

Top Down 공사현장에 적용되는 현장타설 선기초기둥의 지지력에 관한 연구

A Study on Bearing Capacity of Cast-In-Place Pre-Founded Columns in Top Down Construction Sites

변요섭¹⁾ · 정경식¹⁾ · 김종호²⁾ · 천병식[†]

Byun, Yoseph · Jung, Kyoungsik · Kim, Jongho · Chun, Byungsik

ABSTRACT : Recently, a concept of the downtown area was progressively extended by improvement of rapid transportation system and development of the most advanced telecommunication industries. And underground has become bigger in addition deeper, Excavation methods which construct a structure were changed according to construction environments. Top Down methods which are continuous with architectural plan differ from existing excavation methods innovatively, pre-founded column is an important factor for construction methods, duration, expenses. Therefore, this study considers application by investigative methods according to comparison, analysis on loading test result of on site inspection and estimated results of bearing capacity for structure pre-founded column. As a result, almost designing eclipse appeared prior value which didn't arrive result of load test. Also, evaluate permanent load for the compressive stress acting on head of cast-in-place after basic structure was installed. Then, applying stress generally is reduced by confining effect with foundation.

Keywords : Top Down, Pre-Founded Columns, Load test, Cast-In-Place

요지 : 최근 최첨단 정보통신 산업의 발전과 비약적인 교통수단의 개선으로 인해 도심지의 개념이 점차적으로 확대되고 있으며, 지하공간이 대형화, 대심도화 되고 있어 구조물의 건설을 위한 지하굴착방식 또한 건설환경에 발맞춰 변화되게 되었다. 이 중 Top Down 공법은 건축계획과 연계하여 종래의 지하굴착 방식과는 다른 획기적인 방법이며, 그 중 기둥용 선기초기둥은 공사방식이나 공사기간, 공사비에서 매우 중요한 요소 중 하나이다. 따라서 본 연구에서는 이러한 건물 기둥용 선기초기둥에 대하여 현장 검증용 재하시험 결과를 기준으로 설계단계에서의 지지력 산정결과와 비교, 분석을 통해 각 검토방법별 적용성을 고찰해 보고자 하였다. 그 결과 대부분의 설계식은 재하시험 결과에 못미치는 보수적인 결과를 주는 것으로 나타났다. 또한 구조물기초 설치 후 영구하중에 대해 현장타설말뚝 두부에 작용하는 압축응력을 평가해 본 결과 전반적으로 기초와의 구속효과로 인해 작용응력이 감소하는 것으로 나타났다.

주요어 : Top Down, 선기초기둥, 재하시험, 현장타설말뚝

1. 서론

최근 최첨단 정보통신 산업의 발전과 비약적인 교통수단의 개선으로 인해 도심지의 개념이 점차적으로 확대되고 있다. 이러한 실정에서 연약지반 등 불량한 토질조건과 같이 종래의 일반적인 설계법·시공법으로는 해결할 수 없는 특수한 조건의 경우에서도 구조물 건설은 필연적인 상황으로 받아들여지고 있다. 또한 토지의 이용을 극대화하기 위해 점차로 지하공간이 대형화, 대심도화 됨과 동시에 환경적인 측면의 요구가 높아지고 있으며, 공사 중 소음·진동 문제, 공사기간의 절감문제 등을 고민하여 계획단계에서부터 반

드시 반영하여야 하는 추세이다. 특히 이러한 지역에서의 구조물을 건설하기 위해서는 필히 지하층을 구축하기 위한 지하굴착 및 굴착바닥면에서의 기초 안정성 확보가 필요하게 된다.

현재까지 구조물 건설을 위해 일반적으로 적용되고 있는 지하굴착 및 기초설치 방법은 먼저 흙막이벽을 설치하여 버팀보 혹은 앵커로 흙막이벽을 지지하면서 소요깊이까지 굴착한 후 굴착바닥면에서 기초를 설치하여 구조물 하중을 지반에 전달하는 형태이다. 그러나 종래의 방법을 모든 구조물 건설현장에서 일률적으로 적용한다면 전술한 복잡한 건설 공사 환경변화에 적절한 대응이 되지 못할 뿐 아니라 공

1) 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 박사과정

2) 비회원, 에스텍 컨설팅 그룹, 부사장

† 정희원, 한양대학교 공과대학 토목공학과 교수(E-mail : hengdang@unite.co.kr)

사비의 증가, 공기의 장기화는 물론 공사 안전상에 큰 문제가 발생할 수 있다. 이러한 어려움에 대처하기 위해 근래에 발전된 공법이 Top Down 공법이다. Top-Down 공법은 공사단계별로 선 시공된 구조물의 하중을 지지할 수 있는 기둥을 먼저 시공하고 이를 이용하여 흙막이벽에 작용하는 횡압력을 지지할 수 있도록 본바닥구조나 버팀시스템을 설치하면서 점진적으로 하부로 공사를 진행하는 지하구조물 시공방법이다. Top Down 공법을 적용하여 지하굴착 공사를 수행하기 위해서 우선적으로 설치되는 현장타설 선기초 중간말뚝은 대부분 양호한 암반까지 관입, 설치되어 작용하중에 대한 안정성을 확보할 수 있도록 계획되고 있다. 국내 도로교 설계기준(대한토목학회, 2001)에서는 경제성 있는 설계를 위해 설계단계에서 하중전이의 측정이 수반된 말뚝재하시험을 수행하여 설계를 완성하는 절차를 규정하고 있다. 그러나 설계단계에서는 신뢰성이 저하됨에도 불구하고 정역학적 방법과 경험적인 방법을 통해 대부분의 현장타설말뚝의 설계가 이루어지고 있다.

국내에서 현장타설말뚝의 지지특성에 관하여 많은 연구가 수행되었는데, 조천환 등(2004)이 축소모형말뚝 시공을 통한 대규모 말뚝의 지지력 평가방법을 검토하여 제안하였다. 천병식 등(2003)은 현장타설말뚝의 정재하시험에 의한 지지력과 이론식에 의한 지지력과 비교하여 현장타설말뚝의 설계에 대한 몇가지 제안들을 도출하였다. 또한, 조후연 등(2009)은 국내 암반지반에의 적용을 위하여 국내에서 수행된 14개 현장 23본의 시험말뚝의 재하시험자료를 토대로 제안식의 경험계수를 산정하였으며, 더불어 기존 초기기울기 및 극한 단위선단지지력 산정식을 제안하였다.

이에 본 연구에서는 건물 기둥용 선기초 중간말뚝에 대하여 현장 검증용 재하시험 결과를 기준으로 설계단계에서의 지지력 산정결과와 비교, 분석을 통해 각 검토방법별 적용성을 고찰하였다.

2. 이론적 배경

2.1 Top Down 공법

일반적으로 지하굴착에 적용하는 적합한 공법의 선정은 안정성, 시공성, 경제성 등이 우선적으로 검토되어야 하는데, 이러한 측면에서 Top Down 공법의 특징을 서술하면 다음과 같다. 첫째, Top Down 공법에서 건축 구조용으로 계획되는 영구 콘크리트 슬래브와 빔은 일반 버팀 시스템(Strut, Ground anchor)재에 비하여 강성이 크고 안전한 구조체의 역할을 하므로 월등한 구조적 안정성을 가지고 있다. 둘째, 시공성 측면으로 선 시공되는 1층 슬래브는 지하

층 공사 시의 지붕 역할을 함으로서 외부의 환경에 영향을 받지 않고, 전천후 지하공사가 가능하며, 효율적인 공간활용이 가능하다. 그러나 각 공정의 동시작업으로 인해 공정한 간섭이 발생할 수 있으므로 면밀한 세부 공사 계획의 수립이 필요하다. 셋째, 공사기간 및 경제성 부분에서 단순비교가 다소 곤란하나 대심도의 고층빌딩(약 15층 이상) 일수록 지하와 지상의 병행공사 기간이 길어지는 관계로 공기단축 효과를 노릴 수 있으며, 본체 구조물인 건축구조용 슬래브를 굴착 시 버팀재로 이용하므로 별도의 지보재 시스템이 필요 없어 유리하나 기둥기초(Barrette, R.C.D 등) 공사 등 추가 공정이 발생하므로 일반적으로 대규모, 대심도 공사일수록 경제적이다. 넷째, 그 외에 대지경계에 인접하여 영구벽체인 지하연속벽을 시공할 수 있어 내부에 별도의 벽체를 조성할 필요가 없으므로 대지 활용도를 극대화할 수 있다.

2.2 암반에 설치된 현장타설말뚝의 지지력 산정이론

현장타설말뚝은 축방향 변위를 감소시키고, 하중 지지력을 증가시키며, 수평하중에 대한 저항을 위한 고정점을 만들어 주기 위하여 암반에 소켓시킨다. 암반 소켓말뚝의 축방향 지지력을 결정할 때 토사층의 마찰력을 고려하지 않을 수도 있다.

설계 시에는 시공에 의해 거의 영향을 받지 않으며, 콘크리트 타설 전에 깨끗하게 청소된 충분히 신선한 암반에 소켓부가 시공된다고 가정한다. 만약 암반의 강도가 약해질 수 있다면 특별한 시공법, 소켓 직경의 증가, 또는 지지력의 축소 등을 고려해야 한다.

국내에 제안되어진 암반에 관입된 현장타설말뚝의 지지력산정은 대부분 암의 일축압축강도를 이용하고, 각 나라별 지역마다 경험적으로 확인된 값을 토대로 각 지역별, 풍화

표 1. 현장타설말뚝 지지력 산정식

문헌 및 연구자	관계식	지지력
도로교 설계기준 (대한토목학회, 2001)	$Q_{SR} = \pi B_r D_r (0.144q_{SR})$	극한주면마찰력(psi)
	$Q_{BR} = N_{ms} \cdot C_o \cdot A_B$	극한선단지지력
C.F.E.M(1985))	$f_i = 2.1 \sqrt{q_u}$	극한주면마찰력(psi)
	$q_u = K_{sp} q_u$	허용선단지지력
Teng(1962)	$q_u = 1/5 \sim 1/8 f_c$	허용선단지지력(tf/m ²)
Rowe 등(1987)	$q_u = 0.27 f_c$	극한선단지지력(tf/m ²)
Zhang 등(1998)	$q_u = 4.83 f_c^{0.51}$	극한선단지지력(MPa)
Rowe 등(1987)	$f_{su} = 4.757 \sim 6.365 f_c^{1/2}$	극한주면마찰력(tf/m ²)
Horvath & Kenney(1979)	$f_{su} = 2.3 \sim 3.0 f_c^{1/2}$	
Rosenberg 등(1987)	$f_{su} = 3.729 f_c^{0.51}$	

도별, 압중별 각종 관계식을 제안하고 있다. 표 1은 현장타설말뚝 지지력 산정식을 보여주고 있다.

3. 사례 현장 분석

3.1 현장 개요

3.1.1 현장 분석

연구지역에 적용된 벽체공법은 지하연속벽이며, 지지공법은 철골 및 Slab 지지방식이다. 굴착 깊이는 G.L(-)38.0m 이고, 굴착 면적은 11,100m²이다. 평균 지하수위는 지표하 (-)7.2m이고, 지하수위 분포는 지표하 (-)6.2~(-)10.0m이다. 현장의 지층 조건은 상부로부터 매립층, 그 하부는 풍화토, 풍화암, 연암, 보통암, 경암층의 순으로 분포하고 있다. 그림 1은 지반조사 위치를 보여주고 있고, 표 2는 지층분포를 보여주고 있다.

3.2 말뚝 재하시험 결과

3.2.1 재하시험 말뚝위치

현장타설말뚝 시험위치에 대해서는 그림 2의 위치에서 수행되었으며, 말뚝이 설치되어 관입된 지층은 풍화암, 연암, 경암 순이고 선단부는 경암에 설치되었다.

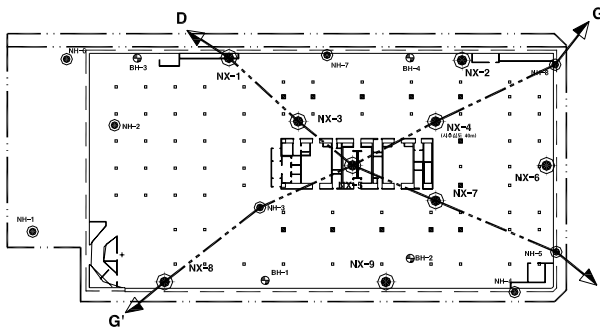


그림 1. 지반조사 위치도

표 2. 지층분포

공 변	지 반 상 태 (m)						총심도 (m)	S.P.T (회)
	매립토	풍화토	풍화암	연암	보통암	경암		
NX-1	1.8	2.2	3.5	2.2	1.5	20.5	32.0	5
NX-2	1.8	2.7	3.3	12.2	3.0	10.0	32.0	4
NX-3	-	-	-	4.0	2.7	33.3	40.0	0
NX-4	-	2.0	0.7	6.8	2.6	27.9	40.0	1
NX-5	0.8	-	1.0	2.0	1.5	34.7	40.0	1
NX-6	1.0	7.8	3.5	2.2	7.0	10.5	32.0	8
NX-7	-	4.0	-	2.0	8.4	25.6	40.0	2
NX-8	-	2.5	0.9	3.0	16.6	9.0	32.0	2
NX-9	1.0	1.0	1.7	3.3	3.0	22.0	32.0	2

3.2.2 선단재하시험 결과분석

선단재하시험을 위해 표 3과 같이 선단 및 두부의 변위를 관찰하면서 하중을 5주기 9단계로 가한 시험하중-시간 관계는 그림 3과 같다. 시험 시 적용한 최대하중은 설계하중의 3배로 하였다.

선단지지력은 지속적인 침하곡선을 나타내고 있으며, 선단 최대작용력 1,350tonf에서 최대침하량이 9.40mm로 나타났다. 주변변위에 비해 상대적으로 변화가 큰 선단변위를 갖는 말뚝 거동을 나타내고 있다. 선단 Cell 하부 Bearing

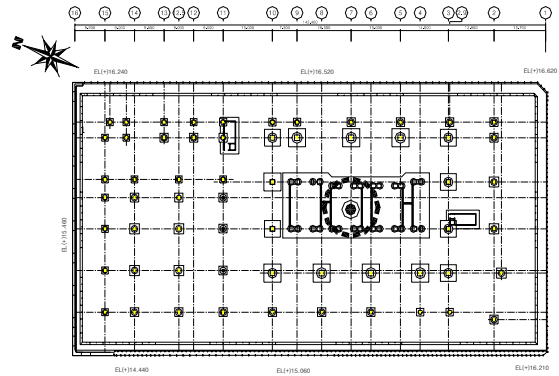


그림 2. 현장 시험 위치도

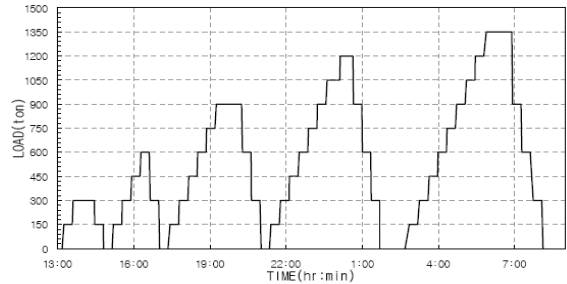


그림 3. 시험하중 - 시간 그래프

표 3. 하중전이 선단재하시험 하중 재하주기

주기	1 cycle		2 cycle		3 cycle		4 cycle		5 cycle	
	load	time	load	time	load	time	load	time	load	time
loading	0	20	-	-	-	-	-	-	-	-
	150	20	150	20	150	20	150	20	150	20
	300	50	300	20	300	20	300	20	300	20
			450	20	450	20	450	20	450	20
			600	20	600	20	600	20	600	20
rebounding					750	20	750	20	750	20
					900	60	900	20	900	20
							1,050	20	1,050	20
							1,200	30	1,200	20
									1,350	60
							900	20	900	20
					600	20	600	20	600	20
	150	20	300	20	300	20	300	20	300	20
	0	20	0	20	0	20	0	60	0	120

Plate의 직경이 880mm인 점을 고려, 선단부 단위 지지력 및 지반반력계수는 각각 2,219.6tf/m²과 236.13kgf/cm²로 나타났다. 주면마찰력 1,350tonf에서 말뚝 선단부의 변위량은 9.40mm, 말뚝 두부의 변위량은 0.42mm로 나타났다.

3.2.3 하중전이 시험결과 분석

선단재하시험을 통해 축하중 측정실험을 실시한 결과, 말뚝 깊이별로 구해진 주면마찰력을 각 하중별로 나타내면 그림 4와 같고, 이것을 두부압축재하 시의 마찰력으로 환산하면 그림 5와 같다. 시험최대하중인 1,350tonf 일 때의 주면마찰력 분포를 보면 경암층에서 마찰력의 대부분이 발휘되고 있는 것을 알 수 있었다.

3.2.4 지층별 주면마찰응력 분석

하중전이 시험결과를 통해 각 깊이별 마찰응력의 산정 공식 (1)과 같이 할 수 있고, 이를 통해 마찰력 분포도를 나타낸 결과는 그림 6과 같다.

$$f_{si} = \frac{\Delta Q_{si}}{\pi \cdot D \cdot \Delta L_i} \quad (1)$$

여기서, ΔQ_{si} : 각 지층에서 발휘된 마찰력

D : 말뚝직경

ΔL_i : 각 지층의 토층두께

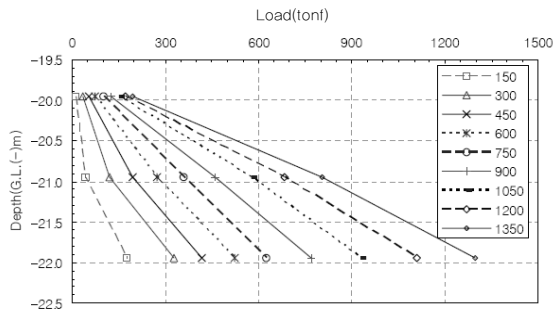


그림 4. 하중단계별 주면마찰력 분포도

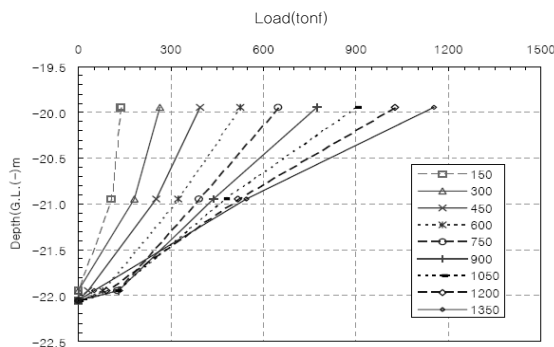


그림 5. 하중단계별 주면마찰력 분포도(두부 재하 시로 변환)

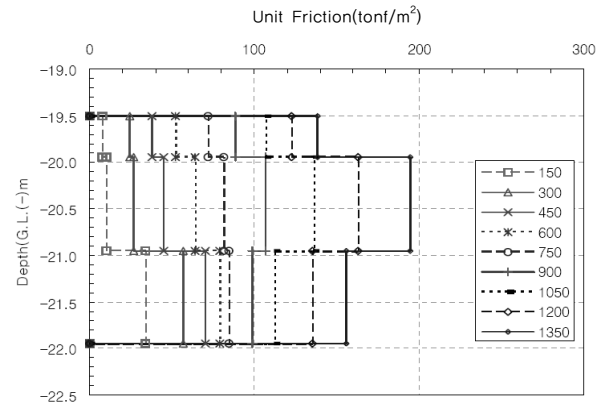


그림 6. 심도별 발휘된 평균마찰응력

4. 설계지지력과 재하시험결과의 비교

암반에 근입된 현장타설말뚝의 지지력산정을 위해 일반적으로 국내에서 적용되어지고 있는 방법(표 2)을 이용하여 지지력을 산정하고 산정된 결과와 3장에 서술한 말뚝재하 시험 결과와 비교, 분석하였다.

4.1 지지력 평가방법별 적용성 고찰

4.1.1 지지력 산정결과 요약

말뚝의 허용 선단지지력은 표 4와 같이 나타났고, 허용 주면마찰력은 표 5와 같이 나타났다.

표 4. 말뚝의 허용 선단지지력(tonf/m²)

제안식	연구 지역
도로교 설계기준	956.7
C.F.E.M	624.0
Teng(FS=1/5)	1,248.0
Teng(FS=1/8)	780.0
Rowe 등	561.7
Zhang 등	1,335.8
재하시험	1,109.8

표 5. 말뚝의 허용 주면마찰력(tonf/m²)

제안식	연구 지역
도로교 설계기준	8.43
C.F.E.M	42.3
Rowe 등(4.757f _c ^{1/2})	102.2
Rowe 등(6.365f _c ^{1/2})	136.8
Horvath & Kenney(2.3f _c ^{1/2})	49.4
Horvath & Kenney(3.0f _c ^{1/2})	64.5
Rosenberg 등	87.1
재하시험	97.0

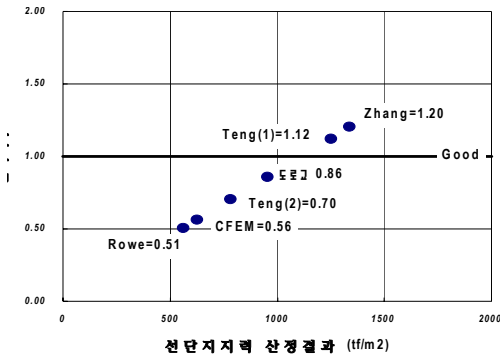


그림 7. 선단지지력 분석 그래프

표 6. 선단지지력 지수

제안식	선단지지력 지수
도로교	0.86
C.F.E.M	0.56
Teng(FS=1/5)	1.12
Teng(FS=1/8)	0.70
Rowe 등	0.51
Zhang 등	1.20

4.1.2 지지력 설계식의 적용성 분석

말뚝재하시험결과와 설계지지력 공식의 적용성을 고찰하기 위해 각각의 허용지지력을 재하시험에서 나타난 허용 지지력으로 나누어 산정된 값을 신뢰지수로 하여 신뢰지수 1.0을 기준으로 과대, 과소여부를 평가하였다. 그 결과 그림 7과 표 6에서 보는 바와 같이 나타났다. 전반적으로 재하시험결과에 비해 설계식은 몇 개의 값을 제외하고는 재하시험 결과에 못미치는 보수적인 결과로 나타났다. 또한 평균 신뢰지수로는 Zhang 등의 식이 정확한 것으로 나타났으나, 이는 표본집단의 수가 적은 원인으로 판단되며, 연구 지역에 국한된 결과이므로 적용에 주의를 기울여야 할 것으로 판단된다. 따라서 예비설계 시 설계자가 간단히 평가하기 위해서는 Teng의 제안식(안전율 5)이 가장 적정할 것으로 판단되며, 이 중 1/5~1/8 범위 중 가장 보수적인 결과를 주는 1/5이 가장 설계 지지력과 근사한 값을 나타내는 것으로 나타났다. Rowe의 식은 표준편차가 0.19로 나타나 기초자료와 여러 가지 조건의 차이에도 큰 변화없이 일정한 값을 나타내는 것으로 확인된다. 특히, 연구지역은 매우 양호한 암반의 경우 각 방법별 결과에 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

주면마찰력의 경우, 양방향 재하시험결과를 기준으로 설계신뢰지수를 평가해 본 결과, 그림 8과 표 7에서 보는 바와 같이 선단지지력과는 달리 전반적으로 재하시험결과에 비해 큰 결과를 주는 값 들이 일부 나타났다. 이는 선단지지력에 비해 예측식의 적용에 더욱 주의를 기울여야 되는 이유가 될 수 있다. 과소설계는 바로 구조물의 안전에 직접적으

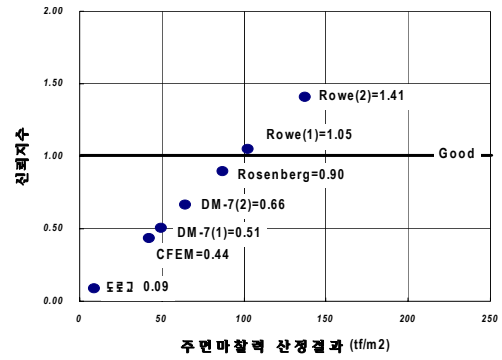


그림 8. 주면마찰력 분석 그래프

표 7. 주면마찰력 지수

제안식	주면마찰력 지수
도로교 설계기준	0.09
C.F.E.M	0.44
Rowe 등($4.757f_c^{1/2}$)	1.05
Rowe 등($6.365f_c^{1/2}$)	1.41
Horvath & Kenney($2.3f_c^{1/2}$)	0.51
Horvath & Kenney($3.0f_c^{1/2}$)	0.66
Rosenberg 등	0.89

로 영향을 주기 때문인 것으로 판단된다. 그 중 Rowe의 제안식과 Rosenberg의 제안식이 전반적으로 매우 높은 신뢰수준을 보이고, 특히 Rosenberg의 제안식은 표준편차 또한 0.16으로 균일한 결과를 주는 것으로 나타났다.

4.2 직접기초 설치 시 영구하중에 대한 말뚝 지지력 분담효과

연속체 모델을 이용하여 영구하중 적용 시 암반에 설치된 기초와 말뚝을 동시에 해석할 경우 하중의 작용 메커니즘을 평가하고, 이를 통해 향후 말뚝 및 기초설계 시 반영할 수 있는지에 대해 분석하였다.

4.2.1 검토 조건

검토를 위한 해당 현장의 구조물 기초와 말뚝의 연결부

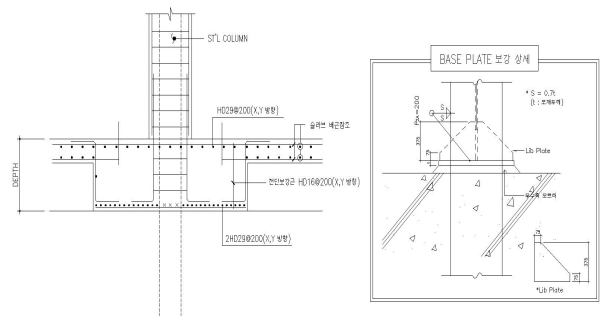


그림 9. 기초와 말뚝의 연결 상세

표 8. 검토 단면 작용하중 (단위:tf)

	H5 (φ2.0m)	H8 (φ2.0m)	L5 (φ0.8m)	L9 (φ0.8m)
굴착 시	1,824	1,817	990	960
영구 시	4,886	3,870	1,148	1,186

표 9. 독립기초 제원

	H5	H8	L5	L9
SIZE	3.80×3.80×1.80		2.00×2.00×0.90	

의 상세도는 그림 9와 같고, 검토 단면 작용하중 및 독립기초 제원은 표 8 및 9와 같다.

4.2.2 수치해석

수치해석에서는 범용 유한요소해석 프로그램인 VisualFEA를 사용하여 수행하였다. VisualFEA는 토목, 건축, 기계, 물리 등의 많은 분야에서 적용되고 있는 프로그램으로 기계, 구조 및 지반해석용 프로그램이며 직관적이고 편리한 사용자 인터페이스 기능을 제공하고 있다.

해석영역의 모델링에 있어서 좌우측 절점에 측면경계면을 위치시켜 수평방향의 변위를 구속하였다. 하부경계면은 최하단에 위치시켜 수직 및 수평방향의 변위를 구속하였다. 재료 모델링에 있어서 지반은 Mohr-Coulomb의 파괴규준을 따르는 탄소성 재료로 모델링했으며, 건축기둥은 Linear Elastic 모델을 적용하였다. 하중조건은 건축기둥(Column)에 굴착 완료 시의 하중과 건축 완료 시의 영구하중을 단계별로 재하하여 검토를 실시하였다. 표 10은 수치해석에 적용된 물성값을 보여주고 있고, 그림 10은 해석 모델링 개념도를 보여주고 있다.

표 10. 해석에 적용된 물성값

구분	탄성계수 (tonf/m ²)	포와송비	점착력 (tonf/m ²)	내부마찰각 (degree)
콘크리트	2,300,000	0.18	-	-
지반 경암	300,000	0.23	7	43

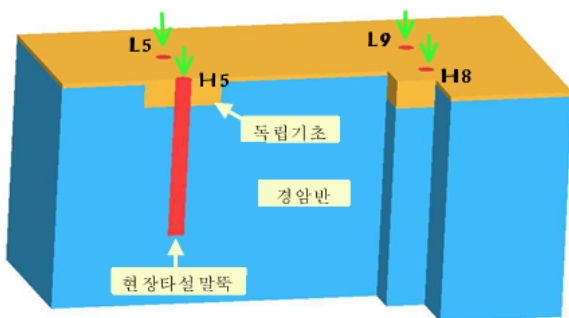


그림 10. 해석 모델링 개념도

표 11. 기초 하중 분담율 (tf/m²)

	H5		H8		L5		L9	
	초기	작용	초기	작용	초기	작용	초기	작용
단말뚝	1,556	1,389	1,232	1,112	2,285	2,053	2,360	1,972
군말뚝		797		868		1,231		1,220
분담율	10~49%		10~30.0%		10~46%		16~48%	

4.2.3 해석결과

하중의 분담효과 해석방법의 신뢰성을 보기 위하여 단말뚝으로 하중재하 시와 군말뚝으로 하중을 재하할 경우, 두 방법에 대해서 하중을 작용시켜 현장타설말뚝 상단에 작용하는 압축응력을 검토하였으며, 초기재하 하중과 압축응력을 비교, 하중에 대한 분담율을 확인해 본 결과 표 11에서 보는 바와 같다.

구조물기초 설치 후 영구하중에 대해 현장타설말뚝 두부에 작용하는 압축응력을 평가해 본 결과 전반적으로 약 10~49%까지 기초와의 구속효과로 인해 작용응력이 감소하는 것으로 나타났다. 또한 특징적으로 단말뚝 해석 시의 감소율은 전반적으로 30~40%의 감소율을 보이는데 비해 군말뚝으로 검토한 경우는 10%대의 균일한 감소율을 보이고 있어 기초 구속효과가 적게 나타나는 것으로 확인되었다. 이는 기초 형식이 독립인 점, 모델링 범위, 기타 경계조건 등으로 인해 차이가 나는 것처럼 보여지나 기타 여러 현장에서 동일한 검토를 수행한 결과도 마찬가지로 단말뚝 해석에 비해 군말뚝 해석 시가 감소율이 적은 것으로 나타났다. 기초의 구속을 통해 하중이 작용할 경우에는 암반에 소켓된 현장타설말뚝에 작용하는 연직응력의 감소효과가 발휘되는 것으로 예측할 수 있었다. 따라서 향후 건축구조물 신축과 관련하여 Top Down 공법이 제안되어 선기초 중간말뚝을 설치할 경우, 건축구조의 작용하중에 대해서 기초와 구속되어 영구하중을 고려해야 할 경우는 여러 가지 해석방법을 통하여 현장타설말뚝의 근입길이 조정 등, 경제적이고 합리적인 최적 설계를 진행할 수 있을 것으로 판단된다.

5. 결 론

Top Down 공법 적용을 통한 구조물 지하공사 시 암반에 설치되는 선기초 기둥용 중간말뚝의 지지력 특성에 대해 현장 재하시험 결과와 비교하여 고찰해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 재하시험결과에 비해 설계식은 대부분 재하시험 결과에 못미치는 보수적인 결과를 주는 것으로 나타내었다.

참 고 문 헌

- 또한 평균 신뢰지수로는 예비설계 시 설계자가 간단히 평가하기 위해서는 Teng의 제안식이 가장 적정할 것으로 판단된다.
- (2) 주변마찰력의 경우, 양방향 재하시험결과를 기준으로 설계신뢰지수를 평가해 본 결과, 선단지지력과는 달리 전반적으로 재하시험결과에 비해 큰 결과를 주는 값들이 일부 나타났다. 이는 선단지지력에 비해 예측식의 적용에 더욱 주의를 기울여야 되는 이유가 될 수 있다고 판단된다.
 - (3) Rowe의 제안식과 Rosenberg의 제안식이 전반적으로 매우 높은 신뢰수준을 보이고, 특히 Rosenberg의 제안식은 표준편차 또한 0.16으로 균일한 결과를 주는 것으로 나타났다.
 - (4) 구조물기초 설치 후 영구하중에 대해 현장타설말뚝 두부에 작용하는 압축응력을 평가해 본 결과 전반적으로 약 10~49%까지 기초와의 구속효과로 인해 작용응력이 감소하는 것으로 나타났다.
 - (5) 단말뚝 해석 시의 감소율은 전반적으로 30~40%의 감소율을 보이는데 비해 균말뚝으로 검토한 경우는 10%대의 균일한 감소율을 보이고 있어 기초 구속효과가 작게 나타나는 것으로 확인되었다. 기초의 구속을 통해 하중이 작용할 경우에는 암반에 소켓된 현장타설말뚝에 작용하는 연직응력의 감소효과가 발휘되는 것으로 예측할 수 있었다.

1. 대한토목학회(2001), 국토해양부 제정 도로교표준시방서, 하부구조편, pp. 24.
2. 조천환, 김홍목, 김용규(2004), 축소모형말뚝을 이용한 현장타설말뚝의 지지력 평가, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 20, No. 5, pp. 117~126.
3. 조후연, 정상섭, 설훈일(2009), 암반에 근입된 현장타설말뚝의 선단하중전이거동 분석, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 25, No. 8, pp. 77~93.
4. 천병식, 김원철, 최용규, 서덕동(2003), 현장타설말뚝의 정재하시험에 의한 지지력과 이론식에 의한 지지력과의 비교, *한국지반공학회 논문집*, Vol. 19, No. 2, pp. 237~246.
5. Canadian Geotechnical Society(1985), *Canadian Foundation Engineering Manual 2nd ed.*, Ottawa, Canada, p. 456.
6. Horvath R. G., Kenney T. C.(1979), *Shaft Resistance of Rock-socketed Drilled Piers*, ASCE, Atlanta, Georgia, pp. 182~214.
7. Rowe, R. K., Armitage, H. H.(1987), A Design Methods for Drilled Piers in Weak Rock, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 24, No. 3, pp. 114~125.
8. Rosenburg, P., Journeaux, N. L.,(1976), Friction and end Bearing Tests on Bedrock for High Capacity Socket Design, *Canadian Geotechnical Journal*, Vol. 13, No. 3, pp. 324~333.
9. Teng, W. C.(1962), *Foundation Design*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, N.J., pp. 125~132.
10. Zhang, L., Einstein, H. H.,(1998). End Bearing Capacity of Drilled Shafts in Rock, *J. Geotech. Geoenviron. Engrg.*, Vol. 124, No. 7, pp. 574~585.

(접수일: 2011. 9. 20 심사일: 2011. 10. 14 심사완료일: 2011. 11. 15)