

국내외 초고층 건축물의 대단면 매트기초 시공사례와 분석

Case Study on Mega Foundations of Domestic and Foreign Super High-Rise Buildings

박 영 석* **이 해 출**** **김 경 민***** **조 창 식*** **임 흥 철******
 Park, Young Seok Lee, Hai Chool Kim, Kyoung-Min Cho, Chang-Shik Rhim, Hong Chul

Abstract

This paper describes the possibility of the raft thickness reduction for mega foundations system of super high-rise buildings through a case study on domestic and foreign super high-rise buildings. In case of super high-rise buildings, the size of foundations, especially raft becomes wider and deeper because of heavy upper load. It is difficult to pour concrete of this kind of mega foundation, and cracks by hydration heat could happen. Therefore, there are several ways to reduce the raft thickness of mega foundations. Piled-raft could be the one because moment and shear load that the raft subjects on by soil reaction are lower. The effect of the piled-raft foundation on the raft thickness reduction could be confirmed by comparison of super high-rise buildings with pile, piled-raft and mat foundation. Furthermore, it was showed that the raft thickness could be more reduced by locating piles right under the vertical members of super structures.

키 워 드 : 초고층 건물, 매트기초, 말뚝지지전면기초, 매트 최적화
Keywords : Super High-Rise Buildings, Mat Foundation, Piled-raft Foundation, Optimization of mat design

1. 서 론

도시의 인구 증가에 따른 토지 효율의 극대화와 더불어 건축물의 높이가 그 나라의 국가 경쟁력으로 평가됨에 따라, 최근 초고층 건축물의 수요가 증가하고 있다. 실제로 초고층 건축물은 1930년에 처음 등장하였지만, 지난 10년간 시공된 초고층 건물의 수가 전체 초고층 건물의 절반 이상(52%)을 차지한다는 사실이 이를 반증해준다.

건물이 초고층화 되면 기존 중·저층 건물에 비해 상부하중이 증가하게 되고, 이것을 지지하는 기초의 크기 또한 변하게 된다. 특히 매트기초는 초고층 건물이 되면서 면적이 넓어지고 두께가 두꺼워지는 대단면 형상을 보인다.

대단면 기초는 기존 중·저층 건물과 달리 연성거동형태를 보일 수 있으므로 이를 고려하여 해석을 할 필요가 있다 (Briaud, J. L. et al, 2007).

또한 대단면 기초는 시공시 일체 타설의 어려움이 발생할 뿐만 아니라, 매트 두께가 두꺼워 수화열에 따른 균열을 유발할 수 있다. 이것을 해결하기 위해 고강도 콘크리트 혹은 기초보강재를 사용한 매트두께 저감 공법 및 수화열 저감을 위한 파이프 쿨링 공법 등이 적용되고 있다.

시공적인 측면뿐 아니라 매트 두께를 줄이기 위한 기초설계단계에서의 노력도 이어지고 있다. 기초형식 중, 말뚝지지 전면기초(Piled-raft)는 말뚝과 매트가 동시에 하중을 분담하는 기초형식으로 (이승현 외 3인, 2003) 매트의 두께를 줄일 수 있는 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

이에 본 연구에서는 국외 Piled-raft 기초 사례를 중심으로 초고층 건물의 매트두께 저감 가능성을 검토하였다.

2. 국내외 초고층 건물의 매트두께 비교

2.1 연구의 범위

본 연구에서 초고층 건물은 CTBUH(국제 고층건물학회, Council of Tall Building and Urban Habitat)에 따라 높이 200m 이상, 50층 이상, 세장비가 5 이상인 건물을 의미한다.

* 연세대학교 건축공학과 석사과정, 정회원
 ** (주)선진엔지니어링 종합건축사사무소 상무, 정회원
 *** 연세대학교 건축공학과 연구교수, 정회원
 **** 연세대학교 건축공학과 교수, 정회원
 본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 첨단도시개발사업(과제번호 : 09CHUD-A052272-01)의 지원사업으로 이루어진 것

2.2 국내의 초고층 건물의 매트두께 비교

국내의 경우, 비교적 얇은 깊이(서울: 10~15m)에서 풍화암이 나타나는 단단한 지반이므로 지반지지 매트기초로 설계가 가능하기 때문에 매트기초가 많은 반면, 초고층 건물이 많이 분포된 국외의 경우 연약지반에 주로 초고층이 세워지기 때문에 Pile 기초 혹은 Piled-raft 기초가 적용되는 경우가 많다. 국내의 초고층 건물은 건물높이가 낮음에도 불구하고 매트 두께가 비교적 두껍게 분포함을 알 수 있다(그림1 참조).

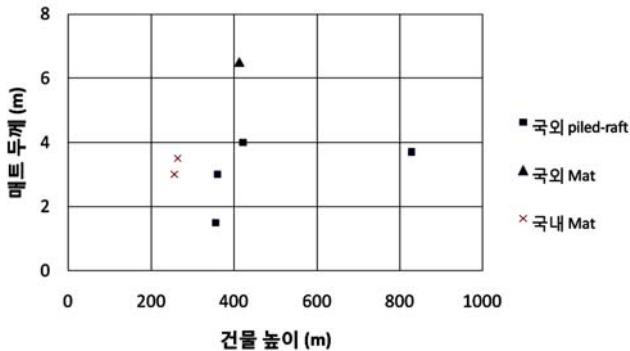


그림 1. 국내의 초고층 기초의 건물 높이에 따른 매트 두께((3~8))

3. 국외 초고층 건축물의 기초 시공사례 분석

Piled-raft 기초는 Mat 기초, Pile 기초에 비해 기초를 최적설계를 함으로써 지반으로부터 매트에 작용하는 전단력, 모멘트 등을 줄일 수 있기 때문에 매트의 두께를 줄이는데 효과가 있는 것으로 판단된다.

3.1 매트기초와 Piled-raft 기초 비교

건축규모 및 지반조건이 비교적 비슷한 초고층 건물 중 매트기초를 갖는 Two international finance centre와 Piled-raft 기초의 Jinmao building을 비교하면(표 1 참조), 매트의 두께가 약 1.6배정도 차이가 발생함을 알 수 있다. 이것은 지반지지 매트기초에 비해 Piled-raft 기초가 매트두께를 저감하는데 있어 더 효과 있음을 보여주는 자료라 할 수 있다.

표 1. 매트기초와 Piled-raft 기초 비교

건물명	Two international finance centre	Jinmao building[5]
소재지	홍콩	상하이
건물용도	사무실	사무실
높이	412m	421m
층수	88층	88층
재료	composite	composite
기초형식	매트기초	Piled-raft 기초
매트두께	6.5m	4m

3.2 Pile 기초와 Piled-raft기초 비교

Almas tower와 Emirates tower one를 비교해 보면(표 2 참조) 비슷한 지역, 높이임에도 불구하고 기초형식의 차이로 인해 매트두께가 1.5m의 차이가 나는 것을 알 수 있는데, 이는 매트와 말뚝이 하중을 나누어 분담함으로써 나타나는 Piled-raft 기초의 효과라고 보여 진다.

표 2. Pile 기초와 Piled-raft 기초 비교

건물명	Almas tower[6]	Emirates tower one[7]
소재지	두바이	두바이
건물용도	사무실	사무실
높이	360m	355m
층수	68층	54층
재료	concrete	composite
기초형식	Pile 기초	Piled-raft 기초
기준층 면적	약 1,556m ²	약 1,375m ²
매트두께	3m	1.5m

3.3 말뚝의 최적 배치를 통한 매트 두께 저감

Piled-raft 기초는 말뚝을 지상의 수직부재와 연결하여 배치함으로써 매트의 두께를 줄일 수도 있다. 지상부 수직부재와 말뚝이 일치하지 않으면, 매트에 전단력이 발생하여 매트두께가 두꺼워진다. 실제로 Emirates tower(그림2-a 참조)는 4.5m의 깊은 벽 아래 말뚝을 배치함으로써 불과 1.5m의 매트로 건물을 지지하게 된다. Burj khalifa(그림2-b 참조) 또한 지상부 수직부재 아래 말뚝을 배치함으로써 매트 두께를 3.7m로 줄일 수 있었다(Poulos, H. G. and Bunce, 2008).

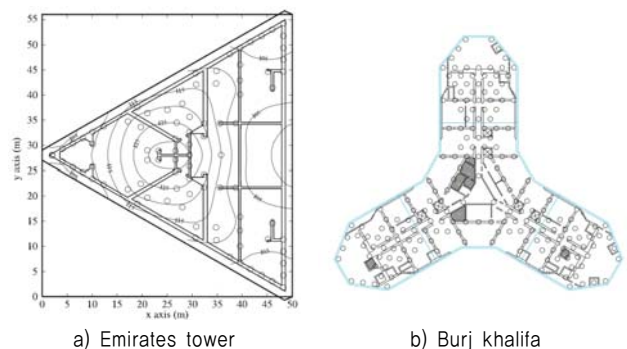


그림 2. Piled-raft 기초에서 Pile의 배치 형태

4. 결 론

초고층 건축물의 대단면 매트기초는 콘크리트의 일체타설의 어

려움과 수화열 발생 등의 문제를 갖고 있다. 이에 따라 이전부터 고강도 콘크리트, 기초보강재 등을 사용하여 기초의 두께를 줄이려는 시도가 있어 왔다.

본 연구에서는 국내의 초고층 대단면 매트기초의 시공사례 분석을 통해 Piled-raft 기초를 중심으로 기초형식에 따른 매트 두께 저감 효과를 확인하였다. 또한 말뚝을 상부 수직부재와 일치하여 배치함으로써 매트 두께를 더욱 최적화 할 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

1. 이승현, 권오균, 오세봉, 김병일, 말뚝지지 기초판의 하중분담 (Load Distribution of Piled Raft), 대한토목학회논문집C, 제23권 제3호, pp.143~150, 2003,5
2. 정순원, 초고층 주거건물 시공사례-목동 현대 하이페리온, 대한건축학회지, 제48권 제10호, pp. 82~86, 2004,10
3. 홍건호, 김원식, 박용목, 백두환, 도곡동 타워펠리스 매트 기초에 적용된 매스 콘크리트 시공 사례, 콘크리트학회지, 제13권 제1호, pp. 31~36, 2001,1
4. Briaud, J. L., Nicks, J., Rhee, K., and Stieben, G., San Jacinto Monument Case History, ASCE Journal of Geotechnical and geoenvironmental engineering, Vol,133, No.11, pp.1337~1351, November 2007
5. Gong, J., Zhao, X., Zhang, B., Prediction of behavior of piled raft foundation for shanghai world financial center of 101-storey using comparison concept, Sixth International Conference on Tall Buildings Mini Symposium on Sustainable Cities Mini Symposium on Planning, Design and Socio-Economic Aspects of Tall Residential Living Environment, Hong Kong, China, pp.233~240, December pp.6~8, 2005
7. Poulos, H. G. and Davids, A. J., Foundation design for the Emirates Twin Towers, Dubai, Journal of Canadian Geotechnical, Vol.42, No.3, pp.716~730, June 2005
8. Poulos, H. G., Bunce, G., Foundation Design for the burj dubai-the world's tallest building, 6th International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering, Arlington, VA, August 11~, 2008
9. Shahdadpuri, C., Mehrkar-Asl, S., Chandunni, R. E., DMCC Almas Tower-Structural Design