

Top Down 공사의 선기둥 수직도 계측

Measurement of Prefounded Column Erection During Top Down Construction

임 흥 철*

Rhim, Hong-Chul

신 천 균**

Shin, Cheon-Kyun,

김 승 원***

Kim, Seung-Weon

Abstract

The purpose of this study is to measure the straightness of prefounded columns during underground construction stages. There are several causes of an error of prefounded column: ① columns connected by welding or bolting, ② by placement of concrete and aggregates around columns, ③ movement during construction, and ④ load applied during 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. This paper presents the measurement results of column straightness, and thus providing a basis for further analysis.

키 워 드 : 탑다운 공사, 선기둥, 수직도 오차, 계측, 자료 분석

Keywords : Top Down Construction, Prefounded Column, Error of Erection, Measurement, Analysis of the data

1. 서 론

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, 이를 위해 대지 경계선에 근접한 지하공사가 이루어지고 있다 (이웅균 외 3인, 2004). 지하공간의 공사는 불확실한 지층 상태와 흙의 종류, 토압, 지하수의 수압 등을 미리 고려해야 하기 때문에 시행착오가 생길 가능성이 많고, 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 시공이 가능하고, 공기단축을 위한 방법의 하나로 Top Down 공법을 많이 사용하고 있다. Top Down 공법은 1층 바닥을 선시공하여 작업장으로 활용하고, 지상층과 지하층을 동시에 시공함으로써 공기를 단축하는 공법을 말한다. Top Down 공법에 의한 지하구조물 공사는 지상부와 병행 시공이 되기 때문에 지하구조물의 품질이 향후 공사에 많은 영향을 미친다. 특히, 지하 선기둥은 상부 구조체의 하중 및 슬래브 하중을 지지하기 때문에 구조적인 안정성 뿐만 아니라 상부하중의 원활한 전달을 위해서 소요 심도까지 수직도가 확보되어야 한다. 지하 선기둥의

수직오차에 따른 편심은 내력저하와 구조적 안정성의 문제를 초래하여 Top Down 공법의 목적인 공기단축에 반하는 상부공사에 공기지연을 초래할 수 있다.

현재 건설 현장에서 기둥의 수직도를 측정을 하고는 있지만, 공사의 특성상 공사기록을 비롯한 계측 기록들이 자료화 되어 있기 힘들고, 외부에 공개되는 경우도 그리 많지 않다. 본 연구는 한 개의 현장을 표본으로 하여 실제 선기둥을 계측하는 방법과 이를 통해서 얻어진 자료를 체계화하고, 처음으로 공개하는데 차별성을 갖으며, 이러한 자료를 분석하여 수직도의 오차가 존재함을 확인하고, 다음 설계를 위한 근거자료로 활용하고자 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 설계 시 미리 반영시킨 것이다. 두 번째는 부가적으로 발생하는 휨 모멘트이다. 이것은 바닥구조의 불균형 모멘트, 기둥 수직도에 의한 휨모멘트, 바닥구조의 수축에 의한 휨모멘트에 의해 발생한다. 이 외에도, 기둥머리 강재 변형에 대한 휨모멘트, 기둥 양단사이 횡하중에 의한 휨모멘트, 부동수축에 의한 휨모멘트도 고려할 수 있다. 하지만, 주로 전자의 3가지 경우가 기둥의 부가 휨모멘트의 큰 영향을 미친다. 특히, 이와 같은 부가 모멘트는 기둥이 받을 수 있는 하중의 허용범위에 큰 영향을 미칠 수 있으므로 시공과정에서 주의를 필요로 한다. 또한, Top Down 공사 시에 사용되는 합성

* 연세대학교 건축공학과 교수

** 연세대학교 건축공학과 첨단구조연구실 연구원

*** 뉴테크구조기술사무소 소장

기둥에서는 수직도 오차에 따른 steel core의 편심으로 인한 단면증가가 필요하게 된다 (그림 1). 기둥이 수직으로 서있다고 가정할 경우에 비해 허용 편심율을 L/300으로 할 경우 (L: 기둥의 길이) 약 32%, L/150으로 할 경우 약 57%의 단면 증가가 일어나는 것으로 알려지고 있다.¹⁾

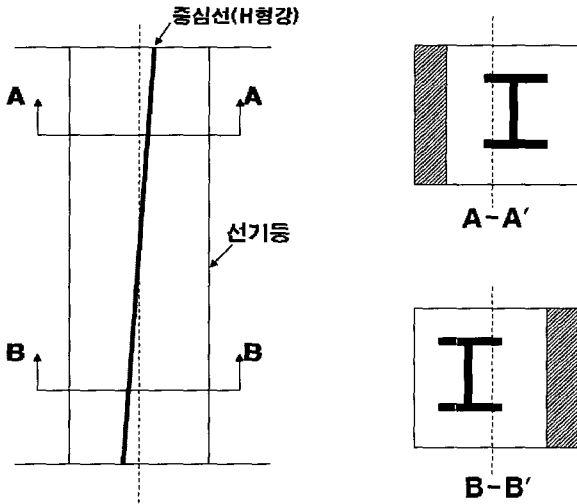
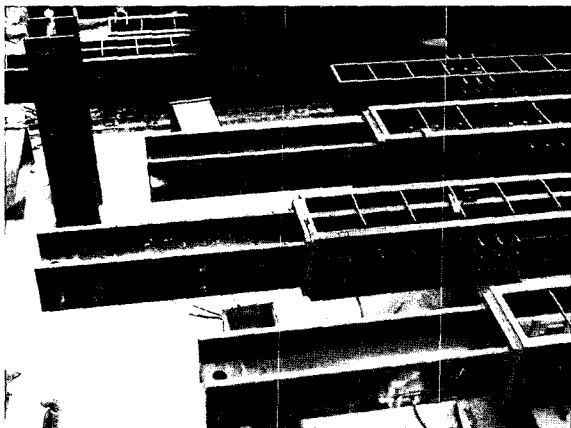


그림 1. Steel Core 편심에 따른 단면증가 부분 (빛금친 부분)

2.1 선기둥 수직도 오차의 발생원인

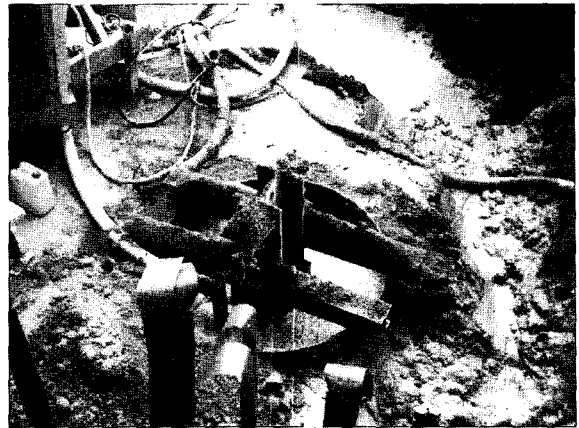
Top Down 공사의 시공에서 선기둥의 수직도 오차가 발생할 수 있는 원인은 다음과 같은 몇 가지로 분류할 수 있다.

- ① 현장으로 반입된 H형강을 용접 등의 과정을 거쳐 잇는 과정 중에 발생할 수 있다.
- ② 선기둥을 세우고 그 안에 자갈을 채우거나 콘크리트를 타설할 때 타설 측압으로 인한 철골기둥의 좌굴 및 편심에 의해 수평변형이 발생할 수 있다 (임형일 외 5인, 2001).
- ③ H형강 기둥을 실제로 시공·설치할 때 수직도 오차가 발생할 수 있다.

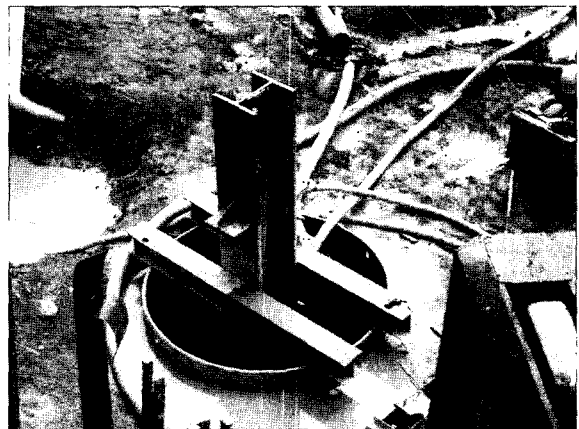


(a) 기둥의 이음

1) Top Down 공법의 지하 철골기둥 수직도 유지 및 접합에 관한 연구 (2003, 현대건설기술연구소)



(b) 콘크리트 타설



(c) 선기둥 시공

그림 2. 선기둥 수직도 오차 발생원인

- ④ 선 시공된 1층 바닥으로 증장비가 이동할 경우이다.
- ⑤ 케이싱(casing)을 인발할 때 수직도 오차가 발생할 수 있다 (그림 2).

2.2 선기둥 수직도 측정의 필요성

표 1. 말뚝의 수직도 허용오차 및 대처방안

수직기울기	대 처 방 안
$e/L_p \leq 1/100$	허용오차 범위 내로서 별도의 구조 검토 및 보강 불필요
$e/L_p \leq 1/50$	별도의 구조 검토 불필요 - 말뚝 두부와 기초간의 접합부 형태를 강접합으로 처리
$e/L_p > 1/50$	별도의 구조 검토 및 보강필요 1) 말뚝 두부와 기초간의 접합부 형태를 강접합으로 처리 2) 경사말뚝으로 간주한 구조검토 및 보강 필요 - 말뚝 허용 지지력 - 편심모멘트에 의한 기초하단부의 철근보강 여부 필요

1. 현지접합인 경우에만 적용, 강접합인 경우 별도 검토
2. e: 편심(eccentricity), L_p : 말뚝길이 (pile length)

현재 Top Down 공사를 수행할 때 선기둥의 수직도 허용오차는 규정이 명확치 않아, 통상적으로 통용되는 허용범위를 사용하고 있다. 지하기둥과 비슷한 역할을 수행하는 말뚝기초의 시공에 대한 허용기준과 이를 초과하였을 시의 대책기준(표 1, 강석규 외 1인, 2002)을 참고하고, 계측된 자료를 바탕으로 하여 이에 대한 선기둥의 수직도 오차에 대한 규정 마련이 필요하다.

현재 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 있다. 하지만, 공기단축이 중요한 목표가 되고 있는 현 시점에서 우선 실제 건축현장에서 건물의 기둥의 수직도 오차가 발생함을 확인하고, 그 자료를 분석하여 그에 따른 부가적인 힘의 영향을 연구하는 과정을 통해 그 결과를 사전 설계에 반영하는 일이 필요하다고 생각한다. 또한, 이러한 연구를 통해 시공성 향상에 기여할 것이라고 판단된다.

3. Top Down 선기둥 수직도 계측

3.1 공사 현장의 기준점 계측방법

본 연구는 먼저 신축공사 현장에서의 기준점의 계측방법을 제시하고, 이로써 얻어진 수직도 오차의 계측자료를 통해 그 오차를 분석하였다. 이 계측방법은 실제 다양한 현장에서 시행되고 있는 방법으로, 새로운 계측방법을 제시 보다는 이를 통한 자료의 확보에 주안점을 두었다.

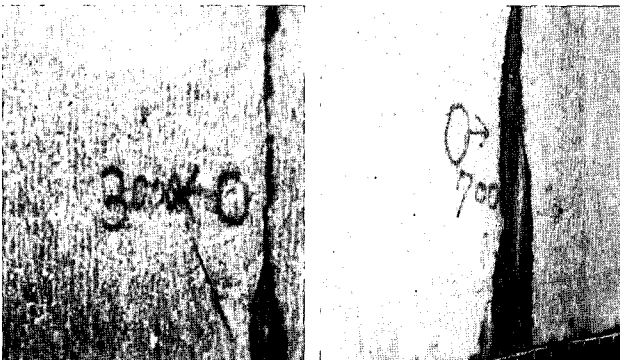


그림 3. 슬러리 월에 표시된 기준점

해당 신축공사는 지하공간을 네 개의 존(zone)으로 구분하고, 한 개의 구역을 굴착 후, 다음 구역으로 넘어가는 방법을 수행하고 있다. 각각의 구역을 굴착할 때마다 슬러리 월에 기준을 표시하고 이를 측량하는 기준점으로 이용하였다(그림 3).

슬러리 월에 표시되는 기준점은 설계 도면상에서 표시되는 각 기둥의 중심을 그 기준점으로 삼았다. 설계 도면에서의 각 기둥의 위치를 중심으로 하여 X-, Y-(그림 4)로 하는 각각의 기둥을 좌표로 표시하였다.

각 기둥의 좌표가 결정되면, X-2와 X-9, Y-4와 Y-7의 네 개의 기둥을 기준으로 하여 각각 안쪽으로 일정한 간격만큼

들인 후, 사각형의 모양으로 연결하였다(그림 5). 기둥의 중심으로 연결할 경우, 일렬로 늘어서 있는 기둥으로 인해 계측 시 뒤쪽에 위치한 기둥의 측정이 어렵기 때문에, 이와 같이 약간의 간격을 두고 연결하였다. 그리고, 이 기준 기둥을 중심으로 하여 74개의 각 기둥의 중심과 간격을 파악할 수 있었다.

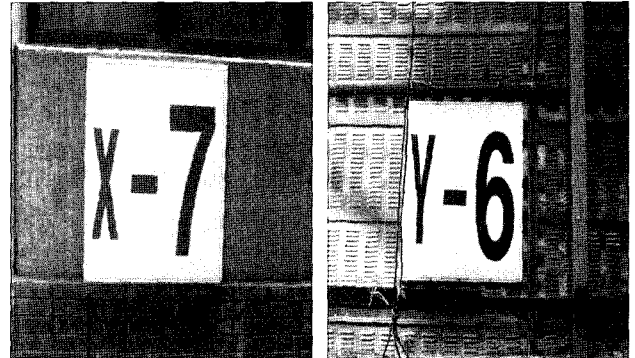


그림 4. 기둥의 좌표 표시

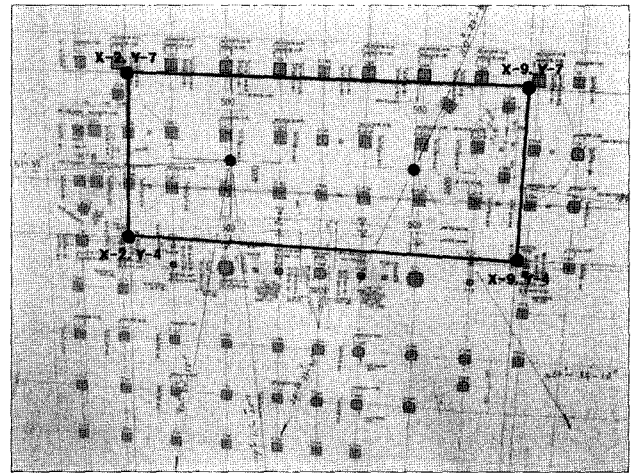


그림 5. 기준 기둥의 설정

1층 바닥에 위와 같은 방법으로 각 기둥의 기준점을 모두 설정한 뒤, 연결된 직선을 따라 지하층의 각각의 구역마다 1층과 동일하게 기준점을 설정하며, 이 기준점을 가지고 각 지하층의 기둥의 수직도 오차를 측정할 수 있었다. 수직도의 측정오차는 수평수직오차를 통해 얻어졌으며, 그에 따른 계산과정을 거쳐 시공상의 수직도 오차를 분석하였다.

3.2 선기둥 수직도 오차 측정 방법

본 연구에서는 1층과 지하 2층, 지하 3층에 해당되는 기둥의 수직도 오차를 측정하였다. 지하 1층보다 지하 2층이 선시공되었기 때문에 지하 1층의 계측자료는 지하 2층의 자료로 대체하며, 각 층고의 높이는 그림 6과 같다.

각 기둥의 간격과 중심이 확정되면 확정된 중심위치와 실제 시공된 H형강의 중심의 차이를 측정하는데, 이는 H형강의 수평수직의 차이를 통해 측정하였다. H형강의 콘크리트를 타설 시 필요한 800 X 800 (mm) 정방형의 거푸집을 대고 거푸집 양 끝단에서 H형강까지의 길이를 측정하여 수평수직방향의 변위의 오차를 구하였다(그림 7).

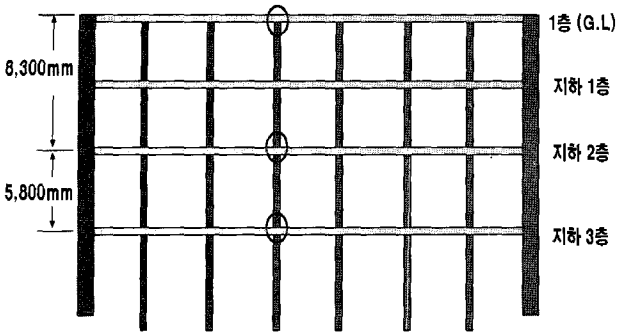


그림 6. 측정 위치와 층고 (원형 부분)

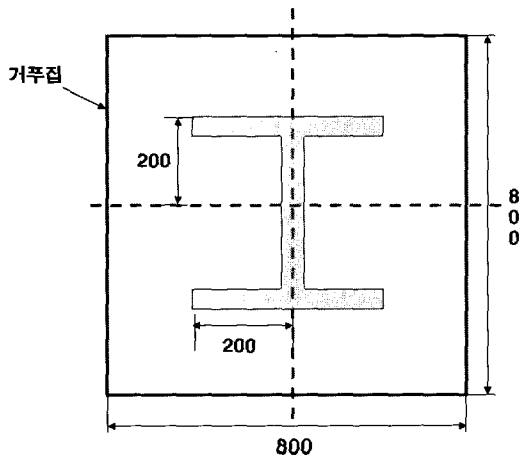


그림 7. 선기둥 수직도 오차 측정 (mm)

철골기둥 각 방향의 변위 오차 측정은 X축과 Y축을 구분하고 X축의 오른쪽과 Y축의 위쪽을 각각 (+)방향으로 설정하였으며 (그림 8), 1층과 지하 2, 3층 바닥에서의 절대적인 변위를 측정하였다.

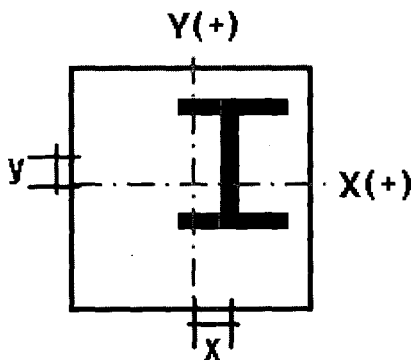


그림 8. 선기둥의 수평·수직 오차

4. 계측 자료의 분석

4.1 수직도 오차의 계산

현 시공방법의 한계로 인하여 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 2, 3).

표 2. 선기둥 수직도 오차 자료 (1층-지하 2층)

Column ID	Displacement (mm)				Story-Height (mm)
	1층		지하 2층		
	X1	Y1	X2	Y2	hs
PC 48	-80.0	10.0	-70.0	15.0	8,300.0
PC 49	-11.0	5.0	-2.0	15.0	8,300.0
PC 50	0.0	0.0	5.0	30.0	8,300.0

표 3. 선기둥 수직도 오차 자료 (지하 2층-지하 3층)

Column ID	Displacement (mm)				Story-Height (mm)
	지하 2층		지하 3층		
	X1	Y1	X2	Y2	hs
PC 48	-70.0	15.0	0.0	0.0	5800.0
PC 49	-2.0	15.0	1.5	16.5	5800.0
PC 50	5.0	30.0	2.5	17.5	5800.0

- X와 Y : 그림 8 에서 수평·수직방향의 변위
- hs : 기둥의 높이

표 2, 3의 자료에서 볼 수 있듯이 각 기둥마다 시공 시에 오차범위가 상당히 달라짐을 볼 수 있다. PC 48번의 경우 1층에서 X축은 80 mm, Y축 10 mm의 오차가 발생한 반면, PC 50번의 경우에는 X축과 Y축 모두 설계상의 기준점으로 정확하게 시공되었음을 확인할 수 있다. 하지만, 지하 2층에서의 시공오차로 인해 전체적으로는 기둥의 기울어짐이 발생하였고, 이로 인해 수직도 오차가 발생하였음을 알 수 있다.

표 1, 2에서의 값은 실제의 계측값이며, 변위와 수직도는 실제 값을 토대로 계산되었다 (표 4, 5).

표 4. 수직도 오차의 계산 (1층-지하 2층)

Column ID	Relative Story-Displacement			허용범위 (10^{-3})	결과
	Displacement		Verticality		
	dx (mm)	dy (mm)	XY (10^{-3})		
PC 48	10.0	5.0	1.35	3.33	OK
PC 49	9.0	10.0	1.62	3.33	OK
PC 50	5.0	30.0	3.66	3.33	9.91% 초과

표 5. 수직도 오차의 계산 (지하 2층-지하 3층)

Column ID	Relative Story-Displacement			허용범위 (10^{-3})	결과
	Displacement		Verticality		
	dx (mm)	dy (mm)	XY (10^{-3})		
PC 48	70.0	15.0	12.34	3.33	270.58% 초과
PC 49	3.5	1.5	0.66	3.33	OK
PC 50	2.5	12.5	2.20	3.33	OK

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

PC 48번 기둥에 관하여 1층과 지하 2층 사이의 계산으로 식 (1), (2), (3)과 같다.

$$dx = |X1 - X2| = |(-80.0) - (-70.0)| = 10.0(mm)$$

식 (1)

$$dy = |Y1 - Y2| = |(10.0) - (15.0)| = 5.0(mm)$$

식 (2)

수직도는 각각 dx와 dy로 구하여진 상대적 변위와 기둥 높이와의 비로 계산되었다 (그림 9).

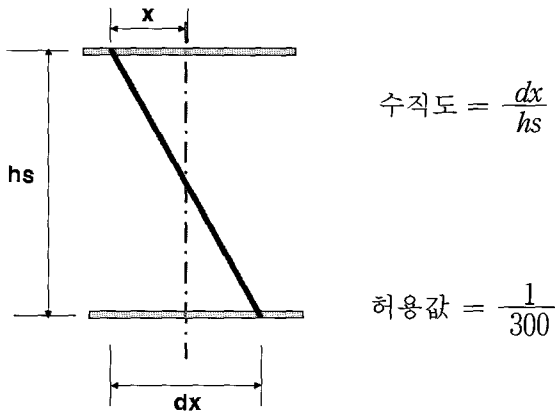


그림 9. 수직도 계산 (X방향)

수직도 XY를 구하기 위해 dx와 dy로 구하여진 대각선 방향의 변위를 먼저 계산하였다.

$$XY = \frac{\sqrt{(dx^2 + dy^2)}}{hs} = \frac{\sqrt{(10^2 + 5^2)}}{8300} \times 1000 = 1.35$$

식 (3)

초과범위는 PC 50번 기둥에서 식 (4)와 같다.

$$\frac{3.66 - 3.33}{3.33} \times 100 = 9.91\% \quad \text{식 (4)}$$

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

4.2 자료의 분석

측정된 자료를 통하여 각 층과 층간에 대한 최대치와 평균값을 계산하여 그 분포를 알아보았다 (표 6, 7). 선기둥의 수평·수직 변위의 오차는 각 층마다 서로 다르게 존재함을 알 수 있었

으며, 그 편차도 각 층의 평균값을 웃도는 범위로 확인되었다.

수직도를 기준으로 하여 비추어 볼 때, 각 기둥들의 오차분 또는 상당히 다양함을 알 수 있다. 예를 들어, PC 10번 기둥의 경우, 1층과 지하 2층에서 X축 방향으로 가장 큰 오차의 변위를 기록하였으며, 이에 따른 수직도를 계산한 결과 20에 가까운 수치가 나왔다. 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 Y의 각 방향으로는 허용범위를 초과하지 않았으나, XY방향으로 초과한 기둥의 개수도 1층과 지하 2층간에 2개, 지하 2층과 지하 3층간에는 6개가 존재하였다. 이를 통해, X와 Y좌표 각각의 경우보다 둘의 변위를 모두 포함한 XY의 수직도 오차가 큰 것으로 확인되었다.

표 6. 수직도 오차의 층별 최대·평균 (mm)

(총 74개)

	층별	최대	평균	편차
X	1층	125.0	11.9	18.39
	지하 2층	140.0	15.5	19.80
	지하 3층	72.0	12.8	12.0
Y	1층	88.5	10.1	13.04
	지하 2층	85.0	14.5	14.38
	지하 3층	65.0	18.6	14.4

표 7. 수직도 오차의 층간 최대·평균 (mm)

(총 74개)

	층간	최대	평균	편차
X	1층 ~ 지하 2층	40.0	9.7	8.6
	지하 2층 ~ 지하 3층	110.0	16.4	17.0
Y	1층 ~ 지하 2층	43.0	9.0	9.2
	지하 2층 ~ 지하 3층	50	14.8	12.5

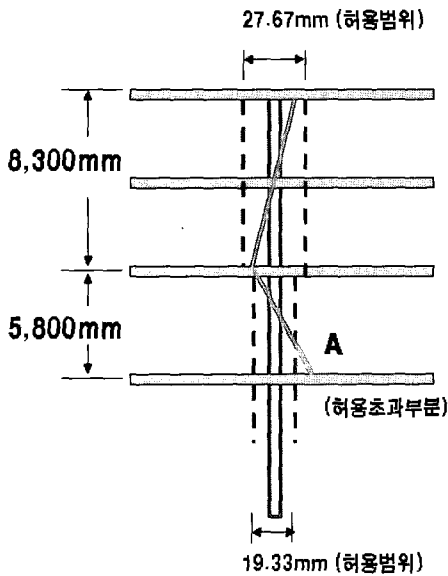
지하 2층~지하 3층의 초과범위를 초과한 기둥의 개수가 위의 층간 개수보다 상당히 많았는데, 이는 지하 2층과 지하 3층의 층고가 위층보다 2.5 m가 낮음에 따라 계산 값이 커진 것에 기인한 것으로 판단된다. 하지만, 지하 2층의 경우 나머지 층에 비해 수평·수직의 오차 변위가 큰 것으로 조사되었고, 이에 따른 원인분석과 연구는 자료의 공개에 따른 축적과 수집을 통하여 분석이 필요할 것으로 생각된다.

4.3 수직도 오차에 따른 기둥의 방향성

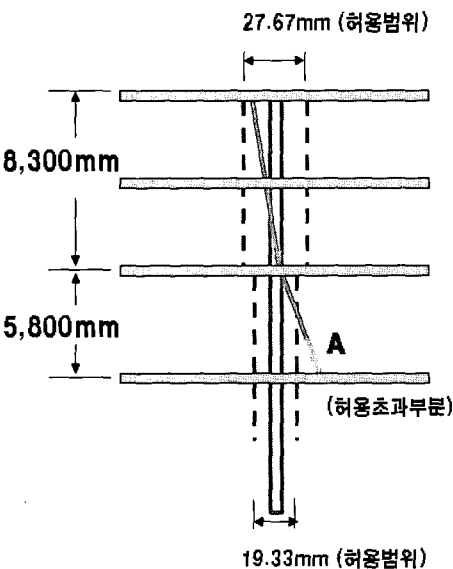
각 층마다의 상대적 변위에 의해 기둥의 기울어짐이 발생하였으나, 그 기울어짐의 방향성도 일정한 분포를 보이지는 않았다 (그림 10). PC 48번과 49번 기둥의 경우 X방향으로는 일정

한 직선을 이루는 방향성을 보이는 반면, PC 50번부터 53번까지의 기둥은 두 방향성을 보이는, 지그재그의 형태를 띠고 있다. 또한, 꺾이는 범위의 상대 변위도 2.5 mm에서 40 mm에 가깝게 나오는 등 다양하였다.

X방향의 기울어짐과 Y방향의 기울어짐의 방향성이 각 기둥마다 서로 달랐으며, 이로 인해 층의 상하부에 기둥에 걸리는 힘의 방향성이 서로 상이하게 되며 받게 되는 힘의 영향도 달라질 것이라고 생각된다. 마찬가지로, 이에 따르는 XY의 방향성이 복잡해짐에 따라 그에 따른 부가 휨모멘트의 고려사항이 중요해질 것으로 판단된다.



(a) 두 방향성을 보이는 기둥



(b) 한 방향성을 보이는 기둥

그림 10. 기둥의 방향성

수직도 오차의 허용범위를 기준으로 하여 각 층고에 대한 상대 변위의 허용 범위를 구하면 각각 27.67 mm와 19.33 mm가 나온다. 각 층고에 해당하는 상대 변위의 허용 범위 안에서

기둥의 방향은 두 가지의 방향성을 보이게 되며, 각 방향성에 따른 부가 모멘트의 영향은 서로 다르게 나타날 것으로 보인다. 74개의 기둥 가운데 35개의 기둥이 그림 10의 (a)와 같이 두 방향을 나타내었다. 특히, 허용 범위 안에 존재하다가 기둥의 일부만 허용범위를 초과하는 A부분에 대해서는 구조적인 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

5. 결론

본 연구에서는 선기둥의 수직도 오차의 발생 원인을 조사하고, 실제 현장에서의 계측 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. 자료 분석을 통해 얻을 수 있는 결론은 다음과 같은 몇 가지로 크게 나눌 수 있다.

1) 각각의 기둥마다 시공에 따른 오차가 모두 다르게 분포하였다.

층을 통틀어 X축 140 mm, Y축 88.5 mm의 최대 오차 변위가 나타났다. 이것을 바탕으로, 기둥을 시공하는 당시의 다양한 변수들에 의한 영향을 받는 것으로 분석된다.

2) 기둥의 수직도 오차는 각 층간마다 균등한 양상을 보이지 않았으며, 범위의 폭도 상당히 존재하였다.

각 층의 평균은 모두 10 mm 이상을 기록하였으며, 편차는 평균값을 웃도는 15 정도의 값을 보였다. 층과 층 사이에서도 상당한 차이를 보이고 있는데, 특히 지하 2층~지하 3층에 걸쳐 X축으로의 상대 변위가 크게 발생하였다. 전반적으로 층고가 낮은 아래층의 경우 오차의 평균이 심하였다.

3) 두개의 층 사이에서 기둥의 기울어짐의 방향성도 기둥마다 다르게 분포하였다.

방향성이 달라짐에 따라 작용하는 부가적인 휨 모멘트의 영향이 서로 달라질 것으로 생각되며, 방향성에 따른 실제 구조물에 미치는 영향도 달라질 것이라고 생각된다.

Top Down 공사를 수행함에 있어 선기둥의 수직도 오차는 위와 같이 과정상 발생할 수 있는 사항이다. 하지만, 다음의 개선 방안을 통하여 좀 더 정확한 선기둥의 수직도 확보가 이루어질 수 있을 것이다.

① 철골기둥을 현장에 반입하고, 각각의 기둥을 잇는 과정에서 철저한 관리가 필요하다.

② 기둥을 세우기에 앞서 천공을 할 때에도 천공의 크기 및 천공의 수직도 유지가 필요하다. 천공의 크기가 너무 작아 주변 공간의 여유가 부족하게 되면 철근망이나 H형강을 삽입할 때 부딪힐 우려가 있어 기둥의 수직도 관리가 어려워진다. 또한, 천공 자체가 기울어질 경우 이에 따르

는 선기둥의 수직도 역시 오차가 발생하게 된다.

- ③ 선기둥을 세우고, 자갈을 채울시 양변을 고르게 채워 이로 인한 편심의 발생을 최대한 방지하여야 한다.

현 시공현장에서 수직도 오차의 계측 자료를 확보하고, 다양한 현장에서의 자료의 수집을 통해 구조적 판단이 이루어질 수 있도록 한다.

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.

참고 문헌

1. 이용균, 조호규, 김광희, 강경인, “건축공사 흙막이 계측관리를 위한 유비쿼터스 시스템 구축 방안에 관한 연구”, 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 발표집, Vol. 4, No. 2 (2004), pp. 67-70
2. 김민석, 서장우, 박우열, 서덕석, 강경인, “지하토공사에 있어서의 건축공사 계측관리의 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
4. 신천균, 임홍철, 김승원, “Top Down 선기둥의 계측과 자료 분석” 한국건축시공학회 학술기술논문발표회 논문집, Vol. 6, No. 1 (2006), pp. 173-176
5. 강석규, 김용철, “PHC 말뚝 시공오차 보강방안”, 건설기술정보 제 32호 (2002. 7), pp. 12-22