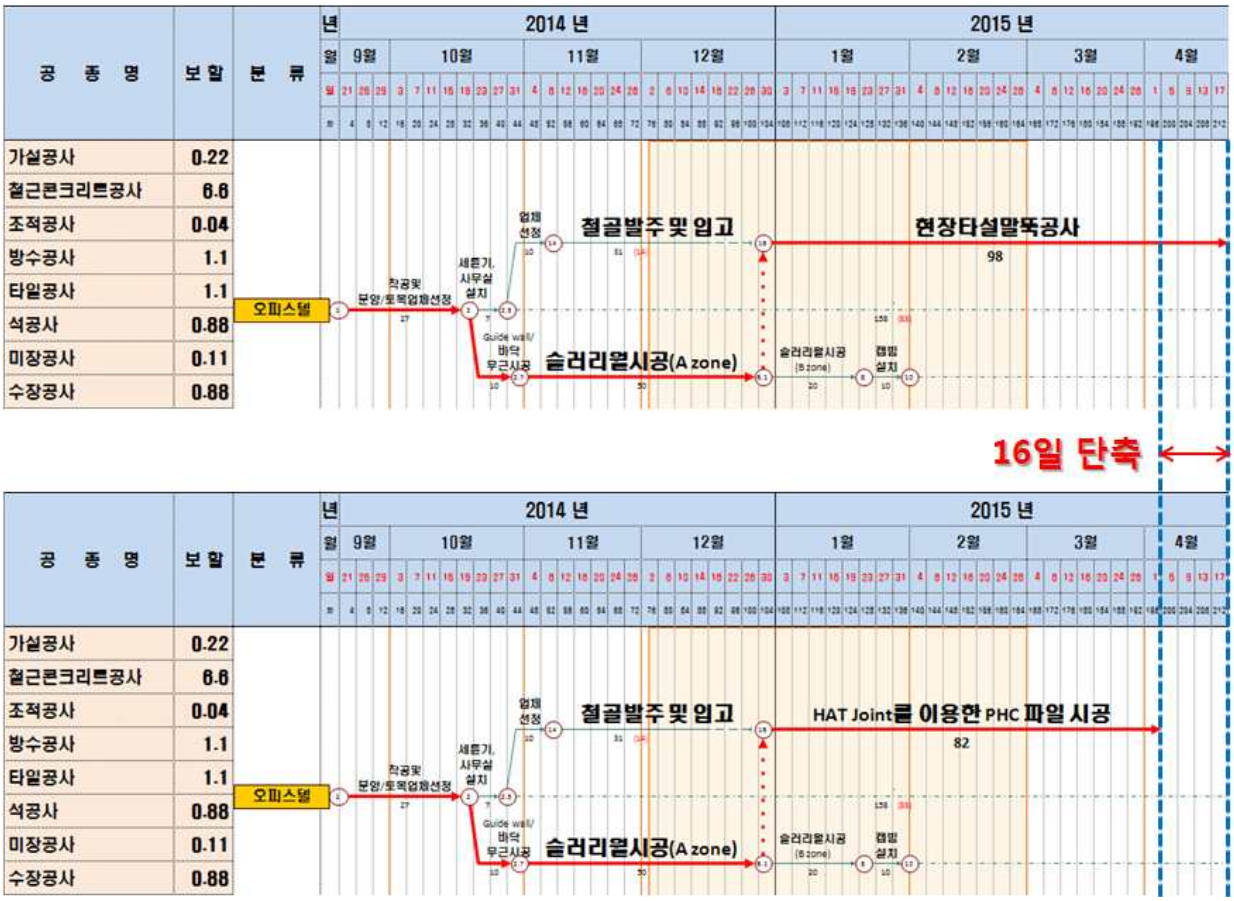
(2) 시공성 비교

다음으로 마곡지구 오피스텔 건설 현장의 기존 공법과 HAT Joint를 이용한 PHC 파일 공법 간의 공정 비교를 통한 공기단축효과를 검토하였다. <그림 3.13>은 파일 1본당 공정을 비교하였으며 HAT Joint를 이용해 PHC 파일 시공 시 2시간의 단축 효과가 나타난다. 해당 현장의 65개 말뚝 기준 130시간의 작업시간이 단축될 것으로 예상되며, 하루 약 8시간의 업무시간을 고려하여 직접공기(Critical Path) 16일이 단축될 것으로 판단된다(−16%). 또한 기존 공법의 철근망 조립 공정 1일이 삭제되므로 해당 건설 현장 기준 간접공기 약 65일 단축 효과가 있다.



<그림 3.13> 파일 1본당 공정 비교

<그림 3.14>는 <그림 3.13>를 통해 전체 공사기간에 대한 단축효과를 나타낸 공정표이다.



<그림 3.14> 전체 공정 비교

제4장 연구목표 달성도

1. 연구개발 수행 진도율

연 구 내 용		추 진 일 정 (월)												부진사유
		(2)차년도												
		2014년									2015년			
		4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	
HAT Joint 구조 성능 평가	계획														
	실적(100%)														
PHC 파일길이 조정방법 구조성능 평가	계획														
	실적(100%)														
시공성 평가 (Pilot 프로젝트)	계획														현장여건에 따라 2015.4.22일 시공 완료
	실적(100%)														
건설 신기술 인증 신청	계획														본 시공 완료 후 신청
	실적(100%)														

2. 연구개발목표 달성도

연구개발목표	달성도 (%)	연구내용(실적)
HAT Joint 프로토 타입 개발	100	• 유한요소 해석을 통하여 HAT Joint의 기본 형상 및 변수 해석을 진행했다. • HAT Joint T, P, K-Type(각각 각형강관, 원형강관, 왕(王)형 기둥)에 대한 접합부 해석을 2차년도 연구를 통해 진행했다. • 해석으로 제안된 각 타입별 HAT Joint의 프로토 타입에 대해 압축 구조성능평가를 통해 실제 목표 하중을 만족하는지 확인하였다. • HAT Joint를 이용한 PHC파일 설계 및 시공 기술에 대한 신기술 신청을 진행하였다.
PHC 파일 길이조정방법 개발	100	• PHC 파일 절단 후 선단 캡과의 볼트 연결의 안전성을 확인하고자 해당 볼트에 대한 인발 실험을 진행하였다 • 연결 부위에서의 휨에 대한 저항력을 확인하고자 휨 구조성능 평가를 진행하였다.

연구개발목표	달성도 (%)	연구내용(실적)
경제성 분석	100	• 개발된 HAT Joint와 PHC 파일 길이 조정 방법을 토대로 실제 시공 현장에 대해서 경제성 분석을 진행하였다. • 기존에 사용되던 파일 시공 방법에 비해 시공기간 감소율과 비용 감소율에 대해서 분석하였다
Pilot Project	100	• 롯데건설에서 현재 시공중인 마곡지구 현장에 우선적으로 Mock-Up Test를 통해 시공 프로세스를 검토하였다. • 실제 시공 현장에 HAT Joint를 이용한 PHC 파일 시공 Pilot Project를 진행하였다. • HAT Joint 공법의 시공 프로세스를 Pilot Project를 통해 검증하며 이를 통해 시공 매뉴얼을 작성하였다.

3. 성과점검기준표

가. 성과목표

핵심성과 (level1)		단위성과 (level2)		최종 성과점검기준					해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표
					질적 성과지표	목표치	측정방법	검증방법	가중치			
A	HAT Joint 개발	A-1	접합부 프로토타입 개발	①	-	-	-	-	8.45	고려대학교, 영구조엔지니어링		신기술 신청 : 1 건
		A-2	실험을 통한 압축구조성능 평가	①	제품 성능 목표 달성도	100%	PHC파일 허용압축하중대비제품의 보유하중 정도	압축구조성능평가 수행	19.75	고려대학교, 삼영엠텍		논문 : 1 건 학술발표 : 1 건
		A-3	실험을 통한 휨 실험 평가	①	제품 성능 목표 달성도	100%	1/300과 1/500의 수직 오차 발생 시 PHC파일 허용 압축하중 대비 달성비	휨구조성능평가수행	19.75	고려대학교, 삼영엠텍, 삼표피앤씨		논문 : 1 건 학술발표 : 1 건

		A-4	PHC파일 길이조정방법 개발	①	-	-	-	-	14.04	고려대학교		시제품 : 1 건 지침 : 1 건
		A-5	PILOT 프로젝트	①	요소 기술의 성능 목표 달성도	100%	기존 공정으로 인한 공사비용 대비 절감 정도	경제성 분석 진행	38.01	전체		논문 : 1 건 학술발표 : 1 건 시제품 : 2 건
					공정 및 공사기간 단축 효과	10%	공사기간 단축율	실제 시공현장에 대한 공정표 작성				
계									100			신기술 신청 : 1 건 논문 : 3 건 학술발표 : 3 건 시제품 : 3건 지침 : 1건

※ 증빙자료 부록에 첨부.

나. 성과목표 달성도

성과목표	성과지표	측정방법	목표치	가중치	달성치
접합부 프로토타입 개발	신기술 신청	신기술 신청 건수	1	8.45%	100%
압축구조성능 평가	학술논문 건수	국내외 학술집에 발간된 논문 건수	1	19.75%	200%
	학술발표 건수	국내외 학술회의에서 발표한 논문 건수	1		100%
휨 실험 평가	학술논문 건수	국내외 학술집에 발간된 논문 건수	1	19.75%	200%
	학술발표 건수	국내외 학술회의에서 발표한 논문 건수	1		200%
PHC 파일 길이 조정방법 개발	시제품 제작	시제품 제작 개수	1	14.04%	200%
	시공 지침서	지침서 작성 개수	1		400%
Pilot 프로젝트	학술논문 건수	국내외 학술집에 발간된 논문 건수	1	38.01%	100%
	학술발표 건수	국내외 학술회의에서 발표한 논문 건수	1		100%
	시제품 제작	시제품 제작 개수	2		200%
총계				100%	170%

제5장 연구성과 활용 및 추가연구 필요성

1. 연구성과 활용방안

가. 사업화 전략 계획

(1) 시장 분석

국내 PHC파일 시장은 말뚝 물량의 60% 점유율을 보이는 뛰어난 시장장악력을 보유하고 있다(한국원심력콘크리트공업협동조합 기준). 하지만 대부분이 일반건축, 플랜트용 중구경(Φ400~Φ600)파일로서 역타현장과 같은 대구경(Φ800이상)의 점유율을 극히 낮은 것으로 조사되었다. 최근 대구경PHC파일 생산기술개발로 인하여 기존의 현장타설콘크리트파일(PRD, RCD)현장으로의 진출이 가능해졌으며 대구경 PHC파일과 철골기둥의 접합부(HAT Joint) 개발은 파일기초사장 점유율 확보에 크게 기여할 것으로 판단된다.

(2) 국내외 시장 규모(HAT Joint 판매시장)

<표 5.1> 연도별 판매 목표 계획

구분	2015년도	2016년도
세계 시장규모 (억)	3,000	3,100
국내 시장규모 (억)	300	310
산출 근거	① 현장타설말뚝 대체 건축 역타현장 : 60개/년 ② 공법적용 가능한 건축 순타현장 : 40개/년 ③ 각 현장별 적용 가능한 기둥 개소 : 100개소 ④ HAT Joint 단가 : 300만원/개 ⑤ 시장규모=(60+ 40)×100×0.03= 300 억/년 - 세계 시장규모는 국내시장 규모의 10배로 가정 - 다음 년도 시장규모는 경제성장률 3%증가 반영	

(3) 시장환경 변화 분석

구조물의 초고층화, 대형화되고 있으며, 연약지반에도 최근 지반 보강을 통한 건설이 활발히 되고 있다. 또한 주로 도심지의 공사현장에서 적용되는 탑다운 공법이 증가되고 있는 추세이다. 이로 인해 지반 보강 및 탑다운 시공 시 철골 기둥 기초를 위해 사용되는 콘크리트 파일은 좀 더 깊은 관입량과 큰 지지력을 필요로 하고 있다. 따라서 큰 지지력을 확보할 수 있는 대구경 PHC말뚝의 수요가 늘어날 것으로 예상된다.

현재 HAT Joint를 활용 가능한 여러 공법 중 Up-Up 공법을 가장 유력한 기술 개발 성과로 보고 있다. Up-Up공법은 일반 PHC 파일 적용 공법과 달리 파일과 기둥의 일체화를 통해 하중의 흐름을 자연스럽게 지반으로 전달할 수 있으며 일반 PHC 파일 적용 공법에서 필요로 하는 기초 콘크리트 양생기간이 필요하지 않아 공사기간을 획기적으로 단축할 수 있다. 경제성 측면에 있어서도 일반 PHC 파일 적용공법에 필요로 하는 파일 절단이후 철근망 삽입, 콘크리트 타설 등에 소요되는 비용과 HAT Joint를 활용한 Up-Up공법에서 필요로 하는 HAT Joint 제작비용은 크게 다르지 않다. 따라서 일반 PHC 파일 적용 공법에 비해 HAT Joint를 활용한 Up-Up공법이 보다 더 우수한 공법이라 말할 수 있으며 기존 Up-Up 공법을 사용하는 현장을 대체할 수 있다고 기대한다. 현재 기존 도심지에 진행되는 건설현장은 SPS공법이 다양하게 적용되고 있으며 기존 공법에 비해 HAT Joint 공법이 공사기간을 획기적으로 단축시킬 수 있는 점은 도심지 공사에 상당히 큰 장점으로 부각될 수 있다.

(4) 수입기술 대체가능성

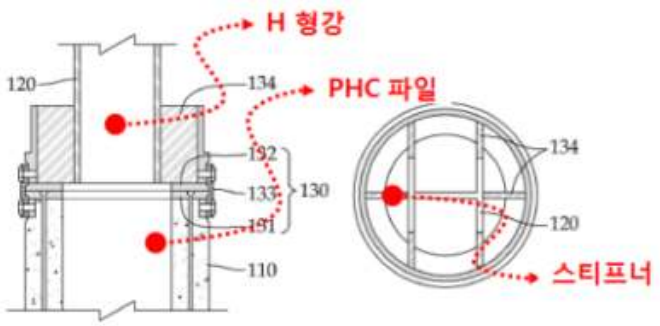
PHC 파일은 1992년에 일본에서 기술을 도입되어 생산이 시작되었지만 현재 국내 생산기술은 세계최고 수준으로 국내 기술로 충분히 사업을 진행 할 수 있는바 기술 수입의 필요는 없는 것으로 판단된다.

(5) 기존 기술 및 경쟁사 분석

말뚝 시장의 수요가 다양해짐에 따라 말뚝에 대한 연구개발도 활발해 지고 있다. 대구경PHC 파일, 선단확장형 PHC파일, 복합말뚝 등, 말뚝자체에 대한 개발 건수는 많으나 말뚝과 철골 기둥의 이음에 대한 연구는 미흡하다. HAT Joint 제품은 국내에서 처음 독자적인 개발품이므로 참여기업을 통한 국내 제작 및 활용이 가능한 것으로 판단된다.

– 국내 기존 기술

PHC 파일과 H 형강을 플레이트를 통해 연결함으로써 플레이트에 휨 모멘트가 발생하여 불리하다. 따라서 추가적인 스티프너가 필요하며 이로 인해 작업이 번거롭고 불편하다.

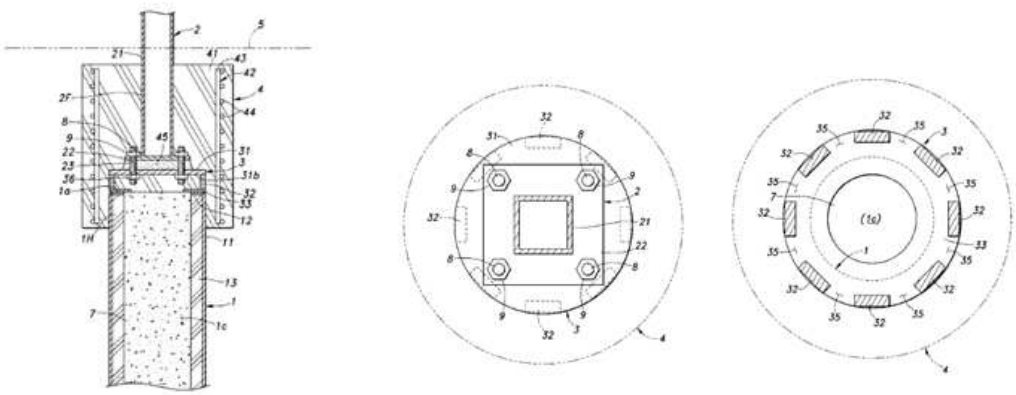


<입면상세> <접합부 평면상세>

<그림 5.1> 특허출원(10-2010-0055954) : 복합파일을 이용한 지하골조구조물 시공방법

– 국외(일본) 기존 기술

국내 기존 특허와 유사한 형태를 가지고 있으며, 파일 선단캡에 플레이트를 부착하여 철골 기둥과 볼트접합하는 형태이다. 이 역시 작업이 번거롭고 불편하다.

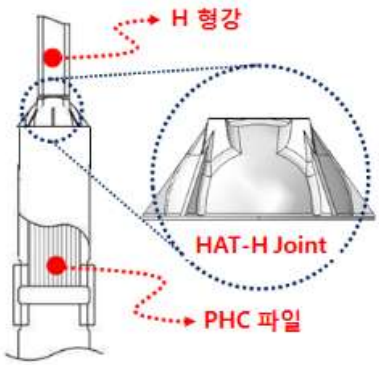


<입면상세> <접합부 평면상세>

<그림 5.2> 특허출원(2010-204085) : Steel and Method for Connection Pile and Steel Column

– 보유 기술 : HAT Joint 공법

건식공법으로 재령기간이 1~2일로 빠르고 균질한 시공품질 확보, 시공비 및 재료의 절감이 가능하다는 장점이 있다. 또한 슬러그 배출이 없어 토양 오염을 억제할 수 있으며 PHC 파일과 H 형강 사이에 축력만 존재하여 힘의 전달이 자연스럽다.



<그림 5.3> HAT Joint 공법

– 성능 비교

<표 5.2> 기존 기술과 HAT Joint 공법 간 성능 비교

※ ●:상 / ◎:중 / ○:하

성능	기존 플레이트 공법		HAT Joint 공법		비고
제작성	• 스티프너, 커플러 등을 추가로 설치해야하는 번거로움	◎	• 틀을 만들어 주물로 제작	●	↑
구조 안전성	• 휨 모멘트가 발생	○	• 반구형상으로 축력으로 하중전달	●	↑
경제성	• 스티프너, 커플러 설치 등 추가 작업시간이 필요하고 복잡함	◎	• 주물 제작이므로 형틀 제작이 필요하지만 다량 생산할수록 단가 절감 효과	◎	–
시공성	• 각각의 케이스에 맞는 스티프너가 요구됨	◎	• 공장에서 제작되고 현장에서 볼트 접합	●	↑

표와 같이 HAT Joint 보유기술이 기존 기술보다 우수하며, 시제품 개발까지 완료된 경쟁사나 기술은 없는 상황이다. 따라서, PHC파일과 철골 기둥의 접합부의 새로운 시장을 개척하고 선점이 가능하다.

기존의 플레이트 공법에 비해서 제작성, 구조안정성, 경제성, 시공성 부분에서 HAT Joint가 우수하며 현재 현장 타설 공법으로 시공되는 모든 현장에 적용가능하다. 특히 도심지역에서 주로 시행되는 Top-Down 공법의 경우 대상 기술로 100% 대체가능하고, 과제가 종료되는 시점인 2015년도부터 향후 3년 이상 지속적인 투자와 홍보를 하여 기술 보완 및 발전 기술 창출 예정이다.

(6) 최종제품의 제품경쟁력 수준

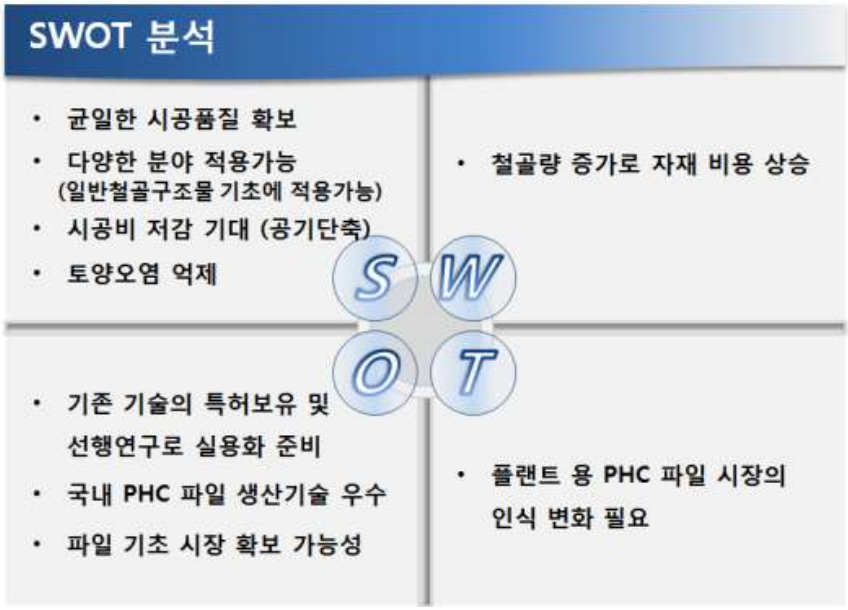
PHC 파일은 1992년에 일본에서 기술을 도입되어 생산이 시작된 기술로서 2000년대에는 국내 콘크리트 파일 생산량의 90%이상을 차지하고 있다. 원심력 콘크리트로서 600㎜(80MPa)까지만 생산되었으나, 2009년 삼표P&C에서 700~1200㎜ 대구경 PHC파일 생산 기술을 구축함으로서 다양한 현장에서의 PHC파일 시공 및 소요 말뚝 물량의 감소가 가능하게 되었다.

특히 2011년 4월 14일 포스코건설에서 세계 최고강도인 130MPa PHC파일을 개발하는 등 국내 PHC파일 생산기술은 세계최고수준이다. PHC파일의 해외 기술시장은 일본이 강세를 보이고 있는 분야로서 포스코건설에서 130MPa 파일이 개발되기 전 일본의 105MPa가 세계최고강도 PHC파일이었다.

HAT Joint 제품 역시 삼영에서 유사 주물 생산의 경험과 노하우가 쌓여있고 참여기업의 시공 능력은 세계최고수준이다.

따라서 제품의 생산, 조립 및 시공에 수입기술의 도입 없이 순수 국내 기술로 진행이 가능하고, 해외 건설을 활발히 진행되는 건축계의 동향으로 보아 향후 기술의 수출이 가능할 것으로 예상된다.

(7) SWOT분석



<그림 5.4> HAT Joint 공법 SWOT 분석

나. 마켓팅 전략 계획

(1) 마켓팅 전략 구성



<그림 5.5> 마켓팅 전략 구성도

▷ WPS(Wide Propagation Strategy) 단계– 보급화 전략 단계

국내 PHC 파일 시장은 2011년 부터 서서히 보급화 되고 있는 추세로 기존의 수십년간 시공해왔던 시공법 및 장비(PILE DRIVER)의 한계점을 인식시키는 것이 우선 되어야 한다.

HAT Joint를 지하구조물 시공에 적용성을 높이기 위해서 시공사, 제조사와 다양한 협업 및 VE 제안을 통하여 본 기술의 현장 적용성을 높이고 국내 다수의 구조 설계사에 대한 지속적인 홍보를 활용하여 설계반영을 통한 수익 창출에 근간을 둘 계획이다.

▷ MES(Massive Expansion Strategy) 단계- 확장형 전략 단계

아파트 및 주거복합 건물에 HAT Joint를 적용한 SPEED-up 공법을 사용하면 공사기간을 앞당길 수 있어 시행사의 이익을 극대화 할 수 있다.

이러한 수요자의 요구를 반영하여 사업화를 추진하는 건축사무소, 건설사에 대한 기술홍보 및 영업에 중점을 두어 공법에 대한 적용 케이스를 늘려 기술에 대한 수익 모델을 확보할 계획이다.

▷ IBS(International Business Strategy) 단계- 해외 영업 전략 단계

최근 국내 건축 경기의 불황으로 인하여 시장확보를 위해 국내 건설사 및 설계사들의 중동 및 동남아시아 건축시장 진출 모색과 수주가 이루어지고 있다.

따라서 국내 프로젝트 수행 경험 및 기술을 바탕으로 건설사 또는 설계사와의 컨소시엄을 구성하여 해외시장 확보에 따른 수익창출에 근간을 둘 계획이다.

(2) 마켓팅 세부 전략

<표 5.3> 마케팅 세부 전략

구분	도입기	성장기	성숙기	쇠퇴기
제품전략	2~3종류	4~5종류	6~7종류	4~5종류
마케팅 목표	시장개척	시장확대	점유율 유지	생산성 확보
표적시장	혁신적 수용층	조기 수용층	후기 다수층	지연 수용층
생산 전략	공동(한정)	다변화	중점화	선택/한정
경쟁기업	없다	증가	많다	감소

(3) 제품전략

HAT Joint 접합부 연결구 제품은 시장 도입단계에는 공사 현장에 많이 쓰이는 현장타설콘크리트 말뚝중 Φ800, Φ1000을 대체할 수 있는 제품을 주력으로 생산할 계획이다. 시장 성장단계에는 Φ1100~Φ1200까지 대체 할 수 있는 제품을 생산하여 시장점유율을 높일 계획이다.

(4) 생산전략

기술 도입기에는 주로 공동기관과 협업하여 생산과 유통을 하며, 시장이 성숙할수록 생산업체의 다변화를 통해 물량과 가격 경쟁력을 활보할 예정이다.

(5) 판매전략

시장 도입단계에서는 공동기관(롯데)와 협업을 통해 점진적으로 적용현장을 늘려간다. 이에 따른 적용 현장 개소가 증가 할수록 인근 타 시공사에 홍보효과가 커짐으로 수주에 유리하다.

다. 가격전략 및 손익 분기점 분석

HAT Joint의 시장 가격은 시장초기에는 제품 생산 원가(200만원/개) 및 엔지니어링 기술료(100만원/개)를 합한 300만원/개로 기준으로 한다. 추후 투자비용 회수를 완료하고, 시장 성장기 단계에서는 사장 확대를 위해 시장초기 보다 가격을 전략적으로 다운시켜 책정할 예정이다.

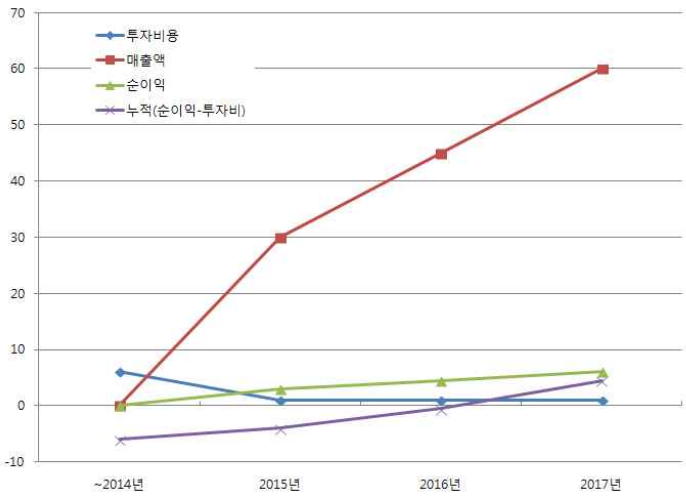
<표 5.4> 연도별 HAT Joint 판매 목표 계획

구분	2015년도	2016년도	2017년도
현장 개소	10	15	20
예상 매출액 (억)	30	45	60
	-매출액 산정 근거 ① HAT Joint 단가 : 300만원/개 ② 기둥 개수 : 100개/현장 ③ 매출액 = 현장개소 × 300만원 × 100개 -적용현장 1차년도 : 전체현장 10%목표 2차년도 : 전체현장 15%목표 3차년도 : 전체현장 20%목표		

<표 5.5> 손익 분기점 분석

구분	~2014년도	2015년도	2016년도	2017년도
투자비용 (억)	6	1	1	1
매출액 (억)	0	30	45	60
순이익(매출액10%) (억)	0	3	4.5	6
누적(순이익-투자비)	-6	-4	-0.5	4.5
산정 근거 (억)	-투자비 ① 개발 투자비 : 1.3(연구기간 이전) + 4.3(연구기간) ② 기술료 : 0.43 ③ 합계 : 1.3+ 4.3+ 0.43 = 6.03 (~2015.02까지) ④ 추가 개발비용+ 홍보비(2015년~2017년) = 3.0(1.0/년) -순이익 매출액의 10% 산정			

※상기 내용은 'HAT Joint'판매비용만 산정한 것임.



<그림 5.6> 손익 분기점 분석 그래프

<그림 5.6>과 같이 투자비 회수 시점은 2016년 상반기로 예상되며, 그 이후에 순수익이 발생할 것으로 예상된다.

라. 국내 시장 수요 확보 계획(국내 건축공사 진출계획)

<표 5.6> 건설사 홍보/적용

일시	내용	비고
2014.03	시공 프로세스 자문	현대건설 박용현 부장 자문
2014.03	현장 적용 안 검토 회의	삼성물산 김용구 부장 자문
2014.05	HAT Joint 공법 자문 회의	금호건설 허윤섭 차장, 대림산업 장상수 부장 자문
2014.08	사업화 내부 회의	영구조 엔지니어링, 롯데건설, 고려대학교 참여 시공 프로세스 작성
2014.09	적용 현장 검토 회의	영구조엔지니어링, 롯데건설, 고려대학교, 삼표피앤씨, 신일기초 참여 마곡지구 B4-2블럭 오피스텔, T2전면시설 골조 및 마감공사, 김포 온라인 물류센터 신축공사에 대한 적용 검토
2014.10	외부 기술자문 회의	현대산업개발, 현대건설, 대림산업, 삼성물산, 금호건설, 동부제철 참여
2015.01	1차 적용현장 결정	마곡지구 B4-2블럭 오피스텔 실제 적용 실시
2015.02	추가 현장 검토	마곡 중앙연구소(2015.6 적용목표), 남대문 구역 도시 환경 정비사업 신축공사(2015.8 적용목표)

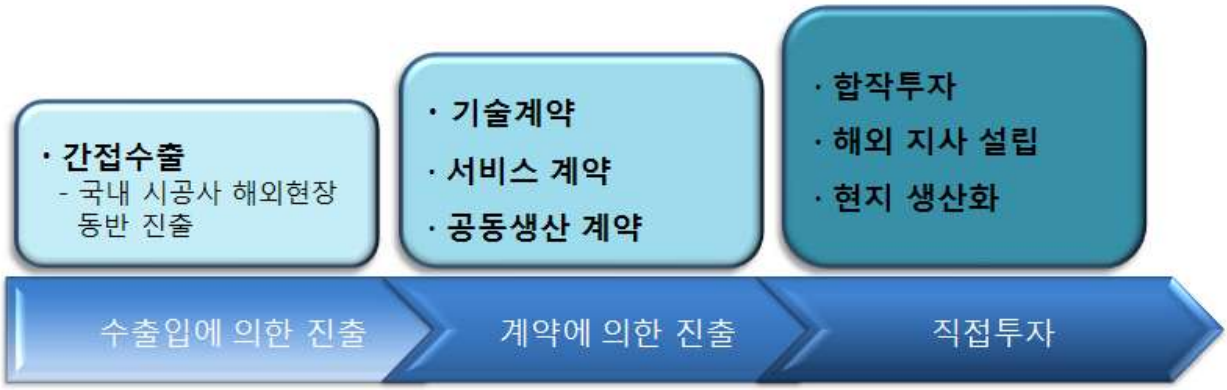
HAT Joint의 현장 적용에 대해 1차년도 H-Type 완성 후부터 꾸준한 기업 실무자 자문 및 내부 회의를 진행했다. 2014년 3월 시공프로세스 및 현장 적용에 대한 자문을 시작으로 8월과 9월에 적용 현장을 검토하였다. 10월 외부 기술자문 회의를 통해 전체적인 시공 과정을 현장에 맞게 수정한 후 2015년 1월 롯데건설(주)이 시공 중인 마곡지구 B4-2블럭 오피스텔을 시공 현장으로 결정하였다. 이에 추가로 마곡 중앙연구소와 남대문 도시 환경 정비사업 신축공사 현장에 적용을 준비 중에 있으며 각각 2015년 6월과 8월 적용 목표를 가지고 진행 중이다. 또한 외부 기술자문 회의를 통해 현대산업개발, 현대건설, 대림산업, 삼성물산, 금호건설 등 주요 시공사의 실무자들이 HAT Joint에 많은 관심을 표현했으며, Pilot 프로젝트의 성공 후 시공 현장에 적극 검토하겠다는 응답을 받은 상태이다.

<그림 5.4>와 같이 공동연구기관인 롯데건설을 제1수요처로 기대하여 진행 중인 마곡지구 외 기타 현장에 대해서도 활발히 검토 중에 있으며, 주관기관인 영구조엔지니어링 외 구조 ENG사의 설계에 HAT Joint를 적용할 수 있도록 홍보 중에 있다. 이를 위해 해외학술발표 2건, 해외논문 2건, 국내학술발표 3건, 국내논문 4건, 학술기사 1건 등 다양한 방면으로 해당 기술에 대한 홍보를 진행하였다.(연구 실적 참고)



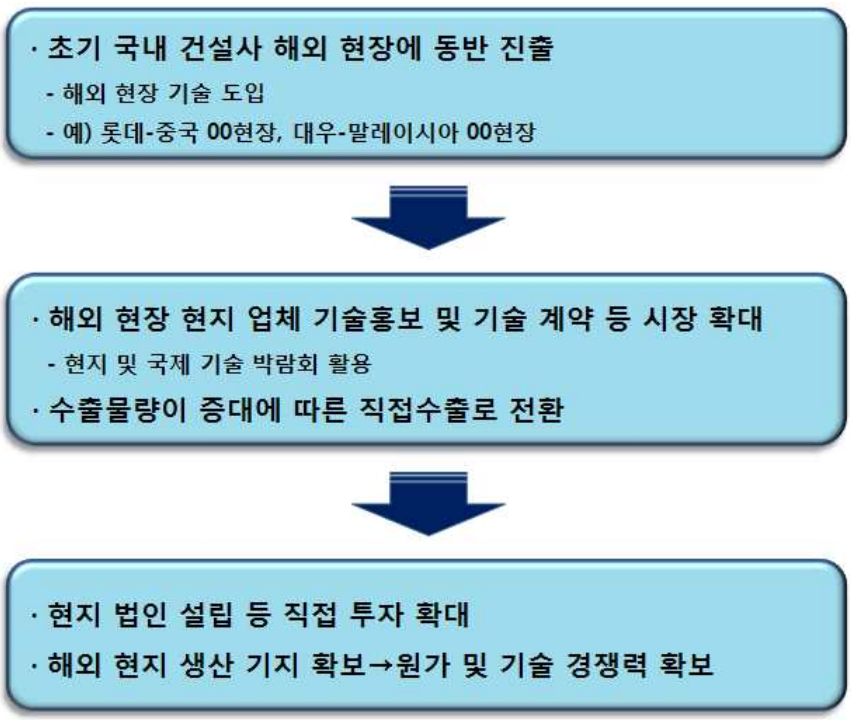
<그림 5.7> 수요처 확보 구상

마. 해외 시장 수요 확보 계획



<그림 5.8> 해외시장 진출 프로세스

위 프로세스는 해외 시장 초기에는 간접수출을 통한 진입이며, 점진적으로 시장을 확대하여 현지 업체와의 계약을 통한 기술 적용 및 공동 생산을 시행할 것이다. 시장이 성숙하면 직접 투자를 통한 합작 회사 설립 또는 해외 지사를 설립하여 지속적인 사업을 수행하여 수익을 창출할 것이다.



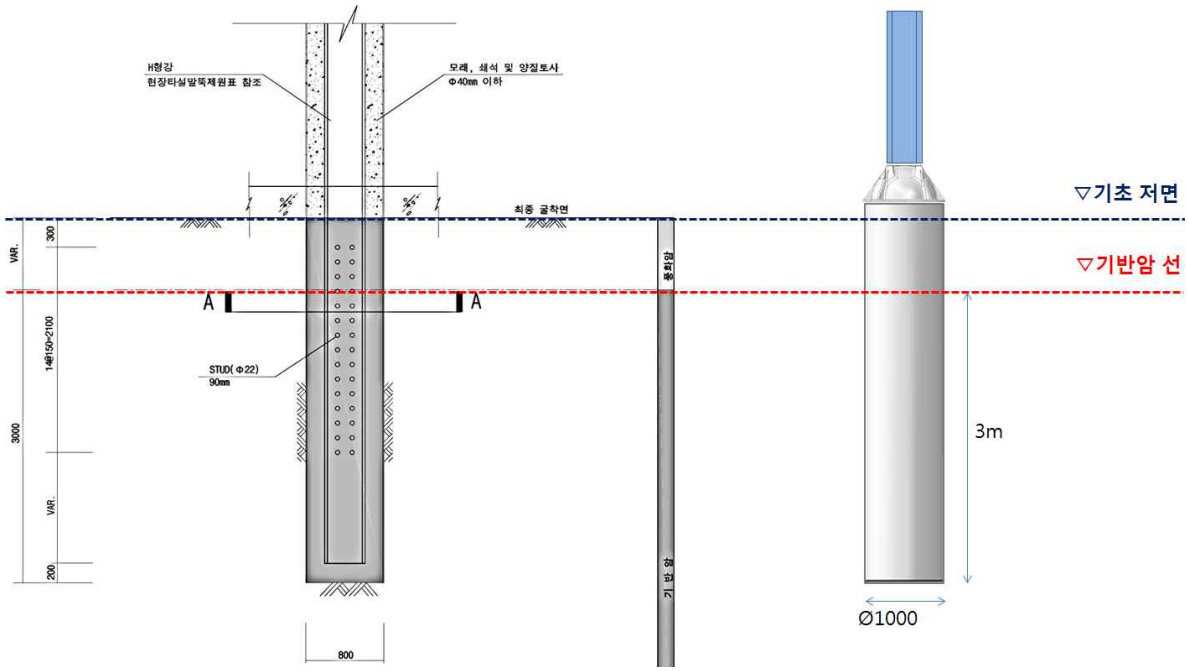
<그림 5.9> 해외시장 진출 구상

바. 진행 예정 프로젝트

<그림 5.10>의 마곡 중앙연구소와 <그림 5.11>의 남대문 구역 도시 환경 정비사업 신축공사에 HAT Joint 현장 시공을 계획하고 있으며 각각 2015년 6월과 8월을 목표로 진행 중에 있다. 마곡 중앙연구소는 현장타설말뚝으로 진행된 공사 계획을 HAT Joint를 이용한 PHC 파일로 변경하는 과정 중 필요 파일길이에 따른 전체 철골기둥 및 PHC 파일의 분절 길이를 검토 중이며 남대문 구역의 경우 설계 단계이다.



구 분	내 용
공 사 명	마곡 중앙연구소
공 사 위 치	서울특별시 강서구 마곡도시개발 사업지구
용 도	교육연구시설
건 물 규 모	지하3층 / 지상8층
진 행 단 계	도심지의 역타 현장으로 시공시 PRD기초로 계획되어 있음. → 기존 PRD(현장타설 말뚝)을 대체하기 위한 검토 진행 중



<그림 5.10> 마곡 중앙연구소 현장 개요





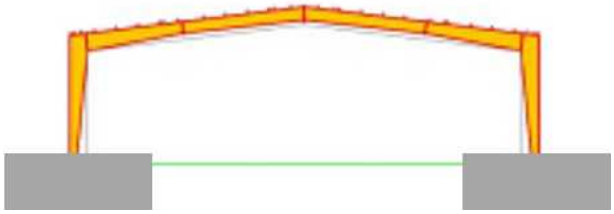
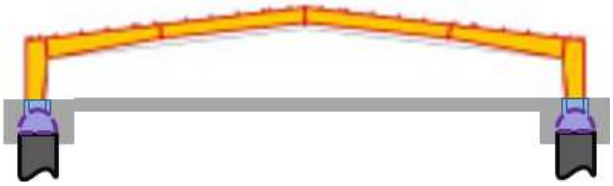
구 분	내 용
공 사 명	남대문 구역 7-2, 9-2지구 도시 환경 정비사업 신축공사
공 사 위 치	서울시 중구 회현동 1가 194-19번지 32필지
용 도	관광숙박시설, 업무시설, 판매시설
건 물 규 모	지하8층 / 지상 25~28층 2개동
진 행 단 계	도심지의 역타 현장으로 시공시 PRD기초로 계획되어 있음. → 기존 PRD(현장타설 말뚝)을 대체하기 위한 검토 진행 중

<그림 5.11> 남대문 구역 도시 환경 정비사업 신축공사 현장 개요

사. 신규 시장 창출 및 추가 활용방안

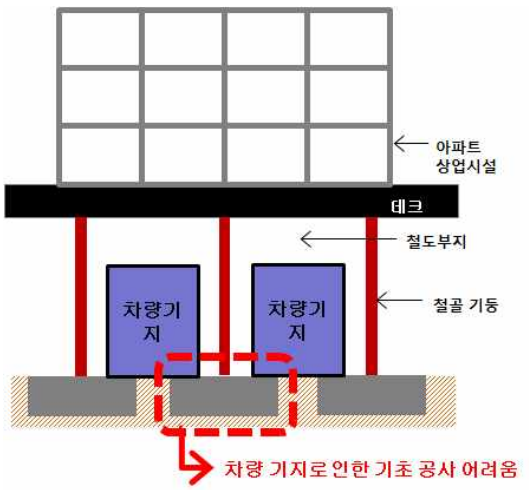
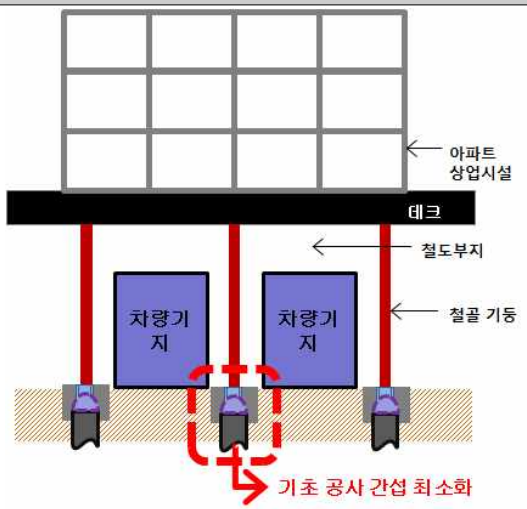
(1) 장스팬 플랜트 건물(PEB)

지상 1층높이의 장스팬 플랜트 건물(PEB)의 직접기초를 Pile 깊은 기초로 변경

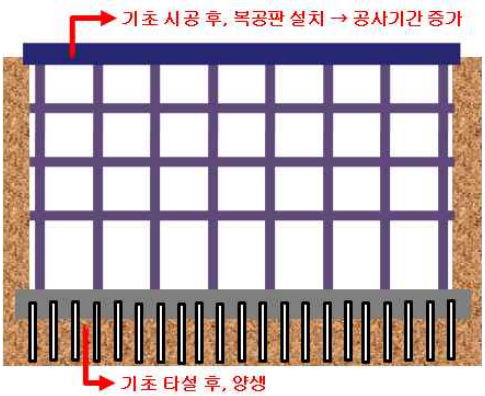
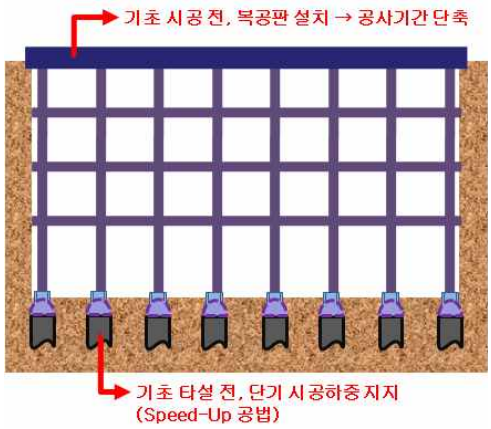
기존 방식	HAT Joint 공법 사용
	
· 1층 연약지반의 기초 불안정성 우려 · 기초 크기 증가 및 공사비 증가 · 기초 현장 타설량 증가로 공기 증가	· Pile 깊은 기초로 부등침하 등의 안정성 확보 · 기초 공사 최소화로 공사비 절감 및 공기 단축

(2) 지상층 데크 형식의 공동 주택(행복주택)

행복주택과 같은 지상층 데크 형식의 공동주택 시공 시 사용

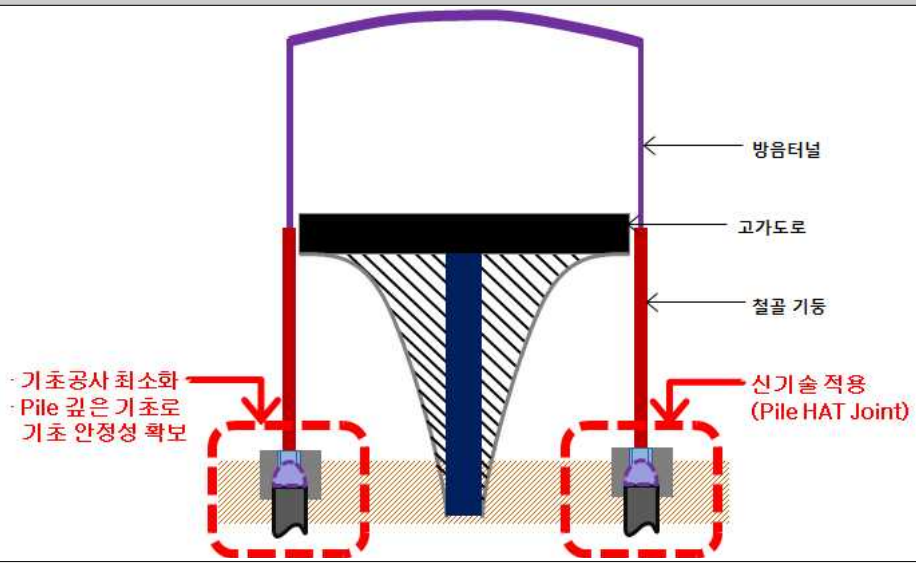
기존 방식	HAT Joint 공법 사용
	

(3) 복공판 가시설물에 적용

기존 방식	HAT Joint 공법 사용
	

(4) 방음 터널 공사에 적용

HAT Joint 공법 사용



2. 추가연구 필요성

- 콘크리트 직접 설치 볼트에 대해 추가 연구를 진행할 필요성이 있음
- Pilot 프로젝트에 대한 추가 연구로 검토/진행 중인 현장 외 다양한 시공을 통해 시방서 및 지침서 보완의 필요성이 있음

참고문헌

- Korean Industrial Standards, KS D 3515 : Rolled Steels For Welded Structure, KS, Seoul(2008)
- Korean Industrial Standards, KS D 4106 : Steel casting for welded structure (2008)
- Korean Industrial Standards, KS D 4306 : Pretensioned Spun High Strength Concrete pile (2008)
- AIK, Korean Building Code 2009 – Steel, KBC 2009, Seoul (2009)
- Yeunseung Lee, Jintak Oh, Youngsik Kim, Youngkyu Ju(2014), Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column PART I : Analysis, Applied Mechanics and Materials, vol.470
- Yeunseung Lee, Jintak Oh, Youngsik Kim, Youngkyu Ju(2014), Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column PART II : Experiment, Applied Mechanics and Materials, vol.470

[부록] 1. 성과 증명

가. 학술발표(5)

(1) 1차년도 ICMEMSCE

Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part I: Analysis

Yeunseung Lee[1, a], Jintak Oh[2, b], Youngsik Kim[3,c], Young-K Ju[4, d]

[1,2,4] School of Civil, Environmental and Arch, Eng, Korea Univ, Anam, Seongbuk 136-713, Korea
[3]YOUNG Structural Engineering, 835-6, Yeoksam 1-dong, gangnam-gu, Seoul, Korea 135-569

[a]kamuyii@korea.ac.kr, [b]resound@korea.ac.kr, [c]yskim@ysse.kr, [d]tallsite@korea.ac.kr

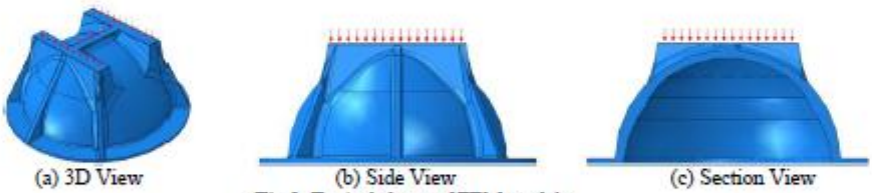
Keywords: Cast-in-place concrete piles, joint of the PHC pile to column, Top-down construction

Abstract: To overcome disadvantages of usual Cast-In-Place (CIP) concrete pile methods in top-down construction, some prototypes of a joint of the PHC pile to column that directly connects a column to a PHC pile are analytically studied. With the consideration of strength requirement and stress concentration of joint of the PHC pile to column, we suggest the most appropriate one.

1. Introduction

When usual Cast-In-Place (CIP) concrete pile methods are used to top-down construction, such as PRD (Percussion Rotary Drill), RCD (Reverse Circulation Drill), and All casing method, large-scale construction storage yard, curing periods of concrete material (elongates a construction period), and using stabilizer liquid harmful to environment are inevitable. Also, it is hard to guarantee a uniform construction quality of concrete piles.

To use PHC piles in top-down construction, which can overcome disadvantages in using CIP concrete piles, a design of a joint that connects a PHC pile to a column is the most critical. In particular, the joint of the PHC pile to column properly transfers the axial stress from a column to a PHC pile without punching shear effects and stress concentration. Also, local large strains at the joint of the PHC pile to column must be prevented to have adequate rigidity between a column and a PHC pile. In this paper, we firstly develop 16 prototypes of joint of the PHC pile to column from basic domed-shape geometry, which is advantageous in saving materials compared to an arch-shaped joint of the PHC pile to column under compression. With the commercial software ABAQUS, structural behaviors of each prototype are analytically investigated for the worst case, which is under compression load of 1.5 times a capacity of a PHC pile (Diameter 1000mm pile's axial strength is 967tonf[5], so we compressed 1500tonf) as in Fig 1. Based on the analytical results we studied, the most effective prototype is suggested for the further experimental study.



(a) 3D View (b) Side View (c) Section View

Fig 1. Typical shape of FEM models

2. Finite Element Models

2.1 Representative Models

All the joint of the PHC pile to column models developed here established from the previous sequential analysis results, where a quadratic tetrahedron element is used as a basic element; 1) from analyzing the unreinforced joint of the PHC pile to column where the thickness of hemisphere

is fixed as 30 mm, the critical stress concentration occurs at the intersections of a flange-middle in a steel column and the unreinforced joint of the PHC pile to column [3]. To avoid stress concentration at those points, two different reinforcement methods at the flange-middle in a steel column were considered as in Table 1.

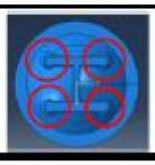
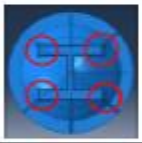
Table 1. Flange-middle reinforcement methods

Variables List	Unreinforced	Flange-middle reinforcement method	
		With circular	With supported braces
forms			

2) With the additional analysis results for the two different reinforcement methods, we found that the flange-middle reinforcement with supported braces is much effective to mitigate the stress concentration at the intersection of the flange-middle in a steel column and the joint of the PHC pile to column.

3) Narrowing down to the flange-middle reinforcement method with supported braces, we found that the critical stress concentration occurs at the intersection of flange-ends in a steel column and the joint of the PHC pile to column. To avoid stress concentration at those points, this time, three different reinforcement methods at the flange-ends in a steel column were considered as in Table 2.

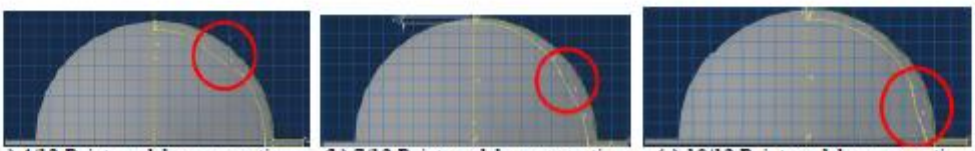
Table 2. Flange-end reinforcement methods

Variables List	Unreinforced at flange-end	Flange-ends reinforcement method	
		With circular	With rib plates
forms			

4) With the additional analysis results for three different reinforcement cases at the flange-ends of a steel column, we found that the method reinforced by rib plates is most effective.

5) For the reinforcement case, where column flange-middles are reinforced with two supported braces and column flange-ends are reinforced with six rib plates, stress concentration occurs at the inner surface of hemisphere, so that the internal reinforcement of hemisphere by varying thickness of hemisphere at different level is considered this time.

Depending on the level of the internal reinforcement, a total of 10 models are firstly considered as in Fig 2.



(a) 4/12 Point model, cross-section (b) 7/12 Point model, cross-section (c) 10/12 Point model, cross-section

Fig 2. Representative internal reinforcement locations.

Among them, we proceed the analysis for the most effective case among 10 models for the further material savings. That is, we fix the internal reinforcement at the most effective level, then, vary the thickness of the hemisphere from 25 mm to 30 mm by 1 mm increase. Thus, a total of 16 analysis models are considered, here.

2.2 Criteria for the adequacy of a joint of the PHC pile to column

The required strength of a joint is considered as 1.5 times of axial strength of a PHC pile for structural safety: a PHC pile was designed to stay within elastic region by ASD method, so that the strength of a joint of the PHC pile to column must be higher than the strength of a PHC pile without safety factor .(1500ton load, 1.5 times of 967tons) [4, 5]. Also, the yielding stress of a joint of the PHC pile to column cannot exceed 355MPa, which is a design yielding stress of SCW550 specified in Table 3.

Table 3. Material property of SCW550

Steel	Chemical composition					Mechanical property		
	C	Si	Mn	P	S	Yield Strength	Tension Strength	Elongation
SCW550	≤0.22	≤0.80	≤1.50	≤0.04	≤0.04	355≤	550≤	20≤

3. Simulation Results

We found that the internal reinforcement at the level of 7/12 of the height in the hemisphere (from the top to the reinforcement level) is most effective to prevent stress concentration in the internal surface of the hemisphere and to have the adequate axial strength of 1.5 times a capacity of a PHC pile as in Fig 3.

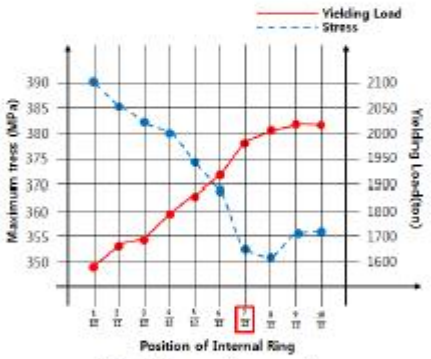
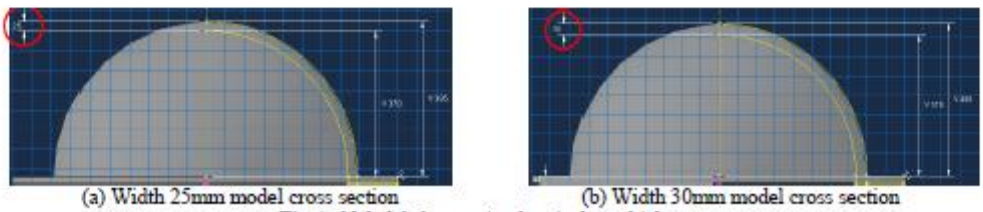


Fig 3. Comparison graphs

Then, for the possible further material savings, we develop six models by varying the thickness of hemisphere from 25 mm to 30 mm by 1 mm increment as in Fig 4.



(a) Width 25mm model cross section (b) Width 30mm model cross section

Fig 4. 6 Models by varying hemisphere thickness

As in Fig 5, when the thickness of hemisphere becomes thicker, at a joint of the PHC pile to column, maximum stress reduces while the strength increases. Compared to the strength

requirement of a PHC pile 1500 tonf and the yielding stress 355MPa, the thickest one (30 mm) satisfies both criteria while the others does not.

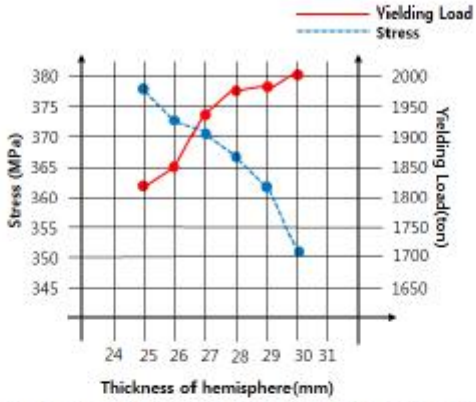


Fig 5. Comparison graph of stress and internal force of hemisphere width

4. Summary

Through analytical studies on a joint of the PHC pile to column, we found that the model (HAT_TH30_R6) with thickness 30mm and reinforcement at the internal hemisphere with 7/12 height and 6 rib plates is the most effective by following numerical simulation results:

1) HAT_TH30_R6 has the least stress concentration at the intersection of hemisphere and a steel column: stress concentration at that region is avoided through both braces and rib plates.

2) HAT_TH30_R6 has the least stress concentration at the internal hemisphere, where a supplemental cast ring is placed at the 7/12 of hemisphere height.

3) HAT_TH30_R6 is the only prototype that satisfies the strength requirement and minimizes local stress concentrations, simultaneously.

In the accompanying paper, we experimentally check structural performance of HAT_TH30_R6.

Acknowledgement

This analysis was carried out with support of in support of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAITA), Samyoung M-Tek Co., Ltd. and Sampyo E&C Co., Ltd.

References

[1] M. P. Petrenko: Special characteristics of the vibrations and the loss of stability if a compressed round plate on and elastic base, Kiev Polytechnic Institute. Vol 14 (1976), p. 107-129

[2] Jae Hyun Park, Chan Ho Yoo, Yoon Sup Shin, Ui Seong Hwang, Jin Young Lee, Moonkyung Chung: Lateral Behavior of Large Size Non-Welded Steel-PHC Composite Pile under Lateral Load, Korean Society of Civil Engineers 36th conference (2010)

[3] Dae-Yong Lee, Subhash C. Goel, Bozidar Stojadinovic: Exposed Column-Base Plate Connections Bending About Weak Axis: I. Numerical Parametric Study, Steel Structures Vol. 8 (2008), p.11-27

[4] AIK, Korean Building Code 2009 - Steel, KBC 2009, Seoul (2009)

[5] Korean Industrial Standards, KS D 4106 : Steel casting for welded structure (2008)

Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column.
Part II: Experiment

Yeunseung Lee[1, a], Jintak Oh[2, b], Young-K Ju[3, c]

[1,2,3] School of Civil, Environmental and Arch, Eng, Korea Univ, Anam, Seongbuk 136-713, Korea

[a]kamuyii@korea.ac.kr, [b]resound@korea.ac.kr, [c]tallsite@korea.ac.kr,

Keyword: Joint of PHC pile to column, Drilled Shaft, Top-Down method, PHC Pile, Constructability

Abstract: In Part I, to have an environmental-friendly, highly durable, cost saving, and easily constructible method in top-down construction, one prototype of a joint of PHC pile to column was suggested on the basis of analytical studies. In this paper, structural performance of such joint of PHC pile to column is experimentally analyzed with regard to axial strength and strains.

1. Introduction

For practical uses of PHC piles in top-down construction, structural performance of joint of PHC pile to column connecting a PHC pile to a column is critical. In particular, the joint of PHC pile to column properly transfers the axial stress from a column to a PHC pile without punching shear effects and stress concentration. Also, local large strains at the joint of PHC pile to column must be prevented to have adequate rigidity between a column and a PHC pile. In this paper, we experimentally assess the structural performance for the previously suggested prototype of a joint of PHC pile to column with the comparison to the other two prototypes.

2. Experimental plan

2.1 Material properties

Following by Korean industrial standards such as KS D 3515 (rolled steels for welded structure)[1] and KS D 4106 (Steel casting for welded structure)[2], SM490 and SCW550 are used for all the test specimens. Each specimen consists of a part of a column and a joint of PHC pile to column for simulating field construction. That is, considering field welding construction process (between a column and a joint) and manufacturing process of a joint of PHC pile to column, we use SCW550 for a joint of PHC pile to column and SM490 for a part of a column in each specimen.
Their material properties such as chemical compositions and mechanical properties are summarized in Table 1

Table 1 Material properties of SCW550, SM490

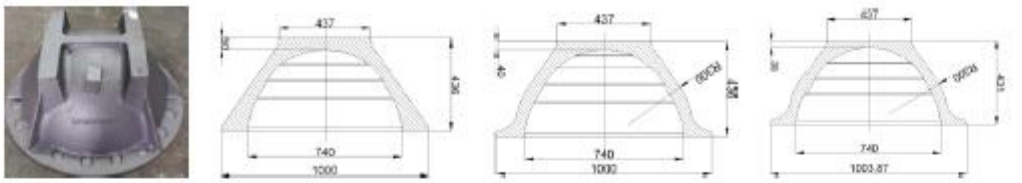
Steel	Chemical composition					Mechanical property		
	C	Si	Mn	P	S	Yield Strength	Tension Strength	Elongation
SCW550	≤0.22	≤0.80	≤1.50	≤0.04	≤0.04	355≤	550≤	20≤
SM490	≤0.22	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	325≤	490-610	21≤

2.1 Specimen

A total of three joint of PHC pile to column specimens such as HAT_TH30_R6, HAT_TH30_R6L, and HAT_TH25_R6L have been tested to assess their structural performance; in Part I, we analytically check that HAT_TH30_R6 is the most effective in a view point of structural performance. However, in experimental study, we additionally check HAT_TH30_R6L and HAT_TH25_R6L for the possible material savings.

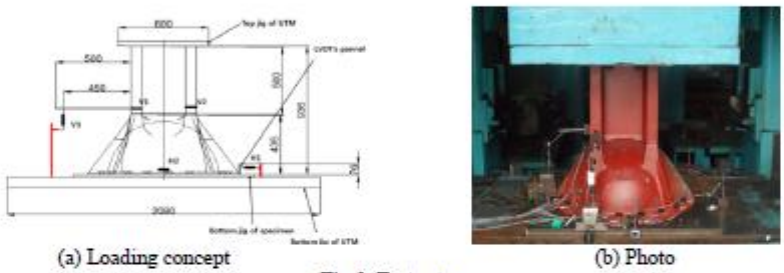
Their typical shape looks like a hat, which is shown in Fig 1. The name of each specimen is decided by a thickness of hemisphere, a number of rib plates, and the shape of each rib plate, respectively. For example, HAT_TH30_R6L is specimen whose hemisphere is 30mm in thickness

with 6 rib plates. L represents a variable specimen whose rib plate is wave-shaped and thickness ranges from 15mm to 30mm.



(a) Over view (b) HAT_TH30_R6(Section) (c) HAT_TH30_R6L(Section) (d)HAT_TH25_R6L(Section)

Fig 1. Specimens



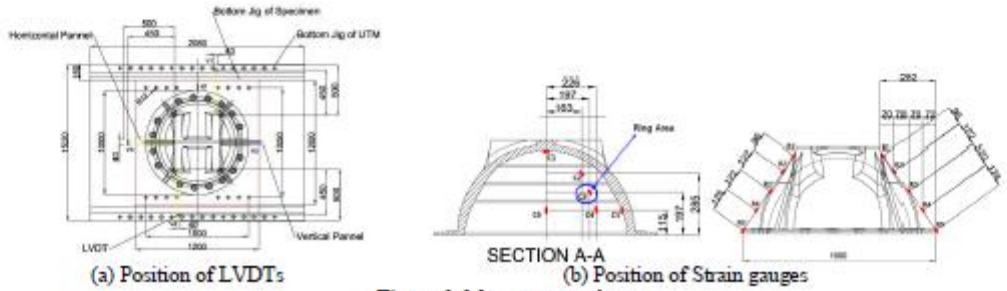
(a) Loading concept (b) Photo

Fig 2. Test setup

2.2 Test setup and procedure

Following by Korean industrial standards such as KS F 4306 (pretensioned spun high strength concrete pile)[3] and Korean building code 2009 (Structural steel and cast iron)[4], a PHC pile is designed by allowable stress design method (ASD), while a steel column is designed by Load and Resistance Factor Design (LRFD) for structural safety. Therefore, the structural performance of a joint of PHC pile to column was tested up to the load of 1500ton, which is 1.5 times of 976ton (the allowable axial load of PHC pile).

As shown in Fig 2, UTM of 3000ton was loaded by displacement control method with a rate of 0.5mm/sec. The specimens were fixed on the bottom jig by 19 M24 bolts, which can be used to connect a joint to a PHC pile in real construction process. Each specimen was designed to connect a PHC pile of external diameter 1000mm, and used for column is H-498 × 432 × 45 × 70. Also, a total of 5 LVDTs (Linear Variable Differential Transformers) was installed to measure vertical and horizontal displacements at a joint of PHC pile to column, while 24 strain gauges were instrumented in each specimen located at two ribs and inner hemisphere. The overall measurement setup for each specimen is shown in Fig 3.



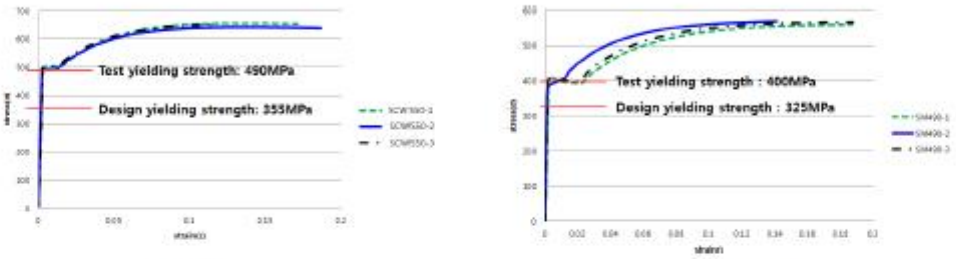
(a) Position of LVDTs (b) Position of Strain gauges

Figure 3. Measurement plan

3. Experimental results

3.1 Coupon tests

3 specimens were tested by steel material to enhance the accuracy of the test materials. Fig 5 shows the test result. Fig 4(a) is the graph that illustrates the yielding and ultimate strength of SCW550. The average of the yielding and ultimate strength of SCW550 was measured to be 490MPa and 650MPa, respectively. Fig 4(b) is the graph of the yielding and ultimate strength of SCW490, which is 400MPa and 550MPa, respectively. Those values were the ideal design values for yielding and ultimate strength specified by each of the steel materials.



(a) SCW550 (b) SM490

Fig 4. Material property

3.2 Load-Displacement and Load-Strain Curve

Load-displacement graph of each specimen is shown in Fig 5. The yielding strength of HAT_TH30_R6-1 and HAT_TH30_R6-2 specimen was measured to be 1916ton and 1970ton, respectively and it was turned out that the yielding strength of HAT_TH30_R6L model was 1785ton while that of HAT_TH25_R6L was 1694ton. It was confirm that every specimen has necessary yielding load (more than 1500ton). However, additional 25, SCW550 test materials, which were manufactured by a test specimen designing company, were tested for general application. The result of the additional material test showed that the average yielding strength was 390MPa, which is far lower than the previous material test (490MPa). Therefore, this result was used to scale the specimens down. Then it turned out that only HAT_TH30_R6-1 and HAT_TH30_R6-2 specimen have yielding load over 1500ton while the rest specimens of which amount were reduced don't have necessary internal strength. Therefore, it is determined that HAT_TH30_R6 should be a prototype for the sake of safety. Table 2 summarizes the result of the scaling down.

Table 2. Scale Down Results

Test specimens	Yielding Strength (ton)	Yielding Strain	Initial Stiffness (ton/mm)	Design Load (ton)	Performance Review
HAT_TH30_R6-2	1936 ->1540	0.82	2361	1500	Yield Load > Design Load (OK)
HAT_TH30_R6-2	1970 ->1567	0.61	3230	1500	Yield Load > Design Load (OK)
HAT_TH30_R6L	1785 ->1420	0.63	2833	1500	Yield Load < Design Load (NG)
HAT_TH25_R6L	1694 ->1348	0.94	1802	1500	Yield Load < Design Load (NG)

Strain gauge R1~R5 and C1~C6, which were installed to measure the strain of the specimens were compared with the test results of specimen HAT_TH30_R6-1 and HAT_TH25_R6L.

The graph of R1-R5 in Fig 6(a) shows that when the specimen is at yielding strength, its strain can reach plastic zone only at the position of strain gauge R1, which is located on the uppermost part of the rib plate. However, the strain of the specimen in Fig 6(b) can reach to plastic zone at the positions of strain gauge R1, R2 and R5 when it is at yielding strength. It demonstrates that wavy rib plates have more efficient distribution of internal stress than basic rib plates. The area where strain gauge C3 is installed inside of the hemisphere is where the compressive force of the superstructure and the tension of substructure meet when the hemisphere is subject to loads. In addition, it was assumed from FEM that the area is the weakest part in case internal ring is not

reinforced. The strain gauge C3 in Fig 6(c) shows a similar plasticity to that of C4. This similar result can be considered to demonstrate the necessity and positional appropriateness of the internal ring.

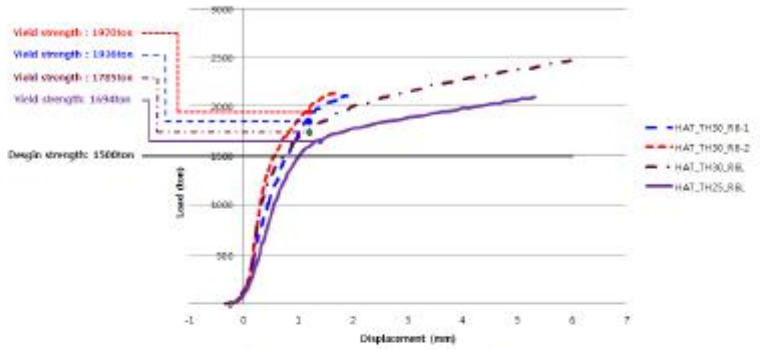
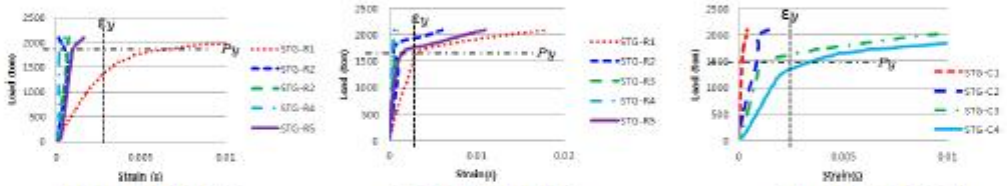


Fig 5. Load-Deflection Graph



(a) HAT_TH30_R6-1 (b) HAT_TH25_R6L (c)Load-Strain C1~C4

Fig 6. Load-Strain Graph

4. Summary

For practical application of a joint of PHC pile to column to top-down construction, we experimentally assess structural performance of the previously suggested a joint of PHC pile to column with the comparison to the other two prototypes for the further material savings. As in analytical study, among three prototype designs, we can check that the HAT TH30R is most effective in the following experimental results:

1) While the joints of PHC pile to column where wavy rib plates are used (HAT TH30R6L and HAT TH25R6L) are much efficient in avoiding stress concentration, their yield strengths are lower than the required strength of a PHC pile with a diameter 1000mm, 1500tonf in scaled down results. The HAT TH30R6 is the only one that satisfies the strength requirement in both bare experimental results and the scaled down results.

2) We checked the horizontal displacement in bolt connection. A little displacement occurs at that point (maximum 0.282mm). We decided that is satisfied of bolt's shear strength

Acknowledgement

This analysis was carried out with support of in support of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAITA), Samyoung M-Tek Co., Ltd. and Sampyo E&C Co., Ltd.

References

[1] Korean Industrial Standards, KS D 3515 : Rolled Steels For Welded Structure, KS, Seoul (2008)
[2] Korean Industrial Standards, KS D 4106 : Steel casting for welded structure (2008)
[3] Korean Industrial Standards, KS D 4306 : Pretensioned Spun High Strength Concrete pile (2008)
[4] AIK, Korean Building Code 2009 - Steel, KBC 2009, Seoul (2009)

(3) 2차년도 대한건축학회

2014 추계 학술

K형 주강 접합부 유한요소해석

Analytical Study of Joint between PHC Pile and Steel Column(K-Type)

○김 상 봉* 오 진 탁** 김 영 식*** 주 영 규****
Kim, Sang-Bong Oh, Jin-Tak Kim, Young-Sik Ju, Young-Kyu

Abstract

For the construction spread foundation in large space structure, we need special joint for connect directly of the PHC pile to steel pipe column. We had already discussed the joint of PHC Pile to steel tube or pipe columns. In this paper, I explain the Joint of PHC pile to King-Shape steel column and the detail of analysis.

키워드 : 말뚝기초, 대공간 구조물, PHC파일, 왕형강관기둥
Keywords: pile foundation, large space structure, PHC Pile

1. 서 론

대공간 구조물에 보편적으로 사용되는 직접기초의 단점을 보완하기위해 기초와 강관기둥의 접합부에 대한 연구를 진행하였다.

본 논문에서는 왕형(王形) 강관 기둥을 사용할 때 PHC파일과의 접합부를 제안하고 있으며, HAT-K Joint로 명명하고 유한요소해석 프로그램을 통해 검증하였다.

2. 접합부(HAT-K Joint) 시스템

기존의 접합부들이 플레이트를 이용하여 휨으로 인한 처짐을 막기 위해 과도한 두께를 가지는 것과 달리 HAT-K Joint는 휨을 방지하고 축력으로만 하중을 전달하기 위해 반구형으로 고안되었다.(H.S.C : Hollow hAlf-sphere sTeel)[1]

다양한 기둥 형상에 따라 반구형의 H.S.C에 효율적으로 하중을 전달하기 위한 K.C(K.C : K-column Connector)와 한 곳으로 응력이 집중되는 것을 막기 위한 Rib-Plate가 추가되고 각각의 모서리 부분은 라운드 처리되어 HAT-K Joint를 이룬다.

이 같은 형상을 쉽게 구현하기 위해 HAT-K Joint는 SCW660을 이용한 주강으로 제작된다.(그림 1)

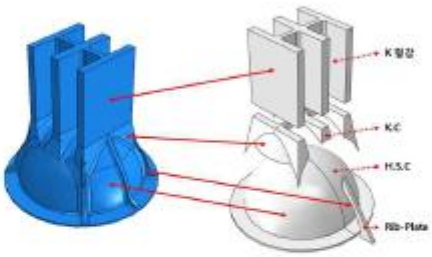


그림 1. HAT-K Joint 기본형상

* 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정
** 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정
*** 영구조엔지니어링(주) 대표이사
**** 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사
(교신저자 : tallsite@korea.ac.kr)

이 연구는 2014년도 국토교통과학기술진흥원 건설교통기술촉진연구사업에 의한 결과의 일부임.
과제번호:14CTAP-C066889-02-000000

3. 유한요소 해석

3.1 유한요소 해석 개요

유한요소 해석 프로그램으로 ABAQUS/CAE V6.10을 이용하였다. 접합부의 내력은 본 논문에서 지정한 PHC파일의 직경 1000mm 허용압축강도인 967ton보다 커야하며 극한값으로 강재 설계를 하기 위해 967ton의 1.6배인 약 1600ton을 견딜 수 있어야 한다.[1]

재료 실험 결과 SCW660의 실험 항복 강도 및 실험 극한 강도가 설계 강도(555MPa, 660MPa[2])보다 38%, 18%높은 490MPa와 660MPa로 측정되었다. 이 값은 일반적인 SCW660의 재료 실험 결과에 비해 상당히 높기 때문에 일반적인 SCW660 제품의 시편 25개를 추가로 테스트를 진행하여 그 평균 결과인 390MPa를 기준 항복 강도로 결정하였다. 이로 인한 안정성을 확보하기 위해 1600ton보다 25%높은 1875ton의 압축내력을 갖는 Prototype을 변수비교를 통해 도출하였다.

3.2 변수 실정[3]

3.2.1 최적 H.S.C 내부 Ring 보강위치

H.S.C 내부에 보강을 위한 Ring을 설치한다. 반구 내부의 위에서 20mm 아래를 1번 위치로 정하고 바닥에서 48mm 위를 10번 위치로 정해 등간격으로 총 10개의 내부보강 Ring 위치를 정한다.(그림 2)

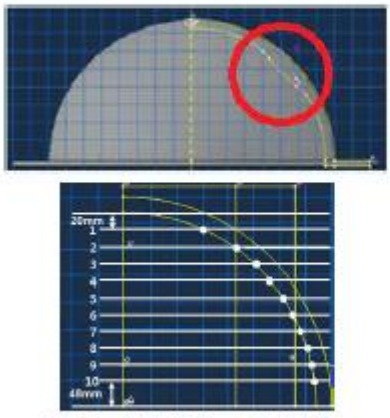


그림 2. 내부보강 Ring 상세 및 위치

그림 8은 HAT-K Joint의 최적 링 위치를 표시한 그래프이다. 8번 링 위치에서 응력은 최소이고 그에 비해 내력은 최대임으로 링 보강의 최적 위치임을 나타낸다.

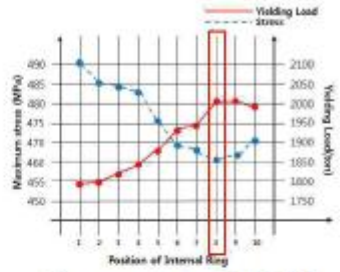


그림 3. HAT-K Joint 최적 링위치

8.2.2 최적 H.S.C 두께 및 Rib의 개수

아래 그림 4, 5, 6은 링 위치는 8번을 기본으로 하여 리브의 개수와 두께를 변화시켜가며 응력과 내력을 나타낸 그래프이다.

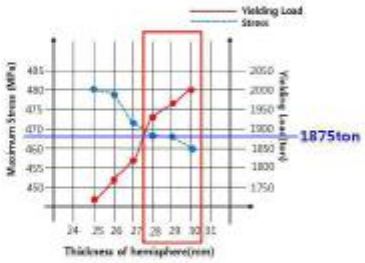


그림 4. 링 위치 8번, 리브 0개 해석 결과

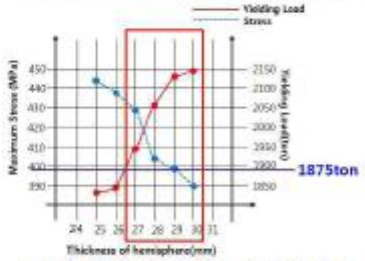


그림 5. 링 위치 8번, 리브 6개 해석 결과

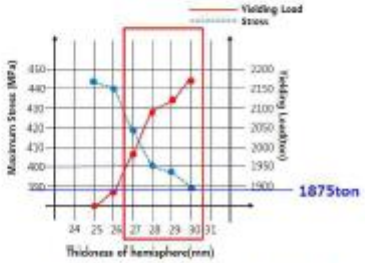


그림 6. 링 위치 8번, 리브 8개 해석 결과

반구의 두께와 리브 개수가 증가함에 따라 내력은 증가하고 최대응력은 감소하는 것을 확인할 수 있다. 해석 결과를 그래프로 나타낸 후 내력 1,875ton 이상과 최대 응력이 390MPa이하인 기준치를 만족시킨 모델을 찾는다. 이 조건을 만족하는 모델은 내부 링 보강 8번 위치, 두께 30mm, 리브 6개와 8개인 두 가지 이다. 하지만 사용 강재량이 적을수록 효율적이라는 판단 하에 최종 ProtoType은 HAT-K_Ring8_TH30_R6로 선정한다. 상세 형상은 그림 7과 같다.

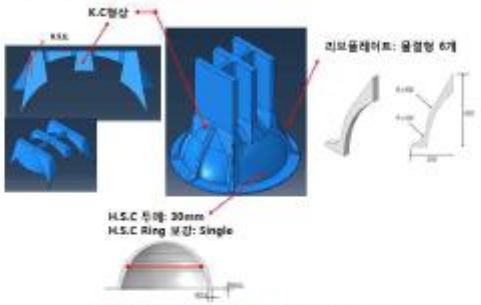


그림 7. HAT-K Joint Prototype 상세

4. 결 론

본 연구에서는 유한요소 해석을 통해 PHC파일과 왕형(王形)강관기둥 간의 접합부에 대해 거동과 내력을 확인하여 최적화된 ProtoType을 제안하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 대공간 구조물에서 기존까지 사용되던 직접기초를 시공 및 공기 측면에서 경제성이 높다고 판단되는 말뚝기초로 대체할 수 있다.

2) 유한요소 해석 결과 도출된 HAT-K Joint의 Prototype은 HAT-K_Ring8_TH30_R6 모델이며 이 모델은 내부 Ring 8위치, 두께 30mm, Rib-plate 6개를 갖는 모델이다.

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 건설교통기술촉진 연구사업(14CTAP-C066889-02-000000)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. AIK, Korean Building Code 2009-Steel, KBC2009
2. Korean Industrial Standards, KS D 4108 : Steel casting for welded structure (2008)
3. YS Lee, JT Oh, YS Kim, YK Ju(2014) Hemispere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part I: Analysis Applied Mechanics and materials Vol.470 (2014) pp 958-961

(4) 2차년도 한국방재학회

반구형 접합부(HAT Joint) 시공 프로세스 및 경제성 검토

Execution process and Economic Feasibility for Half Sphere Joint(HAT Joint)

김상봉* 주영규** 김영식*** 오진탁****

Kim, Sang-Bong · Ju, Young-Kyu · Kim, Young-Sik · Oh, Jin-Tak

요 지

본 연구에서는 개발한 PHC파일과 철골기둥 간 반구형 접합부의 실제 시공 프로세스와 이로 인해 얻을 수 있는 경제성을 검토하였다. 우선 반구형 접합부는 상부 하중을 축력으로만 전달하게 되며 기존 접합부의 단점이었던 휨 부분을 크게 개선하였다. 또한 PHC파일과 철골기둥을 보다 빠른 기간 내에 연결이 가능하여 공기 단축 및 시공의 편리함으로 인해 경제성 또한 유리하다. 경제성 검토는 실제 현장의 시공 방법 변경을 통해 비교하였으며, 이러한 단축 효과에 대해 여러 현장 케이스들을 통해 확인해 보았다. 또한 공기 단축 효과를 실질적으로 확인하고자 시공 중인 현장의 일부분을 대체하여 기존 시공방법보다 경제적으로 유리함을 검증할 계획이다. HAT Joint는 PHC파일 위에 설치되게 되므로 이에 맞는 시공 프로세스가 요구된다. 기본적으로 HAT Joint는 공장에서 반구부분과 상부 기둥 일부분을 공장에서 접합하여 현장으로 이동된다. 현장에서 말뚝기초로 사용된 PHC파일은 높이 조절을 위해 상부를 절단하게 된다. 그 후 불규칙한 절단면을 보완하고자 HAT Joint용 파일캡을 설치한다. 이 파일캡과 PHC파일을 볼트로 결합하게 되며, 다음으로 파일캡과 HAT Joint를 결합한다. 본 논문에서는 공기 단축 효과가 유리한 HAT Joint의 시공프로세스를 소개하며 이를 이용한 시공 방법의 유리함을 경제성 검토를 통해 검증하고자 한다.

핵심용어 : PHC파일, 접합부, 시공 프로세스, 경제성

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 건설교통기술촉진 연구사업(14CTAP-C066889-02-000000)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

* 정회원, 고려대학교 감구조내진공학연구실 석사과정 (E-mail: ligajewel@naver.com) (맑은고딕 7pt)
Member, Master Course, Department of Architecture & Civil Engineering, Korea University
** 교신저자, 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수 (Tel : +82-2-3290-3327, E-mail: tallsite@korea.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Architecture & Civil Engineering, Korea University(영문소속)
*** 영구조엔지니어링 대표 (E-mail: master@kosham.or.kr)
Ph.D Candidate, ㅇㅇ(영문학과 및 부서), ㅇㅇ University(영문소속)
**** 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정 (E-mail: resound@korea.ac.kr)
Ph.D Candidate, Department of Architecture & Civil Engineering, Korea University

휨 실험을 통한 반구형 접합부(HAT Joint) 성능평가

Performance Evaluation of Half Sphere Joint(HAT Joint) for Flexural Experiment

오진탁* 주영규** 김영식*** 김상봉****
Oh, Jin-Tak · Ju, Young-Kyu · Kim, Young-Sik · Kim, Sang-Bong

요 지

본 연구에서는 대공간 구조물에 보편적으로 사용되는 곡접기초의 단점을 보완하기위해 기초와 강관기둥의 접합부에 대한 개발을 진행하였다. 기존 접합부들은 플레이트를 이용하여 휨으로 인한 처짐을 막기 위해 해당 부분에 과도한 보강이 필요하다. 이와 달리 HAT Joint는 반구 형상으로 축력으로만 전달하게 되어 휨에 대한 우려를 최소화 하였다. 또한 H형강용 기본 타입인 H-Type 외에도 각형, 원형, 왕형 철골기둥에 설치가 가능하도록 다양화 하였다. HAT Joint는 현장 시공 시 상부 철골과 결합되어 설치하게 되며 PHC파일과 HAT Joint는 연결 캡을 이용해 볼트로 결합된다. 접합부의 압축력은 φ1000 PHC파일의 허용압축강도인 967ton의 1.5배인 1500ton을 충분히 만족한다. 이와 동시에 PHC파일과 접합부간 연결부위에 대한 강도 측정이 필요하다. 이는 볼트결합으로 인한 불안을 해소하기 위함이며, 시공 시의 현장상황 혹은 갑작스러운 지진 등 예상하지 못한 횡하중에 대해 문제점이 없는지 검토 하는 과정이다. 실험은 두 개의 PHC파일과 연결된 접합부의 철골 기둥을 연결하여 그 중심점을 가력하는 형태로 성능평가를 진행하였다. 이를 통해 개발한 접합부가 압축 성능뿐만 아니라 휨에 대한 성능도 만족하였음을 검증하고자 한다.

핵심용어 : PHC파일, 접합부, 휨 실험, HAT Joint

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 건설교통기술촉진 연구사업(14CTAP-C066889-02-000000)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

* 정회원, 고려대학교 강구조내진공학연구실 박사과정 (E-mail: resound@naver.com) (맑은고딕 7pt)
Member, Ph.D Candidate, Department of Architecture & Civil Engineering, Korea University
** 교신저자, 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수 (Tel : +82-2-3290-3327, E-mail: tallsite@korea.ac.kr)
Corresponding Author, Member, Professor, Department of Architecture & Civil Engineering, Korea University(영문소속)
*** 영구조엔지니어링 대표 (E-mail: master@kosham.or.kr)
Ph.D Candidate, ㅇㅇ(영문학과 및 부서), ㅇㅇ University(영문소속)
**** 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정 (E-mail: ligajewel@naver.com)
Master Course, Department of Architecture & Civil Engineering, Korea University

2. 학술논문(6)

(1) 1차년도 Applied Mechanics and Materials

Applied Mechanics and Materials Vol. 470 (2014) pp 958-961
© (2014) Trans Tech Publications, Switzerland
doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.470.958

Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part I: Analysis

Yeunseung Lee[1, a], Jintak Oh[2, b], Youngsik Kim[3,c], Young-K Ju[4, d]

[1,2,4] School of Civil, Environmental and Arch, Eng, Korea Univ, Anam, Seongbuk 136-713, Korea

[3]YOUNG Structural Engineering, 835-6, Yeoksam 1-dong, gangnam-gu, Seoul, Korea 135-569

[a]kamuyii@korea.ac.kr, [b]resound@korea.ac.kr, [c]yskim@ysse.kr, [d]tallsite@korea.ac.kr

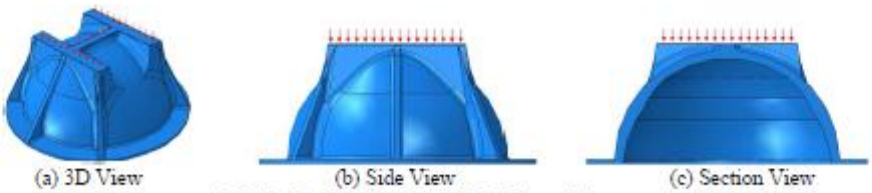
Keywords: Cast-in-place concrete piles, joint of the PHC pile to column, Top-down construction

Abstract: To overcome disadvantages of usual Cast-In-Place (CIP) concrete pile methods in top-down construction, some prototypes of a joint of the PHC pile to column that directly connects a column to a PHC pile are analytically studied. With the consideration of strength requirement and stress concentration of joint of the PHC pile to column, we suggest the most appropriate one.

1. Introduction

When usual Cast-In-Place (CIP) concrete pile methods are used to top-down construction, such as PRD (Percussion Rotary Drill), RCD (Reverse Circulation Drill), and All casing method, large-scale construction storage yard, curing periods of concrete material (elongates a construction period), and using stabilizer liquid harmful to environment are inevitable. Also, it is hard to guarantee a uniform construction quality of concrete piles.

To use PHC piles in top-down construction, which can overcome disadvantages in using CIP concrete piles, a design of a joint that connects a PHC pile to a column is the most critical. In particular, the joint of the PHC pile to column properly transfers the axial stress from a column to a PHC pile without punching shear effects and stress concentration. Also, local large strains at the joint of the PHC pile to column must be prevented to have adequate rigidity between a column and a PHC pile. In this paper, we firstly develop 16 prototypes of joint of the PHC pile to column from basic domed-shape geometry, which is advantageous in saving materials compared to an arch-shaped joint of the PHC pile to column under compression. With the commercial software ABAQUS, structural behaviors of each prototype are analytically investigated for the worst case, which is under compression load of 1.5 times a capacity of a PHC pile (Diameter 1000mm pile's axial strength is 967tonf[5], so we compressed 1500tonf) as in Fig 1. Based on the analytical results we studied, the most effective prototype is suggested for the further experimental study.



(a) 3D View (b) Side View (c) Section View

Fig 1. Typical shape of FEM models

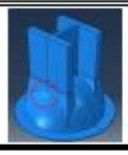
2. Finite Element Models

2.1 Representative Models

All the joint of the PHC pile to column models developed here established from the previous sequential analysis results, where a quadratic tetrahedron element is used as a basic element; 1) from analyzing the unreinforced joint of the PHC pile to column where the thickness of hemisphere is fixed as 30 mm, the critical stress concentration occurs at the intersections of a flange-middle in a steel column and the unreinforced joint of the PHC pile to column [3]. To avoid stress concentration

at those points, two different reinforcement methods at the flange-middle in a steel column were considered as in Table 1.

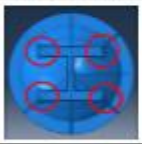
Table 1. Flange-middle reinforcement methods

Variables List	Unreinforced	Flange-middle reinforcement method	
		With circular	With supported braces
forms			

2) With the additional analysis results for the two different reinforcement methods, we found that the flange-middle reinforcement with supported braces is much effective to mitigate the stress concentration at the intersection of the flange-middle in a steel column and the joint of the PHC pile to column.

3) Narrowing down to the flange-middle reinforcement method with supported braces, we found that the critical stress concentration occurs at the intersection of flange-ends in a steel column and the joint of the PHC pile to column. To avoid stress concentration at those points, this time, three different reinforcement methods at the flange-ends in a steel column were considered as in Table 2.

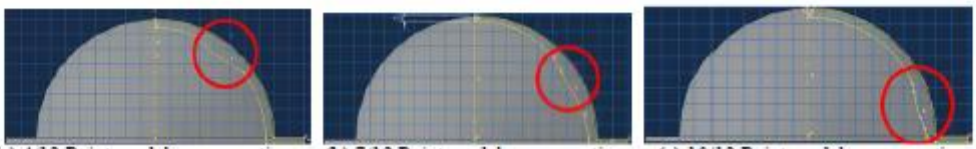
Table 2. Flange-end reinforcement methods

Variables List	Unreinforced at flange-end	Flange-ends reinforcement method	
		With circular	With rib plates
forms			

4) With the additional analysis results for three different reinforcement cases at the flange-ends of a steel column, we found that the method reinforced by rib plates is most effective.

5) For the reinforcement case, where column flange-middles are reinforced with two supported braces and column flange-ends are reinforced with six rib plates, stress concentration occurs at the inner surface of hemisphere, so that the internal reinforcement of hemisphere by varying thickness of hemisphere at different level is considered this time.

Depending on the level of the internal reinforcement, a total of 10 models are firstly considered as in Fig 2.



(a) 4/12 Point model, cross-section (b) 7/12 Point model, cross-section (c) 10/12 Point model, cross-section

Fig 2. Representative internal reinforcement locations.

Among them, we proceed the analysis for the most effective case among 10 models for the further material savings. That is, we fix the internal reinforcement at the most effective level, then, vary the thickness of the hemisphere from 25 mm to 30 mm by 1 mm increase. Thus, a total of 16 analysis models are considered, here.

2.2 Criteria for the adequacy of a joint of the PHC pile to column

The required strength of a joint is considered as 1.5 times of axial strength of a PHC pile for structural safety: a PHC pile was designed to stay within elastic region by ASD method, so that the strength of a joint of the PHC pile to column must be higher than the strength of a PHC pile without safety factor .(1500ton load, 1.5 times of 967tons) [4, 5]. Also, the yielding stress of a joint of the PHC pile to column cannot exceed 355MPa, which is a design yielding stress of SCW550 specified in Table 3.

Table 3. Material property of SCW550

Steel	Chemical composition					Mechanical property		
	C	Si	Mn	P	S	Yield	Tension	Elongation
SCW550	≤0.22	≤0.80	≤1.50	≤0.04	≤0.04	355≤	550≤	20≤

3. Simulation Results

We found that the internal reinforcement at the level of 7/12 of the height in the hemisphere (from the top to the reinforcement level) is most effective to prevent stress concentration in the internal surface of the hemisphere and to have the adequate axial strength of 1.5 times a capacity of a PHC pile as in Fig 3.

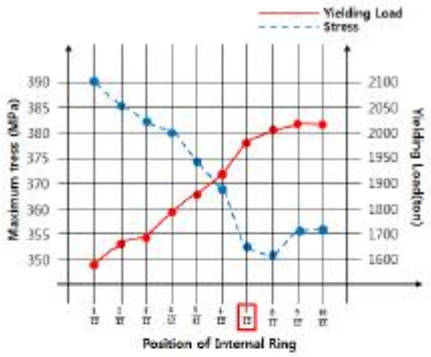
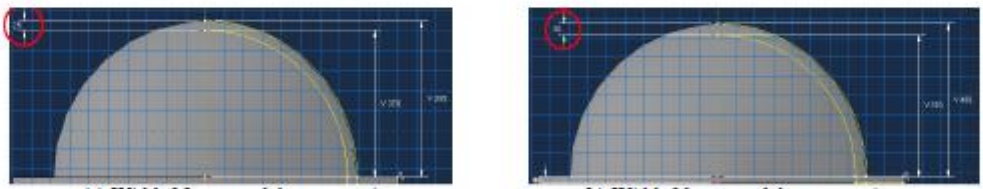


Fig 3. Comparison graphs

Then, for the possible further material savings, we develop six models by varying the thickness of hemisphere from 25 mm to 30 mm by 1 mm increment as in Fig 4.



(a) Width 25mm model cross section (b) Width 30mm model cross section

Fig 4. 6 Models by varying hemisphere thickness

As in Fig 5, when the thickness of hemisphere becomes thicker, at a joint of the PHC pile to column, maximum stress reduces while the strength increases. Compared to the strength requirement of a PHC pile 1500 tonf and the yielding stress 355MPa, the thickest one (30 mm) satisfies both criteria while the others does not.

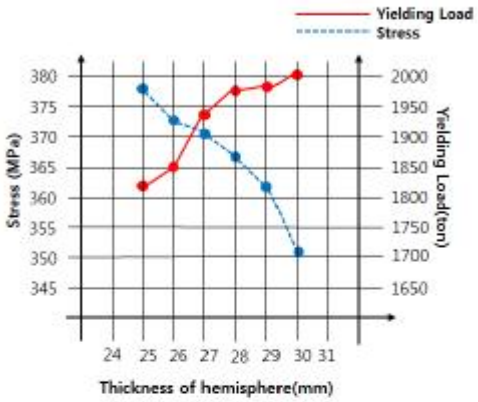


Fig 5. Comparison graph of stress and internal force of hemisphere width

4. Summary

Through analytical studies on a joint of the PHC pile to column, we found that the model (HAT_TH30_R6) with thickness 30mm and reinforcement at the internal hemisphere with 7/12 height and 6 rib plates is the most effective by following numerical simulation results:

1) HAT_TH30_R6 has the least stress concentration at the intersection of hemisphere and a steel column: stress concentration at that region is avoided through both braces and rib plates.

2) HAT_TH30_R6 has the least stress concentration at the internal hemisphere, where a supplemental cast ring is placed at the 7/12 of hemisphere height.

3) HAT_TH30_R6 is the only prototype that satisfies the strength requirement and minimizes local stress concentrations, simultaneously.

In the accompanying paper, we experimentally check structural performance of HAT_TH30_R6.

Acknowledgement

This analysis was carried out with support of in support of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAITA), Samyoung M-Tek Co., Ltd. and Sampyo E&C Co., Ltd.

References

[1] M. P. Petrenko: Special characteristics of the vibrations and the loss of stability if a compressed round plate on and elastic base, Kiev Polytechnic Institute. Vol 14 (1976), p. 107-129

[2] Jae Hyun Park, Chan Ho Yoo, Yoon Sup Shin, Ui Seong Hwang, Jin Young Lee, Moonkyung Chung: Lateral Behavior of Large Size Non-Welded Steel-PHC Composite Pile under Lateral Load, Korean Society of Civil Engineers 36th conference (2010)

[3] Dae-Yong Lee, Subhash C. Goel, Bozidar Stojadinovic: Exposed Column-Base Plate Connections Bending About Weak Axis: I. Numerical Parametric Study, Steel Structures Vol. 8 (2008), p.11-27

[4] AIK, Korean Building Code 2009 - Steel, KBC 2009, Seoul (2009)

[5] Korean Industrial Standards, KS D 4106 : Steel casting for welded structure (2008)

(2) 1차년도 Applied Mechanics and Materials

Applied Mechanics and Materials Vol. 470 (2014) pp 950-953
© (2014) Trans Tech Publications, Switzerland
doi:10.4028/www.scientific.net/AMM.470.950

Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part II: Experiment

Yeunseung Lee[1, a], Jintak Oh[2, b], Young-K Ju[3, c]

[1,2,3] School of Civil, Environmental and Arch, Eng, Korea Univ, Anam, Seongbuk 136-713, Korea

[a]kamuyii@korea.ac.kr, [b]resound@korea.ac.kr, [c]tallsite@korea.ac.kr,

Keyword: Joint of PHC pile to column, Drilled Shaft, Top-Down method, PHC Pile, Constructability

Abstract: In Part I, to have an environmental-friendly, highly durable, cost saving, and easily constructible method in top-down construction, one prototype of a joint of PHC pile to column was suggested on the basis of analytical studies. In this paper, structural performance of such joint of PHC pile to column is experimentally analyzed with regard to axial strength and strains.

1. Introduction

For practical uses of PHC piles in top-down construction, structural performance of joint of PHC pile to column connecting a PHC pile to a column is critical. In particular, the joint of PHC pile to column properly transfers the axial stress from a column to a PHC pile without punching shear effects and stress concentration. Also, local large strains at the joint of PHC pile to column must be prevented to have adequate rigidity between a column and a PHC pile. In this paper, we experimentally assess the structural performance for the previously suggested prototype of a joint of PHC pile to column with the comparison to the other two prototypes.

2. Experimental plan

2.1 Material properties

Following by Korean industrial standards such as KS D 3515 (rolled steels for welded structure)[1] and KS D 4106 (Steel casting for welded structure)[2], SM490 and SCW550 are used for all the test specimens. Each specimen consists of a part of a column and a joint of PHC pile to column for simulating field construction. That is, considering field welding construction process (between a column and a joint) and manufacturing process of a joint of PHC pile to column, we use SCW550 for a joint of PHC pile to column and SM490 for a part of a column in each specimen.
Their material properties such as chemical compositions and mechanical properties are summarized in Table 1

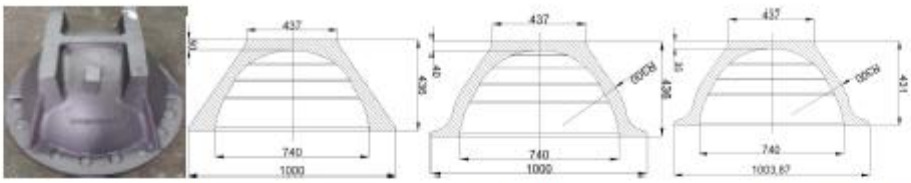
Table 1 Material properties of SCW550, SM490

Steel	Chemical composition					Mechanical property		
	C	Si	Mn	P	S	Yield Strength	Tension	Elongation
SCW550	≤0.22	≤0.80	≤1.50	≤0.04	≤0.04	355≤	550≤	20≤
SM490	≤0.22	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	325≤	490-610	21≤

2.1 Specimen

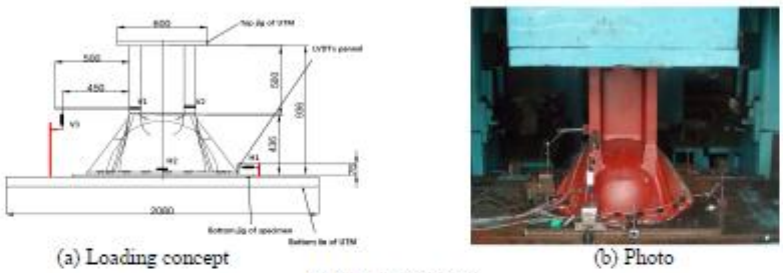
A total of three joint of PHC pile to column specimens such as HAT_TH30_R6, HAT_TH30_R6L, and HAT_TH25_R6L have been tested to assess their structural performance; in Part I, we analytically check that HAT_TH30_R6 is the most effective in a view point of structural performance. However, in experimental study, we additionally check HAT_TH30_R6L and HAT_TH25_R6L for the possible material savings.

Their typical shape looks like a hat, which is shown in Fig 1. The name of each specimen is decided by a thickness of hemisphere, a number of rib plates, and the shape of each rib plate, respectively. For example, HAT_TH30_R6L is specimen whose hemisphere is 30mm in thickness with 6 rib plates. L represents a variable specimen whose rib plate is wave-shaped and thickness ranges from 15mm to 30mm.



(a) Over view (b) HAT_TH30_R6(Section) (c) HAT_TH30_R6L(Section) (d)HAT_TH25_R6L(Section)

Fig 1. Specimens



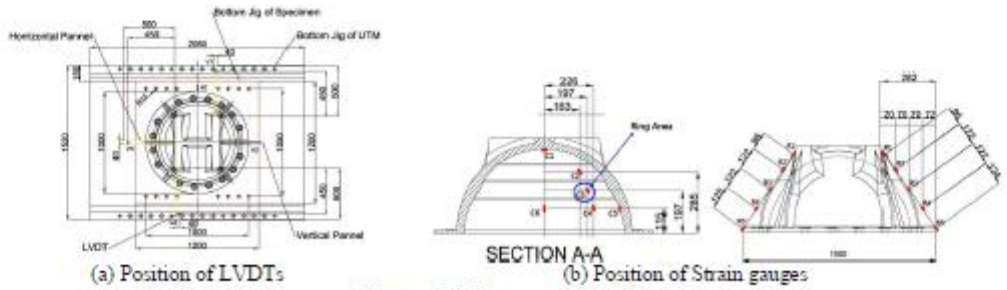
(a) Loading concept (b) Photo

Fig 2. Test setup

2.2 Test setup and procedure

Following by Korean industrial standards such as KS F 4306 (pretensioned spun high strength concrete pile)[3] and Korean building code 2009 (Structural steel and cast iron)[4], a PHC pile is designed by allowable stress design method (ASD), while a steel column is designed by Load and Resistance Factor Design (LRFD) for structural safety. Therefore, the structural performance of a joint of PHC pile to column was tested up to the load of 1500ton, which is 1.5 times of 976ton (the allowable axial load of PHC pile).

As shown in Fig 2, UTM of 3000ton was loaded by displacement control method with a rate of 0.5mm/sec. The specimens were fixed on the bottom jig by 19 M24 bolts, which can be used to connect a joint to a PHC pile in real construction process. Each specimen was designed to connect a PHC pile of external diameter 1000mm, and used for column is H-498 × 432 × 45 × 70. Also, a total of 5 LVDTs (Linear Variable Differential Transformers) was installed to measure vertical and horizontal displacements at a joint of PHC pile to column, while 24 strain gauges were instrumented in each specimen located at two ribs and inner hemisphere. The overall measurement setup for each specimen is shown in Fig 3.



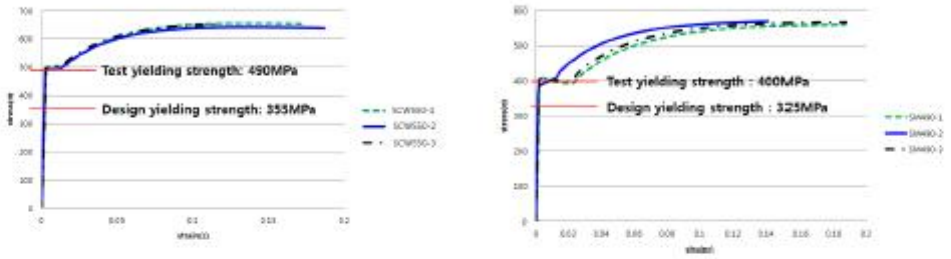
(a) Position of LVDTs (b) Position of Strain gauges

Figure 3. Measurement plan

3. Experimental results

3.1 Coupon tests

3 specimens were tested by steel material to enhance the accuracy of the test materials. Fig 5 shows the test result. Fig 4(a) is the graph that illustrates the yielding and ultimate strength of SCW550. The average of the yielding and ultimate strength of SCW550 was measured to be 490MPa and 650MPa, respectively. Fig 4(b) is the graph of the yielding and ultimate strength of SCW490, which is 400MPa and 550MPa, respectively. Those values were the ideal design values for yielding and ultimate strength specified by each of the steel materials.



(a) SCW550 (b) SM490

Fig 4. Material property

3.2 Load-Displacement and Load-Strain Curve

Load-displacement graph of each specimen is shown in Fig 5. The yielding strength of HAT_TH30_R6-1 and HAT_TH30_R6-2 specimen was measured to be 1916ton and 1970ton, respectively and it was turned out that the yielding strength of HAT_TH30_R6L model was 1785ton while that of HAT_TH25_R6L was 1694ton. It was confirm that every specimen has necessary yielding load (more than 1500ton). However, additional 25, SCW550 test materials, which were manufactured by a test specimen designing company, were tested for general application. The result of the additional material test showed that the average yielding strength was 390MPa, which is far lower than the previous material test (490MPa). Therefore, this result was used to scale the specimens down. Then it turned out that only HAT_TH30_R6-1 and HAT_TH30_R6-2 specimen have yielding load over 1500ton while the rest specimens of which amount were reduced don't have necessary internal strength. Therefore, it is determined that HAT_TH30_R6 should be a prototype for the sake of safety. Table 2 summarizes the result of the scaling down.

Table 2. Scale Down Results

Test specimens	Yielding Strength (ton)	Yielding Strain	Initial Stiffness (ton/mm)	Design Load (ton)	Performance Review
HAT_TH30_R6-2	1936 ->1540	0.82	2361	1500	Yield Load > Design Load (OK)
HAT_TH30_R6-2	1970 ->1567	0.61	3230	1500	Yield Load > Design Load (OK)
HAT_TH30_R6L	1785 ->1420	0.63	2833	1500	Yield Load < Design Load (NG)
HAT_TH25_R6L	1694 ->1348	0.94	1802	1500	Yield Load < Design Load (NG)

Strain gauge R1~R5 and C1~C6, which were installed to measure the strain of the specimens were compared with the test results of specimen HAT_TH30_R6-1 and HAT_TH25_R6L.

The graph of R1-R5 in Fig 6(a) shows that when the specimen is at yielding strength, its strain can reach plastic zone only at the position of strain gauge R1, which is located on the uppermost part of the rib plate. However, the strain of the specimen in Fig 6(b) can reach to plastic zone at the positions of strain gauge R1, R2 and R5 when it is at yielding strength. It demonstrates that wavy rib plates have more efficient distribution of internal stress than basic rib plates. The area where strain gauge C3 is installed inside of the hemisphere is where the compressive force of the superstructure and the tension of substructure meet when the hemisphere is subject to loads. In

addition, it was assumed from FEM that the area is the weakest part in case internal ring is not reinforced. The strain gauge C3 in Fig 6(c) shows a similar plasticity to that of C4. This similar result can be considered to demonstrate the necessity and positional appropriateness of the internal ring.

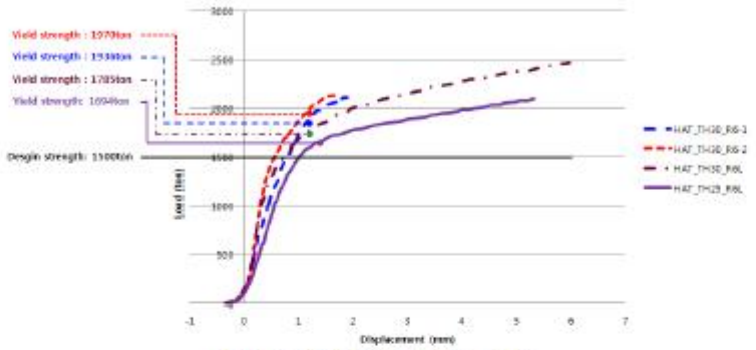
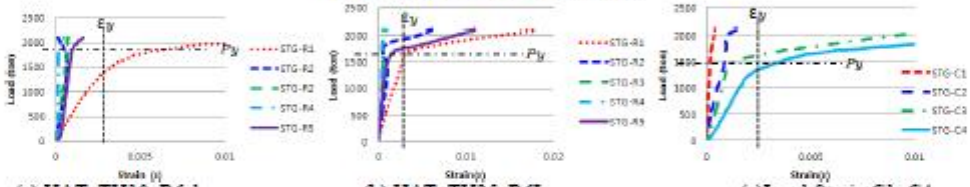


Fig 5. Load-Deflection Graph



(a) HAT_TH30_R6-1 (b) HAT_TH25_R6L (c)Load-Strain C1~C4

Fig 6. Load-Strain Graph

4. Summary

For practical application of a joint of PHC pile to column to top-down construction, we experimentally assess structural performance of the previously suggested a joint of PHC pile to column with the comparison to the other two prototypes for the further material savings. As in analytical study, among three prototype designs, we can check that the HAT TH30R is most effective in the following experimental results:

1) While the joints of PHC pile to column where wavy rib plates are used (HAT TH30R6L and HAT TH25R6L) are much efficient in avoiding stress concentration, their yield strengths are lower than the required strength of a PHC pile with a diameter 1000mm, 1500tonf in scaled down results. The HAT TH30R6 is the only one that satisfies the strength requirement in both bare experimental results and the scaled down results.

2) We checked the horizontal displacement in bolt connection. A little displacement occurs at that point (maximum 0.282mm). We decided that is satisfied of bolt's shear strength

Acknowledgement

This analysis was carried out with support of in support of Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement (KAITA), Samyoung M-Tek Co., Ltd. and Sampyo E&C Co., Ltd.

References

[1] Korean Industrial Standards, KS D 3515 : Rolled Steels For Welded Structure, KS, Seoul (2008)
[2] Korean Industrial Standards, KS D 4106 : Steel casting for welded structure (2008)
[3] Korean Industrial Standards, KS D 4306 : Pretensioned Spun High Strength Concrete pile (2008)
[4] AIK, Korean Building Code 2009 - Steel, KBC 2009, Seoul (2009)

(3) 2차년도 공간구조학회

ISSN 1598-4095 (Print)
ISSN 2287-7401 (Online)
http://dx.doi.org/10.9712/KASS.2013.13.4.041

Journal of the Korean Association for Spatial Structures
Vol. 13, No. 4 (통권 54호), pp.41~47, December, 2013

강재기둥과 PHC 파일을 연결하는 반구형 접합부(HAT Joint)의 유한요소 해석 PART I : 원형강관기둥

Analytical Study of HAT Joint between PHC Pile and Steel Pipe Column

오 진 탁* 이 연 승** 김 상 봉*** 주 영 규****
Oh, Jin-Tak Lee, Yeun-Seung Kim, Sang-Bong Ju, Young-Kyu

Abstract

To overcome disadvantages of usual spread foundation in large space structure, some prototypes of a joint of the PHC pile to steel pipe column that directly connects a column to a PHC pile are analytically studied. With the consideration of strength requirement and stress concentration of joint of the PHC pile to column, we suggest the most appropriate one.

Keywords : spread foundation, large space structure, PHC Pile, Steel pipe column

1. 서론

대공간 구조물의 기초는 직접기초를 사용하는 경우가 많다. 직접기초는 단단한 암반위에 설치되지 않고 땅위에 설치되는 기초형식으로 연약지반에 설치될 경우 부등침하의 발생이 우려된다. 부등침하의 발생은 예상하지 못한 하중을 야기 시키고 이러한 하중 때문에 결국 건물은 붕괴 된다. 따라서 부등침하로 인한 추가 하중 발생을 막기 위해 기초 크기와 타설량이 증가하게 되고 공기 및 공사비용이 증가한다.

보다 더 효율적인 기초시공을 위해 부등침하의 발생을 억제하고 콘크리트 타설량을 감소시킬 수 있도록 직접기초를 대신하여 대구경 PHC 파일을 이용한 말뚝기초를 이용하는 방안에 대해 연구를 진행하였고, 본 논문에서는 PHC 파일과 원형 기둥이 접합되어야 하는 경우에 대한 새로운 시스템을 제안하고 이를 유한요소해석 프로그램을 통해 검증하였다.

* 주저자, 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 공학박사
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Ph.D
** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 공학석사
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Master
*** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 석사과정
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Master course
**** 교신저자, 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 교수
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Prof.
Tel: 02-3290-3748 Fax: 02-921-2439
E-mail: tallsite@korea.ac.kr

2. 말뚝 기초의 연구동향

독립기초를 대체하기 위해 가장 먼저 검토되었던 말뚝은 현장타설 콘크리트 말뚝이다. 현장타설 콘크리트 말뚝은 올케이싱 공법, 어스드릴 공법, R.C.D 공법이 주로 사용된다.

이와 같은 현장타설 말뚝들은 기둥의 수직, 수평도를 맞추기 간편하며 기둥의 위치 등을 변경하는데 용이해서 일반적인 시공현장에서 많이 사용되고 있다. 하지만 시공 장비의 대형화와 시공시 사용하는 안정액으로 인한 환경오염의 발생, 현장에서 콘크리트를 타설하기 때문에 발생하는 균일한 품질관리의 어려움, 그리고 별도의 양생기간이 필요하여 공사기간이 길어지는 단점을 갖고 있다.

이러한 현장타설 말뚝이 갖는 단점을 극복하고자

기성 말뚝의 사용이 검토 되었다.

기성 말뚝은 Precaste Concrete Pile과 PHC (Pretesioned spun High strength Concrete) Pile 등이 있다.

PHC 파일은 1992년에 일본에서 기술을 도입되어 생산이 시작된 기술로서 2000년대에 이르러서는 국내 콘크리트 파일 생산량의 90% 이상을 차지하고 있다. 그러므로 두 가지 기성 콘크리트 말뚝 중 더 많이 이용되는 PHC 말뚝으로 현장타설 말뚝을 대체하고자 한다.

PHC 파일은 공장에서 철근을 거푸집에 삽입 후 콘크리트 주입 파일에 인장을 가하여 프리스트레스를 준 뒤, 원심성형공정을 거쳐 고온고압양생(오토클리이밍)을 하여 제품을 제작하므로 품질 관리 면에서 현장타설 말뚝에 비해 우위에 있다고 할 수 있다. 또한, 현장타설 말뚝에 비해 휨 모멘트에 대한 저항력이 크고 높은 지지력을 가져서 상부 하중을 지하 암반에 100% 전달 할 수 있기 때문에 말뚝 사용 수량을 감소시킬 수 있다.

일반적인 공사현장에서는 직경 500~600mm의 PHC 파일이 가장 많이 사용되어 왔지만 직경 500~600mm의 PHC 파일은 대공간구조물의 기초로 활용되기에 너무 작고 대형화 되어가는 현재 파일 시장의 추세를 고려하여 직경 1000mm의 대구경 PHC 파일을 활용하여 대공간 구조물의 기초로써 활용할 수 있는 방법을 검토하였다.(Hyunggeun, Kim and Soogeun Chai 2011)

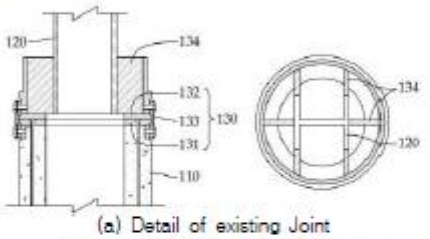
3. 접합부(HAT Joint) 시스템 제안

3.1 하중전달 메카니즘

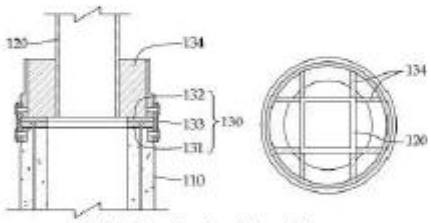
PHC 파일을 대공간 구조물에 활용하기 위해서는 PHC 파일과 기둥과의 접합부에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다. 이러한 접합부에 대한 연구는 '복합파일을 이용한 지하골조구조물 시공방법(출원번호 10-2010-0066954)', '기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝 (출원번호 10-2010-0068233)' 등이 있다.

<Fig. 01>에서 기존의 PHC 파일과 강재기둥을 연결하는 접합 상세에 관한 것을 나타내었다. 그러나 이러한 접합 방식은 PHC 파일 중공부에서 발생하는 휨을 제어하기 어려워 필요이상으로 베이스 플레이트가 과다해지며, 과다한 리브플레이트(Rib-plate)의 활용으로 시공성과 경제성이 낮다 (<Fig. 02>).

PHC 파일을 활용하여 대공간구조물의 기초로 활용하기 위해서 PHC 파일 중공부에 발생하는 휨을 효과적으로 제어할 수 있는 반구형 접합부 시스템을 제안하였다.

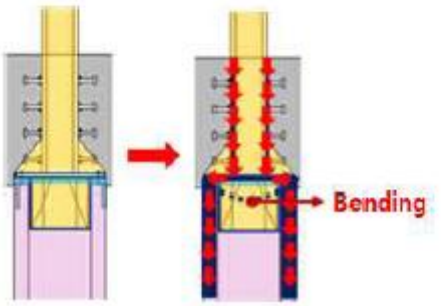


(a) Detail of existing Joint between PHC Pile and H-Column



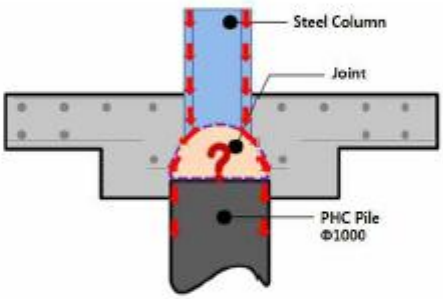
(b) Detail of existing joint between PHC pile and tube-column

<Fig. 01> Detail of existing joint between PHC Pile and steel column



<Fig. 02> Moment stress at opening in PHC pile

<Fig. 03>에 나타낸 것과 같이 PHC 파일과 강재기둥을 연결하는 부분을 반구형으로 활용함으로써 기존의 축력-휨-축력으로 전달되는 기둥에서 말뚝까지의 하중 전달 메카니즘을, 축력-축력-축력으로 전환시켜 하중 전달 과정에서의 손실을 최소화하고 경제적인 물량의 사용을 가능하게 하였다. 또한 PHC 파일 설치 이후 기초 타설 없이 기둥을 설치할 수 있으므로 PHC 파일설치, 접합부 설치, 기둥설치로 이어지는 간편한 시공이 가능하게 되었고 상부의 골조공사를 지하 공사와 동시에 진행 할 수 있게 되어 공기 단축에 있어서도 탁월할 것으로 판단된다.



<Fig. 03> Half-sphere joint between PHC pile and steel column

3.2 HAT Joint 세부 형상

기존에 연구가 진행된 PHC 파일과 H형 강재 기둥간의 접합부 초기 형상은 <Fig. 04>에 나타내었다. 이 반구형 접합부를 HAT(Hollow hAlf-sphere sTeel) Joint라 칭한다.

HAT Joint는 기본적으로 H.S.C(Half Sphere Connector), Rib-plate, H.C(H-column Connector)로 이루어져 있다. H.S.C는 PHC 파일과 볼트로 연결할 수 있도록 하여 현장의 시공성을 향상시키고자 하였고, 상부의 하중을 축력만으로 PHC 파일에 전달하는 역할을 한다. Rib-plate는 상부의 하중을 효과적으로 H.S.C로 전달하는 역할을 하며 Rib-plate는 상부철골 기둥에서 H.C를 거쳐 H.S.C로 전달되는 하중이 집중되지 않도록 막아준다.

이와 같이 다소 복잡할 수 있는 접합부의 형상을 효과적으로 구현하기 위해 주강으로 제작하였으며 사용강재는 SCW550으로 하였다.



<Fig. 04> Basic shape of HAT Joint

H형강에 대응하여 개발된 HAT Joint를 기본으로 다양한 형태의 강재 기둥마다 선택하여 쓸 수 있는 접합부 개발의 단계로 원형강관기둥과 각형강관기둥에 대한 추가 연구를 진행하였다. PART I에서는 원형강관기둥과 PHC 파일을 연결하는 접합부 HAT Joint P-Type(Pipe)을 논하였으며, PART II에서 각형 강관기둥에 대한 T-Type(Tube)을 서술하도록 하겠다. P-Type의 Prototype을 제안하기 위해 유한요소 프로그램을 이용해 변수해석을 진행하였다.

4. 유한요소 해석

4.1 유한요소 해석 개요

유한요소 해석프로그램은 ABAQUS / CAE V6.10을 사용 하였으며 실제 제작될 접합부와 비교하여 1:1스케일(Scale)로 모델링함으로써 실제 접합부의 거동을 최대한 유사하게 확인하고자 하였다.

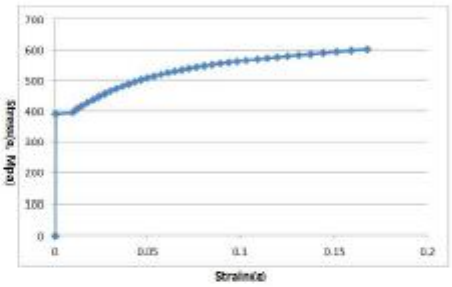
해석은 각각의 모델마다 하중제어 방식과 변위제어 방식으로 두 번에 걸쳐 진행되었다. 하중제어 방식은 접합부가 견뎌야 하는 최대 하중이 작용하였을 때 접합부에서 최대응력이 발생하는 지점을 찾고 최대 변형을 확인하기 위함이고, 변위제어 방식을 통해서는 변위 별 접합부의 응력 및 하중 변화를 확인 할 수 있도록 하였다.

유한요소 해석에 사용한 재료 물성치는 실제

SCW550의 재료 실험 결과를 사용하였고 소성영역에서의 물성치 입력을 위해 [식 1]과 [식 2]를 이용하여 진변형률(True Strain)과 진응력(True Stress)로 변환하여 사용하였다.

$$\epsilon_{true} = \ln(1+\epsilon_{nom}) \quad [식\ 1]$$

$$\sigma_{true} = \sigma_{nom}(1+\epsilon_{nom}) \quad [식\ 2]$$



<Fig. 05> Material property of SCW550

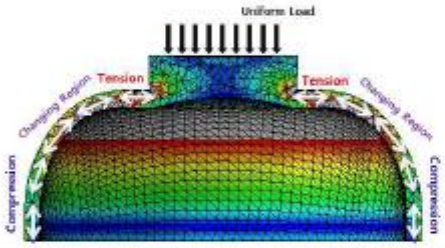
PHC 파일과 기둥을 연결하는 접합부에서의 파괴를 방지하기 위해서 접합부의 내력은 본 논문에서 타겟으로 지정한 직경 1000mm PHC 파일의 허용 압축강도인 967ton보다 더 커야 하며, 강재 설계시에 극한값으로 설계하기 위해서 967ton의 1.5배인 약 1500ton을 견딜 수 있어야 한다.

실제 접합부가 제작되고 구조물로써 사용될 경우의 안전율을 고려하고 강재 사용량의 효율을 위해서 일반적인 SCW550 제품에 사용된 25개의 재료 실험을 통해 평균 항복강도(390MPa)를 결정하였다(<Fig. 06>). 설계 항복강도가 아닌 평균 항복강도를 기준으로 해석을 진행하므로 내력 목표 역시 상향되어야 한다. 따라서 SCW550의 항복강도가 355MPa일 때 압축내력은 1500ton, 항복강도가 390MPa일 때 압축내력은 1875ton이 되어야 할 것이다. 이러한 기준을 만족시키기 위해서 유한요소 해석을 통해 접합부가 압축응력은 390MPa 이하, 압축내력은 1875ton 이상을 가지도록 변수 스터디를 진행하여 최적의 Prototype을 제안하였다.

4.2 변수 설정

4.2.1 내부 Ring 보강위치

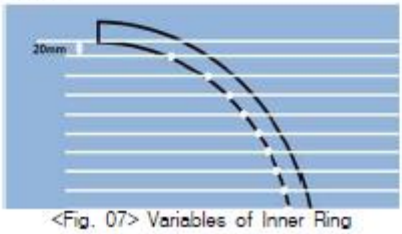
<Fig. 06>에 나타낸 바와 같이 H.S.C와 같은 반구에 하중이 작용하였을 경우 아치 액션(Arch Action)에 의해 압축과 인장이 교차하는 지점이 발생하게 된다. 이렇게 압축과 인장이 교차하는 부분에 응력이 집중 될 것으로 판단되며 이를 효과적으로 제어하기 위해서 내부에 하중이 집중되는 부분을 정확히 파악하고 접합부 내부의 이 위치에 Ring을 추가하는 보강을 함으로써 최소의 물량 증가로 집중되는 응력을 해소할 수 있도록 한다.



<Fig. 06> Arch-action of Half-sphere joint

H.S.C 내부 Ring 보강 위치를 찾기 위한 변수를 <Fig. 07>에 나타내었다. H.S.C 내부 반지름 370mm에서 상부의 20mm와 하부의 48mm를 제외한 나머지 구간을 총 9등분하여 10개의 Ring 위치를 변수로 하였다. 상부의 20mm와 하부의 48mm를 제외한 이유는 Ring의 단면이 완전한 형상을 유지할 수 있도록 하기 위함이다.

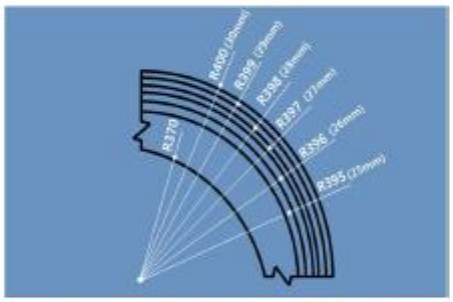
순수한 Ring 보강의 효과를 확인하기 위해 H.S.C의 기본 두께를 30mm, Rib-plate를 생략한 모델로 해석을 진행하였다. 최적의 Ring 보강 위치를 알기 위해 각각의 Ring 위치별로 응력분포와 최대내력을 검토하여 그래프를 통하여 최적의 Ring 위치를 판별하였다.



<Fig. 07> Variables of Inner Ring

4.2.2 최적 H.S.C 두께

최적 H.S.C 단면 두께 판별은 상부의 하중을 저항하는데 최적의 물량을 확인하기 위함이다. H.S.C 단면의 두께는 내부의 지름은 370mm로 고정되어 있으며, 외부의 지름을 396mm~400mm(두께 26mm~30mm)까지 변화시켜가며 모델을 해석하였으며 4.2.1에서 판별된 최적의 Ring위치를 기본으로 하여 해석을 진행하였다. Rib-plate의 개수에 따라 최적의 두께를 선정해야 하므로 Rib-plate 개수별 두께를 1mm씩 변화시킨 6개의 변수를 적용하였다. H.S.C 단면의 두께 변수는 <Fig. 08>에 나타내었다.

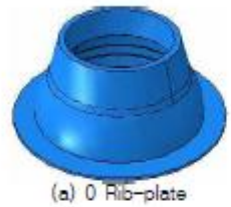


<Fig. 08> Variables thickness of H.S.C

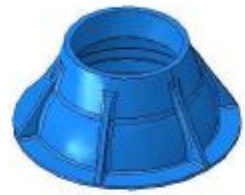
4.2.3 최적 Rib-plate 개수

최적 Rib-plate 개수 판별은 상부의 하중을 최소의 물량으로 효과적으로 H.S.C에 전달할 수 있는 최적의 개수를 파악하기 위함이다.

<Fig. 09 (a), (b), (c)>의 Rib-plate의 개수에 따른 변수는 Rib-plate 0개, 6개, 8개가 있으며 4.2.1에서 판별된 최적의 내부 Ring 보강위치를 기본으로 갖는다. 또한 Rib-plate 개수별로 H.S.C 단면의 두께는 26mm~30mm로 변화시켜 가며 18개의 모델을 해석하였다. 이때 최대 응력과 최대 내력을 검토하여 최종 HAT Joint P-Type의 Prototype을 선정할 수 있다.



(a) 0 Rib-plate



(b) 6 Rib-plate



(c) 8 Rib-plates

<Fig. 09> Variables of Rib-plate

HAT Joint P-Type Prototype 선정을 위한 변수를 <Table 01>에 정리하였다.

<Table 01> Summary of P-Type variables

TH(mm)	Inner Ring for reinforcement	Model
30	#1-#10	10

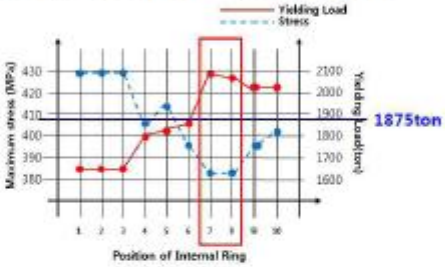
TH(mm)	Rib-plate			Model
25	0	6	8	18
26	0	6	8	
27	0	6	8	
28	0	6	8	
29	0	6	8	
30	0	6	8	

4.3 변수별 해석결과

4.3.1 최적 내부 Ring 보강 위치 판별

<Fig. 10>에 나타낸 HAT Joint P-Type의 최적 Ring 위치에 대한 결과는 H.S.C 두께 30mm, Rib-plate 0개를 기본으로 하여 해석하였다.

해석 결과 Ring 7번, 8번 위치에서 응력은 383MPa로 최소이며 내력은 2090ton으로 최대임을 알 수 있었다. 이 값은 기준치인 390MPa이하, 1875ton를 두 모델 모두 만족한다. 그러나 7번이 8번 위치에 비해 반구형의 상부에 위치하므로 Ring이 설치되는 총 길이가 줄어들게 되어 강재 사용량에 있어서 8번에 비해 보다 더 효율적임을 확인할 수 있었다. 최적의 H.S.C 내부 Ring 보강 위치는 7번 위치, 즉 높이 108mm부분이 적절하다.



<Fig. 10> Analytic result of optimized reinforcement position of inner ring

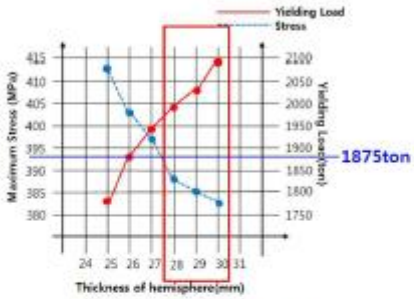
5.3.2 H.S.C 최적 두께 및 Rib-plate 개수 판별

내부 Ring 위치는 7번을 기본으로, Rib-plate 개수를 0, 6, 8개로 변화시키고 각각의 경우 두께를 25mm~30mm까지 늘려감에 따라 변화하는 응력과 최대 내력에 대하여 해석을 진행하였다.

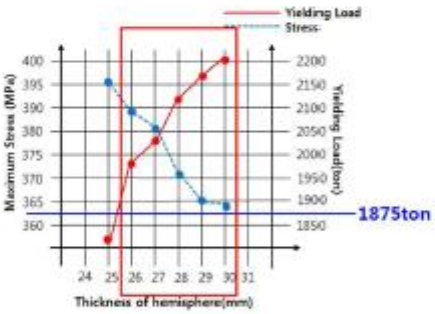
Rib-plate 개수를 0개로 하였을 때 해석 결과는 <Fig. 11>에 나타내었다. 두께가 가장 얇은 25mm인 모델과 가장 두꺼운 30mm 모델의 최대응력은 412MPa에서 383MPa까지 감소하고 최대 내력은 1770ton에서 2090ton까지 증가함을 확인할 수 있었다. 해석결과 최대응력이 390MPa 이하 이며 최대 내력 1875ton 이상인 모델은 두께 28mm~30mm의 모델임을 확인할 수 있었다.

Rib-plate 개수를 6개로 하였을 때 해석결과는 <Fig. 12>에 나타내었다. Rib-plate가 0개 일 때와 마찬가지로 두께가 증가함에 따라 응력은 감소하고 내력은 증가함을 확인할 수 있었다. Rib-plate가 6개일 때는 H.S.C 두께 26~30mm인 모델의 경우 기준치(응력 390MPa 이하, 하중 1875ton 이상)를 모두 만족하였다.

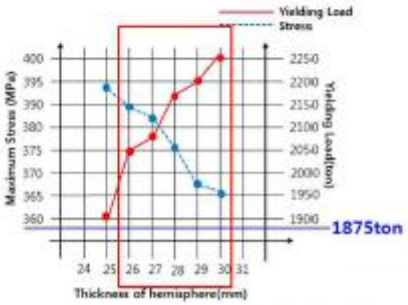
Rib-plate 개수를 8개로 하였을 때 해석 결과는 <Fig. 13>에 나타내었다. 해석 결과 Rib-plate가 6개일 때의 경우와 큰 차이가 없었으며 두께 26~30mm 모델에서 기준치를 만족함을 확인할 수 있었다.



<Fig. 11> Analytic result of Ring #7 (no Rib-plate)



<Fig. 12> Analytic result of Ring #7 (6 Rib-plates)



<Fig. 13> Analytic result of Ring #7 (8 Rib-plates)

최적 두께 및 Rib-plate의 개수 판별에 대한 해석 결과를 토대로 기준치를 만족시키는 모델은 Rib-plate의 개수에 따라 다양하게 존재했다. 따라서 최적의 Prototype을 도출하기 위해서 기준치를 만족하는 모델들의 중량에 대해서 검토하였고 그 결과를 <Table 02>에 나타내었다.

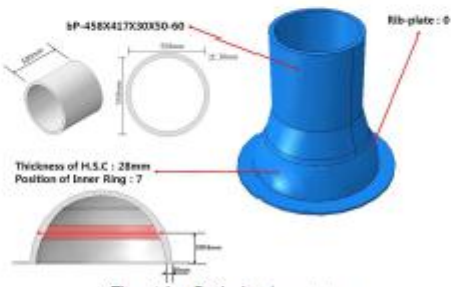
목표한 값을 만족하는 모델 중 가장 최적의 Prototype은 HAT-P_Ring7_ TH28_R0, 즉 아래에서 7번 위치(148.6mm)에 보강 Ring을 설치하고 두께 28mm, Rib-plate는 없을 때 가장 최적의 형상임을 확인 할 수 있었다. (<Fig. 14>)

<Table 02> Comparison of weight for each model

Model Name	Weight
HAT-P_Ring7_TH28_R0	323kg
HAT-P_Ring7_TH29_R0	331kg
HAT-P_Ring7_TH30_R0	340kg
HAT-P_Ring8_TH30_R0	348kg
HAT-P_Ring7_TH26_R6	343kg
HAT-P_Ring7_TH27_R6	350kg
HAT-P_Ring7_TH28_R6	358kg
HAT-P_Ring7_TH29_R6	366kg
HAT-P_Ring7_TH30_R6	374kg
HAT-P_Ring7_TH26_R8	364kg
HAT-P_Ring7_TH27_R8	371kg
HAT-P_Ring7_TH28_R8	379kg
HAT-P_Ring7_TH29_R8	387kg
HAT-P_Ring7_TH30_R8	396kg

※ Index of specimens

HAT-P : Hat Joint for steel pipe column
Ring7 : Inner Ring #7 for reinforcement
TH : Thickness
R : Number of Rib-plate



<Fig. 14> Optimized prototype of HAT Joint P-Type

6. 결론

본 연구에서는 PHC 파일과 강재 기둥과의 접합부에 대하여 Prototype을 제안하고, 유한요소 해석을 통해 접합부의 거동과 내력을 확인하여 제안된 Prototype의 최적화 형상과 그 타당성을 검증하였으며 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 기존 대공간 구조물에서 사용되는 직접기초를 기성 말뚝인 PHC 파일을 활용하여 말뚝 기초로 대체하기 위해 HAT Joint 시스템을 제안하였다.

2) 반구형의 HAT Joint는 PHC 파일 중공부에서의 휨 거동을 제어하여 기둥에서 전달되는 축력을 손실 없이 파일로 전달할 수 있으므로 기존의 PHC 파일과 강재기둥 접합부에 비해 효율적으로 PHC 파일을 활용할 수 있게 되었다.

3) PHC 파일과 원형 강관기둥을 연결하는 HAT Joint P-Type은 28개의 변수를 적용한 유한요소 해석 결과, 목표를 만족하는 총 14개의 모델 중 가장 경제적인 도출된 HAT-P_Ring7_TH28_R0 모델을 Prototype으로 선정하였다. 이 모델은 두께 28mm, 내부 Ring 7번 위치, Rib-plate 0개를 갖는 모델이다<Fig. 14>.

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 건설교통기술촉진 연구사업(14CTAP-C066889-02-000000)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

참고문헌

1. AIK, Korean Building Code 2009 - Steel, KBC 2009

2. Korean Industrial Standards, KS D 3515 : Rolled Steels For Welded Structure, KS, Seoul(2008)

131

3. Korean Industrial Standards, KS D 4106 : Steel casting for welded structure (2008)

4. Ickhyun Kim, Donguk Choi, Sungchul Chun, Deukwon Lee, Moonhee Yang(2004) Comparison of test results of anchors with design strength, Korea concrete institute journal of expert committee(2004) pp71-96

5. Yeunseung Lee, Jintak Oh, Youngsik Kim, Young-K Ju(2014) Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part I: Analysis Applied Mechanics and Materials Vol. 470 (2014) pp 958-961

6. Yeunseung Lee, Jintak Oh, Young-K Ju(2014) Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part II: Experiment Applied Mechanics and Materials Vol. 470 (2014) pp 960-963

7. Hyunggeun Kim, Soogeun Chai(2011) A case on design and construction of large-diameter PHC Pile, Architectural Institute of Korea, n12(2011) pp119-124

8. Sangbong Kim, Jintak Oh, Youngsik Kim, Sunghun Jang, Youngkyu Ju(2014) Cast Steel Joint between PHC Pile and Column, Korean Association for Spatial Structures, Vol.14 n4(2014) pp8-18

†32

(4) 2차년도 공간구조학회

ISSN 1598-4095 (Print)
ISSN 2287-7401 (Online)
http://dx.doi.org/10.9712/KASS.2013.13.4.041

Journal of the Korean Association for Spatial Structures
Vol. 13, No. 4 (통권 54호), pp.41~47, December, 2013

강재기둥과 PHC 파일을 연결하는 반구형 접합부(HAT Joint)의 유한요소 해석 PART II : 각형강관기둥

Analytical Study of HAT Joint between PHC Pile and Steel Tube Column

오 진 탁* 이 연 승** 김 상 봉*** 주 영 규****
Oh, Jin-Tak Lee, Yeun-Seung Kim, Sang-Bong Ju, Young-Kyu

Abstract

In Part I, we discussed of joint between PHC pile and steel column in foundation of large space structures, one prototype of a joint of PHC pile to steel pipe column was suggested on the basis of analytical studies. In this paper, I explain the Joint of PHC pile to steel tube column and more detail of analysis

Keywords : large space structure, PHC Pile, Steel box column

1. 서론

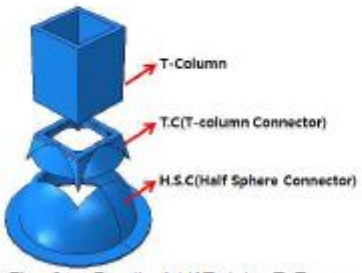
PART 1 "강재기둥과 PHC파일을 연결하는 반구형 접합부(HAT Joint)의 유한요소 해석 PART I : 원형강관기둥"에서는 대공간 구조물의 기초로 흔히 사용되는 직접 기초의 단점을 보완하기 위해 대구경 PHC 파일을 이용한 말뚝과 원형 강관 기둥 사이의 접합부를 제안하였다. 새롭게 제안된 접합부는 기둥에서 말뚝으로 전달되는 하중 전달 메카니즘이 기존에 제안된 방법보다 물량 및 시공성에 있어서 효율적임을 확인 할 수 있었다.

본 논문에서는 PHC 파일과 각형강관 기둥 접합부의 Prototype(HAT Joint T-Type)을 제안하기 위해 유한요소해석 프로그램을 통한 변수 해석을 진행하였다.

* 주저자, 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 박사과정
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Ph.D
** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 공학석사
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Master
*** 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 석사과정
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Master course
**** 교신저자, 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학과, 교수
Civil, Environmental & Architectural Engineering Korea University, Prof.
Tel: 02-3290-3748 Fax: 02-921-2439
E-mail: tallsite@korea.ac.kr

2. HAT Joint T-Type 시스템

PART 1에서 언급한 HAT Joint와 본 연구에서 제안될 HAT Joint T-Type(이하 T-Type)은 기본적으로 동일한 하중 메카니즘과 H.S.C(Half Sphere Connector) 형상을 가지고 있지만 <Fig. 01>에서 확인 할 수 있듯이 상부 기둥 형상의 차이로 인해 기둥과 H.S.C를 연결하는 T.C(T-column Connector)의 모양이 달라졌다. 또한 상부 각형강관의 내부와 겹치는 H.S.C 부분은 기둥의 비어 있는 부분에 해당되므로 하중이 전달되지 않은 것으로 판단하여 물량 절감을 위해 제거 하여 중공으로 계획하였다.



<Fig. 01> Detail of HAT Joint T-Type

3. 유한요소 해석 개요

3.1 변수 설정

PART 1에서 HAT Joint P-Type(이하 P-Type)의 Prototype을 제안하기 위해 진행한 것과 동일하게 변수를 설정하였다. 두께, 내부 보강 위치 및 Rib-plate 개수의 변수로 압축하중 시 HAT joint가 목표 응력과 내력을 만족하는지 유한요소해석을 통해 확인하였다. 총 25개의 모델에 대해 해석 검토하였으며 이를 <Table 01>에 나타내었다.

<Table 01> Summary of T-Type variables

TH(mm)	Inner Ring for reinforcement			Model
30	#1-#10			10
TH(mm)	Rib-plate			Model
25	0	-	-	15
26	0	-	-	
27	0	4	8	
28	0	4	8	
29	0	4	8	
30	0	4	8	
31	-	-	8	

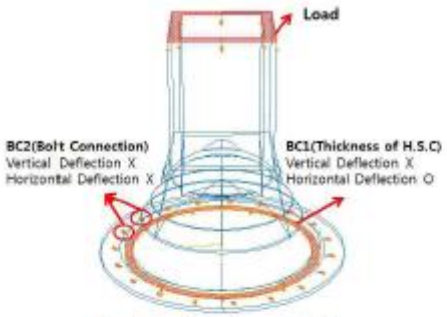
유한요소 해석프로그램 ABAQUS/CAE v.6.10을 사용하였고 실험에서 사용한 SCW550의 재료실험값을 이용하였다. 따라서 최적의 T-Type은 P-Type과 같이 1876ton 이상의 수직 하중을 항복하중으로 가지고 최대응력 390MPa을 넘지 않는 모델 중에서 물량을 고려하여 선정한다.

T-Type의 해석에 사용될 기둥은 앞선 연구에서 prototype이 결정된 H-Type(HAT Joint H-Type)의 H형강과 P-Type의 원형강관의 좌굴하중과 동일한 각형강관(bB-390X390X40X40)을 선택하였고 이를 기준으로 기둥과 반구형의 H.S.C를 연결하는 T.C를 디자인 하였다. T.C와 Rib-plate, 그리고 H.S.C의 각각이 결합되는 경계면에서 예각으로 인한 하중이 집중되지 않도록 20~60mm의 곡면으로 처리하였고 이는 추가 공정 없이 실제 T-Type의 제작 시 용접으로 처리할 수 있다.

3.2 Boundary condition

<Fig. 02>에서 살펴볼 수 있듯이 HAT Joint가 PHC 파일과 맞닿아 접합되는 부분을 살펴보면 H.S.C의 상부 반구형을 따라 하중이 전달되는 부분과 볼트로 접합 할 수 있는 부분으로 제안되어 있다. 따라서 기둥에서 전달된 하중을 PHC 파일로 다시 전달하는 부분과 볼트 접합 부분의 경계조건을 실제 구조물의 거동과 동일한 조건을 갖도록 설정해야 한다.

HAT Joint의 실제 거동과 가장 유사하도록 설정하기 위해 H.S.C 단면두께부분의 수직변위는 구속하고 수평변위는 허용하였는데 이것은 상부의 압축력에 의해 PHC 파일과 완전하게 접합하는 면적에 대해서 수직변위는 없을 것이고 이때 슬립에 의한 수평변위는 발생할 수 있을 것으로 판단하였기 때문이다.



<Fig. 02> Boundary Condition

볼트 접합부위의 지점 조건은 수직, 수평 변위를 모두 구속하였는데 이는 반구형의 HAT Joint 형상으로 인해 반구 면을 타고 전달되는 수직 하중뿐만 아니라 압축력을 받는 돔의 하단부와 같이 인장이 발생하는 것을 볼트의 전단력으로 저항해야 하기 때문이다.

3.3 Element type

Mesh는 사면체 모양인 Tet형을 사용하였다. Tet형 Mesh는 직육면체인 Hex형에 비해 해석시간은

늘어나고, Mesh 오류 확률은 높지만, 형태가 복잡한 비정형 모델의 Mesh를 구분하는데 용이하다는 장점을 갖고 있다.

HAT Joint는 기본 형상이 반구형이고 H.S.C와 T.C의 접합부분 및 Rib-plate가 접합되는 부분에서 응력이 집중되는 것을 막기 위해 필수적으로 곡면 가공이 필요하여 직육면체인 Hex형 Mesh 보다 Tet형 Mesh이 적당할 것으로 판단하였다. Mesh 오류를 최대한 줄여서 해석의 정확도를 상승시키기 위해 Mesh 크기에 따른 오류율을 검토하였다.

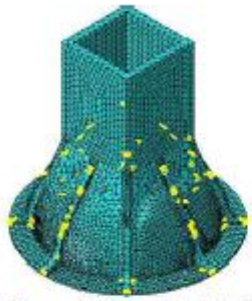
H.S.C 두께인 30mm, 반구를 감싸는 Ring 플레이트의 두께 인 16mm, 그 절반인 8mm를 Mesh 크기로 적용시켜 보았을 때 각각의 오류율은 각각 1.3%, 0.261%, 0.211%로 30mm에 비해 16mm와 8mm의 경우가 해석의 신뢰도가 높음을 알 수 있고 16mm와 8mm의 mesh 오류율이 0.05%p의 차이로 미소할 뿐 아니라 8mm의 mesh로 해석할 경우 10배 이상의 시간이 소요되어 신뢰성과 해석의 편의를 고려하여 16mm 단위로 mesh를 구성하였다 (<Fig. 03 (a), (b), (c)>).

3.4 하중 가력 방식

해석은 하중제어 방식과 변위제어 방식으로 두 번에 걸쳐 진행되었다. 하중제어 방식은 구조물에 1875ton의 하중을 인가하여 응력이 집중되는 취약한 부분을 찾아내고 보완하여 취약 부분의 최대응력이 390MPa을 넘지 않도록 하기 위함이고, 변위제어 방식은 구조물의 최대 변위를 20mm까지 증가시키며 변위-하중 그래프를 통해 구조물의 항복내력이 1875ton이상임을 확인하기 위하여 수행되었다.

4. T-Type 변수별 해석 결과

T-Type의 변수별 해석은 최적의 내부 Ring 위치를 파악하고 최적의 내부 Ring이 설치되었을 때 H.S.C 두께 및 Rib-plate 개수에 대해서 검토하였다.



(a) Errors of 30mm Mesh(1.3%)



(b) Errors of 16mm Mesh(0.261%)

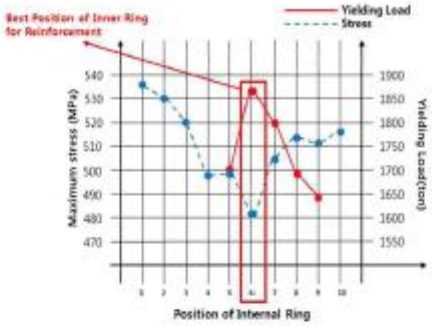


(c) Errors of 8mm Mesh(0.211%)
<Fig. 03>Errors of each Mesh size

4.1 최적 내부 Ring 위치 판별

<Fig. 04>의 T-Type의 최적 Ring 위치에 대한 결과를 살펴보면 Ring 위치 6번에서 응력 536MPa로 최소이면서 내력은 1860ton으로 최대임을 알 수 있다. 이는 Ring 보강 위치가 6번에서 최적임을 판별할 수 있는 근거가 된다.

1~4번의 Ring은 <Fig. 01>에 나타낸 것과 같이 H.S.C가 중공 되는 부분과 Ring 보강 위치가 겹치는 부분이기 때문에 별도의 추가적인 해석을 수행하지 않았다.

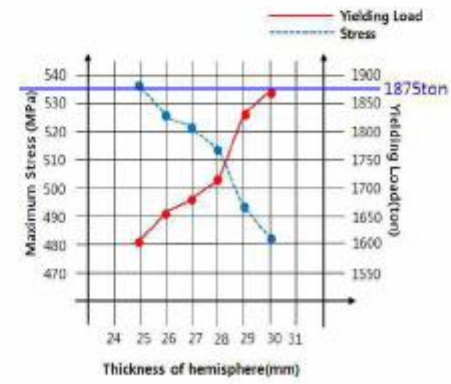


<Fig. 04> Analytic result of optimized reinforcement position of inner ring

4.2 H.S.C 두께 및 Rib-plate플레이트 최적화

Ring의 위치는 6번을 기본으로 하며, Rib-plate의 개수를 0, 4, 8개로 변화시키고 각각의 경우 두께를 25mm~30mm까지 늘려감에 따라 변화하는 응력과 최대내력을 살펴보았다.

Ring의 위치를 6번으로 하고 Rib-plate가 없는 경우에 대한 해석결과를 <Fig. 05>에 나타내었다. 두께가 25mm인 모델의 최대응력은 537MPa, 30mm인 모델의 최대응력은 482MPa로 점차 감소함을 확인할 수 있고 최대내력은 1600ton에서 1870ton까지 증가되는 것을 확인할 수 있다.

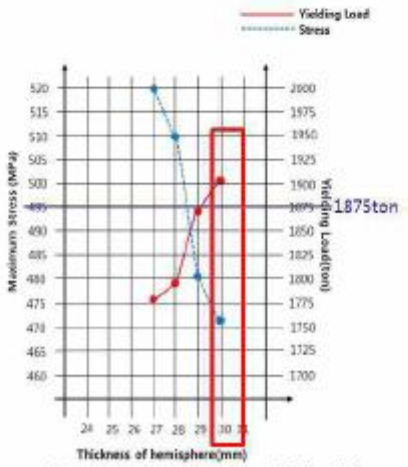


<Fig. 05> Analytic result of Ring #6 (no Rib-plate)

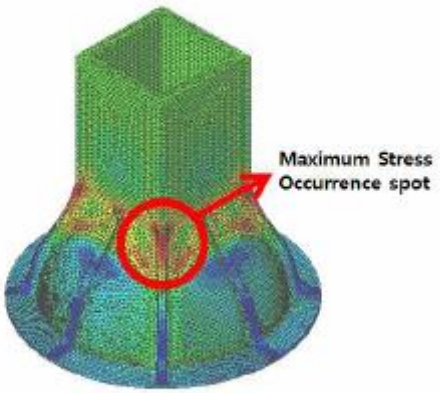
Ring 위치 6번과 Rib-plate의 개수가 0개인 변수조건에서 모든 모델은 최대응력이 390MPa를 초과하고 내력 역시 1875ton에 미치지 못하는 결과를 보이고 이를 통해 원형 강관에 대응하는 P-Type와 달리 Rib-plate의 필요성을 확인할 수 있다. 이것은 기둥 형상에 있어서 원형 강관에 없는 모서리 때문에 이 부분에서 응력이 집중되기 때문으로 판단된다.

Ring의 위치를 6번으로 하고 Rib-plate가 4개인 경우에 대한 해석결과는 H.S.C단면의 두께를 27mm ~ 30mm까지 변수로 두어 해석하였다. Rib-plate 개수가 0인 변수조건의 해석결과를 바탕으로 두께가 얇아질 경우 응력은 증가하고 내력은 감소함을 확인할 수 있으므로 27mm이하의 두께를 갖는 모델은 최적두께와 최적 Rib-plate개수에 판별에 영향을 끼치지 못한다고 판단하여 해석을 진행하지 않았다.

<Fig. 06>에서 Ring 위치 6번, Rib-plate 4개의 모델은 두께 30mm일 경우 최대내력이 1876ton 이상이지만 최대응력이 472MPa로 390MPa를 초과하였다. 최대 응력이 발생하는 부분은 <Fig. 07>에서 볼 수 있듯이 각형의 기둥의 모서리와 T-Type가 만나는 부분으로 내력은 충분하지만 모서리에 집중되는 과다한 응력이 해결되지 않았음을 확인할 수 있다.

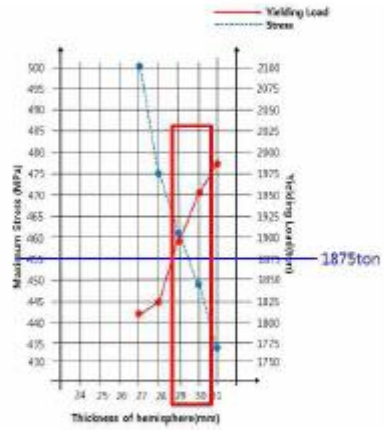


<Fig. 06> Analytic result of Ring #6 (4 Rib-plate)



<Fig. 07> Maximum stress of T-Type

<Fig. 08>은 Ring의 위치를 6번으로 하고 Rib-plate가 8개인 경우에 대한 해석결과이다. Rib-plate가 4개인 경우와 다르게 H.S.C 단면의 두께를 27mm~31mm까지 해석하였다. 추가적인 두께 31mm 변수는 Ring 위치 6번, Rib-plate 8개, H.S.C 단면의 두께 30mm의 결과가 최대 내력은 1875ton을 이상의 내력을 나타내지만 최대응력에 있어서 390MPa를 초과하였기 때문에 두께를 더욱 증가 시켰을 때의 결과를 비교해 보기 위해서였지만 역시 390MPa를 초과하였다.



<Fig. 08> Analytic result of Ring #6
(8 Rib-plate)

결과를 토대로 판단하면 Ring 위치 6번, Rib-plate 8개, H.S.C 단면의 두께 31mm의 경우도 Prototype에 적합하지 않으므로 Ring의 최적위치를 조금 더 정확하게 판별하고 응력집중이 과도한 부분의 곡률을 수정한 모델이 필요한 것으로 판단된다.

4.3 T-Type 추가해석

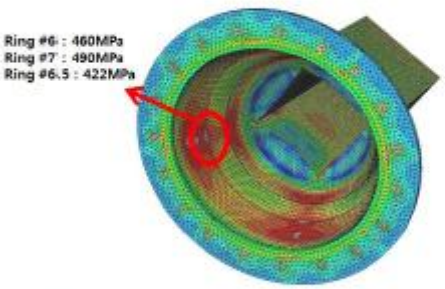
다양한 변수를 통하여 T-Type에 대한 Prototype을 제안하려 하였으나 PHC 파일 및 강관을 기준으로 한 필요 하중과 최대응력 조건을 완벽히 만족하는 모델을 판별하는데 어려움이 있었다.

기존의 해석결과를 토대로 추가적인 해석을 통하여 T-Type에 대한 Prototype을 제안하고자 한다.

4.3.1 최적 Ring 위치 재판별

추가적인 해석을 통하여 보다 정확한 Ring 보강 위치를 판별하기 위하여 6번과 7번 사이로 Ring 위치를 변경하여 추가적인 해석을 수행하였다. 그 결과는 <Fig. 09>에 나타내었다.

해석결과 Ring 6번과 Ring 7번 보다 38MPa ~68MPa낮은 422MPa의 응력이 발생함을 확인할 수 있었고 이는 Ring 보강 최적의 위치는 6.5번으로 재설정 하였다.

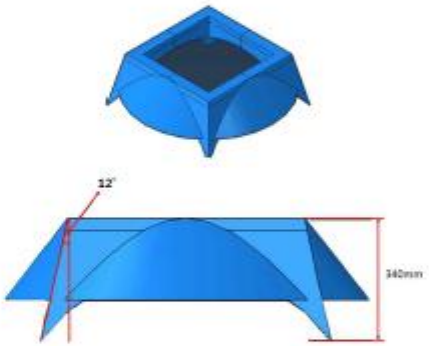


<Fig. 09> Analytic result of Ring #6.5

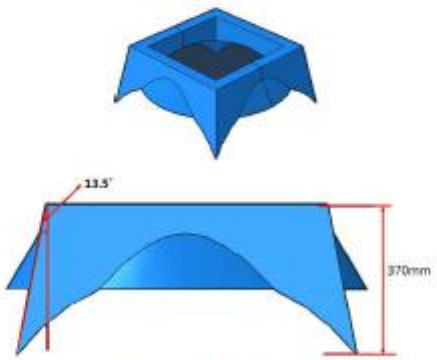
4.3.2 T.C 형상 변경

최적화 된 Prototype을 제안하기 위해서는 H.S.C 내부의 Ring 위치 선정과 두께 등의 변수해석도 중요하지만 이전의 해석 결과에서 알 수 있듯이 응력이 가장 집중되는 각형강관 기둥과 T.C의 접합되는 부분의 수정이 우선되어야 한다.

<Fig. 10 (a), (b)>는 변경 전 T.C와 변경 후의 T.C를 나타내었다. 기둥에서 전달된 하중이 집중되는 것을 막기 위해 T.C가 이루는 각도를 기존 12 °에서 13.5 °로 1.5 ° 증가 시켰으며 각도의 변경으로 T.C의 전체 높이는 약 30mm 증가되었다.



(a) Shape of T.C before change



(b) Shape of T.C after change

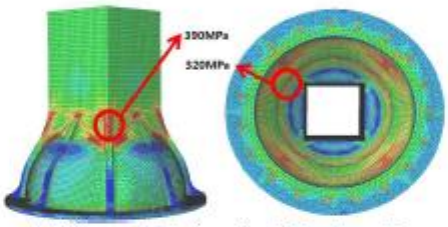
<Fig. 10> Shape of T.C

4.3.3 T-Type 추가 해석 결과

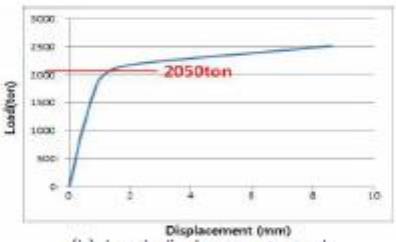
Rib-plate의 형상과, T.C의 형상을 변화 시켜 해석한 결과를 <Fig. 11>에 나타내었다. <Fig. 11(a)>는 최대 응력을 나타내고 있으며 <Fig. 11(b)> 는 하중-변위 그래프를 나타내고 있다.

최대 응력은 각형강관의 기둥 모서리와 T.C가 만나는 부분에서 390MPa로, 최대내력은 2050ton으로 측정되었다. 따라서 기준치인 최대응력 390MPa와 최대내력 1876ton을 만족시키는 모델임을 확인할 수 있다.

T-Type의 형상 상세는 <Fig. 12>에 나타내었다.

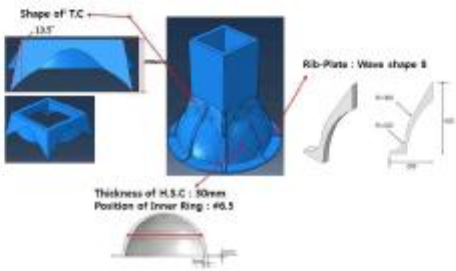


(a) Stress distribution of additional analysis



(b) Load-displacement graph of additional analysis

<Fig. 11> Additional result of T-Type



<Fig. 12> Optimized prototype of T-Type

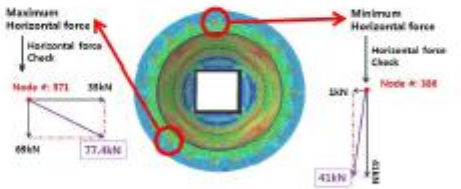
또한 변수별 해석 결과를 <Table 02>에 정리하였다.

<Table 02> Analytic Result of T-Type

Thickness(mm)		Best position of Inner Ring		
30		#6.5		
TH	Rib	Strength	Stress	Result
25	0	1670	500	N.G
26	0	1705	480	N.G
27	0	1725	460	N.G
	4	1830	453	N.G
	8	1860	438	N.G
28	0	1770	455	N.G
	4	1840	443	N.G
	8	1875	418	N.G
29	0	1830	443	N.G
	4	1920	422	N.G
	8	1955	405	N.G
30	0	1915	435	N.G
	4	1970	415	N.G
	8	2050	390	O.K
31	8	2170	375	O.K
Purpose for Strength : 1875ton↑				
Purpose for Stress : 390MPa↓				

4.4 T-Type 볼트 접합 검토

상부 하중에 의해 발생하는 볼트의 파괴를 검토하면, 최대 수평력은 <Fig. 13>에 나타낸 것처럼 77kN이 발생한다. 이는 접합시 사용하게 될 고력볼트 F10T M24의 설계 전단 강도 170kN보다 약 100kN 이상 작은 값이다. 따라서 상부하중에 의한 볼트 파괴는 발생하지 않을 것으로 판단한다.



<Fig. 13> FEM analytic of lateral force at bolt

고력볼트 F10T M24의 전단 강도는 <식 01>을 통해 아래와 같이 산정하였다.

$$\phi R_n = \phi n_b F_{nv} A_b$$
$$= 0.75 \times 1 \times 500 N/mm^2 \times 453 mm^2$$
$$= 169875 N = 170 kN$$

<식 01> F10T M24 볼트의 전단 강도

5. 결론

본 연구에서는 유한요소 해석을 통해 PHC 파일과 각형강관 기둥과의 접합부에 대하여 최적화 된 Prototype을 제안하고 접합부의 거동과 내력을 확인하여 제안된 Prototype의 타당성을 검증하였다. 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 모델별 내부 Ring 위치, Rib-plate 개수, H.S.C 두께 변화의 변수들이 HAT Joint T-Type의 내력과 응력 집중에 밀접한 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다. 특히 내부 Ring 위치와 Rib-plate 개수는 특정 부위의 응력 집중을 해소하는데 큰 효과가 있다.

2) 유한요소 해석 결과 도출된 Prototype은 HAT-T_Ring6.5_TH30_R8 모델이며 이 모델은 내부 Ring 6.5번 위치, 두께 30mm, Rib-plate 8개를 갖는 모델이다.

3) 유한요소 해석을 통해 볼트의 전단파괴에 대하여 검토하였고 그 결과 상부하중에 의한 볼트의 파괴는 발생하지 않는 것으로 판단하였다. 또한 이를 통해 상부 기둥의 압축력이 무리 없이 하부 파일로 전달 될 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 건설교통기술촉진 연구사업(14CTAP-C066889-02-000000)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

139

참고문헌

1. AIK, Korean Building Code 2009 - Steel, KBC 2009

2. Korean Industrial Standards, KS D 3515 : Rolled Steels For Welded Structure, KS, Seoul(2008)

3. Korean Industrial Standards, KS D 4106 : Steel casting for welded structure (2008)

4. M. P. Petrenko(1976) Special characteristics of the vibrations and the loss of stability if a compressed round plate on and elastic base, Kiev Polytechnic Institute. Vol 14 , p. 107-129

5. Jae Hyun Park, Chan Ho Yoo, Yoon Sup Shin, Ui Seong Hwang, Jin Young Lee, Moonkyung Chung(2010) Lateral Behavior of Large Size Non-Welded Steel-PHC Composite Pile under Lateral Load, Korean Society of Civil Engineers 36th conference

6. Yeunseung Lee, Jintak Oh, Youngsik Kim, Young-K Ju(2014) Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part I: Analysis Applied Mechanics and Materials Vol. 470 (2014) pp 958-961

7. Yeunseung Lee, Jintak Oh, Young-K Ju (2014) Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column. Part II: Experiment Applied Mechanics and Materials Vol. 470 (2014) pp 960-963

8. Sangbong Kim, Jintak Oh, Youngsik Kim, Sunghun Jang, Youngkyu Ju(2014) Cast Steel Joint between PHC Pile and Column, Korean Association for Spatial Structures, Vol.14 n4(2014) pp8-18

SAFE댐퍼 보강골조의 구조성능 실험적 평가

Structural Performance of RC Frame with SAFE Damper

소 병 찬* 이 창 환** 주 영 규***
So, Byeong-Chan Lee, Chang-Hwan Ju, Young-Kyu

Abstract

SAFE damper is a hybrid damper which is comprised of a friction damper and a metallic damper. These two dampers combine to resist external energy in stages. Under minor earthquake loads, the friction damper operates alone. However, the friction damper and metallic damper dissipate the energy together when a severe earthquake occurs. In comparison with other methods for seismic retrofitting, the SAFE damper has many advantages. The SAFE damper doesn't cause damage to façade of the building, and the construction period can be reduced when retrofitting. This paper describes experiments evaluating the structural performance of the SAFE damper. From the results, it was found that the structural performance of a conventional RC bare frame can be significantly improved by the installation of the SAFE damper.

Keywords : SAFE damper, Hybrid damper, Friction damper, Metallic damper, RC frame

1. 서론

최근 동아시아 지역에서는 2011년의 동일본 대지진(규모 9.0)과 2018년 중국의 쓰촨성 대지진(규모 7.0)등 대규모 지진이 연속적으로 발생하여 막대한 인명 및 재산피해가 유발되었다. 우리나라 또한 지진발생 빈도수의 지속적 증가로, 지진에 대한 경각심이 높아지고 있다.

또한 최근 세월호 침몰사고와 경주 마우나리조트 강당 붕괴사고 등으로 학생들의 인명피해가 커지면서 정부에서 학교건물을 대상으로 안전진단을 실시하였고, 비내진설계된 약 86%의 학교건물을 대상으로 대대적인 보강계획을 발표하였다.[1)]

학교시설 내진보강에 대표적으로 활용되는 방법으로는 철골 브레이스 증설[2)], 토글댐퍼[3)] 설치 등이 있으며, 최근에는 BRB 공법[4)]도 활용되고 있다. 철골 브레이스 증설, 토글댐퍼, BRB 공법은 기존골조의 강도 및 강성 향상, 에너지 소산능력의 증대로 내진성능은 향상되지만, 건물의 외관을 손상시킬 수 있다. 또한 지진에너지에 의해 구조체가 손상될 경우 시스템의 전면적 교체가 필요하고, 순수콘크리트 골조에 적용하기 위해서는 별도의 프레임을 제작해야 한다. 따라서 건물의 외관을 손상하지 않고 손상수준에 따라 부분적 교체가 가능하며 개별적 프레임 설치가 요구되지 않는 보강 기술이 필요하다.

본 연구에서는 기존 선행연구를 통해 개발된 자동차 브레이크 패드기술을 이용한 마찰댐퍼와 변단면 스트립을 갖는 강재댐퍼를 결합한 하이브리드형 댐퍼인 SAFE(Sustainable, Aseismic, Flexible, and Eco-friendly)댐퍼를 실제 비내진설계된 학교건물의 상세를 가진 순수콘크리트골조(RC)에 적용하여 실험을 수행하였다. 이를 통해 향상된 내진성능을 확인하고, 에너지 수준에 따른 댐퍼의 단계적 거동,

* 주저자, 학생회원, 고려대학교 석사과정
Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University
** 정회원, ㈜동양구조안전기술 팀장
Dongyang Structural Engineers Group Co., Ltd.
*** 교신저자, 정회원, 고려대학교 건축사회환경공학부 교수, 공학박사
Department of Civil, Environmental and Architectural Engineering, Korea University
Tel: 02-3290-3327 Fax: 02-928-7656
E-mail : tallsite@korea.ac.kr

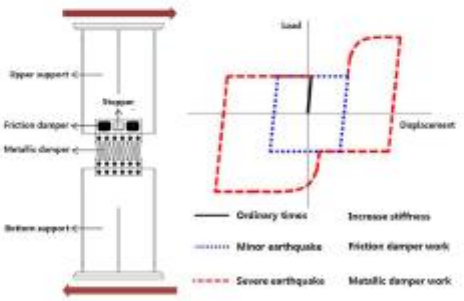
손상수준에 따른 댐퍼부의 부분적 교체의 가능성을 확인한다.

2. SAFE댐퍼

2.1 SAFE댐퍼의 구성 및 효과

<Fig. 1>에서 나타난 SAFE댐퍼는 마찰댐퍼와 강재댐퍼로 구성되어 있다. 변위의존형 댐퍼인 마찰댐퍼와 강재댐퍼는 속도 및 온도와 같은 환경요인에 대해 안정적인 성능을 보인다.

기존 비내진설계된 교육시설의 내진성능을 향상시키기 위하여 SAFE댐퍼는 입력되는 지진하중의 크기에 따라 단계적으로 작동할 수 있게 설계되었다. 상시풍하중에 대해서는 구조체의 강성이 증대되고, 마찰댐퍼의 거동범위인 ±20mm 내에서의 중약진에서는 마찰댐퍼가 이력거동을 하게 된다. 강진에는 상부지지재에 설계된 스토퍼에 의해 마찰댐퍼의 이동이 제한되고, 강재댐퍼의 소성변형능력으로 입력되는 지진에너지를 효과적으로 흡수할 수 있다. SAFE댐퍼의 단계적 이력거동은 <Fig. 1>에 표현되어 있다.



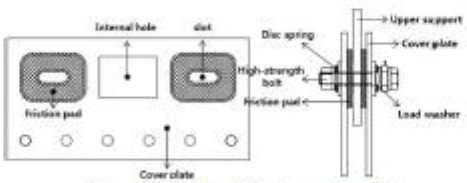
<Fig. 1> Composition and behaviour of SAFE damper

마찰댐퍼와 강재댐퍼로 이루어진 SAFE댐퍼는 지진에너지의 수준에 따라 효율적으로 에너지를 소산하게 되고, 지진 후에는 손상수준에 따른 부분적인 교체가 가능하다.

SAFE댐퍼를 적용한 보강은 기존의 대표적인 교육시설 보강공법인 철골브레이스 공법 및 토글댐퍼 공법에 비해 기존 구조체의 손상이 감소될 수 있으며, 벽체형 댐퍼로 건물의 외관손상이 없는 특징이 있다. 한편 별도의 프레임 설치 없이 빠른 시공이 가능하기 때문에, 방학기간과 같은 제약적인 시공기간을 갖는 교육시설에 대하여 적합한 보강공법이 될 수 있다.

2.2 마찰댐퍼

SAFE댐퍼에서 마찰댐퍼는 기존의 마찰댐퍼와는 다르게 강재를 적용하지 않고, 안정적인 마찰력을 확보하고 높은 마찰성능을 발현시키기 위해 자동차 브레이크 패드 기술을 이용하여 새롭게 개발된 건물용 마찰패드를 사용하였다. 마찰댐퍼부의 커버플레이트와 체결상세는 <Fig. 2>에 나타내었다. 마찰운동은 상부지지재와 마찰패드 사이에서 발생한다. 커버플레이트의 사각형 형태의 홈은 마찰댐퍼의 거동범위를 ±20mm로 제한하고, 슬롯홈은 거동범위 내에서 마찰댐퍼가 마찰력을 발현할 수 있게 한다. 선행연구를 통해 가장 우수한 마찰력을 나타낸 확장와셔 한 개와 디스크스프링 한 개로 구성된 형태를 체결상세로 결정하였다.[5]

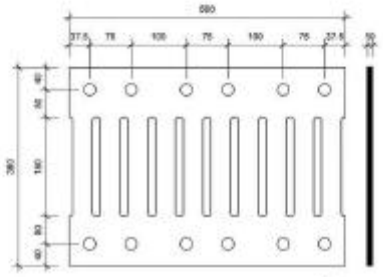


<Fig. 2> Detail of friction damper[5]

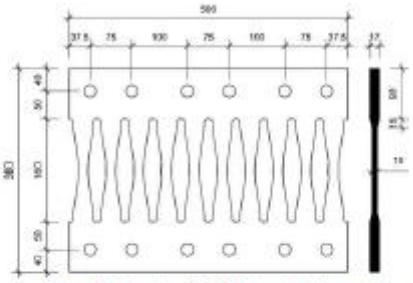
2.3 강재댐퍼

SAFE댐퍼에서 강재댐퍼는 면내저항형 강재댐퍼로, 스트립 형상을 갖는 댐퍼가 적용된다. 기존에 연구되어 왔던 면내저항형 스트립댐퍼 중 슬릿댐퍼는 하중에 저항하는 스트립들이 높이에 걸쳐 동일한 폭과 두께가 적용된다.[8] 슬릿댐퍼의 하중에 대한 응력분포는 스트립의 단부에 응력이 집중되며, 스트립의 중앙부는 낮은 응력을 나타낸다. 따라서 강재의 물량을 절감하며, 스트립의 전단면에 걸쳐 응력이 고르게 분포되는 변단면을 갖는 스트립형상의

강재댐퍼를 선행연구에서 제시하였고, 제시된 변단면 스트립댐퍼를 SAFE댐퍼의 강재댐퍼로 설계하였다. 슬릿댐퍼와 변단면 스트립댐퍼의 형상은 각각 <Fig. 3>와 <Fig. 4>에 제시되어 있다. 슬릿댐퍼와 변단면 스트립댐퍼는 전체적으로 동일한 조건을 적용하였으나, 변단면 스트립댐퍼의 경우 면외강성을 증진시킴으로써, 보다 우수한 에너지 흡수능력을 확보하기 위해 단부를 보강하였다. 단부 보강에도 불구하고, 변단면 스트립댐퍼의 전체체적은 슬릿댐퍼의 약 81%정도로 나타나는 것을 <Table 1>에서 확인할 수 있다.[7]



<Fig. 3> Detail of slit damper[7]



<Fig. 4> Detail of SAFE steel damper[7]

선행 연구에서는 <Fig. 3>과 <Fig. 4>에 제시된 슬릿댐퍼와 변단면 스트립댐퍼에 대해 단조가력과 반복가력 실험을 수행하였다. 단조가력과 반복가력 실험 결과, 스트립댐퍼의 체적당 에너지 소산능력은 슬릿댐퍼 대비 각각 1.48배, 1.28배로 나타났으며, 상세한 결과는 <Table 1>에 정리되어 있다.[7]

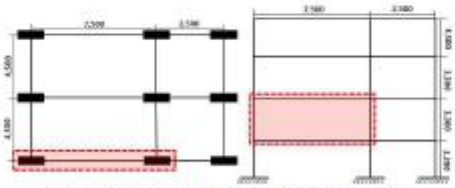
<Table 1> Test result of slit damper and SAFE steel damper[7]

Classification		Volume (㎥)	Energy dissipation (kN·mm)	Comparison (%)
Monotonic	Slit damper	650,146	13,680	-
	Strip damper	627,313	15,744	+43
Cyclic	Slit damper	650,146	86,882	-
	Strip damper	627,313	88,948	+28

3. SAFE댐퍼 보강골조 실험계획

3.1 실험개요 및 실험체 상세

SAFE댐퍼의 실제 구조물 적용에 앞서, 최종적인 성능을 검증하기 위해 건설부에서 공고한 제 130호 학교교사 표준설계도서[8]를 참고하였다. 이 중 비내진 설계된 기존 학교건물 1개를 선정하여 프로토타입 모델로 결정하였고, 이는 <Fig. 5>에서 확인할 수 있다. <Fig. 5>에 표시된 2층 부분이 실험에서 사용되는 골조체이며, 본래 7.6m의 경간은 실험동의 공간적 제약으로 4.6m로 수정하여 계획하였다. 또한 실제 SAFE댐퍼는 상하부 보에 연결되지만, <Fig. 8>와 같이 반복하중을 받는 실험체를 반력상에 고정시키기 위해 하부 보를 기초의 형태로 제작하였다. 기초단면은 1,000mm의 폭, 760mm 높이로 계획하였으며, 상부 보와 동등한 휨강도를 갖도록 주철근의 배근량을 조절하였다. 실험체는 단층 1경간 실축크기로 제작하였다.

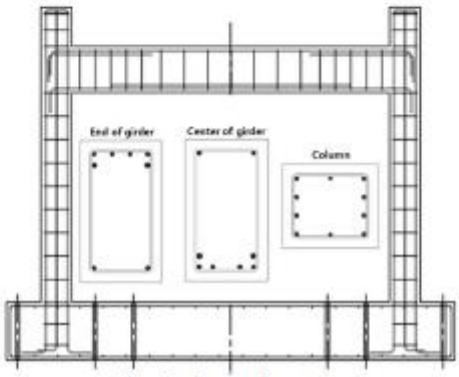


<Fig. 5> Plan and elevation of Prototype

순수콘크리트골조와 SAFE댐퍼 보강골조에 대해

2개의 실험체를 제작하였고, 순수콘크리트골조와 SAFE댐퍼 보강골조의 공통으로 적용되는 RC골조는 <Fig. 6>과 <Table 2>에서 확인할 수 있다.

SAFE댐퍼 보강골조에서 마찰댐퍼와 변단면 스트립댐퍼로 구성된 하이브리드형 SAFE댐퍼는 상부 및 하부지지재와의 연결을 통해 구조체의 정중앙에 보강된다. <Fig. 7>은 SAFE댐퍼로 보강된 골조의 모습을 보여준다.



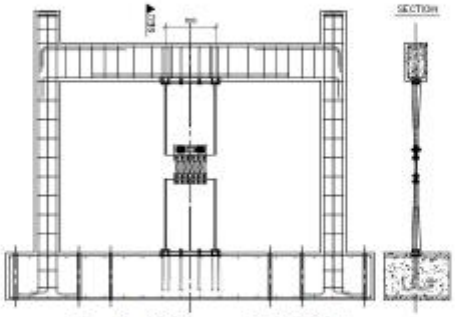
<Fig. 6> Detail of prototype

<Table 2> Detail of RC frame

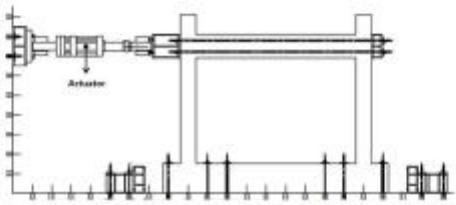
Cross section			RC frame
Column	Dimension(mm)		400×350
	Main bar		8-D19
	Stirrup		D10@300
Girder (Center)	Dimension(mm)		350×600
	Main bar	Top	2-D19
		Bottom	4-D19, 2-D22
	Stirrup		D10@300
Girder (End)	Dimension(mm)		350×600
	Main bar	Top	4-D19, 2-D22
		Bottom	2-D19
	Stirrup		D10@200

3.2 실험체 세팅 및 가력계획

실험은 준정적 가력으로 진행하였다. 액추에이터의 용량은 2,000kN이며, 가용 변위는 ±250mm이다. 이는 실험체의 높이 3m의 8.3%에 해당하는 값이며, 실험체의 예상되는 최대변형을 충분히 초과한다. <Fig. 8>은 세팅 입면도를 나타내며, <Fig. 9>는 실제 실험체 세팅 전경을 보여준다.



<Fig. 7> RC frame with SAFE damper



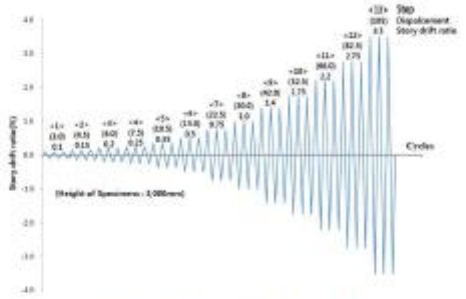
<Fig. 8> Test set-up



<Fig. 9> Complete view of test set-up

<Fig. 8>과 같이 실험체의 기둥과 연결된 2,000kN 용량의 액추에이터를 이용하여 변위제어 방식으로 가력을 진행하였으며, 지진하중과 같이 반복되는 하중에 대해 누적되는 손상을 효과적으로 모사하기 위하여 양방향으로 가력하였다. ACI 374.1-05.[8]를 참조하여 <Fig. 10>과 같이 점진적으로 증가하는 진폭을 갖는 가력프로그램을 적용하였

고, 각 단계별 진폭에 대해서는 3회씩 반복을 수행하였다.



<Fig. 10> Loading protocol

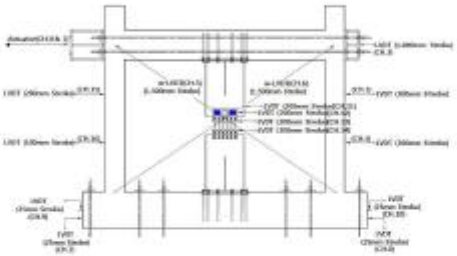
3.3 측정계획

전체 골조의 변위는 액추에이터에 내장된 변위측정장치(CH.1)와 액추에이터 반대편의 기둥에 설치된 줄변위계(CH.2)의 평균값으로 산정하였다. 수평하중은 액추에이터와 연결된 로드셀(CH.0)에 의해 측정되고, CH.5와 CH.6은 골조의 대각변형을 측정한다. CH.7, CH.8, CH.9, CH.10은 기초의 변형이 허용범위 내에 있는지를 판단하기 위해 설치한 것이다.

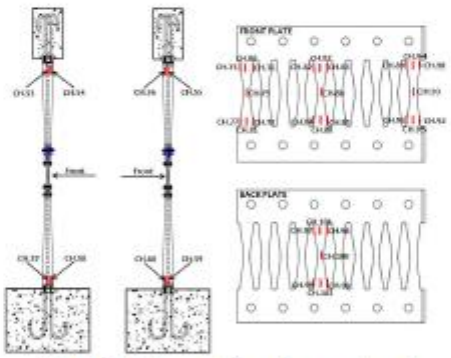
SAFE댐퍼의 구성요소별 수평변위는 별도의 변위계를 이용하여 측정하였다. 마찰댐퍼의 상대변위는 상부지지재에 설치된 CH.11과 마찰댐퍼부에 설치된 CH.12에서 측정된 값의 차이로 산정되고, 변단면 스트림댐퍼의 상대변위는 변단면 스트림댐퍼의 상단에 설치된 CH.13과 하부에 설치된 CH.14의 측정값 차이로 산정된다. 또한 상부지지재의 상대변위는 골조전체의 수평변위와 CH.11의 차이값에 의해 산정되며, 하부지지재의 상대변위는 기초에서의 변위가 미미함을 고려하여 CH.14에서 얻어지는 변위값을 이용하였다. 전체적인 변위측정 계획은 <Fig. 11>에 제시되어 있다.

콘크리트골조 내에서 철근의 하중저항 특성을 확인하기 위해 기둥주근(상부 및 하부)에 다수의 스트레인게이지를 콘크리트 타설 전에 부착하였다.

SAFE댐퍼의 상하부지지재가 탄성범위 내에 존재하는지 확인하기 위하여 상하부지지재에 스트레인게이지를 설치하였으며, SAFE댐퍼의 단계적 거동확인과 변단면 스트림댐퍼의 전후 플레이트의 일체거동 확인을 위하여 변단면 스트림댐퍼에도 스트레인게이지를 부착하였다. 상세한 설치 위치는 <Fig. 12>에 나타난다.



<Fig. 11> Instrumentation



<Fig. 12> Instrumentation of supports and SAFE steel damper

4. 실험결과 및 분석

4.1 재료실험 결과

실험체를 구성하는 콘크리트 골조는 설계기준압축강도(f_{ck})가 21MPa인 콘크리트를 사용하였다. 상부 기둥 및 보의 콘크리트는 실제 압축강도가 실험결과에 중요한 영향을 미칠 수 있기 때문에 KS F 2403[10]에 따라 공시체를 제작하였다. KS F 2406[11]에 따른 압축강도 시험을 수행하였고, 시험결과 설계기준압축강도를 만족하였다.

콘크리트골조의 제작에는 설계기준항복강도(f_y)가 400MPa인 총 5종의 SD400 철근이 사용되었고, 스트립댐퍼의 제작에는 총 3종류의 강판이 사용되었다. 5종류의 철근은 각각 D10, D16, D19, D22, D25이며, 강판은 댐퍼 상하부지지재에 사용되는 웨브(14mm, SM 490) 및 플랜지(20mm, SM490)와 변단면 스트립댐퍼 제작에 사용된 강판(19mm, SS400)으로 구분된다.

사용된 철근과 강판에 대하여 인장시험을 수행하기 위해, 각각 3개씩의 인장시험편을 KS B 0801[12]에 따라 제작하여 KS B 0802[13]에 따라 시험을 진행하였다. 3개씩 제작된 철근과 강판의 인장시험 결과의 평균값을 <Table 3>에 제시하였다.

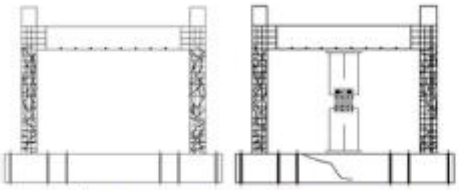
<Table 3> Material test result

Classification	Yield srength (MPa)	Tensile srength (MPa)	Young's modulus (GPa)
D10	455	480	186
D19	494	609	191
14T	417	567	214
19T	281	456	218
20T	336	530	218

4.2 파괴양상 비교

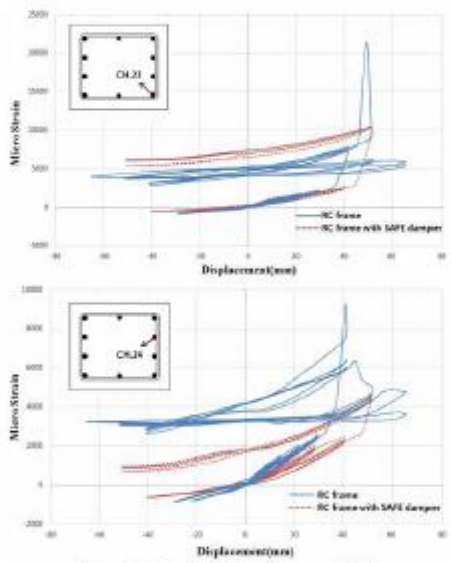
두 실험체 모두 전반적으로 유사한 파괴양상을 보였다. 두 실험체의 RC골조 파괴모드를 살펴보면 3단계(층간변위비 0.2%)부터 기둥하부에 미세균열이 발생하였고, 6단계(층간변위비 0.6%)까지는 특이한 사항 없이 휨균열이 새로운 위치에서 생성되고, 이전 단계에서 생성된 휨균열는 폭과 길이가 확장하는 모습을 나타냈다. 7단계(층간변위비 0.75%)부터는 대각균열이 발생하였고, 강한 진폭으로 구분되는 8단계(층간변위비 1%)부터 10단계(층간변위비 1.75%)까지 대각균열이 진전되고, 뚜렷해지는 양상을 보였다. 최대 균열폭은 1.5mm로 관찰되었다.

순수콘크리트골조의 경우, 11단계(층간변위비 2.2%)에서 액추에이터 쪽의 기둥에서 콘크리트 피복이 박리되었고, 균열폭은 보통 2~3mm로 진전되었으며, 최대 6mm까지의 균열폭도 확인할 수 있었다. <Fig. 13>은 실험체의 균열도를 나타내며, 이를 통해 전체적인 균열양상을 확인할 수 있다.



(a) RC frame (b) RC frame with SAFE damper

<Fig. 13> Damage patterns of Specimen



<Fig. 14> Strain of column main bar

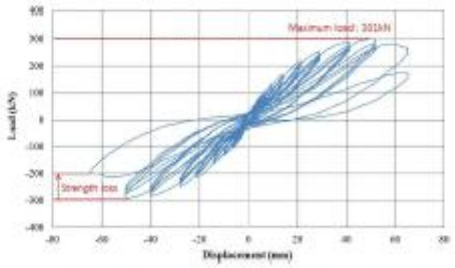
SAFE댐퍼 보강골조는 2단계(층간변위비 0.16%)에서 마찰댐퍼의 거동이 시작되었다. 또한 7단계(층간변위비 0.75%)부터는 스토퍼에 의해 마찰댐퍼의 슬립이동이 제한되고, 강재댐퍼의 거동이 시작되었다. SAFE댐퍼 보강골조의 경우 10단계(층간변위비 1.75%)의 첫 사이클에서 액추에이터 측 기둥 하부에 대각균열로 인한 콘크리트 손상이 다소 크게 나타났고, 이러한 영향으로 강도가 급격하게 저하되었다. 결국 10단계(층간변위비 1.75%)의 마지막 사이

클에서 콘크리트 피복이 박리되었다.

SAFE댐퍼 보강골조의 조기파단 원인을 액추에이터 측 기둥 하부 주근의 변형률을 통해 예측할 수 있다. <Fig. 14>는 주근의 변형률을 나타내는데, 순수콘크리트골조의 주근은 항복 후 잔류변형이 가력이 진행될수록 작아지고 있는 반면에, SAFE댐퍼 보강골조의 주근은 항복 후 잔류변형이 계속 유지되고 있다. 순수콘크리트골조는 주근이 항복한 후에도 힘의 재분배가 원활하게 이루어지고 있지만, SAFE댐퍼 보강골조는 주근이 항복한 후에 액추에이터 측 기둥 하부에 계속적인 하중의 집중현상이 나타나는 양상을 보였다.

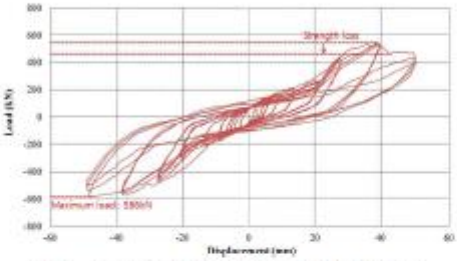
4.3 하중-변위 관계

<Fig. 15>는 순수콘크리트골조의 하중-변위 관계를 보여준다. 순수콘크리트골조는 10단계(층간변위비 1.76%)까지는 진폭이 증가됨에 따라 최대강도가 점진적으로 증가하였고, 10단계(층간변위비 1.76%)에서 301kN의 최대강도를 나타냈다. 11단계(층간변위비 2.2%)의 첫 사이클 정방향 가력에서 강도 저감이 발생하였고, 부방향에서는 최대강도 대비 약 70%로 강도가 급격히 감소하였다. 가력은 11단계(층간변위비 2.2%)의 두 번째 사이클까지 진행되었다.



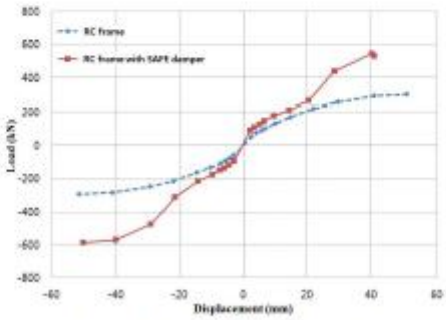
<Fig. 15> Load-displacement of RC frame

SAFE댐퍼 보강골조의 하중-변위 관계는 <Fig. 16>에서 확인할 수 있다. SAFE댐퍼 보강골조의 경우, 순수콘크리트 골조보다 빠른 10단계(층간변위비 1.76%)의 첫 사이클 정방향 가력에서 순간적으로 강도가 저감되는 모습을 보이고 있다. 이는 앞서 언급했던 바와 같이 액추에이터 측 하부 기둥에 하중 집중현상에 기인한 것으로 판단된다. 10단계(층간변위비 1.76%) 부방향에서의 내력은 정방향보다 크게 나타났고, 이때 순수콘크리트골조의 1.95배에 해당하는 586kN의 최대강도를 나타냈다. 가력은 10단계의 마지막 사이클까지 진행되었다.



<Fig. 16> Load-displacement of RC frame with SAFE damper

순수콘크리트골조와 SAFE댐퍼 보강골조의 성능을 보다 효과적으로 비교하기 위해, 하중-변위 관계에서 각 단계별 최대하중점을 이은 단조곡선을 <Fig. 17>에 나타냈다. 단조곡선을 통해 초기강성을 비교할 수 있는데, 순수콘크리트골조의 경우 초기강성이 약 21kN/mm로 나타났고, SAFE댐퍼 보강골조의 초기강성은 약 42kN/mm로 나타났다. SAFE댐퍼 보강골조의 강도가 순수콘크리트골조 대비 약 2배 정도 높게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

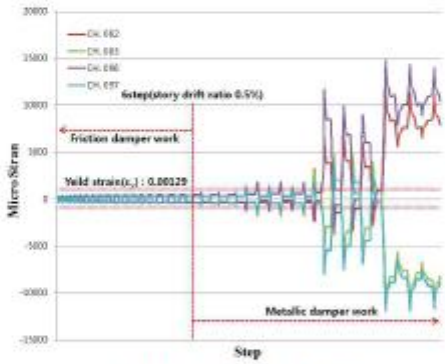


<Fig. 17> Load-displacement envelope curve of specimens

4.4 단계적 이력거동

SAFE댐퍼의 단계적 이력거동은 SAFE댐퍼 보강골조의 하중-변위관계 및 변단면 스트립댐퍼의 변형률을 통해서 확인할 수 있다.

<Fig. 16>에서 제시된 SAFE댐퍼 보강골조의 하중-변위 관계는 순수콘크리트골조와는 다른 양상을 나타낸다. ±20mm이내의 변형에서는 거의 일정한 기울기를 갖는 평행사변형의 이력이 나타나는데, 이는 마찰댐퍼가 작동하는 단계가 된다. 마찰댐퍼의 이력곡선은 일반적으로 직사각형 형태로 나타나게 되는데, SAFE댐퍼 보강골조에서 평행사변형으로 나타나는 이유는 기존 순수콘크리트골조와 마찰댐퍼가 함께 거동하기 때문이다. 또한 ±20mm 근방에서 급격하게 강도와 강성이 증가하는 이유는 스토퍼에 의해 마찰댐퍼의 거동이 제한되고, 강재댐퍼가 이력거동하기 때문이다.



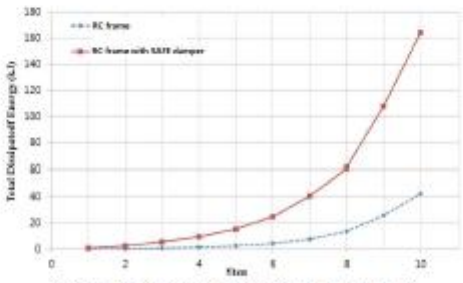
<Fig. 18> Strain of central strip

<Fig. 18>에 제시된 변단면 스트립댐퍼의 중앙스트립 변형률을 살펴보면, 마찰댐퍼와 골조가 함께 거동하는 6단계(층간변위비 0.5%)까지 변형률이 재료실험을 통해 얻어진 항복변형률(ϵ_y) 0.00129보다 작게 나타난다. 6단계(층간변위비 0.5%)까지는 변단면 스트립댐퍼가 탄성범위 내에 존재하고 있고, 7단계(층간변위비 0.75%)부터 점차적인 변형률의 증가를 보이며, 스토퍼에 의해 마찰댐퍼의 거동이 제한되는 부분부터 급격한 변형률의 증가를 나타낸다. 이를 통해 마찰댐퍼와 변단면 스트립댐퍼의 단계적거동을 확인할 수 있다. 또한 전면부 변단면 스트립댐퍼의 중앙스트립 변형률과 후면부의 중앙스트립 변형률이 유사한 형태를 나타내고 있기 때문에, 전면과 후면에 배치된 2개의 변단면 스트립 강재댐퍼가 외부하중에 대해 동일하게 저항한다는 것을 알 수 있다.

4.5 에너지 소산능력

전체 골조의 손상수준은 에너지 소산능력에 의해 좌우되기 때문에 SAFE댐퍼에 의한 전체골조의 내진성능향상 효과를 확인하기 위해 순수콘크리트골조와 SAFE댐퍼 보강골조의 에너지 소산능력을 비교하였다. 에너지 소산량은 하중-변위 관계 그래프의 면적을 합산하여 산정할 수 있으며, 동일한 기준에서 비교하기 위해 SAFE댐퍼 보강골조가 거동한 10단계(층간변위비 1.75%)까지를 대상범위로 하였다. 10단계(층간변위비 1.75%)까지 순수콘크리트골조와 SAFE댐퍼 보강골조의 가력단계별 에너지 소산량을 <Fig. 19>에 나타냈다.

가력의 초반단계인 3단계(층간변위비 0.2%)까지는 전체골조가 탄성적인 거동을 하므로 에너지 소산량이 거의 나타나지 않지만, 단계가 진행되면서 에너지 소산량이 지수함수의 형태로 증가하는 양상을 보인다. 이는 가력이 후반부로 진행될수록 실험체의 변형과 강도의 증가가 동반되기 때문이다.



<Fig. 19> Energy dissipation capacity of test specimens

<Fig. 19>에서 순수콘크리트골조는 42kJ의 에너지 소산능력을 나타냈고, SAFE댐퍼 보강골조는 순수콘크리트골조 에너지 소산능력의 약 4배에 해당

하는 164kJ의 에너지 소산능력을 보였다. 순수콘크리트골조의 경우 입력되는 에너지를 모두 주구조체가 소산하기 때문에 콘크리트 골조의 손상을 항상 동반하게 된다. 그러나 SAFE댐퍼로 보강된 SAFE댐퍼 보강골조는 동일한 변형에서 콘크리트 골조의 손상정도는 순수콘크리트골조와 비슷하지만 마찰댐퍼와 강재댐퍼에 의해 소산되는 에너지양이 더 많기 때문에 최종 상태에서는 훨씬 큰 에너지 소산능력을 보이게 된다.

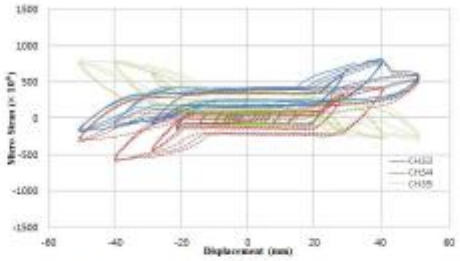
10단계(층간변위비 1.76%)까지의 SAFE댐퍼 보강골조의 부분별 에너지 소산량은 <Table 4>에 제시되어 있다. 마찰댐퍼 및 변단면 스트럽댐퍼의 에너지 소산량은 하중과 각각의 상대변위 관계에서 나타나는 면적을 합산하여 나타냈다. SAFE댐퍼 보강골조는 10단계(층간변위비 1.76%)까지 마찰댐퍼 및 변단면 스트럽댐퍼가 소산하는 에너지의 양이 각각 약 71kJ, 약 82kJ로 SAFE댐퍼가 전체에너지의 약 69.6%의 에너지를 소산하였다.

<Table 4> Energy dissipation of SAFE damper

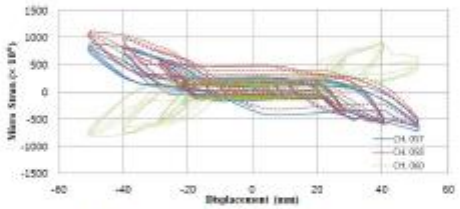
Classification	Energy Dissipation(kJ)	Charge rate(%)
Friction damper	71	43.3
Metallic damper	43	26.2
RC frame	50	30.5
Total Frame	164	-

4.4 상하부 지지재 변형률

SAFE댐퍼의 단계적 거동을 유도하고, 전체골조의 효율적인 손상제어, 손상수준에 따른 SAFE댐퍼의 부분적 교체를 위해서는 댐퍼의 상하부지지재가 극한상황에서도 탄성상태를 유지해야 한다. 이를 확인하기 위해, SAFE댐퍼 보강골조의 최종 파괴시점인 10단계(층간변위비 1.76%)까지 상부지지재와 하부지지재에 부착된 스트레인게이지를 통해 계측된 변형률을 <Fig. 20>과 <Fig. 21>에 각각 나타냈다. 상부지지재와 하부지지재 모두 재료실험결과에서 얻어진 항복변형률(ε_y)인 0.00164보다 낮은 값을 나타냈으며, 이로부터 상부와 하부지지재 모두 SAFE댐퍼 보강골조가 파괴하는 시점까지 탄성범위 내에 있었을 확인할 수 있다.



<Fig. 20> Strain of upper support



<Fig. 21> Strain of bottom support

한편, 하부지지부에서는 상부지지부보다 조금 더 큰 변형률을 나타내고 있는데, 이는 하부지지부의 고정도가 상부지지부의 고정도보다 크다는 것을 의미한다. 실제 건물에서는 상부와 하부 모두 동일한 크기의 전단력과 모멘트가 발생하지만, 본 실험에서는 실험체를 반력상에 고정시키기 위해 하부 보를 기초의 형태로 변화시켰고, 하부 보를 바닥과 강봉으로 연결하여 강하게 구속시켰다. 따라서 하부지지부는 상부지지부에 비해 강하게 댐퍼를 구속하였고, 이것이 하부지지부에 더 큰 모멘트를 유발했을 것으로 판단된다.

6. 결론

SAFE댐퍼의 보강효과를 검증하기 위해 순수콘크리트골조와 SAFE댐퍼 보강골조에 대해 2개의 실험

체를 제작하여 반복가력 실험을 수행하였고, 이를 통해 다음의 결론을 도출하였다.

1. 하중-변위 관계를 통해 SAFE댐퍼 보강골조의 최대강도와 초기강성이 순수콘크리트골조 대비 약 2배 상승한 것을 확인하였다.

2. SAFE댐퍼 보강골조는 액추에이터 측 기둥 하부의 하중 집중현상으로 순수콘크리트골조의 가력단계인 11단계(층간변위비 2.20%)보다 한 단계 낮은 10단계(최대변위비 1.75%)까지 진행되었으며, 10단계(층간변위비 1.75%)까지의 에너지 소산능력은 약 4배 우수하게 나타났다.

3. SAFE댐퍼는 전체 입력된 에너지의 약 69.5%에 해당하는 에너지를 소산함으로써 기존골조의 내진성능을 향상시켰다.

4. 하중-변위 관계 및 변단면 스트립댐퍼 중앙부의 변형률을 통해 마찰댐퍼와 변단면 스트립댐퍼의 단계적 거동을 확인하였다.

5. SAFE댐퍼의 상하부지지재는 SAFE댐퍼 보강골조의 콘크리트 골조가 파괴되는 극한시점까지 탄성범위 내에 존재하였으며, 이로써 손상수준에 따른 SAFE댐퍼부의 부분적 교체 및 SAFE댐퍼의 성능극대화가 가능함을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 국토교통과학기술진흥원의 건설교통기술촉진 연구사업(14CTAP-C066889-02-000000)의 연구비 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

1. 이강석, "학교시설 내진성능 평가 및 내진보강 가이드라인 개발", 한국교육개발원
2. Chung.L., Park.T.W., Lee.S.G., "Retrofitting Effects on Seismic Resistance Capacity of Reinforced Concrete Framed Structure", Architectural Institute of Korea, Vol.20, No.9, 2004
3. Han.S.W., Kim.J.Y., Moon.K.H., Lee.C.S., Kim.H.J., Lee.K.S., "Seismic Behavior of Reinforced Concrete Moment Frames Retrofitted by Toggle Bracing System with High Density Friction Damper", EESK J Earthquake Eng., Vol.18, No.3, 2014
4. Kim.D.H., Kim.Y.S., "Analytical Estimation on Seismic Performance of Hybrid Buckling-Restrained Braces", Journal of the Korean Association for Spatial Structures, Vol.14, No.3, pp.57~65, 2014
5. Hwang.I.T., Lee.C.H., Ju.Y.K., Kim.S.D., "Shear Capacity of SAFE Friction Damper Using Break pad of Automobile", Architectural Institute of Korea, Vol.29, No.3, 2013
6. Chan, Ricky W.K., Albermani, Faris, "Experimental study of steel slit damper for passive energy dissipation", Engineering Structures, Vol.30, No.4, p.p 1058~1066, 2008
7. Woo.S.K., Lee.C.H., Ju.Y.K., Kim.S.D., "Performance Evaluation of Optimized Flexure-Dominated Steel Strip Dampers under Monotonic Loading", Architectural Institute of Korea, Vol.29, No.2, 2013
8. 문교부, "학교교사 표준설계도서", 건설부공고, 180호, 1980
9. ACI 374.1-05, "Acceptance Criteria for Moment Frames Based on Structural Testing and Commentary", ACI Committee 374, 2005
10. Korean Standards Association, "Standard test method of making and curing concrete specimens", KS F 2403, Korean Standards Association, 2010
11. Korean Standards Association, "Standard test method for compressive strength of concrete", KS F 2405, Korean Standards Association, 2010
12. Korean Standards Association, "Test pieces for tensile test for metallic materials", KS B 0801, Korean Standards Association, 2007
13. Korean Standards Association, "METHOD OF TENSILE TEST FOR METALLIC MATERIALS", KS B 0802, Korean Standards Association, 2008

고강도 PC와 일반강도 RC로 구성된 합성기둥의 압축성능 평가

Compressive Capacity Evaluation of Composite Column Composed of High-Strength PC and Normal-Strength RC

이 자 영* 이 창 환** 주 영 규***
Lee, Ja-Young Lee, Chang-Hwan Ju, Young-Kyu
김 영 식**** 김 상 대*****
Kim, Young-Sik Kim, Sang-Dae

Abstract

In this paper, new PC-RC composite column named ES^2 system was proposed. To transfer the shear forces between the high-strength PC and normal-strength RC, two types of shear keys were compared: hemispheric- and trapezoid-shaped shear keys. Tests on short column specimen were carried out to evaluate compressive capacity based on the existence and shape of the shear key. Crack patterns and strain distributions were also observed. From the result, it was found that compressive strength of the column with shear keys could be reduced depending on the arrangement and shape of shear keys. Otherwise, it was found that shear keys have a positive effect on integrity of the composite column. The proposed equation to predict the compressive strength of a PC-RC composite column showed good agreement with the experimental results.

키워드 : 합성기둥, 축력실험, 전단키, 프리캐스트콘크리트
Keywords : Composite columns, Axial load test, Shear key, Precast concrete

1. 연구 배경 및 목적

시공 및 재료 기술이 발달함에 따라 다양한 기술 적용이 가능해지면서 합성시스템에 대한 연구가 국내·외에서 활발히 진행되고 있다. 그 중에서 기존 철근콘크리트(RC) 기둥의 내력과 시공성을 증진시키기 위한 합성기둥에 대한 개발도 다양한 형태로 이루어져 오고 있다.

합성기둥시스템은 대부분 강재와 콘크리트의 조합으로 구성된다. 대표적으로 SRC, CFT 합성기둥이 있으며, 이를 기본으로 강재의 형태를 변형시키며 SC[1], yLRC 합성기둥[2,3] 등이 연구 및 개발되고 있다. 그러나 강재를 이용한 합성기둥은 공사비 증가로 인해 경제성이 저하된다는 단점이 있으며, 또한 강재의 국부좌굴 보강 문제 및 내화피복의 필요성 등에 의한 시공성 문제가 있다. 이러한 단점에 대한 새로운 해법으로 고강도 프리캐스트콘크리트(PC)와 일반강도 RC를 결합한 합성기둥시스템이 제안되었다.[4] 이 시스템은 기존 SRC 합성기둥에서 강재를 대신하여 고강도 PC가 단면 중심에 배치된다.

본 연구에서 제시한 ES^2 합성기둥은 SRC 합성기둥과 마찬가지로 중심부에 고강도의 부재가 들어가는 방식이다. 이때 중심부의 고강도 재료와 외곽부의 상대적인 저강도 재료는 압축시에 변형의 차이가 생기게 되며 응력전달이 이뤄지게 된다. 이에 대하여 SRC의 경우 콘크리트와 강재의 접촉면의 거동에 대해 Wium Jan A.[5]과 Roeder Charles W.[6], 민진[7] 등에 의하여 연구가 진행되었다. ES^2 합성기둥의 경우 전단키의 사용이 PC부와 RC부 간의 부착응력을 증가시킨다는 것은 ES^2 합성기둥 개발 보고서에 증명된 바 있다.[4] 이를 바탕으로 본 연구에서는 PC부 제작시 거푸집에 다수의 돌출부를 만들어 전단키로 작용할 수 있는 접합면 상세를 실제 기둥에 적용하여 이에 대한 압축성능을 분석하고, 압축강도 평가식을 검증하는 것을 목적으로 한다.

2. ES^2 합성기둥

ES^2 합성기둥은 내부의 고강도 PC부와 외부의 일반강도 RC부로 구성되며, 주철근은 내부 PC부와 외부 RC부에 분리되어 배치된다. 고강도 PC부의 4면에는 전단키를 설치하여 기둥이 수평하중 및 편심 축하중에 의한 휨 저항시 일체성이 향상되도록 계획되었다.

고강도 PC부 코어는 공장에서 제작되어 현장에서 설치

* 고려대 건축사회환경공학과 대학원 석사
** ㈜동양구조안전기술 구조공학시스템연구소 팀장
*** 고려대 건축사회환경공학부 교수, 공학박사
**** ㈜영구조엔지니어링 대표이사
***** 고려대 건축사회환경공학부 교수, 공학박사
이 연구는 중소기업청의 산학연공동기술개발사업(00048911-1), 국토교통과학기술진흥원의 건설교통 기술촉진 연구사업(14CTA-C068889-02-000000) 연구비 지원에 의한 결과의 일부임.

되며, 이후 선시공 코어 주변의 기둥외곽부와 슬래브는 일반강도의 콘크리트로 동시에 타설된다. 선시공 PC부의 자중이 경감되어 운반 및 양중에 유리하며, 1절 2개층 이상의 연속시공이 가능해진다. 고강도 PC를 사용하면서도 기둥과 슬래브의 일체성을 향상시킬 수 있으며 일반강도 RC부로 둘러싸여 있어 폭렬현상에 대한 우려가 없는 장점을 가진다. 그림1과 그림2는 각각 ES^2 합성기둥 단면과 ES^2 합성기둥의 시공 과정에 대한 개념도를 나타낸다.

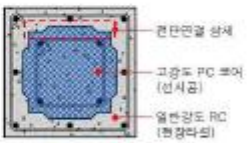


그림1. ES^2 합성기둥 단면



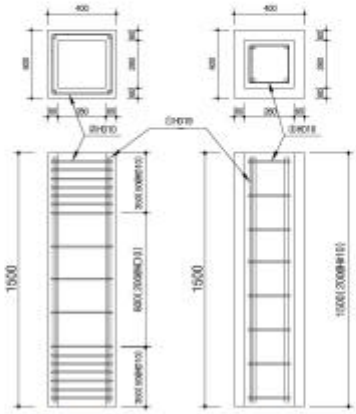
그림2. ES^2 합성기둥의 시공 과정

3. 실험 방법

전단키의 유무 및 형상에 따라 4개의 실험체를 제작하여 단주 압축 실험을 수행하였다. 전단키가 없는 실험체 1개와 반구형 전단키를 배치한 실험체 1개, 사다리꼴형 전단키를 배치한 실험체 2개의 압축성능을 평가하였으며 파괴 양상과 하중-변위 관계, PC부와 RC부의 변형율 차이를 분석하였다. 또한 최대하중을 바탕으로 압축강도 예측식에 대하여 검토하였다.

3.1 실험체 계획

모든 실험체는 400mm×400mm의 단면을 가진 1600mm 높이의 기둥이며, 이는 실제 크기인 800mm×800mm의 1/2 축소 모델이다. 실험체에서 내부 PC부의 단면치수는 280mm×280mm이다. 공시체 시험을 통하여 내부 PC부의 강도가 80% 발현되었을 때, 외부 RC부를 타설하였다. 주철근비는 단면의 1%이며, 띠철근은 건축구조기준(종방향 철근 지름의 16배 이하, 띠철근 지름의 48배 이하, 기둥 단면의 최소치수 이하)[8]에 따라 그림3과 같이 200mm 간격으로 배치하였다. 지압 파괴를 방지하기 위해 실험체 양 단부의 360mm 구간은 띠철근 간격을 60mm로 조밀하게 배치하였으며, 탄소섬유 보강도 함께 적용하였다.[9]

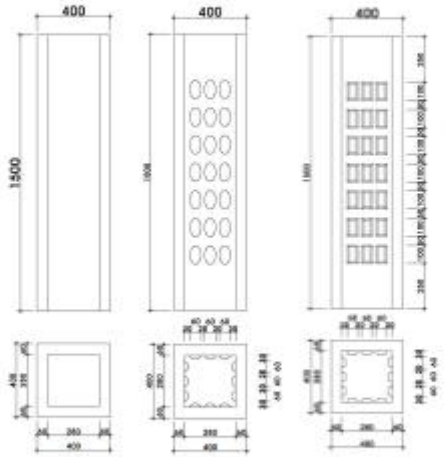


a) RC부 배근도 b) PC부 배근도

그림3. 기둥 실험체 배근도

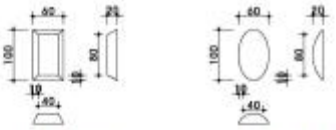
3.2 실험 변수

전단키의 설치 유무 및 형상을 실험변수로 설정하였다. 실험체 CN은 전단키를 배치하지 않은 기본 실험체이다. 실험체 CC는 반구 모양의 전단키, 그리고 실험체 CR은 사다리꼴 모양의 전단키가 설치되었다. 실험체 일람은 표1에 나타나 있다. 그림4는 전단키의 배치 상세이며, 전단키의 상세 치수는 그림5에서 제시되었다. 그림6은 외부 RC부 타설 전 내부 PC부의 형상이다.



a) CN 실험체 b) CC 실험체 c) CR-1, CR-2 실험체

그림4. 실험체 전단키 상세



a) 사다리꼴형 전단키 b) 반구형 전단키

그림6. 전단키 형상



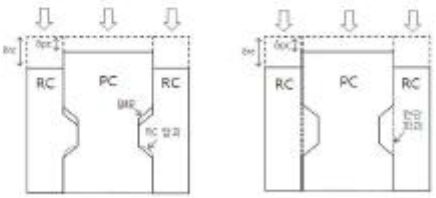
그림6. 내부 PC부 형상

표1. 실험체 일람

실험체명	CN	CC	CR-1	CR-2
단면 형상				
전단키	없음	반구	사다리꼴	사다리꼴
f_{ck1}	40MPa			
f_{ck2}	21MPa			
주근	D19 (SD400)			
띠철근	D10 (SD400)			

주) C: Column, N: Non shear key, C: Circular shear key, R: Rectangular shear key

전단키의 파괴 한계상태는 그림7과 같이 외부 콘크리트의 지압파괴 또는 전단파괴로 결정된다. 따라서 전단키의 예상 강도는 건축구조기준[8]에 따른 콘크리트의 지압강도와 전단강도를 이용하여 산정할 수 있다. 전단키의 가장 효과적인 크기는 식(1)과 같이 지압파괴와 전단파괴가 같은 경우가 된다.



a) 지압파괴 b) 전단파괴

그림7. 전단키의 파괴 유형

$$0.85 f_{ck} \times b \times t = \frac{1}{6}\sqrt{f_{ck}} \times b \times h \qquad (1)$$

여기서, f_{ck}는 콘크리트(외부 RC)의 설계기준압축강도(MPa), b와 h는 각각 전단키의 수평방향과 수직방향 길이, 그리고 t는 전단키의 깊이를 나타낸다.

적용된 외부콘크리트의 설계압축강도인 21MPa을 적용하면, 전단키의 수직방향 길이가 전단키 두께의 약 25배일 때 최적의 형상을 가진다. 그러나 배치의 어려움으로 전단키의 수직방향 길이는 100mm로 적용하였다. 따라서 전단키는 지압파괴가 아닌 전단파괴가 발생할 것으로 예측되었다.

3.3 재료시험

내부 PC부(f_{ck}=40MPa)와 외부 RC부(f_{ck}=21MPa)에 대해 각각 3개의 공시체를 제작하고[10], KS F 2405[11]에 따라 압축강도 시험을 수행하였다. 내부 PC부의 공시체는 31일 양생 후, 외부 RC부의 공시체는 40일 양생 후 압축강도를 시험하였다. 평균압축강도(f_c)는 각각 38.6MPa와 26.6MPa로 측정되었다. 사용된 철근은 KS B 0801[12], KS B 0802[13] 기준에 의거하여 인장시험을 수행하였고, D10과 D19 철근의 평균 항복강도(f_y)는 각각 396.4MPa와 381.9MPa로 측정되었다. 표2는 28일 강도로 보정한[8] 콘크리트 공시체 압축강도를, 표3은 철근의 재료시험 결과를 요약한다.

표2. 콘크리트 압축강도 시험 결과

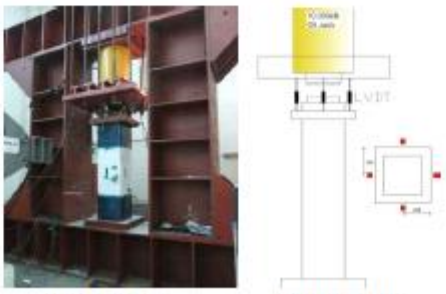
f_{ck}	W/C(%)	$f_{0.28}$(MPa)
40MPa (PC부)	34.8	37.7
21MPa (RC부)	58.1	26.8

표3. 철근의 인장시험 결과

철근 종류	강종	f_y(MPa)	f_u(MPa)
D10	SD400	398.4	478.9
D19	SD400	381.9	496.0

3.4 가력 및 측정

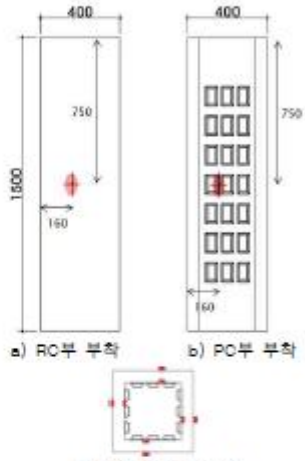
합성기둥의 압축실험은 (주)대우건설기술연구원에서 수행되었으며, 그림8은 실험체 세팅 및 변위계 설치 상황을 보여준다. 600mm×600mm 크기의 가력판을 사용하여 1000톤 용량의 유압잭으로 가력이 수행되었다. 실험체의 파괴 이후 잔여응력이 나타나는 시점부터 추가적인 변위가 8mm 정도 진행되었을 때 가력을 중단하였다. 한편 전단키의 파괴 여부를 확인하기 위하여 실험체 CC와 CR-2는 RC부가 완전히 분리될 때까지 가력이 진행되었다.



a) 실험체 세팅 b) 변위계 설치

그림8. 가력판 설치

축방향 변형량 측정을 위해 상부 가력판에 4개의 변위계(LVDT)를 설치하였다(그림8). 내부 및 외부 콘크리트의 변형률 측정을 위해 콘크리트 스트레인게이지를 표면에 설치하였다. 스트레인게이지는 기둥 높이의 1/2 지점에서 PC부의 4면과 RC부의 4면에 부착하였으며, 설치 위치는 그림9에서 제시된다.



a) RC부 부착 b) PC부 부착

a) 기둥 중앙부 단면

그림9. 스트레인게이지 설치 위치

4. 실험결과 및 분석

4.1 하중-변위 곡선

실험체의 하중-변위 곡선을 그림10-그림13에 나타내었다. 실험체 CN은 초기강성이 724.0kN/mm로 나타났고, 최대하중점(9.13mm, 6831kN)에 도달한 후 2782kN(δ=11.7mm)까지 강도가 급격히 하락하였다. 이후는 점진적인 강도 저감을 보이며 안정적인 커브를 형성하였다.

실험체 CC는 644.2kN/mm의 초기강성을 보이며, 최대하중점(9.29mm, 6502kN)을 지난 후 마찬가지로 1962kN(δ=12.3mm)까지 강도가 급격하게 하락되는 양상을 보였다.

실험체 CR-1의 경우, 초기강성은 645.6kN/mm로 가장 낮게 나타났다. 하중은 4880kN 부근부터 다소 완만하게 상승하였고, 5175kN(9.07mm)의 최대하중을 보였다. 이 실험체는 최대하중점 전후의 하중-변위 관계가 다른 실험체들에 비해 다소 완만한 경향을 보였다. 가시적 균열은 최대하중 도달 80초 전부터 시작되었고, 넓은 분포로 균열이 진행되었다. 이와 같은 조기의 손상으로 인해 최대하중이 상대적으로 낮았으며, 점진적 균열의 진전에 의해 최대하중 근방에서 완만한 곡선이 형성되었다.

실험체 CR-2는 677.8kN/mm의 초기강성을 가지며 하중이 증가하다가, 최대하중점(9.39mm, 6630kN)에 도달한 후 다시 급격히 저감되었다. 하중이 2435kN(δ=12.7mm)로 저감된 이후는 다른 실험체와 마찬가지로 강도가 완만하게 저감되었다.

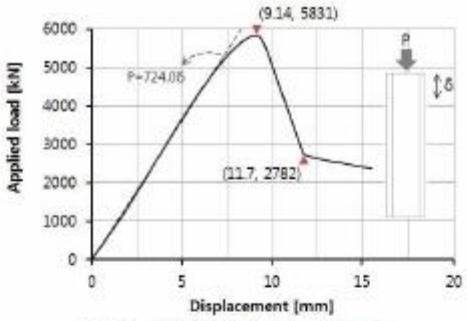


그림10. 실험체 CN의 하중-변위 관계

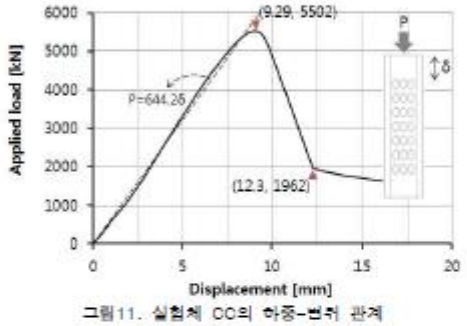


그림11. 실험체 CC의 하중-변위 관계

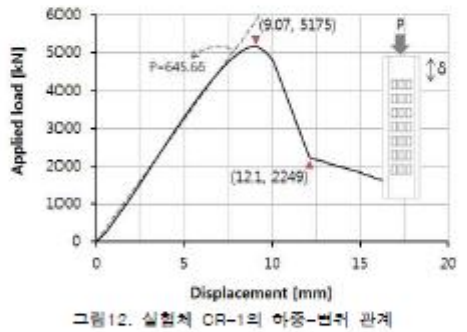


그림12. 실험체 CR-1의 하중-변위 관계

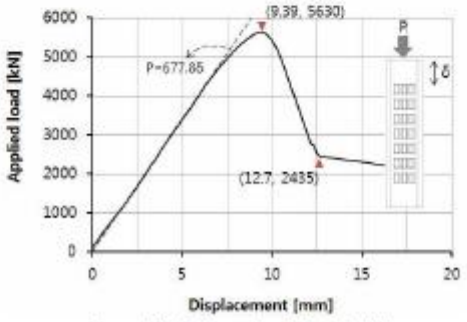


그림13. 실험체 CR-2의 하중-변위 관계

표4. 실험결과 요약

실험체	P_0 (kN)	δ_0 (mm)	ϵ_0	K_i (kN/mm)
CN	6881	9.14	0.0078	724.0
CC	6602	9.29	0.0082	644.2
CR-1	6175	9.07	0.0080	646.8
CR-2	6880	9.89	0.0081	677.8

실험체별 최대하중(P_0), 최대하중시의 변위(δ_0)와 변형률(ϵ_0), 초기강성(K_i)을 표4에 요약하였다. ϵ_0은 내부 PC부와 외부 RC부 변형률의 평균적인 값으로 산정된 것이다. 선단키가 배치되지 않은 실험체 CN은 P_0가 6881kN으로 가장 큰 내력을 나타내었다. 선단키가 배치된 실험체 CC, CR-1, CR-2는 실험체 CN에 비해 P_0가 각각 7%, 12%, 4% 저하되었다. 이는 선단키의 적용으로 인한 PC부 단면적 손실에 기인한 것으로 분석된다. 선단키로 인한 손실 면적을 적용한 CC, CR 실험체의 단면압축강도는 CN 대비 6%, 8%, 8% 저감된 값으로 계산되었다. K_i 또한 724.0kN/mm의 값을 보이며 실험체 CN에서 가장 높은 결과를 보였으며, 실험체 CC, CR-1, CR-2는 실험체 CN 대비 각각 11%, 11%, 6% 낮은 값을 나타냈다. CC, CR-1, CR-2 실험체의 경우 CN 실험체에 비해 균열의 분포가 넓었으며 돌출 현상이 나타나는 현상을 보였다. 이는 선단키의 거동으로 인해 하중 전달의 흐름이 CN 실험체에 비하여 횡방향으로 흘러간 것으로 보이며, 이것이 초기 강성 저하의 요인으로 보인다.

표5. PC부 강도P_{pc}와 잔여 하중P_r

실험체	P_{pc} (kN)	P_r (kN)	P_r/P_{pc}
CN	2978	2782	0.94
CC	2858	1962	0.74
CR-1	2679	2249	0.87
CR-2	2679	2486	0.94

모든 실험체들에는 90도의 띠철근 갈고리가 적용되었고, 이로 인해 띠철근에 의한 연성적인 거동은 나타나지 않았다. 한편 급격한 1차적인 강도 저감은 외부 RC의 파괴에 기인하며, 이후의 완만한 2차적 강도 저감은 내부 PC부의 내력 발휘에 의한 영향으로 평가된다. 표5에서 최대하중 하락 후의 PC부 단면압축 강도(P_{pc}) 대비 잔여하중(P_r)의 값을 나타내었다. 실험체 CN, CC, CR-1, CR-2는 PC부 단면압축 강도 대비 각각 6%, 26%, 13%, 6% 저하된 잔여하중을 나타내었다. 잔여하중의 효과로 인해 하중 하락 이후에도 PC부로 인한 내력 발휘가 나타난 것으로 기대된다.

4.2 파괴양상

실험체 CN은 최대하중 이전에는 가시적인 균열이 나타나지 않았다. P_0인 6881kN에 도달하면서 파괴음과 함께 주철근이 좌굴되면서 상부 모서리에서 콘크리트의 박리현상을 나타냈다. 이와 동시에 기둥 중앙 높이에서는 기둥면의 수평방향으로 균열이 발생하였다. 타 실험체들에 비하여 균열의 크기가 작고, 분포 면적이 좁은 경향을 보였다. 하중이 하락하는 과정에서 상부모서리 부분부터 수직방향의 균열이 진행되었으며 중앙의 수평방향 균열 폭이 넓어졌다. 그러나 기둥의 배부름 및 돌출 현상은 발생하지 않았다.

실험체 CC의 경우, 5484kN의 하중 근방에서 모서리 상부에 대각선 방향으로 균열이 진행되었다. 이후 P_0인 6602kN에서 주철근의 좌굴 및 모서리 콘크리트의 박리와 함께 대각선 방향의 균열이 발생하였다. 하중이 하락하면서 상부에 수평방향으로 균열이 진행되었으며, 다른 한 면에는 대각선 모양의 균열이 계속 진행되었다. 이후 균열 발생이 점차 심해져 상부의 콘크리트가 돌출되면서 분리되었다. 대각선 균열은 그림15 c), 그림16 a), 그림17 c)와 같이 U자 형태로 진행되면서 돌출 및 분리되었다.



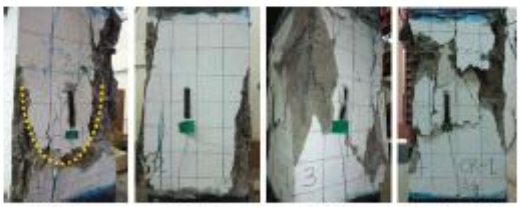
a) 1면 b) 2면 c) 3면 d) 4면

그림14. 실험체 CN의 파괴양상



a) 1면 b) 2면 c) 3면 d) 4면

그림15. 실험체 CC의 파괴양상



a) 1면 b) 2면 c) 3면 d) 4면

그림16. 실험체 CR-1의 파괴양상



a) 1면 b) 2면 c) 3면 d) 4면

그림17. 실험체 CR-2의 파괴양상

실험체 CR-1은 4892kN의 하중 근방에서 상부에 수평방향과 수직방향으로 미세한 균열이 진행되었다. 이후 P_0인 6176kN의 하중에서 주철근 좌굴과 함께 상부 모서리의 콘크리트가 박리되었고 상부 수평방향 균열이 선명해졌다. 동시에 모서리 부근에 수직방향으로 길게 균열이 발생했으며, 한 면에는 대각선 방향으로 균열이 생겼다. 이후 모서리의 수직방향의 긴 균열이 U자 형태의 균열로 진행되었다. 하중이 하락한 이후의 지속적인 가력 과정에서 상부 수평방향으로 발생했던 균열이 큼이지며 콘크리트가 돌출되었다. 또한 U자 형태의 균열부 또한 돌출되어 파괴되었다.

실험체 CR-2의 경우, 6599kN 부근에서 상부에 수평방향의 미세한 균열과 모서리에 수직방향의 미세한 균열이 나타나다가 P_0인 6630kN인 지점에서 U자 형태로 큼은 균열이 파괴음이 없이 일시에 나타났으며, 이후 하중이 하락하는 경향을 보였다. 그 뒤 상부 모서리 부근에 수직으로 균열이 큼게 진행되었으며 전체적으로 균열이 큼고 진행 면적이 넓게 나타났다. 상부에는 수평방향의 균열이 발생하였으며, 모서리 부근에 수직으로 긴 균열이 나타났고 이후 상부 모서리의 콘크리트가 탈락되었다. 내부 전단키의 상태를 확인하기 위하여 가력을 마친 실험체의 외부 콘크리트를 임의로 탈락시켜 관찰하였다.

실험체들의 최종 파괴양상은 그림14-그림17과 같다. 실험체 CN은 중앙부에 수평방향 균열이 발생하였지만, 배부름과 돌출 현상은 나타나지 않았다. 그러나 실험체 CC, CR-1, CR-2에서는 선명한 U자 모양의 균열과 상부의 수평방향 균열이 발생했다. 또한 이 균열을 따라 배부름과 함께 돌출이 일어났고, 돌출부의 분리 현상이 나타난 것을 확인할 수 있다. 이는 전단키가 배치된 실험체(CC, CR-1, CR-2)에서는 전단키의 형상 특징으로 인해, 내부 PC부 부분이 축소됨에 따라 RC부가 전단키와 함께 바깥으로 밀려난 원인으로 판단된다. 더불어 기둥 띠철근의 간격은 200mm로 전단키의 수직 높이인 100mm 보다 넓기 때문에 선술된 전단키 위치에서의 횡적 팽창 경향이 띠철근에 의해 적절히 구속되지 못한 것도 강도와 초기 강성 저하의 요인이 되었다.



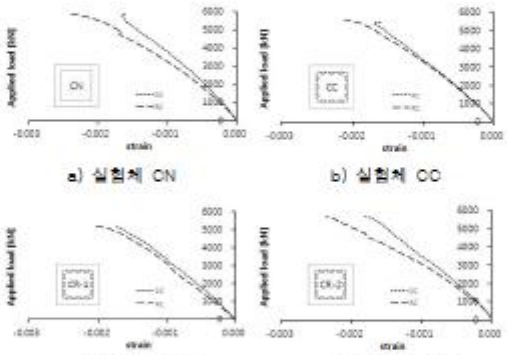
a) PC부의 균열 b) 사다리꼴 전단기의 분리

그림18. 접합면의 파괴 형상

실험체에서 박리된 외부 콘크리트 부분을 떼어낸 후 PC부와 RC부의 접촉면을 확인해 본 결과, 실험체 CC의 경우 기둥의 중앙부 지점의 반구형의 전단키가 PC부에 부착된 상태로 전단파괴가 발생한 것을 확인하였다. 실험체 CR-2의 경우에도 기둥의 상부 지점의 사다리꼴 전단키의 전단파괴가 발생하였다. 그러나 실험체 CC와는 달리, RC부의 내부 접촉면은 PC부에서 전단키가 밀려나 손으로 분리할 수 있을 정도로 간격이 벌어져 있었다. 또한 그림18에서 보이는 바와 같이, PC부의 모서리 균열이 관측되었다.

4.3 변형률 분포

그림19는 PC부의 4면에서 측정된 변형률 평균값과 RC부의 4면에서 측정된 변형률의 평균값을 비교한 것이다. 모든 실험체에서 RC부의 변형률이 더 크게 발생하였다. PC부와 RC부의 변형률 차이를 수치적으로 비교하기 위해서 가력단계에 따른 PC부 변형률 대비 RC부 변형률의 값을 표6와 그림20에 나타내었다. 여기서는 RC부 변형률의 평균값(ε_{rc})을 PC부 변형률의 평균값(ε_{pc})으로 나누는 방식으로 계산되었다.



a) 실험체 CN b) 실험체 CC

a) 실험체 CR-1 b) 실험체 CR-2

그림19. 평균 변형률

표6. PC부 변형률 대비 RC부 변형률

	$\varepsilon_{rc}/\varepsilon_{pc}$			
	CN	CC	CR-1	CR-2
$0.25P_0$	1.18	1.08	1.20	1.15
$0.5P_0$	1.21	1.08	1.16	1.19
$0.75P_0$	1.25	1.07	1.08	1.27
P_0	1.61	1.84	1.17	1.81

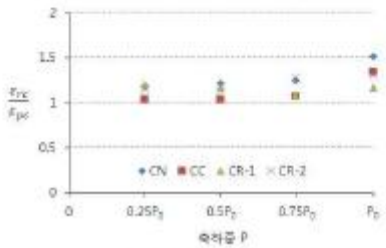


그림20. PC부 변형률 대비 RC부 변형률

156

P_0인 경우의 변형률 측정값은 실치된 게이지 부근의 균열 및 탈락에 의한 영향으로 값의 변동이 크다. 따라서 측정된 값을 분석대상에서 제외하였으며, P_0의 0.25, 0.5, 0.75배인 시점에서의 변형률을 대상으로 비교하였다. PC부와 RC부의 변형률은 실험체 CR-1을 제외하고 하중이 증가할수록 차이가 커지는 것을 확인할 수 있다. 실험체 CR-1의 경우, 각 게이지를 확인한 결과 스트레인게이지가 $0.5P_0$에서 탈락된 것을 확인할 수 있다. 이 영향에 따른 측정값의 변동 차이로 인해 $\varepsilon_{rc}/\varepsilon_{pc}$ 값의 차이가 타 실험체와 상이한 양상을 보인 것으로 사료된다.

실험체 CN의 경우 18-25%의 변형률 차이를 보였고, 실험체 CC는 3-7%의 변형률 차이를 보였다. 또한 실험체 CR-1은 8-20%의 차이를, 실험체 CR-2는 15-27%의 변형률의 차이를 나타내었다. PC와 RC의 변형률이 유사하다는 것은 PC부와 RC부 간 일체 거동을 통해 합성단면에서 변형이 균등하게 발생한다는 것을 의미한다. 변형률 결과 분석에 따르면, 반구형 전단키를 배치한 실험체 CC에서 PC부와 RC부 사이의 일체성이 가장 크게 확보되며, 실험체 CR-1, CR-2의 경우 전단키가 없는 실험체 CN과 비슷한 수준의 일체성을 나타냈다.

전단키의 파괴 시점을 파악하기 위해 PC부와 RC부의 변형률의 차이로 인한 상대적인 변위차이($L\varepsilon_{0,rc}-L\varepsilon_{0,pc}$)를 이용하여 전단키의 전단변형률을 구하였다.[14] 하중가력으로 인한 PC부와 RC부 사이의 전단력(V_u) 값은 전단변형률에 면적을 곱하여 구하였으며 표7에 제시되었다.

표7. PC부와 RC부 사이의 필요 전단력

	V_u (kN)			
	CN	CC	CR-1	CR-2
$0.25P_0$	-	868	7180	6000
$0.5P_0$	-	2174	12851	14890
$0.75P_0$	-	7288	9948	85482

표8. 전단키와 마찰면 설계 강도

	V_n (kN)			
	CN	CC	CR-1	CR-2
지압강도	-	1614	2271	2271
전단강도	-	840	482	482
마찰강도	8678	8678	8678	8678

표8에서 계산된 설계 강도(V_n)의 경우 전단강도와 마찰강도를 합한 값으로 산정하였다. 전단강도는 건축구조기준[8]에 따른 값으로 구하였고 마찰강도는 ES^2 합성기둥 개발 보고서[4]에서 수행한 실험값을 적용하였다. 설계강도(V_n)와 필요 전단력(V_u)을 비교한 결과 실험체 CC의 경우 최대하중의 0.6~0.75배인 지점에서 $V_u > V_n$인 값으로 전단키의 파괴가 진행된 것으로 분석되며 실험체 CR-1, CR-2의 경우 최대하중의 0.25배 이전의 지점에서 $V_u > V_n$인 값으로 전단키의 파괴가 진행된 것으로 분석된다.

6. 압축강도 예측식

ES^2 합성기둥을 실제 현장에 적용하기 위해서는 최대 압축강도를 정확하게 예측할 수 있어야 한다. 이 연구에서는 PC부와 RC부의 강도를 단순 누가하는 방식으로 이론식을 제안하였고, 압축실험을 통해 얻어진 결과와 이론식을 통해 계산된 값을 비교하였다.

건축구조기준[8]에 의한 일반 철근콘크리트 기둥단면의 압축강도는 식(2)로 계산된다.

$$P_0 = 0.85 f_{ck}(A_g - A_{st}) + f_y A_{st} \qquad (2)$$

여기서, f_{ck}는 콘크리트의 설계기준압축강도, f_y는 철근의 설계기준항복강도, A_g는 기둥단면적, 그리고 A_{st}는 주철근 총 단면적을 나타낸다. 이를 바탕으로 ES^2 합성기둥의 단면압축 강도식을 다음 식(3)과 같이 예측하였다.

$$P_{0.ml} = 0.85 f_{ck1}(A_1 - A_{st1}) + 0.85 f_{ck2}(A_2 - A_{st2}) + f_y A_{st} \qquad (3)$$

위 식에서 f_{ck1}과 f_{ck2}는 각각 PC부와 RC부 콘크리트의 설계기준압축강도, A_1과 A_2는 각각 고강도 PC부와 일반강도 RC부의 단면적을 나타낸다. 또한 A_{st1}과 A_{st2}는 PC부와 RC부에 각각 배치된 주철근의 단면적이다. 이 식에 표2 및 표3의 재료시험 결과값을 대입하면, 실험체의 이론 압축강도($P_{0.cal}$)는 6218kN로 예측된다.

표9. 이론식과 실험에 의한 최대 압축강도의 비교

실험체명	$P_{0.ml}$ (kN)	P_0 (kN)	$P_0/P_{0.ml}$
CN	6218	6881	1.12
CC	6218	6502	1.05
CR-1	6218	6175	0.99
CR-2	6218	6680	1.08

식(3)의 이론식과 실험결과에 의한 최대 압축강도를 비교하여 표9에 나타내었다. 이론값($P_{0.cal}$)에 대한 실험에 의한 최대 압축강도(P_0)의 비($P_0/P_{0.cal}$)는 0.99~1.12배의 분포를 보였다. 전단키를 배치한 실험체들(CC, CR-1, CR-2)은 모두 전단키가 없는 실험체 CN보다 작은 내력을 나타내었으며 실험체 CR-1의 경우 실험체 CN 대비 11%까지 감소된 내력값을 나타내었다.

전단키를 배치한 실험체들의 강도감소는 최대하중 이전의 전단키의 파괴로 인한 전단키 면적의 단면 손실에 기인한 것으로 보인다. 따라서 PC부 단면 계산시 전단키 면적을 제외한 유효면적($A_{1,eff}$)을 산정하여 단면압축강도($P_{0.eff}$)를 계산하였다. 식(4)의 각 항은 식(3)과 같으며 A_1의 경우 유효면적을 적용하여 $A_{1,eff}$로 대체하였다. 계산값은 표10에 제시되었다. $P_{pc.eff}$는 PC부의 유효 단면압축강도이며 P_{rc}는 RC부의 단면압축강도이다.

$$P_{0.eff} = 0.85 f_{ck1}(A_{1.eff} - A_{st1}) + 0.85 f_{ck2}(A_2 - A_{st2}) + f_y A_{st} \qquad (4)$$

t57

표10. 누가 압축강도 계산 결과

실험체	P_{pc+ff} (kN)	P_{rc} (kN)	P_{0+ff} (kN)
CN	2970	2248	5218
CC	2655	2248	4903
CR-1	2576	2248	4824
CR-2	2576	2248	4824

표11. 수정 이론식과 실험에 의한 최대 압축강도의 비교

실험체명	P_{0+ff} (kN)	P_0 (kN)	P_0/P_{0+ff}
CN	5218	5881	1.12
CC	4903	5502	1.12
CR-1	4824	5175	1.07
CR-2	4824	5580	1.16

수정 이론값(P_{0+ff})에 대한 실험에 의한 최대 압축강도(P_0)의 비(P_0/P_{0+ff})는 표11에 제시된 바와 같이 1.07-1.16배의 분포를 보였다. 실험값은 고른 비율을 보였으며 보수적인 측면에서 수정 이론값을 만족하였다.

6. 결론

내부 고강도 PC부와 외부 일반강도 RC부로 구성된 합성기둥에 대한 압축성능을 평가하기 위해 실험적 연구를 수행하였고, 적용 가능한 압축강도 예측식을 제안하였다. 이 연구의 주요 결론은 다음으로 요약된다.

(1) 전단키가 배치되지 않은 실험체 CN은 최대하중(P_0)이 5881kN으로 가장 큰 강도를 보였으며, 전단키가 설치된 실험체 CC, CR-1, CR-2는 P_0가 실험체 CN에 비해 각각 7%, 12%, 4%로 저하되었다. 초기강성(K_i) 또한 실험체 CN에서 724.0kN/mm로 가장 높았으며, 실험체 CC, CR-1, CR-2는 실험체 CN 대비 각각 11%, 11%, 6% 낮은 값을 나타냈다.

(2) 단순 누가방법에 의해 제안된 압축강도 예측값과 실험값을 비교한 결과, 실험에 의한 최대 압축강도(P_0)는 예측값(P_{0+ff}) 대비 0.99-1.12배의 분포를 나타내며 큰 편차를 나타냈다. 전단키의 파괴로 인한 단면손실을 적용한 수정 이론식(P_{0+ff})과 최대 압축강도를 비교한 결과 수정 이론식 대비 1.07-1.16 배의 고른 분포를 보였다.

(3) 외부 RC부와 내부 PC부에 대한 측변변형률 분석 결과, 실험체 CN, CC, CR-1, CR-2는 RC와 PC부에서 각각 18-26%, 3-7%, 8-20%, 15-27%의 변형률 차이를 나타내었다. 반구형 전단키를 배치한 실험체(CC)에서 PC부와 RC부 사이의 축방향 일체성이 가장 크게 확보되며, 사다리꼴형 전단키를 배치한 실험체는 전단키가 없는 실험체(CN)와 거의 유사한 일체성을 보였다.

(4) 실험체 CC의 경우 최대하중의 0.6배 이전에 전단키의 파괴가 진행되었으며 실험체 CR-1, CR-2의 경우 최대하중의 0.26배 이전에 전단키의 파괴가 진행된 것으로 분석되었다.

(5) 실험체 CC, CR-1, CR-2는 단면 손실로 인한 압축내력 감소를 보였다. 반면 변형률 분석 결과 실험체 CC의 PC부와 RC부 사이의 일체성이 가장 높았다. 편심압축을 받을 경우 타원형 전단키의 배치가 유리하게 작용할 것으로 예상된다. 향후 연구에서는 전단키의 이른 파괴를 보완할 수 있는 전단키의 크기 및 형상 배치에 대한 변수와 내·외부 콘크리트의 강도차이에 대한 변수가 고려되어야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. 오명호, 김광석, 김명한, 「비조밀 단면을 사용한 SC 합성 기둥의 압축 내력에 관한 실험적 연구」, 대한건축학회 논문집, 20권 10호, p.p. 103-110, 2004
2. 김형근, 김명한, 조남규, 「yLRC 합성기둥의 압축강도에 관한 실험 연구」, 한국강구조학회논문집, 21권 6호, p.p. 645-652, 2009
3. 김명한, 「내부 브레이스 보강 yLRC 합성기둥의 압축강도 및 거동에 관한 실험 연구」, 한국방재학회논문집, 12권 1호, p.p. 9-14, 2012
4. 주영규, 「건설에너지 저감형 ES^2 시스템 개발」, 고려대학교, 2012
5. Wium Jan A., Lebet Jean-Paul, 「Simplified Calculation Method for Force Transfer in Composite Columns」, J. Struct. Eng., Vol.120, No.8, p.p.728-746, 1994
6. Roeder Charles W., Chmielowski Robert, Brown Colin B., 「Shear Connector Requirements for Embeddeed Steel Sections」, J. Struct. Eng., Vol.125, No.2, p.p. 142-151, 1999
7. 민진, 정인근, 심창수, 「강재 매입형 합성기둥의 합성작용에 관한 실험」, 한국콘크리트학회 논문집, 17권 3호, p.p. 393-400, 2005
8. 대한건축학회, 「건축구조기준 및 해설」, 8판, 기문당, 서울, p.812, p.819, p.830, p.833, 2009
9. 김영중, 홍갑표, 「탄소섬유쉬트 휨방향에 따른 콘크리트 기둥 보강성능」, 한국건축시공학회지, 11권 4호, 326-332, 2011
10. 한국표준협회, KS F 2403, 콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작방법, 2010
11. 한국표준협회, KS F 2405, 콘크리트의 압축강도 시험방법, 2010
12. 한국표준협회, KS B 0801, 금속 재료 인장 시험편, 2007
13. 한국표준협회, KS B 0802, 금속 재료 인장 시험 방법, 2013
14. Gere James M., 「재료역학」, 6판, 교보문고, 서울, p.81-84, p.212-217, 2009

다. 학술기사(1)
(1) 2차년도 공간구조학회

학 술 기 사

PHC파일-기둥 간 주강 접합부(HAT Joint)

Cast steel Joint between PHC Pile and Column


김 상 봉*
Kim, Sang-Bong


오 진 탁**
Oh, Jin-Tak


김 영 식***
Kim, Young-Sik


장 성 훈****
Jang, Sung-Hun


주 영 규*****
Ju, Young-Kyu

1. 연구배경

본 연구는 〈그림 01〉과 같은 대공간 구조물의 시공 시 기초 공사의 문제점을 해결하기 위해 시작하였다. 기존의 강재 대공간 구조물은 직접 기초를 사용하였다. 직접기초란 땅 위에 설치되는 기초형식으로 연약지반 위에 설치될 경우 부동침하가 생길 수 있다. 부동침하로 인한 예상치 못한 하중은 건물 붕괴로 이어질 수 있다. 또한 기초의 크기 및 타설량 증가는 공기와 공사비용의 증가로 이어진다.

따라서 이러한 단점을 보완하고 보다 더 효율적인 기초시공을 위해 대공간구조물의 기초를 대체하는 방안을 연구하였다. 직접기초의 단점인 부동침하를 방지하기 위해 말뚝기초를 고려하였으며, 가장 먼저 검토되었던 말뚝은 현장타설 콘크리트 말뚝이다. 현장타설 콘크리트 말뚝은 올케이싱 공법, 어스드릴 공법, R.C.D 공법이 주로 사용된다. (〈그림 2 (a), (b), (c)〉)

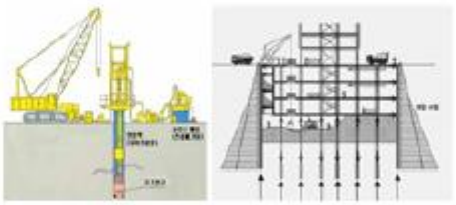

〈그림 1〉 강재 활용한 대공간 구조물

이와 같은 현장타설 말뚝들은 기둥의 수직, 수평도를 맞추기 간편하며 기둥의 위치 등을 변경하는데 용이하여 일반적인 시공현장에서 많이 사용되고 있다. 하지만 시공 장비의 대형화와 시공 시 사용하는 안정액 사용으로 인한 환경오염의 발생, 현장에서 콘크리트를 타설하기 때문에 발생하는 균일한 품질관리의 어려움, 그리고 별도의 양생기간을 필요로 하여 공사기간이 길어지는 단점을 갖고 있다.

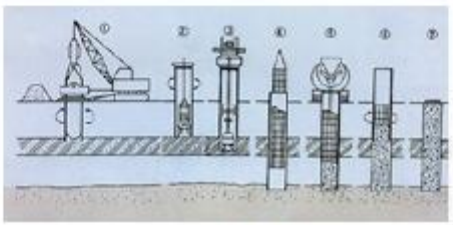
* 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정
** 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정
*** (주)영구조엔지니어링 대표
**** 롯데건설(주) 기술연구원 팀장
***** 고려대학교 건축사회환경공학부 교수



(a) 올케이싱 공법



(b) 어스드릴 공법



(c) R.C.D 공법

〈그림 2〉 현장타설말뚝의 종류

따라서 현장타설 말뚝의 단점들을 해소하고자 기성 말뚝의 사용을 검토하였다. 기성 말뚝은 PHC (Pretensioned spun High strength Concrete) Pile과 Precast Concrete Pile 등이 있다. 이 중 보다 상용화가 넓게 이뤄진 PHC 말뚝을 사용하는 방안을 채택하였다.

PHC 파일은 1992년에 일본에서 기술을 도입하여 생산을 시작한 기술로서 2000년대에는 국내 콘크리트 파일 생산량의 90% 이상을 차지하고 있다. 공장에서 철근을 거푸집에 삽입, 콘크리트 주입 파일에 인장을 가하여 프리스트레스를 준 뒤, 원심성형공정을 거쳐 고온고압양생(오토클레이빙)을 하여 제품을 제작하여 품질관리 면에서 현장타설 말뚝에 비해 우위에 있다고 할 수 있다.

일반적인 공사현장에서는 직경 500~600mm의 PHC 파일이 가장 많이 사용되어 왔지만 대공간구조물의 기초로 사용하기에는 너무 작기 때문에 직경 1,000 mm의 대구경 PHC 파일을 활용하여 대공간 구조물의 기초로써 활용할 수 있는 방법을 검토하였다.

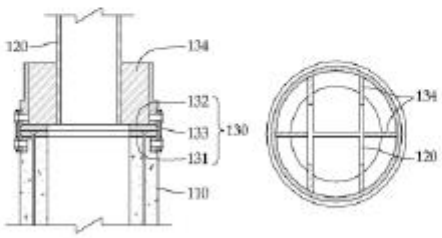
공동연구기관인 (주)삼표이앤씨에서 2009년 700 ~1,200mm 대구경 PHC 파일 생산 기술을 구축하였고, 특히 포스코 건설과 공동으로 세계 최고 강도인 130MPa PHC 파일을 개발하는 등 국내 PHC 파일 생산기술은 세계 최고 수준이다.

2. 주강 접합부(HAT Joint) 개요

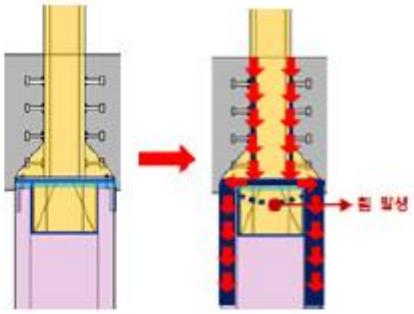
PHC 파일을 대공간 구조물에 활용하기 위해서는 PHC 파일과 기둥 간의 접합부에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다. 이러한 접합부에 대한 연구는 '복합파일을 이용한 지하골조구조물 시공방법(출원번호 : 10-2010 -0066954)', '기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝(출원번호 10-2010-0068233)' 등이 있다.

〈그림 3〉은 기존에 사용되던 PHC파일과 강재 기둥을 연결하는 접합부의 상세에 관한 것을 나타내었다. 그러나 이러한 접합부는 PHC 파일 증공부에서 발생하는 휨을 제어하기 어려워 필요이상으로 베이스 플레이트가 과다해지며, 과다한 리브플레이트(Rib-Plate)의 활용으로 시공방법 또한 쉽지 않다.(〈그림 4〉)

PHC 파일을 활용하여 대공간구조물의 기초로 활용하기 위해서는 PHC 파일 증공부에서 발생하는 휨을 효과적으로 제어할 수 있는 형태를 개발해야 한다.

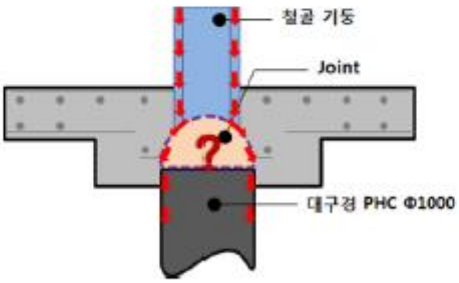


〈그림 3〉 기존 PHC 파일과 강재 기둥 접합 상세



〈그림 4〉 PHC 파일 중공부에서 발생하는 휨 응력

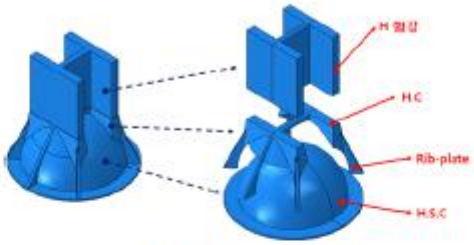
본 연구에서는 이러한 PHC 파일 중공부에서의 휨을 제어하기 위해 반구형의 접합부를 개발하였다. 〈그림 5〉에 나타낸 것과 같이 PHC 파일과 강재 기둥을 연결하는 부분을 반구형으로 활용함으로써 기존의 축력→휨→축력으로 전달되는 기둥에서 말뚝까지의 하중 전달 메카니즘을 축력→축력→축력으로 전환시켜 하중 전달 과정에서의 손실을 최소화하고 경제적인 물량의 사용을 가능하게 하였다. 또한 PHC 파일 설치, 접합부 설치, 기둥 설치로 이어지는 간편한 시공이 가능하게 되었고 PHC 파일 설치 이후 기초 타설 없이 기둥을 설치할 수 있어 상부의 골조공사를 지하 공사와 동시에 진행할 수 있게 됨으로 공기 단축에 있어서도 탁월할 것으로 판단된다.



〈그림 5〉 PHC 파이 강재기둥 접합부 제안

3. HAT Joint 소개

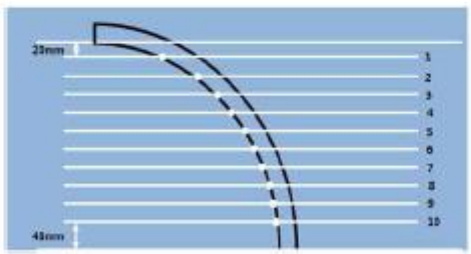
HAT Joint는 상부 기둥 형상에 따라 H, T, P, K 총 4가지 Type으로 개발되었다. 4가지 Type 중 가장 먼저 개발된 H형 Type을 예로 HAT Joint를 소개하도록 하겠다.



〈그림 6〉 HAT Joint 기본형상

〈그림 6〉은 H Type의 기본 프로토타입이다. 이는 Hollow hAlf-sphere sTeel로 HAT Joint라 명명하였으며, 기본적으로 H.S.C(Half Sphere Connector), Rib-plate, H.C(H-Column Connector)를 갖는다.

H.S.C는 기존의 접합부들이 플레이트를 이용하여 휨으로 인한 처짐을 막기 위해 과도한 두께를 가지는 것을 방지하기 위해 반구형으로 고안되었다. 상부의 하중을 축력만으로 PHC 파일에 전달하는 역할을 하며 또한 PHC 파일과 결합하기 위한 볼트 구멍을 가지고 있다. 반구 내부에는 특정 지점에서 하중이 집중되는 현상을 완화하기 위해 링 모양으로 내부를 보강하였으며 이는 각 Type별로 그 위치가 다르다(〈그림 7〉).



〈그림 7〉 내부보강 Ring 위치

Rib-Plate는 상부의 하중을 효과적으로 H.S.C로 전달하는 역할을 한다. 하중이 전달과정에서 기둥 형상에 따른 하중 분포는 Type별로 달라진다. 따라

서 각 Type은 각각의 최적화된 Rib 개수를 가지며 기본적으로 기둥 형상의 모서리 부분의 하중을 골고루 전달하기 위함이다.

H,C는 상부철골 기둥을 H,S,C에 접합할 수 있도록 한다. 당연히 각 Type별로 Connector의 모양은 달라지며, 이름 또한 T,C, P,C, K,C로 바뀌게 된다. 이는 Rib-Plate와 함께 H,S,C의 하중 전달에 중요한 역할을 한다. 단순히 H,S,C와의 접합을 위한 형상은 접합 지점에 과도한 하중을 부여하기 때문에 H,S,C의 Snap-through buckling등의 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 Connector는 접합부위에서 완만한 곡률을 가져야 하며, 곡률 정도는 해석을 통해 판별하였다. 이와 같이 다소 복잡할 수 있는 접합부의 형상을 효과적으로 구현하기 위해 HAT Joint는 SCW550 주강으로 제작하였다.

예로 설명한 H Type을 기본으로 각형(T Type), 원형(P Type), 왕형(K Type)에 대한 개발을 진행하였으며 이 세가지 Type들의 기본 형상은 아래 〈그림 8〉과 같다.



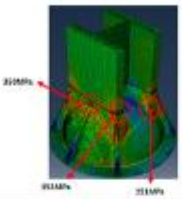
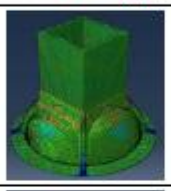
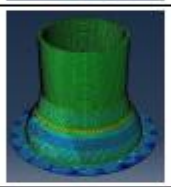
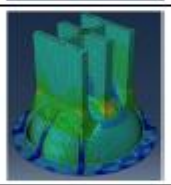
〈그림 8〉 HAT Joint T,P,K Type 형상

각 Type의 Joint들은 ABAQUS 유한요소 프로그램을 이용하여 최적 Prototype을 도출하였으며, 이를 구조 성능 평가를 통해 검증한다.

4. 구조 해석 및 성능 평가

구조 해석은 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS/CAE V6.10을 사용하였으며, 허용압축강도 1500ton을 만족하는 Type별 최적 Prototype을 변수비교를 통해 도출하였다.

변수로는 H,S,C 두께, 내부 Ring 보강 위치, Rig 개수 등이 있으며 다음은 각 Type별 FEM 해석 결과이다(〈그림 9〉).

	Prototype	FEM 해석
H Type	내부보강 7번 두께 30mm 리브개수 6개	
T Type	내부보강 6.5번 두께 30mm 리브개수 6개	
P Type	내부보강 7번 두께 28mm 리브개수 0개	
K Type	내부보강 8번 두께 30mm 리브개수 6개	

〈그림 9〉 유한요소 해석 결과

유한요소 해석으로 도출된 Prototype에 대하여 H



〈그림 10〉 압축 실험 사진

Type에 대해서는 〈그림 10〉과 같은 압축 실험을 통해 구조 성능 평가를 진행하였으며, 해석과 유사한 결과를 확인할 수 있었다. 나머지 Type에 대해서도 이와 같은 방법으로 성능 평가를 진행할 예정이다.

5. 시공 프로세스

HAT Joint는 시공 시 PHC 파일 길이 조정에 따른 프로세스가 필요하며, 이는 아래와 같다(〈그림 11〉).

1) 공장 생산된 PHC 파일을 기초 시공 후 서로 다른 위상을 갖는 PHC 파일의 두부를 절단한다.
2) 불균일한 절단면을 보완하기 위해 PHC 파일 내부 마개를 설치한 후 파일 캡을 설치하고 수평레벨을 조정한다.
3) PHC 파일 캡 하부를 실리콘으로 마감한 후 무수축 모르타르를 주입 및 양생한다.
4) 볼트 구멍을 천공한 후 PHC 파일캡과 PHC파일을 볼트로 결합한다.
5) HAT Joint와 PHC 파일캡을 볼트로 결합한다.

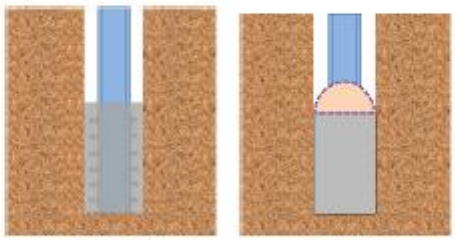


〈그림 11〉 시공 프로세스

6. 경제성 평가

개발한 HAT Joint를 이용하게 되면 앞에서 언급한 현장 타설 말뚝 기초 시스템 뿐만 아니라 일반 PHC 파일 기초 시스템을 효과적으로 대체할 수 있다. 이러한 기초 시스템 대체 효과를 롯데건설(주)에서 시공하고 있는 현장을 예로 기존과의 비교를 통해 경제성 분석을 진행하였다.

우선 현장 타설 말뚝은 파일 홈 천공→파일 콘크리트 타설→철골기둥 근입→양생으로 이어지는 습식 공법이다. 이를 HAT Joint를 이용하게 되면 파일 홈 천공→'공장 제작된 파일+HAT Joint+철골기둥' 근입으로 단순화 될 수 있다(〈그림 12〉). 특히 콘크리트 양생 기간을 기다리지 않고도 다음 공사를 진행할 수 있다는 면에서 공기 단축에 큰 기여를 할 수 있다.



기존 공법 제안 공법

〈그림 12〉 현장 타설 말뚝 대체 방안

말뚝 직경 1,000mm과 50.12m 굴착을 기준으로 했을 시 기존 공법 대비 1본당 140만원의 절감 효과가 있다. 이는 순수 시공 비용만을 언급한 것으로 공기 단축 효과 까지 생각하면 상당한 비용이 절감될 것으로 기대된다.

다음으로 일반 PHC 파일 기초 시스템의 대체 효과를 살펴보았다(〈그림 13〉).

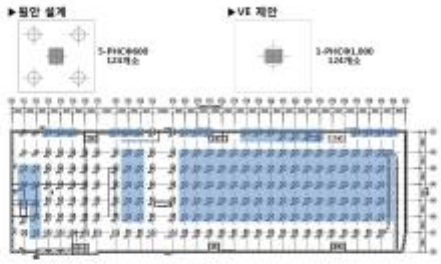


기존 공법 제안 공법

〈그림 13〉 일반 PHC Pile 기초 대체 방안

기존 '파일설치→파일 두부 정리 및 보강→앵커볼트 매립→기초 타설→베이스 플레이트 설치→기둥 설치→상부층 공사'로 이어지던 공정에서 '파일 설치→HAT Joint 및 기둥 설치→상부층 공사 진행→기초 타설'로 단순화 시킬 수 있다. 역시 기초 타설 후 골조 공사 전 양생기간이 필요한 기존 공법과는 달리 기초 타설 전 골조 공사가 가능하게 됨으로써 공기 단축 효과가 뛰어나다.

이를 〈그림 14〉과 같은 복합쇼핑몰에 보다 상세한 경제적 검토를 수행하였다(〈표 1〉, 〈표 2〉).



〈그림 14〉 복합쇼핑몰 VE검토

〈표 1〉 원안 설계

일위대가		공사기간
수량(m)	620본×25m =15,500m	620본÷20(본/1일)=31일
비용(원)	1,035,229,500	

내역	단가(원)	수량	금액(천원)
자재비	43,789	15,500m	678,729
시공비	15,000	15,500m	232,500
용접조인트	170,000	620개소	105,400
용접비	30,000	620개소	18,600
총계			1,035,229

〈표 2〉 VE 제안 설계

일위대가		공사기간
수량(m)	124본×25m =3,100m	124본÷10(본/1일)=12.4일
비용(원)	674,528,504	

내역	단가(원)	수량	금액(천원)
자재비	133,835	3,100m	414,888
시공비	62,000	3,100m	192,200
용접조인트	480,000	124개소	59,520
용접비	63,871	124개소	7,920
총계			674,528

〈그림 13〉의 대체 설계에 대해 경제성 분석을 한 결과를 〈표 1〉과 〈표 2〉로 정리하였다. 해당 공사현장에 대해 공사기간은 약 17일 단축, 공사비 약 34.8%가 절감하였으며, 파일 수량은 약 500본 감소하는 효과가 나타났다. 이러한 경제성 분석을 토대로 실제 시공 현장에 HAT Joint를 시험 시공하여 그에 대한 효과를 증명할 계획을 진행 중이며, 현재 공동연구기관 및 협력업체와 검토·협의 중이다.

7. 결 언

본 연구에서는 대공간 구조물에 사용되던 직접기초를 PHC 파일을 이용한 말뚝기초로 대체하는 방안을 접합부 개발을 통해 도출하였다. 연구를 통해 도출된 각 타입별 Prototype은 아래와 같다.

〈표 3〉 Hat Joint Prototype

Type	두께	링보강위치	리브개수
H	30mm	7번	6개
T	30mm	6.5번	6개
P	28mm	7번	0개
K	30mm	8번	6개

이와 같은 접합부 개발을 통해 기존 현장 타설 말뚝으로 시행되던 시공을 PHC 파일로 대체할 수 있으며, 역타 공법 등의 관련 시공법들에 대해 경제성 분석을 통하여 그 효과를 확인하였다.

HAT Joint는 현재 직경 φ 1000의 PHC파일용으로 개발되었으며, 해당 PHC 파일을 기초로 사용하는 다양한 현장에 시공편리, 공기단축, 경제성 등의 우수한 효과를 나타낼 것을 기대한다.

References

1. 천영수, 박종배, 심영종, 강인석, PHC말뚝과 기초판 접합부 상세에 관한 연구, 한국콘크리트학회 2009년 봄 학술발표회 논문집, 2009
2. YS Lee, JT Oh, YS Kim, YK Ju, Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column, Part I:Analysis, Applied Mechanics and Materials Vol.470 pp958-961, Switzerland, 2014
3. YS Lee, JT Oh, YS Kim, YK Ju, Hemisphere-Shaped Iron Joint between PHC Pile and Steel Reinforced Concrete Column, Part II:Experiment, Applied Mechanics and Materials Vol.470 pp 950-953, Switzerland, 2014

라. 특허

(1) 디자인등록 2차년도

디자인등록증

CERTIFICATE OF DESIGN REGISTRATION

등 록 제 30-0776950 호
(REGISTRATION NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER)	제 2014-0011459 호
출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD)	2014년 03월 07일
등 록 일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)	2014년 12월 16일
등록의 구분 (TYPE OF REGISTRATION)	심 사 등 록 (EXAMINED REGISTRATION)

디자인의 대상이 되는 물품 (ARTICLE THAT IS THE OBJECT OF THE DESIGN)
건축 구조재용 연결구

디자인권자 (OWNER OF THE DESIGN RIGHT)
등록사항란에 기재

창작자 (CREATOR)
등록사항란에 기재

위의 디자인은 「디자인보호법」에 따라 디자인등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE DESIGN IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2014년 12월 16일

특허청장 김 영 [illegible]
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

연차등록료는 2017년부터 매년 12월 16일까지 납부하여야 하며, 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

(2) 디자인등록 2차년도

디자인등록증

CERTIFICATE OF DESIGN REGISTRATION

등 록 제 30-0776951 호
(REGISTRATION NUMBER)

출원번호 (APPLICATION NUMBER)	제 2014-0011461 호
출 원 일 (FILING DATE:YY/MM/DD)	2014년 03월 07일
등 록 일 (REGISTRATION DATE:YY/MM/DD)	2014년 12월 16일
등록의 구분 (TYPE OF REGISTRATION)	심 사 등 록 (EXAMINED REGISTRATION)

디자인의 대상이 되는 물품 (ARTICLE THAT IS THE OBJECT OF THE DESIGN)
건축 구조재용 연결구

디자인권자 (OWNER OF THE DESIGN RIGHT)
등록사항란에 기재

창작자 (CREATOR)
등록사항란에 기재

위의 디자인은 「디자인보호법」에 따라 디자인등록원부에 등록되었음을 증명합니다.

(THIS IS TO CERTIFY THAT THE DESIGN IS REGISTERED ON THE REGISTER OF THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE.)

2014년 12월 16일

특허청장 김 영 [illegible]
COMMISSIONER, THE KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

연차등록료는 2017년부터 매년 12월 16일까지 납부하여야 하며, 등록원부로 권리관계를 확인바랍니다.

(3) 특허출원 1차년도

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2014.03.07
특 기 사 항	심사청구(무) 공개신청(무) 참조번호(KP14434)
출 원 번 호	10-2014-0026886 (접수번호 1-1-2014-0222904-86)
출원인 명칭	(주)영구조엔지니어링(1-2008-023645-1)
대리인 성명	강귀응(9-2004-000248-3)
발 명 자 성 명	주영규 김영식 오진탁 이연승 박노웅 김정현
발 명 의 명 칭	반구형 HAT 조인트를 이용한 스피드 업 공법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

(4) 특허출원 1차년도

관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2014.03.07
특 기 사 항	심사청구(무) 공개신청(무) 참조번호(KP14435)
출 원 번 호	10-2014-0026891 (접수번호 1-1-2014-0222934-45)
출원인 명칭	(주)영구조엔지니어링(1-2008-023645-1)
대리인 성명	강귀용(9-2004-000248-3)
발 명 자 성 명	주영규 김영식 오진탁 이연승 박노웅 김정현
발 명 의 명 칭	PHC 파일 길이 조정용 스마트 선단캡 및 이를 이용한 파일 길이 조정방법

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

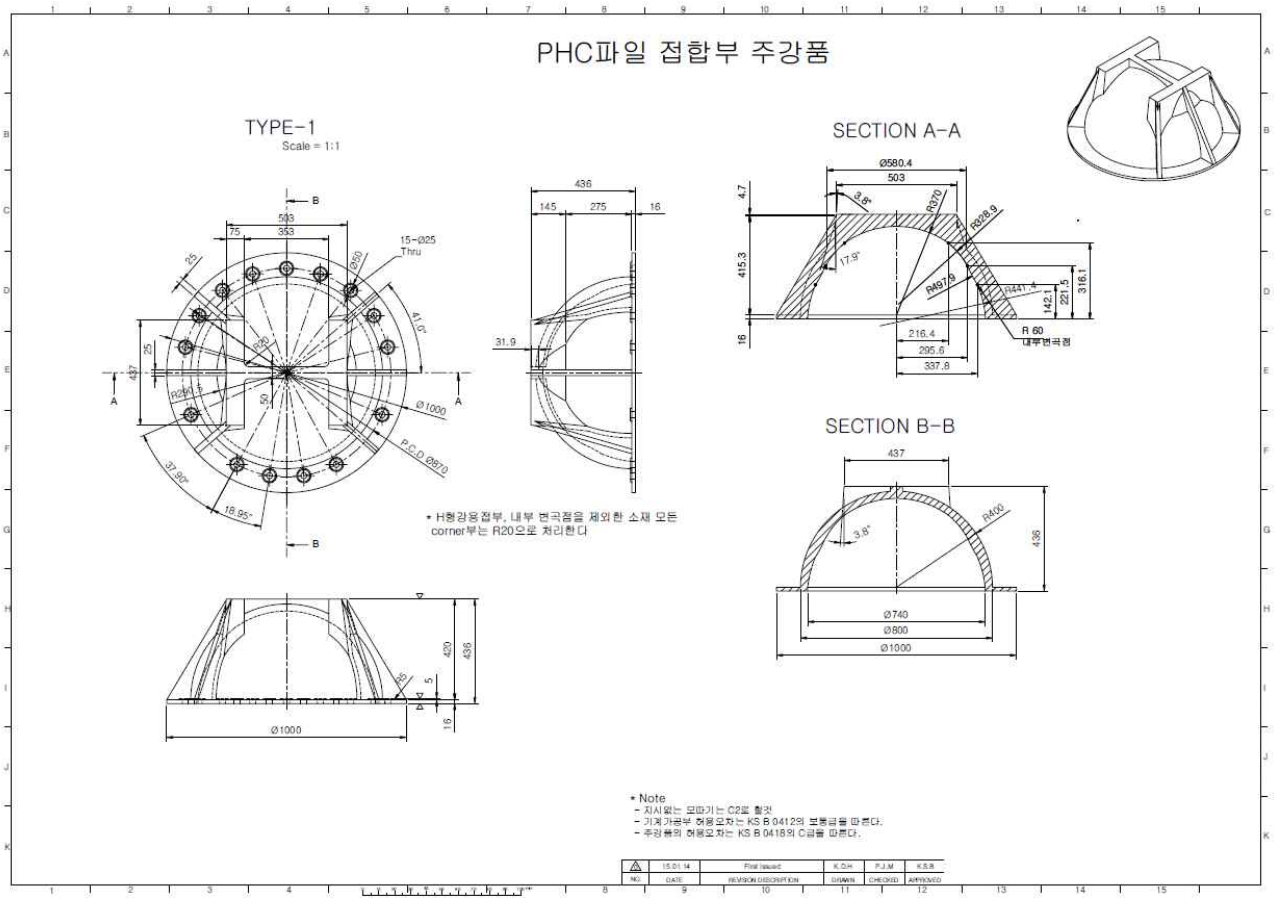
3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [출원인코드 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

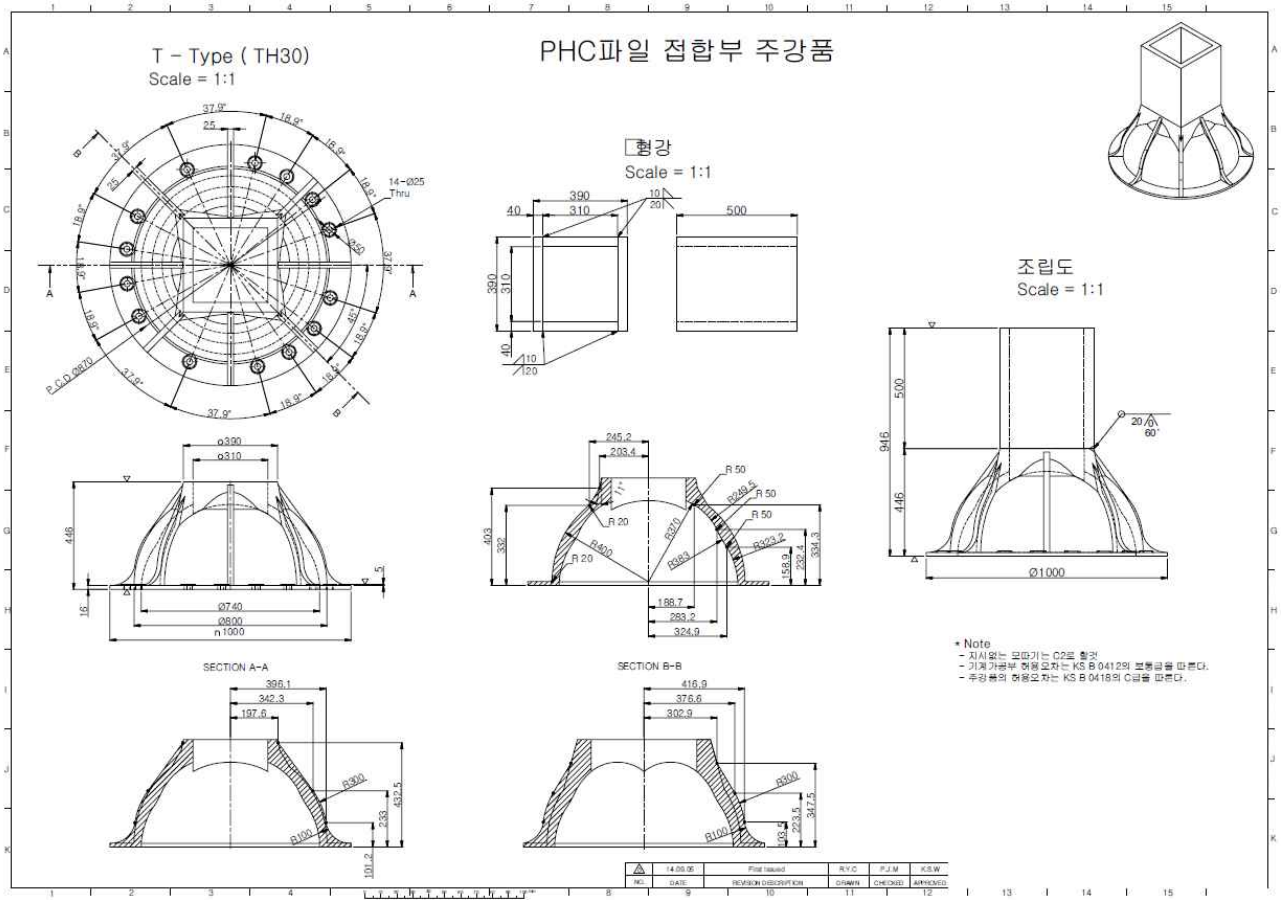
5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)]를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

마. 도면(4)

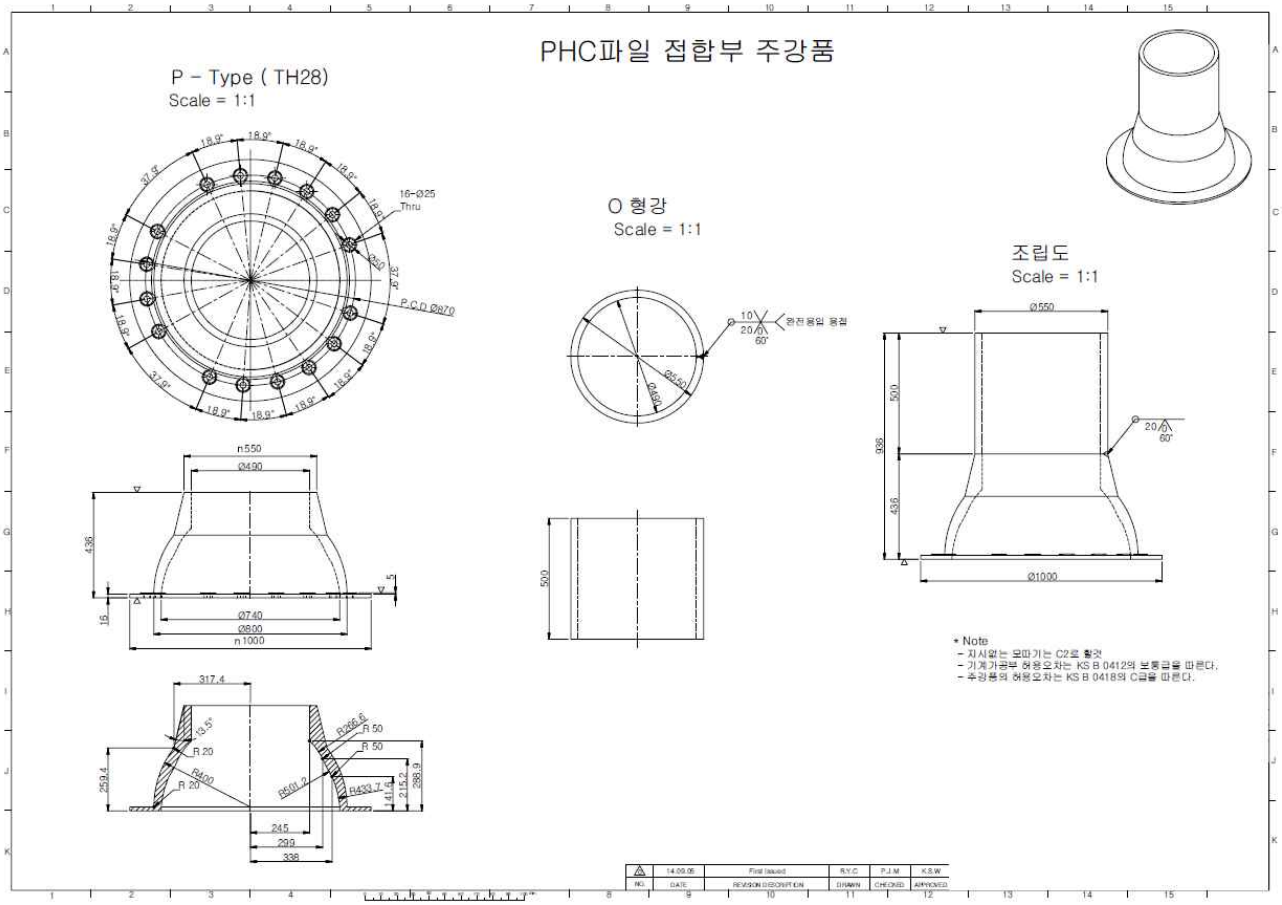
(1) H-Type



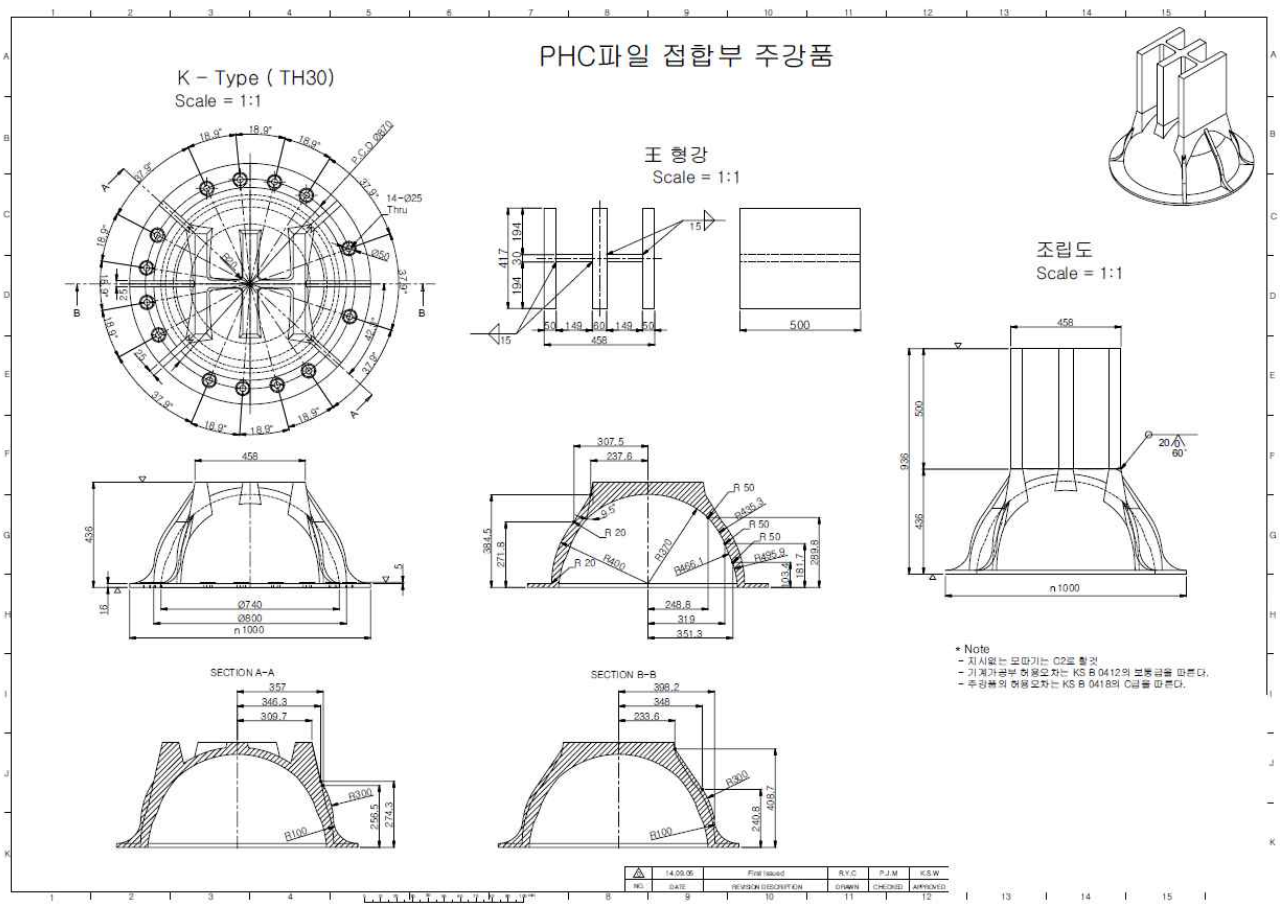
(2) T-Type



(3) P-Type



(4) K-Type



바. 시방서(5)
(1) HAT Joint 제작 특별시방서

Hat Joint 제작 특별시방서

2015년

목 차

1. 일반사항
1.1 적용범위
1.2 품질방침

2. 재 료
2.1 재료규격

3. 제 작
3.1 주강품의 제조
3.2 주강품의 결함의 보수
3.3 기계가공
3.4 제작정밀도
3.5 시험 및 검사

4. 도 장
5.1 도장사양
5.2 도장구분
5.3 도장조건
5.4 도장작업
5.5 도장검사

5. 포장, 운송
6.1 포장
6.2 운송

6. 제출서류

1. 일반사항

1.1 적용범위

1) 본 시방서는 건축 구조에 사용되는 Hat Joint 주강품 제작에 관하여 적용한다.

2) 계약 상대자는 주강품 제작에 앞서, 설계도서의 내용을 확인하고 품질관리 체계를 밝힌 품질관리 요령, 품질보증을 행하기 위한 작업요령 및 검사요령을 작성하여 감독원의 승인을 얻어야 한다.

3) 계약 상대자는 주강품 제작 전에 상세 구조해석을 실시하여 구조물 및 주강품의 안전성을 확인해야 하여, 그 결과를 문서로 제출해야 한다.

4) 계약 상대자가 설계내용을 변경하고자 하는 경우에는 미리 변경내용, 변경사유 등을 신속히 제출하여 감독원의 승인을 받아야 한다.

5) 각 검사완료시에는 검사보고서를 제출한다.

1.2 품질방침

1) 계약 상대자는 주강품 제조 후 강성과 안정성을 확인을 할 수 있도록 2,500톤 이상의 압축시험 장치와 150톤 이상의 피로시험 장치를 보유해서 상시 시험이 가능해야 한다.

2) 계약 상대자는 ISO 9001 품질인증, 연간 20,000톤 이상 생산능력, 성분분석 장치, 열처리로 등을 보유해야 한다.

3) 계약 상대자는 건축구조용 주강품을 납품한 실적이 있어야 한다.

2. 재료

2.1 재료규격

1) 주강품 재료는 표 1의 화학성분과 표 2의 기계적 성질을 만족해야 한다.

표 1. SCW550 화학성분

재질	화 학 성 분 (%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ceq
SCW550	0.22 이하	0.60 이하	1.50 이하	0.040 이하	0.040 이하	2.50 이하	0.50 이하	0.30 이하	0.20 이하	0.45 이하

표 2. SCW550 기계적 성질

재질	항복점 (N/㎟)	인장강도 (N/㎟)	연신율 (%)	샤프리 흡수에너지 (J)	
				충격시험온도 (℃)	V노치 시험편 3개의 평균치
SCW550	355 이상	550 이상	18 이상	0	27 이상

2) 계약 상대자는 사용하는 재료에 관한 규격증명서를 만들어 제출해야 하며, 열처리를 행하는 것에 관해서는 열처리 후의 품질을 보증하는 시험성적표를 감독원에게 제출해야 한다.

3. 제작

3.1 주강품의 제조

1) 모형은 현형 및 경반 형으로 하며, 구조는 조형과 발형에 견디는 것으로서 정밀도는 제품정밀도에 적합한 것이어야 한다. 사용하는 신축은 주강품 재질, 형상, 살 두께, 주형재료 및 구조, 조형방법 등을 고려하여 결정해야 한다. 완성된 모형은 경반 위에서 모형검사를 실시한다.

2) 주형은 원칙적으로 건조형 또는 자경성형으로 하며 주물사는 세라믹 샌드를 사용해야 한다.

3) 유도로를 사용하여 조업을 해야 하며, 합탕을 해야 할 경우에는 그 화학성분 조성범위, 온도, 용탕량 등에 관하여 작업요령에 기재하여 감독원의 승인을 얻어야 한다.

4) 화학성분 분석시험은 각 용강별로 시료를 채취하여 행한다.

5) 주입온도는 주입강종에 적절한 온도를 설정하여 작업요령에 정해두도록 한다.

6) 냉각은 작업요령에 따르고 주조변형, 갈라짐, 휨 등이 생기지 않도록 해야 한다.

7) 서서히 냉각후 형틀풀기를 행하여 모래를 털고 또한 중자 등을 완전히 제거하며 제품에 붙어 있는 탕구, 탕도 및 압탕 등을 절단한다. 단, 변형방지 목적으로 마련된 변형 방지대는 열처리 후에 용단하여 제거한다.

8) 절단 및 모래털기 완료 후 모래의 타 붙은 것, 핀 홈, 균열의 결함의 유무를 살피고 필요한 경우에는 결함보수 기준에 따라 보수를 행하도록 한다.

9) 모래털기 완료 후에 열처리를 실시해야 한다. 열처리 노는 주강품에 대하여 충분한 크기의 것으로 양호한 열관리가 가능한 것을 사용한다.

10) 계약 상대자는 요구 품질에 따라 열처리 방법 및 열처리 온도, 열처리 시간의 관리목표를 정하고 소정의 관리가 행하여지고 있는 지를 검사하여 기록에 남겨야 한다.

11) 열처리 후, 재료 시험기준에 따라 기계적 성질 시험을 행하여야 한다.

12) 주강품에 용접 등의 열 영향을 준 경우에는 필요에 따라 적절한 응력제거 열처리를 하여야 한다.

13) 열처리된 주강품은 기계가공을 행하는 부분을 제외하고 샌드블라스트, 쇼트 블라스트 또는 필요에 따라 그라인더로 표면의 스케일을 완전히 제거하고 표면의 청소를 하여 정리해야 한다.

14) 끝손질 후 또는 황삭가공 후, 외관검사, 치수검사, 자분탐상시험 및 침투탐상시험을 하여 주강품의 형상 및 치수를 조정하고 결함이 있는 경우에는 결함보수기준에 따라 보수해야 한다. 주강 표면에는 심하게 거친 면이 있어서는 안 된다.

3.2 주강품의 결함의 보수

1) 보수의 승낙과 기록의 구분

주조결함의 용접보수에 관해서는 결함제거 흔적의 크기에 따라 표 3에 보이는 승인 절차 또는 보수작업 기록을 남기고 작업을 진행한다.

표 3. 보수의 처치구분

보수구분	결함 제거부의 상태	필요한 처치
미소결함 보수	깊이가 10mm 이하이면서 길이가 50mm 이하의 것.	그대로 보수
소결함 보수	깊이가 두께의 20% 또는 25mm 이하이면서 길이가 두께의 4배 또는 150mm 이하인 것.	보수기록을 남기고 보수를 행한다.
대결함 보수	깊이가 두께의 20% 또는 25mm를 초과하면서 길이가 두께의 4배 또는 150mm를 초과하는 것.	감독원의 보수 승인을 득한다.

(1) 용접에 의한 보수를 실시할 필요가 있는 결함 중에서 대결함의 보수에 관해서는 결함제거 후에 발주자 대리인에 보고하여 보수에 관한 승낙을 득하는 것으로 한다.

(2) 소결함의 보수는 발주자 대리인에 승낙을 득하지 않고 보수한 후 그 위치, 제거 후의 크기를 기록한다.

(3) 미소결함의 보수는 그대로 보수한다.

2) 결함제거 및 확인

주강품 제작 도중의 검사에서 발견된 결함은 다음 기준에 따라 제거해야 한다.

(1) 아크 에어 가우징 또는 치핑으로 결함을 완전히 제거한다.

(2) 결함이 제거되었는 지의 여부는 자분탐상시험 또는 침투탐상시험으로 확인한다.

(3) 결함이 극히 얇으며 결함 제거 흔적 저부의 살 두께가 그 허용차 이내에 들면 용접보수를 하지 않고 둥글게 하여 마무리해도 좋다.

3) 보수방법

용접보수를 하는 것은 다음 기준에 따라 결함의 보수를 해야 한다.

(1) 결함제거 확인 후 치핑 또는 그라인더로 개선형상을 정형한다.

(2) 용접은 다음 조건으로 행함을 원칙으로 한다.

① 예열

가스버너 가열에 의한 국부 예열로 하고 예열온도는 100℃ 이상으로 한다.

② 용접작업자

용접 작업자는 KS B 0885 또는 이에 준하는 외국의 관련규정 자격의 해당요건에 따라 자격을 갖추었거나, 해당 작업에 2년 이상 경험이 있는 숙련된 자이어야 한다.

③ 용접봉

KS D 7004에 규정하는 E4316 상당품, KS D 7006 고강력강용 피복 아크 용접봉에 규정하는 D5016, D5316, D5816 상당의 용접봉을 사용해야 한다. 기타 용접에서 사용되는 용접봉은 상기와 동급을 사용해야 한다.

④ 용접자세

가능한 한 하향을 취하도록 한다.

4) 용접 보수후의 열처리

용접보수 완료 후, 표면을 그라인더로 손질하고 그 후 응력제거 처리를 해야 한다. 응력제거 열처리는 원칙적으로 노 안에서 행하도록 한다. 다만 노에 넣음으로서 다른 데 영향이 있는 경우이면서 또한 보수 용접이 적을 때에는 가스버너 가열로 국부 열처리를 행하여도 좋다. 노속의 응력소둔은 KS B 0883 용접부의 노내 응력제거법으로, 국부가열에 의한 응력제거는 KS B 0884 용접부의 국부가열 응력제거방법으로 하도록 한다.

6) 보수부의 검사

용접 후 보수부는 자분탐상시험, 침투탐상시험 또는 초음파탐상시험 등으로 검사한다.

3.3 기계가공

1) 기계가공은 원칙적으로 기계절삭으로 한다. 또한 기계는 제작도 및 이 기준에서 지정된 정밀도와 끝손질 정밀도를 충분히 만족시킬 수 있는 기능을 가져야 한다.

2) 기계가공은 제작도면, 제작정밀도 및 끝손질의 정밀도를 맞추어 완성시키도록 한다.

3) 기계가공에서 발견된 결함은 결함 보수기준에 따라 결함 제거 및 보수를 해야 한다.

4) 기계가공은 제품의 사용조건, 기능을 고려한 가공 방법을 선정하여 실시한다.

5) 부재의 모서리 및 볼트 구멍의 둘레는 전부 면따기를 하고 또한 볼트의 좌면은 모두 기계가공을 함과 동시에 볼트 구멍은 끝손질 면에 수직으로 드릴로 구멍 뚫기를 한다.

6) 기계가공 부분은 도장이 행하여지기까지는 일시적으로 청소, 탈지 후에 방청유 또는 구리스를 칠하여 방청처리를 한다.

3.4 제작정밀도

1) 주강품에 대한 치수허용차를 KS B 0412 기계가공 치수의 보통허용차의 거칠기 등급을, KS B 0418 주강품의 치수허용차의 보통급에 해당하는 규정에 따른다.

2) 주강품의 마무리 정밀도는 제작도에 지시된 대로 한다. 또한 주방부분에는 현저한 거친 면이 있으면 안 된다.

3.5 시험 및 검사

1) 일반

(1) 계약 상대자는 시방서에서 제시한 시험을 포함한 검사방법, 판정기준을 전부 검사요령에 기재하여 사전에 감독원의 승인을 얻는다. 또한 감독원은 필요에 따라 입회검사를 실시한다.

(2) 검사결과는 보고서로 제출한다.

(3) 검사수량은 특별히 지시된 경우를 제외하고 제품의 품질을 보증할 수 있는 충분한 양으로 한다.

2) 재료시험

주강품의 재료시험은 앞 절의 재료규정에 따르며 해당하는 KS규격이나 외국시방에 기초하여 실시한다. 또한 규격증명서가 있는 재료에 대해서도 감독원의 요구가 있을 때에는 발췌검사를 실시하여 품질을 확인한다.

(1) 화학성분 분석시험

① 각 용강마다 분석시험을 행한다.

② 각 용강마다 KS D 0228 강재의 제품 분석방법 및 그 허용 변동값에 의해 제품분석을 하며 화학성분 및 탄소당량을 구한다.

(2) 기계적 성질 시험

① 시험편의 채취

주강품의 시험은 각 개체마다 본체의 공시체에서 채취하는 것을 원칙으로 한다. 단, 동일용강으로 여러 개의 제품이 가능한 경우에는 동일용강, 동일 열처리마다 1조씩 채취한다. 열처리를 행한 재료는 열처리 후의 품질을 시험에 의해 확인한다.

3) 외관검사

외관검사는 전 제품에 대하여 실시하며 아래와 같은 사항을 주의해서 실시한다.

(1) 주강품 표면의 외관을 육안으로 확인한다.
(2) 주강품 표면의 거칠기가 승인된 수치 내에 수렴하는 가를 확인한다.
(3) 기계가공 부분의 표면 거칠기가 지정된 값 정도인지 확인한다.
(4) 국부적인 요철이 매끄러운 지 확인한다.
(5) 용접에 의한 수정 부분은 그 처리 흔적이 매끄러운 지 확인한다.
(6) 상형과 하형 접합부의 처리가 충분히 매끄러운 지 확인한다.
(7) 모서리 등의 면깍기가 잘 되었는지 확인한다.

4) 치수검사

형상 및 치수검사는 전 제품에 대하여 실시하고 그 기록을 남겨둔다.

5) 비파괴검사

주강품은 자분탐상시험, 침투탐상시험 및 초음파탐상시험 중에서 필요한 시험을 행하여, 사용상 유해한 결함이 없음을 확인해야 한다. 계약 당사자는 검사요령에 탐상시기, 조사방법, 판정기준 등을 기재하여 감독원의 승인을 얻도록 한다. 또한 탐상시기, 탐상위치 및 검사방법 등은 아래를 표준으로 한다.

(1) 자분탐상시험

① 탐상시기

주강품은 끝손질 완료 후 또는 황삭 가공 후 실시한다.

② 탐상위치

제품 전면

③ 조사방법

조사방법은 원칙적으로 KS D 0213 주강재료의 자분탐상시험방법 및 결함자분탐상 모양의 등급분류에 따른다. 자화는 직교하는 2방향에 대하여 행한다.

④ 판정기준

가. 균열결함은 허용하지 않는다.

나. 밀집하지 않는 3mm이하의 머리카락 흔적, 블로우 홀 등의 소결함은 허용한다.

⑤ 기타

주강품의 기계가공 부분에 대해서는 침투탐상시험으로 자분탐상시험을 대신할 수 있다.

(2) 침투탐상시험

① 탐상시기

기계가공 후, 용접구조는 용접조립 후

② 탐상위치

주강품의 기계가공 부분 전면에 대하여, 자분탐상시험이 본 시험보다 적당한 경우에는 자분탐상시험으로 대신할 수 있다.

③ 조사방법

KS B 0816 침투탐상시험방법 및 침투지시 모양의 등급분류에 따른다.

④ 판정기준 : 표 4에 따른다.

표 4. 침투탐상시험 판정기준

결함의 종류	행상 접합부	기타
균 열	불가	불가
머리카락 흔적 가스 홀	1. 직경 3mm를 넘는 결함은 불가 2. 직경 1 ~ 2mm인 것이 100x100 mm에 5개 이내이면 허용한다. 3. 직경 1mm 이하는 허용한다.	1. 직경 5mm 이상의 결함은 불가 2. 직경 2 ~ 4mm인 것이 100x100 mm에 5개 이내이면 허용한다. 3. 직경 1 ~ 2mm인 것이 100x100 mm에 10개 이내이면 허용한다. 4. 직경 1mm 이하는 허용한다.

(3) 초음파탐상시험

① 탐상시기 : 주 사상 완료 후 (초도품에 한하여 검증)

② 탐상위치

설계상 중요한 부위에 대하여 행한다.

③ 조사방법

탐상기 ----- Pulse 반사식 탐상기

주파수 ----- 1 ~ 2.25 MHz

탐상기 ----- ASTM A 609 ϕ6.35 결함으로부터의 최대 반사파를 75%로 설정한다.

④ 판정기준

ASTM A609의 2급까지 합격

6) 재제작

검사의 결과 기능상 중대한 결함이 있다고 인정된 경우에는 제품을 재제작하여야 한다. 재제작은 감독원의 지시에 따른다.

4. 도장

4.1 도장사양

주강품의 도장 사양은 표 5와 같다.

표 5. 도장사양

도장 부위		적용	표면처리	도장 순서	도료명칭	도막두께 (㎛)
①	외 면 (노출면)	공장	SSPC-SP10	1회	에폭시 도료 (하도)	60
					계	60
②	상부 행강 용접부	공장	SSPC-SP10		무도장	-

※ 주강품과 접합되는 부재의 도장 시스템에 따라 변경 가능함

4.2 도장구분

주강품의 도장구분은 별도 작성하여 감독원의 승인을 얻는 것으로 한다.

4.3 도장조건

1) 온도

원칙적으로 4℃ 이하, 43℃ 이상에서는 도장작업을 하지 않는다.

2) 습도

원칙적으로 상대습도 40 ~ 80 이내에서 작업을 실시한다.

3) 기타

안개, 비 또는 강한 바람이 부는 날에는 옥외도장을 실시하지 않는다.

4.4 도장작업

1) 도장준비

도장 작업 전에 다음 사항을 확인한 후 도장작업을 실시한다.

- 도장면은 오물, 먼지, 기름, 녹, 수분 등을 완전히 제거하고 충분히 건조시킨다.
- 작업장의 온도, 상대습도 및 기후 등을 확인한다.
- 사용도료의 종류와 수량을 확인하여 도장면적에 상응한 지를 확인한다.
- 도료의 희석제 량을 확인한다.

- 도료의 침전 및 덩어리가 없도록 완전히 교반한다.

2) 도장방법

도장준비가 완료되면 아래의 방법에 따라 도장작업을 실시한다.

- 블라스트 세정후 최소 4시간 이내에 도장작업을 실시한다.
- 전체 부위에 규정된 도막이 균일하게 도포되도록 도장하고 도장이 누락되거나 과도막으로 흐른 부위가 없도록 한다.
- 도장작업은 원칙적으로 스프레이를 사용한다. 단, 국부적인 선행도장 및 작은 부위의 도장에는 붓칠도장을 실시한다.
- 스프레이 건은 피도장면과 약 30㎝ 정도의 일정한 간격을 유지하고 피도장면과는 항상 수직상태를 유지한다.
- 균일한 도막을 얻기 위하여 구석진 곳, 가장자리 등은 부분적인 덧도장을 실시하여 충분한 도막이 도포되도록 한다.
- 도장면은 재도장전 충분히 건조될 수 있도록 규정된 재도장 간격을 유지한다.
- 규정에 미달된 도장부위는 덧도장을 실시하여 규정된 도막이 되도록 수정도장을 실시한다.
- 도장면이 손상되었을 경우 손상 부분을 세정 후, 처음 도장과 같은 도장 사양으로 보수도장을 실시한다.
- 도료의 보관 장소는 통풍이 잘되고 스파크, 화염, 직사광선, 과열로부터 격리된 장소에 보관한다.

3) 도장관리

도장 작업 중에 다음 사항에 대하여 관리한다.

- 기후의 급변에 충분히 주의하고 그 징후가 있으면 즉시 방호조치를 취한다.
- 공정을 충분히 파악하여 당일 도장량을 필히 소화할 수 있는 인원을 배치한다.
- 도장 중의 도막두께 관리는 도료 사용량과 도장면적에 의한 방법에 따라 도막두께를 추정한다.

4) 도장 금지사항

도장 작업 중 금지사항은 표 6와 같다. 단, 처리방법에 따른 조치를 취한 경우 예외로 한다.

표 6. 도장 금지사항

번호	도장 금지 사항	처리 방법
1	피도장물의 표면이 결로 등으로 젖어있는 경우 및 계속 그 상태가 지속된다고 예상되는 경우	스프레이 건 등으로 충분히 수분을 제거시킨다.
2	피도장물의 표면온도가 규정온도를 벗어난 경우	적정온도가 될 때까지 기다리거나 실내에서 온도조절을 실시한다.

3	피도장물의 표면에 흙, 모래, 오물, 유지류, 그 외의 이물질이 부착된 경우	POWER TOOL, 신나 등으로 세척한다. 오물 방지대책을 세워둔다.
4	옥외 도장에서 강설인 경우 및 유사의 현상 때문에 도막에 악영향을 준다고 예상되는 경우	강우, 눈의 경우는 작업 중지 또는 실내에 반입하여 온도, 습도 조정을 한다.
5	도장 건조 중에 이물질의 부착이 예상되는 경우	도장작업을 중지한다. 적절한 덮개 등에 의한 양생을 강구한다.
6	규정된 표면처리가 행해지지 않은 경우	규정대로 표면처리를 실시한다.
7	사용도료가 규정된 가사용 시간을 초과한 경우	가사용 시간을 초과한 것은 제거한다.
8	경해진, 희석, 교반, 혼합이 행해지지 않고 도료에 이상이 인정되는 경우	조정을 즉시 실시한다. 조정할 수 없는 것은 제거한다.

4.6 도장검사

1) 도막두께 검사

도장의 도막 두께 검사는 접촉식 도막측정기를 사용하며 아래와 같이 측정한다.

2) 기록

- 측정점수는 1 LOT(600㎡)당 25개소 이상을 기본으로 측정한다. 단, 1 LOT의 도장면적이 600㎡ 이하의 것은 도장면적을 고려하여 개별로 측정점수를 설정한다. 측정은 1점당 5회 측정하고 그 평균값을 측정치로 한다.
- 건조 도막두께의 측정은 공장도장 최종 층의 도막두께를 측정한다.

3) 판정기준

- 도막두께 측정 평균값은 기준 도막두께의 90% 이상이어야 한다.
- 도막두께 측정 최소치는 기준 도막두께의 70% 이상이어야 한다.
- 평균치, 최소치, 표준편차의 각각 3가지 조건 중에서 1개 이상 기준치를 만족하지 않는 경우는 도막두께를 늘이는 재 도장을 실시한다.

4) 외관검사

건조 후 도막 외관을 육안으로 관찰하여 결함이 있는 지 확인해야 한다. 결함이 확인된 경우 즉시 수정해야 한다.

5. 포장, 운송

5.1 포장

1) 기계가공 부분 및 도장 외면에 대해 운송이나 보관 중 파손이 발생하지 않도록 배딩 등으로 단단히 고정하도록 한다.

2) 포장은 추후 별도의 "포장 및 운송 절차서"를 제출하여 실시하는 것으로 한다.

5.2 운송

1) 포장이 완료된 제품은 장비를 이용하여 유지관리 장소까지 육상 또는 해상으로 안전하게 운송 및 보관되어야 한다.

2) 운송에 있어서, 제품에 변형이나 손상이 발생하지 않도록 적절하게 지지시켜야 한다.

3) 운송은 추후 별도의 "포장 및 운송 절차서"를 제출하여 실시하는 것으로 한다.

6. 제출서류

제출서류는 다음과 같다.

1) 최종 제작도면
2) 모형검사 성적서
3) 재료시험 성적서
4) 열처리 성적서
5) 비파괴검사 성적서
6) 치수검사 성적서
7) 외관검사 성적서
8) 도장검사 성적서
9) 공정사진

(2) 시공 체크리스트

HAT Joint 시공 체크리스트 2015년 01월 22일 제정 2015년 02월 23일 개정	결재	작성	검토	승인

HAT Joint 시공 시 필수 체크리스트

업무표준분류

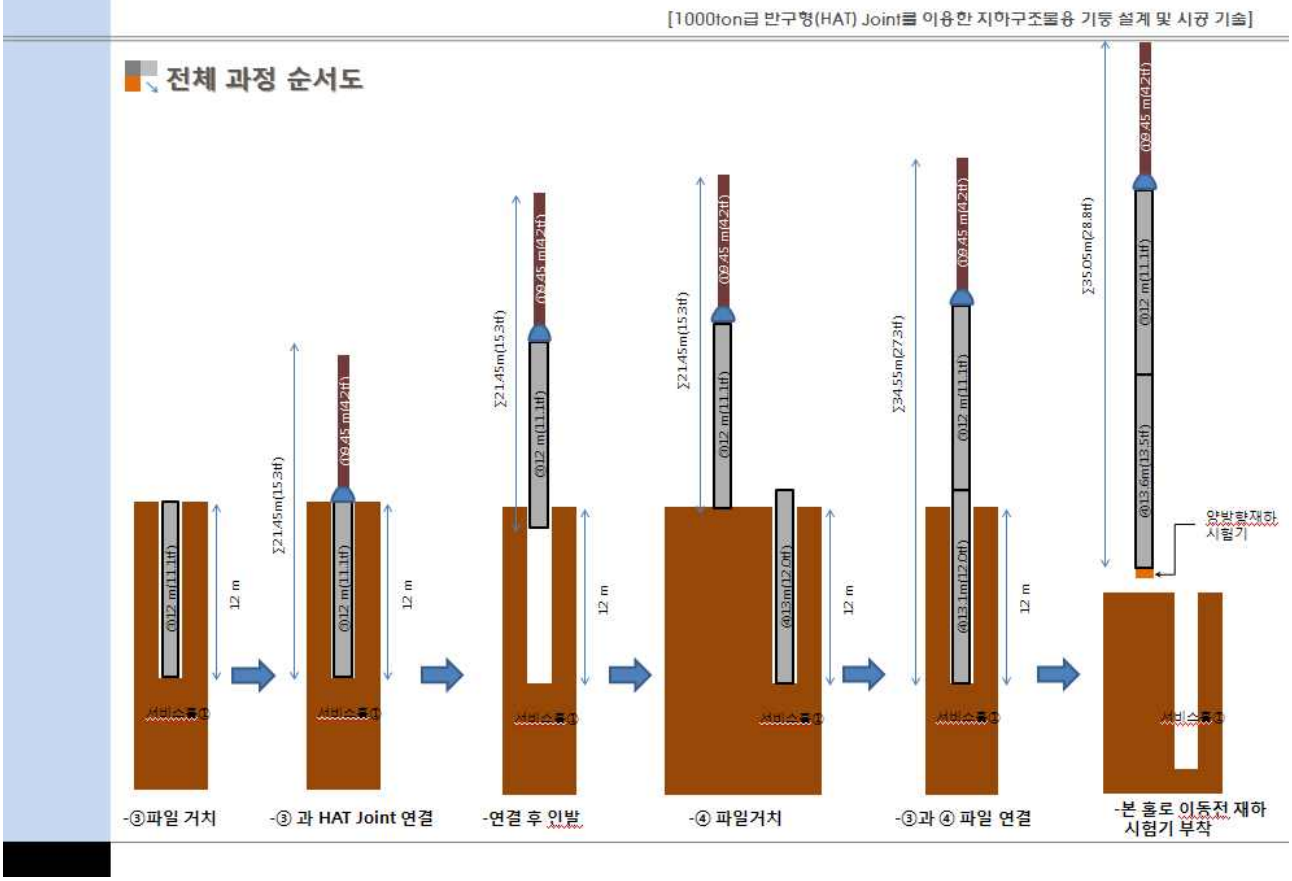
1. 관리 2. 품질 3. 자재 4. 시공 5. 안전 6. 기타

시공 전 준비사항	
가. 시공 계획서	비고
1) 예정 공정표	
2) 인원, 자재, 장비투입계획 및 가설 계획	
3) 말뚝 시공장비의 제원과 수량	
천공장비 확인	
서비스 크레인, 슬라임 제거 장비 등	
4) 품질, 안전, 환경관리 계획	
5) 시험시공계획 및 관련 전문기술자가 작성한 재하시험방법	
6) 말뚝 잇기를 하는 경우 이음부 시험 계획서	
7) 구조물별 지반조건 및 분석자료	
8) 현장과 관련된 예상 난점 및 대책	
나. 자재 제품자료	비고
1) HAT Joint 제품 치수, 품질 확인서, 중량 등	
2) 말뚝의 종류 및 부속 제품별 제조업자와 제품자료 등	

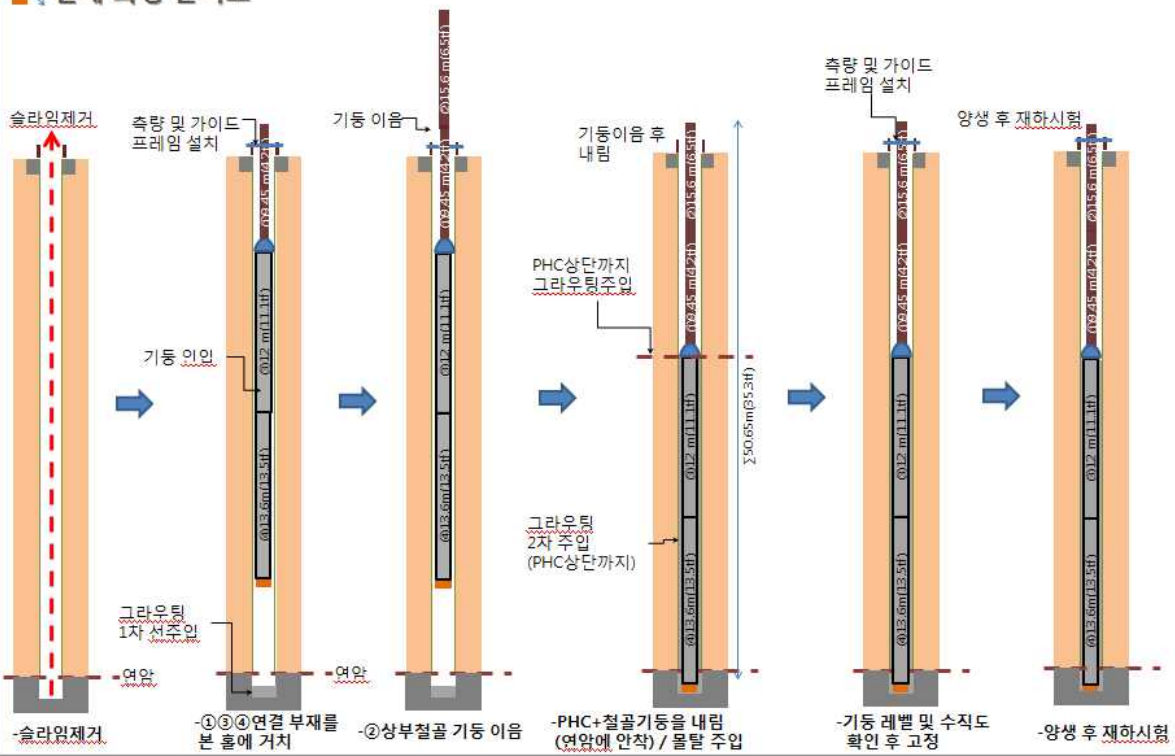
본 시공	
가. 준비	비고
1) 주변조건	
지면은 평탄하게 다지고 배수에 지장이 없도록 한다	
장비 이동 시 안전성이 확보되도록 지표면 상태 등을 확인	
말뚝의 위치, 바닥레벨을 점검한다	
2) 시공관리 기록	
주요 시공과정이 기록되고 관리되도록 시공 기록부를 준비	
3) HAT Joint와 PHC파일 연결	
PHC 파일과 천공기둥부의 매입길이 확인	
평탄한 장소에서 수직도를 유지하며 볼트 접합	
4) 양방향 재하 시험기 부착	
나. 천공	비고
1) 천공 시 공벽의 붕괴 우려가 있거나 붕괴되는 토질에서는 케이싱 사용	
2) 천공 시 천공구멍의 수직이 유지되도록 케이싱의 수직도 관리	
3) 천공 후 슬라임 제거	
다. 부재 삽입	비고
1) 천공 홀에 부재를 크레인을 이용하여 삽입, 수직도 확인	
2) 기둥 이음시 가이드 프레임 및 볼트 접합 확인	
3) 시멘트 밀크 주입	
4) 기둥 레벨 확인	
라. 양생	비고
1) 기둥 부재 고정 및 시멘트 밀크 양생	
마. 양방향 재하 시험	비고
1) 양방향 재하 시험 계획에 따라 파일 지지력 확인	

(3) 시공순서도

1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공기술 -시공 순서도-



전체 과정 순서도



[1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술]

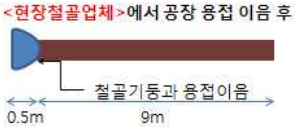
세부과정 순서도

HAT Joint + 철골기둥 접합

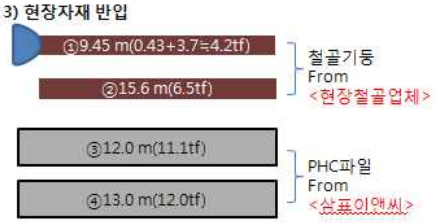
1) HAT Joint 연결구 철골업체 발송

0.5m(0.43tf) <삼영엠텍>에서 제작, 운반

2) <현장철골업체>에서 공장 용접 이음 후 현장 운반

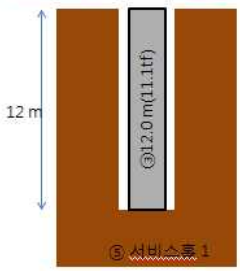


3) 현장자재 반입



서비스홀 천공및 파일거치

4) 서비스홀(12m) 시공 <현장기초업체>

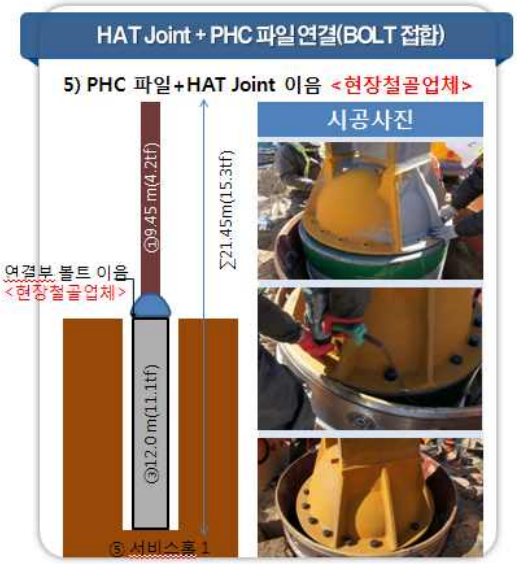


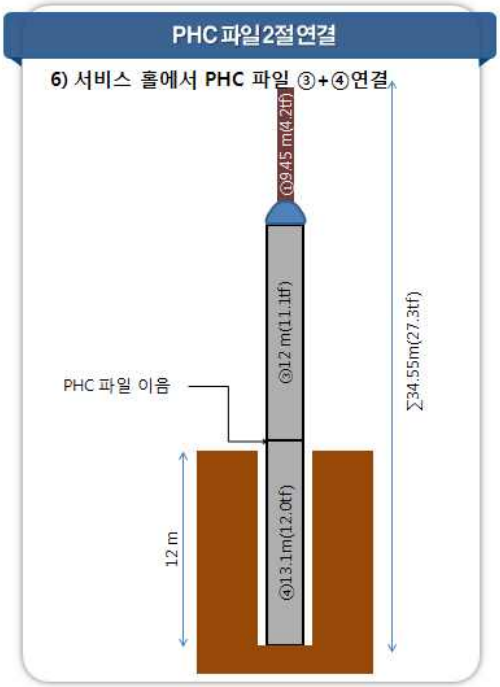
- 서비스홀 12m 천공

시공사진



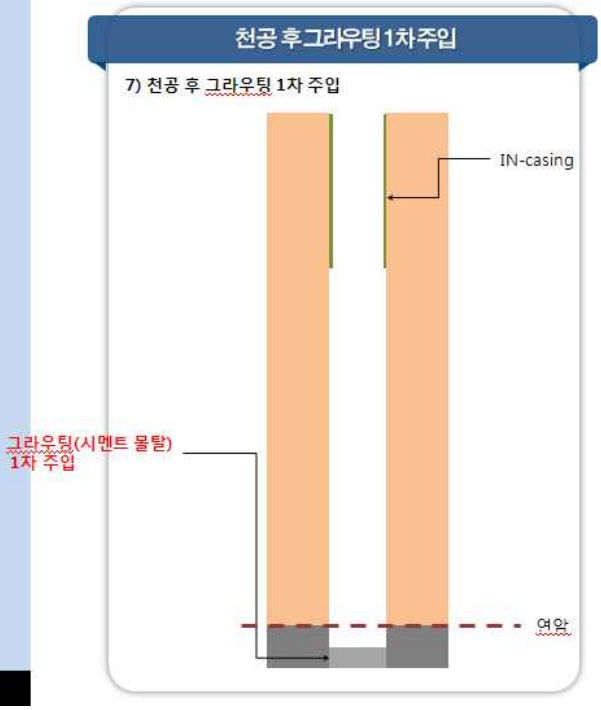
세부과정 순서도

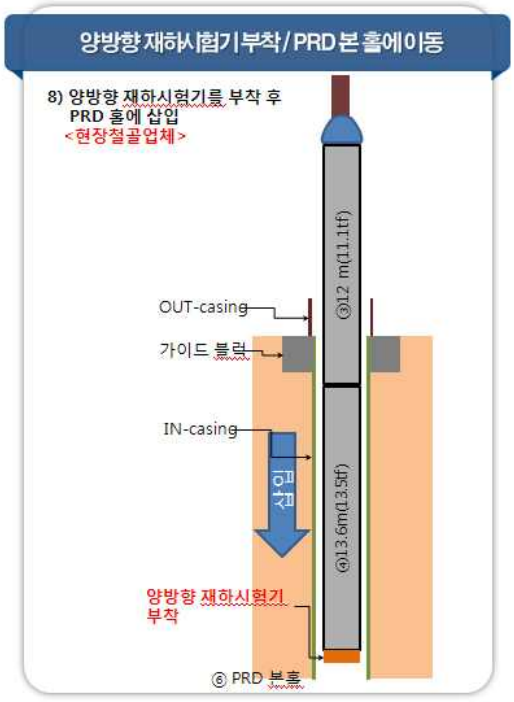




[1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술]

세부과정 순서도

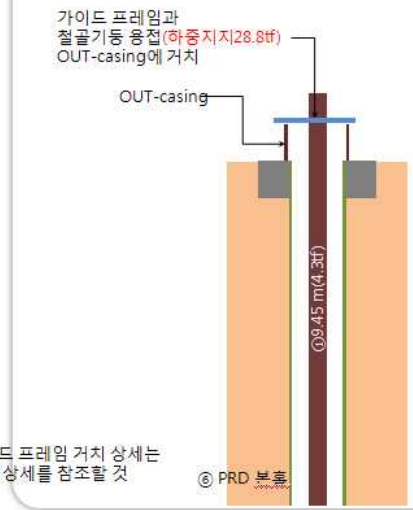




세부과정 순서도

가이드 프레임에 거치

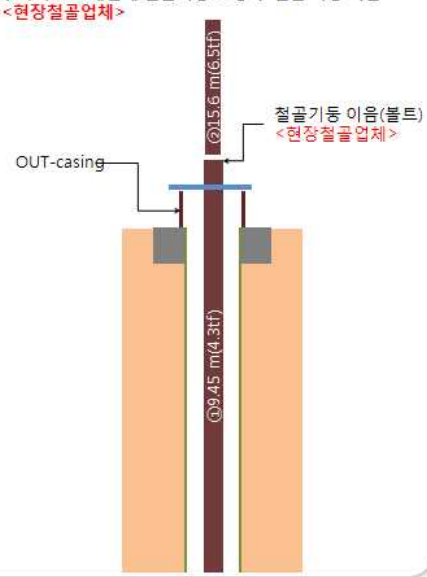
9) 철골기둥 수직도, 레벨 확인 후 가이드 프레임 고정
<현장철골업체>



• 가이드 프레임 거치 상세는
첨부 상세를 참조할 것

철골 기둥 부재 2절 연결

10) 가이드 프레임에 철골기둥 고정 후 철골 기둥 이음
<현장철골업체>

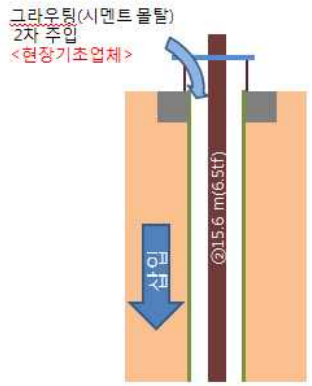


[1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술]

세부과정 순서도

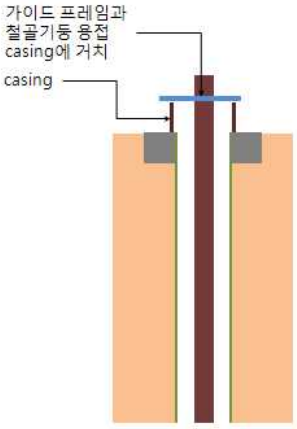
철골 기둥 계속 삽입/그라우팅 2차 주입

11) 가이드 프레임 1차 해체 후 계속 삽입
<현장철골업체>



철골 기둥 안착 후 고정

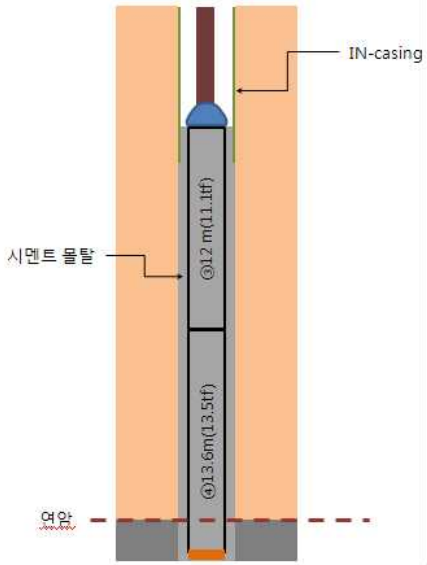
12) 철골기둥 수직도,레벨 확인 후 가이드 프레임에 고정
<철골업체>



세부과정 순서도

밀크 양생 후 양방향 재하시험 실시

13) 양방향 재하시험 실시 <재하시험업체>



(4) HAT Joint 시공 지침서

시 공 지 침 서 2014년 12월 09일 제정 2015년 02월 23일 개정	결재	작성	검토	승인

HAT Joint를 이용한 역타 공법에 대한 업무 표준서

업무표준분류

1. 관리 2. 품질 3. 자재 4. 시공 5. 안전 6. 기타

가. 개요
나. 작업순서
다. 시공세부지침
라. 작업순서도
마. 부록

가. 개요

HAT Joint와 대구경 PHC파일을 이용한 역타 공법과 관련한 지침

나. 작업 순서

1)시공 계획서 작성 2)시공 장비 확인 3)자재 반입 4)서비스홈 천공 5)PHC파일 서비스홈 거치 6)PHC 파일과 HAT Joint연결 7)파일 이음 8)본 홈에 삽입 및 밀크 주입 9)양생 후 재하시험 실시 10)주변 정리

다. 시공세부지침

1) 시공 계획서 작성
- -예정 공정표 및 인원, 자재, 장비 투입 및 가설 계획 수립 할 것.
- -말뚝 시공시 각 단계별 부재의 길이와 중량을 확인하여 적정한 용량으로 계획 할 것.
- -말뚝 이음시 이음부의 충분한 내력이 확보가능 한 방법으로 연결할 것.
- -재하시험과 관련하여 재하 시험 위치 홈과 방법을 미리 정하여 전문 기술자가 작성한 재하시험방법으로 시공할 것.

2) 자재 제품 자료
- -시공 전 HAT Joint의 제품 치수 확인, 품질 확인서, 중량, 도장 상태 등을 확인하여 시공 할 것.
- -시공에 사용되는 말뚝의 종류 및 제원, 파일 길이, 품질 확인서 등을 확인하여 시공 할 것.

3) 서비스 홈 준비
- -서비스 홈은 파일은 본 홈의 시공 깊이를 감안하여 PHC파일 연결시 필요한 서비스 홈의 깊이를 산정 할 것.
- -PHC이음과 크레인 장비 등을 감안하여 서비스홈 개수를 계획 할 것.

4) 시공 관리
- -시공할 주변의 지면은 평탄하고 배수에 지장이 없도록 할 것.
- -말뚝의 시공위치 및 바닥레벨을 확인할 것.
- -시공시 준비사항을 체크리스트를 작성하여 시공 관리 할 것.
- -실제 천공 깊이와 부재 길이를 확인하여 오차 관리 할 것.
- -각 부재 이음부의 내력이 충분히 확보 할 수 있도록 시공 관리 할 것.
- -본 홈에 부재 삽입시 수직도, 기둥의 레벨을 확인하면서 시공 할 것.

(5) 파일길이조정 지침서

시 공 지 침 서 2014년 12월 09일 제정 2015년 02월 02일 개정	결재	작성	검토	승인

파일길이 조정방식에 대한 업무 표준서

업무표준분류

1. 관리 2. 품질 3. 자재 4. 시공 5. 안전 6. 기타

가. 개요
나. 작업순서
다. 시공세부지침
라. 작업순서도
마. 부록

가. 개요

PHC 파일과 HAT Joint 간 결합에 있어 PHC 파일 위상차로 인한 절단이 필요할 시 볼트 연결과 관련한 지침

나. 작업 순서

1)파일 두부 절단 2)PHC파일 내부 가림판 설치 3)PHC 파일 캡 설치 4)PHC 파일 캡 수평레벨 조정 5)PHC 파일 캡 하부 실리콘 마감 6)무수축 모르타르 주입 및 양생 7)볼트 구멍 천공 8)PHC 파일 캡과 PHC 파일 결합 9)HAT Joint와 PHC 파일 캡 볼트 결합

다. 시공세부지침

1) 파일 두부 절단

서로 다른 지하 암반까지의 깊이로 인한 위상차에 따른 파일 두부 절단 시 원커팅으로 수평도 조절한다.

2) 플레이트 커버 설치

PHC 파일 선단 캡으로 제작된 커버를 커팅된 PHC 파일에 위치시킨 후 3개의 수평 조절 볼트(M24볼트 이용)를 이용해 1차적으로 수평을 조절한다.

3) PHC파일 내부 가림판 설치

고르지 못한 절단면으로 인한 HAT Joint 수직도 관리를 위해 플레이트 커버를 PHC 절단부위에 위치시킨 후 내부 모르타르 타설을 위한 가림판을 설치한다. 가림판은 PHC 파일 내부 직경에 맞는 나무로 제작되며, 새는 것을 방지하기 위해 비닐로 이를 커버한다. 가림판은 설치 용도로 제작된 강재 버팀막대를 이용하며 이는 <부록1>과 같다.

4) 모르타르 타설

위치한 플레이트 커버 가운데 내부 가림판에 모르타르를 타설한다.

5) 실리콘 마감

타설한 모르타르가 새는 것을 막기 위해 선단 캡 주위로 실리콘 마감을 실시한다.

6) HILTI 천공

위치시킨 선단캡은 PHC 파일과 M20 볼트를 이용해서 결합되며 이를 위해 천공을 한다. 천공직경은 19mm로 한다. 이 때 천공 시 발생하는 콘크리트 가루와 M20 볼트의 나사산 결합에 의해 강하게 연결이 되므로, 천공은 수직도를 최대한 가능하여 1회 천공(2회 천공 금지)한 후 볼트 역시 한번에 설치되어야 한다. 천공과 볼트 설치 각각 1회 이상이 될수록 볼트와 PHC 파일의 결합력은 크게 감소하게 되므로 특히 유의가 필요하다.

사. 시공증빙자료

(1) HAT Joint 견적서

견 적 서

공 급 처			공 급 자	
수 신 :	롯데건설	貴下	발 신 :	㈜ 두 성 산 업
참 조 :	김 영숙 연구원	貴下	담 당 :	경북 성주군 선남면 선원리 544번지
경 유 :	관련부서		연 락 처 :	전화(054) 931-8339 FAX (054)931-6636
제 목 :	HAT JOINT		견적담당 :	이사 이상동
견적일자 :	2014. 12. 19		유효기간 :	견적일로부터 60일

아래와 같이 견적합니다.

N0	공 정	품 명	규 격	수 량	단 가	금 액	비 고
		hat joint -type 1					
	소 재			1	1,350,000	1,350,000	
	모 형			1	1,500,000	1,500,000	
	가 공			1	300,000	300,000	
	운 임			1	200,000	200,000	
	계					3,350,000	

NOTE

납 기 : 발주일로부터 35일

납품장소 : 국내운송기준

특기사항

- 모형 : 스치로폴 형
- 도장비 제외
- 부가세 제외

㈜ 두 성 산 업

(2) HAT Joint 세금 계산서

전자세금계산서

승인번호 20150204-10000000-00060921

공급자				공급받는자			
등록번호	510-81-11527	종사업장번호		등록번호	114-81-16377	종사업장번호	
상호(법인명)	주식회사두성산업	성명	고두현	상호(법인명)	롯데건설(주)	성명	김치현
사업장주소	경상북도 성주군 선남면 선원2길 19			사업장주소	서울특별시 서초구 잠원로14길 29		
업태	제조	종목	자동차부품	업태	건설업	종목	일반건축공사
이메일	ds9318339@hanmail.net			이메일	yeongsukkim@lottenc.com		
				이메일			

작성일자	공급가액	세액	수정사유
2015/02/04	3,350,000	335,000	
비고			

월	일	품목	규격	수량	단가	공급가액	세액	비고
02	04	HAT JOINT		1	3,350,000	3,350,000	335,000	

합계금액	현금	수표	어음	외상미수금	이 금액을 (청구) 함
3,685,000					

e세로 본 인쇄물은 국세청 e세로(www.esero.go.kr) 시스템에서 **발급 또는 전송 명력된** 전자(세금)계산서 입니다.
발급사실 확인이 필요한 경우 e세로 홈페이지 우측 상단의 "제3자 전자(세금)계산서 조회"를 이용하시기 바랍니다.

(3) HAT Joint 양방향 재하시험 계약서

연구용역 계약서

◎ 연구용역명 : "1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술" Pilot Test 말뚝 양방향 재하시험

◎ 계약기간 : 2015. 02. 23 ~ 2015. 4. 23 (2개월)

◎ 연구용역비

구 분	금 액(원)	비 고
롯데건설(주)	20,000,000	VAT별도
합 계	20,000,000	

◎ 연구책임자

소 속 : (주)백경지앤씨 / 직위 : 이사 / 성명 : 박민철

◎ 계약 대상자

롯데건설(주) (대표자) 김 치 현

사업자등록번호 : 114-81-16377

주소 : 서울특별시 서초구 잠원로14길 29

번호 : 02-3480-9114

(주)백경지앤씨 (대표자) 박 봉 근

사업자등록번호 : 108-81-50098

주소 : 서울특별시 동작구 사당로 160

번호 : 02-588-7188

위 "1000ton급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥 설계 및 시공 기술" Pilot Test 말뚝 양방향 재하시험(이하 "본 용역"이라 함)에 관하여 롯데건설(주)(이하 "갑"이라 함)와 (주)백경지앤씨(이하 "을"이라 함)는 다음과 같이 계약(이하 "본 계약(서)"이라 함)을 체결한다.

김영술 / 기술연구원 빌딩연구팀 / 2015-02-23 09:01:00

제1조 (계약의 목표 및 내용)

(갑)이 (을)에게 위탁하는 본 용역의 목표 및 내용은 당사자간 별도 합의된 연구용역 계획서에 따른다.

제2조 (연구용역의 신의성실 수행)

본 계약에 의한 연구용역에 참여하는 당사자들은 신의를 가지고 연구용역 계획서에 의거 성실히 수행하여야 한다.

제3조 (용역의 범위)

1) (을)이 (갑)에게 제공하는 용역은 다음과 같다.

① 연구용역 계획서에 따른 연구 수행

② 연구 수행에 필요한 참여인력, 시설의 확보

③ 연구비의 관리

④ (갑)이 본 용역의 관리를 위해 필요한 자료 요구 시 제출

⑤ 그 밖에 본 용역을 수행하는데 필요한 부수적인 업무, 기타 운영에 필요한 사항

2) (갑)은 (을)의 본 용역 이행에 대한 관리 및 감독을 한다.

제4조 (용역비의 지급 등)

1) (갑)은 (을)에게 본 용역을 수행하는 대가로 하기 용역금액을 (을)의 요청에 의거 다음과 같이 지급하여야 하며, (을)은 지급액에 대한 세금계산서를 발행한다.

- 2015년 2월 28일 이내 100% : 금 이천만원(₩20,000,000원)

2) 기업은행, 계좌번호 : 072-046322-04-011, 예금주 : (주)백경지앤씨)

제5조 (계약의 변경)

본 계약의 내용 및 연구용역 계획서의 내용을 그 사유가 인정되는 경우 (갑)과 (을)이 상호 합의 하에 변경할 수 있다.

제6조 (계약의 해제 또는 해지)

1) (갑)은 다음 각 호의 경우에 (을)에 대하여 즉시 본 계약을 해제 또는 해지할 수 있다.

① (을)이 보고서를 제출하지 아니하거나, 연구비의 목적 외 사용 등 중대한 위

김영숙 / 기술연구원 발당연구팀 / 2015-02-23 09:01:00

반으로 본 계약의 수행이 곤란하다고 판단되는 경우

② (을)의 연구 수행이 지연되거나 정지상태가 되어 소기의 성과를 기대하기 곤란하거나 완수 할 능력이 없다고 인정되는 경우

③ (을)이 다른 채권자로부터 강제집행, 회생절차, 파산의 신청을 받거나 또는 스스로 파산, 회생절차의 개시를 신청하거나 또는 어음의 부도처분을 받았을 경우

④ (을)이 본 용역 수행에 있어 근면, 성실하지 못하거나 명백한 업무태만의 과실이 있다고 인정될 경우

⑤ (을)의 귀책사유로 본 용역의 수행이 어렵게 되어 본 계약의 해제 또는 해지가 필요하다고 인정한 사유가 발생한 경우

2) 제1항의 경우 (을)은 본 계약에 의거하여 (갑)으로부터 지급받은 금액을 (갑)에게 반환하여야 한다. 단, (갑)이 예측하지 못한 사유가 있어 본 계약을 해지할 경우, 이미 진행한 업무에 대한 보수는 (갑)과 (을)이 협의하여 실비 정산토록 한다.

제7조 (연구결과 귀속, 보고서 제출 등)

1) 본 연구용역에 의해서 취득되는 산업재산권(지적재산권), Know-How 등 무형의 권리는 (갑)에게 귀속되고 본 계약에 의해 발생하는 유형물(시험장치, 시작품 등)중 (갑)이 활용을 필요로 하는 것은 (갑)에게 모두 귀속된다.

2) (을)은 용역이 완료된 후 10일 이내에 최종보고서를 (갑)에게 검토 및 승인을 득한 후 (갑)에게 제출하여야 한다.(최종보고서 6부, CD 3매)

제8조 (비밀보장)

1) (을)은 본 계약과 관련하여 (갑)으로부터 취득한 연구내용 및 관련한 일체의 정보(유·무형의 여부 및 그 기록 형태를 불문)를 정보제공자의 사전서면 동의 없이 제 3 자에게 공개, 제공, 누설 또는 유출하여서는 안 된다.

2) (을)은 본 계약과 관련하여 ①계약기간의 만료 등의 사유로 본 계약이 종료된 경우, ② (갑)이 언제라도 서면에 의하여 요구하는 경우에는 지체 없이 "정보 제공자"에게 제공받은 정보의 원본, 사본 및 이를 이용하여 생성한 서면, 자료, 데이터 등(연구용역 대상강재 포함)을 정보 제공자의 요청에 따라 반환하거나 폐기하여야 한다.

제9조 (평가결과에 대한 조치)

(을)은 (을)이 수행한 본 계약 연구결과 보고서에 대하여 (갑)이 평가결과 추가연구, 수정, 보완이 필요하다고 통지한 경우 (을)은 (갑)의 요청에 응하여야 한다.

김영숙 / 기술연구원 빌딩연구팀 / 2015-02-23 09:01:00

제10조 (조사의 협력)

(갑)은 (을)의 요청이 있을 경우 (갑)이 보유한 자료 가운데 (을)이 본 용역 수행에 필요한 자료를 대여 및 열람하게 할 수 있다. 단 (갑)이 판단하여 (을)의 요청을 거부할 수 있다.

제11조 (분쟁해결)

본 계약과 관련하여 법적인 분쟁이 발생한 경우 당사자 간의 상호협의, 관계법령 및 상관행에 따라 해결하고, 이러한 방법으로 해결이 불가능한 경우에는 서울중앙지방법원을 전속관할법원으로 하여 분쟁을 해결한다.

제12조 (계약의 효력)

본 계약은 쌍방이 날인한 날부터 유효하며, 이를 증명하기 위해서 계약서 2부를 작성하여 (갑)과 (을)이 각각 1부씩 서명 또는 기명날인하여 보관한다.

2015년 2월 23일

업체명 : 롯데건설(주) 대표자 : 김 치 현 (인)

주 소 : 서울특별시 서초구 잠원로14길 29

단체명 : (주)백경지앤씨 대표자 : 박 봉 근 (인)

주 소 : 서울특별시 동작구 사당로 160

LOTTE E&C

(4) 양방향 재하시험 결과 보고서

LOTTE ENGINEERING & CONSTRUCTION	마곡도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 사업 신축공사	BACKYOUNG GEOLOGY & CONSTRUCTION ENGINEERING	
Lotte-FR-BK20150526-A01	TITLE	REVISION	DATE
	말뚝 재하시험 최종보고서	A	

마곡도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 신축공사

1000TON 급 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물용 기둥설계 및 시공기술

대구경 PHC PILE 재하시험 최종보고서

문서 번호 : Lotte-FR-BK20150526-A01

A	26/May/2015	최초 작성	박민철		임병석
REV	DATE	DESCRIPTION	PREPARED	CHECKED	APPROVED

제 출 문

롯데건설(주) 귀중

귀 사와 계약 체결한 「 마곡 도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 신축공사 」중 대구경 PHC 말뚝에 대한 재하시험 용역을 성실히 수행 완료하고 시험결과를 분석하여 본 보고서를 제출합니다.

2015년 5월 26일

■(주) 백 경 지 앤 씨

품질검사전문기관 제2009-19(특수)

엔지니어링활동주체 10-1487(토질 및 기초)

서울특별시 동작구 사당동 206-121(백경 B/D 2층)

TEL : 02-588-7188, FAX : 02-588-8184

■ 대 표 이 사 : 박 봉 근 (인)

■ 토질 및 기초 기술사 : 임 병 석 (인)

제 출 문

롯데건설(주) 귀중

귀 사와 계약 체결한 「 마곡 도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 신축공사 」중 대구경 PHC 말뚝에 대한 재하시험 용역을 성실히 수행 완료하고 시험결과를 분석하여 본 보고서를 제출합니다.

2015년 5월 26일

■(주) 백 경 지 앤 씨

품질검사전문기관 제2009-19(특수)

엔지니어링활동주체 10-1487(토질 및 기초)

서울특별시 동작구 사당동 206-121(백경 B/D 2층)

TEL : 02-588-7188, FAX : 02-588-8184

■ 대 표 이 사 : 박 봉 균 (인)

■ 토질 및 기초 기술사 : 임 병 점 (인)

목 차

1. 서 론 ····· 1
1.1 현장 개요 ····· 1
1.2 시험의 목적 ····· 1
1.3 과업의 범위 ····· 1
1.3.1 양방향 재하장치의 제작 ····· 1
1.3.2 양방향 재하방식 말뚝재하시험 수행 ····· 2
1.4 시험말뚝 시공 ····· 3
1.4.1 시험말뚝 시공 ····· 3
1.4.2 지반 조건 및 시험말뚝 제원 ····· 4

2. 양방향 재하장치 및 시험방법 ····· 6
2.1 시험장치 ····· 6
2.1.1 양방향 재하장치 ····· 6
2.1.2 시험용 계측장비 ····· 7
2.2 시험방법 및 하중 주기 ····· 8
2.3 재하시험 흐름도 ····· 10

3. 양방향 재하시험 결과 분석 ····· 11
3.1 시험 과정 ····· 11
3.2 항복하중 분석 ····· 12
3.3 등가하중 분석 ····· 15
3.3.1 강체 해석법(Rigid Body) ····· 15
3.3.2 탄성체 해석법(Elastic Body) ····· 17

4. 결 론 ····· 19

[부 록]

1. 서 론

1.1 현장 개요

본 현장 " 마곡도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 사업 신축공사 "에서 수행한 과업의 개요는 다음과 같다.

1) 공사명 : 마곡도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 사업 신축공사

2) 시공사 : 롯데건설(주)

3) 공종명 : HAT Joint를 이용한 대구경 PHC 말뚝 (RCD D 1,000mm) 양방향 재하시험

4) 일 시 : 2015년 5월 20일

1.2 시험의 목적

본 시험은 『 마곡도시개발구역 B4-2BL 오피스텔 사업 신축공사 』 중 반구형(HAT) Joint를 이용한 지하구조물 용 기둥 설계 및 시공기술의 성능을 확인하기 위한 대구경 PHC 말뚝(Φ1,000)에 대하여 양방향 재하시험을 실시하고, 시험 결과로부터 얻어진 시험말뚝의 등가 하중 – 침하량 곡선을 구하여 HAT Joint 대구경 PHC 말뚝의 지지력을 분석하여 대구경 PHC 말뚝 (Φ1,000) 시공에 대한 지반 공학적인 자료를 확보하는데 그 목적이 있다.

1.3 과업의 범위

본 과업의 범위는 다음과 같다.

1.3.1 양방향 재하장치의 제작

육상부 기초말뚝인 대구경 PHC 말뚝(Φ1,000)에 설치 가능한 최대시험하중을 작용 시킬 수 있는 충분한 유압 용량 확보, 말뚝 하부에 주입 충진재의 밀실한 충진, 고압 하에서도 작동이 용이한 부속품 조건 및 현장 작업 여건 등을 감안하여 본 현장에 적합한 복수 유압잭을 이용한 양방향 재하장치를 [그림 1-1]과 같이 제작하였다.



[그림 1-1] 복수 유압잭을 이용한 양방향 재하장치

1.3.2 양방향 재하방식 말뚝재하시험 수행

대구경 PHC 말뚝(Φ1,000)에 대하여 양방향 재하방식 말뚝재하시험을 실시하였다.
여기서, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

① 대구경 PHC 말뚝의 선단지지력과 주면마찰력 분리 측정.
② 대구경 PHC 말뚝의 지지력 확인.
③ HAT Joint 기술을 이용한 대구경 PHC 말뚝의 시공성 확인.

아울러 본 시험에 사용된 재하장치 설치과정은 [그림 1-2]에 나타내었다.



양방향 재하장치 조립 PHC 말뚝 근입 Mortar 주입재 충진

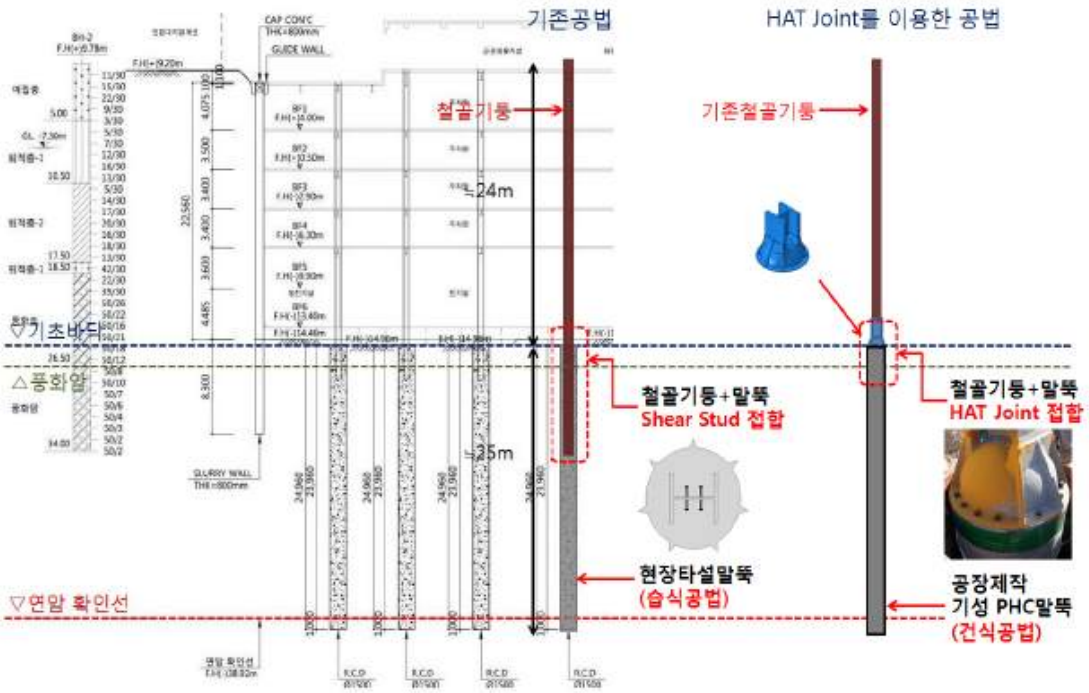
[그림 1-2] 양방향 재하장치 설치 과정

201

1.4 시험말뚝 시공

1.4.1 시험말뚝 시공

심도에 따른 지층 상태와 시험말뚝의 시공현황을 그림 1-3과 같이 도시하였다.



[그림 1-3] 시험말뚝의 시공 현황도

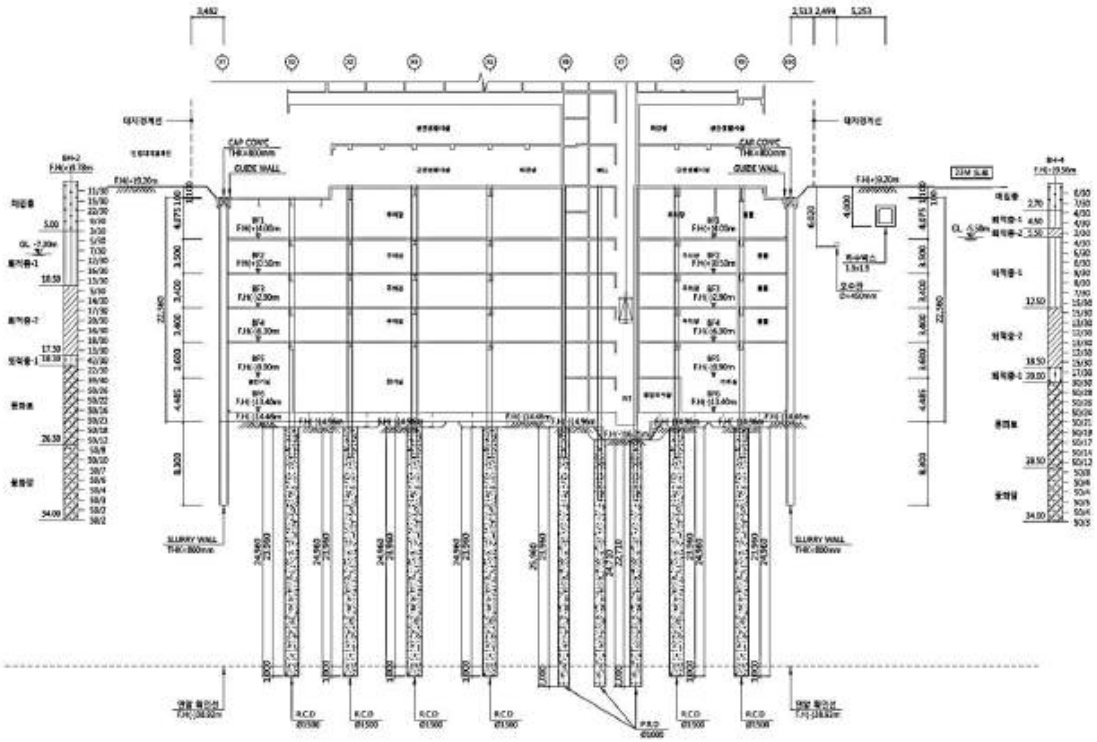
1.4.2 지반 조건 및 시험말뚝 제원

본 현장의 양방향 재하시험 위치의 지반 조건은 다음과 같다.

본 위치의 지반 조건은 상부로부터 매립토층, 퇴적토층, 풍화토층, 풍화암층으로 구성되어 있으며 GL. -28.5m부터 풍화암층이 출현하는 분포를 보이고 있다.

[표 1-1] 시험위치 지반 조건

지층 구분	심도	두께	공학적 성분
매립토	0.0 ~ 2.7	2.7	자갈섞인 실트질 모래
퇴적토	2.7 ~ 20.0	17.3	모래 및 점토섞인 실트 ~ 모래섞인 실트질 모래
풍화토	20.0 ~ 28.50	8.5	실트질 모래
풍화암	28.5 ~ 34.0	5.5	화강암의 풍화암. 매우조밀



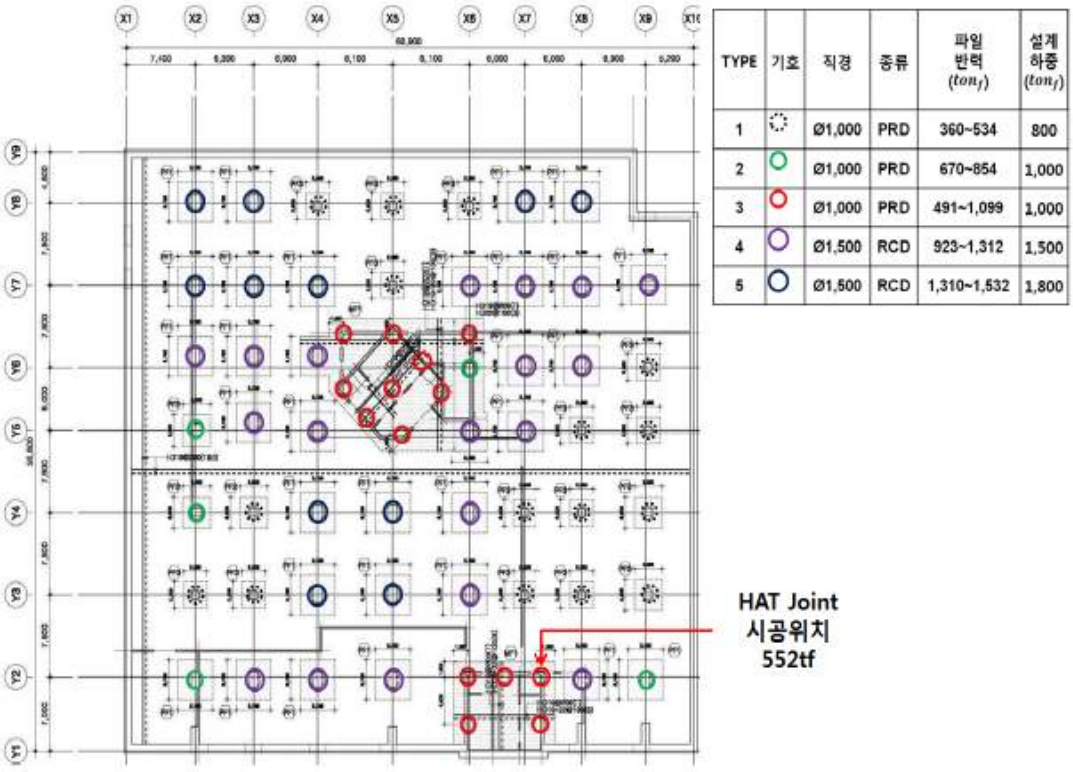
[그림 1-4] 시험말뚝의 지반 조건

본 현장에서 수행한 양방향 재하시험 말뚝의 제원 및 위치는 다음과 같다.

[표 1-2] 시험말뚝 제원표

구분	위치	시공일자	시험일자	말뚝 길이(m)	설계하중 (TON)	시험하중 (TON)	비고
초고강 PHC Φ1,000	X7, Y2	4월 22일	5월 20일	24.36 (25.49)	552	800	

註) 본 현장의 시험하중은 일방향 하중으로 설계하중의 181%인 1,000TON을 계획하였으나 본 말뚝이 사용 말뚝임을 감안하여 시험하중 800TON에서 종료하였음.



TYPE	기호	직경	종류	파일 반력 (ton_f)	설계 하중 (ton_f)
1		Ø1,000	PRD	360~534	800
2		Ø1,000	PRD	670~854	1,000
3		Ø1,000	PRD	491~1,099	1,000
4		Ø1,500	RCD	923~1,312	1,500
5		Ø1,500	RCD	1,310~1,532	1,800

[그림 1-5] 시험말뚝 위치도

2. 양방향 재하장치 및 시험방법

2.1 시험장치

2.1.1 양방향 재하장치

본 시험에 사용된 양방향 재하장치 중 대표적인 제원은 [표 2-1]과 같다.

[표 2-1] 양방향 재하장치 제원표

명 칭		제 원	수 량	비 고
유압실린더 (Hydraulic cylinder)		용량 : 1,250 tonf 치수 : O.D.460×H380 mm 최대변위 : 100 mm 사용압 : 1500 kg/㎠	2 EA	용량은 말뚝의 직경 및 재하 한 계에 따라 조절 가능
유압호스	가압용	내압강도 : 1,500kgf/cm2 길이 : 60 m	1 EA	호스의 길이는 말뚝길이에 따라 조절가능
	감압용	내압강도 : 700kgf/cm2 길이 : 60 m	1 EA	
지지판 (Bearing plate)	상판	치수 : O.D.1,130×t=30 mm	1 EA	직경은 말뚝직경 에 따라 조절가능
	하판	치수 : O.D.1,130×t=30 mm	1 EA	
변위봉 (Telltale)	케이싱 (Casing)	Steel Pipe O.D. : φ56 mm x t=3.0mm	50 m	상부변위: 1개소 하부변위: 1개소
	로드 (Rod)	강봉 : φ20 mm	50 m	

- 양방향 재하장치의 설치

양방향 재하장치의 설치위치는 시험 목적에 따라 달라지나 선단부에 설치하는 것이 일반적이다. 시험에 사용된 양방향 재하장치는 최대용량이 1,250 ton인 실린더 2개가 사용되었고, 유압잭을 PHC 말뚝 최하부에 용접하여 고정시키고 변위봉을 상판과 하판에 각각 1개씩 설치하여 상판 및 하판의 변위를 LVDT를 이용하여 측정하였다. 그리고 양방향 선단유압 재하장치의 단계별 설치 과정을 [부록. 2]에 첨부하였다.

2.1.2 시험용 계측장비

본 시험에 사용된 시험장비의 제원은 다음과 같다.

[표 2-2] 계측장비 제원표

장비명	규 격	수 량	비 고
1. Hydraulic Jack & Read-Out Unit	- Model No.: BK - Type : Hydraulic Type Cylinder - Max. Press. : 2000kgf/cm2 - Approx. sensitivity:0.1%F.S. - Accuracy : 0.1%F.S. - Read Out Unit : Adept-5	1 set	
2. Hydrulic hose & pump	- High Compressive Type Hose(1500Kg/cm^2) :10m	1 set	
3. LVDT & Read Out Unit	- Type : Digital Display - Max. Range : 0~175mm(3 ea), - Approx. sensitivity:0.001mm - Accuracy : 0.01mm	3 set	-제조회사: 한국 제프란.
4. Magnet Holder	- Permanent Magnetic Type	3 set	
5. Reference Beam	- Squared Pipe	2 set	
6. Hydraulic connector 및 부속장비	- 고압용 Connector, 멍키스패너, 바이스 플라이어, 렌치등	1 식	
7. DATA Logger & Computer	- 진동현식 변위계, 변형율계 채널 확장, 하중전이 분석용	1 set	

- 자료집적시스템(data acquisition system)

: 자료집적시스템은 하중 측정용 센서(pressure gauge sensor), 말뚝의 변위량 계측장치(LVDT) 등의 센서부와 데이터 수집 장치 (data logger)로 구성되었으며, 측정항목 및 측정에 사용될 계측시스템은 [표 2-3]과 같다.

[표 2-3] 측정항목 및 자료 직접시스템

항 목	본 시험의 특징
측정내용	○. 상판과 하판의 변위 측정 – 주면 마찰력과 선단지지력 분리 측정
계측센서 (시험말뚝)	○. LVDT
측정장치	○. Data Logger (전기식, 진동현식)

– 하중 측정용 센서

: 하중의 측정방법은 계획최대하중, 재하방법, 요구되는 정도, 기타의 조건을 고려하여 선정되는데, 현재 사용되고 있는 방법으로는 계기에 의한 방법과 적재물의 중량 계산에 의한 방법이 있다. 계기에 의한 방법에는 압력 게이지를 육안으로 판독하는 유압계 방식, 프루빙 링(proving ring)방식, 로드셀(load cell)방식, 유압센서(pressure sensor)방식 등이 있으며 본 시험에서는 디지털 유압센서 방식을 사용하였다.

2.2 시험방법 및 하중 주기

일반적으로 외국에서 사용하는 오스터버어그 셀 시험은 급속재하시험방법에 따라 수행하는 것이 일반적이나 다른 방법으로 시험도 가능하다(Schmertmann & Hayes, 1997). 따라서 본 시험의 양방향 선단 유압재하시험에서는 ASTM에서 규정하고 있는 급속재하시험방법으로 실시하였다. 실시간으로 데이터를 모니터링하면서 하중을 제어하였다.

본 시험방법은 말뚝 시공 시 하중가압 장치를 말뚝 선단에 장착하고 가압장치 상판과 하판의 변위를 측정하여 말뚝 지지력을 확인하는 시험방법으로 아래와 같으며 시험 관련 사진은 [부록, 2]에 수록하였다.

1) 하중 가압장치 및 선단 거동 측정 장치가 설치된 말뚝 두부 양옆에 충분한 이격거리를 갖는 고정보(Reference Beam)을 설치한다.
2) 말뚝 두부 거동을 측정 할 LVDT를 설치한다.

3) 말뚝 두부 및 선단의 변위를 측정하기 위한 변위봉(Telltale Gage)를 설치하고 이것의 거동을 측정하는 LVDT를 설치한다.

4) 말뚝 선단에 작용되는 하중을 측정할 압력계(Pressure Transducer)를 연결한다.

5) 자동 및 수동 유압펌프를 설치한다.

6) 선단 및 두부의 변위를 관찰하면서 아래 [표 2-4]와 같은 주기로 하중을 가하였다.

[표 2-4] 사용하중 주기표 (ASTM D 1143. 8.1.2 Procedure A: Quick test)

step	1cycle		2cycle	
	load(%)	Time(minute)	load(%)	Time(minute)
0	0	0		
1	5	15		
2	10	15		
3	15	15		
4	20	15		
5	25	15	25	15
6	30	15		
7	35	15		
8	40	15		
9	45	15		
10	50	15	50	15
11			55	15
12			60	15
13			65	15
14			70	15
15			75	15
16			80	15
Un-loading				
15			75	15
10			50	15
5	25	15	25	15
0	0	15	0	30

2.3 재하시험 흐름도

본 현장에서 수행한 일련의 시험과정에 대한 사항을 간략하게 [그림 2-1]과 같이 시험 흐름도로 나타내었다. 아울러 보다 상세한 사항은[부록. 2]에서 단계별 현장 사진으로 나타내었다.



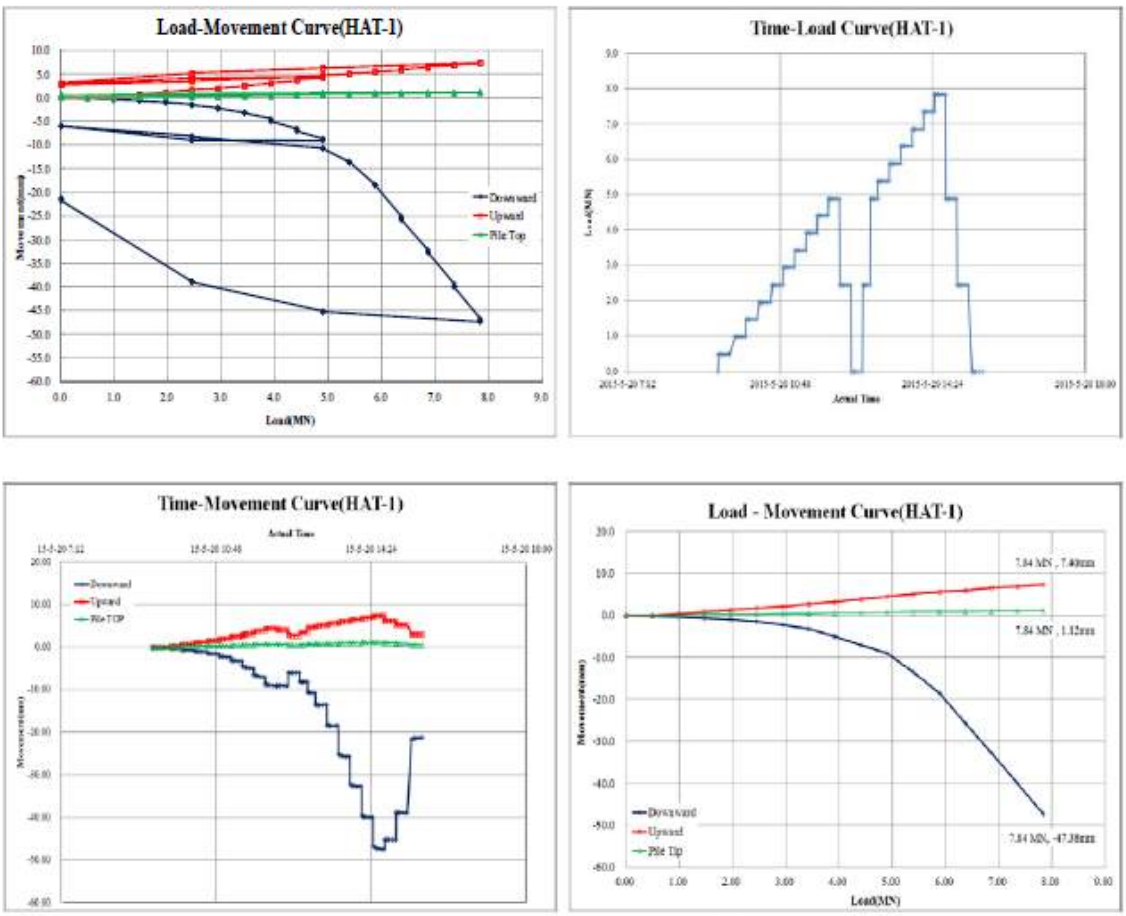
[그림 2-1] 양방향 재하시험 흐름도

3. 양방향 재하시험 결과 분석

본 시험은 Single Level Test 방식으로 선단 지지력과 주면 마찰력을 확인하였다. 그 결과를 도시하면 다음과 같다.

3.1 시험 과정

본 말뚝의 양방향 재하시험은 2015년 5월 20일 오전 9시경부터 시작하여 2 cycle, 16step으로 최대 시험하중 7.84MN(800.0ton) 까지 재하를 실시하였다.



[그림 3-1] 시간-하중-변위 그래프

210

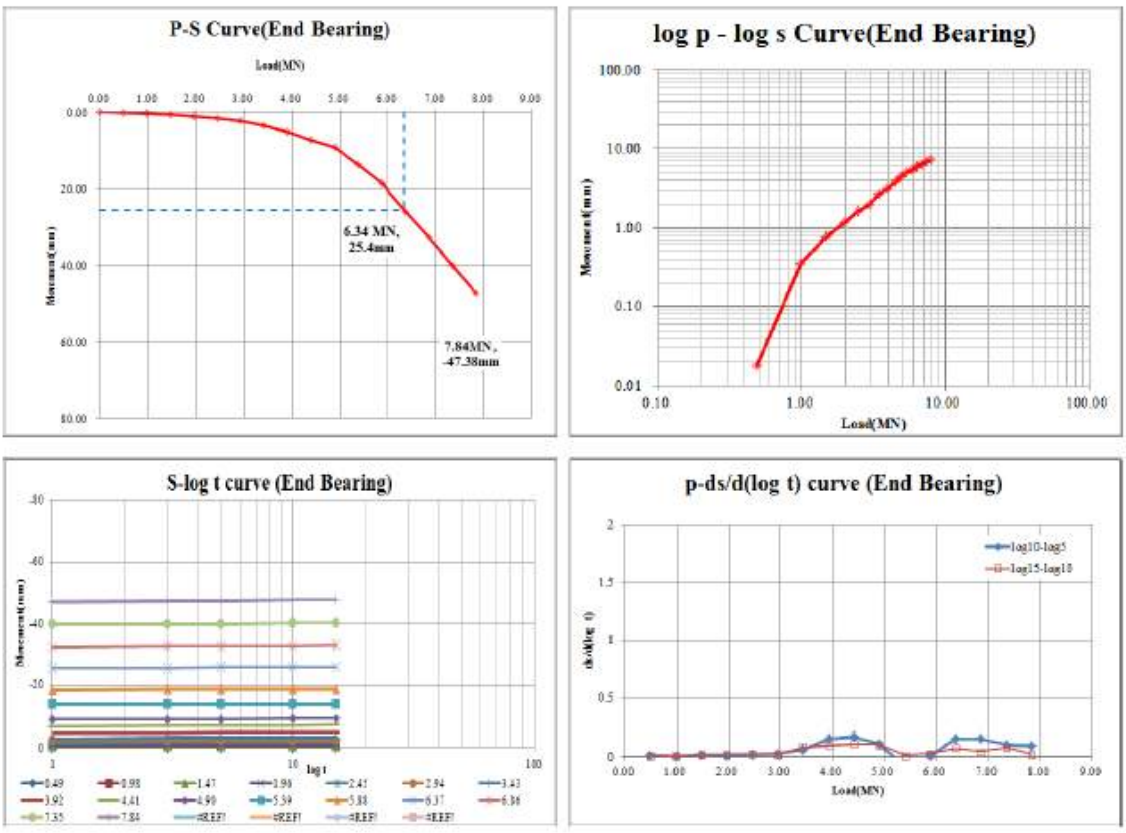
그 결과 최대하중 7.845MN(800TON)에서 상향 변위는 7.40mm, 하향 변위는 47.38mm 발생하였다.

[표 1.] 양방향 재하시험 변위 집계표

구분	상향변위(mm)		하향변위(mm)		말뚝 머리 변위(mm)		비고
	전체변위	잔류변위	전체변위	잔류변위	전체변위	잔류변위	
X7, Y2	7.40	2.99	47.38	21.22	1.12	0.53	

3.2 항복하중 분석

1) 선단 지지력 분석



[그림 3-2] 항복하중 분석 그래프(선단 지지력)

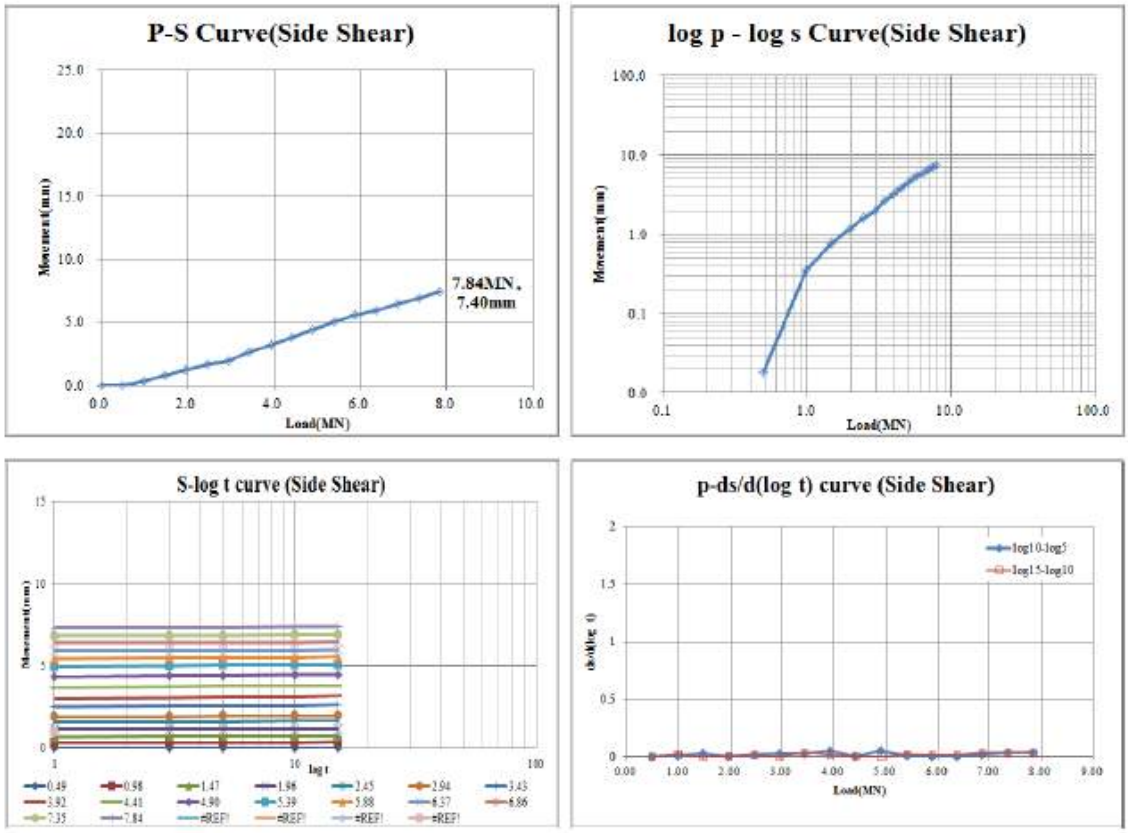
211

본 말뚝의 선단부 하중 변위 곡선에 항복하중 분석을 실시한 결과 최대시험 하중 7.84MN에서 뚜렷한 항복하중이 발생하지 않은 것으로 나타났으며, 전침하량 기준 25.4mm (Terzaghi and peck, 안전율 2.0)를 시험하중 6.34MN에서 초과하여 안전율 2.0을 적용하면 3.17MN 이다. 따라서 본 말뚝의 선단 허용 지지력은 3.17(323.3 TON)MN으로 판단된다.

[표 3-2] 선단부 지지력 분석 결과표

분석법	기준	적용하중(MN)	안전율(F.S)	허용하중(MN)	비고
항복하중분석	P-S, Log P-Log S S-Log T,p-ds/d(logt)	7.84	2.0	3.92	
전침하량 분석	25.4mm	6.34	2.0	3.17	

2) 주면 마찰력 분석



[그림 3-3] 항복하중 분석 그래프(주면 마찰력)

본 말뚝의 주면부 하중 변위 곡선에 항복하중 분석을 실시한 결과 최대시험 하중 7.84MN에서 뚜렷한 항복하중이 발생하지 않은 것으로 나타났다. 따라서 최대시험하중 7.84MN에 안전율 2.0을 적용하면 3.92 MN이 본 말뚝의 허용 주면마찰력으로 판단된다. 단 말뚝의 자중이 반력하중으로 작용하므로 말뚝의 부양자중 0.44 MN을 제외하여야 한다. 따라서 부양자중을 제외한 주면 하중은 7.40 MN이고 안전율 2.0을 고려한 허용주면 마찰력은 3.7 MN으로 판단된다.

[표 3-3] 주면부 지지력 분석 결과표

분석법	기준	적용하중 (MN)	부양자중 (MN)	안전율 (F.S)	허용하중 (MN)	비고
항복하중분석	P-S. Log. P-Log S. S-Log T. p-ds/d(logt)	7.40	0.44	2.0	3.70	

❖ 항복하중 분석결과

[표 3-4] 종합 지지력 분석 결과표

구분	분석법	적용하중(MN)	안전율(F.S)	허용하중(MN)	비고
선단 지지력	침하량 분석/ 항복하중분석	6.34	2.0	3.17	
주면 마찰력		7.40	2.0	3.70	
종합 지지력				6.87	

본 시험결과를 항복하중 분석을 실시한 결과 말뚝의 허용 지지력은 6.87MN/本으로 평가 되었으나 이는 주면과 선단 모두 항복이나 극한 상태에 도달하지 못하여 최대 지지력이 아닌 시험하중 7.84MN (일방향 하중)에 대한 최소 허용 지지력으로 나타나며 6.87MN/本(700.3ton/本)으로 분석되었다.

3.3 등가하중 분석

양방향 재하시험의 등가하중 분석 방법은 크게 두 가지로 나뉘어진다.

1) 측정된 Data를 기준으로 분석

2) 외삽(extrapolated)을 이용하는 방법

등가하중 분석의 기본 원리는 측정된 주면의 하중-변위 관계와 선단의 하중-변위 관계를 하나의 하중-변위 관계로 도시 분석하는 과정이다. 이때 기준이 되는 요소가 변위가 되며 동일한 변위에서의 하중을 찾아 더하고 반력으로 작용되는 말뚝의 자중(혹은 부양 자중)을 제외한 하중과 변위의 관계를 새로이 도시하는 것이다.

도시하는 방법에도 측정된 data내에서 분석하는 방법과 작게 측정된 한쪽을 외삽하여 다시 재도시하는 방법이 있다. 외삽의 경우는 선단과 주면 중 한쪽이 너무 큰 저항력이 있어 측정된 결과로는 괴소 평가되는 경우에 주로 사용되나 이는 사용 범위의 제한을 어떻게 결정하느냐에 따라 과대 평가할 수 있는 위험요소를 가지고 있다.

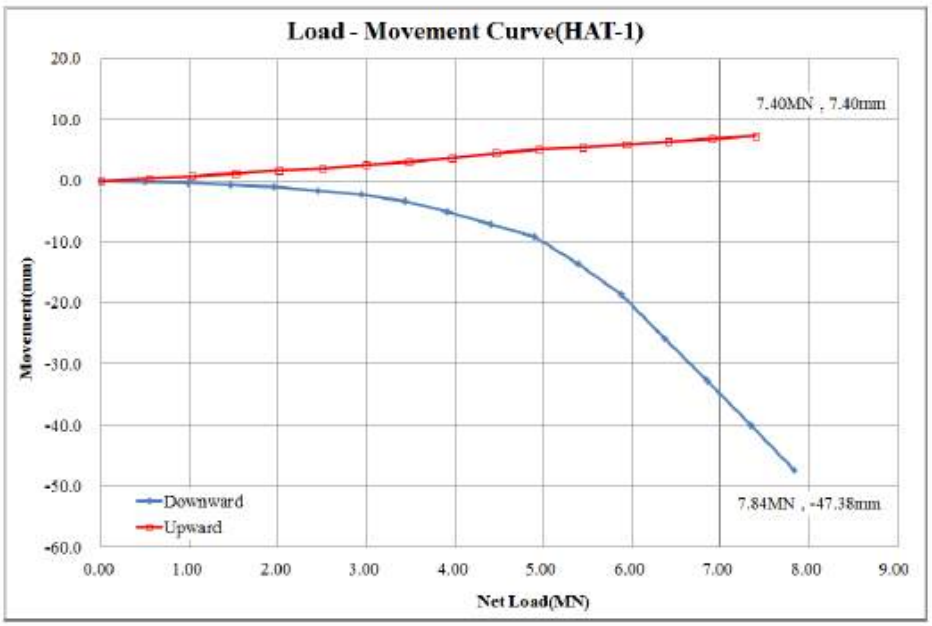
따라서 본 분서에서는 측정된 범위 내에서의 분석을 주로 사용하여 분석하였으며 또한 말뚝 몸체를 탄성체로 해석하는 방법을 사용하였다.

기존의 분석 방법들은 말뚝 몸체의 압축량이 작아 무시하는 강체 해석법을 사용하였으나 말뚝 몸체는 탄성체 이므로 탄성 압축량을 고려한 탄성체 해석법을 사용하는 것이 합리적이며 국제적인 분석 방법으로 사용되고 있다.

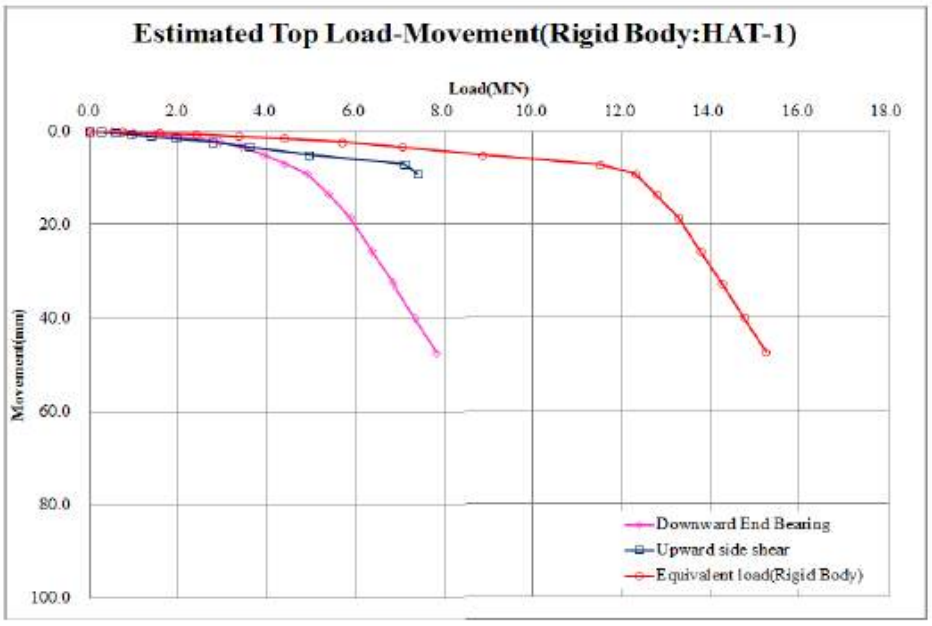
3.3.1 강체 해석법(Rigid Body)

강체 해석법은 국내에서 일반적인 방법으로 많이 사용되고 있는 방법으로 말뚝의 탄성 압축량을 무시하고 분석하는 방법이다. 그러나 하중이 커질수록 말뚝 몸체의 탄성 압축량도 커지므로 탄성 압축량을 고려한 분석 방법이 말뚝 머리에서 재하하는 분석법과 유사한 거동임을 많은 논문을 통해 검증되었다.

다음은 본 시험 결과를 강체 해석법으로 분석한 결과이다.



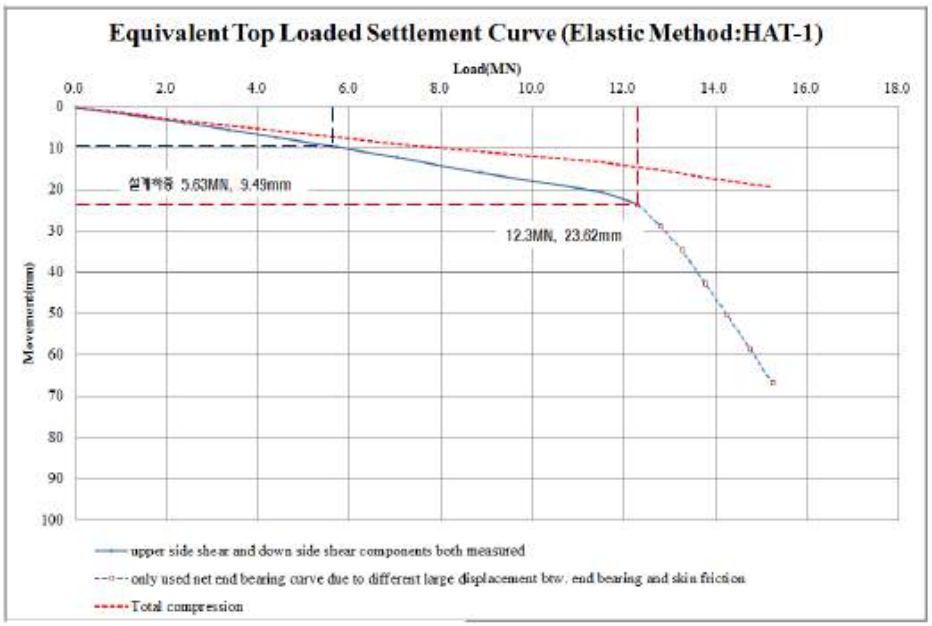
[그림 3-4] 부양 자중을 고려한 하중-변위 그래프



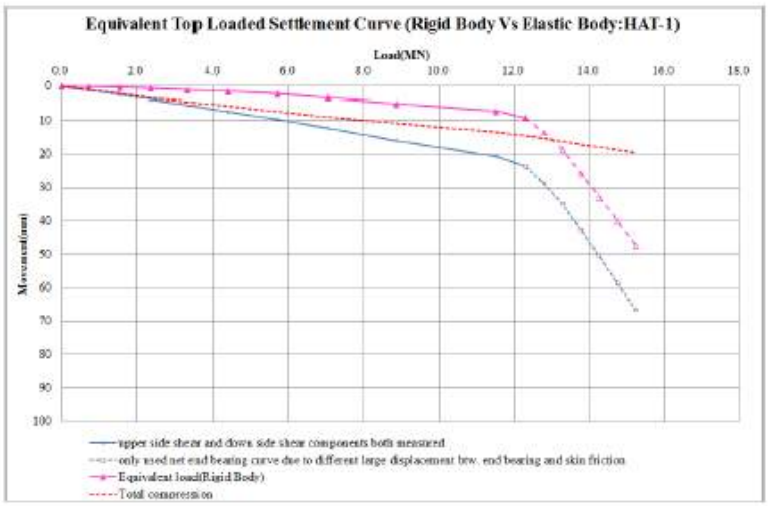
[그림 3-5] 강체 해석 그래프

3.3.2 탄성체 해석법(Elastic Body)

강체 해석으로 분석된 등가하중에 대하여 각 하중에 대한 탄성 압축량을 계산하여 고려하면 현장 타설 말뚝 몸체의 탄성 압축량을 고려한 등가하중 그래프가 도시된다.



[그림 3-6] 탄성체 해석 그래프



[그림 3-7] 강체해석과 탄성체 해석 그래프

본 말뚝의 탄성 압축량을 고려한 등가하중 분석은 그림 6과 같고 측정된 작은 변위이 주면 변위를 기준으로 분석된 지지력은 12.3MN 이다.

단, 12.3MN은 주면의 하중을 측정된 최종하중(7.84MN)만을 사용하여 분석한 결과로 안전 측 해석을 위한 최소 지지력으로 분석되었다.

다음은 등가하중 분석을 수행한 결과이다.

[표 3-5] 등가하중 분석 결과표

구분	적용하중(MN)	변위량(mm)	안전율(F.S.)	허용 지지력(MN)
설계하중	5.63	9.49		
최소변위기준	12.3	23.62	2.0	6.15

註) 최소변위는 작게 측정된 주면 변위에 탄성압축량을 고려한 변위임.

표 3-5 에서 나타나듯이 본 말뚝의 최소 허용 지지력은 6.15MN(626.9ton)으로 설계하중 5.42(552TON)MN을 충분히 만족하는 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 현장의 기초 말뚝으로 설계 시공된 HAT Joint 기술을 이용한 대구경 PHC 말뚝(D 1000)에 대하여 양방향 재하시험을 수행하였으며 분석된 지지력의 결과는 다음과 같다.

[표 4-1] 지지력분석 결과표

구분	상향변위(mm)		하향변위(mm)		말뚝 머리 변위(mm)		비고
	전체변위	잔류변위	전체변위	잔류변위	전체변위	잔류변위	
X7, Y2	7.40	2.99	47.38	21.22	1.12	0.53	

구분	적용하중(MN)	변위량(mm)	안전율(F.S.)	허용 지지력(MN)
X7, Y2	12.30	23.62	2.0	6.15

위 표 4-1 에서 나타나듯이 본 말뚝의 최소 허용 지지력은 6.15(626.9TON)MN으로 설계하중 5.42(552 TON)MN을 충분히 만족하는 것으로 판단된다.

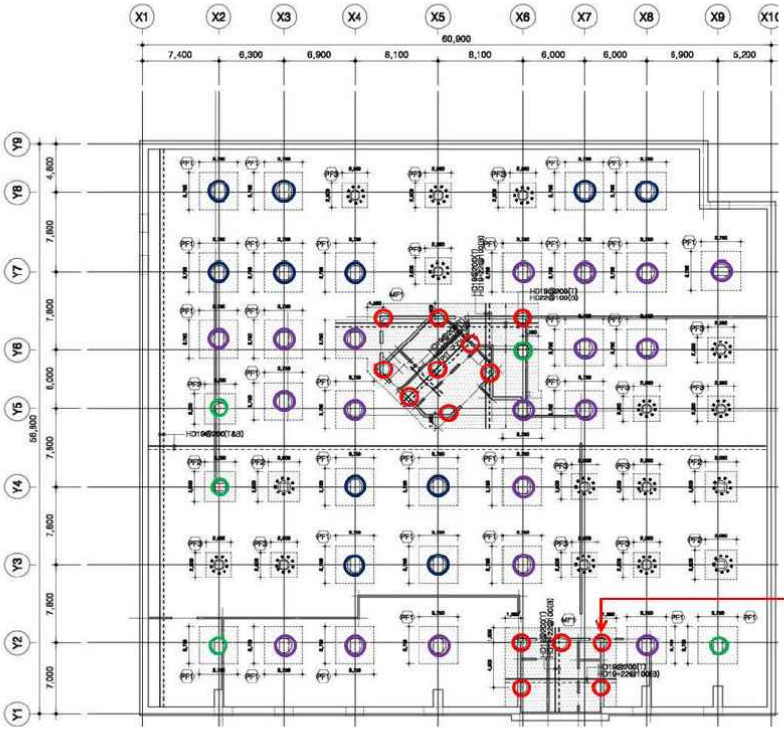
참고문헌

1. 건설교통부 (2000). "도로교 설계기준."
2. 최용규 (1998). "알기쉬운 말뚝기초공학." 부산시 공무원 교육교재, 부산광역시 건설안전관리본부.
3. 최용규 (1999). "국내 말뚝기초 설계관행의 개선을 위한 제언 - 말뚝기초의 지지력 관점에서." 대한토목학회논문집, 제 19권 제 III-3호, 1999. 5, pp 467 - 477.
4. 최용규 (1999). "말뚝재하시험의 결과해석 - 현장기술자를 위한 워크샵." (사)한국지반공학회 말뚝기초위원회, 1999. 8.
5. (사) 한국지반공학회 (2009). "구조물기초 설계기준."
6. (사) 한국지반공학회 (2009). "깊은기초." 지반공학시리즈 4, 한국지반공학회 강습회교재.
7. 土質工學會 (1997). "杭基礎の設計とその解說." 日本土質工學會.
8. ASTM D1143-81(Reapproved by 1994) (1994). "Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load."
9. Canadian Geotechnical Society (1985). "Foundtion Engineering Manual, 2nd Ed." Editored by Meyerhof, G. G.
10. Vesic, A. S. (1977). "Design of Pile Foundations." National Cooperative Highway Research Program Synthesis of Highway Practice 42.

- 부 록

1. 재하시험 위치도
2. 재하시험 현장 기록사진
3. 재하시험 분석 Data Sheet
4. 시험장비 교정검사 성적서
5. 업체인증서류
6. 참고문헌

부록 1. 재하시험 위치도



TYPE	기호	직경	종류	파일 반력 (ton_f)	설계 하중 (ton_f)
1		Ø1,000	PRD	360~534	800
2		Ø1,000	PRD	670~854	1,000
3		Ø1,000	PRD	491~1,099	1,000
4		Ø1,500	RCD	923~1,312	1,500
5		Ø1,500	RCD	1,310~1,532	1,800

HAT Joint
시공위치
552tf

부 록 2

재하시험 현장기록사진

현장 기록사진(HAT-1)



양방향 재하장치



재하장치 설치



말뚝 근입



트레미 파이프 설치



선단부 그라우팅



양방향 재하시험

현장 기록사진(HAT-1)



현장명	마곡도시개발구역 B4-2BL
공 종	HAT JOINT 설계및 시공기술
위 치	TEST-1
내 용	양방향 재하시험
날 짜	2015.05.20

양방향 재하시험 계측실 전경

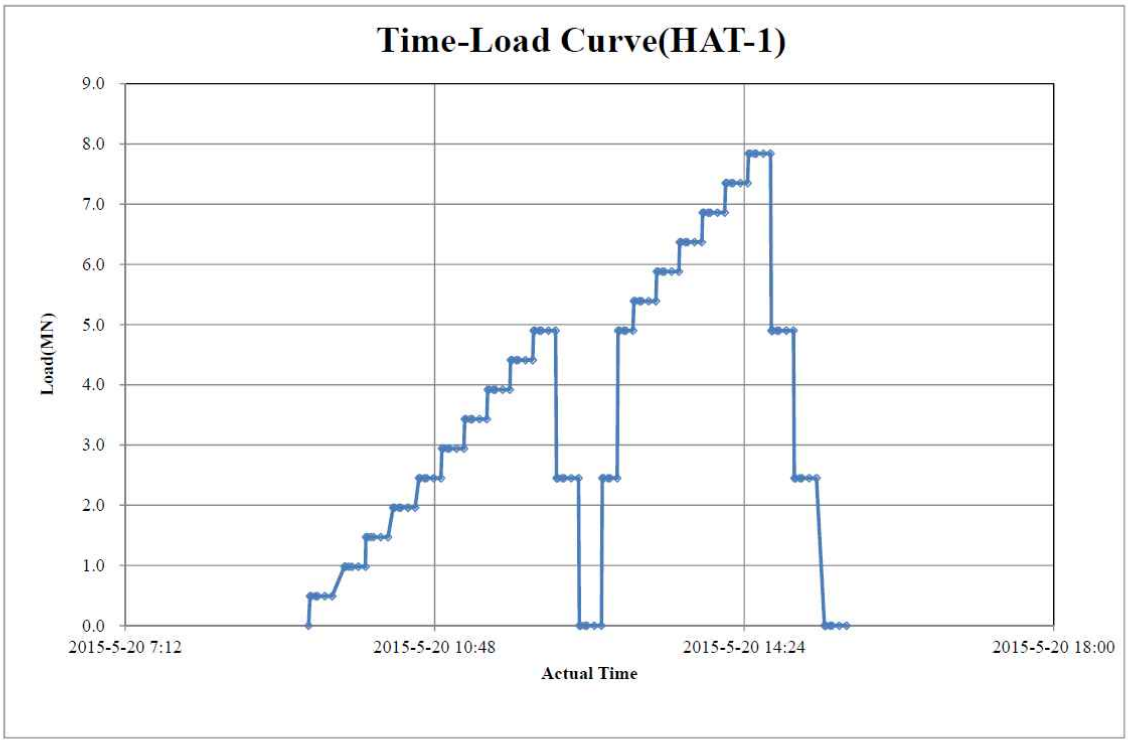


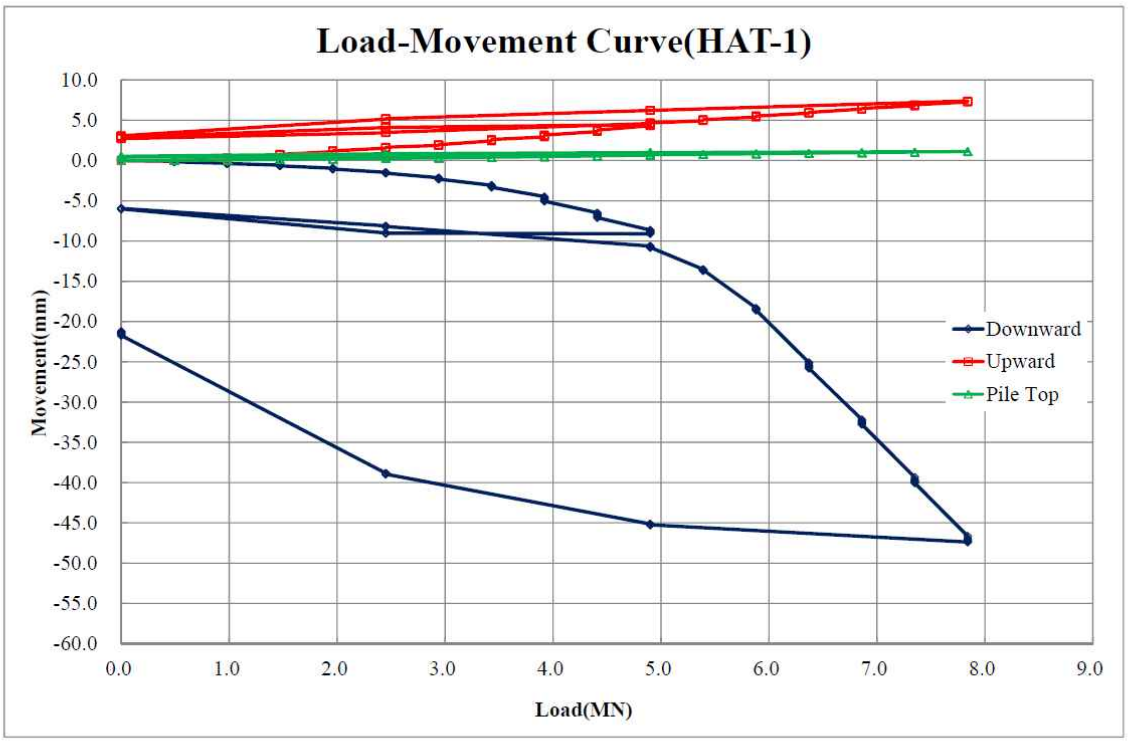
현장명	마곡도시개발구역 B4-2BL
공 종	HAT JOINT 설계및 시공기술
위 치	TEST-1
내 용	양방향 재하시험
날 짜	2015.05.20

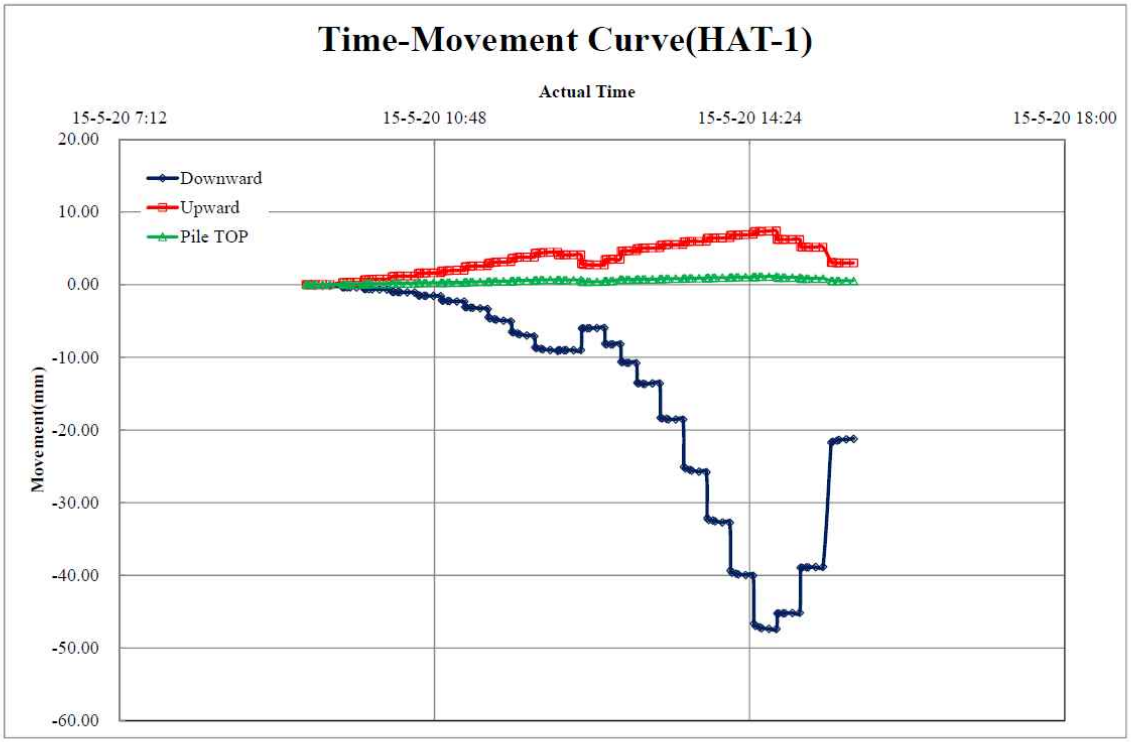
양방향 재하시험 계측전경

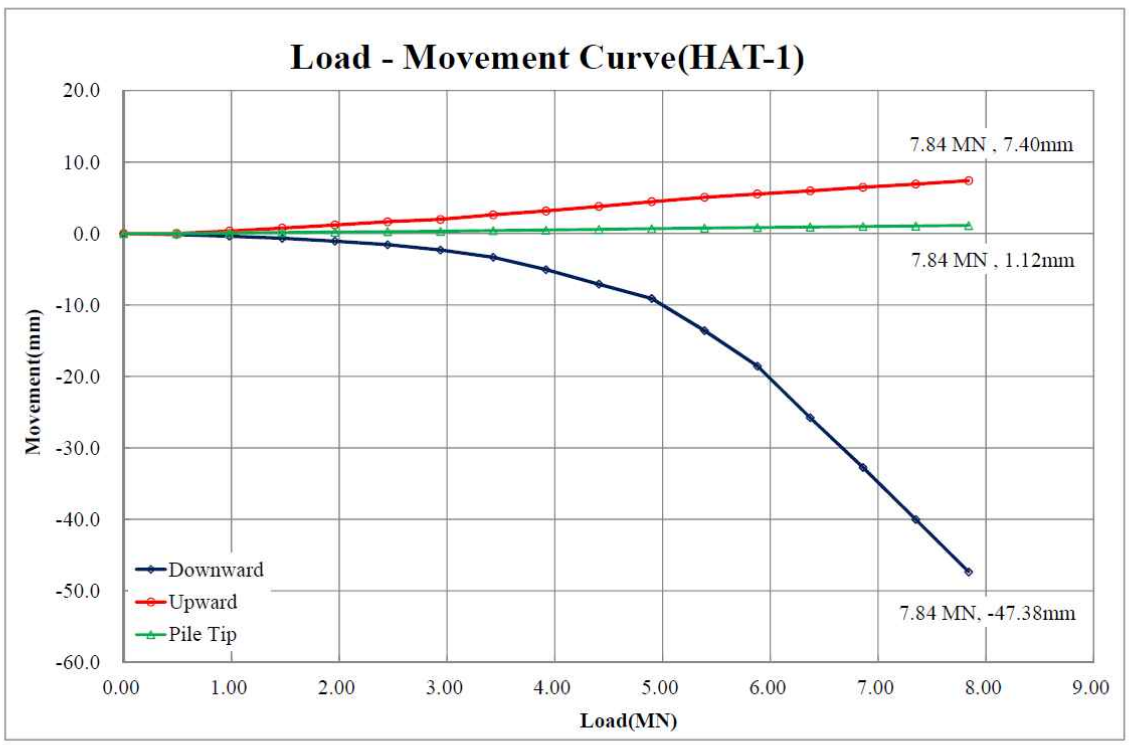
부 록 3

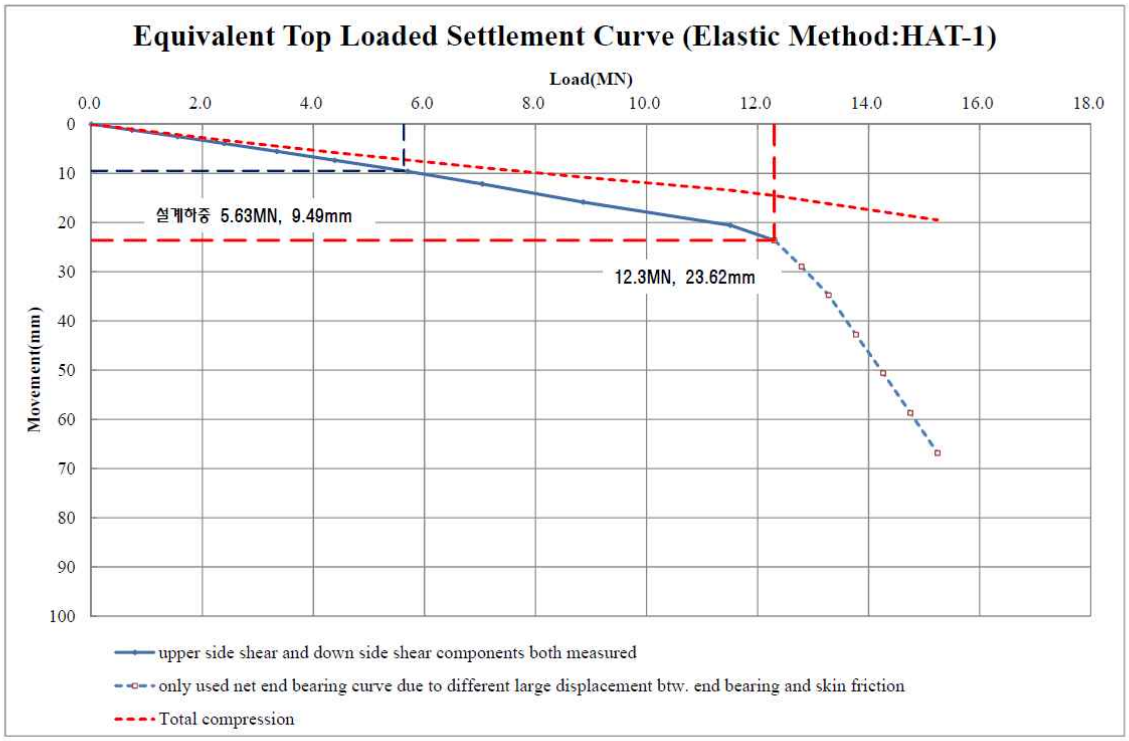
재하시험 분석 Data Sheet

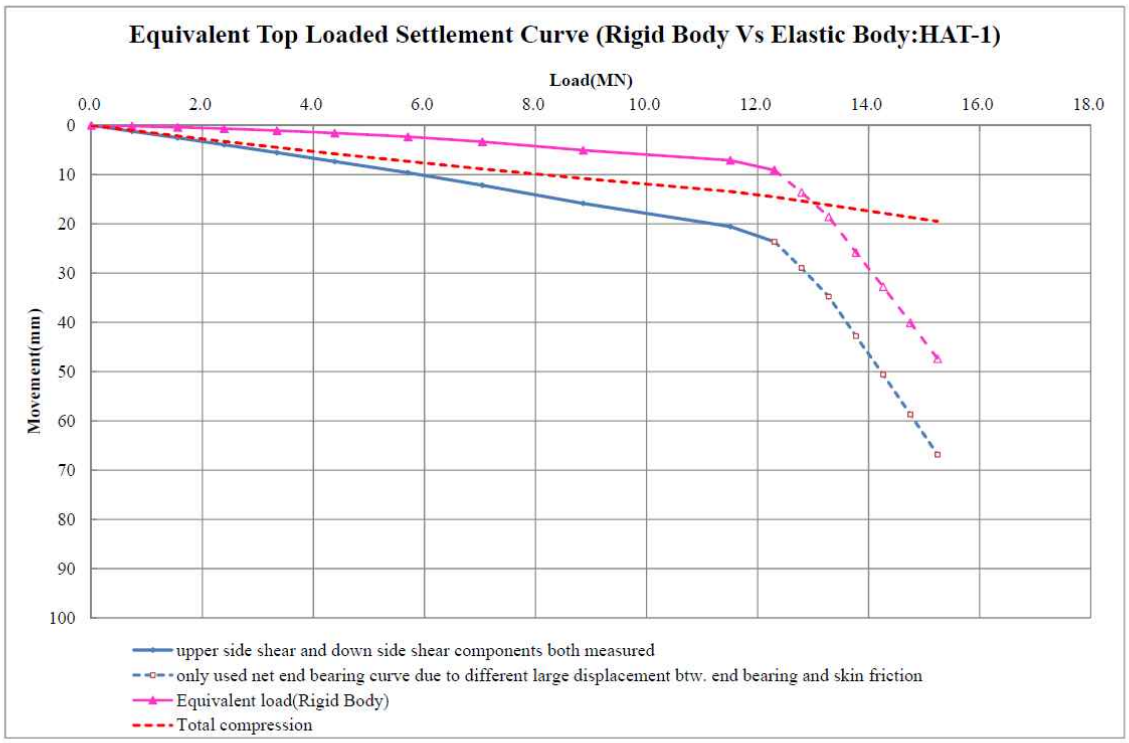

Time-Load Curve(HAT-1)
Load(MN)
9.0
8.0
7.0
6.0
5.0
4.0
3.0
2.0
1.0
0.0
2015-5-20 7:12
2015-5-20 10:48
2015-5-20 14:24
2015-5-20 18:00
Actual Time


Load-Movement Curve(HAT-1)
Movement(mm)
10.0
5.0
0.0
-5.0
-10.0
-15.0
-20.0
-25.0
-30.0
-35.0
-40.0
-45.0
-50.0
-55.0
-60.0
0.0
1.0
2.0
3.0
4.0
5.0
6.0
7.0
8.0
9.0
Load(MN)
Downward
Upward
Pile Top


Time-Movement Curve(HAT-1)
Actual Time
15-5-20 7:12
15-5-20 10:48
15-5-20 14:24
15-5-20 18:00
20.00
10.00
0.00
-10.00
-20.00
-30.00
-40.00
-50.00
-60.00
Movement(mm)
Downward
Upward
Pile TOP


Load - Movement Curve(HAT-1)
20.0
10.0
0.0
-10.0
-20.0
-30.0
-40.0
-50.0
-60.0
Movement(mm)
0.00
1.00
2.00
3.00
4.00
5.00
6.00
7.00
8.00
9.00
Load(MN)
7.84 MN , 7.40mm
7.84 MN , 1.12mm
7.84 MN, -47.38mm
Downward
Upward
Pile Tip


Equivalent Top Loaded Settlement Curve (Elastic Method:HAT-1)
Load(MN)
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
14.0
16.0
18.0
Movement(mm)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
설계하중 5.63MN, 9.49mm
12.3MN, 23.62mm
upper side shear and down side shear components both measured
only used net end bearing curve due to different large displacement btw. end bearing and skin friction
Total compression


Equivalent Top Loaded Settlement Curve (Rigid Body Vs Elastic Body:HAT-1)
Load(MN)
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
14.0
16.0
18.0
Movement(mm)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
upper side shear and down side shear components both measured
only used net end bearing curve due to different large displacement btw. end bearing and skin friction
Equivalent load(Rigid Body)
Total compression

Field Record for Bi-Directional Pile Load Test

Project : 마곡지구 B4-2BL 오피스텔 신축공사 — Date of Construction : 2015/04/22

Location: TEST-1 (Y2, X7) — Pile Length : 24.0m — Date of Test : 2015/05/20

CYCLE	DAY	time	load			DOWNWARD		UPWARD		PILE TOP	
			%	ton	MN	CH.1	aver	CH.2	aver	CH.3	aver
1	15-5-20 9:20	0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	15-5-20 9:21	0	5.0%	50.0	0.49	-0.10	-0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
	15-5-20 9:22	1	5.0%	50.0	0.49	-0.11	-0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
	15-5-20 9:24	3	5.0%	50.0	0.49	-0.12	-0.12	0.02	0.02	0.00	0.00
	15-5-20 9:26	5	5.0%	50.0	0.49	-0.14	-0.14	0.02	0.02	0.00	0.00
	15-5-20 9:31	10	5.0%	50.0	0.49	-0.15	-0.15	0.02	0.02	0.00	0.00
	15-5-20 9:36	15	5.0%	50.0	0.49	-0.16	-0.16	0.02	0.02	0.00	0.00
	15-5-20 9:45	0	10.0%	100.0	0.98	-0.35	-0.35	0.29	0.29	0.05	0.05
	15-5-20 9:46	1	10.0%	100.0	0.98	-0.36	-0.36	0.29	0.29	0.06	0.06
	15-5-20 9:48	3	10.0%	100.0	0.98	-0.36	-0.36	0.30	0.30	0.06	0.06
	15-5-20 9:50	5	10.0%	100.0	0.98	-0.37	-0.37	0.32	0.32	0.06	0.06
	15-5-20 9:54	10	10.0%	100.0	0.98	-0.37	-0.37	0.32	0.32	0.06	0.06
	15-5-20 9:59	15	10.0%	100.0	0.98	-0.38	-0.38	0.35	0.35	0.07	0.07
	15-5-20 10:00	0	15.0%	150.0	1.47	-0.57	-0.57	0.65	0.65	0.12	0.12
	15-5-20 10:01	1	15.0%	150.0	1.47	-0.59	-0.59	0.68	0.68	0.12	0.12
	15-5-20 10:03	3	15.0%	150.0	1.47	-0.60	-0.60	0.72	0.72	0.13	0.13
	15-5-20 10:05	5	15.0%	150.0	1.47	-0.63	-0.63	0.73	0.73	0.13	0.13
	15-5-20 10:10	10	15.0%	150.0	1.47	-0.65	-0.65	0.76	0.76	0.14	0.14
	15-5-20 10:15	15	15.0%	150.0	1.47	-0.66	-0.66	0.76	0.76	0.14	0.14
	15-5-20 10:19	0	20.0%	200.0	1.96	-0.96	-0.96	1.10	1.10	0.18	0.18
	15-5-20 10:20	1	20.0%	200.0	1.96	-0.99	-0.99	1.14	1.14	0.19	0.19
	15-5-20 10:22	3	20.0%	200.0	1.96	-1.01	-1.01	1.17	1.17	0.20	0.20
	15-5-20 10:24	5	20.0%	200.0	1.96	-1.03	-1.03	1.18	1.18	0.20	0.20
	15-5-20 10:29	10	20.0%	200.0	1.96	-1.04	-1.04	1.18	1.18	0.20	0.20
	15-5-20 10:34	15	20.0%	200.0	1.96	-1.07	-1.07	1.19	1.19	0.20	0.20
	15-5-20 10:37	0	25.0%	250.0	2.45	-1.47	-1.47	1.54	1.54	0.25	0.25
	15-5-20 10:38	1	25.0%	250.0	2.45	-1.49	-1.49	1.58	1.58	0.26	0.26
	15-5-20 10:40	3	25.0%	250.0	2.45	-1.51	-1.51	1.58	1.58	0.26	0.26
	15-5-20 10:42	5	25.0%	250.0	2.45	-1.53	-1.53	1.61	1.61	0.26	0.26
	15-5-20 10:47	10	25.0%	250.0	2.45	-1.55	-1.55	1.63	1.63	0.26	0.26
	15-5-20 10:52	15	25.0%	250.0	2.45	-1.57	-1.57	1.65	1.65	0.26	0.26
	15-5-20 10:53	0	30.0%	300.0	2.94	-2.14	-2.14	1.87	1.87	0.30	0.30
	15-5-20 10:54	1	30.0%	300.0	2.94	-2.20	-2.20	1.89	1.89	0.30	0.30
	15-5-20 10:56	3	30.0%	300.0	2.94	-2.23	-2.23	1.90	1.90	0.30	0.30
	15-5-20 10:58	5	30.0%	300.0	2.94	-2.26	-2.26	1.94	1.94	0.31	0.31
	15-5-20 11:03	10	30.0%	300.0	2.94	-2.29	-2.29	1.96	1.96	0.31	0.31
	15-5-20 11:08	15	30.0%	300.0	2.94	-2.32	-2.32	1.97	1.97	0.31	0.31

Field Record for Bi-Directional Pile Load Test

Project : 마곡지구 B4-2BL 오피스텔 신축공사 — Date of Construction : 2015/04/22

Location: TEST-1 (Y2, X7) — Pile Length : 24.0m — Date of Test : 2015/05/20

CYCLE	DAY	time	load			DOWNWARD		UPWARD		PILE TOP	
			%	ton	MN	CH.1	aver	CH.2	aver	CH.3	aver
1	15-5-20 11:09	0	35.0%	350.0	3.43	-3.07	-3.07	2.43	2.43	0.38	0.38
	15-5-20 11:10	1	35.0%	350.0	3.43	-3.10	-3.10	2.50	2.50	0.39	0.39
	15-5-20 11:12	3	35.0%	350.0	3.43	-3.14	-3.14	2.55	2.55	0.40	0.40
	15-5-20 11:14	5	35.0%	350.0	3.43	-3.18	-3.18	2.56	2.56	0.40	0.40
	15-5-20 11:19	10	35.0%	350.0	3.43	-3.24	-3.24	2.58	2.58	0.40	0.40
	15-5-20 11:24	15	35.0%	350.0	3.43	-3.32	-3.32	2.62	2.62	0.41	0.41
	15-5-20 11:25	0	40.0%	400.0	3.92	-4.47	-4.47	2.92	2.92	0.45	0.45
	15-5-20 11:26	1	40.0%	400.0	3.92	-4.64	-4.64	3.00	3.00	0.46	0.46
	15-5-20 11:28	3	40.0%	400.0	3.92	-4.74	-4.74	3.06	3.06	0.47	0.47
	15-5-20 11:30	5	40.0%	400.0	3.92	-4.80	-4.80	3.09	3.09	0.48	0.48
	15-5-20 11:35	10	40.0%	400.0	3.92	-4.96	-4.96	3.14	3.14	0.48	0.48
	15-5-20 11:40	15	40.0%	400.0	3.92	-5.06	-5.06	3.16	3.16	0.48	0.48
	15-5-20 11:41	0	45.0%	450.0	4.41	-6.49	-6.49	3.59	3.59	0.55	0.55
	15-5-20 11:42	1	45.0%	450.0	4.41	-6.56	-6.56	3.65	3.65	0.56	0.56
	15-5-20 11:44	3	45.0%	450.0	4.41	-6.70	-6.70	3.74	3.74	0.56	0.56
	15-5-20 11:46	5	45.0%	450.0	4.41	-6.82	-6.82	3.77	3.77	0.57	0.57
	15-5-20 11:51	10	45.0%	450.0	4.41	-6.99	-6.99	3.77	3.77	0.57	0.57
	15-5-20 11:56	15	45.0%	450.0	4.41	-7.10	-7.10	3.78	3.78	0.57	0.57
	15-5-20 11:57	0	50.0%	500.0	4.90	-8.64	-8.64	4.32	4.32	0.65	0.65
	15-5-20 11:58	1	50.0%	500.0	4.90	-8.71	-8.71	4.33	4.33	0.66	0.66
	15-5-20 12:00	3	50.0%	500.0	4.90	-8.81	-8.81	4.39	4.39	0.67	0.67
	15-5-20 12:02	5	50.0%	500.0	4.90	-8.88	-8.88	4.40	4.40	0.67	0.67
	15-5-20 12:07	10	50.0%	500.0	4.90	-8.99	-8.99	4.46	4.46	0.68	0.68
	15-5-20 12:12	15	50.0%	500.0	4.90	-9.10	-9.10	4.46	4.46	0.68	0.68
	15-5-20 12:13	0	25.0%	250.0	2.45	-9.02	-9.02	4.10	4.10	0.65	0.65
	15-5-20 12:14	1	25.0%	250.0	2.45	-9.02	-9.02	4.10	4.10	0.65	0.65
	15-5-20 12:16	3	25.0%	250.0	2.45	-9.01	-9.01	4.10	4.10	0.65	0.65
	15-5-20 12:18	5	25.0%	250.0	2.45	-9.01	-9.01	4.10	4.10	0.65	0.65
	15-5-20 12:23	10	25.0%	250.0	2.45	-9.01	-9.01	4.10	4.10	0.65	0.65
	15-5-20 12:28	15	25.0%	250.0	2.45	-9.00	-9.00	4.10	4.10	0.65	0.65
	15-5-20 12:29	0	0.0%	0.0	0.00	-6.01	-6.01	2.88	2.88	0.45	0.45
	15-5-20 12:30	1	0.0%	0.0	0.00	-6.00	-6.00	2.79	2.79	0.44	0.44
	15-5-20 12:32	3	0.0%	0.0	0.00	-5.99	-5.99	2.74	2.74	0.43	0.43
	15-5-20 12:34	5	0.0%	0.0	0.00	-5.98	-5.98	2.74	2.74	0.43	0.43
	15-5-20 12:39	10	0.0%	0.0	0.00	-5.97	-5.97	2.73	2.73	0.42	0.42
	15-5-20 12:44	15	0.0%	0.0	0.00	-5.96	-5.96	2.72	2.72	0.42	0.42

Field Record for Bi-Directional Pile Load Test

Project : 마곡지구 B4-2BL 오피스텔 신축공사 — Date of Construction : 2015/04/22

Location: TEST-1 (Y2, X7) — Pile Length : 24.0m — Date of Test : 2015/05/20

CYCLE	DAY	time	load			DOWNWARD		UPWARD		PILE TOP	
			%	ton	MN	CH.1	aver	CH.2	aver	CH.3	aver
	15-5-20 12:45	0	25.0%	250.0	2.45	-8.11	-8.11	3.45	3.45	0.53	0.53
	15-5-20 12:46	1	25.0%	250.0	2.45	-8.20	-8.20	3.47	3.47	0.53	0.53
	15-5-20 12:48	3	25.0%	250.0	2.45	-8.20	-8.20	3.48	3.48	0.54	0.54
	15-5-20 12:50	5	25.0%	250.0	2.45	-8.20	-8.20	3.49	3.49	0.54	0.54
	15-5-20 12:55	10	25.0%	250.0	2.45	-8.19	-8.19	3.49	3.49	0.75	0.75
	15-5-20 12:56	0	50.0%	500.0	4.90	-10.63	-10.63	4.60	4.60	0.70	0.70
	15-5-20 12:57	1	50.0%	500.0	4.90	-10.64	-10.64	4.63	4.63	0.71	0.71
	15-5-20 12:59	3	50.0%	500.0	4.90	-10.74	-10.74	4.66	4.66	0.71	0.71
	15-5-20 13:01	5	50.0%	500.0	4.90	-10.74	-10.74	4.66	4.66	0.71	0.71
	15-5-20 13:06	10	50.0%	500.0	4.90	-10.79	-10.79	4.66	4.66	0.71	0.71
	15-5-20 13:07	0	55.0%	550.0	5.39	-13.51	-13.51	4.93	4.93	0.75	0.75
	15-5-20 13:08	1	55.0%	550.0	5.39	-13.57	-13.57	4.97	4.97	0.76	0.76
	15-5-20 13:10	3	55.0%	550.0	5.39	-13.63	-13.63	5.03	5.03	0.76	0.76
	15-5-20 13:12	5	55.0%	550.0	5.39	-13.67	-13.67	5.04	5.04	0.77	0.77
	15-5-20 13:17	10	55.0%	550.0	5.39	-13.58	-13.58	5.05	5.05	0.77	0.77
	15-5-20 13:22	15	55.0%	550.0	5.39	-13.59	-13.59	5.08	5.08	0.77	0.77
2	15-5-20 13:23	0	60.0%	600.0	5.88	-18.32	-18.32	5.39	5.39	0.81	0.81
	15-5-20 13:24	1	60.0%	600.0	5.88	-18.39	-18.39	5.45	5.45	0.83	0.83
	15-5-20 13:26	3	60.0%	600.0	5.88	-18.45	-18.45	5.49	5.49	0.83	0.83
	15-5-20 13:28	5	60.0%	600.0	5.88	-18.53	-18.53	5.51	5.51	0.84	0.84
	15-5-20 13:33	10	60.0%	600.0	5.88	-18.54	-18.54	5.51	5.51	0.84	0.84
	15-5-20 13:38	15	60.0%	600.0	5.88	-18.57	-18.57	5.53	5.53	0.84	0.84
	15-5-20 13:39	0	65.0%	650.0	6.37	-25.08	-25.08	5.88	5.88	0.89	0.89
	15-5-20 13:40	1	65.0%	650.0	6.37	-25.28	-25.28	5.90	5.90	0.89	0.89
	15-5-20 13:42	3	65.0%	650.0	6.37	-25.46	-25.46	5.95	5.95	0.90	0.90
	15-5-20 13:44	5	65.0%	650.0	6.37	-25.56	-25.56	5.95	5.95	0.90	0.90
	15-5-20 13:49	10	65.0%	650.0	6.37	-25.72	-25.72	5.95	5.95	0.90	0.90
	15-5-20 13:54	15	65.0%	650.0	6.37	-25.80	-25.80	5.97	5.97	0.90	0.90
	15-5-20 13:55	0	70.0%	700.0	6.86	-32.15	-32.15	6.39	6.39	0.97	0.97
	15-5-20 13:56	1	70.0%	700.0	6.86	-32.38	-32.38	6.39	6.39	0.97	0.97
	15-5-20 13:58	3	70.0%	700.0	6.86	-32.46	-32.46	6.41	6.41	0.97	0.97
	15-5-20 14:00	5	70.0%	700.0	6.86	-32.55	-32.55	6.42	6.42	0.98	0.98
	15-5-20 14:05	10	70.0%	700.0	6.86	-32.71	-32.71	6.44	6.44	0.98	0.98
	15-5-20 14:10	15	70.0%	700.0	6.86	-32.76	-32.76	6.47	6.47	0.98	0.98
2	15-5-20 14:11	0	75.0%	750.0	7.35	-39.34	-39.34	6.80	6.80	1.03	1.03
	15-5-20 14:12	1	75.0%	750.0	7.35	-39.64	-39.64	6.80	6.80	1.03	1.03
	15-5-20 14:14	3	75.0%	750.0	7.35	-39.77	-39.77	6.81	6.81	1.04	1.04
	15-5-20 14:16	5	75.0%	750.0	7.35	-39.86	-39.86	6.85	6.85	1.04	1.04

Field Record for Bi-Directional Pile Load Test

Project : 마곡지구 B4-2BL 오피스텔 신축공사 Date of Construction : 2015/04/22

Location: TEST-1 (Y2, X7) Pile Length : 24.0m Date of Test : 2015/05/20

CYCLE	DAY	time	load			DOWNWARD		UPWARD		PILE TOP	
			%	ton	MN	CH.1	aver	CH.2	aver	CH.3	aver
2	15-5-20 14:21	10	75.0%	750.0	7.35	-39.96	-39.96	6.89	6.89	1.05	1.05
	15-5-20 14:26	15	75.0%	750.0	7.35	-40.04	-40.04	6.92	6.92	1.05	1.05
	15-5-20 14:27	0	80.0%	800.0	7.84	-46.64	-46.64	7.26	7.26	1.10	1.10
	15-5-20 14:28	1	80.0%	800.0	7.84	-46.95	-46.95	7.33	7.33	1.11	1.11
	15-5-20 14:30	3	80.0%	800.0	7.84	-47.12	-47.12	7.33	7.33	1.11	1.11
	15-5-20 14:32	5	80.0%	800.0	7.84	-47.26	-47.26	7.33	7.33	1.12	1.12
	15-5-20 14:37	10	80.0%	800.0	7.84	-47.36	-47.36	7.36	7.36	1.12	1.12
	15-5-20 14:42	15	80.0%	800.0	7.84	-47.38	-47.38	7.40	7.40	1.12	1.12
	15-5-20 14:43	0	50.0%	500.0	4.90	-45.25	-45.25	6.22	6.22	1.00	1.00
	15-5-20 14:44	1	50.0%	500.0	4.90	-45.25	-45.25	6.22	6.22	1.00	1.00
	15-5-20 14:46	3	50.0%	500.0	4.90	-45.22	-45.22	6.22	6.22	1.00	1.00
	15-5-20 14:48	5	50.0%	500.0	4.90	-45.20	-45.20	6.22	6.22	1.00	1.00
	15-5-20 14:53	10	50.0%	500.0	4.90	-45.17	-45.17	6.22	6.22	1.00	1.00
	15-5-20 14:58	15	50.0%	500.0	4.90	-45.15	-45.15	6.22	6.22	1.00	1.00
	15-5-20 14:59	0	25.0%	250.0	2.45	-38.95	-38.95	5.19	5.19	0.86	0.86
	15-5-20 15:00	1	25.0%	250.0	2.45	-38.92	-38.92	5.18	5.18	0.86	0.86
	15-5-20 15:02	3	25.0%	250.0	2.45	-38.90	-38.90	5.17	5.17	0.86	0.86
	15-5-20 15:04	5	25.0%	250.0	2.45	-38.88	-38.88	5.16	5.16	0.86	0.86
	15-5-20 15:09	10	25.0%	250.0	2.45	-38.86	-38.86	5.15	5.15	0.86	0.86
	15-5-20 15:14	15	25.0%	250.0	2.45	-38.82	-38.82	5.14	5.14	0.86	0.86
	15-5-20 15:20	0	0.0%	0.0	0.00	-21.73	-21.73	3.07	3.07	0.54	0.54
	15-5-20 15:21	1	0.0%	0.0	0.00	-21.59	-21.59	3.05	3.05	0.54	0.54
	15-5-20 15:23	3	0.0%	0.0	0.00	-21.45	-21.45	3.01	3.01	0.54	0.54
	15-5-20 15:25	5	0.0%	0.0	0.00	-21.36	-21.36	3.00	3.00	0.53	0.53
	15-5-20 15:30	10	0.0%	0.0	0.00	-21.27	-21.27	2.99	2.99	0.53	0.53
	15-5-20 15:35	15	0.0%	0.0	0.00	-21.22	-21.22	2.99	2.99	0.53	0.53

부 록 4

시험장비 교정검사성적서

압력게이지

검교정 성적서

CALIBRATION CERTIFICATE

PDK CO ., LTD.

10-6, Expo-ro 339beon-gil Yusung, Daejeon, Korea

Tel : 042-862-6880 Fax : 862-6881
Mail : pdk@pdk.co.kr

Certificate No. **0204_150625**

(1) / (2)
Page of Pages

1. Client

Name : Backyoung G&C
Address : 160 Sadang-ro, Dongjak-gu, Seoul, Korea

2. Calibration Subject

Description : Gauge pressure gauges (Digital-High)
Manufacturer & Model : SENSYS / PMSA2000BKPA & SC-1500
Serial No. : P4AE08 & 715174

3. Date of Calibration : April 23, 2015

4. Environment

Temperature : (22.6 ± 0.2) ℃ Humidity : (51 ± 2) % R.H.
Location : ▣ Permanent Calibration Lab. ☐ Mobile Lab. ☐ On site Calibration

5. Calibration Traceability

Calibration method and/or brief description :

The above instrument is calibration as per standard calibration procedure (PDK-CCP-P11) for Gauge pressure gauges.

List of used standards/specifications

Description	Manufacturer and Model	Serial Number	The due date of next Calibration	Calibration Laboratory
PRESSURE CONTROLLER/CALIBRATOR	FLUKE RUSKA / 7615 (A280M/A90M)	62225	2015.06.15.	PDK CO., LTD.

6. Calibration Results : Refer to the attached calibration results.

7. Measurement Uncertainty : Refer to the attached calibration results.

Affirmation	Measurements performed by	Approved by
	Name : **Beom Joon, Kim**	Title : **Technical Supervisor** Name : **Young Moon, Cho**

The above calibration certificate is the accredited calibration items by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.

April 23, 2015

Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

PDK CO., LTD.

If any significant instability or other adverse factor(overload, temperature, humidity etc.) manifests itself before, during or after calibration, and is likely to affect the validity of the calibration.

RESULTS CALIBRATION CERTIFICATE

PDK CO ., LTD.

10-6, Expo-ro 339beon-gil Yusung, Daejeon, Korea

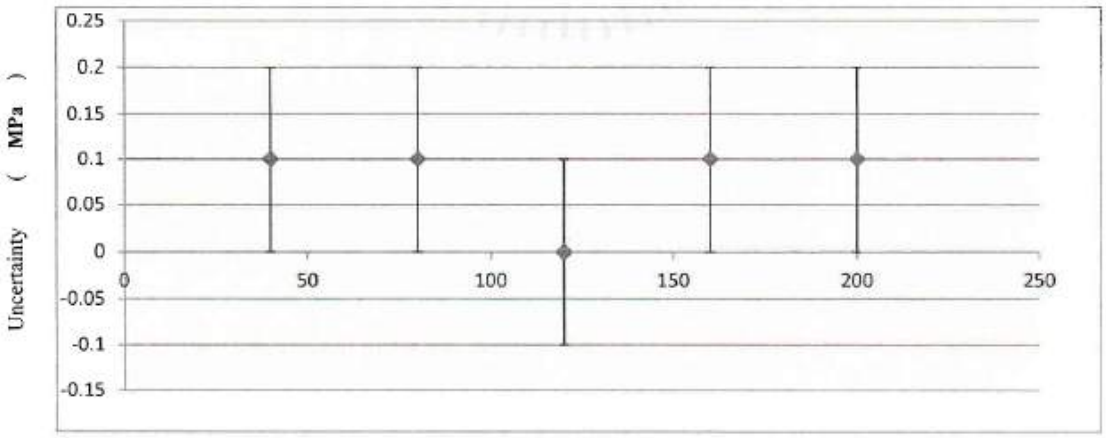
Tel : 042-862-6880 Fax : 862-6881
Mail : pdk@pdk.co.kr

Certificate No. **0204_150625**

No.	Standard Value	D.U.T Value				
	Pressure	D.U.T Value		Correction	Exp. Uncertainty (95 % Confidence Level, k=2)	Total Deviation
	MPa	MPa	bar	MPa	MPa	MPa
1	0.00	0.0	0	0.0	0.1	0.1
2	40.00	39.9	399	0.1	0.1	0.2
3	80.00	79.9	799	0.1	0.1	0.2
4	120.00	120.0	1 200	0.0	0.1	0.1
5	160.00	159.9	1 599	0.1	0.1	0.2
6	200.00	199.9	1 999	0.1	0.1	0.2

Conversion of Unit : bar × 0.100 000 = MPa

After Correction (**MPa**)



Remark1 : Linear Correction : y = aX + b [a = 1.000 250 b = 0.667 292]
(y= correction pressure value, a = gradient, X = DUT Indications, b = intercept, **Unit : bar**)

END.

LVDT

검교정 성적서

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원	성적서 번호 : 14-050510-02-1 Certificate No.	ilac-MRA KOLAS
경기도 안산시 상록구 해안로 723 TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389	페이지 (1) / (총 2) Page of Pages	

1. 의 뢰 자 (Client)

기 관 명 (Name) : (주)백경지앤씨

주 소 (Address) : 서울특별시 동작구 사당로 160 (사당동)

2. 측 정 기 (Calibration Subject)

기 기 명 (Description) : 길이 변위계

제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : GEFRAN / LT-M-0150-S

기기번호 (Serial Number) : 084701783

3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2014년 10월 27일

4. 교 정 환 경 (Environment)

온 도 (Temperature) : (20.2 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (49 ± 1) % R.H.

교정장소 (Location) : ▣ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)

5. 측정표준의 소급성 (Traceability)

교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :

위의 기기는 길이 변위계, LVDT 의 교정업무기준(CP801-10210-1,KTL)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되었음.

교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 The due date of next Calibration	교정기관 Calibration Laboratory
Gauge blocks	Mitutoyo / 0 grade	0803555	2015. 03. 20	한국산업기술시험원
Precision surface plates	Sung Jin ENG. / (1200 × 900) mm²	200710006	2015. 09. 06	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조

7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 김영준 김영준	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 노현수 노현수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.

(The above calibration certificate is the accredited calibration items by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.)

2014년 10월 27일

한국인정기구 인정

Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장

Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀정확도에 영향을 미치는 요소(과부하, 온도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.

(NOTE) If any significant instability or other adverse factor(overload, temperature, humidity etc.) manifests itself before, during or after calibration, and is likely to affect the validity of the calibration.

FP812-01-01

※위 마크는 추후 전자확인을 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교 정 결 과

CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 해안로 723
Tel : 031-500-0217, Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 14-050510-02-1
Certificate No.

◇ 기 기 명 : 길이 변위계

◇ 제작회사 및 형식 : GEFRAN / LT-M-0150-S

◇ 기 기 번 호 : 084701783

* 교정결과

기준기 설정값 (mm)	지 시 값 (mm)
0	0.00
20	19.57
40	39.11
60	58.58
80	78.10
100	97.62
측정불확도 (신뢰수준 약 95 %, k=2) : 0.03 mm	

주 Indicator : GTML-200 끝.

※ 국가교정기관지정제도 운영요령 제 41조 관련주기 : 12 개월

FP812-02-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원	성적서 번호 : 14-050510-02-2 Certificate No.	ilac-MRA KOLAS
경기도 안산시 상록구 해안로 723 TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389	페이지 (1) / (총 2) Page of Pages	

1. 의 뢰 자 (Client)

기 관 명 (Name) : (주)백경지앤씨

주 소 (Address) : 서울특별시 동작구 사당로 160 (사당동)

2. 측 정 기 (Calibration Subject)

기 기 명 (Description) : 길이 변위계

제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : GEFRAN / LT-M-0150-S

기기번호 (Serial Number) : 084701777

3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2014년 10월 27일

4. 교 정 환 경 (Environment)

온 도 (Temperature) : (20.2 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (49 ± 1) % R.H.

교정장소 (Location) : ■ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)

5. 측정표준의 소급성 (Traceability)

교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :

위의 기기는 길이 변위계, LVDT 의 교정업무기준(CP801-10210-1,KTL)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되었음.

교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 The due date of next Calibration	교정기관 Calibration Laboratory
Gauge blocks	Mitutoyo / 0 grade	0803555	2015. 03. 20	한국산업기술시험원
Precision surface plates	Sung Jin ENG. / (1200 × 900) mm²	200710006	2015. 09. 06	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조

7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 김영준 김영준	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 노현수 노현수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.

(The above calibration certificate is the accredited calibration items by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.)

2014년 10월 27일

한국인정기구 인정

Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장

Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀정확도에 영향을 미치는 요소(과부하, 온도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.

(NOTE) If any significant instability or other adverse factor(overload, temperature, humidity etc.) manifests itself before, during or after calibration, and is likely to affect the validity of the calibration.

FP812-01-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교 정 결 과

CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 해안로 723
Tel : 031-500-0217, Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 14-050510-02-2
Certificate No.

◇ 기 기 명 : 깊이 변위계

◇ 제작회사 및 형식 : GEFRAN / LT-M-0150-S

◇ 기 기 번 호 : 084701777

* 교정결과

기준기 설정값 (mm)	지 시 값 (mm)
0	0.00
20	19.59
40	39.15
60	58.66
80	78.20
100	97.67
측정불확도 (신뢰수준 약 95 %, k=2) : 0.03 mm	

주 1) Indicator : GTDL-200 끝.

※ 국가교정기관지정제도 운영요령 제 41조 관련주기 : 12 개월

FP812-02-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원	성적서 번호 : 14-050510-02-3 Certificate No.	ilac-MRA KOLAS
경기도 안산시 상록구 해안로 723 TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389	페이지 (1) / (총 2) Page of Pages	

1. 의 뢰 자 (Client)

기 관 명 (Name) : (주)백경지앤씨

주 소 (Address) : 서울특별시 동작구 사당로 160 (사당동)

2. 측 정 기 (Calibration Subject)

기 기 명 (Description) : 길이 변위계

제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : GEFRAN / LT-M-0150-S

기기번호 (Serial Number) : 084701816

3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2014년 10월 27일

4. 교 정 환 경 (Environment)

온 도 (Temperature) : (20.4 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (46 ± 1) % R.H.

교정장소 (Location) : ▣ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)

5. 측정표준의 소급성 (Traceability)

교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :

위의 기기는 길이 변위계, LVDT 의 교정업무기준(CP801-10210-1,KTL)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되었음.

교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 The due date of next Calibration	교정기관 Calibration Laboratory
Gauge blocks	Mitutoyo / 0 grade	0803555	2015. 03. 20	한국산업기술시험원
Precision surface plates	Sung Jin ENG. / (1200 × 900) mm²	200710006	2015. 09. 06	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조

7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 김영준 김영준	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 노현수 노현수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.

(The above calibration certificate is the accredited calibration items by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.)

2014년 10월 27일

한국인정기구 인정
Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장
Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀정확도에 영향을 미치는 요소(과부하, 온도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.

(NOTE) If any significant instability or other adverse factor(overload, temperature, humidity etc.) manifests itself before, during or after calibration, and is likely to affect the validity of the calibration.

FP812-01-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교 정 결 과

CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 해안로 723
Tel : 031-500-0217, Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 14-050510-02-3
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기 기 명 : 깊이 번위계

◇ 제작회사 및 형식 : GEFRAN / LT-M-0150-S

◇ 기 기 번 호 : 084701816

* 교정결과

기준기 설정값 (mm)	지 시 값 (mm)
0	0.00
20	19.57
40	39.09
60	58.62
80	78.14
100	97.68
측정불확도 (신뢰수준 약 95 %, k=2) : 0.03 mm	

주 1) Indicator : GTDL-200 끝.

※ 국가교정기관지정제도 운영요령 제 41조 관련주기 : 12 개월

FP812-02-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원

경기도 안산시 상록구 해안로 723
TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 14-050510-02-4
Certificate No.

페이지 (1) / (총 2)
Page of Pages

1. 의 뢰 자 (Client)
   기 관 명 (Name) : (주)백경지앤씨
   주 소 (Address) : 서울특별시 동작구 사당로 160 (사당동)
2. 측 정 기 (Calibration Subject)
   기 기 명 (Description) : 길이 변위계
   제작회사 및 형식 (Manufacturer and Model Name) : GEFRAN / LT-M-0150-S
   기기번호 (Serial Number) : 104252395
3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2014년 10월 27일
4. 교 정 환 경 (Environment)
   온 도 (Temperature) : (20.4 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (46 ± 1) % R.H.
   교정장소 (Location) : ▣ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)
5. 측정표준의 소급성 (Traceability)
   교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :
   위의 기기는 길이 변위계, LVDT 의 교정업무기준(CP801-10210-1,KTL)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되었음.
   교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 The due date of next Calibration	교정기관 Calibration Laboratory
Gauge blocks	Mitutoyo / 0 grade	0803555	2015. 03. 20	한국산업기술시험원
Precision surface plates	Sung Jin ENG. / (1200 × 900) mm²	200710006	2015. 09. 06	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조
7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 김영준 김 영준	직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 노현수 노현수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.
(The above calibration certificate is the accredited calibration items by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.)

2014년 10월 27일

한국인정기구 인정
Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장
Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀정확도에 영향을 미치는 요소(과부하, 온도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.
(NOTE) If any significant instability or other adverse factor(overload, temperature, humidity etc.) manifests itself before, during or after calibration, and is likely to affect the validity of the calibration.

FP812-01-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교 정 결 과

CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 해안로 723
Tel : 031-500-0217, Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 14-050510-02-4
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇기 기 명 : 길이 변위계

◇ 제작회사 및 형식 : GEFRAN / LT-M-0150-S

◇기 기 번 호 : 104252395

* 교정결과

기준기 설정값 (mm)	지 시 값 (mm)
0	0.00
20	19.43
40	38.82
60	58.19
80	77.55
100	96.94
측정불확도 (신뢰수준 약 95 %, k=2) : 0.03 mm	

주 1) Indicator : GTDL-200 끝.

※ 국가교정기관지정제도 운영요령 제 41조 관련주기 : 12 개월

FP812-02-01

※위 이크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원

경기도 안산시 상록구 해안로 723

TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389

성적서 번호 : 14-050510-02-5
Certificate No.

1. 의 뢰 자 (Client)

기 관 명 (Name) : (주)백경지앤씨

주 소 (Address) : 서울특별시 동작구 사당로 160 (사당동)

2. 측 정 기 (Calibration Subject)

기 기 명 (Description) : 길이 변위계

제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : GEFRAN / LT-M-0150-S

기기번호 (Serial Number) : 084701803

3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2014년 10월 27일

4. 교 정 환 경 (Environment)

온 도 (Temperature) : (20.4 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (46 ± 1) % R.H.

교정장소 (Location) : ▣ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)

5. 측정표준의 소급성 (Traceability)

교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :

위의 기기는 길이 변위계, LVDT 의 교정업무기준(CP801-10210-1,KTL)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되었음.

교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 The due date of next Calibration	교정기관 Calibration Laboratory
Gauge blocks	Mitutoyo / 0 grade	0803555	2015. 03. 20	한국산업기술시험원
Precision surface plates	Sung Jin ENG. / (1200 × 900) mm²	200710006	2015. 09. 06	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조

7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by)	승인자 (Approved by)
	성 명 (Name) : 김영준 김영준	직 위 (Title) : 기술책임자
		성 명 (Name) : 노현수 노현수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.

(The above calibration certificate is the accredited calibration items by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.)

2014년 10월 27일

한국인정기구 인정

Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장

Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀정확도에 영향을 미치는 요소(과부하, 온도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.

(NOTE) If any significant instability or other adverse factor(overload, temperature, humidity etc.) manifests itself before, during or after calibration, and is likely to affect the validity of the calibration.

FP812-01-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교 정 결 과

CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 해안로 723
Tel : 031-500-0217, Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 14-050510-02-5
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기 기 명 : 길이 변위계

◇ 제작회사 및 형식 : GEFRAN / LT-M-0150-S

◇ 기 기 번 호 : 084701803

* 교정결과

기준기 설정값 (mm)	지 시 값 (mm)
0	0.00
20	19.58
40	39.12
60	58.64
80	78.15
100	97.69
측정불확도 (신뢰수준 약 95 %, k=2) : 0.03 mm	

주 1) Indicator : GTDL-200 끝.

※ 국가교정기관지정제도 운영요령 제 41조 관련주기 : 12 개월

FP812-02-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교정성적서
CALIBRATION CERTIFICATE

한국산업기술시험원	성적서 번호 : 14-050510-02-6 Certificate No.	ilac-MRA KOLAS
경기도 안산시 상록구 해안로 723 TEL : 031-500-0217 FAX : 031-500-0389	페이지 (1) / (총 2) Page of Pages	

1. 의 뢰 자 (Client)

기 관 명 (Name) : (주)백경지앤씨

주 소 (Address) : 서울특별시 동작구 사당로 160 (사당동)

2. 측 정 기 (Calibration Subject)

기 기 명 (Description) : 길이 변위계

제작회사 및 형식(Manufacturer and Model Name) : GEFRAN / LT-M-0150-S

기기번호 (Serial Number) : 04252315

3. 교 정 일 자 (Date of Calibration) : 2014년 10월 27일

4. 교 정 환 경 (Environment)

온 도 (Temperature) : (20.4 ± 0.1) ℃ 습 도 (Humidity) : (46 ± 1) % R.H.

교정장소 (Location) : ▣ 고정표준실 (KTL Lab.) □ 이동교정 (Mobile Lab.) □ 현장교정 (On Site Calibration)

5. 측정표준의 소급성 (Traceability)

교정방법 및 소급성 서술 (Calibration method and/or brief description) :

위의 기기는 길이 변위계, LVDT 의 교정업무기준(CP801-10210-1,KTL)에 따라 국가측정표준기관으로부터 소급성이 유지된 표준기를 사용하여 교정되었음.

교정에 사용한 표준장비 명세 (List of used standards/specifications)

기기명 Description	제작회사 및 형식 Manufacturer and Model	기기번호 Serial Number	차기교정예정일자 The due date of next Calibration	교정기관 Calibration Laboratory
Gauge blocks	Mitutoyo / 0 grade	0803555	2015. 03. 20	한국산업기술시험원
Precision surface plates	Sung Jin ENG. / (1200 × 900) mm²	200710006	2015. 09. 06	한국산업기술시험원

6. 교 정 결 과 (Calibration Results) : 교정결과 참조

7. 측정불확도 (Measurement Uncertainty) : 교정결과 참조

확인 (Affirmation)	작성자 (Measurements performed by) 성 명 (Name) : 김영준 김영준	승인자 (Approved by) 직 위 (Title) : 기술책임자 성 명 (Name) : 노현수 노현수

위 성적서는 국제시험기관인정협력체(International Laboratory Accreditation Cooperation) 상호인정협정(Mutual Recognition Arrangement)에 서명한 한국인정기구(KOLAS)로부터 공인받은 분야의 교정결과입니다.

(The above calibration certificate is the accredited calibration items by Korea Laboratory Accreditation Scheme, which signed the ILAC-MRA.)

2014년 10월 27일

한국인정기구 인정

Accredited by KOLAS, Republic of KOREA

한국산업기술시험원장

Korea Testing Laboratory

(주) 이 성적서는 측정기의 정밀정확도에 영향을 미치는 요소(과부하, 온도, 습도 등)의 급격한 변화가 발생한 경우에는 무효가 됩니다.

(NOTE) If any significant instability or other adverse factor(overload, temperature, humidity etc.) manifests itself before, during or after calibration, and is likely to affect the validity of the calibration.

FP812-01-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

교 정 결 과

CALIBRATION RESULTS

경기도 안산시 상록구 해안로 723
Tel : 031-500-0217, Fax : 031-500-0389
E-mail : standard@ktl.re.kr

성적서 번호 : 14-050510-02-6
Certificate No.
페이지 (2) / (총 2)
Page of Pages

◇ 기 기 명 : 길이 변위계

◇ 제작회사 및 형식 : GEFRAN / LT-M-0150-S

◇ 기 기 번 호 : 04252315

* 교정결과

기준기 설정값 (mm)	지 시 값 (mm)
0	0.00
20	19.49
40	39.03
60	58.53
80	78.03
100	97.56
측정불확도 (신뢰수준 약 95 %, k=2) : 0.03 mm	

주 1) Indicator : GTDL-200 끝.

※ 국가교정기관지정제도 운영요령 제 41조 관련주기 : 12 개월

FP812-02-01

※위 마크는 추후 전자확인증 대조 프로그램에서 원본대조시 사용되는 2D코드입니다.

부 록 5

업체인증서류

국토
해양

제 2009 - 19 호

품질검사전문기관등록증

주　　소 : 서울시 동작구 사당동 206-121번지

상　　호 : (주)백경지앤씨

대 표 자 : 박 봉 근

전문분야 : 특수

업무범위 : 말뚝재하(정재하시험 및 동재하시험)

등록일자 : 2009년 7월 10일

「건설기술관리법시행규칙」 제28조 제3항에 따라 품질검사전문기관으로 등록하였음을 증명합니다.

2009 년 7 월 10 일

서 울 지 방 국 토 관 리 청 장

Standard Management Certification

㈜백경지앤씨

서울특별시 동작구 사당로 160(사당동)

상기업체의 품질경영시스템이 아래의 인증규격과 인증범위에 적합함을 인증함.

ISO 9001:2008 / KS Q ISO 9001:2009

인증범위 :

1. 재하시험(정재하, 동재하, 수평재하, 인발재하, 평판재하, 양방향 재하), 앵커시험, 건전도시험, 지반 및 지질 조사, 계측관리, 건설 재료 및 자재 시험
2. 건설현장 품질용역 지도
3. 기술검토 및 연구용역

ANZSIC : 7829, 7822, 7823

인증번호 : SKQ-10203
최초발행일 : 2007년 8월 8일
재발행일 : 2015년 3월 6일
유효기간 : 2016년 3월 7일

승인 : C.H.Lee

본 인증서는 규정에 따른 사후관리심사를
정해진 기간내에 받을 경우에 한하여 유효합니다.
(주)에스엠시표준원
서울시 금천구 가산디지털2로 165, 301(가산동, 백상스타타워 2차)
T)+82-2-6111-6301~4 F)+82-2-6111-6309~10
Website : www.smcsmc.co.kr
JAS-ANZ : www.jas-anz.org/register

[별지 제9호서식]

엔지니어링사업자 신고증

명 칭	(주)백경지앤씨			
대표자성명	박봉근		생년월일	1965.04.03
소 재 지	서울특별시 동작구 사당동 206-121		전화번호 (FAX,E-Mail)	02-588-7188 02-588-8184
엔지니어링업	신고번호	제 E-9-1487 호		
	기술부문	건설	등	1 개 부문
	전문분야	토질지질	등	1 개 분야
엔지니어링 컨설팅업	신고번호	제 호		
	기술부문		등	개 부문
	전문분야		등	개 분야
신고연월일	2001년 11월 16일			

「엔지니어링산업 진흥법」 제21조제1항 및 같은 법 시행규칙 제7조에 따라 위와 같이 신고하였음을 증명합니다.

2011년 11월 14일

한국엔지니어링협회장

210㎜×297㎜[보존용지(1종) 120g/㎡]

부 록 6

참고문헌

Designation: D 1143/D 1143M – 07ε1

Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load[1]

This standard is issued under the fixed designation D 1143/D 1143M; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

ε[1] NOTE—Section references were editorially corrected in Sections 8.1.4, 8.1.8, and Note 12 in January 2009.

1. Scope*

1.1 The test methods described in this standard measure the axial deflection of a vertical or inclined deep foundation when loaded in static axial compression. These methods apply to all deep foundations, referred to herein as *piles,* that function in a manner similar to driven piles or castinplace piles, regardless of their method of installation, and may be used for testing single piles or pile groups. The test results may not represent the long-term performance of a deep foundation.

1.2 This standard provides minimum requirements for testing deep foundations under static axial compressive load. Plans, specifications, and/or provisions prepared by a qualified engineer may provide additional requirements and procedures as needed to satisfy the objectives of a particular test program. The engineer in responsible charge of the foundation design, referred to herein as the Engineer, shall approve any deviations, deletions, or additions to the requirements of this standard.

1.3 This standard allows the following test procedures:

Procedure A	Quick Test
Procedure B	Maintained Test (optional)
Procedure C	Loading in Excess of Maintained Test (optional)
Procedure D	Constant Time Interval Test (optional)
Procedure E	Constant Rate of Penetration Test (optional)
Procedure F	Constant Movement Increment Test (optional)
Procedure G	Cyclic Loading Test (optional)

1.4 Apparatus and procedures herein designated "optional" may produce different test results and may be used only when approved by the Engineer. The word "shall" indicates a mandatory provision, and the word "should" indicates a recommended or advisory provision. Imperative sentences indicate mandatory provisions.

1.5 A qualified geotechnical engineer should interpret the test results obtained from the procedures of this standard so as to predict the actual performance and adequacy of piles used in the constructed foundation. See Appendix X1 for comments regarding some of the factors influencing the interpretation of test results.

1.6 A qualified engineer shall design and approve all loading apparatus, loaded members, support frames, and test procedures. The text of this standard references notes and footnotes which provide explanatory material. These notes and footnotes (excluding those in tables and figures) shall not be considered as requirements of the standard. This standard also includes illustrations and appendices intended only for explanatory or advisory use.

1.7 The values stated in either SI units or inch-pound units are to be regarded separately as standard. The values stated in each system may not be exact equivalents; therefore, each system shall be used independently of the other. Combining values from the two systems may result in non-conformance with the standard.

1.8 The gravitational system of inch-pound units is used when dealing with inch-pound units. In this system, the pound (lbf) represents a unit of force (weight), while the unit for mass is slugs. The rationalized slug unit is not given, unless dynamic (F=ma) calculations are involved.

1.9 All observed and calculated values shall conform to the guidelines for significant digits and rounding established in Practice D 6026.

1.10 The method used to specify how data are collected, calculated, or recorded in this standard is not directly related to the accuracy to which the data can be applied in design or other uses, or both. How one applies the results obtained using this standard is beyond its scope.

[1] This test method is under the jurisdiction of ASTM Committee D18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.11 on Deep Foundations.

Current edition approved Feb. 1, 2007. Published April 2007. Originally approved in 1950. Discontinued in August 1995 and reinstated in 2007 as D 1143–07. Last previous edition approved in 1994 as D 1143 – 81(1994)ε1.

***A Summary of Changes section appears at the end of this standard.**

Copyright © ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

1.11 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.*

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*[2]

D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids

D 3740 Practice for Minimum Requirements for Agencies Engaged in Testing and/or Inspection of Soil and Rock as Used in Engineering Design and Construction

D 5882 Test Method for Low Strain Impact Integrity Testing of Deep Foundations

D 6026 Practice for Using Significant Digits in Geotechnical Data

D 6760 Test Method for Integrity Testing of Concrete Deep Foundations by Ultrasonic Crosshole Testing

2.2 *American National Standards:*[3]

ASME B30.1 Jacks

ASME B40.100 Pressure Gages and Gauge Attachments

ASME B89.1.10.M Dial Indicators (For Linear Measurements)

3. Terminology

3.1 For common definitions of terms used in this standard see Terminology D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids.

3.2 *Definitions of Terms Specific to this Standard:*

3.2.1 *cast in-place pile, n*—a deep foundation unit made of cement grout or concrete and constructed in its final location, for example, drilled shafts, bored piles, caissons, auger cast piles, pressure-injected footings, etc

3.2.2 *deep foundation, n*— a relatively slender structural element that transmits some or all of the load it supports to soil or rock well below the ground surface, such as a steel pipe pile or concrete drilled shaft

3.2.3 *driven pile, n*—a deep foundation unit made of preformed material with a predetermined shape and size and typically installed by impact hammering, vibrating, or pushing.

3.2.4 *failure load, n*—for the purpose of terminating an axial compressive load test, the test load at which rapid continuing, progressive movement occurs, or at which the total axial movement exceeds 15 % of the pile diameter or width, or as specified by the engineer.

3.2.5 *telltale rod, n*—an unstrained metal rod extended through the test pile from a specific point to be used as a reference from which to measure the change in the length of the loaded pile.

3.2.6 *wireline, n*—a steel wire mounted with a constant tension force between two supports and used as a reference line to read a scale indicating movement of the test pile.

4. Significance and Use

4.1 Field tests provide the most reliable relationship between the axial load applied to a deep foundation and the resulting axial movement. Test results may also provide information used to assess the distribution of side shear resistance along the pile shaft, the amount of end bearing developed at the pile toe, and the long-term load-deflection behavior. A foundation designer may evaluate the test results to determine if, after applying an appropriate factor of safety, the pile or pile group has an ultimate static capacity and a deflection at service load satisfactory to support a specific foundation. When performed as part of a multiple-pile test program, the designer may also use the results to assess the viability of different piling types and the variability of the test site.

4.2 If feasible, without exceeding the safe structural load on the pile(s) or pile cap, the maximum load applied should reach a failure load from which the Engineer may determine the ultimate axial static compressive load capacity of the pile(s). Tests that achieve a failure load may help the designer improve the efficiency of the foundation by reducing the piling length, quantity, or size.

4.3 If deemed impractical to apply axial test loads to an inclined pile, the Engineer may elect to use axial test results from a nearby vertical pile to evaluate the axial capacity of the inclined pile.

NOTE 1—The quality of the result produced by this test method is dependent on the competence of the personnel performing it, and the suitability of the equipment and facilities used. Agencies that meet the criteria of Practice D 3740 are generally considered capable of competent and objective testing/sampling/ inspection/etc. Users of this test method are cautioned that compliance with Practice D 3740 does not in itself assure reliable results. Reliable results depend on many factors; Practice D 3740 provides a means of evaluating some of those factors.

5. Test Foundation Preparation

5.1 Excavate or add fill to the ground surface around the test pile or pile group to the final design elevation unless otherwise approved by the Engineer.

5.2 Cut off or build up the test pile as necessary to permit construction of the load-application apparatus, placement of the necessary testing and instrumentation equipment, and observation of the instrumentation. Remove any damaged or unsound material from the pile top and prepare the surface so that it is perpendicular to the pile axis with minimal irregularity to provide a good bearing surface for a test plate.

5.3 For tests of single piles, install a solid steel test plate at least 25 mm (1 in) thick perpendicular to the long axis of the test pile that covers the complete pile top area. The test plate shall span across and between any unbraced flanges on the test pile.

5.4 For tests on pile groups, cap the pile group with steel-reinforced concrete or a steel load frame designed for the anticipated loads. Provide a clear space beneath the pile cap as specified by the Engineer to eliminate any bearing on the

[2] For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

[3] Available from American Society of Mechanical Engineers (ASME), ASME International Headquarters, Three Park Ave., New York, NY 10016-5990, http://www.asme.org.

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

underlying ground surface. For each loading point on the pile cap, provide a solid steel test plate oriented perpendicular to the axis of the pile group with a minimum thickness of 25 mm (1 in), as needed to safely apply load to the pile cap. Center a single bearing plate on the centroid of the pile group. Locate multiple bearing plates symmetrically about the centroid of the pile group. Boxes and beams may bear directly on the pile cap when designed to bear uniformly along their contact surface with the cap.

5.5 To minimize stress concentrations due to minor irregularities of the pile top surface, set test plates bearing on the top of precast or cast-in-place concrete piles in a thin layer of quick-setting, non-shrink grout, less than 6 m (0.25 in) thick and having a compressive strength greater than the test pile at the time of the test. Set test plates, boxes, and beams designed to bear on a concrete pile cap in a thin layer of quick-setting, non-shrink grout, less than 6 mm (0.25 in) thick and having a compressive strength greater than the pile cap at the time of the test. For tests on steel piles, or a steel load frame, weld the test plate to the pile or load frame. For tests on individual timber piles, set the test plate directly on the cleanly cut top of the pile, or in grout as described for concrete piles.

NOTE 2—Deep foundations sometimes include hidden defects that may go unnoticed prior to the static testing. Low strain integrity tests as described in D 5882 and ultrasonic crosshole integrity tests as described in D 6760 may provide a useful pre-test evaluation of the test foundation.

6. Apparatus for Applying and Measuring Loads

6.1 *General*:

6.1.1 The apparatus for applying compressive loads to a test pile or pile group shall conform to one of the methods described in 6.3–6.6 Unless otherwise specified by the Engineer, the apparatus for applying and measuring loads described in this section shall be capable of safely applying at least 120 % of the maximum anticipated test load. Use the method described in 6.3 to apply axial loads to either vertical or inclined piles or pile groups. Use the methods described in 6.4-6.6 to apply only vertical loads.

6.1.2 Align the test load apparatus with the longitudinal axis of the pile or pile group to minimize eccentric loading. When necessary to prevent lateral deflection and buckling along the unsupported pile length, provide lateral braces that do not influence the axial movement of the pile, or pile cap.

6.1.3 Each jack shall include a hemispherical bearing or similar device to minimize lateral loading of the pile or group. The hemispherical bearing should include a locking mechanism for safe handling and setup. Center bearing plates, hydraulic jack(s), load cell(s), and hemispherical bearings on the test beam(s), test pile, or test pile cap.

6.1.4 Provide bearing stiffeners as needed between the flanges of test and reaction beams. Provide steel bearing plates as needed to spread the load from the outer perimeter of the jack(s), or the bearing surface of beams or boxes, to bear on the surface of the test pile or pile cap. Also provide steel bearing plates to spread the load between the jack(s), load cells, and hemispherical bearings, and to spread the load to the test beam(s), test pile, or pile cap. Bearing plates shall extend the full flange width of steel beams and the complete top area of piles, or as specified by the Engineer, so as to provide full bearing and distribution of the load.

6.1.5 Unless otherwise specified, provide steel bearing plates that have a total thickness adequate to spread the bearing load between the outer perimeters of loaded surfaces at a maximum angle of 45 ° to the loaded axis. For center hole jacks and center hole load cells, also provide steel plates adequate to spread the load from their inner diameter to the their central axis at a maximum angle of 45 ° , or per manufacturer recommendations. Bearing plates shall extend the full width of the test beam(s) or any steel reaction members so as to provide full bearing and distribution of the load.

6.1.6 A qualified engineer shall design and approve all loading apparatus, loaded members, support frames, and loading procedures. The test beam(s), load platforms, and support structures shall have sufficient size, strength, and stiffness to prevent excessive deflection and instability up to the maximum anticipated test load.

NOTE 3—Rotations and lateral displacements of the test pile or pile cap may occur during loading, especially for piles extending above the soil surface or through weak soils. Design and construct the support reactions to resist any undesirable rotations or lateral displacements

6.2 *Hydraulic Jacks, Gages, Transducers, and Load Cells*:

6.2.1 The hydraulic jack(s) and their operation shall conform to ASME B30.1 Jacks and shall have a nominal load capacity exceeding the maximum anticipated jack load by at least 20 %. The jack, pump, and any hoses, pipes, fittings, gages, or transducers used to pressurize it shall be rated to a safe pressure corresponding to the nominal jack capacity.

6.2.2 The hydraulic jack ram(s) shall have a travel greater than the sum of the anticipated maximum axial movement of the pile plus the deflection of the test beam and the elongation and movement of any anchoring system, but not less than 15 % of the average pile diameter or width. Use a single highcapacity jack when possible. When using a multiple jack system, provide jacks of the same make, model, and capacity, and supply the jack pressure through a common manifold. Fit the manifold and each jack with a pressure gage to detect malfunctions and imbalances.

6.2.3 Unless otherwise specified, the hydraulic jack(s), pressure gage(s), and pressure transducer(s) shall have a calibration to at least the maximum anticipated jack load performed within the six months prior to each test or series of tests. Furnish the calibration report(s) prior to performing a test, which shall include the ambient temperature and calibrations performed for multiple ram strokes up to the maximum stroke of the jack.

6.2.4 Each complete jacking and pressure measurement system, including the hydraulic pump, should be calibrated as a unit when practicable. The hydraulic jack(s) shall be calibrated over the complete range of ram travel for increasing and decreasing applied loads. If two or more jacks are to be used to apply the test load, they shall be of the same make, model, and size, connected to a common manifold and pressure gage, and operated by a single hydraulic pump. The calibrated jacking system(s) shall have accuracy less than 5% of the maximum applied load. When not feasible to calibrate a jacking system as

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

a unit, calibrate the jack, pressure gages, and pressure transducers separately, and each of these components shall have accuracy less than 2% of the applied load.

6.2.5 Pressure gages shall have minimum graduations less than or equal to 1% of the maximum applied load and shall conform to ASME B40.100 Pressure Gages and Gauge Attachments with an accuracy grade 1A having a permissible error ± 1% of the span. Pressure transducers shall have a minimum resolution less than or equal to 1% of the maximum applied load and shall conform to ASME B40.100 with an accuracy grade 1A having a permissible error ± 1% of the span. When used for control of the test, pressure transducers shall include a real-time display.

6.2.6 If the maximum test load will exceed 900 kN (100 tons), place a properly constructed load cell or equivalent device in series with each hydraulic jack. Unless otherwise specified the load cell(s) shall have a calibration to at least the maximum anticipated jack load performed within the six months prior to each test or series of tests. The calibrated load cell(s) or equivalent device(s) shall have accuracy within 1 % of the applied load, including an eccentric loading of up to 1% applied at an eccentric distance of 1 in. (25 mm). After calibration, load cells shall not be subjected to impact loads. A load cell is recommended, but not required, for lesser load. If not practicable to use a load cell, include embedded strain gages located in close proximity to the jack to confirm the applied load.

6.2.7 Do not leave the hydraulic jack pump unattended at any time during the test. Automated jacking systems shall include a clearly marked mechanical override to safely reduce hydraulic pressure in an emergency.

6.3 *Load Applied by Hydraulic Jack(s) Acting Against Anchored Reaction Frame* (See Fig. 1 and Fig. 2):

6.3.1 Apply the test load to the pile or pile group with the hydraulic jack(s) reacting against the test beam(s) centered over the test pile, or pile group. Install a sufficient number of anchor piles or suitable anchoring device(s) to provide adequate reactive capacity for the test beam(s). Provide a clear distance from the test pile or pile group of at least five times the maximum diameter of the largest anchor or test pile(s), but not less than 2.5 m (8 ft). The Engineer may increase or decrease this minimum clear distance based on factors such as the type and depth of reaction, soil conditions, and magnitude of loads so that reaction forces do not significantly effect the test results.

NOTE 4—Excessive vibrations during anchor pile installation in non-cohesive soils may affect test results. Anchor piles that penetrate deeper than the test pile may affect test results. Install the anchor piles nearest the test pile first to help reduce installation effects.

6.3.2 Provide sufficient clearance between the bottom flange(s) of the test beam(s) and the top of the test pile or pile group to place the necessary bearing plates, hydraulic jack(s), hemispherical bearing, and load cell(s). For test loads of high magnitude requiring several anchors, a steel framework may be required to transfer the applied loads from the test beam(s) to the anchors.

6.3.3 When testing individual inclined piles, align the jack(s), test beam(s), and anchor piles with the inclined longitudinal axis of the test pile.

6.3.4 Attach the test beam(s) (or reaction framework if used) to the anchoring devices with connections designed to adequately transfer the applied loads to the anchors so as to prevent slippage, rupture or excessive elongation of the connections under maximum required test load.

6.4 *Load Applied by Hydraulic Jack(s) Acting Against a Weighted Box or Platform* :

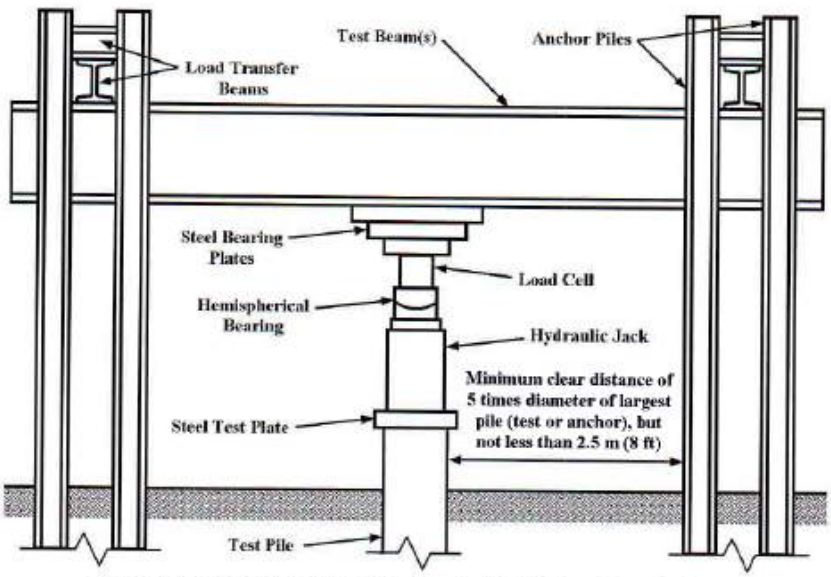


FIG. 1 Schematic of Hydraulic Jack Acting Against Anchored Reaction Frame

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

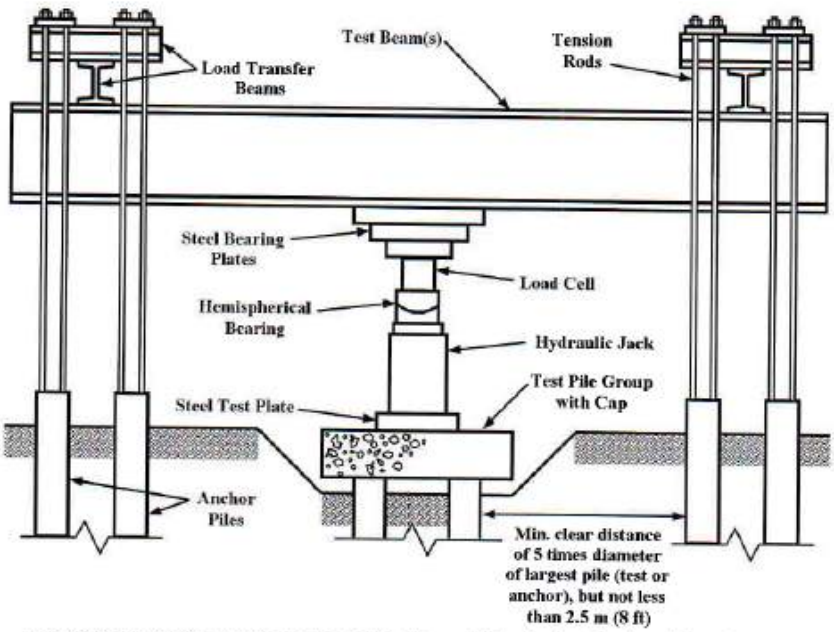


FIG. 2 Schematic of Hydraulic Jack on a Pipe Group Acting Against Anchored Reaction Frame

(Fig. 3)

6.4.1 Apply the test load to the pile or pile group with the hydraulic jack(s) reacting against the test beam(s) centered over the test pile, or pile group. Center a box or platform on the test beam(s) with the edges of the box or platform parallel to the test beam(s) supported by cribbing or piles placed as far from the test pile or pile group as practicable, but in no case less than a clear distance of 1.5 m (5 ft). If cribbing is used, the bearing area of the cribbing at ground surface shall be sufficient to prevent adverse settlement of the weighted box or platform.

6.4.2 The test beam(s) shall have sufficient size and strength to prevent excessive deflection under the maximum load, and sufficient clearance between the bottom flange(s) of the test beam(s) and the top of the test pile or pile group to place the

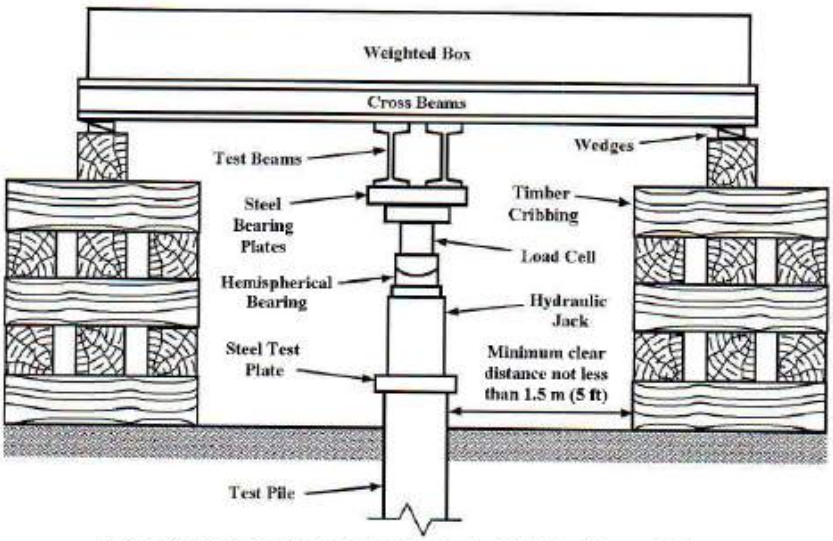


FIG. 3 Schematic Hydraulic Jack Acting Against Weighted Box or Platform

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

necessary bearing plates, hydraulic jack(s), hemispherical bearing, and load cell(s). Support the ends of the test beam(s) on temporary cribbing or other devices.

6.4.3 Load the box or platform with any suitable material such as soil, rock, concrete, steel, or water-filled tanks with a total weight (including that of the test beam(s) and the box or platform) at least 10 % greater than the maximum anticipated test load.

6.5 *Load Applied Directly Using Known Weights* (See Fig. 4, Fig. 5, and Fig. 6):

6.5.1 Center on the test pile or pile cap a test beam(s) of known weight and of sufficient size and strength to avoid excessive deflection under load with the ends supported on temporary cribbing if necessary to stabilize the beam(s). Alternatively, the known test weights or loading material may be applied directly on the pile or pile cap.

6.5.2 Center and balance a platform of known weight on the test beam(s) or directly on the pile cap with overhanging edges of the platform parallel to the test beam(s) supported by cribbing or by piles capped with timber beams, so that a clear distance of not less than 1.5 m (5 ft) is maintained between the supports and the test pile or pile group.

6.5.3 Place sufficient pairs of timber wedges between the top of the cribbing or timber cap beams and the bottom edges of the platform so that the platform can be stabilized during loading or unloading.

6.5.4 Apply the test loads to the pile or pile group using known weights. When loading the platform, remove any temporary supports at the ends of the test beam(s) and tighten the wedges along the bottom edges of the platform so that the platform is stable. Use loading materials such as steel or concrete so that the weight of incremental loads can be determined with accuracy of 5 %.

NOTE 5— Depending on the magnitude of the applied load and axial movement, platform stability may be difficult to control at or near a failure load when applying the load directly. The user should consider using a different load method when anticipating a failure load.

NOTE 6— The loading apparatus described in 6.5 may allow target rod level readings directly on the center of the pile top or pile cap to measure the pile top movement described in 7.2.4. To accommodate the target rod, use a double test beam with sufficient space between the beams, leave a hole through the platform, and leave a line of sight between the test weights for survey level readings.

6.6 *Other Types of Loading Apparatus (optional)*— The Engineer may specify another type of loading apparatus satisfying the basic requirements of 6.3 or 6.4.

7. Apparatus for Measuring Movement

7.1 *General*:

7.1.1 Reference beams and wirelines shall be supported independent of the loading system, with supports firmly embedded in the ground at a clear distance from the test pile of at least five times the diameter of the test pile(s) but not less than 2.5 m (8 ft), and at a clear distance from any anchor piles of at least five times the diameter of the anchor pile(s) but not less than 2.5 m (8 ft). Reference supports shall also be located as far as practicable from any cribbing supports but not less than a clear distance of 2.5 m (8 ft).

7.1.2 Reference beams shall have adequate strength, stiffness, and cross bracing to support the test instrumentation and minimize vibrations that may degrade measurement of the pile movement. One end of each beam shall be free to move laterally as the beam length changes with temperature variations. Supports for reference beams and wirelines shall be isolated from moving water and wave action. Provide a tarp or shelter to prevent direct sunlight and precipitation from affecting the measuring and reference systems.

7.1.3 Dial and electronic displacement indicators shall conform to ASME B89.1.10.M Dial Indicators (For Linear Measurements) and should generally have a travel of 100 mm (4 in), but shall have a minimum travel of at least 50 mm (2 in). Provide greater travel, longer stems, or sufficient calibrated blocks to allow for greater travel if anticipated. Electronic indicators shall have a real-time display of the movement

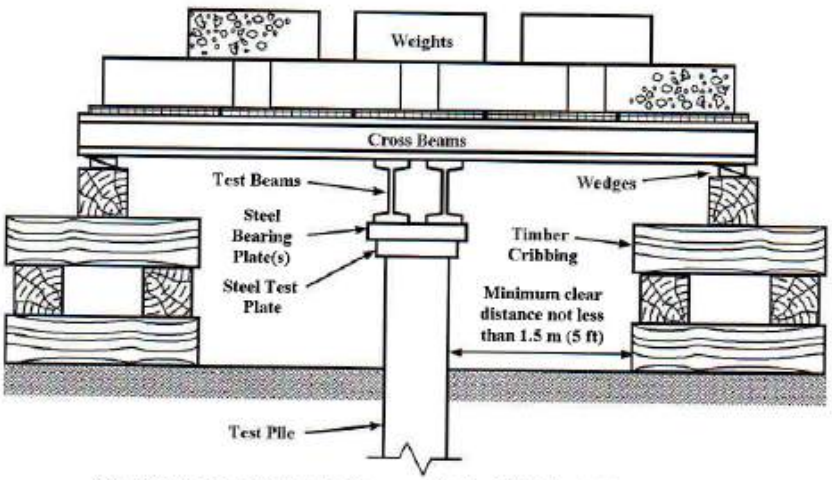


FIG. 4 Schematic of Direct Loading on a Single Pile Using Weighted Platform

pyright ASTM International
l for Resale
Provided by IHS under license with ASTM

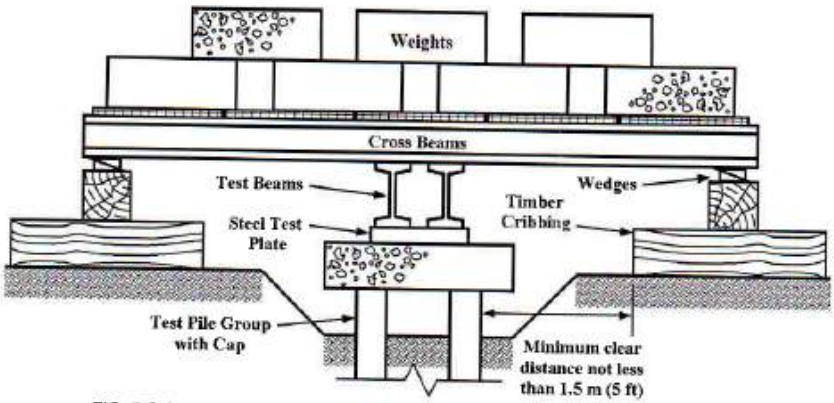


FIG. 5 Schematic of Direct loading on a Pile Group Using a Weighted Platform

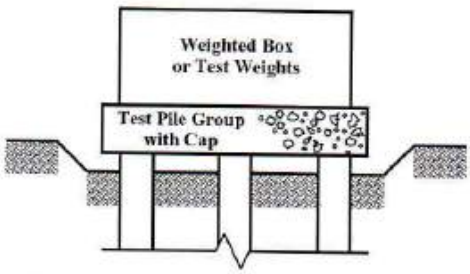


FIG. 6 Schematic of Direct Loading on a Pile Group

available during the test. Provide a smooth bearing surface for the indicator stem perpendicular to the direction of stem travel, such as a small, lubricated, glass plate glued in place. Except as required in 7.4, indicators shall have minimum graduations of 0.25 mm (0.01 in) or less, with similar accuracy. Scales used to measure pile movements shall have a length no less than 150 mm (6 in), minimum graduations of 0.5 mm (0.02 in) or less, with similar accuracy, and shall be read to the nearest 0.1 mm (0.005 in). Survey rods shall have minimum graduations of 1 mm (0.01 ft) or less, with similar accuracy, and shall be read to the nearest 0.1 mm (0.001 ft).

7.1.4 Dial indicators and electronic displacement indicators shall be in good working condition and shall have a full range calibration within three years prior to each test or series of tests. Furnish calibration reports prior to performing a test, including the ambient air temperature during calibration

7.1.5 Clearly identify each displacement indicator, scale, and reference point used during the test with a reference number or letter.

7.1.6 Indicators, scales, or reference points attached to the test pile, pile cap, reference beam, or other references shall be firmly affixed to prevent movement relative to the test pile or pile cap during the test. Unless otherwise approved by the Engineer, verify that reference beam and wireline supports do not move during the test by using a surveyor's level to take readings on a survey rod or a scale with reference to a permanent bench mark located outside of the immediate test area.

7.2 *Pile Top Axial Movements (See* Fig. 7)—

7.2.1 Unless otherwise specified, all axial compressive load tests shall include apparatus for measuring the axial movement of the test pile top, or piles within a group, or the pile group cap. This apparatus shall include a primary measurement system and at least one redundant, secondary system, using at least two of the systems described herein.

NOTE 7—When possible use displacement indicators as the primary system to obtain the most precise measurements. Use the redundant system(s) to check top movement data and provide continuity when the measuring system is disturbed or reset for additional movement.

NOTE 8—Pile top movements measured directly on the test pile have superior accuracy to measurements on the test plate, but with negligible difference when using a thin layer of grout on a sound pile, or with a test plate welded to the pile. However, users may wish to verify that the test plate and pile top do not move relative to each other using additional indicators (Fig. 7).

7.2.2 *Displacement Indicators*— Mount a minimum of two displacement indicators on the reference beams to bear on the pile top at axisymmetric points equidistant from the center of the test pile, or pile cap, with stems parallel to the longitudinal axis of the pile, inclined pile, or pile group. Orient two parallel

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

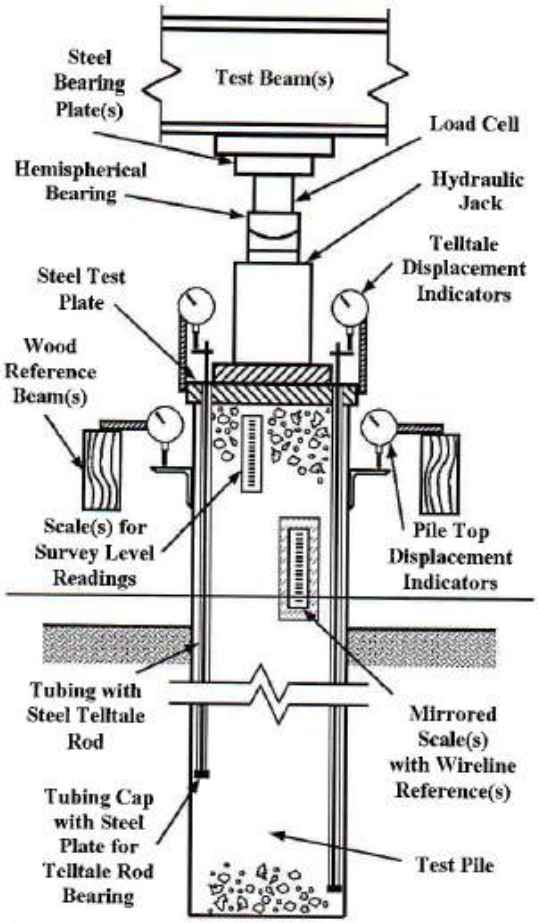


FIG. 7 Schematic of Instrumentation of Measuring Axial Pile Movements

reference beams, one on each side of the test pile or pile cap, in a direction that permits placing their supports as far as feasible from anchor piles or cribbing. Alternatively, mount the two indicators on axisymmetric points equidistant from the center of the test pile, or pile cap, with the stems parallel to the longitudinal axis of the pile or pile group to bear on the reference beams.

NOTE 9—For piles having a width or diameter greater than 2.5 ft (0.75 n), and for piles without good lateral support near the top, use four displacement indicators to compensate for lateral movement or rotation of the pile top.

NOTE 10—For tests on inclined piles, monitor lateral pile movements as described in 7.3to detect instability that may result from gravitational forces during the test.

7.2.3 *Wireline, Mirror, and Scale*—Orient two wirelines parallel to each other and perpendicular to and located on opposite sides equidistant from the axis of the test pile, or pile group, in a direction that permits placing the wireline supports as far as practicable from anchor piles or cribbing. The wirelines shall include a weight or spring to maintain a constant tension force in the wire, so that, when plucked or tapped, the wireline will return to its original position. Use clean, uncoated steel wire with a diameter of 0.25 mm (0.01 in) or less for the wirelines. Each wireline shall pass across, and remain clear of, a scale mounted on the test pile or pile cap parallel to the axis of the pile or pile group. Mount the scale on a mirror affixed to the test pile or pile cap and use the wireline as a reference line to read the scale. Use the mirror to eliminate parallax error in the scale reading by lining up the wire and its image in the mirror. Align the wire not more than 13 mm (0.5 in) from the face of the scale.

7.2.4 *Surveyor's Level or Laser Beam*—Movement readings obtained using a surveyor's level or laser beam shall be taken on a survey rod or a scale and shall be referenced to a permanent bench mark located outside of the immediate test area or, alternatively, the surveyor's level shall be mounted on an object of fixed elevation (for example a driven pile) outside

Copyright ASTM International
Not for Resale
Provided by IHS under license with ASTM

of the immediate test area. Reference points or scales used in taking displacement readings shall be mounted on the sides of the test pile or pile cap and located on opposite sides except that reference points may be located on top of the pile cap or readings may be taken on a single fixed point in the center of the test pile top, test plate or pile cap (see Fig. 6).

7.2.5 *Other Types of Measurement Systems (Optional)*—The Engineer may specify another type of measurement system satisfying the basic requirements of 7.2.

7.3 *Lateral Movements (Optional)* Measure the lateral movements of the top of the test pile or pile group to within an accuracy of 2.5 mm (0.1 in) using either of the following methods: *(a)* two displacement indicators oriented in orthogonal directions, mounted with their stems perpendicular to the longitudinal axis of the test pile(s) and bearing against lubricated glass plates affixed to the sides of the test pile or pile cap, or *(b)* a surveyor's transit reading from scales mounted laterally on two perpendicular sides of the test pile or pile cap with readings referenced to fixed foresights or backsights. For tests on inclined piles, orient the indicators or scales parallel and perpendicular to the vertical plane of the incline and perpendicular to the longitudinal axis of the test pile(s).

7.4 *Pile Compression and Strain Measurements (Optional)*:

7.4.1 Measure the compression or strain of the test pile during loading at locations specified by the Engineer to help evaluate the distribution of load transfer from the pile to the surrounding soil.

7.4.2 Determine pile compression using displacement indicators to measure the relative movement between the pile top and an unstrained telltale rod (Figs. 7-10) bearing at a point within the pile. Unless located on the pile axis, install paired telltales in the pile with the rods in each pair oriented symmetrically opposite each other and equidistant from and parallel to the pile axis. Terminate telltale pairs near the pile bottom and at other points along the pile as required. Measure and record the distance from the pile top to the telltale termination point(s) to the nearest 10 mm (0.5 in). Install the telltales in a sheath or casing to insure free rod movement during the test. The rods shall have a rounded tip that bears on a clean steel plate affixed to the pile or shall be threaded into a nut affixed to the pile. Clean the telltale rods prior to installation, oil them during or after installation, and provide centralizers to restrain lateral movement but not axial movement at the pile top. The displacement indicators shall have a travel of at least a 5 mm (0.2 in) and minimum graduations of 0.01 mm (0.0001 in) or less, with similar accuracy. Mount a smooth bearing surface for the indicator stem on the telltale rod perpendicular to the direction of stem travel, such as a small, lubricated, glass plate clamped or glued in place.

7.4.3 *Other types of telltale (Optional)*—The Engineer may specify another type of telltale for the measurement of pile compression that satisfies the basic requirements of 7.4.2.

7.4.4 Measure pile strain directly using strain gages installed along the length of the pile axis. Install single gages along the pile axis, or gage pairs with the gages in each pair oriented symmetrically opposite each other and equidistant from and parallel to the pile axis. Measure and record the distance from the pile top to the gages to the nearest 10 mm (0.5 in). The gage type and installation shall be as specified by the Engineer and shall include temperature compensation as recommended by the gage manufacturer. Where feasible, measurement programs involving strain gages should include calibration of the fully instrumented pile and a complete history of gage readings starting before their installation in the pile.

NOTE 11—To interpret strain measurements and estimate pile stresses, the Engineer will require a depth profile describing the variation of pile constituents and their strength, cross sectional area, and stiffness. Stiffness properties may vary with the applied stress, especially for grout or concrete. Obtain this information from installation records and separate material property tests as needed.

8. Procedure

8.1 **Loading**:

8.1.1 *General:*

8.1.1.1 Apply test loads following one of the procedures described below for each test method, or as modified by the Engineer. If feasible, the maximum applied load should reach a failure that reflects the ultimate axial static compressive load capacity of the pile(s). Do not exceed the safe structural capacity of the pile or pile group, or the loading apparatus. Do not leave a loaded pile unattended.

8.1.1.2 To avoid excessive creep and possible structural failure of cast-in-place concrete piles, delay load testing after concrete placement to permit the fresh concrete to gain adequate strength and stiffness. Use test cylinders or cores of the pile concrete to determine the appropriate wait time, recognizing that the test cylinders will generally cure more quickly than concrete in the pile.

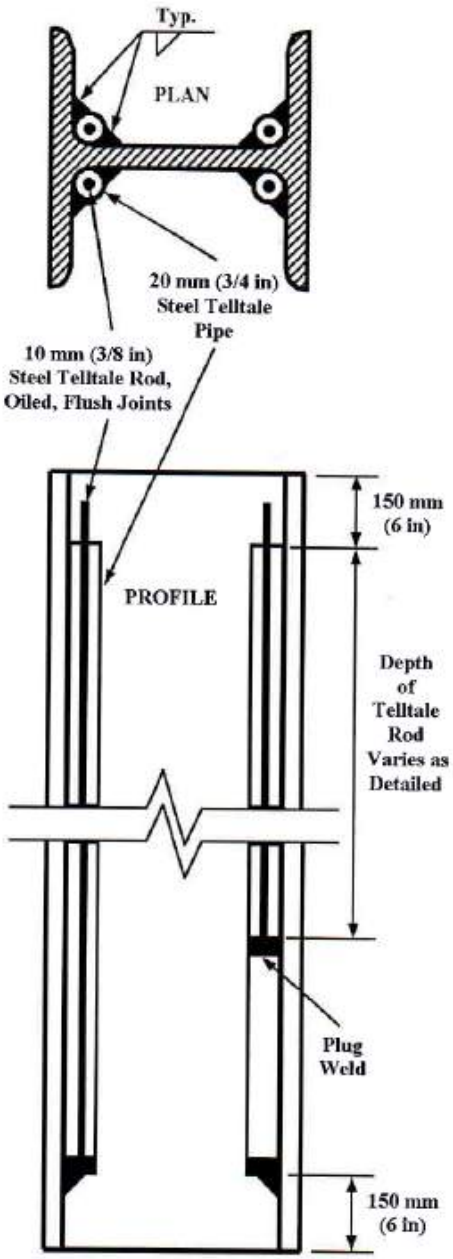
8.1.1.3 The static axial capacity of piles typically changes as time elapses after pile installation, possibly increasing (setup) or decreasing (relaxation), depending on the soil or rock properties and the pore water pressure and soil structure disturbance induced by installation. This behavior may affect both driven piles and cast-in-place piles. The Engineer may specify a waiting period between pile installation and static testing to investigate time effects. The waiting period may range from 3 to 30 days, or longer, based on testing (for example redriving piles) or prior experience.

8.1.1.4 When temporarily dewatering a test site with piles installed in granular soils, maintain the groundwater level as near to the nominal elevation as possible and record the elevation of the groundwater surface during the test. Use the groundwater surface elevation measured during the test to correct the axial pile capacity when the groundwater level during the test deviates more than 1.5 m (5 ft) from the service groundwater elevation.

8.1.2 *Procedure A: Quick Test*—Apply the test load in increments of 5 % of the anticipated failure load. Add each load increment in a continuous fashion and immediately following the completion of movement readings for the previous load interval. Add load increments until reaching a failure load but do not exceed the safe structural capacity of the pile, pile group, or loading apparatus. During each load interval, keep the load constant for a time interval of not less than 4 min and not more than 15 min, using the same time interval for all loading increments throughout the test. Remove the load in five

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM



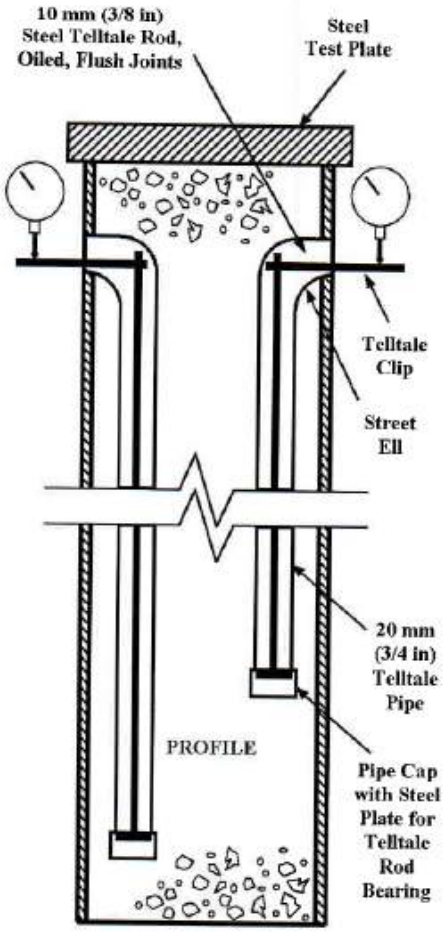
Note: Install Telltale Rods After Driving Pile

FIG. 8 Possible Installation of Telltales for Steel H-Piles

to ten approximately equal decrements, keeping the load constant for a time interval of not less than 4 min and not more than 15 min, using the same time interval for all unloading decrements Consider longer time intervals for the failure load to assess creep behavior and for the final zero load to assess rebound behavior.

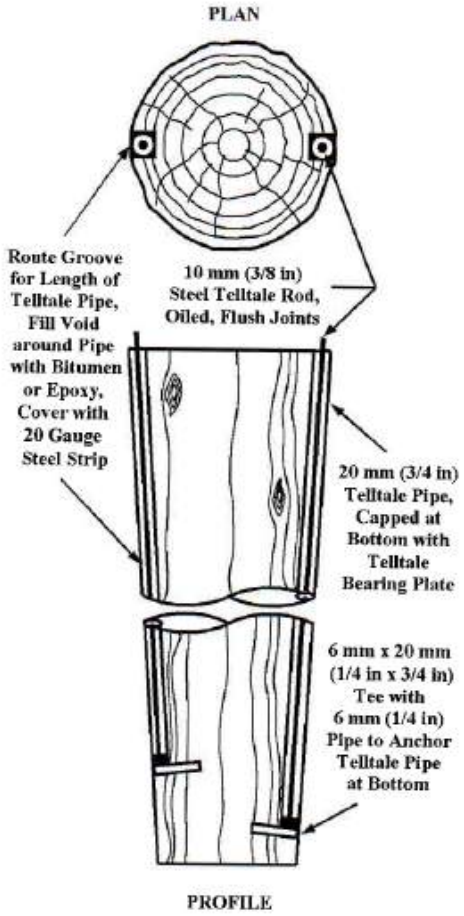
Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM



Note: Install Telltale Pipes, Install Telltale Rods, and Fill Pipe with Concrete After Driving

FIG. 9 Possible Installation of Telltales for Pipe Piles



Note: Install Telltale Rods After Driving

FIG. 10 Possible Installation of Telltales for Timber Piles

8.1.3 *Procedure B: Maintained Test (Optional)*:

8.1.3.1 Unless failure occurs first, load the pile to a maximum maintained load of 200 % of the anticipated design load for tests on individual piles, or 150 % of the pile group design load, applying the load in increments of 25 % of the design load. Maintain each load increment until the rate of axial movement does not exceed 0.25 mm (0.01 in) per hour, with a minimum time adequate to verify this movement rate based on the accuracy of the movement indicator readings, and with a maximum of 2 hr. After applying the maximum load and reaching an overall test duration of at least 12 hr, begin unloading when the axial movement measured over a period of 1 hr does not exceed 0.25 mm (0.01 in); otherwise allow the maximum load to remain on the pile or pile group for 24 hr. If failure occurs during loading, maintain the failure load, or the maximum load possible, until the total axial movement equals 15 % the pile diameter or width. After completing the final load increment, remove the load in decrements of 25 % of the maximum test load with 1 hr between decrements.

8.1.3.2 If using the direct loading method described in 6.5, include in the first load increment the weight of the test beam(s) and the platform that bear directly on the pile. Before adding or removing load increments, tighten the wedges along the platform edges to stabilize the platform. Place or remove load increments in a manner which avoids impact and maintains the load balanced at all times. After each load increment has been added, loosen (but do not remove) the wedges and keep them loose to permit the full load to act on the pile as it moves.

NOTE 12— If negligible permanent axial movement occurs after unloading the pile, consider reloading the test pile(s) to a greater load or use the procedure in Section 8.1.4. If the test pile(s) approach failure during

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

the maintained loading procedure, consider decreasing the final load increments to obtain a more accurate failure load.

8.1.4 *Procedure C: Loading in Excess of Maintained Test (Optional)*—After the load has been applied and removed in accordance with 8.1.3, reload the test pile or pile group to the maximum maintained load in increments of 50 % of the pile or pile group design load, allowing 20 min between load increments. Then apply additional load in increments of 10 % of the design load for the pile or pile group until reaching the maximum required load or failure, allowing 20 min between load increments. If failure occurs continue jacking the pile until the settlement equals 15 % of the pile diameter or width. If failure does not occur, hold the full load for 2 hr and then remove the load in four equal decrements, allowing 20 min between decrements.

8.1.5 *Procedure D: Constant Time Interval Loading Test*—Follow the procedures of , but apply the load in increments of 20 % of the pile or group design load with 1 hr between load increments. Then unload the piles with 1 hr between load decrements.

8.1.6 *Procedure E: Constant Rate of Penetration Test (optional)*

8.1.6.1 The apparatus for applying loads shall have a capacity as specified and shall be in accordance with section 6.3 or 6.4. Use a mechanical hydraulic jacking system equipped with a bleed valve, variable speed device, or other means for providing a smooth variable pressure delivery.

8.1.6.2 Vary the applied load as necessary to maintain a pile penetration rate of 0.25 to 1.25 mm (0.01 to 0.05 in) per minute for cohesive soil or 0.75 to 2.5 mm (0.03 to 0.10 in) per minute for granular soils, or as specified by the Engineer. Continue loading the pile until achieving continuous penetration at the specified rate. Hold the maximum applied load until obtaining a total pile penetration of at least 15 % of the average pile diameter or width, or until the pile stops penetrating. Gradually release the final load to protect the load and measurement systems

8.1.6.3 Control the rate of penetration by checking the time taken for successive small equal increments of penetration and then adjusting the jacking accordingly. Alternatively, use a mechanical or electrical device to monitor and control the penetration rate so that it remains constant

8.1.6.4 See for measurement procedures. When using a video recording system, locate all gages for easy reading within the camera's field of view, as well as a digital clock displaying time to the nearest second.

8.1.7 *Procedure F: Constant Movement Increment Test (Optional)*

8.1.7.1 Apply test loads in increments required to produce pile top movement increments equal to approximately 1 % of the average pile diameter or width. Vary the applied load as necessary to maintain each movement increment, and do not apply additional load until the rate of load variation to hold that movement increment constant is less than 1 % of the total applied load per hr. Continue loading the pile in such increments until the total movement equals 15 % of the average pile diameter or width.

8.1.7.2 Remove the final test load in four equal decrements after maintaining the final movement increment until the rate of load variation is less than 1 % of the total applied load per hour. After removing the first load decrement, do not remove additional decrements until the rate of pile rebound for the preceding load decrement is less than 0.3 % of the average pile diameter or diagonal dimension per hour.

8.1.8 *Procedure G: Cyclic Loading Test (optional)*— For the first application of test load increments, apply such increments in accordance with 8.1.3. After the application of loads equal to 50, 100 and 150 % of the pile design load for tests of individual piles or 50 and 100 % of the group design load for tests on pile groups, maintain the total test load in each case for 1 hr and remove the load in decrements equal to the loading increments, allowing 20 min between decrements. After removing each maximum applied load, reapply the load to each preceding load level in increments equal to 50 % of the design load, allowing 20 min between increments. Apply additional loads in accordance with 8.1.3. After the maximum required test load has been applied, hold and remove the test load in accordance with 8.1.3.

8.2 **Recording Test Readings**

8.2.1 *General:*

8.2.1.1 For the required time intervals described below for each test method, record the time, applied load, and movement readings (displacement, and strain if measured) for each properly identified gage, scale, or reference point taken as nearly simultaneously as practicable. The Engineer may specify different reading intervals from those given below as needed to satisfy the objectives of a particular test pile program. Obtain additional test readings as specified by the Engineer, or as convenient for testing purposes, i.e. when using a datalogger to record readings at a constant time interval. When using the loading procedure described in 6.5, take the zero-load reading before placing the test beam(s) and platform on the pile(s). Clearly record and explain any field adjustments made to instrumentation or recorded data.

8.2.1.2 Verify the stability of the reference beams and load reaction system (including reaction piles) using a surveyor's level or transit and target rod or scales to determine movement. Record readings taken before applying any test load, at the proposed design load, at the maximum test load, and after the removal of all load. Intermediate readings for each load increment are recommended to provide additional quality assurance and detect potential failure of the load reaction system.

8.2.1.3 When using embedded strain gages to obtain incremental strain measurements as in 7.4 record strain readings just before starting the test and, as a minimum, during the test whenever recording readings of time, load, and movement. The Engineer may also require gage readings taken before and after the pile installation to obtain a complete strain history and investigate residual stress behavior.

8.2.2 *Procedure A: Quick Test*—Record test readings taken at 0.5, 1, 2 and 4 min after completing the application of each load increment, and at 8 and 15 min when permitted by longer load intervals. Record test readings taken at 1 and 4 min after completing each load decrement, and at 8 and 15 min when

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

permitted by a longer unload intervals. Record readings taken at 1, 4, 8 and 15 min after all load has been removed.

NOTE 13—The movement measured between readings for a given load increment provides an indication of creep behavior.

8.2.3 *Procedure B: Maintained Test (also Procedures C, D, and G) (Optional)*—Record test readings taken before and after the application of each load increment or decrement. During each load interval, provided that the test pile or pile group has not failed, record additional readings taken at 5, 10, and 20 min following application of the load increment, and every 20 min thereafter as needed. After applying the total load, provided that the test pile or pile group has not failed, record additional readings taken at 5, 10, and 20 min, then every 20 min up to 2 hrs, then every hour from 2 to 12 hrs, and then every 2 hrs from 12 to 24 hrs as needed. If pile failure occurs, also record readings taken immediately before removing the first load decrement. During unloading, record readings taken at time intervals of 20 min. Record final readings 12 hr after removing all load.

8.2.4 *Procedure E: Constant Rate of Penetration (Optional)*—Record test readings taken at least every 30 s or at sufficient intervals to determine the actual rate of penetration. Operate any automatic monitoring and recording devices continuously during each test. When the test pile has achieved its specified rate of penetration, continue to take and record readings for the duration of the loading, and determine the maximum load applied. Take and record readings immediately after unloading and again 1 h after removing all load.

8.2.5 *Procedure F: Constant Movement Increment (Optional)*—Record test readings taken immediately before and after each movement increment with sufficient intermediate readings so as to determine the rate of load variation and the actual load required to maintain each settlement increment. During unloading, record readings taken immediately before and after the removal of each load decrement with sufficient intermediate readings so as to determine the rate of pile rebound. Record final readings taken 12 h after removing all load.

9. Safety Requirements

9.1 All operations in connection with pile load testing shall be carried out in such a manner so as to minimize, avoid, or eliminate the exposure of people to hazard. The following safety rules are in addition to general safety requirements applicable to construction operations:

9.1.1 Keep all test and adjacent work areas, walkways, platforms, etc. clear of scrap, debris, small tools, and accumulations of snow, ice, mud, grease, oil, or other slippery substances.

9.1.2 Provide timbers, blocking and cribbing materials made of quality material and in good serviceable condition with flat surfaces and without rounded edges.

9.1.3 Hydraulic jacks shall be equipped with spherical bearing plates or shall be in complete and firm contact with the bearing surfaces and shall be aligned so as to avoid eccentric loading.

9.1.4 Loads shall not be hoisted, swung, or suspended over anyone and shall be controlled by tag lines.

9.1.5 The test beam(s), reaction frame, anchor piles and other anchoring devices, test boxes, and their connections and supports shall be designed and approved by a qualified engineer and installed to transmit the required loads with an adequate factor of safety.

9.1.6 For tests on inclined piles, all inclined jacks, bearing plates, test beam(s), or frame members shall be firmly fixed into place or adequately blocked to prevent slippage upon release of load.

9.1.7 All reaction loads shall be stable and balanced. When using loading method in 6.5, safety wedges shall be in place at all times to prevent the platform from tipping. During testing, movements of the reaction load or system should be monitored to detect impending unstable conditions.

9.1.8 All test beams, reaction frames, platforms, and boxes shall be adequately supported at all times.

9.1.9 Only authorized personnel shall be permitted within the immediate test area, and only as necessary to monitor test equipment. As best as possible, locate pumps, load cell readouts, dataloggers, and test monitoring equipment at a safe distance away from jacks, loaded beams, weighted boxes, dead weights, and their supports and connections.

10. Report

10.1 The report of the load test shall include the following information as required by the Engineer and as appropriate to the pile type, test apparatus, and test method:

10.1.1 *General*:

10.1.1.1 Project identification and location,

10.1.1.2 Test site location,

10.1.1.3 Owner, structural engineer, geotechnical engineer, pile contractor, boring contractor,

10.1.1.4 Nearest test boring(s) or sounding(s), and their location with reference to test location,

10.1.1.5 Insitu and laboratory soil test results, and

10.1.1.6 Horizontal and vertical control datum.

10.1.2 *Pile Installation Equipment*:

10.1.2.1 Make, model, type and size of hammer,

10.1.2.2 Weight of hammer and ram,

10.1.2.3 Stroke or ram,

10.1.2.4 Rated energy of hammer,

10.1.2.5 Rated capacity of boiler or compressor,

10.1.2.6 Type and dimensions of capblock and pile cushion,

10.1.2.7 Weight and dimensions of drive cap and follower,

10.1.2.8 Size of predrilling or jetting equipment,

10.1.2.9 Weight of clamp, follower, adaptor, and oscillato for vibratory driver.

10.1.2.10 Type, size, length, and weight of mandrel,

10.1.2.11 Type, size, and length of auger,

10.1.2.12 Type and size of grout pump, and

10.1.2.13 Type, size, wall thickness, and length of drive casing.

10.1.2.14 Detailed description of drilling equipment and techniques,

10.1.2.15 Size, type, length, and installation or extraction method of casings or a combination thereof.

10.1.3 *Test and Anchor Pile Details*:

10.1.3.1 Identification and location of test and anchor piles,

10.1.3.2 Design load of test pile or pile group,

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

10.1.3.3 Type and dimensions of test and anchor piles
10.1.3.4 Test pile material including basic specifications,
10.1.3.5 Pile quality including knots, splits, checks and shakes, and straightness of piles, preservative treatment and conditioning process used for timber test piles including inspection certificates,
10.1.3.6 Wall thickness of pipe test pile,
10.1.3.7 Weight per foot of H test pile,
10.1.3.8 Description of test pile tip reinforcement or protection,
10.1.3.9 Description of banding–timber piles,
10.1.3.10 Description of special coatings used,
10.1.3.11 Test pile (mandrel) weight as driven,
10.1.3.12 Date precast test piles made,
10.1.3.13 Details of concrete and/or grout mix design,
10.1.3.14 Concrete and/or grout placement techniques and records ,
10.1.3.15 Concrete and/or grout sample strengths and date of strength test,
10.1.3.16 Description of internal reinforcement used in test pile (size, length, number longitudinal bars, arrangement, spiral, or tie steel),
10.1.3.17 Condition of precast piles including spalled areas, cracks, top surface, and straightness of piles.
10.1.3.18 Effective prestress,
10.1.3.19 Degree of inclination for each pile,
10.1.3.20 Length of test pile during driving,
10.1.3.21 Final pile top and bottom elevations, and ground elevation referenced to a datum,
10.1.3.22 Embedded length–test and anchor piles,
10.1.3.23 Tested length of test pile, and
10.1.3.24 Final elevation of test pile butt(s) referenced to fixed datum.
10.1.4 *Test and Anchor Pile Installation*:
10.1.4.1 Date installed,
10.1.4.2 Volume of concrete or grout placed in pile,
10.1.4.3 Grout pressure used,
10.1.4.4 Description of pre-excavation or jetting (depth, size, pressure, duration),
10.1.4.5 Operating pressure for double-acting and differential type hammers,
10.1.4.6 Throttle setting–diesel hammer (at final driving),
10.1.4.7 Fuel type–diesel hammer,
10.1.4.8 Horsepower delivered and frequency of vibratory driver during final 10 ft (3 m) of pile penetration,
10.1.4.9 Description of special installation procedures used such as piles cased off,
10.1.4.10 Type and location of pile splices,
10.1.4.11 Driving or drilling records,
10.1.4.12 Final penetration resistance (blows per inch),
10.1.4.13 Rate of pile penetration for last 10 ft (3 m) s/ft, vibratory driving,
10.1.4.14 When capblock replaced (indicate on log),
10.1.4.15 When pile cushion replaced (indicate on log),
10.1.4.16 Cause and duration of interruptions in pile installation, and
10.1.4.17 Notation of any unusual occurrences during installation.
10.1.5 *Pile Testing*:
10.1.5.1 Date and type of test,
10.1.5.2 Temperature and weather conditions during tests,
10.1.5.3 Number of piles in group test,
10.1.5.4 Brief description of load application apparatus, including jack capacity,
10.1.5.5 Description of instrumentation used to measure pile movement including location of indicators, scales, and other reference points with respect to pile top,
10.1.5.6 Description of special instrumentation such as strain rods or strain gages including location of such with reference to pile top,
10.1.5.7 Special testing procedures used,
10.1.5.8 Tabulation of all time, load, and movement readings,
10.1.5.9 Identification and location sketch of all gages, scales, and reference points,
10.1.5.10 Description and explanation of adjustments made to instrumentation or field data, or both,
10.1.5.11 Notation of any unusual occurrences during testing,
10.1.5.12 Test jack and other required calibration reports,
10.1.5.13 Groundwater level, and
10.1.5.14 Suitable photographs showing the test instrumentation and set-up.

11. Precision and Bias

11.1 *Precision*—Test data on precision is not presented due to the nature of this test method. It is either not feasible or too costly at this time to have ten or more agencies participate in an in situ testing program at a given site
11.1.1 Subcommittee D18.11 is seeking any data from the users of this test method that might be used to make a limited statement on precision.
11.2 *Bias*—There is no accepted reference value for this test method, therefore, bias cannot be determined.

12. Keywords

12.1 axial static pile capacity; field testing; jack; load cell; loading procedure; reference beam

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

APPENDIX

(Nonmandatory Information)

X1. SOME FACTORS INFLUENCING INTERPRETATION OF TEST RESULTS

X1.1 Potential residual loads in the pile which could influence the interpreted distribution of load at the pile tip and along the pile shaft.

X1.2 Possible interaction of friction loads from test pile with upward friction transferred to the soil from anchor piles obtaining part or all of their support in soil at levels above the tip level of the test pile.

X1.3 Changes in pore water pressure in the soil caused by pile driving, construction fill, and other construction operations which may influence the test results for frictional support in relatively impervious soils such as clay and silt.

X1.4 Differences between conditions at time of testing and after final construction such as changes in grade or groundwater level.

X1.5 Potential loss of soil supporting test pile from such things as excavation and scour.

X1.6 Possible differences in the performance of a pile in a group or of a pile group from that of a single isolated pile.

X1.7 Affect on long-term pile performance of factors such as creep, environmental effects on pile material, negative friction loads not previously accounted for, and strength losses.

X1.8 Type of structure to be supported, including sensitivity of structure to settlements and relation between live and dead loads.

X1.9 Special testing procedures which may be required for the application of certain acceptance criteria or methods of interpretation.

X1.10 Requirement that non tested pile(s) have essentially identical conditions to those for tested pile(s) including, but not limited to, subsurface conditions, pile type, length, size and stiffness, and pile installation methods and equipment so that application or extrapolation of the test results to such other piles is valid.

SUMMARY OF CHANGES

In accordance with Committee D 18 policy, this section identifies the location of the changes to this standard since the last edition (D 4719 – 94) that may impact the use of this test method.

(*1*) Reorganization following current D18 guidelines including elimination of the "Introduction" and addition of "Terminology" and "Significance and Use".
(*2*) Changed title and text to indicate multiple procedures and include deep foundations that function similar to driven piles.
(*3*) Inclusion of current D18 caveats, D 3740 and D 6026.
(*4*) Change Quick Test Method to preferred. Previous Standard Method now shown as "Maintained Test". The Engineer my choose and optional method as provided.
(*5*) When using jacks, require hemispherical bearings and load cell(s) for tests over 100 tons.
(*6*) Include specific requirements for test plates.
(*7*) Addition of references for pressure gages and displacement indicators.
(*8*) Additional requirements for measuring systems and testing time intervals.

ASTM International takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM International Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, at the address shown below.

This standard is copyrighted by ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States. Individual reprints (single or multiple copies) of this standard may be obtained by contacting ASTM at the above address or at 610-832-9585 (phone), 610-832-9555 (fax), or service@astm.org (e-mail); or through the ASTM website (www.astm.org).

Copyright ASTM International
Not for Resale

Provided by IHS under license with ASTM

(5) PHC 파일 납품서

출하실용

PHC 파일 납품서

(출하증)

2015년 04월 20일 출고 No. 20150420-1001

발주처	롯데건설㈜	현장명	롯데건설 마곡오피스텔 현장
제조원	삼표피앤씨주식회사		
규격명	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝		
규격번호	KS F 4306	인증번호	제 10 - 0041 호
인증기관	한국표준협회	제조년월일	제품 표기사항 참조

제품코드	제품호칭	본	톤	창고	비 고
JPHPC1000A013	Ss-PHC-A1000-13(종)				

특기사항	- Ss-PHC

영업	전화:(02)6270-0317	팩스:(02)473-0133
출하	전화:070-8671-4335	팩스:(043)645-5330

운송회사	차량번호	기사명	인수자 확인
㈜다우티알씨	전남990바8312	변태경	성명: (인)

[주의 사항]
1. 제품상차 후 체인 2곳 결속
2. 현장 도착후 지게차 등작 전 체인해체 금지

삼표피앤씨 주식회사
서울시 종로구 수송동 80 코리안리빌딩
대표이사 최 명 식

A5(148×210)mm SAMPYO P&C

상차장비 기사용

PHC 파일 납품서

(상차증)

2015년 04월 20일 출고 No. 20150420-1001

발주처	롯데건설㈜	현장명	롯데건설 마곡오피스텔 현장
제조원	삼표피앤씨주식회사		
규격명	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝		
규격번호	KS F 4306	인증번호	제 10 - 0041 호
인증기관	한국표준협회	제조년월일	제품 표기사항 참조

제품코드	제품호칭	본	톤	창고	비 고
JPHPC1000A013	Ss-PHC-A1000-13(종)	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

특기사항	- - Ss-PHC

영업	전화:(02)6270-0317	팩스:(02)473-0133
출하	전화:070-8671-4335	팩스:(043)645-5330

운송회사	차량번호	기사명	인수자 확인
㈜다우티알씨	전남990바8312	변태경	성명: (인)

[주의 사항]
1. 제품상차 후 체인 2곳 결속
2. 현장 도착후 지게차 등작 전 체인해체 금지

삼표피앤씨 주식회사
서울시 종로구 수송동 80 코리안리빌딩
대표이사 최 명 식

A5(148×210)mm SAMPYO P&C

고객용

PHC 파일 납품서

(발송장)

2015년 04월 20일 출고 No. 20150420-1001

발주처	롯데건설㈜	현장명	롯데건설 마곡오피스텔 현장
제조원	삼표피앤씨주식회사		
규격명	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝		
규격번호	KS F 4306	인증번호	제 10 - 0041 호
인증기관	한국표준협회	제조년월일	제품 표기사항 참조

제품코드	제품호칭	본	톤	창고	비 고
JPHPC1000A013	Ss-PHC-A1000-13(종)	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

특기사항	- Ss-PHC

영업	전화:(02)6270-0317	팩스:(02)473-0133
출하	전화:070-8671-4335	팩스:(043)645-5330

운송회사	차량번호	기사명	인수자 확인
㈜다우티알씨	전남990바8312	변태경	성명: (인)

[주의 사항]
1. 제품상차 후 체인 2곳 결속
2. 현장 도착후 지게차 등작 전 체인해체 금지

삼표피앤씨 주식회사
서울시 종로구 수송동 80 코리안리빌딩
대표이사 최 명 식

A5(148×210)mm SAMPYO P&C

제품운반 기사용

PHC 파일 납품서

(인수증)

2015년 04월 20일 출고 No. 20150420-1001

발주처	롯데건설㈜	현장명	롯데건설 마곡오피스텔 현장
제조원	삼표피앤씨주식회사		
규격명	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝		
규격번호	KS F 4306	인증번호	제 10 - 0041 호
인증기관	한국표준협회	제조년월일	제품 표기사항 참조

제품코드	제품호칭	본	톤	창고	비 고
JPHPC1000A013	Ss-PHC-A1000-13(종)	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

특기사항	- Ss-PHC

영업	전화:(02)6270-0317	팩스:(02)473-0133
출하	전화:070-8671-4335	팩스:(043)645-5330

운송회사	차량번호	기사명	인수자 확인
㈜다우티알씨	전남990바8312	변태경	성명: (인)

[주의 사항]
1. 제품상차 후 체인 2곳 결속
2. 현장 도착후 지게차 등작 전 체인해체 금지

삼표피앤씨 주식회사
서울시 종로구 수송동 80 코리안리빌딩
대표이사 최 명 식

A5(148×210)mm SAMPYO P&C

공장용

PHC 파일 납품서

(공무용)

2015년 04월 20일 출고 No. 20150420-1001

발 주 처	롯데건설㈜	현 장 명	롯데건설 마곡오피스텔 현장
제 조 원	삼표피앤씨주식회사		
규 격 명	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝		
규격 번호	KS F 4306	인증 번호	제 10 - 0041 호
인증 기관	한국표준협회	제조년월일	제품 표기사항 참조

제 품 코 드	제 품 호 칭	본	톤	창고	비 고
JPHPC1000A013	Ss-PHC-A1000-13(종)	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

특기 사항	- Ss-PHC

영 업	전화:(02)6270-0317	팩스:(02)473-0133
출 하	전화:070-8671-4335	팩스:(043)645-5330

운송 회사	차량 번호	기사명	인수자 확인
㈜다우티알씨	전남990바8312	변태경	성명: (인)

[주의 사항]
1. 제품상차 후 제인 3프 걸손
2. 현장 도착후 지게차 도착 전 제인하차 금지

삼표피앤씨 주식회사

서울시 종로구 수송동 80 트리안리빌딩 ()

대표이사 최 명 식

A5(148×210)mm

SAMPYO P&C

공장용

PHC 파일 납품서

(검수용)

2015년 04월 20일 출고 No. 20150420-1001

발 주 처	롯데건설㈜	현 장 명	롯데건설 마곡오피스텔 현장
제 조 원	삼표피앤씨주식회사		
규 격 명	프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝		
규격 번호	KS F 4306	인증 번호	제 10 - 0041 호
인증 기관	한국표준협회	제조년월일	제품 표기사항 참조

제 품 코 드	제 품 호 칭	본	톤	창고	비 고
JPHPC1000A013	Ss-PHC-A1000-13(종)	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-

특기 사항	- Ss-PHC

영 업	전화:(02)6270-0317	팩스:(02)473-0133
출 하	전화:070-8671-4335	팩스:(043)645-5330

운송 회사	차량 번호	기사명	인수자 확인
㈜다우티알씨	전남990바8312	변태경	성명: (인)

[주의 사항]
1. 제품상차 후 제인 3프 걸손
2. 현장 도착후 지게차 도착 전 제인하차 금지

삼표피앤씨 주식회사

서울시 종로구 수송동 80 트리안리빌딩 ()

대표이사 최 명 식

A5(148×210)mm

SAMPYO P&C

아. 시험성적서 및 검수(2)

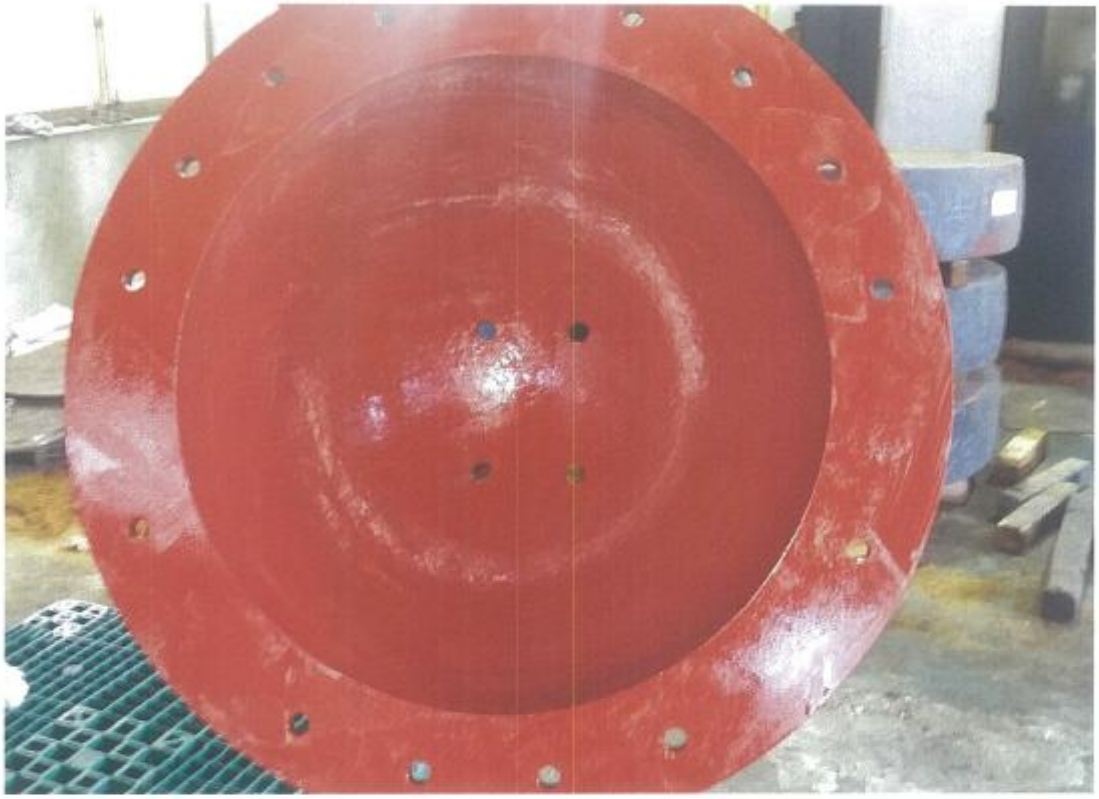
(1) HAT Joint 검수







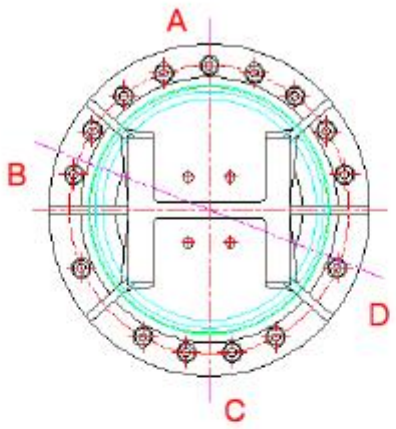


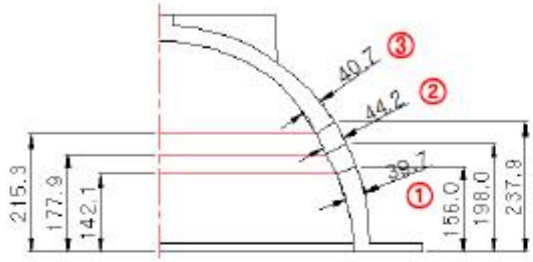




Hat Joint(Pilot test) 치수 검사결과서

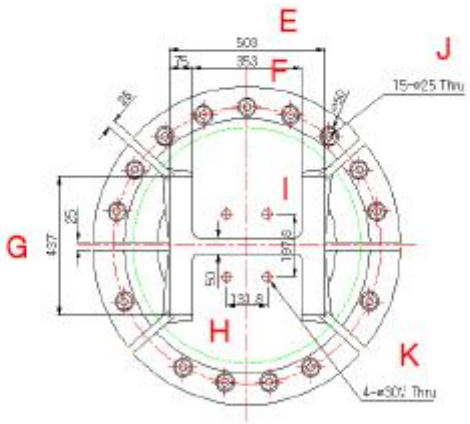
품명	Type-1 (H형강 TYPE) 두께	수량	1 EA

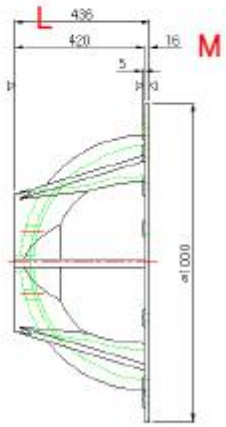




측정위치	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3
도면치수	39.7	44.2	40.7	39.7	44.2	40.7	39.7	44.2	40.7	39.7	44.2	40.7
허용치 / 위치	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5
TYPE-1	41.9	44.8	43	42.2	47.1	43.4	39.9	46.3	42.1	41.7	46.8	41.7
결과	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

품명	Type-1 (H형강 TYPE) 치수	수량	1 EA



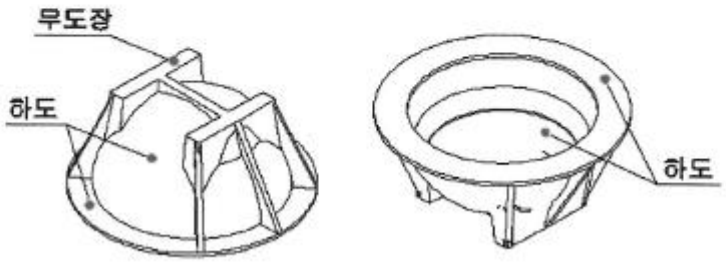


측정위치	E	F	G	H	I	J	K	L	M			
도면치수	503	353	437	131.8	197.8	Φ25	Φ30	436	16			
허용치 / 위치	±9	±9	±9	±1	±1	0~+1	0~+1	±2	±3.5			
TYPE-1	500	350	433	131.5	197.6	Φ25	Φ30.5	436	16			
결과	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			

(2) HAT Joint 성적서

	도장 검사 성적서 **PAINT INSPECTION REPORT**	REPORT NO.	SY-PI-14
		PAGE NO.	1 OF 1
	품 명 ITEM NAME Hat Joint	도면번호 DWG. NO. SYEP-BR-PHC-TYPE-01	
	제조일련 번호 MFG SERIAL NO. N/A	검사일자 DATE OF EXAM. 2015.02.24	
작 성 자 PREPARED BY 최 성 길	검 토 자 REVIEWED BY 강 동 화	승 인 자 APPROVED BY 박 제 만	
적용 규격 SPEC N/A	시 공 사 APPROVED BY	감 리 단 APPROVED BY	

참고 : MEASURE D.F.T (μm)는 전체 면적 중 10 당 5개 이상 SPOT CHECK후 전체 평균값을 산출함 (SSPC-PA-2)



전처리 상태 (CONDITION OF SURFACE PREPARATION)

종료일자 (Finished date)	전처리 등급 (B/L/ Grade)	표면조도 (Profile)	이물질제거상태 (Rust Pravant)	전처리 방법 (B/L Method)	결과 (Result)	비고 (Remark)
2015.02.24.	SSPC-SP10	25 μm ~75 μm	GOOD	SHOT BLAST	ACCEPT	-

도장상태 (CONDITION OF PATING PREPARATION)

구분 (Description)	도장 (Maker)	도료사용 (Coating Material)			작업일자 (Date)	도장조건 (Weather Condition)				
	벽산	제품명 (Applied)	색상 (Color)	PAINT (Lot No)		습구온도 (W/Temp)	건구온도 (D/Temp)	상대습도 (R/H)	이슬점 (D/Point)	강재온도 (S/Temp)
하도 부	1st	E/803	Red	21101696	15.02	32℃	28℃	74%	22℃	29℃
상도 부										

구분 (Description)		건조도막 두께측정 (MEASUREMENT OF DRY FILM THICKNESS) UNIT : μm													
		Spec	Max	Min	Avg	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
하도 부	1st	50 μm	76	55	64	60	61	59	55	56	76	72	59	66	74
상도 부															

도막의 외관상태 (VISUAL CONDITION OF PAINT)

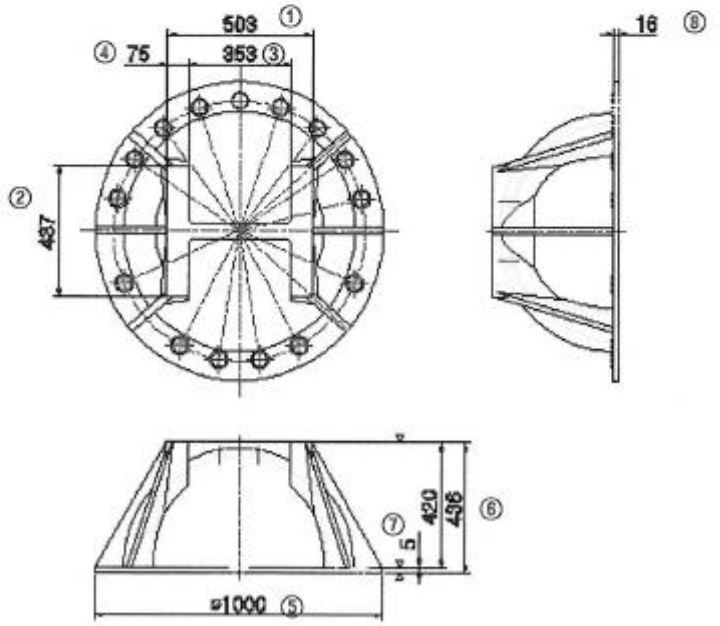
변 색 (Discolor)	박 리 (Peeling)	흐 름 (Sagging)	균 열 (Crack)	도장누락 (Holliday)	기 포 (Bubble)	발 청 (Corrosion)	결 과 (Result)
GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	GOOD	ACCEPT

	Prepared	Reviewed	Approved
	212	02.02	213

고객명 (Customer)				문서번호 (Doc. No.)	SY-PT-150202-01
공사명 (Project)	N/A	품 명 (Item Name)	Hat Joint		
도면번호 (Drawing No.)	TYPE-001	관리번호 (S-No.)	N/A	정반크기 (Pattern Size)	1,500x1,500
목형 제작처 (Pattern Manuf.)	지원테크	제작 년월일 (Manuf. Date)	2015.02.02	페이지 No. (Page No.)	1 / 1

Unit : mm

No.	Drawing Dim. (As cast)	Pattern Dim. (Shrink ratio : 20/1,000)	Allowances		Remarks
1	503	503	F : -	F : -	
2	437	437	F : -	F : -	
3	353	353	F : -	F : -	
4	75	75	F : -	F : -	
5	1,000	1,000	F : -	F : -	
6	436	456	F : 10	F : 10	
7	5	10	F : -	F : 5	
8	16	26	F : 10	F : -	



REPORT OF MAGNETIC PARTICLE EXAMINATION

자 분 탐 상 검 사 보 고 서

Page 1 of 1

- - -	Project Name/No. 공사명/번호: N/A	Report No. 보고서 번호: SY-MT1502-01
Item Name / No. 품명/부품번호: HAT JOINT	Inspection Process 검사 공정: FINAL INSPECTION	Date of Report 보고서 작성일자: 2015.02.23
Material 재 질: KS D 4106 SCW550	Surface Condition 표면상태: As Cast	Procedure 절차서 Rev.개정: KS D 0213
Dwg. No. 도면번호 Rev. No.: N/A	Inspection Temp. 검사온도: 15 ℃	Acc. Standard 판정 규격: KS D 0213
Magnetization 자화방법: ☐ Prod 프로드 ☑ Yoke 요오크 ☐ _____ / Direction 자화방향: ☐ Circular 원형 ☑ Long 선형 ☐ Both 혼합형	Equipment 장비 Brand 상품명: 경도양행 Model No.모델: MP-A2 Out Put 출력: N/A ID No. 관리번호: ME-22002 Due Date 유효기간: 02.26.2016	Applying Current 통전법: ☑ Cont 연속 ☐ Residual 잔류 Magnetization Current 자화전류: ☑ AC 교류 ☐ DC 직류 ☐ HWDC Amps./inch
Particle Brand/Color/Density 자분명/색상/농도: KYUNG DO 7C-BLACK	Black Light/Intensity 자외선등/강도 Maker 제조처: N/A Model(No.)모델(번호): N/A Due Date 유효기간: N/A N/A μW/㎠	Lifting Power 견인력: MIN 5 ☐ lbs ☑ kgs Magnetization spacing 자화간격: 4~6 ☑ inch ☐ cm Light Illumination 조도: N/A lux 룩스
Particle Type 자분종류: ☑ Wet 습식 ☐ Fluorescent 형광 ☐ Dry 건식 ☑ Non Fluorescent 비형광		
Standard Test Block 표준시험편: Field Indicator(Pie)	MPP No.: N/A / Oper. No.: N/A	Demagnetization 탈자: ☐ Yes 필요 ☑ No 불필요

Ident No. 확인번호	Acc. 합	Rej. 불	Interpretation 판 정	Remarks 비 고
HAT JOINT (01)	V		No recordable indication	1EA
			B L A N K	

* MT CHECK POSITION : All Surface
* VISUAL INSPECTION : Accepted

Examined by 시 험 S. G. CHOI 2015.02.23 Date	☐ 제3자 검사원 3rd Party Inspector ☐ AI/ANI공인 검사원 ☐ Witnessed by ☐ Reviewed by
Approved by 승 인 J. M. PARK 2015. 02.24 Date	발주처감독원 Customer ☐ Witnessed by ☐ Reviewed by

QMP-NO2 EX-1 Rev.4

REPORT OF HEAT TREATMENT
열처리 보고서

Customer 주 문 주		Report No. 보고서 번호	SY-HT-1502-001
Work Name 공 사 명	N/A	Issued Date 검사일자	NOR : 2015. 02. 10

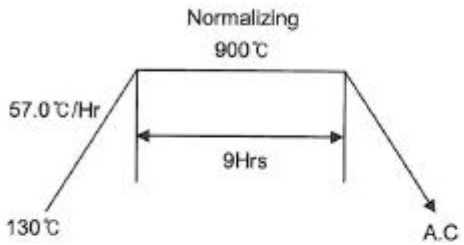
FURNACE TYPE : AUTOMATIC TEM. CONTROL & CONTINUOUS CHARGING CAR SYSTEM

KIND OF HEAT TREATMENT : ☐ ANNEALING ■ NORMALIZING ☐ TEMPERING
☐ STRESS RELIEVING ☐ QUENCHING / TEMPERING

품 명 Part Name	도면번호 Dwg No	재질 Material	용해번호 Charge No.	식별명 ID No.	수량 Q'ty
HAT JOINT	TYPE-001	KS D 4106 SCW550	01	01	1EA
		B L A N K			

조 건 Condition	요구사항 Requirement	실제값 Actual
장입온도 Loading Temp.	Max 300℃	**130℃**
가열온도 Heating Rate	Max 150℃/Hrs	**57.0℃/Hrs**
유지온도 Holding Temp.	880~940℃	**900℃**
유지시간 Holding Time	1Hr/ Inch	**9Hrs**
냉각온도 Cooling Rate	A.C	**A.C**

HEAT TREATMENT CYCLE CURVE



Remarks (비고) A.C : Air Cooling

☐ Witnessed by
☐ Reviewed by

Examined by
시 험 최 성 길

Approved by
승 인 박 제 [illegible]

YOU SUNG CORP.
CHART NO. FR-03025
25MM/H
°C

CHART NO. EH-09038
25MM/H
1200°C
100
200
300
400
500
600
700
800
1000
1100
1200

물 리 시 험 성 적 서

MECHANICAL TEST REPORT

공 사 명 Project Name: N/A			성적서 번호 Report No.: SY-MTR-1502-001
공 사 번 호 S/O No.: N/A	■Tensile Test		의 뢰 부 서 Asked by: N/A
품 명 Item Name: HAT JOINT (PILOT TEST 용)	■Impact Test □Hardness Test	■Charpy V notch □Charpy U notch	접 수 번 호 Reception No.: N/A
재 질 사 양 Material Spec.: SCW550	□인축 Test ■모재 □용접부 □열영향부	□Izod	시 험 일 자 Test Date: 2015. 02. 27

인 장 시 험 Tensile Test									경도시험 Hardness Test (HB)	충 격 시 험 Impact Test					
시편번호 Specimen No.	직경 Dia. (mm)	표점거리 G.L (mm)	시험온도 Test Temp. (℃)	항복점 Y.S (N/㎟)	인장강도 T.S (N/㎟)	연신율 E.L (%)	단면수축율 R.A (%)	비고 Remarks		시편 번호 Specimen No.	시험 온도 Test Temp. (℃)	흡수 에너지(Joule) Absorbed Energy 1	2	3	Avg.
Spec.	Ø14	70	R/T	Min. 355	Min. 550	Min. 18	-	-	-	Spec.	0℃	Min. Avg. 27J			
01	Ø14	70	R/T	411	591	26.2	-	-	-	01	0℃	49	56	54	53
				BLANK											

적 용 규 격 Applied Spec.	KS D 4106
사 용 장 비 Used Equip.	만능 재료 시험기(UTM) Serial No. : 008

본 제품은 지정된 자재요구사양에 따라 제조되었고 모든 시험 및 검사 결과가 이에 만족하고 있음을 증명함.
We hereby certify that the contents of this report are correct and accurate and that all test examination and operations performed in compliance with the applicable material requirements.

검 사 자 Tested by	검 토 자 Reviewed by	승 인 자 Approved by	입 회 자 Witnessed by
조 용 원	강 동 화	박 제 민	

SY-F-4108A A4 (210X297mm)

화학분석성적서(A)

CHEMICAL ANALYSIS REPORT

공 사 명 Project Name : N/A	성적서 번호 Report NO : SY-LA1501-001
공 사 번 호 P/O No : N/A	도 면 번 호 DWG.NO. : N/A
품 명 Item Name : HAT JOINT (PILOT TEST 용)	제조 절차서번호 MPP NO : N/A
자 재 사 양 Mat`l Spec : SCW550	분 석 일 자 Analysis Date : 2015. 02. 27

PRODUCT ANALYSIS

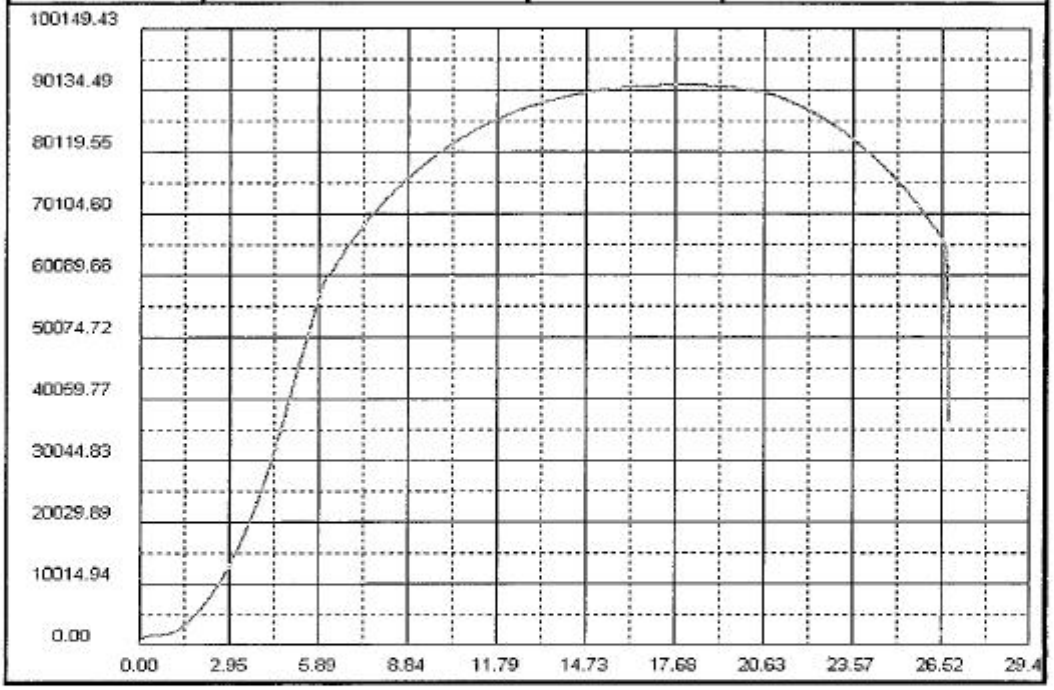
식별명 ID NO.	Composition (%) CH/No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	V	Ceq	Q'ty	비 고
		Max. 0.22	Max. 0.80	Max. 1.50	Max. 0.040	Max. 0.040	Max. 2.50	Max. 0.50	Max. 0.30	Max. 0.20	Max. 0.48	-	-
01	01	0.19	0.55	0.84	0.012	0.004	0.13	0.14	-	-	0.38	1EA	-
						BLANK							

적용 규격 Applied Spec	KS D 4106
	Ceq=C+Mn/6+Si/24+Ni/40+Cr/5+Mo/4+V/14, Tr.=Trace
사용 장비 Used Equip	SPECTROMETER/GNR METAL LAB(75/80J)

분 석 자 Analyzed by	확 인 자 Checked by	승 인 자 Approved by	입 회 자 Witnessed by
조 용 원	강 동 화	박 제 민	

	Tested by	Reviewed by	Certified by

TEST DATE	2015-03-02 8:59	SPEC NAME	SCW550
TESTER	y.w.cho	MAKE DATE	
SPEC	KS D 4106	TEST NUM	-
CUSTOMER	-	HUMIDITY	-
SPEC NATU	-	TEMP	-



시험번호	단면적 Area mm²	인장강도 T.Stren [N/mm²]	최대하중 Max.Load N	항복강도 Y.Stren [N/mm²]	항복하중 Y.Load N	최대변위 Max.Disp mm	연 신 율 Elongat %
	153.94	591.44	91044.94	411.37	63326.15	26.79	26.2
		550↑		355↑			18↑
	153.94	591.44	91044.94	411.37	63326.15	26.79	26.2

COMPANY LTD (031-316-1116) IS-Q-00-00

* Impact Test 0°C 49J, 56J, 54J

Date: 15/02/27 14:11:31				Program: Fe Orientation				
Sample: SCW550				Operator: J.Y.HEO				
Ref. Alloy:				Analysis Mode: Standardized concentration				

	Fe %	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cu %	Ni %
1	97.919	0.194	0.543	0.837	0.012	0.003	0.015	0.135
2	97.889	0.198	0.559	0.850	0.012	0.006	0.016	0.135
Avg.	97.904	0.196	0.551	0.844	0.012	0.004	0.016	0.135
A.S.D.		0.22↓	0.80↓	1.50↓	0.040↓	0.040↓		2.50↓
R.S.D.								

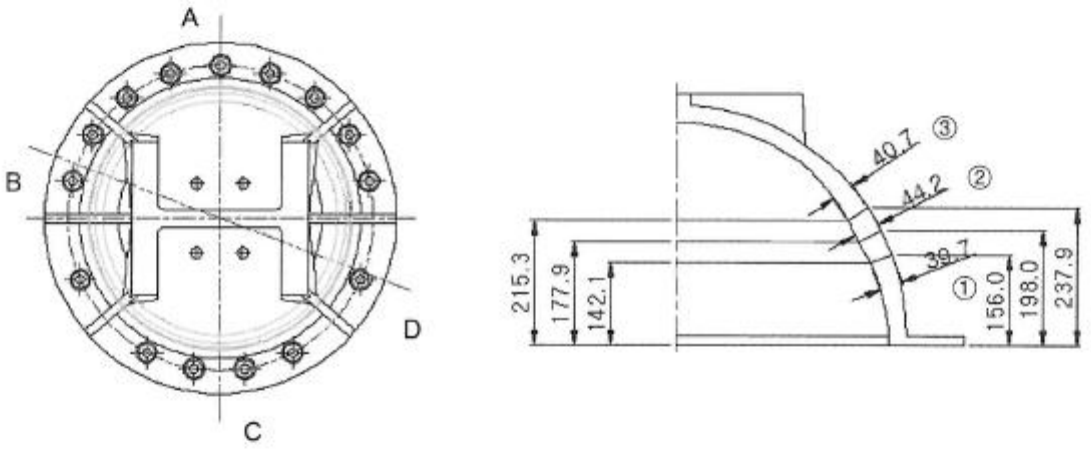
	Cr %	Mo %	V %	Al %	Nb %	N %	Ti %	W %
1	0.138	0.000	0.000	0.078	<0.001	0.081	0.005	0.038
2	0.141	0.000	0.000	0.078	<0.001	0.077	0.005	0.035
Avg.	0.139	0.000	0.000	0.078	<0.001	0.079	0.005	0.037
A.S.D.	0.50↓	0.30↓	0.20↓					
R.S.D.								

	치수 검사 결과 RESULT OF DIMENSIONAL CHECK(A)	REPORT NO.	SY-DI-1502-01
		PAGE NO.	1 OF 2

	품 명 ITEM NAME Hat Joint	도면번호 DWG. NO. TYPE-001
공 사 명 PROJECT NAME N/A	제조일련 번호 MFG SERIAL NO. N/A	검사일자 DATE OF EXAM. 2015.02.23
재 질 MATERIAL KS D 4106 SCW550	수 량 Q'TY 1EA	검사시기 EXAM. STAGE FINAL MACHINED
유 첨 ATTACHMENT ☐ YES (유) ■ NO (무)	절차서 번호 PROCEDURE NO. N/A	공정번호 OPER. NO. N/A
작 성 자 PREPARED BY 최 성 길	검 토 자 REVIEWED BY 강 동 화	승 인 자 APPROVED BY 박 제 민
검사결과 RESULT ■ ACCEPTED ☐ NOT ACCEPTED	시 공 사 APPROVED BY	감 리 단 APPROVED BY

SKETCH

* UNIT : mm



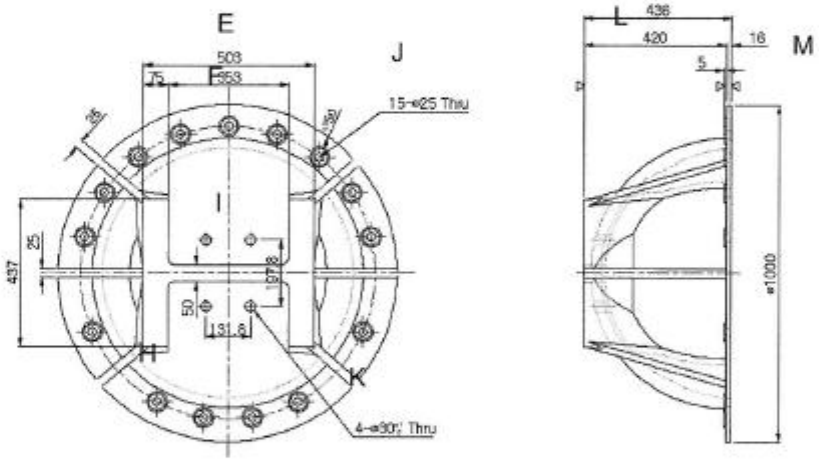
측정위치	A-1	A-2	A-3	B-1	B-2	B-3	C-1	C-2	C-3	D-1	D-2	D-3
도면치수	39.7	44.2	40.7	39.7	44.2	40.7	39.7	44.2	40.7	39.7	44.2	40.7
허용값 / 위치	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5	±5
TYPE-1	41.9	44.8	43	42.2	47.1	43.4	39.9	46.3	42.1	41.7	46.8	41.7
결과	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

	치수 검사 결과 **RESULT OF DIMENSIONAL CHECK(A)**	REPORT NO.	SY-DI-1502-01
		PAGE NO.	2 OF 2

	품 명 ITEM NAME Hat Joint	도면번호 DWG. NO. TYPE-001
공 사 명 PROJECT NAME N/A	제조일련 번호 MFG SERIAL NO. N/A	검사일자 DATE OF EXAM. 2015.02.23
재 질 MATERIAL KS D 4106 SCW550	수 량 Q'TY 1EA	검사시기 EXAM. STAGE FINAL MACHINED
유 첨 ATTACHMENT ☐ YES (유) ■ NO (무)	절차서 번호 PROCEDURE NO. N/A	공정번호 OPER. NO. N/A
작 성 자 PREPARED BY 최 성 길	검 토 자 REVIEWED BY 강 동 화	승 인 자 APPROVED BY 박 재 [illegible]
검사결과 RESULT ■ ACCEPTED ☐ NOT ACCEPTED	시 공 사 APPROVED BY	감 리 단 APPROVED BY

SKETCH

* UNIT : mm



측정위치	E	F	G	H	I	J	K	L	M			
도면치수	503	353	437	131.8	197.8	Φ25	Φ30	436	16			
허용값 / 위치	±9	±9	±9	±1	±1	0~+1	0~+1	±2	±3.5			
TYPE-1	500	350	433	131.5	197.6	Φ25	Φ30.5	436	16			
결과	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK			

자. 시제품 제작



HAT Joint 시제품(3)



HAT Joint-PHC파일-철골기둥 결합품(1)



파일길이조정 선단캡 시제품(1)

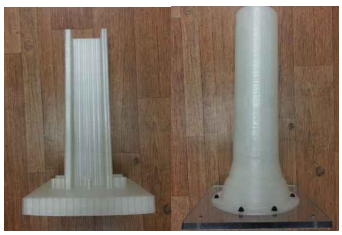


Pilot Project 시제품(1)



볼트 인발 실험체(19)





진동실험용 축소모형(5)

2. 해외과학기술정보

-

3. 중요 연구 변경사항

없음