

Top Down 선기둥의 지지력 산정방법에 관한 연구

Study on Load Carrying Capacity of Top Down Prefounded Columns

황 희 선*

Hwang, Hee-Sun

임 흥 철**

Rhim, Hong-Chul

Abstract

As underground construction is a large component of the cost of construction and a term of works in Top-Down construction, it is important to reduce the term of works in underground construction. The purpose of this study is to analyse buckling stress and load of prefounded columns as the process of excavation is changed, and propose a suitable process of excavation to increase the speed of works. When several floors are excavated, the valid buckling length of prefounded column is increase and allowable buckling stress is decreased. The result shows that all columns are safe in buckling down to B3th story whether 2 stories or 3 stories are excavated straightly. However, several columns are not safe from B4th story when 2 or 3 stories are excavated straightly. With these results, a process can be designed that first B3 stories are excavated straightly, and then excavate B4th story putting concrete on B1st and B2nd story.

키 워 드 : 탑다운 공사, 선기둥 좌굴, 지하공사, 굴착방법

Keywords : Top-Down Construction, Buckling of Prefounded Column, Underground Construction, Process of Excavation.

1. 연구 배경과 필요성

최근 도심지 공사에서 Top-Down공법을 적용하여 시공하는 사례가 늘고 있다. 도심지에서는 주위 건물이 밀집되어 있고 여러 시설들이 매입되어 있는데다가, 지하공사의 규모가 대형 화합에 따라서 기존의 터파기 공사로는 한계가 있고, 주위 공지를 확보하기 힘들다. 그런 점에서 공기를 단축할 수 있고, 지하 공사 시 주변 지반의 변위와 피해가 최소화 되며, 초기 작업장, 자재 적재장 등의 공간을 확보에 용이한 Top-Down공법은 현 도심지 공사에서 활발히 적용되고 있다.

현장의 주어진 조건에 따라서는 Top-Down공법을 선정해야 하는 경우가 있다. 이 경우 다양한 시공방법과 순서에 따라서 공기를 상당히 단축시킬 수 있다. Top-Down공사에서는 지하공사가 중요한데, 지하공사에서는 횡부재 보다는 수직부재에 의해 공기가 좌우된다. 수직부재인 선기둥의 좌굴응력이 허용하는 한 몇 개 층씩 시공하는 것은 지하공사에서의 효율성 면에서 유리하고 경제성도 높이며, 공사품질 확보에도 도움이 된다.

Top-Down공사에서 공기와 공사비에 가장 큰 비중을 차지하는 지하공사에서의 시공속도를 높이기 위해서는 여러 개의 층을 동시에 시공하여 흠파기의 적정 층고를 확보하고 콘크리트 경화 시간을 줄여야 한다. 여러 층을 한 번에 굴착할 경우 선기둥이 슬래브에 의한 지지 없이 노출되기 때문에 좌굴에 대한 위험이 증가한다.

* 연세대학교 건축공학과 학사과정, 정회원

** 연세대학교 건축공학과 교수, 정회원

본 연구에서 실제 현장의 선기둥의 좌굴하중을 해석하여 다층 동시 굴착의 가능성을 확인하였다.

2. 선기둥 해석

- 1) 좌굴길이를 취함에 있어서 Top-Down선기둥에 쓰이는 철골기둥은 슬래브 및 기초에 비해 강성이 현저히 작으므로 철골기둥의 상하부는 이동이 구속된 것으로 생각한다. 상부는 콘크리트에 매입되어 있으므로 고정단으로 보고 하부는 굴착구멍에 채운 쇠석자갈로 인하여 Pin상태에 근사하므로 Pin으로 가정한다.
- 2) 철골기둥은 Top-Down공사 중의 계획된 시공하중만을 지지하는 가설용 기둥이므로 작용하중은 시공하중만을 축하중으로 받는 것으로 한다.
- 3) 공정 속도는 1개 층씩 굴착 시에는 지하1개 층 당 지상3개 층 시공 완료, 2개 층씩 굴착 시에는 지하1개 층 당 지상5개 층 시공 완료, 3개 층씩 굴착 시에는 지하1개 층 당 지상 7개 층 시공 완료 하는 것으로 가정한다.
- 4) 응력 산정에 대한 기본 조항은 AISC 시방서의 E장 LRFD 설계법을 따른다.
- 5) 하중과 기둥은 현재 서울 시내에서 건설 중인 현장을 참고하였고 코어부분의 기둥을 제외한 15가지 기둥 중에서 부재의 단면 크기와 위치에 따라 A, B, C 세 가지 타입으로 분류하여 분석하였다.
- 6) 기둥 분류

	상부 구조물 유무	평면상의 위치
A type	유	후면 내측
B type	유	상부구조물 전면 외벽
C type	무	



사진 1. 지하 1층 굴착 모습

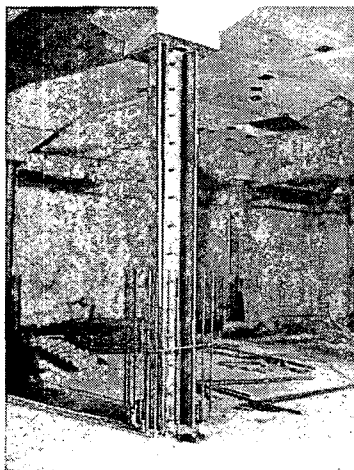


사진 2. 지하 3층 기둥

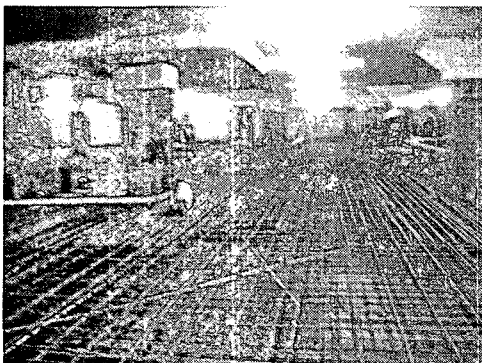


사진 3. 지하 4층 철근 배근

2.1 1개 층씩 굴착경우 허용 및 작용응력

1개 층씩 굴착할 때에 각각의 기둥에 대해서 허용좌굴응력과 작용응력을 비교해 보았다. 유효좌굴길이는 각 층의 층고가 된다. 각 층의 층고가 비슷하기 때문에 허용좌굴응력은 층에 따른 변화가 거의 없다. 그러나 지하로 깊이가 내려갈수록 지상

구조물의 공사가 진행되기 때문에 작용응력은 점점 커진다. 결과를 보면 가장 큰 하중이 작용하는 지하 6층에서도 모든 타입의 기둥이 $900\sim 1600\text{ kgf/m}^2$ 의 여유가 있다. 이것으로 선기둥 구조 설계 시 큰 안전율이 적용되는 것을 알 수 있다.

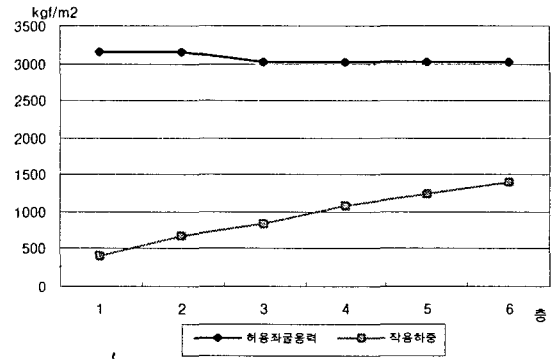


그림 1. 1개 층씩 굴착 시 A type기둥 응력 비교

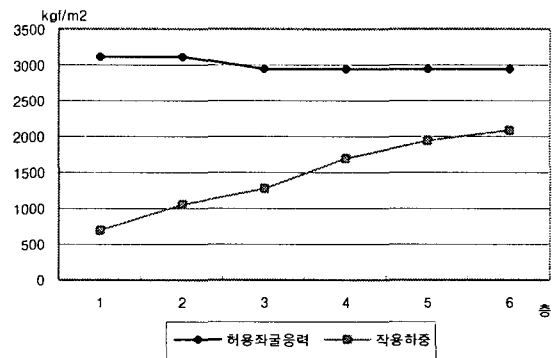


그림 2. 1개 층씩 굴착 시 B type기둥 응력 비교

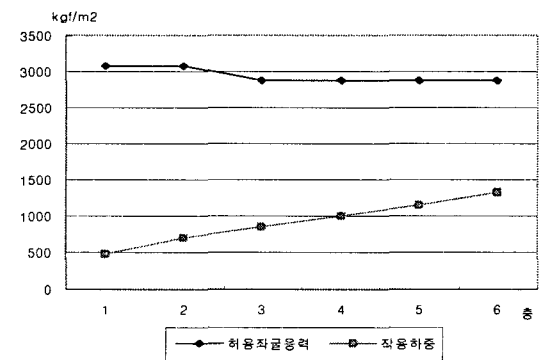


그림 3. 1개 층씩 굴착 시 C type기둥 응력 비교

2.2 2개 층씩 굴착경우 허용 및 작용응력

지하 1~2층, 지하3~4층, 지하5~6층으로 나누어 2개 층씩 굴착하는 경우에 대해서 응력을 비교했다. 이때의 유효좌굴길이는 두 개 층의 층고를 합한 높이가 된다. A 타입과 C 타입의 기둥은 가장 불리한 지하 5~6층 구간에서도 허용좌굴응력이 작용응력보다 $900\sim 1000\text{ kgf/m}^2$ 커서 안전한 결과를 보였다. 그러나 B 타입 기둥의 경우 지하1~2층, 지하 3~4층에서는 문제가 없었지만 지하 5~6층의 구간은 작용응력이 허용응력보다 크게 나타났다.

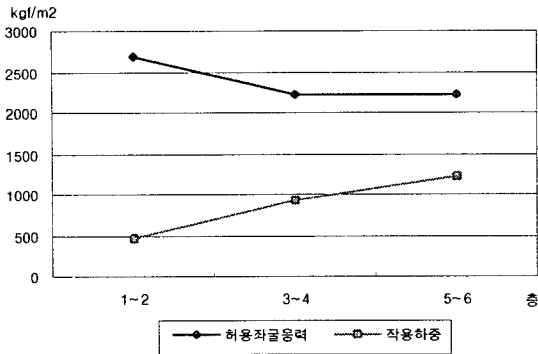


그림 4. 2개 층 씩 굴착 시 A type기둥 응력 비교

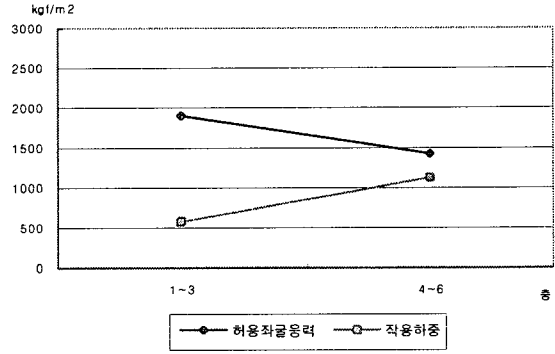


그림 7. 3개 층 씩 굴착 시 A type기둥 응력 비교

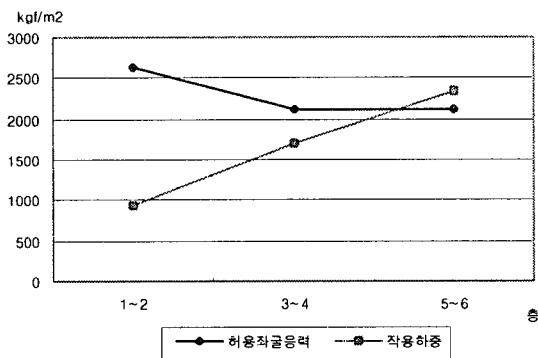


그림 5. 2개 층 씩 굴착 시 B type기둥 응력 비교

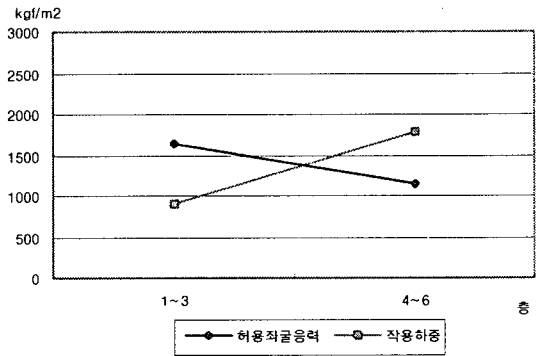


그림 8. 3개 층 씩 굴착 시 B type기둥 응력 비교

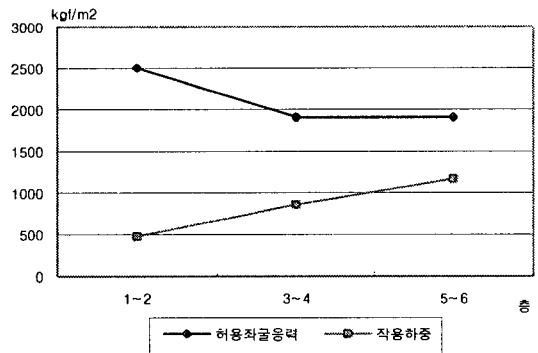


그림 6. 2개 층 씩 굴착 시 C type기둥 응력 비교

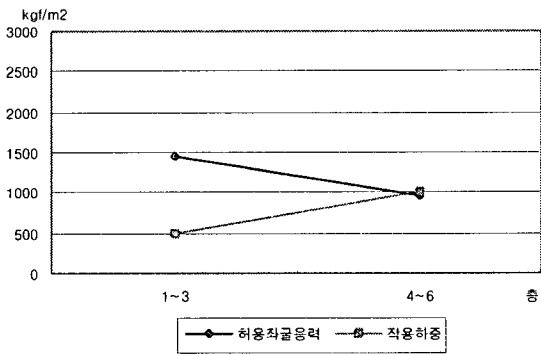


그림 9. 3개 층 씩 굴착 시 C type기둥 응력 비교

2.3 3개층씩 굴착경우 허용 및 작용응력

지하 1~3층, 지하 4~6층으로 나누어 3개 층씩 굴착하는 경우에 대해서 비교하였다. 유효좌굴깊이는 3개 층의 층고를 합한 높이이다. 3개 층씩 굴착할 경우 지하 1~3층의 구간에서는 모든 기둥이 안전치를 나타내었으나 지하 4~6층의 구간에서는 B 타입과 C 타입의 기둥이 허용응력보다 큰 응력을 받는 것으로 나타나 좌굴에 대해 안전하지 않다.

3. Top-Down 지하 공사 시 다층(多層) 동시 굴착 순서 제안

3.1 응력 비교 결과에 따른 다층 동시 굴착 가능성

모든 기둥이 지하 3층까지는 2개 층씩 굴착하는 것뿐만 아니라 3개 층씩 굴착하는 것에 대해서도 안전치를 나타내었다. 그러나 그 이하로 내려가면 그 때에는 지상층 구조물의 하중도 증가하기 때문에 지하 기둥의 부담이 커진다. 2개 층씩 굴착에 대한 결과를 보면 대부분의 기둥은 안전치를 나타내는 데에 비해 C11과 C10기둥이 불안정한 결과를 보였다. 이것은 C11과 C10 기둥이 외벽에 접해있는 기둥이라서 압에 의한 횡하중이

작용하기 때문으로 보인다. 이 경우 단일 설계 시 부터 2개 층
동시 굴착을 고려하면 C11과 C10 기둥에 대해 보강을 하거나
더 큰 단면의 형강을 사용할 수 있다.

3.2 굴착 순서 제안

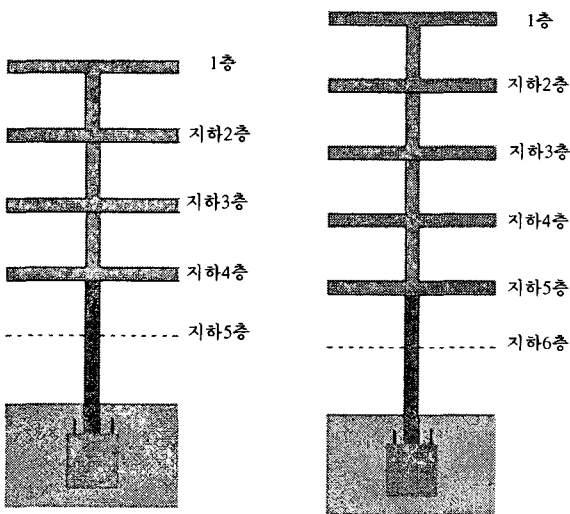
현재 설계되어 있는 기둥의 조건을 바꾸지 않는 상황 하에
서 안전하면서도 공기를 단축할 수 있는 굴착 순서를 제안하고
자 한다.

3.2.1 지하 1층 ~ 지하 3층

응력 비교 결과 모든 기둥이 지하 1층부터 지하3층 까지는
3개 층 동시 굴착의 경우에는 안전하다는 결과가 나왔으므로
지하 1층부터 3층까지는 한 번에 굴착이 가능하다. 이 기간에
지상 층은 2층부터 8층까지 7개 층의 공사가 진행된다.

3.2.2 지하 4층 ~ 지하 6층

지하 4층부터는 지상층 구조물과 지하층 구조물의 하중으로
인해 선기둥에 부담되는 응력이 커진다. 그러므로 3개 층씩 굴
착하게 되면 작용응력이 허용좌굴응력을 초과해 안전하지 못
하다. 그러므로 지하 4층부터는 1개 층씩 굴착이 진행된다. 아
래 그림에서 보듯이 지하 4층을 굴착할 때에는 지상은 9~11층
의 3개 층 공사가 진행되며 지하부분은 지하 1층과 2층만 콘크
리트를 타설하고 지하 3층은 콘크리트를 타설하지 않는다. 그
렇게 되면 지하 4층 굴착 시 2개 층의 층고가 확보되기 때문에
굴착기기의 작동이 용이해져서 굴착속도가 증가한다. 또한 좌
굴길이도 2개 층 높이로 줄어들기 때문에 좌굴에 대해 안전하
다. 그 다음 지하 5층 굴착 시에는 지상은 12~15층의 3 개 층
공사가 진행되며 지하 부분은 지하 3층 콘크리트를 타설한다.
마찬가지로 지하 6층도 지하 4층 콘크리트 타설과 굴착을 함께
진행한다. 지상층은 16~18층의 작업이 완료된다. 굴착이 완료
된 후 지하 5층과 6층의 콘크리트를 동시에 타설한다.



① 지하 5층 굴착 ② 지하 6층 굴착
그림 11. 굴착 순서

4. 결 론

- 1) 1개 층 씩 굴착 시에는 모든 층에서 허용좌굴응력이 작용
응력보다 평균 1000 kgf/m^2 크다. 이것으로 탑다운 선기
둥이 큰 안전율을 가지고 설계된다는 것을 알 수 있다.
- 2) 2개 층 씩 굴착 시에는 지하 1~2층, 지하 3~4층의 구간에
서는 모든 기둥이 허용좌굴응력이 작용응력보다 커서 안
전하였으나 지하 5~6층의 구간에서는 일부 기둥의 작용응
력이 허용응력보다 커져서 위험하였다.
- 3) 3개 층 씩 굴착 시에는 지하 1~3층 구간은 모든 기둥이
안전하나, 지하 4~6층 구간에서는 50%의 기둥이 위험함을
보였다.
- 4) 응력비교결과를 토대로 좌굴에 안전하면서도 시공성을 확
보할 수 있는 굴착 방법을 제안하였다. 처음 3개 층은 작
용 응력이 허용 응력보다 작으므로 지하 1~3층의 3개 층
을 동시에 굴착한다. 지하 4층 굴착 시 지하 1, 2·층만
콘크리트를 타설하여 굴착에 필요한 층고를 확보한다. 그
후에는 한층 씩 굴착과 콘크리트 타설을 병행하여 완료한
다.
- 5) 앞으로 이 현장 뿐 아니라 다른 현장의 경우에 대해서도
더 많은 연구가 이루어져야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부가 출연하고, 한국건설교통기술평가원
에서 시행한 2005년도 건설핵심기술 연구사업 공기단축형 복
합구조시스템 건설기술 (과제번호: 05 RND 건설핵심 D02-01)
의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 토목공법연구회, 튼튼한 공법-구조와 시공-, 도서출판 일광, 2003
2. 이동희, 탑 다운 공법 시공, 기문당, 2001
3. Top-Down 공법의 연구, 포스코개발주식회사, 2001
4. Manual of Steel Construction LRF D Code : E2-4
5. Manual of Steel Construction LRF D Code : E2-2