

양방향 고유압 말뚝재하시험(BDH PLT)을 이용한 초고층 건축물의 대구경 현장타설말뚝 설계절차에 관한 연구

A Study on the Design Procedure of Mega Foundations for a High-rise Building Using Bi-Directional High Pressure Pile Load Test (BDH PLT)

김 성 호¹⁾ · 최 용 규[†]

Kim, Sung-Ho · Choi, Yongkyu

ABSTRACT : In this paper, a case of a high-rise building supported by a large-diameter drilled shaft socketed in a weathered ground has been studied. The design case of pile foundation presented in this paper could be a representative example of execution of pile design through three(3) design stages of “preliminary design-proof test-supplementary design”. As proof test, two(2) BDH PLT (Bi-directional High Pressure Pile Load Test) were performed at the early construction stage. By following the design process of this way, the economic pile design could be carried out and a large amount of construction cost saving could be realized.

Keywords : High-rise building, A large-diameter drilled shaft, Weathered ground, Three(3) stages design procedure, BDH PLT (Bi-directional High Pressure Pile Load Test), Construction cost saving

요 지 : 본 논문에서는 초고층 건축물이 풍화대지반에 위치하여 대구경 현장타설 말뚝기초로 지지되고 있는 사례를 분석하였다. 본 논문에서 제시한 말뚝기초의 설계 사례는 “예비설계-검증시험-예비설계의 보완”의 3단계를 거쳐 말뚝기초의 설계를 완성한 대표적인 사례로 볼 수 있으며, 검증시험으로 2회의 양방향 고유압 말뚝재하시험이 수행되었다. 이와 같은 설계절차를 준수할 경우 말뚝기초의 경제적인 설계를 수행할 수 있으며, 이를 통하여 말뚝기초 공사비의 대폭적인 절감을 이룰 수 있을 것이다.

주요어 : 초고층건축물, 대구경현장타설말뚝, 풍화대, 3단계 설계절차, 양방향고유압말뚝재하시험, 공사비절감

1. 서 론

최근 상당수의 초고층 건축물이 계획되고 있으며, 이에 따라 매우 큰 하중을 안전하게 지지할 수 있는 대형기초가 요구된다. 초고층 건축물의 대형 기초는 큰 하중으로 인하여 변위가 발생되며 이러한 거동이 다시 상부구조물에 영향을 미친다. 따라서 기초와 상부구조물의 구조적 상관해석이 필요하다. 본 연구에서는 종래 지지력 중심의 설계에서 최근 변위에 기반을 두는 거동 중심의 설계로 전환하는 경향을 고려하여(Mandolini 등, 2005) 건축 상부구조물과 기초와의 관계를 살펴보았다.

본 논문에서는 초고층 건축물이 풍화대지반에 위치하여 대구경 현장타설 말뚝기초로 지지되고 있는 사례를 분석하였다. 본 논문에서 제시한 말뚝기초의 설계사례는 “예비설계-검증시험-예비설계의 보완”의 3단계((사)대한토목학회, 2001)를 거쳐 대구경 현장타설 말뚝기초의 설계를 완

성한 대표적인 사례로 볼 수 있으며, 이와 같은 설계절차를 준수할 경우 경제적인 설계를 수행할 수 있으므로 말뚝기초 공사비의 대폭적인 절감을 이룰 수 있을 것이다.

2. 초고층 건축물의 대구경 현장타설말뚝 설계 절차

초고층 건축물의 말뚝기초로는 대체로 대구경 현장타설 말뚝을 사용하며 국내에서는 RCD(Reverse circulation drill) 공법에 의해 시공되는 풍화대 또는 암반소켓말뚝을 주로 사용한다. 대구경 현장타설 말뚝기초의 설계는 크게 연직 하중과 수평하중으로 구분하여 이루어 지는데, 각각의 경우 외말뚝에 대한 분석과 군말뚝에 대한 분석도 수행하여야 한다. 전반적인 설계 흐름은 그림 1에 나타내었다.

대구경 현장타설 말뚝의 거동(지지력, 침하 및 수평변위 등)은 상부구조물의 거동에 영향을 미치므로 이에 대한 평

1) 비회원, 진영이앤씨 대표

† 정회원, 경성대학교 건설환경공학부 교수(E-mail : ykchoi@ksu.ac.kr)

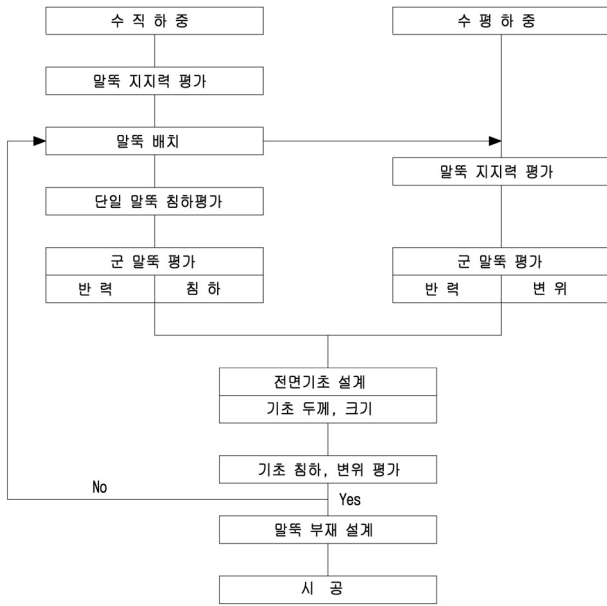


그림 1. 초고층 건물의 말뚝기초 설계 흐름도

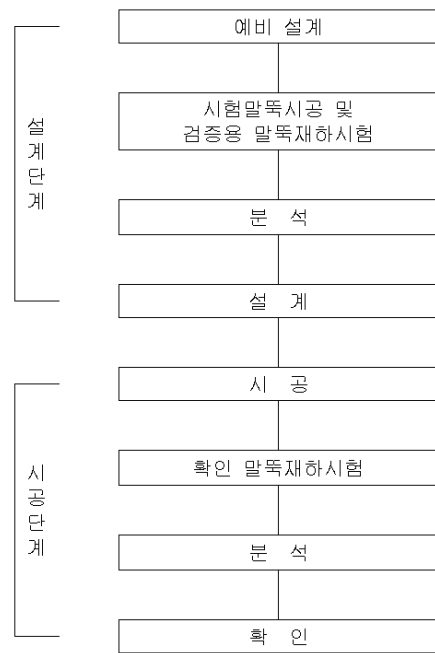


그림 3. 말뚝재하시험의 흐름도

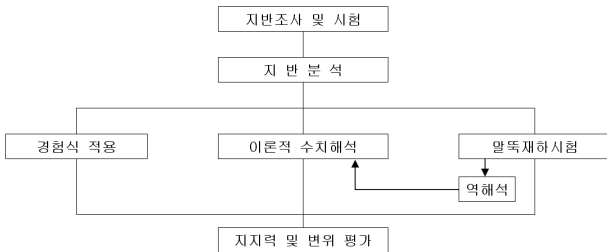


그림 2. 말뚝기초 해석방법

가가 건축설계에서 중요하다. 대구경 현장타설 말뚝의 설계방법은 이론 및 경험에 의한 해석적 방법과 말뚝재하시험에 의한 평가 방법이 있다(그림 2).

말뚝재하시험에서는 하중-변위의 관계를 도출할 수 있어 경험적인 접근과 이론적 수치모델의 한계성을 극복할 수 있다. 따라서 말뚝설계를 좀 더 실제와 근접하게 하여 초고층 건축물의 대형기초의 거동을 좀 더 실제적으로 예측할 수 있고 기초설계의 신뢰도를 높일 수 있다. 또한 말뚝재하시험 결과를 역해석하면 좀 더 정확한 지반의 하중-변형 특성을 도출할 수 있고, 이를 이론적 수치해석 시 지반의 물성자료로 사용하여 해석의 정확성을 향상시킬 수 있다. 말뚝재하시험 방법에는 말뚝두부에서 재하하는 방법과 유압실린더를 말뚝내부에 설치하여 시행하는 양방향 말뚝재하시험방법이 있으며, 대구경 현장타설말뚝과 대단면 바레트말뚝의 경우 최근에는 간편하고 경제성이 높은 양방향 말뚝재하시험이 주로 적용되고 있다(김성호 등, 2006). 말뚝재하시험은 설계에 적극 활용하기 위하여 설계단계에서 수행하는 것이 유리하며, 시공단계에서는 설계된 말뚝의 거동을 확인하는 확인시험으로 시행된다(그림 3).

양방향 말뚝재하시험 기준 및 방법들은 말뚝의 선단재

하시험 방법(JGS 1812-2002)(日本地盤工學會, 2002), 건축기초구조 설계기준(대한건축학회, 2005), 양방향 말뚝재하시험 기준(한국지반공학회 기초기술위원회 & 국제지반공학회 ATC 18, 2007), 도로교 설계기준 해설(대한토목학회 & 교량설계 핵심기술연구단, 2008) 등에 상세하게 설명되어 있다.

3. 초고층 건축물의 대구경 현장타설말뚝 설계 절차 분석

3.1 지층 개요

송도 신도시는 해성 퇴적층 위에 준설 매립된 지반에서 개발이 진행되고 있으며, 이중 A2 단지에 68층의 OOOO가 건설되고 있다. 본 부지의 지층은 상부로부터 준설매립층(두께 6m), 실트 및 점토성분이 주를 이루는 해성퇴적층(두께 22m), 풍화잔류토층(두께 7m), 풍화암층으로 구성되어 있다(표 1). 지반은 흑운모 화강암을 근간으로 편암이

표 1. 대상현장의 지층 요약

시추 위치	지층요약						
	준설매립	해성퇴적	풍화토	기반암			
				HWR ¹⁾	MWR ²⁾	SWR ³⁾	FSR ⁴⁾
TB-1	5.7m	22.8m	7.0m	12.5m	14.3	11.7	7.0
TB-2	6.6m	22.2m	7.2m	9.1m	4.3	11.0	-
TB-3	6.5m	22.3m	4.8m	13.8m	30.7	-	-

주) ¹⁾ Highly weathered rock, ²⁾ Moderately weathered rock, ³⁾ Slightly weathered rock, ⁴⁾ Fresh soft rock

관입되어 있으며 화강암의 입자구성은 조립에서 세립까지 다양하게 관찰되었다. 관입접촉 정도에 따라 파쇄대가 발달하였으며 강도 및 풍화도가 매우 불규칙한 상태로 조사되었다.

표 2. 대상현장의 암석 시험결과 요약

구분	특성	1축압축강도 (MPa)	MWR의 마모율 (%)
평균		37 (SWR)	36.4
		4.9 (MWR)	
표준편차		14 (SWR)	3.1
		1.6 (MWR)	

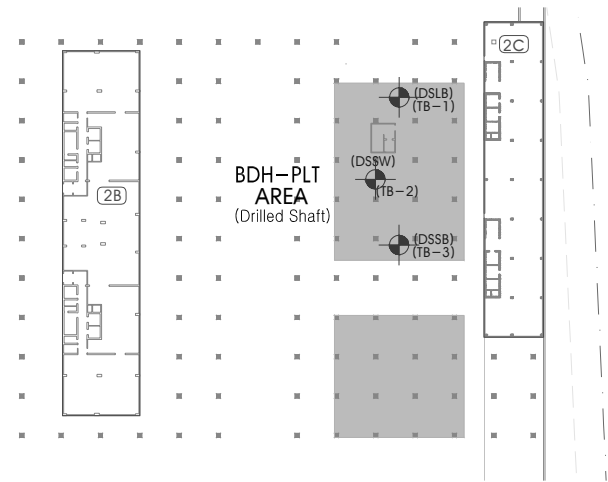
주) 마모도 시험 후 손실입자의 입도 시험결과 입경은 중간~굵은 모래이며, #200체 통과율은 4%임.

대상현장에서 측정한 풍화암에 대한 일축압축강도와 마모도에 대한 실험값을 표 2에 요약하였다.

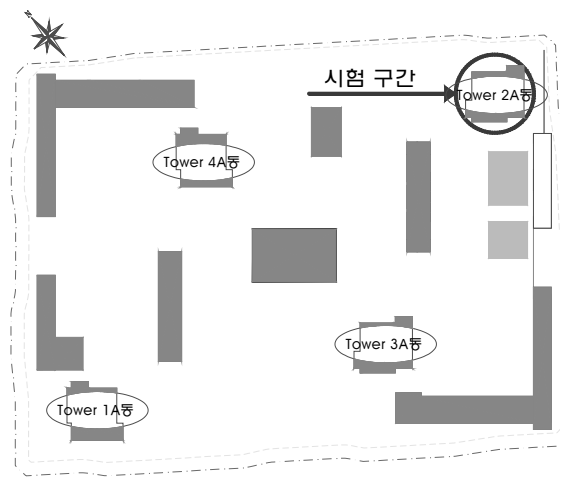
3.2 예비설계 수행

초고층 건축물의 대구경 현장타설말뚝의 설계를 위한 시험말뚝 시공 및 양방향 말뚝재하시험은 별도로 수행하지 않았고, 지층조건이 당 부지와 유사한 인접 125 블록(그림 4)의 시험결과를 이용하여 예비설계를 수행하였다. 예비설계에서 사용한 시험말뚝 위치의 지층과 양방향 말뚝재하시험 결과를 그림 5에 나타내었다.

설계하중 30MN에서 풍화암층에 소켓된 구간의 주면마찰지지에 의한 변위량은 2~4mm로 매우 작게 측정되었

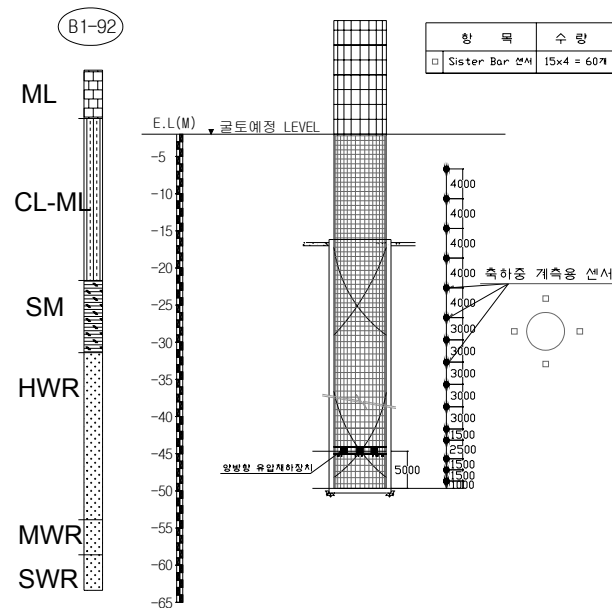


(a) 지반조사 위치

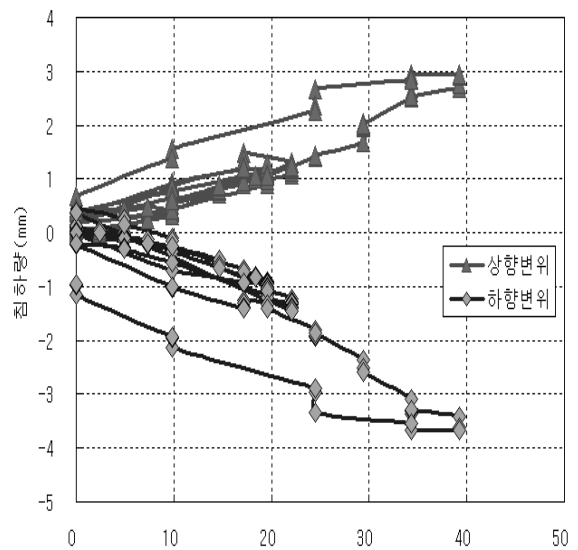


(b) 건물 배치도

그림 4. 설계단계에서 참조한 시험말뚝의 시공 위치 및 지반조사 위치도(경성대학교 지반공학연구소, 2006)



(a) 지층 및 재하장치 설치도



(b) 재하시험 결과

그림 5. 예비설계 시 참고한 양방향 고압압 말뚝재하시험 결과 및 지층

다. 이에 대하여 지반의 변형계수를 시험으로부터 역해석 평가하기 위하여 Randolph(1986)가 개발한 말뚝전용 Code 인 Piglet을 사용하였으며 이 프로그램은 말뚝과 지반의 상대적 변위가 없다는 가정으로 탄성론에 의거하여 말뚝의 거동을 평가할 수 있도록 개발되었다. 풍화암반에 근입된 동일한 길이의 말뚝에 설계하중 30MN 재하시 산정되는 침하량으로부터 풍화암반의 변형계수를 시행오차법으로 산정 하였으며 전단 변형계수(G)는 각각 700, 5,000MPa로 평가 되었다. 또한 토사부의 말뚝 부재는 재하하중에 대하여 탄 성거동을 한다고 가정하면 단일 말뚝의 강성은 표 3과 같 이 평가되었다.

Piglet 프로그램으로 역산한 암반의 변형계수의 상한값과 하한값이 약 7배의 차이를 나타내고 있는 데 반하여 말뚝 수직 강성의 상한값과 하한값이 약 1.2배의 미소한 차 이를 나타내고 있는 데, 이는 풍화암의 차별풍화로 인하여 상대적으로 덜 풍화된 암반의 영향으로 양방향 말뚝재하 시험 시 발생된 실제 변위가 매우 적게 된 것으로 사료되

표 3. 예비설계 단계에서 참조한 시험말뚝에 대한 수직강성 평가 결과

상한값(MN/m)	하한값(MN/m)
2,800	2,300

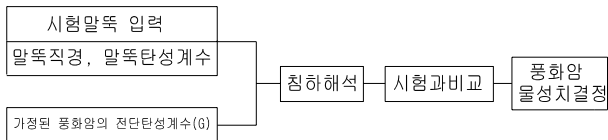


그림 6. 지반물성치에 대한 역해석 절차

며 상대적으로 말뚝침하가 말뚝의 탄성계수에 영향을 보다 크게 받았기 때문인 것으로 보인다.

인근 현장의 시험말뚝에 대한 재하시험결과 및 역해석 결과를 토대로 예비설계단계에서 말뚝기초를 설계하였으며, 선정된 사용말뚝의 제원 및 배치형태를 그림 7에 나타 내었다. 또한 여기에는 설계에 참고한 지층주상도를 함께 도시하였다.

그림 7에 나타난 예비설계 결과에 대하여 말뚝의 군효과를 고려하여 수치해석을 수행하였다. 수치해석은 Piglet Program을 이용하여 말뚝이 풍화암에 22m 근입된 조건으로 검토하였다. 일반적으로 암반에 근입된 말뚝에서 지지력은 군말뚝 영향을 받지 않는 것으로 고려하며 침하에서도 통상 군말뚝 검토가 수행되지 않는다. 이에 대하여 Tomlinson(1994)은 암반에 형성된 군말뚝의 침하로 군말뚝 폭의 0.01~0.05% 정도의 예측값을 제시하였다. 이러한 경우 본 건물의 군말뚝의 침하는 군말뚝의 폭 약 30m를 고려할 때 $30m \times (0.0001 \sim 0.0005)$ 로 계산하면 3~15mm 정도의 범위로 예측될 수 있었다. 본 예비설계 연구에서는 상부구조물의 거동을 보다 여러 경우의 기초침하에 대하여 검토될 수 있도록 하기위해 군말뚝 영향이 없는 외말뚝의 변위값을 말뚝 변위의 상한값으로 설정하고, 군말뚝의 효과가 고려된 경우를 하한값으로 평가하였다. 군말뚝 효과에 따른 말뚝의 강성산정은 군말뚝내 각 말뚝에서 평가된 침하와 하중 분포로부터 평가된다. 군말뚝 효과가 적용되는 반무한 탄성체 지반에서 전면기초의 내측에 설치되는 말뚝에서는 군효과로 말뚝의 침하강성이 작아지고, 전면기초의 모서리에서는 군효과가 적은 관계로 침하강성이

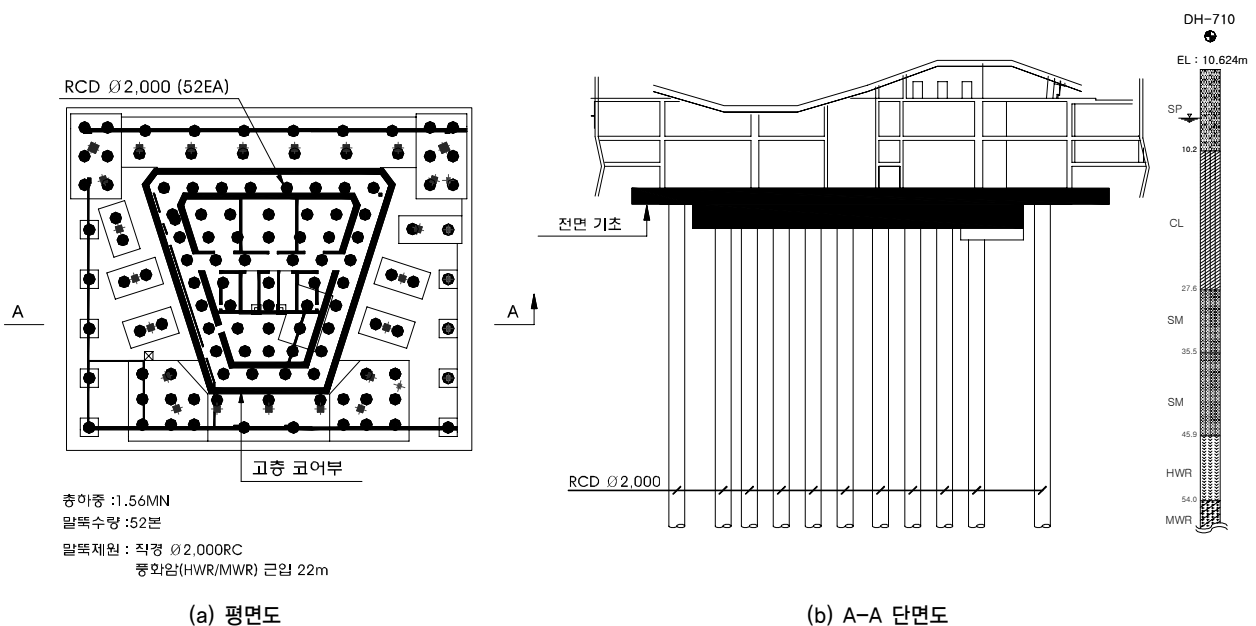


그림 7. 0000건물의 평면도 및 단면도

표 4. 예비설계 단계에서 선정된 말뚝의 강성 검토 결과

말뚝 강성	위치	모서리 위치 (MN/m)	내부 위치 (MN/m)	평균 (MN/m)
	그룹효과를 고려한 경우	상한값	2,100	2,000
하한값		1,250	1,050	1,150
그룹효과를 고려 하지 않은 경우	상한값	2,800		
	하한값	2,300		

크게 되며, 전면기초의 변에 위치하는 말뚝에서는 그 사이의 값으로 침하강성이 설정된다. 검토된 말뚝의 강성은 표 4와 같다.

타워부의 말뚝기초는 말뚝하중 32MN에 대하여 앞서 평가된 풍화암반의 전단변형계수 700MPa와 5000MPa로부터 군말뚝의 침하의 상한계는 10.5~13mm 정도의 침하가 예상되었으며, 하한계는 12.7~23mm 정도의 침하가 예상되었다. 말뚝의 허용지지력 추정 시, 토사근입부의 주면마찰력은 무시하고 암반 근입부의 주면마찰력만 고려하였다. 근입된 암반은 풍화의 정도가 보통~심한 풍화암(MWR/HWR)으로 말뚝 허용마찰력을 시험말뚝의 결과 및 풍화암층에 시행된 공내재하시험으로부터 산정할 수 있었다. 허용 설계 주면마찰력은 294kPa를 적용하였으며, 말뚝의 길이는 이를 토대로 결정하였다.

3.3 시공초기 양방향 고유압 말뚝재하시험 수행 및 예비설계의 보완

본 연구에서는 설계단계에서 시험말뚝에 대한 검증시험을 실시하지 못하였으므로 예비설계로 설계를 종료하였다.

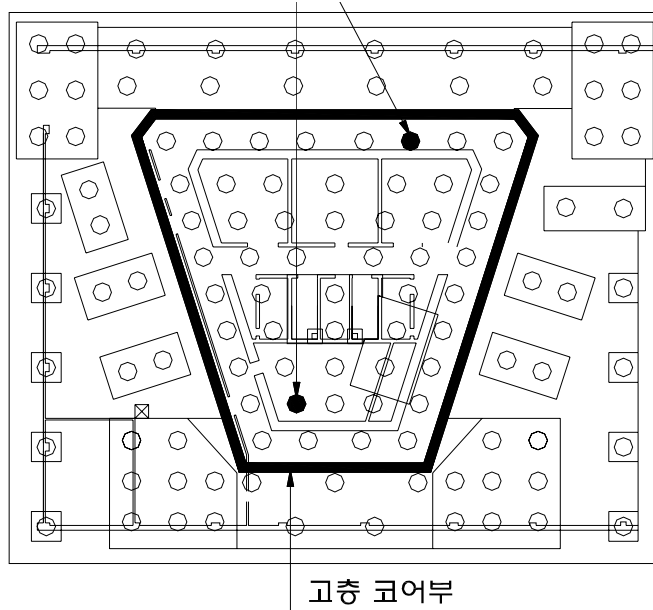
표 5. 시공초기 단계의 시험말뚝(사용말뚝)의 제원 및 재하용량

시험말뚝 기호	직경 (mm)	길이 (m)	설계하중 (MN)	1방향 재하용량 (MN)	사용 책
No.6	2,000	70.6	35	50	10MN*5개
No.45	2,000	70.6	35	50	10MN*5개

그 후, 시공초기 단계에서 예비설계된 말뚝을 시험말뚝으로 선정하여 설계하중을 확인하기 위해 말뚝재하시험을 실시하였다. OOOO 신축공사현장의 현장타설 말뚝(Pile No.6, No.45)(그림 8)을 시험말뚝으로 선정하여 양방향 고유압 말뚝재하시험(BDH PLT; Bi-directional High Pressure Pile Load Test)(김성호 등, 2006)을 실시하고, 이 결과를 토대로 예비설계를 수정하여 대구경 현장타설 말뚝기초의 설계를 완성하였다. 즉, 직경 2,000mm의 대구경 현장타설 말뚝이 최대 35MN의 설계하중을 지지하도록 설계하였으며, 사용말뚝의 제원은 표 5와 같다.

여기서 양방향 말뚝재하시험 시, 재하용량은 설계하중의 2배인 70MN으로 설정하는 것이 원칙이지만 사용말뚝에 대한 확인시험이라는 조건을 고려하여 재하용량은 설계하중의 약 1.5배로 설정하였다. 그러나 양방향 말뚝재하시험에서는 상향과 하향의 동일 변위에서의 하중을 합계하여 등가하중으로 산정하므로 등가하중을 가장 크게 사용할 수 있다. 따라서 상향/하향 변위가 거의 비슷하게 발생할 수 있도록 고유압재하장치의 위치를 조정하여 시험효과를 극대화시킬 수 있도록 하였다. 그 결과 시험계획에서 예측하였던 바와 같이 상/하향 변위가 비슷하게 발생하여 설계하중의 지지여부에 대한 확인은 충분하게 이루어

RCD 2,000 시험말뚝(NO.6, NO.45)



군말뚝의 제원
군말뚝 폭 : 30m

시험말뚝의 제원
말뚝직경 : Φ2,000
말뚝길이 : 70.6m
설계하중 : 35MN

시험계획하중 : 50MN(일방향 재하하중)

그림 8. 시공초기 단계의 시험말뚝 위치

졌다.

양방향 고유압 말뚝재하시험에 사용된 고유압 재하장치의 제원은 표 6과 같으며, 계획최대 재하하중이 10MN인 실린더 5개가 사용되었고, 재하장치를 말뚝선단으로부터 5.0m의 상부에 고정시키고 변위측정용 강봉을 상판에 2개, 하판에 2개를 설치하여 상판 및 하판의 변위를 측정하였다. 또 상판과 하판 사이에는 LVDT를 설치하여 재하장치의 팽창 변위를 측정하였다.

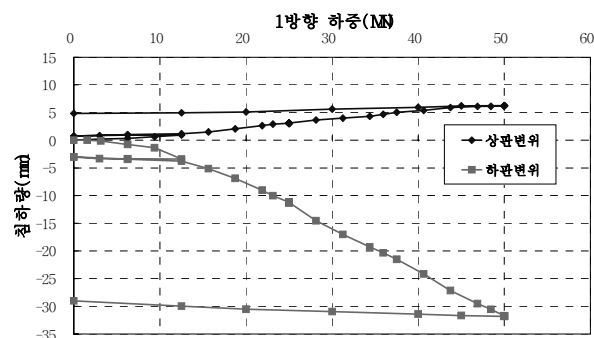
시공초기의 시험말뚝에 대한 양방향 고유압 말뚝재하시험 결과를 그림 9에 나타내었다. 양방향 고유압 말뚝재하시험의 재하용량을 충분히 사용하기 위하여 상부반력(주면마찰력)과 하부반력(선단지지력)이 상호평형을 이루는 적절한 위치에 고유압 재하장치를 설치하였다. 본 연구에서는 주면마찰력이 선단지지력 보다 크다고 판단하여 말뚝 선단으로부터 5m 떨어진 상부에 고유압 재하장치를 설치하고 시험을 실시하였다. 시공 중 말뚝재하시험에서는 시험계획단계에서 예상하였던 바와 같이 상향변위 및 하향

변위의 발생 양상이 비슷하였다(그림 9 참조). 상향변위 및 하향변위가 각각 No.6 말뚝에서 6.8mm, 31.8mm, No.45 말뚝에서 3.909mm, 3.369mm 발생하였다. 예비설계단계에서 참조한 말뚝재하시험 결과에서는 주면마찰력이 더 크게 발휘되었으나, 시공초기 단계의 시험말뚝에 대한 양방향 고유압 말뚝재하시험에서는 선단을 그라우팅으로 보강한 후 말뚝선단에서 상부로 5m 떨어진 위치에 고유압 재하장치를 설치하고 실시하였으므로 선단지지력도 크게 유발되었다.

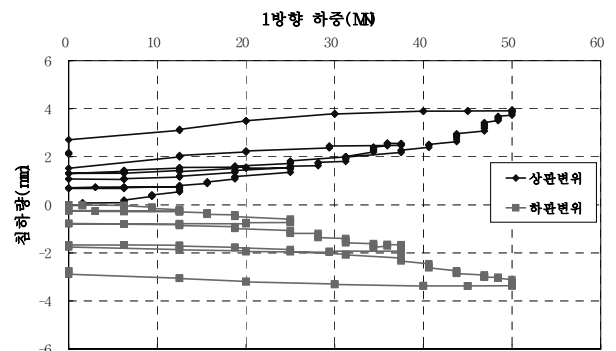
그림 9의 1방향 재하하중-침하곡선을 이용하여 말뚝머리 등가하중-침하량 곡선을 그림 10에 도시하였다. 그림 9에서 상향과 하향으로 동일한 변위를 발생시키는 상향과 하향의 하중을 합하여 등가하중으로 산정하며, 이 때 상향의 하중에서는 말뚝의 부양자중을 감하여야 한다. 최대등가실험하중은 기준변위까지만 구할 수 있다. 구체적인 등가하중-침하량 작도방법은 최용규(2004)를 참고할 수 있을 것이다. 본 연구에서는 설정한 재하용량의 한계로 인하여

표 6. 시공초기 단계에서 사용한 양방향 고유압 재하장치의 제원

장비명	규격	수량
유압잭 및 펌프	- 고유압잭(사용압력 : 147MPa, 최대하중 : 19.8MN)	5개
	- 펌프(최대압력 : 177MPa)	1개
유압호스	- 고압력 호스(177MPa) : 80m	1개
	- 저압력 호스(68.6MPa) : 80m	1개
변위계(LVDT)	- 최대범위 : 0~200mm(6ea) - 정도 : 1/1000mm	6개
마그네틱 베이스	- 영구 자석식	6개
기준보/고정앵커	- H형 빔 : 6m/4m/2m	2/4/2개
변위봉	- 변위봉 개당 길이 : 1.5m/ea(70×6개소/1.5m=약 280ea)	1식
유압 연결장치 및 부속장비	- 고압용 연결 장치, 멩키스페너, 바이스 플라이어, 렌치 등	1식
자동화계측시스템	- 데이터 로그(TDS 303) - 스위치박스(50채널 : 1개) - 노트북 컴퓨터 - 데이터 집적 프로그램	1식

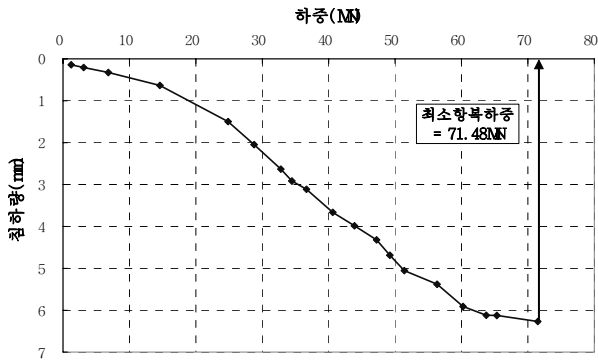


(a) No.6 시험 결과

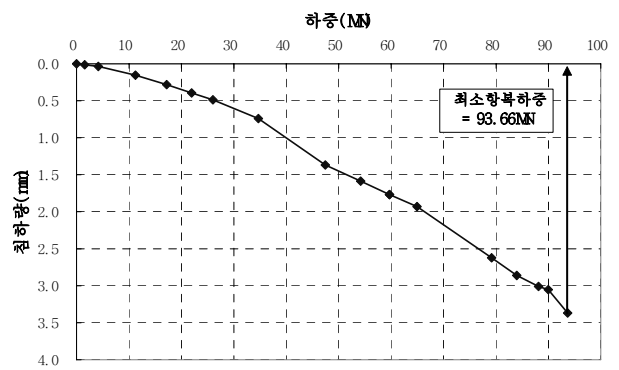


(b) No.45 시험 결과

그림 9. 시공초기 단계에서 시험말뚝에 대한 1방향 재하하중-변위 곡선(한국양방향말뚝재하시험협회 등, 2006a; 2006b)



(a) No.6 시험 결과



(b) No.45 시험 결과

그림 10. 시공초기 단계의 시험말뚝에 대한 말뚝머리 등가하중-침하량 곡선(한국양방향말뚝재하시험협회 등, 2006a; 2006b)

표 7. 3단계 설계절차 이행으로 인한 경제성 분석 요약

설계 방법	설계 결과				추정 또는 확인된 최소 허용지지력 (MN)	경제성 분석
	직경 (mm)	평균 말뚝길이 (m)	풍화암 소켓길이 (m)	말뚝 수량 (개)		
예비설계	2,000	52	22	52	35.0	-
3단계 설계절차 준수	2,000	52	22	52	35.7~46.8 (평균 41.3)	평균 18% 절감 가능

항복하중을 구할 수는 없었다. 따라서 그림 9에서 말뚝머리 등가하중의 최대값을 최소항복하중으로 표현하였는데 실제의 항복하중은 이 값 이상으로 된다는 의미로 보면 될 것이다.

예비설계 단계에서 32MN의 하중 작용 시, 단일말뚝의 침하량의 상한계 값이 10.5~13mm로 예상되었으나 양방향 말뚝재하시험 결과(그림 10)의 등가하중-침하량 곡선에서는 침하량이 2.3mm로 나타났다. 따라서 수치해석에 의존하여 예비설계 정도는 수행할 수는 있으나 말뚝재하시험 결과에 의한 검증 또는 확인절차를 거쳐 설계를 완성하여야 할 것으로 판단되었다.

3.4 3단계 설계절차 준수로 인한 경제성 분석

예비설계를 수행하고 이에 대한 확인목적의 말뚝재하시험을 수행하면 경제적인 설계를 수행할 수 있다. 즉 재하시험 결과를 활용한 말뚝기초의 재설계 시, 말뚝의 수량 또는 길이를 조정할 수 있는데 말뚝의 수량을 조정하는 것이 기초공사비 절감효과가 가장 크다.

본 연구에서는 예비설계 시, 인근지역의 지반조건이 유사한 현장의 양방향 말뚝재하시험 결과를 활용하였으므로 설계의 최적화는 이미 이루어진 것으로 볼 수 있었다. 따라서 시공초기의 양방향 말뚝재하시험에서는 말뚝의 성능을 확인하는 것으로 계획하였으므로 재하용량도 예비설계 시, 설계하중의 1.5배만큼 설정하였고 말뚝의 수량 및 길

이 조정을 하지 않는 것으로 계획하였다.

예비설계 결과와 3단계 설계절차를 준수한 결과를 표 7에 요약하였는데 여기서 말뚝의 수량 및 길이 조정으로 인한 경제성 분석은 수행할 수 없지만, 재하시험 결과에서 확인된 말뚝기초의 평균적인 하중지지능력만을 활용하여 말뚝시공비 절감효과를 분석하였으며 약 18%의 절감효과를 확인할 수 있었다. 여기서 시공초기에 재하시험용량을 설계하중의 2.0배 이상으로 설정하였다면, 말뚝기초의 하중지지능력을 더 크게 확인할 수 있었을 것이며 따라서 기초공사비 절감효과는 더욱 더 크게 얻을 수 있었을 것으로 예상되었다.

4. 결론 및 제언

- (1) 본 연구에서는 “예비설계-검증시험-예비설계의 보완”의 3단계를 거쳐 말뚝기초의 설계를 완성하였다. 이와 같은 설계절차를 준수할 경우 말뚝기초의 경제적인 설계를 수행할 수 있으며, 이를 통하여 말뚝기초 공사비의 대폭적인 절감을 이룰 수 있을 것이다.
- (2) 예비설계 결과와 3단계 설계절차를 준수한 결과를 토대로 하여 기초공사비 절감효과를 분석하였다. 여기서 말뚝의 수량 및 길이 조정으로 인한 경제성 분석은 수행할 수 없지만, 재하시험 결과에서 확인된 말뚝기초의 평균적인 하중지지능력만을 활용하여 말뚝시공비 절

감효과를 분석하였으며 약 18%의 절감효과를 확인할 수 있었다. 여기서 시공초기에 재하시험용량을 설계하중의 2.0배 이상으로 설정하였다면, 말뚝기초의 하중 지지능력을 더 크게 확인할 수 있었을 것이며 따라서 기초공사비 절감효과는 더욱 더 크게 얻을 수 있었을 것으로 예상되었다.

- (3) 양방향 말뚝재하시험에서 얻어진 설계하중에 해당하는 변위량을 역해석하여 암의 변형계수를 추정하였고, 예상침하량으로부터 말뚝의 설계하중을 결정하였다.
- (4) 양방향 고유압 말뚝재하시험(BDH PLT)은 초고층 건물 설계 시, 기초의 지지력을 보다 명확히 하여 경제적이고 안전한 설계를 이룰 수 있는 유용한 수단이 될 수 있을 뿐만 아니라 말뚝기초의 거동을 보다 실제와 근접하게 평가할 수 있으므로 상부구조물 평가에 합리적으로 적용될 수 있다.
- (5) 초고층 건물기초의 변위 검토는 변위의 상한값과 하한값을 평가하여 실제 건물의 거동이 이러한 가능 범위에서 적절히 거동하는가를 분석하여야 한다.
- (6) 초고층 건축물의 기초설계에서는 기초의 지지력뿐만 아니라 기초의 변위를 고려한 거동분석이 필요하다. 초고층 건축물의 대형기초 거동은 상부구조물의 거동에 다시 영향을 미치므로 기초와 상부구조물과의 상관관계에 대한 이해가 필요하다.

감사의 글

이 논문은 2009학년도 경성대학교 학술연구비지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. 경성대학교 지반공학연구소 (2006), 송도 125블록 신축공사 내 현장타설말뚝에 대한 양방향고유압말뚝재하시험 보고서 (2A 동), Report No. KSU/GT-06-02, pp. 28~31.
2. 김성호, 이민희, 황근배, 최용규 (2006), 양방향 말뚝재하시험 (BD PLT)을 이용한 초고층 건축구조물 기초 설계 및 시공 사례, 2006 한국지반공학회 가을 학술발표회 논문집, 한국지반공학회, pp. 539~550.
3. 대한건축학회 (2005), 건축기초구조 설계기준, 태림문화사, p. 173
4. 대한토목학회 & 교량설계핵심기술연구단 (2008), 도로교 설계기준 해설, 기문당, p. 925, 927.
5. (사)대한토목학회 (2001), 도로교설계기준해설(하부구조편), 도서출판 건설정보사, pp. 207~210.
6. 최용규 (2004), 양방향 재하시험을 통한 대형 건축물기초의 지지력 확인 방안, 현장기술자를 위한 워크샵, 2004 기초기술위원회 워크샵 논문집, 한국지반공학회 기초기술위원회, 2004. 11., pp. 149~150.
7. 한국양방향말뚝재하시험 협회, (주)지오사이트, (재)한국건설시험소 (2006a), 송도신도시 블록 36 NATT(Northeast Asia Trade Tower) 신축공사구간 내 현장타설말뚝(Pile No. 6, $\Phi = 2,000\text{mm}$)에 대한 양방향 고유압 말뚝재하시험 보고서, BD PLT Report No. KBDPLT-07-01, pp. 28~32.
8. 한국양방향말뚝재하시험 협회, (주)지오사이트, (재)한국건설시험소(2006b), 송도신도시 블록 36 NATT(Northeast Asia Trade Tower) 신축공사구간 내 현장타설말뚝(Pile No. 45, $\Phi = 2,000\text{mm}$)에 대한 양방향 고유압 말뚝재하시험 보고서, BD PLT Report No. KBDPLT-07-02, pp. 27~31.
9. 한국지반공학회 기초기술위원회 & 국제지반공학회 ATC 18 (2007), 양방향 말뚝재하시험 기준, 구미서관, pp II-1~58.
10. 日本地盤工學會 (2002), \langle いの先端載荷試験方法・同解説-第一會改定版-, (社)日本地盤工學會, pp. 63~81.
11. Mandolini, A. and Russo & Viggiani (2005), Pile foundation : Experimental investigations, analysis and design, 16th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.
12. Randolph M.F. (1986), PIGLET : A computer program for the analysis and design of pile groups.
13. Tomlinson, M. J. (1994), Pile Design and Construction Practice, 4th ed., E & FN Spon, p. 186.

(접수일: 2008. 9. 18 심사일: 2008. 10. 8 심사완료일: 2008. 12. 26)