

Top Down 선기둥의 계측과 자료 분석

Measurement and Analysis of Prefounded Column Straightness in Top Down Construction

신 천 균*

Shin, Cheon-Kyun,

임 흥 철**

Rhim, Hong-Chul,

김 승 원***

Kim, Seung-Weon

Abstract

The purpose of this study is to investigate the cause of an error of prefounded column straightness and to measure the error during Top-Down construction. There are several causes of an error of prefounded column : ① The columns are connected by welding or other methods. ② concrete and aggregates are put in columns. ③ The columns are constructed during the construction.

The error of column straightness is different for each column, and the tilting of columns is shown in one or two directions between floors. The additional loads caused by the error of straightness may give damage to buildings.

키 워 드 : 탑다운 공사, 선기둥, 수직도 오차, 계측, 자료분석

Keywords : Top Down Construction, Prefounded Column, Error of Straightness, Measurement, Analysis of the Data

1. 연구배경

최근 들어, 도심지의 건축공사가 급증하면서 그 양상도 점차 대형화, 고층화 되어가고 있다. 또한, 도심지에서는 높은 지가 문제와 넓은 주차공간의 마련, 대지 활용의 극대화를 위해 지하공간을 적극적으로 활용하고 있으며, 대지 경계선에 매우 근접한 지하공사가 이루어지고 있다 (이용균 외 3인, 2004). 지하공간의 공사는 불확실한 지층 상태와 흙의 종류, 토압, 지하수의 수압 등을 미리 고려해야 하기 때문에 시행착오가 생길 가능성이 많은 작업이다. 그리고 굴착과 발파 등으로 인한 소음과 진동에 따른 민원을 고려해야 하는 등 많은 시공상의 어려움을 포함하고 있다. 따라서, 이러한 문제들을 예방·보완하는 다양한 계측과정이 현재 현장에서 이루어지고 있다 (김민석 외 4인, 2001).

도심지에서의 경우 인접지반 및 주변건물의 경계까지 시공할 수 있고, 공기단축을 추구하는 발주자의 요구에 맞추기 위해 Top Down 공법이 많이 이용되고 있다. Top Down 공법은 1층 바닥을 선시공하여 작업장으로 활용하고, 지상층과 지하층을 동시에 시공함으로써 공기를 단축하는 공법을 말한다.

Top Down 공사의 경우 공사가 진행되면서 동시에 지하의 굴착 작업이 이루어지기 때문에 그에 따른 철저한 사전검토와 준비가 필요하다. 특히, 건물의 기초가 되며 굴착시의 안정성을 확보하고, 시공의 용이성을 유지시키는 역할을 하는 선기둥 (Prefounded Column)의 중요성이 크게 강조되고 있다. 따라

서, 이에 따른 현장 계측과 선기둥의 위치를 선정하고 시공과정 중에서 발생할 수 있는 수직도 오차를 계측하고 분석하는 것이 중요한 과정으로 볼 수 있다.

본 연구에서는 Top Down 공사시 선기둥의 수직도를 측정하는 방법을 소개하고, 그 자료를 분석함으로써 타 공사에서의 선기둥 수직도와 관련된 시공의 효율성 증대에 기여하고자 한다.

2. 선기둥 수직도 측정의 필요성

건축공사에서 기둥에 작용하는 힘은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 계획된 축력이다. 이는 건축물에게 가해지는 예상된 하중을 고려하여 설계시에 반영된 것이다. 두 번째는 부가적으로 발생하는 휨 모멘트이다. 이것은 바닥구조의 불균형 모멘트, 기둥 수직도에 의한 휨모멘트, 바닥구조의 수축에 의한 휨모멘트에 의해 발생한다. 이와 같은 부가 모멘트는 기둥이 받을 수 있는 하중의 허용범위에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 시공과정에서 주의를 필요로 한다. 그중에서도 수직도 오차는 현장계측과 지속적인 검토를 통해 시공과정에서 그 발생빈도를 줄일 수 있을 것으로 생각된다.

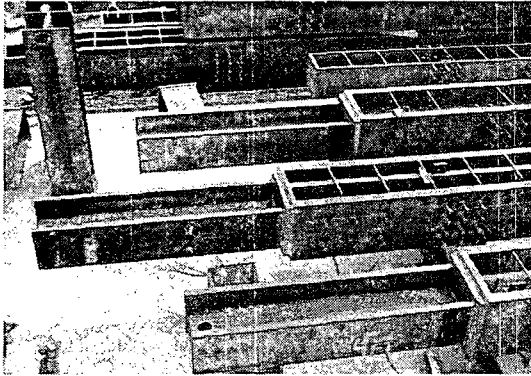
Top Down 공사의 시공에서 선기둥의 수직도 오차가 발생할 수 있는 원인은 다음과 같은 몇 가지로 분류할 수 있다. 첫째, 현장으로 반입된 H형강을 용접 등의 과정을 거쳐 잇는 과정에서 발생할 수 있다. 둘째, 선기둥을 세우고 그 안에 자갈을 채우거나 콘크리트를 타설할 때 타설 측압으로 인한 철골기둥의 좌굴 및 편심에 의해 수평변형이 발생할 수 있다 (임형일

* 연세대학교 첨단구조연구실 연구원

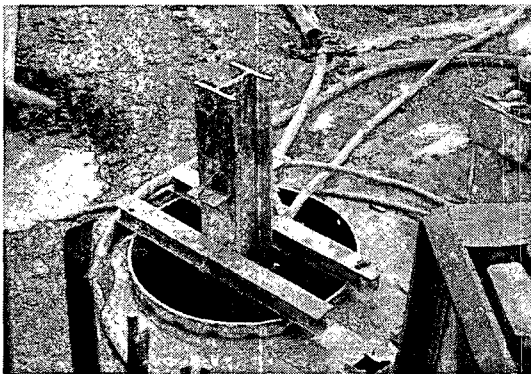
** 연세대학교 건축공학과 교수

*** 뉴테크구조기술사무소 소장

의 5인, 2001). 셋째, 케이싱(casing)을 인발할 때 수직도 오차가 발생할 수 있다. 넷째, 선시공된 1층 바닥으로 증장비가 이동할 경우이다. 다섯째, H형강 기둥을 실제 시공설치할 때 수직도 오차가 발생할 수 있다 (그림 1).



(a) 기둥의 이음



(b) 선기둥 시공

그림 1. 선기둥 수직도 오차 발생 원인

산업안전보건법 시행규칙 120조에 따르면, 깊이 10미터 이상인 굴착공사에 경우, 사업주는 노동부령이 정하는 자격을 갖춘 자의 의견을 들은 후 이 법 또는 이 법에 의한 명령에서 정하는 유해·위험방지계획서를 작성하도록 되어있고, 건설기술관리법 시행규칙에서는 계측관리의 불량항목을 정하고 계측장비를 설치하지 않은 경우와 계측장비가 작동하지 아니한 경우에 대해 최대 3점의 벌점을 주는 건설공사 등의 부실벌점관리 기준을 정하고 있다.

Top Down 공사는 물론, 타 공사에서의 기둥의 수직도와 관련된 연구는 국내·외적으로도 많이 미비한 상태이다. H형강을 선기둥으로 이용할 때 콘크리트 타설시 발생할 수 있는 수평수직변위를 줄이기 위해 고유동 콘크리트를 이용하는 방법 등 수직도 오차 개선을 위한 부분적인 연구가 진행되고 있지만, 공기 단축이 중요한 목표가 되고 있는 현 시점에서 우선 실제 건축 현장에서 건물의 기둥 수직도 오차의 발생을 분석하고 그에 따른 부가적인 힘의 영향을 연구함으로써 그 결과를 사전 설계에 반영하는 일은 시공성 향상에 크게 기여할 것으로 보인다.

3. Top Down 선기둥 수직도 계측

본 연구에서는 신축공사 현장에서의 계측방법과 수직도 계측자료를 통해 그 오차를 분석하였다. 해당 신축공사는 지하공간을 네 개의 존(zone)으로 구분, 한 개의 구역을 굴착 후, 다음 구역으로 넘어가는 방법을 수행하고 있다. 각각의 구역을 굴착할 때마다 슬러리 율에 기준을 표시하고 이를 측정하는데 이용하였다.

실제 도면에서의 각 기둥의 위치를 중심으로 하여 X-, Y- (그림 2) 로 각각의 기둥을 좌표로 표시한 후, X-2와 X-9, Y-4와 Y-7의 네 개의 기둥을 기준으로 하여 사각형의 모양으로 연결하고, 이 기준 기둥을 중심으로 하여 74개의 각 기둥의 간격과 중심을 나타내었다.

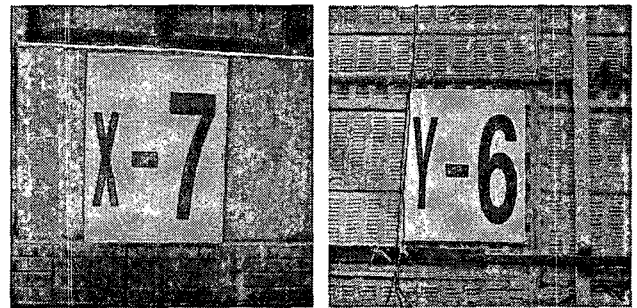


그림 2. 기둥의 좌표 표시

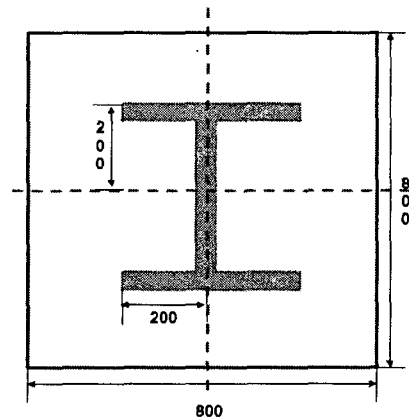


그림 3. 선기둥 수직도 오차 측정 (mm)

각 기둥의 간격과 중심이 확정되면 확정된 중심위치와 실제 시공된 H형강의 중심의 차이를 측정하는데, H형강의 콘크리트를 타설 시 필요한 800 x 800 (mm) 정방형의 거푸집을 대고 거푸집 양 끝단에서 H형강까지의 길이를 측정하여 수평·수직 방향의 변위의 오차를 구할 수 있었다 (그림 3).

철골기둥 각 방향의 변위 오차 측정은 X축과 Y축을 구분하고 X축의 오른쪽과 Y축의 위쪽을 각각 (+)방향으로 설정하였으며 (그림 4), 1층과 지하 2, 3층 바닥에서의 절대적인 변위를 측정하고, 각 층과 층간에 대한 최대치와 평균값을 계산하여 그 분포를 알아보았다.

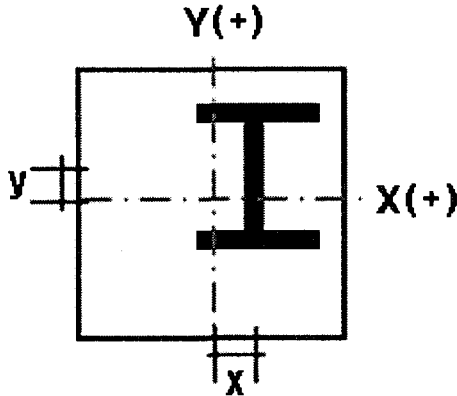


그림 4. 선기둥의 수평·수직 오차

선기둥의 수평·수직 변위의 오차는 각 층마다 서로 다르게 존재함을 알 수 있었으며, 그 편차도 각 층의 평균값을 웃도는 범위로 확인되었다. 변위의 오차는 상부층과 하부층간의 기둥의 기울어짐을 발생시켰으며 또한, 각 기둥마다 한 방향으로 기울어지거나 혹은 두 방향으로 기울어지는 등 오차의 통일성을 찾기는 어려웠다.

4. 계측 자료의 분석

현 시공방법의 한계상 시공상의 오차는 항상 존재하기 마련이므로, 설계상의 기준점을 정확히 맞추어 시공하는 것은 사실상 불가능하다고 할 수 있다. 따라서, 층간의 상대적인 변위가 중요하고 그 변위를 토대로 층간의 높이와 비교하여 수직도를 비교하였다. 다음은 현장에서 실제 계측한 자료의 일부이다 (표 1).

표 1. 선기둥 수직도 오차 자료

Column ID	Displacement				Story-Height
	B2		B3		
	X1(mm)	Y1(mm)	X2(mm)	Y2(mm)	
PC 4	-4.0	1.0	-9.0	9.0	5800.0
PC 9	20.0	-8.0	10.0	10.0	5800.0
PC10	-140.0	-85.0	-30.0	-65.0	5800.0
PC11	-31.0	35.0	-72.0	32.0	5800.0
PC16	5.0	0.0	10.0	5.0	5800.0
PC28	-4.0	-5.0	-21.0	-14.0	5800.0

- X와 Y : 그림 4 에서 수평·수직방향의 변위
- hs : 기둥의 높이

위의 자료에서 볼 수 있듯이 각 기둥마다 시공 시에 오차범위가 상당히 달라짐을 볼 수 있다. PC 10번의 경우 지하 2층에서 X축은 140 mm, Y축 85 mm의 오차가 발생한 반면, PC 16번의 경우에는 X축으로 5 mm, Y축은 설계상의 기준점으로 정

확하게 시공되었음을 확인할 수 있다.

표 1에서의 값은 실제의 계측값이며, 변위와 수직도는 실제 값을 토대로 계산되었다 (표 2).

표 2. 수직도 오차의 계산

Column ID	Relative Story-Displacement			허용 범위 (10 ⁻³)	결과
	Displacement		Verticality XY (10 ⁻³)		
	dx (mm)	dy (mm)			
PC 4	5.0	8.0	1.63	3.33	OK
PC 9	10.0	18.0	3.55	3.33	6.61% 초과
PC10	110.0	20.0	19.28	3.33	478.9% 초과
PC11	41.0	3.0	7.09	3.33	112.9% 초과
PC16	5.0	5.0	1.22	3.33	OK
PC28	17.0	9.0	3.32	3.33	OK

- dx, dy : 두 층 사이의 수평·수직 변위의 상대적 차
- XY : 기둥의 수평·수직 방향의 변위와 높이와의 비

PC 10번 기둥에 관한 계산으로 식 (1), (2), (3)과 같다.

$$dx = |X1 - X2| = |(-140.0) - (-30.0)| = 110.0(mm)$$

식 (1)

$$dy = |Y1 - Y2| = |(-85.0) - (-65.0)| = 20.0(mm)$$

식 (2)

수직도 XY를 구하기 위해 dx와 dy로 구하여진 대각선 방향의 변위를 먼저 계산한 후, 높이와 비교하였다.

$$XY = \frac{\sqrt{(dx^2 + dy^2)}}{hs} = \frac{\sqrt{(110^2 + 20^2)}}{5800} \times 1000 = 19.28$$

식 (3)

일반적인 공법에서의 기둥의 수직도는 1/500을 허용한도로 설정하여 설계를 실시하나, Top Down 공법의 경우 1/200 ~ 1/300 을 오차범위로 설정하여 설계한다. 본 공사 현장에서는 이러한 사항을 고려하여, 1/300 을 오차의 허용한도로 설정하였다.

수직도를 기준으로 하여 비추어 볼 때, 각 기둥들의 오차분 또는 상당히 다양함을 알 수 있다. PC 10번 기둥은 X축 방향으로 많은 변위가 발생하여 수직도의 값이 20에 가까움을 알 수 있었다. 이와 같이, 전체 기둥을 조사한 결과, 1층~지하 2층간 X:5개, Y:6개, XY:13개, 지하 2층~지하 3층간 X:19개, Y:21개, XY:41개가 기준치를 초과한 것으로 판명되었다. X와 Y좌표 각각의 경우보다 둘의 변위를 모두 포함한 XY의 수직도 오차가 큰 것으로 확인되었다. 지하 2층~지하 3층의 오차범위를 초과한 기둥의 개수가 윗 층간 개수보다 상당히 많은 것으로 보여진 것은 지하 2층과 지하 3층의 층고가 윗층보다 2.5 m가 낮음에 따라 계산값이 커진 것에 기인한 것으로 판단된다. 하지

만, 지하 2층의 경우 나머지 층에 비해 수평·수직 변위가 큰 것으로 조사되었고, 이에 따른 연구는 추후에 더욱 많은 자료의 수집과 분석이 필요할 것으로 생각된다.

5. 결 론

본 연구에서는 선기둥의 수직도 오차의 발생 원인을 조사하고, 실제 현장에서의 제측 방법을 통해 얻어진 자료를 분석하여 수직도의 오차가 존재함을 확인하였다. 수직도의 오차를 판단하는 방법은 X축과 Y축의 시공상의 오차를 통한 변위를 산정하고, 각 기둥의 상대적인 변위의 차를 통해 계산하였다.

각각의 기둥마다 시공에 따른 오차가 모두 다르게 분포하였으며, 층을 통틀어 X축 140 mm, Y축 88.5 mm의 최대 오차 변위가 나타났다. 또한, 기둥의 수직도 오차는 각 층간마다 균등한 양상을 보이지 않았으며, 범위의 폭도 상당히 존재하였다. 두개의 층 사이에서 기둥의 기울어짐의 방향성도 기둥마다 다르게 분포하였으며, 방향성에 따라 구조물에 미치는 영향이 서로 다를 것이라고 판단되었다. 아울러, 수직도 오차가 커짐에 따르는 부가적인 휨 모멘트의 영향이 구조물 전체에 심각한 손상을 가져올 수 있을 것이라고 생각된다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원에서 시행한 2005년도 건설핵심기술 연구사업 「공기단축형 복합 구조시스템 건설기술」(과제번호 : 05 RND 건설핵심 D02-01)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 이용균, 조호규, 김광희, 강경인, "건축공사 흠막이 제측관리를 위한 유비쿼터스 시스템 구축 방안에 관한 연구" 한국건축시공학회 학술·기술논문발표회 발표집 Vol. 4, No. 2 (2004), pp. 67-70
2. 김민석, 서장우, 박우열, 서덕석, 강경인, "지하토공사에 있어서의 건축공사 제측관리의 개선방안에 관한 연구" 대한건축학회 학술지 Vol. 17, No. 10 (2001), pp. 129-135
3. 임형일, 박희곤, 백민수, 조상영, 이영도, 정상진, "TOP-DOWN 공법에 의한 지하기둥의 시공성 향상을 위한 기초적 연구" 대한건축학회 학술발표대회 논문집 Vol. 21, No. 2 (2001), pp. 551-554