

Top Down 공사에서의 CFT 선기초기둥 활용방안

Use of Concrete Filled Tube as a Pre-founded Column for Top Down Construction

강 승 룡*

Kang, Seung-Ryong

임 흥 철**

Rhim, Hong-Chul

김 승 원***

Kim, Seung-Weon

김 동 건****

Kim, Dong-Gun

송 지 윤*****

Song, Jee-Yun

정 미 라*****

Jeong, Mee-Ra

이 해 출*****

Lee, Hai-Chool

Abstract

Construction of buildings downtown is increasing as much as ever with a strong demand. A Top-Down Method is suitable for its advantage in minimizing its disturbance to the neighborhood. In general, the Pre-founded Column, one of the most important aspects of the Top-Down Method, has been made with an H-Shape Steel Column. However, due to its structural and economical benefits, the usage of CFT(Concrete Filled Tube) columns in the place of Pre-founded Columns is increasing. To promote their applications, we analyze the merits of CFT columns by comparing them with I-Shape columns and propose further research.

키 워 드 : 탑-다운 공법, 선기초기둥, CFT 기둥, 피어기초, 지하공사

Keyword : Top-Down Method, Pre-founded Column, Concrete Filled Steel Tube, Pier, Underground Construction

1. 연구의 배경 및 목적

최근 도심지 건축물의 지하공간의 대형화 및 대심도화로 인하여 지하토공사의 안정성, 적극적인 민원예방, 초기작업장 확보 및 공기단축 등에 효과적인 탑-다운 (Top-Down) 공법을 지하공사에 적용하는 경우가 증가하고 있다 (전봉수 외 5인, 2001);(이정배 외 5인, 2006). 탑-다운 공법에 의한 지하공사는 굴토하기 전에 우선 지중에 흠막이벽 (김재엽 외 5인, 2007)과 선기초기둥 (임흥철, 황희선, 2006)을 설치한 후, 상기 기둥과 흠막이벽에 단계별로 지하 바닥구조를 시공하고 그 하부를 굴토하는 방법을 반복하여 최하부층까지 지하구조를 구축하게 된다. 탑-다운공사용 기둥에는 일반적으로 H형강을 주로 사용하고 있으며, 바닥구조와 철골기둥과의 전단 접합은 공장용접에 의해 철골기둥에 부착한 전단 스티드 또는 각 층마다 굴토한 후 현장용접에 의하여 철골기둥에 연결한 바닥구조의 철근을 이용한다.

이러한 H형강 기둥을 사용한 탑-다운 공법에서는, 피어 지지력에서 요구되는 크기의 천공구에서는 여유공간이 적어서 피어철근망과 전단 스티드의 돌출로 트레미파이프를 설치할 공간이 부족하고 피어콘크리트 타설이 곤란하여 피어의 구조 성능에 대한 신뢰성도 문제가 되며 H형강 기둥의 수직도 조절 (임흥철 외 2인, 2006)에 한계가 있다. 이러한 시공상의 문제들을 해결하기 위하여 피어 지지력에서 요구되는 직경크기보다 큰 직경크기로 천공하여 H형강 기둥을 설치하게 되는데 이와 같이 큰 천공구를 사용하면 시공성은 다소 향상되나 공사비와 공기가 증가되는 단점이 있다.

이러한 문제점 때문에 최근에는 기둥 부재로서 원형의 강관 내에 콘크리트를 타설하여 형성되는 CFT 기둥을 이용하는 것이 주목을 받고 있다. 또한, CFT 기둥은 콘크리트와 강관의 합성작용이 발휘함에 따라 단면크기에 비해 큰 시공하중을 부담할 수 있어, 강재량을 절감할 수 있고, 기둥 크기 축소에 따른 공간활용도 증대 등을 기대할 수 있다. 특히, CFT 기둥은 강관이 내부의 콘크리트를 구속하고 있기 때문에 압축내력과 연성능력이 크고, 또한 내화, 시공 등의 측면에서 우수한 특성을 발휘하는 구조요소이다.

본 논문에서는 탑-다운 공법에서 주로 사용되고 있는 H형강 선기초기둥과 CFT 선기초기둥을 이용하는 공법을 비교 분석하여 CFT 선기초기둥을 활용하는 방안을 제시하려고 한다.

* 뉴테크 구조기술사사무소 사원, 정회원
** 연세대학교 건축공학과 교수, 정회원
*** 뉴테크 구조기술사사무소 대표, 정회원
**** 뉴테크 구조기술사사무소 과장, 정회원
***** 연세대학교 건축공학과 첨단구조연구실 석사과정, 정회원
***** 연세대학교 건축공학과 첨단구조연구실 박사과정, 정회원

2. 선기초기둥의 정의 및 시공방법

지하공법으로 탑-다운 공법을 사용할 시 상부에 구축되어 가는 구조물의 자중, 작업하중, 마감하중 등을 지지하기 위하여 지하구조물의 시공에 앞서 피어기초와 함께 시공되는 기둥을 선기초기둥이라 한다. 탑-다운 공사에서는 대지경계를 따라 슬러리월 등의 흠막이벽을 설치한 후에는 선기초기둥의 설치 위치가 필수적인데, 먼저 선기초기둥이 설치될 위치의 지반 정지 작업 후 기둥 좌표를 표시하고, 천공과정에서의 정확한 연직도를 확보하기 위하여 천공될 위치에 아웃케이싱을 설치하고 주변에 천공장비의 굴토 방향을 고정시켜주는 역할을 하는 콘크리트를 타설한다. 콘크리트가 양생된 이후에는 아웃케이싱을 제거하고 단단한 지반까지 인케이싱을 설치하면서 천공을 진행한 후, 천공구가 붕괴될 우려가 없는 지반부터는 인케이싱의 설치 없이 천공을 진행하게 된다. 천공이 완료된 후에는 바닥의 슬라임을 제거하고 소요깊이에 맞게 제작된 선기초기둥을 피어철근망과 함께 근입시키고, 기둥의 수직도를 조정한 후, 피어기초 콘크리트를 타설하게 된다. 이후, 기둥의 공내 좌굴과 공벽 붕괴를 방지하기 위하여 쇄석 등의 채움재로 천공구를 채우고 케이싱을 인발함으로써 하나의 선기초기둥 공사가 마무리 된다. 이렇게 형성된 선기초기둥은 시공과정에서 지하굴토를 진행해가면서 반복적인작업에 의하여 바닥콘크리트와 함께 각 층의 지하구조물로 형성되어진다.

사진 1은 현장에 사용된 H형강 선기초기둥의 모습이다.



사진 1. RCD 천공 후 매립된 H형강의 모습

3. 선기초 기둥 부재

선기초기둥의 부재로써 기존에는 H형강 기둥이 보편적으로 사용되고 있는데 근래에는 시공적, 구조적, 경제적으로 H형강

기둥 보다 유리한 원형 CFT (Concrete Filled Tube) 기둥의 사용이 주목받고 있다.

3.1 H형강 선기초기둥

탑-다운 공법에서 주로 사용되는 H형강 선기초기둥은, 요구되는 압축력 지지에 적합한 피어(pier)의 천공직경크기 내에서는 H형강 기둥 주변의 여유 공간이 부족하기 때문에 H형강 기둥의 수직도 조절이 어렵고, 피어철근망, 전단스터드 및 콘크리트 타설을 위한 트레미파이프를 설치할 공간조차도 충분하지 않아 피어콘크리트 타설이 곤란하다. 특히 H형강 기둥의 형상으로 인하여 콘크리트를 채울 수 있는 공간이 4개로 분할되어 각각의 공간에 콘크리트가 밀실하게 채워지는 것이 어렵게 된다. 그 결과 콘크리트 타설의 신뢰도가 낮아 피어 지지성능에 문제점이 있는 것으로 지적되고 있다. 일반적으로 이러한 시공상의 문제들을 해결하기 위하여 피어 지지력에서 요구되는 직경크기보다 큰 직경크기로 천공하여 H형강 기둥을 설치하게 되는데 이와 같이 천공크기를 키우는 방법은 공사비와 공기를 증가시키게 되는 단점을 가지고 있다.

사진 2는 선기초기둥 매립 후, 추후에 굴토했을 때 H형강 선기초기둥이 드러난 모습이다.



사진 2. H형강 선기초기둥이 굴토 후 드러난 모습

3.2 선기초 기둥으로써의 CFT 기둥

Top-Down공사에 H형강 기둥사용이 불리한 원인은 천공 모양은 원형인데 압축성능효율이 낮은 대각선 치수가 있는 H형강을 삽입하므로 기둥주변에 공내공간의 여유가 없어서 파생된 문제였다. 따라서, 모든 방향으로 기둥 주변의 공내 공간

이 균등하게 여유공간을 갖으려면 기둥부재단면은 원형이어야 한다. 또한, H형강의 단면은 각 축에 대한 단면2차모멘트 값이 달라서 강축과 약축이 존재한다. 압축력을 받는 기둥부재에 있어서 이러한 약축이 있는 단면형태는 구조적으로 불리하며 재료를 효율적으로 사용하지 못하게 된다. 이에 비해 원형 CFT의 단면은 약축이 존재하지 않아 세장비가 작고, 모든 방향에 대해 같은 강성을 가진다. 재료의 배치에 있어서도, 기존 H형강 선기초기둥의 경우 강도가 높은 강재를 양쪽 플랜지와 내부 웹에 배치한 것에 비해 CFT 단면의 경우 최외곽에 고르게 강재를 배치시키고 콘크리트를 내부에 충전한 형태이다. 내부에 충전되는 콘크리트는 그 자체로 강도를 증가시키며, 동시에 강관의 구속에 의해 삼축 압축응력 상태가 되어 더욱 큰 강도 증가의 효과를 나타낸다.

이러한 이점으로 인해 원형 CFT를 이용할 경우에는 압축지능력이 탁월하여 강관의 직경크기와 단면적이 작아서 경제적이고 강관 내부 공간을 이용하여 피어콘크리트 타설용 트레미관을 삽입할 수 있어 콘크리트 타설이 용이하고, 강관내부에 철근과 콘크리트로 채워 충전강관으로 만들 수가 있어 효율적으로 큰 압축력을 지지할 수 있다.

사진 3은 원형 CFT 선기초기둥 매립 후, 추후에 굴토했을 때 드러난 모습이다.



사진 3. 원형 CFT 선기초기둥이 굴토 후 드러난 모습

4. H형강 기둥과 CFT 기둥의 비교 분석

실제로 현장에 적용하기 위하여 H형강기둥과 CFT 기둥을 비교분석한 자료이다. H형강 기둥과 CFT 기둥의 비교를 위하여 유효길이 6m (2개층 굴토조건)에서 약 5,500 kN의 허용압축력을 지지할 수 있는 조건으로 H형강은 $H-428 \times 407 \times 20 \times 17$

(SM 490)의 단면을, CFT 기둥은 $\phi 457.2 \times 12$ (SM 490)강관과 압축강도 28 MPa의 콘크리트, 그리고 8개의 D25 (SD 400)철근으로 구성된 단면을 선정하였다.

4.1 H형강 기둥과 CFT기둥의 시공성 비교

피어기초의 소요내력을 만족한다는 가정 하에 직경 0.8 m PRD 천공구내에 각각의 기둥을 설치할 경우, H형강의 경우 천공 구 내부의 유효 공간은 플랜지에서 105 mm (X방향으로 72 mm, Y방향으로 76 mm)로써 지하 30 m 굴착 시 허용 천공 수직도 오차 100 mm (시공관리 수준을 $h/300$ 로 가정시)을 감안하면 최악의 경우 기둥의 수직도 오차는 5 mm 이내의 정밀한 시공이 이루어져야 한다. 반면, 원형 CFT 기둥의 경우 유효공간은 모든 방향에서 동일하게 171 mm로써 H형강에 비해 천공구내 기둥의 근입 후 수직도 조정이 상대적으로 수월하고, H형강 기둥의 경우 기둥 근입 시 축방향에 대한 고려도 필요한데 반해 원형 CFT 기둥의 경우 축방향에 대한 고려가 필요하지 않으므로 기둥의 근입 시공이 보다 용이하다.

또한, 탑-다운 공사시 피어기초는 지반 천공 후 피어철근망과 기둥을 삽입하고 천공구내 공간에 삽입된 트레미관을 통하여 콘크리트를 타설하게 되는데 원형인 천공구에 비해 H형강은 큰 대각선 치수가 있는 부재로써 천공구내 기둥주변 공간의 여유가 없어 작은 직경의 트레미관 사용이 불가피할 뿐만 아니라 H형강의 단면형태로 인하여 공간이 나뉘게 되어 밀실한 콘크리트 타설을 기대하기 어렵다. 하지만, 원형 CFT의 경우 기둥 강관 내부 공간을 이용하면 큰 직경의 트레미관 삽입과 피어콘크리트 타설이 용이하다.

사진 4는 원형 CFT 강관 내부에 콘크리트를 타설하는 모습이다.



사진 4. 원형 CFT 콘크리트 타설 모습

한편, 피어철근망의 설치에 있어서도 H형강 기둥의 경우 원형의 피어철근망을 설치하기가 곤란하여 H형강을 피어선단까

지 연장하고 철근망을 기둥에 고정시키기 위한 별도의 장치가 필요한 반면에, 원형 CFT의 경우 피어철근망과 동일한 단면 형태를 이용하면 CFT 기둥에 피어철근망과의 결속을 위한 커플러를 미리 설치하는 등의 방법을 통하여 손쉽게 피어철근망을 설치할 수 있는 장점이 있다.

이와 같이 $H-428 \times 407 \times 20 \times 17$ 의 H형강 선기초기둥을 사용할 경우에는 상기한 이유들로 인해 보다 큰 천공직경을 필요로 하여 RCD에 의한 천공으로의 전환이 불가피하고, 선기초기둥의 시공에 있어서 원형 CFT 기둥에 비하여 많은 노력이 요구된다.

4.2 H형강 기둥과 CFT기둥의 경제성 비교

H형강 기둥의 단면적은 360.7 cm^2 , 원형 CFT 기둥의 강재 단면적은 167.8 cm^2 으로 소요되는 강재량은 CFT 기둥 내부 철근 ($8-D25 : 40.5 \text{ cm}^2$)을 고려하더라도 H형강의 약 58% 정도이다. 더불어, CFT 기둥 내부에 사용되는 콘크리트는 H형강 기둥의 사용 시 탑-다운 공사의 진행과정에서 합성기둥을 형성하는데 사용하는 콘크리트를 미리 사용한 것으로 CFT 기둥의 사용에 따른 추가적인 재료의 부담이라 할 수 없다. 따라서 탑-다운 공사용 CFT 기둥의 공사비는 H형강의 약 60% 정도이다. 또한, H형강 기둥의 경우 보다 큰 압축력을 지지하기 위해서는 강재 단면 크기의 증가가 불가피 하지만, CFT 기둥의 경우 단면 크기의 변경 없이 내부 콘크리트 강도와 내부 철근 량의 조정을 통하여 동일 단면크기에서 보다 큰 압축력의 지지가 가능하다.

한편, 두 기둥의 유효좌굴 길이에 따른 허용압축력은 유효좌굴길이가 매우 짧을 경우에는 H형강 기둥의 허용압축력이 더 크지만 유효좌굴 길이가 길어질수록 허용압축력의 감소폭이 큰 반면에 원형 CFT 기둥은 상대적으로 좌굴길이에 따른 허용압축력의 감소폭이 상대적으로 적다. 탑-다운 공사의 진행 시 현장 조건에 따라 굴토 깊이가 가변적임을 고려할 때 유효좌굴길이가 길어져도 상대적으로 허용압축력의 감소폭이 적은 CFT 기둥이 H형강 기둥보다 안정적이고, 각 기둥의 효율성을 비교하기 위하여 H형강과 원형 CFT 기둥의 공사비대비 성능을 원형 CFT를 기준으로 비교했을 때 H형강의 공사비대비 구조성능은 원형 CFT 기둥의 약 2/3 수준임을 알 수 있다. 이처럼, 선기초기둥으로의 원형 CFT 기둥의 사용은 H형강에 비해 동일한 구조적인 성능을 구현함에 있어서 보다 경제적인 방법이다.

5. 결 론

본 연구에서는 탑-다운 공사용 선기초기둥에 주로 사용되고 있는 H형강 기둥과 앞에 제안된 원형 CFT 기둥을 비교분

석하여, 지하 선기초기둥으로 원형 CFT 기둥의 적용성을 살펴보았다. 그 결과 지하 선기초기둥으로 원형 CFT 기둥은 H형강 기둥보다 작은 천공구에서의 시공성이 향상되어 RCD에 의한 직경 1.5m 천공구 대신 PRD에 의한 직경 0.8m 천공구의 사용이 가능하다. 또, 한 현장의 예로 보면 대구경 RCD대신 소구경 PRD로 천공할 경우에는 천공시간이 약 1/6로 단축된다. 마지막으로, 동일 성능의 H형강 기둥에 비해 원형 CFT 기둥에 소요되는 공사비는 약 65%로써 경제적이다. 하지만, 이러한 원형 CFT 기둥의 장점에도 불구하고 바닥슬래브와의 접합부 구성은 H형강 기둥에서처럼 전단보강물의 용접이 불가피한데 전단보강물의 돌출은 선기초기둥 시공성을 떨어뜨리는 요인이 된다. 이에, 탑-다운 공사용 원형 CFT 기둥의 효율성을 보다 높이기 위하여 선기초기둥 시공시 바닥 접합부에 돌출부가 없고, 굴토 후 현장용접을 하지 않는 접합방법에 대한 개발이 필요하다.

감사의 글

본 논문은 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 시행한 2006년도 건설핵심기술 연구사업 「공기단축형 복합구조시스템 건설기술」(과제번호: 05 R&D 건설핵심 D02-01) 연구사업으로부터 일부 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김재엽, 김광희, 서덕석, 안성훈, 최희복, 박현일, Hybrid-PC 지하 구조체를 이용한 흙막이 공법의 현장 적용에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), 제23권 8호, .pp.175~182, 2007
2. 김재엽, 서장우, 강경인, 신경망을 이용한 흙막이 지보공방법 선정모델 개발에 관한 연구, 대한건축학회 논문집(구조계), 제19권 5호, pp.121~128, 2003
3. 이정배, 임인식, 천성철, 오보환, 하인호, 임홍철, CWS공법 (buried wale Continuous Wall System)의 개발에 관한 연구, 한국건축시공학회 논문집, 제6권 2호, pp.81~89, 2006
4. 임홍철, 신천균, 김승원, Top Down 공사의 선기둥 수직도 계측, 한국건축시공학회 논문집, 제6권 4호, pp.77~84, 2006
5. 임홍철, 황희선, 굴착순서에 따른 Top Down 선기둥 지지력 산정, 한국건축시공학회 논문집, 제6권 4호, pp.52~59, 2006
6. 전봉수, 김승원, 김상범, 김세익, 김택태, 손주혁, Top-Down 공법의 연구, 포스코개발주식회사, 2001