

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 1>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)>)



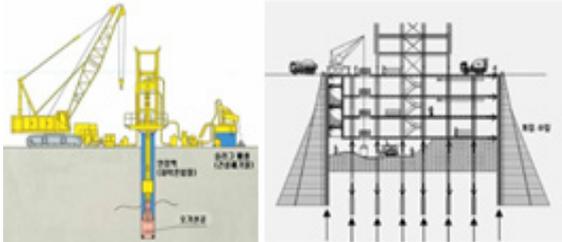
<그림 1> 강재 활용한 대공간 구조물

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 품질 관리의 어려움, 그리고 별도의 양생기간을 필요로 하여 공사기간이 길어지는 단점을 갖고 있다.

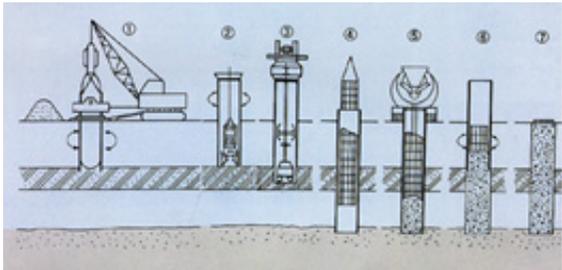
* 고려대학교 건축사회환경공학부 석사과정
** 고려대학교 건축사회환경공학부 박사과정
*** (주)영구조엔지니어링 대표
**** 롯데건설(주) 기술연구원 팀장
***** 고려대학교 건축사회환경공학부 교수



(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) Pile 과 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 기초로서 활용할 수 있는 방법을 검토하였다.

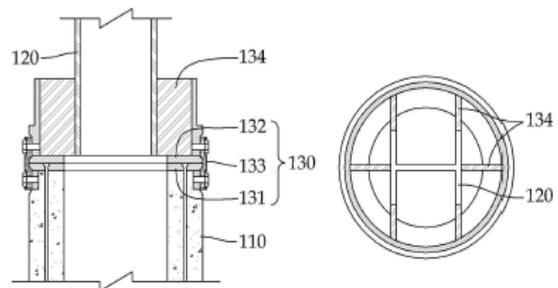
공동연구기관인 (주)삼표이앤씨에서 2009년 700~1,200mm 대구경 PHC 파일 생산 기술을 구축하였고, 특히 포스코 건설과 공동으로 세계 최고 강도인 130MPa PHC 파일을 개발하는 등 국내 PHC 파일 생산기술은 세계 최고 수준이다.

2. 주강 접합부(HAT Joint) 개요

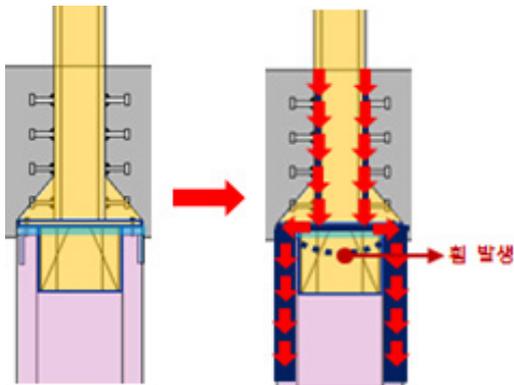
PHC 파일을 대공간 구조물에 활용하기 위해서는 PHC 파일과 기둥 간의 접합부에 대한 검토가 충분히 이루어져야 한다. 이러한 접합부에 대한 연구는 ‘복합파일을 이용한 지하골조구조물 시공방법(출원번호 : 10-2010-0066954)’, ‘기계식 이음 복합말뚝의 자동 분석 방법 및 이에 의해 제작된 기계식 이음 복합말뚝(출원번호 10-2010-0068233)’ 등이 있다.

〈그림 3〉은 기존에 사용되던 PHC 파일과 강재 기둥을 연결하는 접합부의 상세에 관한 것을 나타내었다. 그러나 이러한 접합부는 PHC 파일 중공부에서 발생하는 힘을 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 중공부에서 발생하는 힘을 효과적으로 제어할 수 있는 형태를 개발해야 한다.

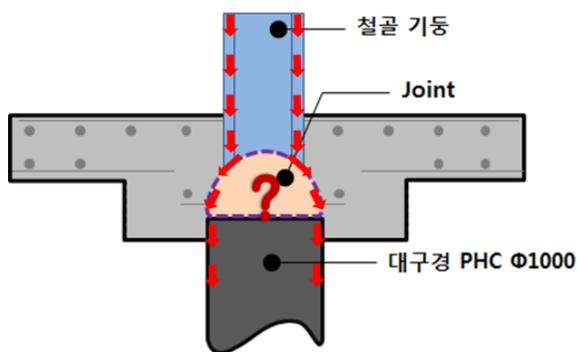


〈그림 3〉 기존 PHC 파일과 강재 기둥 접합 상세



〈그림 4〉 PHC 파이프 중공부에서 발생하는 힘 응력

본 연구에서는 이러한 PHC 파이프 중공부에서의 힘을 제어하기 위해 반구형의 접합부를 개발하였다. 〈그림 5〉에 나타낸 것과 같이 PHC 파이프와 강재 기둥을 연결하는 부분을 반구형으로 활용함으로써 기존의 축력→힘→축력으로 전달되는 기둥에서 말뚝까지의 하중 전달 메커니즘을 축력→축력→축력으로 전환시켜 하중 전달 과정에서의 손실을 최소화하고 경제적인 물량의 사용을 가능하게 하였다. 또한 PHC 파이프 설치, 접합부 설치, 기둥 설치로 이어지는 간편한 시공이 가능하게 되었고 PHC 파이프 설치 이후 기초 타설 없이 기둥을 설치할 수 있어 상부의 골조공사를 지하 공사와 동시에 진행할 수 있게 됨으로 공기 단축에 있어서도 탁월할 것으로 판단된다.

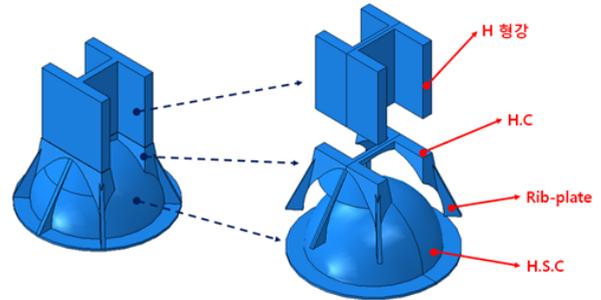


〈그림 5〉 PHC 파이프 강재기둥 접합부 제안

3. HAT Joint 소개

HAT Joint는 상부 기둥 형상에 따라 H, T, P, K 총 4가지 Type으로 개발되었다. 4가지 Type 중 가장

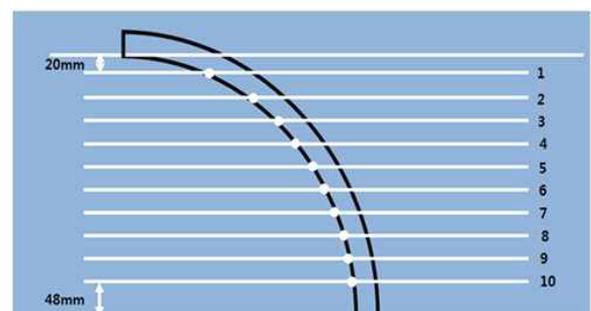
먼저 개발된 H형 Type을 예로 HAT Joint를 소개하도록 하겠다.



〈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 힘으로 인한 처짐을 막기 위해 과도한 두께를 가지는 것을 방지하기 위해 반구형으로 고안되었다. 상부의 하중을 축력만으로 PHC 파이프에 전달하는 역할을 하며 또한 PHC 파이프와 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〉).



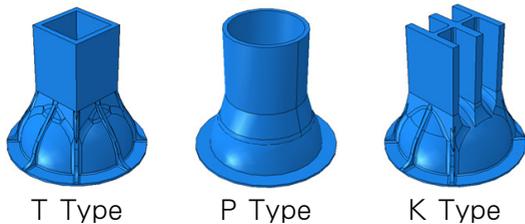
〈그림 7〉 내부보강 Ring 위치

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.



T Type P Type K Type

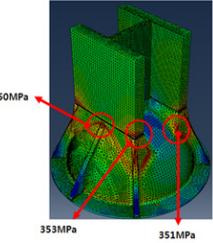
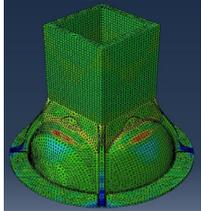
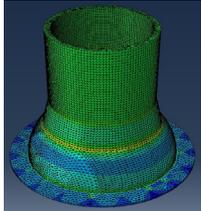
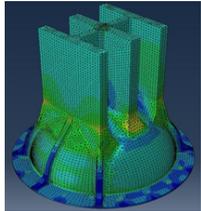
<그림 8> HAT Joint T,P,K Type 형상

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 1,500ton을 만족하는 Type별 최적 Prototype을 변수비교를 통해 도출하였다.

변수로는 H.S.C 두께, 내부 Ring 보강 위치, Rib 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 PHC 파일을 볼트로 결합한다.
- 5) HAT Joint와 PHC 파일캡을 볼트로 결합한다.



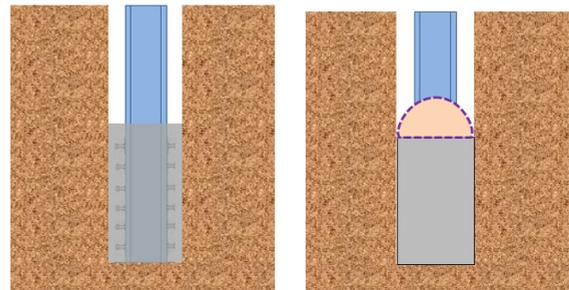
<그림 11> 시공 프로세스

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 홀 천공→파일 콘크리트 타설→철골기둥 근입→양생으로 이어지는 습식 공법이다. 이를 HAT Joint를 이용하게 되면 파

일 홀 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.



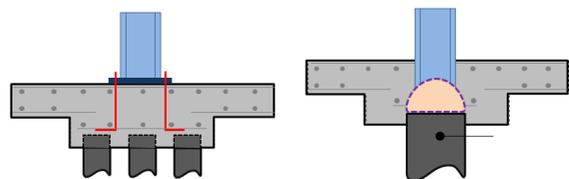
기존 공법

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>).



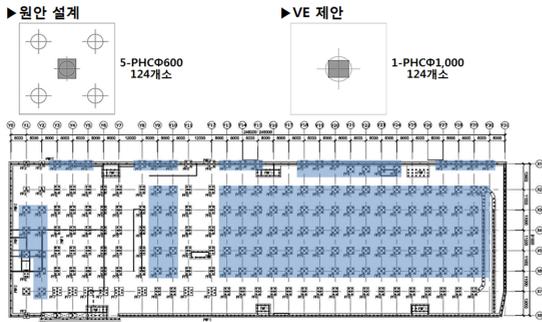
기존 공법

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 공사로 이어지던 공정에서 ‘파일 설치→HAT Joint 및 기둥 설치→상부층 공사 진행→기초 타설로 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>와 같은 복합소핑몰에 보다 상세한 경제적 검토를 수행하였다(<표 1>, <표 2>).



<그림 14> 복합소핑몰 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. 결론

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 PHC 파일용으로 개발되었으며, 해당 PHC 파일을 기초로 사용하는 다양한 현장에 시공편리, 공기단축, 경제성 등의 우수한 효과를 나타낼 것을 기대한다.

References

1. 천영수, 박종배, 심영중, 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