

Top-Down 공사용 선기초기둥의 특성

Specificity of Prefounded Column for Top-Down Construction

강 승 룡* Kang, Seung-Ryong	임 흥 철** Rhim, Hong-Chul	김 승 원*** Kim, Seung-Weon	박 대 영**** Park, Dae Young
김 동 건***** Kim, Dong-Gun	송 지 윤***** Song, Jee-Yun	정 미 라***** Jeong, Mee-Ra	

Abstract

For deep basement construction of buildings downtown, the usage of Top-Down Method is increasing as much as ever from strong demand. One of the essential elements for the construction by Top Down Method is the pre-founded columns, which are installed in the ground and on which a building is installed. The fact that the pre-founded columns are placed in the ground makes them susceptible to its plumbness; this aspect distinguishes pre-founded columns from general columns. However, there are no criteria for erection tolerance. Therefore, field-measured-data concerning out-of-plumb of pre-founded columns in the construction field should be accumulated and investigated so that criteria and specifications for the erection tolerance of pre-founded columns may be established through the understanding of its aspects. In this paper, we investigate out-of-plumb of pre-founded columns for the construction case and analyze its aspects, and propose considerations for design and construction phase.

키 워 드 : Top-Down 공법, 선기초 기둥, 기둥 수직도, 설계용 수직도 시공오차
 Keywords : Top-Down Method, Pre-founded Column, Column Plumbness, Erection Tolerance

1. 연구의 배경 및 목적

탑-다운 공법은 Bottom-up 공법과 달리 지표면에서부터 지상층과 지하층을 동시에 시공해 나가는 방법이다. 탑-다운 공법은 도심도, 대형 공사에 유리하고, 소음, 진동, 비산먼지 등에 적극적인 민원예방이 가능하며, 인접대지에 대한 영향이 적고, 1층 바닥의 시공 후에는 작업장으로 활용할 수 있어 건물 이 밀집한 도심지에서 사용빈도가 높다(전봉수 외 3인 2001).

탑-다운 공법에 의한 지하공사는 먼저 지중에 흠막이벽과 선기초기둥을 설치한 후, 상기 기둥과 흠막이벽에 단계별로 지하 바닥구조를 시공하고 그 하부를 굴토하는 방법을 반복하여 최하부층까지 지하구조를 구축하게 된다(강승룡 외 6인 2008).

이러한 탑-다운공사에 있어서 공사시 상부에 구축되어가는 구조물의 자중과 작업하중을 지지하는 선기초기둥은 필수적이다. 하지만, 일반적인 기둥과 달리 선기초기둥은 지하구조물에

앞서 지중에 먼저 시공되는 특성으로 인한 시공오차, 특히 기둥의 수직도 시공오차의 발생이 필연적이다. 이러한, 선기초기둥의 시공오차는 선기초기둥에 구조적, 시공적인 영향을 미친다. 따라서, 이러한 탑-다운 공사에서의 선기초기둥의 특성에 대한 이해 및 이를 고려한 설계와 시공이 필요하고, 이에 본 논문에서는 선기초기둥의 수직도 시공오차의 크기를 조사하여 분석하고, 이를 통한 시공오차로 인해 발생하는 특성 및 고려사항에 대해 연구하고자 한다.

2. Top-Down에서의 선기초기둥

2.1 선기초기둥의 부가응력

선기초기둥은 일반적인 기둥과 마찬가지로 설계시 상부구조물의 자중, 마감하중 등의 고정하중, 작업하중, 지상구조물에 횡력으로 작용하여 축하중으로 전달되는 풍하중 등의 축하중과 더불어 다음의 사항들을 고려해야 한다.

선기초기둥의 설계시 기둥에 작용하는 축력을 부담면적에 의해 산정할 때에는 바닥구조의 탄성전단효과를 고려하여 선기초기둥의 축하중으로 하여야 한다.

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

탑-다운 공사에서 지하구조물을 시공해가면서 바닥구조는 자중을 포함한 작업하중을 받게 된다. 이러한 하중으로 인하여 바닥구조에 휨모멘트가 발생하는데, 기둥경간의 차이, 단부의 조건 등으로 인하여 선기초기둥의 이웃한 양쪽 바닥구조로부터 발생하는 단부모멘트는 서로 다르다. 이 단부모멘트의 차이로 인해 선기초기둥에 작용하는 불균형모멘트를 고려해야한다(대한건축학회, 2005).

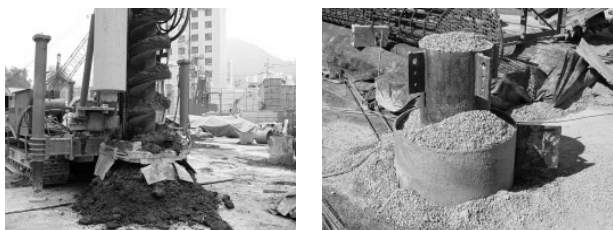
또한, 토압 또는 수압 등으로 인한 탄성수축 및 콘크리트의 건조수축, 크리프수축 및 온도수축등으로 인한 바닥구조의 수축에 의해 선기초기둥에 발생하는 추가적인 응력을 고려해야한다(전봉수 외 3인 2001).

탑-다운 공사시 천공구내에 선기초기둥을 설치한 후에는 1층 바닥레벨에서의 선기초기둥의 좌표를 측정하고 조정한 후 1층 바닥콘크리트를 타설하게 된다. 이 경우 기둥에 대한 좌표의 조정은 이미 선기초기둥에 콘크리트피어가 타설되어 있고 천공구내 채움재들로 감싸져있기 때문에 강제변위로 인한 추가적인 휨모멘트를 유발한다. 이 추가적인 휨모멘트는 선기초기둥의 허용압축력을 감소시키기 때문에, 시공시 주의 깊은 수직도 관리가 필요하고, 부득이 기둥의 조정이 필요한 경우에는 기둥에 부가되는 휨모멘트가 최소화 될 수 있도록 기둥 주변을 굴토하고 조정하는 등의 방안을 강구해야한다.

이 밖에 선기초기둥은 일반적인 기둥과 달리 지중에 시공되는 특성상 발생하는 시공오차로 인한 영향을 고려해야한다.

2.2 선기초기둥의 시공오차 발생원인

선기초기둥의 시공순서에 따라 선기초기둥의 시공오차가 발생하는 원인을 살펴보면, 먼저, 천공장비의 오차로 인한 천공구의 수직도의 오차는 선기초기둥의 근입시의 시공오차와 더불어 선기초기둥의 수직도 시공오차를 발생시킬 수 있다. 또한, 지하구조물에 대해 소요깊이까지의 기둥을 한번에 근입시키는 까닭에 현장에 반입된 철골기둥을 현장 용접이음에 의해 제작하는데, 이때 이음부에서의 이음각은 기둥의 수직도에 영향을 미친다. 피어콘크리트 타설 후의 쇄석채움 작업시의 충격 및 불균등한 채움작업은 기둥의 수직도 시공오차를 발생시킨다. 또한, 케이싱의 인발시 선기초기둥의 비틀림, 공사계획에



(A) 천 공 (B) 쇄석채움

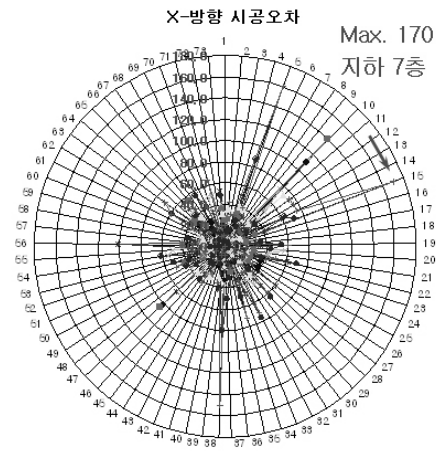
그림 1. 선기초기둥의 시공오차 발생원인

따른 굴토깊이, 중장비의 운행시 등으로 인해 시공오차가 발생할 수 있으며, 이러한 요인들이 상호복합적으로 전체 선기초기둥의 수직도 시공오차에 영향을 미치게 된다.

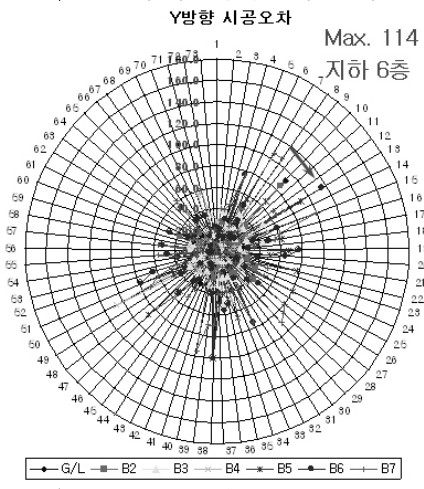
3. 선기초기둥의 시공오차 조사 및 특징

3.1 선기초기둥의 시공오차 조사

선기초 기둥에 필연적으로 발생하는 수직도 시공오차가 선기초기둥에 미치는 영향으로 인하여, 공사진행시 수직도 시공오차에 대한 측정 및 안전성 등에 대한 검토를 수행한 후 공사를 진행해야 한다. 이러한 현장기술지원 과정에서 조사된 지하 7층 규모의 탑-다운 공사현장에서의 선기초기둥에 대해 바닥 슬래브의 상부면에서 총 507개소 중 측정가능한 477개소에서 측정된 기둥의 각 방향별 시공오차는 그림 2와 같다. 최대 시공오차는 X방향에서는 지하 7층 바닥레벨에서 170mm, Y방향에서는 지하 6층 바닥레벨에서 114mm가 발생되었다.



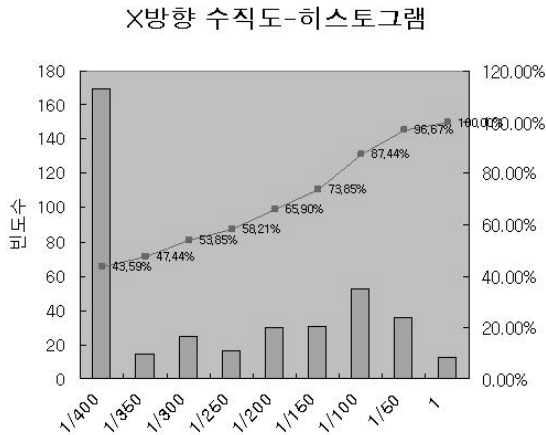
a) X방향에 대한 수직도 시공오차



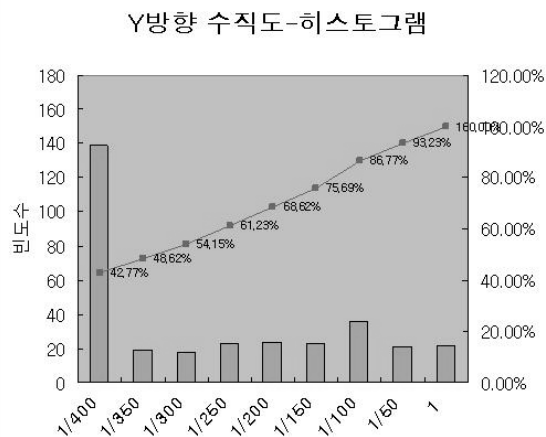
b) Y방향에 대한 수직도 시공오차

그림 2. 선기초기둥의 각 방향별 시공오차

안전성과 관련된 시공오차는 해당층에서의 평면상 시공오차 크기와 기둥 길이의 비율인 수직도로 표현할 수 있는데(임홍철 외 2인, 2006), 위 현장 조사자료를 근거로하여 각 방향별 기둥에 대한 수직도를 분석한 결과는 그림 3의 분석표와 같다.



a) X방향에 대한 수직도 분석표



b) Y방향에 대한 수직도 분석표

그림 3. 각 방향별 수직도 분석표

선기초기둥의 설계시 일반적으로 일본에서 관행적으로 적용하고 있는 1/300~1/400수준의 수직도 시공오차에 대해 설계가 이루어지고 있다. 하지만, 그림 3을 통하여 조사된 현장의 각 층에 대한 선기초기둥의 수직도를 분석해보면 모든 방향에 대하여 평균적으로 수직도 1/400 이내에 속하는 기둥은 약 43%, 1/300 이내에 속하는 기둥은 약 54% 뿐이다. 또한, 1/150 이내에 속하는 기둥은 약 75% 정도이며, 심지어 수직도 1/50을 초과하는 기둥들도 약 5%까지 발생함을 알 수 있다. 이는 설계시 어떠한 수준으로 수직도 시공오차를 고려하더라도 이를 초과하는 기둥들이 발생할 수 있음을 의미하고, 따라서 선기초기둥의 설계시 발생가능한 설계용 시공오차를 초과하는 기둥에 대한 대책을 염두에 두고 설계를 수행해야하여야 하고, 시공시에도 선기초기둥의 수직도 시공오차가 설계 범위

를 초과하지 않도록 각별히 관리해야 한다.

아울러, 국내 현장의 여건을 감안한 선기초기둥의 설계용 수직도 시공오차에 대한 기준이 필요하며, 적절한 경제성을 고려한 설계용 수직도 시공오차 기준을 제정하기 위해서는 보다 많은 현장자료의 축적 및 분석이 필요하다.

3.2 선기초기둥의 시공오차의 특징

해당 현장에서 발생한 선기초기둥의 수직도 시공오차에 대한 분석결과, 선기초기둥의 수직도 시공오차는 다음과 같은 특징을 갖는다.

1. 수직도 시공오차는 저층부로 내려갈수록 증가하는 경향이 있다. 이는 천공구 내부의 깊은 곳은 시공관리가 어렵기 때문인 것으로 판단된다.
2. 수직도 시공오차는 기둥 이음부층에서 크게 변화한다. 이는 현장 용접 이음부의 연결각 제작오차로 인하여 심한 경우 수직도의 방향성 자체가 바뀌는 경우도 발생한다.
3. 수직도 시공오차는 각 층에서의 방향별 평균시공오차 분석에 의하면 강축방향보다 약축방향의 시공오차가 다소 큰 경향이 있다. 이는 천공구내 뒤채움에 의한 변형으로 약축의 강성(IE)이 상대적으로 적기 때문인 것으로 판단된다.
4. 이외 구간에서는 수직도 시공오차에 대한 규칙성이 없이 평면 좌표상 +, -의 형태의 시공오차가 발생한다. 이는 천공구내 뒤채움시 불균형 채움에 의한 변형에서 기인한 것으로 판단된다.

이는 한 현장에 대한 분석결과를 바탕으로 도출한 특성으로 일반적인 선기초기둥의 수직도 시공오차에 대한 특성으로 여기기에는 다소 무리가 있을 수 있지만, 선기초기둥의 수직도 시공오차의 고려시 하나의 지표가 될 수 있다.

4. 선기초기둥 시공오차의 영향

선기초기둥의 이음부, 선기초기둥을 위한 천공시, 천공구내로의 기둥의 근입시, 공내 채움시, 그리고 중장비의 운행시 등에서 발생한 수직도에 대한 시공오차는 선기초기둥에 다음과 같은 영향을 미치기 때문에 반드시 고려되어야한다.

4.1 선기초기둥의 허용압축력에 대한 영향

선기초기둥의 수직도에 대한 시공오차는 각층에서 기둥 상부와 하부에서의 기둥 중심에 대한 편심(Δ)을 유발한다. 이 편심(Δ)은 상부 구조물로부터 해당 기둥에 작용하는 축력(P)에 대하여 편심모멘트($P\Delta$)를 유발하고 이러한 편심모멘트는 $P/P_{cr} + M/M_p [C_m / (1 - P/P_E)] = 1.0$ 의 식(AISC, 9th

Ed.)에 따라 선기초기둥의 허용압축력을 감소시킨다. 편심모멘트는 기둥 상하의 편심(Δ)의 크기에 비례하기 때문에, 즉, 기둥의 수직도 시공오차가 커질수록 기둥의 허용압축력이 감소하기 때문에, 선기초기둥의 설계시 적절한 선기초기둥의 수직도 시공오차를 감안하여 설계되어야하고, 시공시에도 설계 시공오차 범위내에서 시공될 수 있도록 철저히 관리하여야 한다. 그림 4는 기둥에 대한 축력-모멘트의 상관도로서, 편심모멘트는 시공에 의한 편심이 $\Delta_0 \rightarrow \Delta_1 \rightarrow \Delta_2$ 로 증가할수록 $P\Delta_0 \rightarrow P\Delta_1 \rightarrow P\Delta_2$ 로 증가하고, 허용압축력은 $P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2$ 감소함을 보여주고 있다.

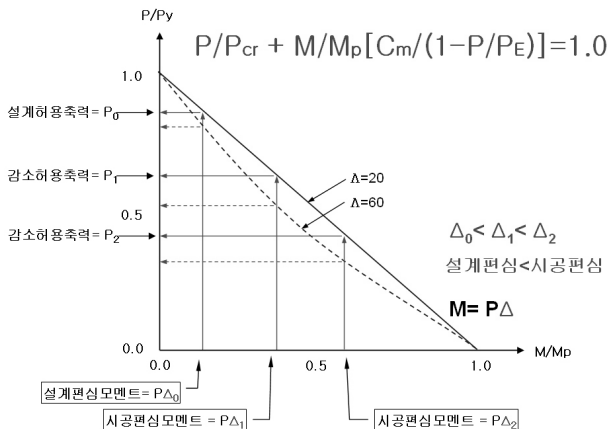
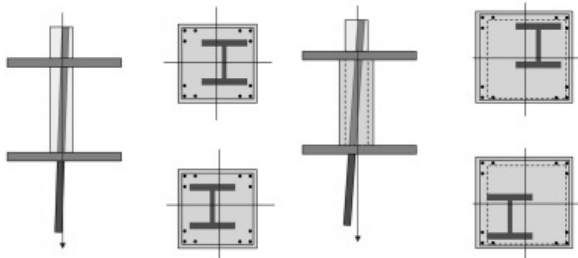


그림 4. 기둥에 대한 축력-모멘트 상관도

4.2 합성기둥에 대한 영향

사용시 콘크리트로 피복되어 합성기둥을 형성하는 선기초기둥에 대한 수직도 시공오차는 그림 5의 좌측에서 보는 바와 같이 합성기둥의 단면상에서 철골기둥의 편심을 유발하여 사용상태의 합성기둥의 휨내력을 감소시키므로, 합성기둥의 설계시에도 기둥의 수직도 시공오차를 감안한 기둥설계가 이루어져야 하고, 설계용 수직도 시공오차를 초과하는 기둥에 대한 보강대책도 마련해야 한다.

또한, 과도한 편심으로 인하여 적절한 피복두께를 확보할 수 없을 경우 그림 5의 우측과 같이 기둥 단면을 증가시켜야 하는 결과를 초래할 수도 있으므로, 시공시 기둥의 수직도 오차에 대한 철저한 관리 및 검토가 필요하다.



(좌) 합성기둥 단면상 철골기둥의 편심
(우) 철골기둥의 편심으로 인한 합성기둥단면의 증가
그림 5. 철골기둥의 편심에 의한 영향

5. 결 론

상부구조물과 하부구조물이 동시에 시공되는 탑-다운 공사의 특성상 탑-다운공사시 지중에 설치하는 선기초기둥은 반드시 필요하다. 선기초기둥은 일반적인 기둥과 달리 천공구내로 시공되는 특성으로 인하여 수직도관리가 어렵고, 시공오차로 인해 허용축력을 감소시키는 등의 영향을 미친다. 과도한 시공오차는 공정계획의 차질 및 안전 문제등의 결과를 초래할 수 있다. 이와 같은, 도심지에서의 사용빈도가 높은 탑-다운 공사에서 필수적인 선기초기둥의 중요성과 지중에 선시공되는 특성으로 인해 발생하는 시공오차가 미치는 영향에도 불구하고, 아직까지 선기초기둥의 설계용 시공오차 범위에 대한 기준이 정립되어 있지 않아 수직도 오차의 영향을 간과할 여지가 있다.

따라서, 선기초기둥의 시공오차에 대한 특징에 대한 이해와 타당한 설계용 시공오차 범위에 대한 기준 정립이 필요하고 이를 위해서는 보다 많은 현장자료의 축적과 연구가 필요하다.

이와 더불어, 탑-다운 공사시 선기초기둥에 대해 다음의 사항들에 대한 고려가 필요하다.

1. 설계관련

- 1) 설계자는 탑-다운 공사용 선기초기둥과 합성기둥의 시공오차를 고려하여 설계하여야 한다.
- 2) 설계용 시공오차 범위를 넘는 선기초기둥에 대한 대책을 준비해야 한다.
- 3) 시공오차범위는 반드시 시공자와 협의하여 설계에 반영한다.
- 4) 설계도서에 설계용 시공오차 범위와 단계별 공정계획 및 제한조건 등이 명시되어야 한다.

2. 시공관련

- 1) 시공자는 탑-다운 공사용 기둥의 시공오차관리수준을 설계자에게 제안하여야 한다.
- 2) 각 공사과정에서 발생하는 시공오차를 최소화할 수 있는 확실한 방안이 개발되어야 한다.
- 3) 탑-다운 공사용 기둥의 시공관리를 위한 지침과 시방서가 필요하다.
- 4) 각층 굴토 단계마다 철골기둥에 대한 시공오차를 측정하여 안전성을 검토하고 대책을 마련하여 공사에 반영하여야 한다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

1. 강승룡, 임홍철, 김승원, 김동진, 송지윤, 정미라, 이해철, Top Down 공사에서의 CFT 선기초기둥 활용방안, 한국건축시공학회 춘계학술발표대회 논문집, 제8권 1호, pp.31-34, 2008
2. 대한건축학회, 건설교통부 고시 건축구조설계기준, 2005
3. 임홍철, 신천균, 김승원, Top Down 공사의 선기둥 수직도계측, 한국건축시공학회 논문집, 제6권 4호, p.p.77~84, 2006
4. 전봉수, 김승원, 김상범, 김세익, Top-Down 공법의 연구, 포스코개발주식회사, 2001
5. American Institute of Steel Construction, Steel Construction Manual 9th Ed.