

현장평판재하시험에 의한 현장타설형 팽이말뚝기초의 지지력산정

Estimation of Bearing Capacity for In-Situ Top-Base Method by Field Experimental Plate Load Test

신 은 철^{1*} Shin, Eun-Chul
안 민 희² Ahn, Min-Hye

ABSTRACT

The problems like a deterioration of loading bearing capacity, an exaggeration of settlement and lateral deformation are able to be generated, meanwhile structures are built in soft ground. Top-Base method is belonged to a rigidity mat foundation method which is used to surface treatment of soft ground. This method makes an effect to increase the bearing capacity of foundation using friction force, and prevent the differential settlement. Further more, the In-Situ Top-Base method has advantages in the phase of economic effect by reduction of the construction cost and offers an expediency on construction comparing with precast products. This paper presents the way of the estimation of bearing capacity for In-Situ Top-Base method through field plate load test in soft ground. It utilizes the results to a future design by analyzing the properties in the existing study and designs through these analysis and calculating the top-base method's reasonable range.

요 지

연약지반상에 구조물을 축조하게 되면 지반의 지지력 부족, 과대침하량 및 측방변형과 같은 문제점이 발생한다. 팽이말뚝 기초공법은 지지력이 다소 부족한 지반에 팽이형 콘크리트 파일을 연약지반기초에 사용하여 지지력 증가와 침하억제, 부등침하방지 등의 효과를 도모하는 연약지반 표면 처리용 강성매트공법이며, 공사비 절감 등의 경제적인 효과와 공사기간 단축, 공사 중 소음 등으로 인한 민원 차단 등의 시공에 따른 편의성을 확보할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 현장평판재하시험을 통하여 연약지반상의 현장타설형 팽이말뚝기초의 지지력을 산출하였다. 평판재하시험 분석결과를 통해 기존 연구 및 설계에서 적용하고 있는 제안식과 비교분석하여 현장타설형 팽이말뚝기초를 기초지반에 적용할 시 기초의 합리적인 범위를 산정하여 향후의 설계에 그 결과를 활용하고자 한다.

Keywords : In-Situ Top-Base method, Plate bearing test, Bearing capacity, Soft ground

1. 서 론

연약지반 내 건설공사에서 일반적인 문제점은 지반의 지지력 부족, 과대침하 및 측방변형이 있다. 연약지반은 자연함수비가 높아 시공 중 반복진동하중에 의한 지반교란으로 지지력이 급감하여 공사지반과 인접지역의 지반변형으로 활동 붕괴, 굴착 시 침하파괴, 지반용기 등이 발생하고 중장비의 작업 불능으로 인해 공사가 중단되어 공사

비가 증가되기 쉽다. 또한 지하수위가 높은 포화된 점토지반은 배수불량 토질이므로 투수성이 불량하여 신속한 지반 개량이 어려워 부등침하 및 잔류침하가 발생되기 쉽다. 이와 같은 연약지반상의 문제점에 대한 표층처리공법으로 국내에서는 주로 표층다짐, 압성토, 시멘트 안정처리, 흙 치환공법 그리고 토목섬유를 이용한 배수보강공법 등이 주로 사용되고 있다.

표층 지반 개량공법 분야의 최근 신공법 중 일본 등에서

1* 정회원, 인천대학교 도시환경공학부 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil and Environ. Engrg., University of Incheon, E-mail: ecshin@incheon.ac.kr)

2 정회원, 인천대학교 토목환경공학과 박사과정 (Member, Ph. D. Student, Dept. of Civil and Environ. Engrg., University of Incheon)

널리 실용화된 공법으로 경제성, 안전성, 시공성, 유지관리 등이 우수한 공법으로 팽이말뚝(Top-Base)공법이 있다. 팽이말뚝기초의 메커니즘은 기초하중이 팽이형 말뚝의 원추부로 하여금, 채움쇄석을 압축하여 구속함으로써 말뚝과 채움쇄석이 일체화 되어 강성지반을 형성하고, 접지면적을 극대화 시켜 하중을 넓게 분산시킴으로써 연약지반 상에 전달되는 응력을 감소시키는 것이며, 침하량을 억제하고 상재하중에 대한 저항능력을 증대시키는 효과를 지닌다. 또한, 분리된 강성구조물 임에도 불구하고 팽이말뚝 사이의 잘 다짐된 채움쇄석이 응력집중을 방지하여 지반 내 응력분포를 균등화시킨다. 이에 하중이 분산되어 기초지반의 심부까지 영향을 미치지 않으며, 원추형 말뚝부와 채움쇄석 지반사이에 마찰저항이 일어나 상호 작용으로 파일부 주변지반의 측방변형을 구속하여 지반의 국부파괴를 방지하고, 압축변형에 의한 침하를 방지하는 효과를 얻게 된다.

팽이말뚝 기초공법 적용 시 무처리지반에 비하여 즉시 침하는 1/2~1/3, 압밀침하는 1/3, 팽이말뚝 2층 구조에서는 1/9 정도로 억제되며, 지지력 효과도 무처리지반에 비해 50~100% 증대되는 것으로 현장재하시험 등을 통해 보고되고 있다(Arai et al., 1989; 강홍규, 2004; 신은철 등, 2008). 따라서, 팽이말뚝기초는 말뚝기초 시 과대한 설계가 되는 경우에 유리하며 협소한 공사부지에서 시공이 가능할 뿐 아니라 소요장비가 비교적 단순하고 소음이나 진동의 발생이 우려되지 않는다. 또한, 팽이말뚝기초 공법의 기능과 개별요소가 일체화된 자재의 특성상 내진과 방진에도 우수한 효과가 나타나는 것이 이 공법의 특징이다. 이에 본 연구에서는 현장타설형 팽이말뚝 기초공법 적용하여 현장 재하시험에 따른 기초의 지지력을 비교·분석함으로써 팽이기초

공법의 기초자료로 활용하는데 그 목적이 있다.

2. 현장타설형 팽이말뚝 기초공법

2.1 현장타설형 팽이말뚝 기초공법의 개요

구조물의 설계하중이 작고 지반의 지지력이 일부 부족한 경우에 말뚝기초를 시공하는 것은 과다설계가 되어 시공성과 경제성에 큰 부담을 주고 있다. 이러한 경우에 팽이말뚝 기초공법을 적용하게 되면 지지력증대와 침하량 억제 효과를 동시에 도모할 수 있다. 팽이말뚝기초의 시공 방법은 우선 구조물의 기초 지반면에 팽이말뚝시공을 위한 위치철근을 설치하고 그 위에 팽이모양의 콘크리트 파일을 설치한다. 그 다음으로 팽이파일 사이의 간극에 쇄석을 채워 다짐을 하고, 파일 상부에 연결철근을 고정시켜 표면처리용 강성매트를 형성한다.

현장타설형 팽이말뚝은 공장제작형이 개당 75kgf인 것에 비해 개당 2kgf으로 규격중량이 현저히 낮고, 채움 재료의 제한이 없으며 소규모 생산시설로 대량생산이 가능하다. 공장제작형의 경우 팽이말뚝의 운반 및 하역, 압입 시공 시 원추부와 말뚝부 접점에서 발생하는 크랙 및 절단 등의 제품 손상이 우려되나 현장타설형의 경우 팽이말뚝의 원추부와 말뚝부 접점에서 발생하는 크랙 및 절단을 원천적으로 제거 보호하기 때문에 안정성에서도 공장제작형에 비해 우수하다. 설계접지압 저항구조가 그림 1과 같이 팽이말뚝과 합성수지용기로 구성된 압축부재로 되어있으며 재활용 수지 이용으로 친환경적이다. 경제성에서도 공장제작형의 80%수준이고 무소음, 무진동 및 용기의 내염, 내산성 등 우수한 장점을 가지고 있다.



그림 1. 현장타설 팽이말뚝기초의 형상 및 시공단면도

2.1.1 팽이말뚝기초의 허용지지력 산정

팽이말뚝기초공법의 허용지지력 계산식은 소성이론에 근거한 Terzaghi(1943) 및 Meyerhof(1953)의 지지력 공식을 기본으로 하며, 지지력공식에 응력분산효과 K_1 과 점성토지반 강성기초의 응력분포를 등분포로 개선한 지지력 향상계수 K_2 가 추가되었다. 식 (1)과 식 (2)는 일본 도로교시방서에 제안된 연속기초 및 직사각형 기초에 대한 수정식이다.

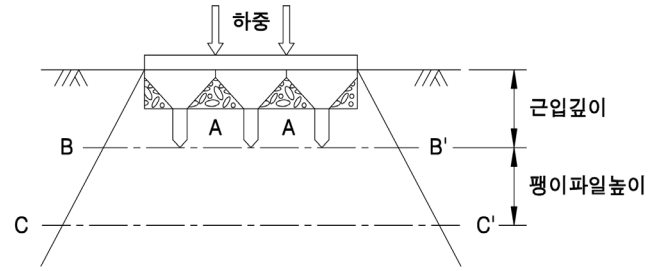


그림 2. 침하량 계산 시 층 분할

연속기초 :

$$q_{ka} = \frac{1}{F} K_1 K_2 \left[c N_c + p_o N_q + \frac{1}{2} \gamma B'_k N_r \right] \quad (1)$$

직사각형기초:

$$q_{ka} = \frac{1}{F} K_1 K_2 \left[\left(1 + 0.3 \frac{B'_k}{L_k} \right) c N_c + p_o N_q + \left(1 - 0.4 \frac{B'_k}{L_k} \right) \frac{1}{2} \gamma B'_k N_r \right] \quad (2)$$

여기서, q_{ka} : 편심경사를 고려한 지반의 허용지지력 (tonf/m²)

F : 안전율(평상시 : 3, 지진시 : 2)

K_1 : 응력분산계수(직사각형기초의

$$K_1 = (B'_k + 2H \tan w) / (L'_k + 2H \tan w) / (B \times L')$$

(H : 팽이파일의 높이(m),

w : 응력의 분산각)

K_2 : 등분포계수(점성지반 유효재하면적

$$A' \geq 6.25m^2 \text{ 일 때 } K_2 = 1.2)$$

B_k, B'_k : 편심을 고려한 일반기초, 팽이말뚝기초의 유효재하폭 중 단변(m)

L_k, L'_k : 편심을 고려한 일반기초, 팽이말뚝기초의 유효재하폭 중 장변(m)

γ, c, ϕ : 기초아래 지반의 단위체적중량, 점착력(tonf/m²), 전단저항각 (°)

p_o : 기초의 근입깊이(D_f)에 대한 상재하중 (tonf/m²),

N_c, N_q, N_r : 전단저항각에 따른 팽이기초의 지지력 계수

2.1.2 팽이말뚝기초의 침하량 산정

침하량 예측방법은 Davis and Poulos(1963)에 의해 제안된 방법을 활용하였다. 팽이말뚝 기초는 비균질하고 층

표 1. 침하량의 계산 시 고려하는 지층의 깊이

토 질	점성지반	사질지반
팽이말뚝기초	기초폭에서 단변의 1.0배	기초폭에서 단변의 1.5배
원지반	기초폭에서 단변의 1.5배	

상인 지반에 적합한 연직변형의 합을 이용하는 방법을 적용하며, 층별침하량은 각 층의 연직변형도에 층의 두께를 곱함으로써 구할 수 있다. 근입된 팽이말뚝으로 인해 측방 변형이 억제되므로 선단각부(그림 2의 B-B'선) 위층의 침하량은 무시한다. 또한, 팽이말뚝의 깊이만큼 토층변형이 억제되므로 그림 2에 도시한 B-B'에서 C-C' 사이의 침하량은 식 (3)에 의한 계산 값의 1/2만 적용하며 다른 층은 계산 값을 그대로 적용한다.

$$S_i = \epsilon_{zi} \times H_i \quad (3)$$

여기서, S_i : i 층의 침하량

$$\epsilon_{zi} : \text{각 층의 연직변형도} (\epsilon_{zi} = \frac{1}{E} \cdot (1 - 2\nu K_0) \cdot \Delta\sigma_{zi})$$

(E : 탄성계수, ν : Poisson 비, K_0 : 정지토 압계수, σ_{zi} : 연직응력)

H_i : i 층의 두께

지반을 그림 2에서와 같이 팽이말뚝의 근입깊이 정도의 적당한 층으로 분할하고 침하량을 계산하기 위하여 지층의 깊이는 표 1에 나타난 바와 같이 고려하였다.

2.2 현장타설형 팽이말뚝 기초공법의 시공순서

팽이파일의 기초 시공은 시공기면의 정지, 다짐 및 재로 운반을 위한 굴삭기, 팽이파일의 축각부를 지반에 근입시키기 위한 핸드오거 또는 전동 피커(picker), 쇄석 채움 및 다짐작업을 위한 브레카, 소형 바이브레이터 및 콤팩터,

철근배근과 결속을 위한 용접기를 이용한다. 현장타설형 팽이말뚝의 시공순서도(이정영 등, 2009)는 그림 3과 같다.

2.3 현장타설형 팽이말뚝 기초의 설치

현장타설형 팽이말뚝 기초공법은 운반에 따른 말뚝부와 원추부 접점의 균열 및 전단에 대한 보호가 가능하다. 팽이말뚝의 시공은 그림 4와 같이 PE 거푸집을 위치철근으로 결속시키고 용기를 설치한 후 레미콘 타설시 연결고리 또는 상부철근을 배근하여 개별적으로 움직이지 않도록

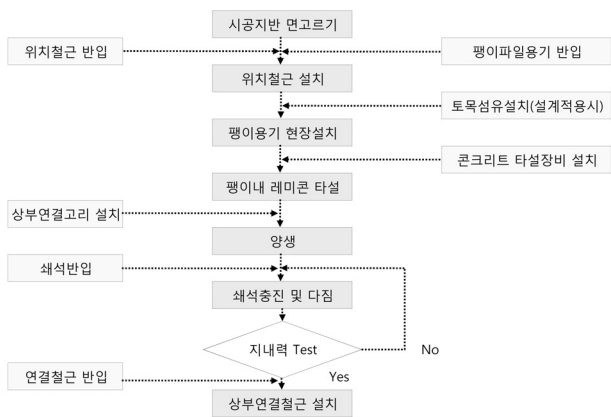


그림 3. 현장타설형 팽이말뚝 기초공법의 시공 순서도



그림 4. 현장타설형 팽이말뚝 기초의 시공방법

고정한다. 팽이사이의 공극에 쇄석채움 시 원추부하부와 쇄석의 접점부에 다짐불량이 발생하지 않도록 현장여건에 따라 19mm~40mm 골재로 포설 후 다짐봉을 이용하여 선단부 및 원추부 주변을 견실하게 다진 다음 허용지내력 이상을 확보하는지 재하시험을 통해 확인한다. 지내력이 부족한 경우 재다짐을 통해 지지력을 확보하도록 한다.

3. 현장재하시험 및 결과분석

3.1 현장시험의 개요

평판재하시험은 지하수위의 위치 수리구조물이나 장래 포화될 것이 예상되는 지점에서는 시험시작 전에 굴착 바닥면을 재하판 지름의 2배만큼의 깊이까지 미리 수침 포화시켜야 하고, 지하수위가 시험 깊이보다 높을 때는 시험 깊이 바로 아래까지 지하수위를 낮추고 적절한 배수를 통해 시험기간 중 이 수위가 유지되도록 하여야 한다. 재하 방법은 재하판 위에 재하대를 설치하고 그 위에 중량물을 적재하는 방법과 중량물 또는 말뚝 등에 의해 반력을 이용하는 방법이 있다. 유압잭을 사용할 때는 유압잭 및 기둥이 반력장치와 재하판 중심선위에 설치되도록 유의해야 한다. 토질조건에 따른 재하판과 벽과의 거리는 표 2와 같다.

평판재하시험 방법은 KS F 2444규정에 의하여 실시하였으며, 재하판의 크기는 1m×1m, 300mm 원형재하판을 사용하고 하중에 의해 변형하지 않도록 두께 25mm 철판을 사용하였다. 침하량의 측정은 다이얼게이지 4개를 대각선으로 설치하여 측정하였으며, 응력제어방법(stress control method)에 따라 실시하였다. 재하하중은 설계하중의 3배 이상을 6~9단계로 나누어 단계적으로 하중을 가하였다. 침하량 측정은 하중을 가한 후 0.1, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15 분의 간격으로 측정하였다. 침하량은 좌우 2개의 다이얼 게이지로 측정하여 평균치를 적용하였다. 평판재하시험은 하중-침하곡선 위 항복점이 나타날 때까지 시험을 계속하였다. 그림 5는 팽이말뚝기초에 대한 평판재하시험의 모식도(이정영 등, 2009)이다.

표 2. 토질조건에 따른 재하판과 벽과의 거리

토 질 조 건	재하판과 벽과의 거리
점 성 토	$S \geq 1.5 B$
느슨한 모래	$S \geq 2.5 B$
조밀한 모래	$S \geq 4.0 B$

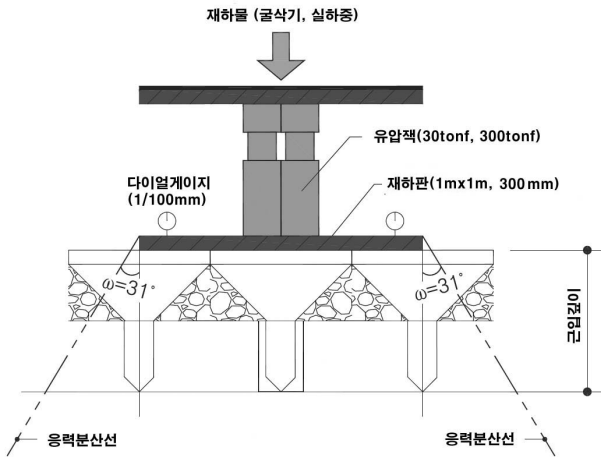


그림 5. 현장 평판재하시험 모식도

표 3. 평판재하시험 장비

장비명	단위	수량	비고
유압잭	조	1	용량 30tonf, 300tonf
마그네틱 홀더	EA	4	위치고정용
다이얼 게이지	EA	4	감도 1/100mm
재하판	mm	300×25, 1000×1000×25	원형 및 사각형
스톱워치	EA	1	재하시간 측정
굴삭기	대	2	실하중 재하물

3.2 현장 평판재하시험

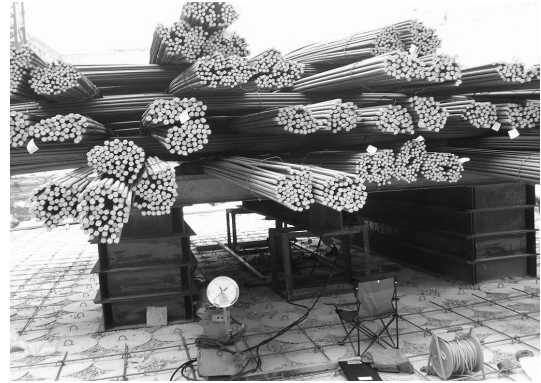
현장시험은 팽이말뚝기초로 시공된 “00센터 조성사업” 부지에서 2개소를 선정하여 원지반 지지력을 확인하고 시공에 따른 기초지지력 향상 및 설계적합여부를 판단하였다. 현장평판재하시험 장비는 굴삭기, 재하물, 유압잭, 마그네틱 홀더 및 다이얼 게이지, 재하판, 스톱워치 등이 사용되었으며 세부사항은 표 3과 같다.

재하시험은 지정한 부지에 원지반 2개소, 팽이말뚝기초 상부 2개소로 총 4개 지점을 선정하여 현장답사 후 실시하였다. 굴삭기를 사용하여 기초저면을 굴착한 후 굴착저면에서 원지반 재하시험을 하고 팽이말뚝을 시공한 다음, 팽이말뚝 상부에 재하판을 놓고 단계별 하중을 가하여 침하량을 측정함으로써 허용지내력을 계산하였다.

그림 6은 “00 센터 조성사업”에 적용된 팽이말뚝기초에 대한 평판재하시험을 나타낸다. 지하 2층 지상 6층 규모의 신축공사 기초로 현장의 지반상태는 N=15~20인 모래자갈층으로 구성되어 있었으며 지하수위에 의한 영향은 없는 것으로 나타났다.



(a) 평판재하(PBT-3), T/C기초



(b) 평판재하(PBT-4), 구조물기초

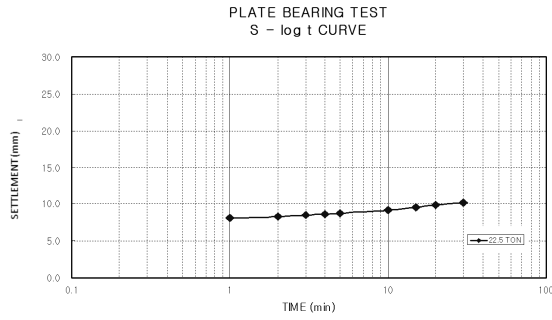
그림 6. 평판재하시험 하중재하 전경사진

3.3 현장평판재하시험 결과 및 분석

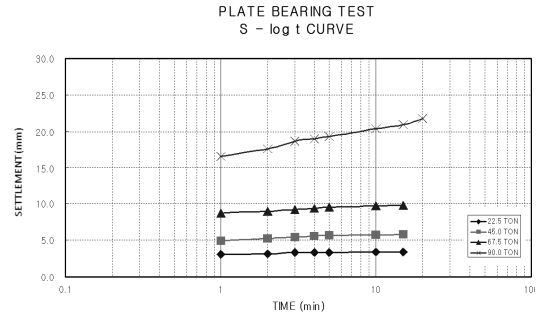
3.3.1 평판재하시험에 의한 하중결정

평판재하시험에서 극한하중 또는 항복하중을 결정하는 요소로는 하중(P), 침하(S), 시간(T)이 있다. 대표적인 하중 결정방법 중 하나인 P-S 곡선법은 곡선이 가장 크게 변했을 때의 하중을 항복하중으로 결정한다. 하중과 침하량 곡선에서 변곡점을 구하기가 곤란할 경우가 발생할 수 있으므로 상용대수를 이용하여 절선을 찾는 logP-logS 곡선법이 많이 사용되고 있다. 침하량을 이용한 반대수법인 S-logT법은 각 단계하중별로 시간에 따른 침하량을 이용해 항복하중을 결정한다. 상용대수시간에 따른 침하속도를 이용한 P-ds/d(logT)법은 일정시간이 경과한 후의 침하속도를 구하여 하중곡선이 절곡되는 점을 항복하중으로 결정한다.

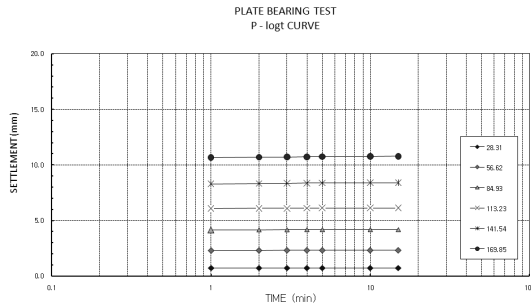
본 연구에서는 지름 30cm재하판과 1m×1m 재하판을 이용하여 시험을 수행하였으며 4가지 방법을 조합하여 극한지지력을 결정하였다. 평판재하시험은 원지반에서 시험한 PBT-1, PBT-2와 팽이기초지반에서 시험한 PBT-3, PBT-4로 구분하여 측정하였으며 재하시험 결과를 S-logT



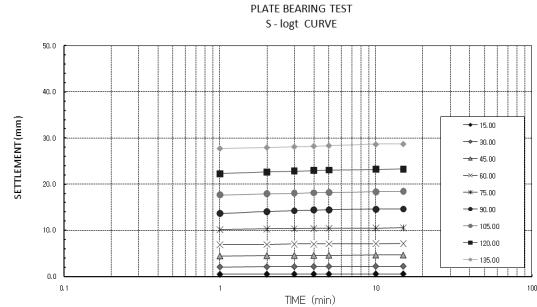
(a) 평판재하시험-1



(b) 평판재하시험-2



(c) 평판재하시험-3



(d) 평판재하시험-4

그림 7. S-logT 법에 의한 극한하중의 결정

법에 따라 그림 7에 나타내었다. PBT-1과 PBT-2는 각각 1단계, 4단계에서 극한하중이 발생하였으며 PBT-3과 PBT-4는 재하하중에 따른 극한하중이 발생하지 않았다.

3.3.2 평판재하시험 결과 분석

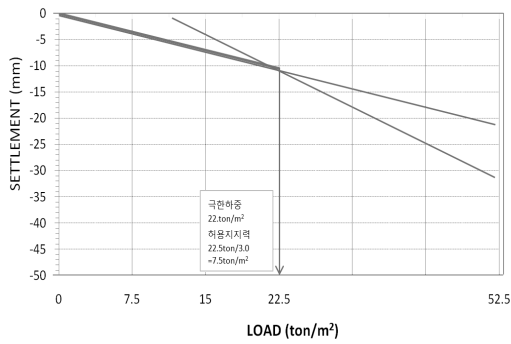
일반적으로 단기허용지지력은 항복하중 강도로 결정하고, 장기허용지지력은 항복하중의 1/2, 극한하중의 1/3, 침하량 25mm에 대한 하중의 1/1.5(Terzaghi and Peck, 1967) 등을 이용하여 지지력을 결정하며 재하판 크기에 따른 영향을 고려하여야 한다. 또한 지하수위가 상승하면 지지력이 반감하게 되므로 재하시험결과를 그대로 적용해서는 안 되며 지하수면과 그 변동을 고려하여야 한다. 실험결과에 의하면 모래 및 실트계열의 경우 지하수위 상승 시 지지력이 30%정도(김찬국, 2009) 저하되는 것으로 나타났다.

평판재하시험 분석결과 원지반의 허용지지력은 각각 7.5tonf/m² 및 30.0tonf/m²의 값을 나타내었다. 팽이말뚝기초 시공 후 기초 상부에서 평판재하시험을 실시한 결과 PBT-1의 시험위치와 인접한 PBT-3에 대한 허용지지력은 56.6tonf/m²을 나타내었고 PBT-4의 허용지지력은 구조물 기초 허용침하량 25.0mm기준으로 82.6tonf/m²이상으로 측정되어 설계하중 기준인 45.0tonf/m²에 대해 만족하는 결과를 얻었다. PBT-1의 경우 최초 지반조사서의 주상도상 조밀한 모래 또는 모래자갈층으로 이와 동일한 지지층

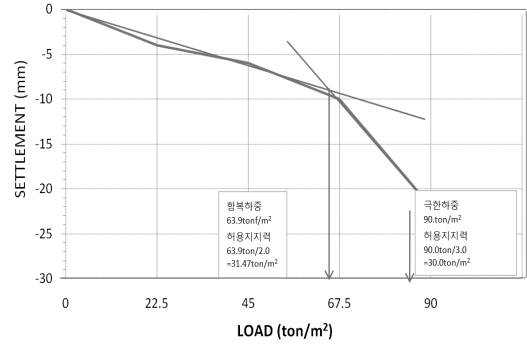
의 예상지지력 보다 상당히 과소평가된 결과로 판단되며, 지층상태를 육안 확인결과 모래질이 우세한 지층으로 확인되어 평판재하시험 시 유도배수 및 토공장비의 기초지반 교란 등에 의해 상대적으로 작게 나타난 것으로 판단된다. PBT-2의 경우 원지반 지지력이 30.0tonf/m²으로 팽이기초로 보강 후 설계접지압인 45tonf/m²을 확보하는데 충분할 것으로 판단하였다.

평판재하시험 PBT-3, PBT-4는 현장타설 팽이말뚝 지름 500mm에 대한 시험이다. 재하시험결과는 재하판(지름 30cm, 1m×1m)에 대한 시험 값을 단위면적(m²)에 대하여 환산한 값으로 실제기초에 적용 시는 기초의 크기(scale effect)를 고려하여야 한다. PBT-3은 재하판 지름 300mm에 대한 재하판 환산에 따른 결과이며 재하시험 시 항복하중이나 극한하중이 발견되지 않아 재하 최대하중에 안전율을 3.0을 적용하여 허용지지력을 산정하였다. PBT-4는 재하판 1m×1m에 대한 재하판 환산에 따른 결과로서 구조물 기초 허용침하량을 기준으로 산정하였다. 허용지지력은 그림 8과 같이 P-S곡선을 이용하여 지지력을 결정하였으며 최종 결과 값을 표 4에 정리하였다.

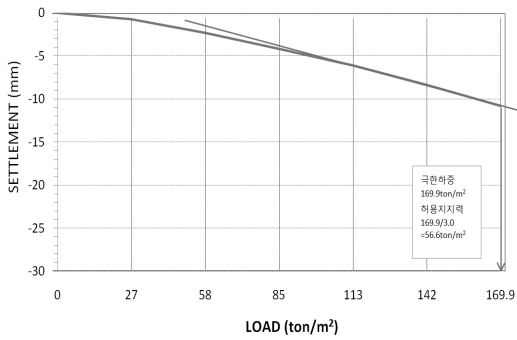
건물기초에 대하여 팽이기초의 제안식과 평판재하 값을 비교한 결과 유사한 값을 보이거나 이론식에 의한 값이 재하시험에 의한 결과 값보다 보수적으로 나타나는 경향을 보이는 것으로 확인되었다. 지하수영향이 없는 지반으



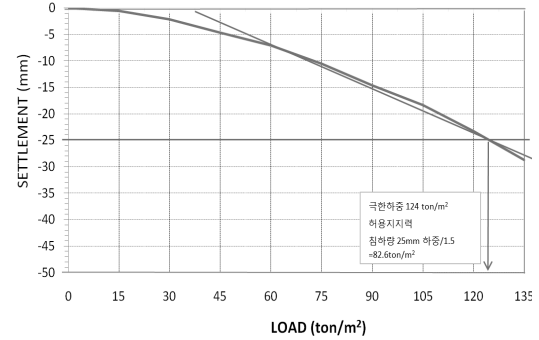
(a) 평판재하시험-1



(b) 평판재하시험-2



(c) 평판재하시험-3



(d) 평판재하시험-4

그림 8. P-S 곡선법에 의한 허용지지력의 결정

표 4. 평판재하시험에 따른 허용지지력과 침하량

NO	시험 위치	재하하중 (tonf/m ²)	최종침하량 (mm)	설계지지력 (tonf/m ²)	허용지지력 (tonf/m ²)	비고
1	PBT-1	22.5	10.1	45.0	7.5	지름 300mm
2	PBT-2	90.0	21.75	45.0	30.0	지름 300mm
3	PBT-3	169.9	10.8	45.0	56.6	지름 300mm
4	PBT-4	124.0	23.28	45.0	82.6	1mX1m

표 5. 극한지지력에 대한 제안식과 평판재하시험 결과의 비교

NO	시험위치	지반조건(N)	극한지지력(tonf/m ²)		비고
			제안식	평판재하시험	
1	PBT-2	15~20	71.0	90.0	무처리지반
2	PBT-4	15~20	137.0	124.0	팽이말뚝기초

로 N값에 따른 내부마찰각은 Dunham(1954) 공식을 이용하였으며 결과 값은 표 5에 정리하였다.

4 결론

본 연구는 현장타설형 팽이말뚝기초(Top-Base)공법 적용 시 현장타설형 팽이말뚝을 이용한 기초 시스템 적용을 검토하였다. 팽이말뚝의 시공방법과 지지력 시험방법에

대하여 기술하였으며 현장평판재하시험을 통하여 이론식과 팽이기초 제안식을 비교 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 현장타설형 팽이말뚝 기초공법은 기존 공장제작형 팽이말뚝 기초공법과 비교하여 경량화된 재활용 팽이용기를 사용하므로 자재의 현장반입과 시공성이 우수하고 공사비와 공사기간을 단축함으로써 시공

참고문헌

- 의 편의성을 확보할 수 있는 방법으로 판단된다.
- (2) 평판재하시험 결과 원지반은 초기단계하중에서 극한지지력이 발생하였으나 팽이말뚝기초시공 이후에는 뚜렷한 절곡점이 나타나지 않았다. 평판재하시험 PBT-4지역의 경우 구조물 기초 허용침하량 기준에 따라 지지력을 결정하였으며 원지반 보강 후 허용지지력은 설계기준 값의 1.8배 상회하는 것으로 나타났다.
- (3) 팽이말뚝기초는 원추부의 응력분산과 말뚝에 의한 지반 구속을 통해 측방변형을 억제하여 침하를 방지함으로써 지지력이 향상되는 것으로 나타났다. 따라서, 지반 내 공극에 의한 구속압의 변형을 최소화하기 위해 원추부 사이의 쇄석다짐이 중요하며 시공 후 가시설 제거 등에 따른 공극이 생기지 않도록 주의해야 할 것으로 판단된다.
- (4) 본 연구에서는 평판재하시험을 통해 팽이말뚝기초의 지지력향상 효과를 분석하였으며 그 결과 팽이말뚝 기초는 설계하중보다 다소 부족한 기초의 지지력을 증가시키는데 효과적인 것으로 나타났다. 또한, 제안식과 평판재하시험을 비교분석한 결과 제안식이 재하시험에 비하여 보수적으로 나타나는 경향을 보였다. 기초의 지지력은 토질 조건, 지하수 영향, 기초의 크기 등에 따라 편차가 크게 발생하므로 실물재하를 통한 분석이 중요하며 다양한 제안식을 이용한 지지력 연구검토가 필요한 것으로 판단된다.

1. 강홍규 (2004), *현장타설 팽이말뚝기초공법의 지지력 증대효과에 관한 모형실험 연구*, 석사학위논문, 단국대학교.
2. 김찬국 (2009), *연약지반상 팽이기초 적용에 따른 거동특성*, 박사학위논문, 단국대학교.
3. 신은철, 김성환, 이애영 (2008), “매립지반의 팽이말뚝 평판재하시험 사례연구”, *한국지반공학회 2008 추계학술발표회 논문집*, 전남대학교, pp.721-728.
4. 이정영, 김찬기, 홍기채, 이강일, 황순중, 박보현 (2009), *팽이말뚝기초공법*, 시지엔지니어링(주) 기술연구소.
5. Arai, K., Yasukawa, I., Ohnishi, Y. and Horita, M. (1989), “Measurement and Interpretation of Loading Test of Concrete Top Block on Soft Ground”, *Proc. of 2nd International Symposium on Field Measurement in Geomechanics*, Kobe, Vol.2, pp.919-926.
6. Davis, E. N. and Poulos, H. G. (1963), “Triaxial Testing and Three-Dimensional Settlement Analysis”, *Proc. 4th Australia-New Zealand Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering*, Adelaide, pp.233-243.
7. Dunham, J. W. (1954), “Pile Foundation for Building”, *Proc. JSMFFD*, ASCE, Vol.80, No.385, p.7.
8. Meyerhof, G. G. (1953), “The Bearing Capacity of Foundations under Eccentric and Inclined Loads”, *Proc. 3rd Int. Conf. Soil Mech.*, Zurich, Vol.1, pp.440-445.
9. Terzaghi, K. (1943), *Theoretical Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, New York.
10. Terzaghi, K. and Peck, R. B. (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, 2nd ed. John Wiley and Sons, New York.

(논문접수일 2010. 9. 15, 심사완료일 2011. 3. 4)