

팽이기초의 하중전달 메커니즘 Stress delivery mechanism of Top Bases

정진혁¹⁾, Jin-hyuck Chung, 도준기²⁾, Jun-ki Do, 이 송³⁾, Song Lee

¹⁾ 서울시립대학교 토목공학과 박사 후 과정, Post Doc., Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

²⁾ 서울시립대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

³⁾ 서울시립대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, University of Seoul

SYNOPSIS : Top-Base Foundation(TBF) was developed in Japan as a factory made concrete product. It is actively used in 6,000 sites by the end of 1980s in Japan and applied for a domestic patent in 1985. It is a shallow foundation whose effectiveness is proven by many relevant researchers and engineers. TBF was introduced to Korea in 1991 and has been applied mainly to architectural structures to date. Currently, the effectiveness in bearing capacity and settlement of TBF is being underestimated for civil engineering structures.

Characteristics of Top-Base Foundation studied in Japan and Korea is known as follows: (1) as concrete part and crushed stone behave together, they perform the function of rigid mat; (2) the conical part and pile part of TBF disperses load by interaction with the crushed stone; (3) by preventing lateral strain and differential settlement on lower ground, it improves bearing capacity and constrains settlement at the same time.

In Korea, it is used mostly in clayey soft grounds. The formula of bearing capacity and settlement of TBF suggested in Japan give the values of the underestimated. bearing capacity while its settlement is overestimated in comparison with the values measured from the field loading test.

Therefore, in this study, the stress delivery mechanism of Top-Base Foundation developed in Japan and Floating Top Base developed in Korea is investigated through numerical analysis and laboratory model test.

Keywords : Top-Base Foundation, Floating Top Base, stress dispersion

1. 서론

팽이기초공법은 일명 Top-Base Foundation공법으로 일본에서 1974년 마쓰이(松井)에 의해 개발되었다. 그 원리는 연약지반 상에 목재를 격자형으로 엮은 지지대 위에 옥석을 부설하여 하중을 분산시키는 효과를 이용한 매트기능의 옥석 기초공법으로 부터 유래되었다. 일본에서 개발될 당시 공장제작 콘크리트 팽이기초로 제작되어 1985년 일본에서 특허 출원한 발매품으로서, 1980년대 말까지 6천여개소의 현장에 시공되었으며, 이와 관련하여 일본에서는 많은 연구가 진행되어 그 효과가 입증되었다.

국내에서는 1991년 도입되어 최근까지 다양한 현장에서 사용되고 있다. 그러나 현재까지 국내에서 팽이기초의 사용은 대부분 건축구조물에 적용되고 있으며, 토목구조물에서는 지지력 및 침하량 면에서 저평가되어 있는 상태이다.

이러한 국내 실정에도 불구하고 일본 및 국내에서 연구된 팽이기초공법의 특성은 콘크리트와 쇄석의 일체 거동으로 강성매트 기초기능을 하며, 팽이기초의 원추부와 말뚝부가 쇄석과 상호작용하여 하중을 분산시키고, 저면지반의 측방변형 및 부등침하를 방지하여 지지력 증대와 침하억제를 동시에 수행할 수

있다고 알려져 있다. 또한, 시공공정이 단순하고 규격화되어 시공관리가 쉽고 구조물의 설치에 대형장비가 필요하지 않으므로 좁은 장소에서도 시공할 수 있어 시공성과 경제성도 입증된 상태이다.

최근 이러한 연구결과가 국내에도 경제성 시공과 맞물려 알려지면서 저심도의 연약지반이나 느슨한 사질지반에 부설되는 토목구조물에도 말뚝기초에 비해 경제적이며 사용하중에 대한 지지력을 발휘할 수 있는 팽이기초의 적용이 점진적으로 증가하는 추세이다.

그러나 팽이기초 공법은 일본에서 개발당시 느슨한 사질지반의 지지력 증대와 액상화 방지를 위한 최적형상을 구현한 기초공법으로 점토질 연약지반이 넓게 분포한 국내에선 일본에서 제안된 팽이기초의 지지력 및 침하량 산정식이 점토질 연약지반에 대한 현장 재하실험을 통해 측정된 값에 비해 지지력은 과소평가되고, 침하는 과대하게 예측되는 문제점이 있다.

이러한 문제점 중 지지력 과소평가는 팽이기초의 상부하중에 대한 응력전달 메커니즘이 명확히 규명되지 않고 있는 상황에서 사용하중이 팽이기초 저면에 어느 정도의 접지응력으로 전달되는 지에 대한 국내외 연구가 미흡하기 때문에 일본에서 제시하고 있는 경험적이고 느슨한 사질성 지반에 적용성이 높은 팽이기초 지지력식에서의 응력분산각을 사용하고 있기 때문이다.

또한, 침하량 산정의 경우도 분할된 각층의 경계에서 상재하중에 의해 증가된 지반연직응력을 Boston Code법에 따라 구하여 연직변형도를 산정하여 층별 침하량을 구하는데, 여기서 지반연직응력 증가량 산정식 역시 응력분산각의 항에 일본에서 제시하고 있는 값을 적용하고 있다.

이에 본 연구에서는 일본에서 개발된 Top-Base Foundation과 기존 팽이기초의 응력분산효과를 증대시키고 채움쇄석의 변형을 구속하여 지반의 측방변형을 억제할 목적으로 국내에서 개발된 부양형 팽이기초의 응력전달 메커니즘을 수치해석 및 실내모형실험을 통하여 분석하였다.

2. 팽이기초의 지지력 및 침하량

2.1 팽이기초의 허용지지력

팽이기초의 허용지지력 공식은 그림 1과 같이 유효재하폭을 산정하고, Terzaghi의 지지력공식에 Meyerhof의 경사계수를 적용하여 팽이기초의 형상계수와 안전율, 응력분산효과 계수 K_1 과 K_2 를 반영하여 제안된 공식이다.

$$q_{Ka} = \frac{1}{F} K_1 K_2 \left(\alpha c N_c + p_0 N_q + \beta \gamma_1 B'_K \frac{N_r}{2} \right) \quad (1)$$

식(1)은 팽이기초 허용지지력 공식의 기본적인 형태로 공식에 적용된 α , β 는 식 (2), (3)이다.

$$\alpha = 1 + 0.3 \frac{B'_K}{L'_K} \quad (2)$$

$$\beta = 1 - 0.4 \frac{B'_K}{L'_K} \quad (3)$$

식(1)에 식(2)와 (3)을 대입하면 다음과 같이 정리된다.

$$q_{Ka} = \frac{1}{F} K_1 K_2 \left[\left(1 + 0.3 \frac{B'_K}{L'_K} \right) c N_c + p_0 N_q + \left(1 - 0.4 \frac{B'_K}{L'_K} \right) \gamma_1 B'_K \frac{N_r}{2} \right] \quad (4)$$

여기서, 기초저면에서의 응력분산효과에 의한 지지력향상계수 K_1 은 팽이기초의 파일까지는 측방유동

이 없고, 응력분산효과를 충분히 기대할 수 있어서 구조물의 하중이 팽이기초의 파일선단까지 분산되는 하중의 응력분산효과를 나타내는 계수로서 그림 1과 같은 개념도를 통해 식(5)와 같은 공식으로 제안되었다.

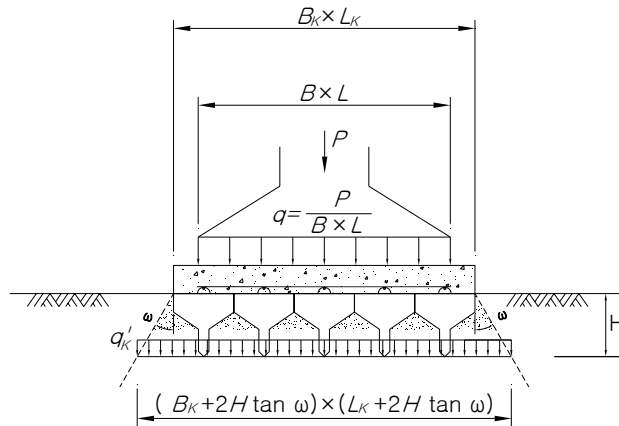


그림 1. 응력분산효과에 따른 지지력 증대효과

따라서, 팽이기초 자체의 응력분산효과와 관련된 K_1 은 다음과 같다.

$$K_1 = \frac{(B_k + 2H \tan \omega)(L_k + 2H \tan \omega)}{BL} \quad (5)$$

식 (5)에 의해 구한 K_1 은 유효재하폭이 증가함에 따라 계수 K_1 이 급격히 감소하여 팽이기초의 지지력 향상효과를 나타내기가 어렵게 된다. 또한 점성토지반에서는 전응력해석법을 적용하기 때문에 연약지반에 있어서 전단저항각이 0이 되는 경우가 많다. 이 경우 지지력계수 N_r 이 0이 되어 기초폭의 증가에 따라 지지력의 증대효과 역시 기대할 수 없다. 이에 대한 보상으로 점성토지반에 경우 팽이기초 적용시 접지압 분포를 고려하면 지지력 향상효과를 얻을 수 있다.

1994년 일본 지반개량공법편람에 부연된 연수회 자료에 의하면 강성기초의 접지압 분포가 등분포일 때 지지력이 20% 크게 나타나지만, 점성토 지반에서의 강성기초는 단부에 응력이 집중한다. 그러나 팽이기초는 강성기초를 형성하면서도 응력분포가 등분포로 나타나는 것으로 연구결과를 나타냈기 때문에, 이와 같은 기초저면에서의 응력분포효과에 대한 지지력향상계수 K_2 를 지지력 공식에 적용하였다.

2.2 팽이기초의 침하량

Arai 등(1990)이 제시하고 있는 팽이기초의 침하량 산정에서 상재하중은 팽이기초 부설폭으로 분산되기 때문에 상기 지지력 산정시의 하중강도 q 를 적용하고 지반내의 응력분포를 효과를 나타내는 응력분산각은 30° 로 분포하는 것으로 가정하였다.

또한, 측방변형억제 효과를 고려하여 팽이 근입깊이 부분의 침하량은 무시하며 하부에서 팽이 높이에 상당하는 부분의 토층변형도 상당히 억제 된다고 판단하여 그 부분의 침하는 산정된 침하량의 절반으로 한다고 제시하였으며, 침하에 영향을 주는 토층의 깊이는 종래에 1.5배 이었으나 팽이기초를 사용할 경우 응력분산효과로 인해 재하폭과 같은 깊이까지만 영향을 주기 때문에 침하를 고려하는 깊이는 재하폭과 동일한 심도까지로 정의하였다. 그림 2는 상기 침하량 산정을 위한 개념도이다.

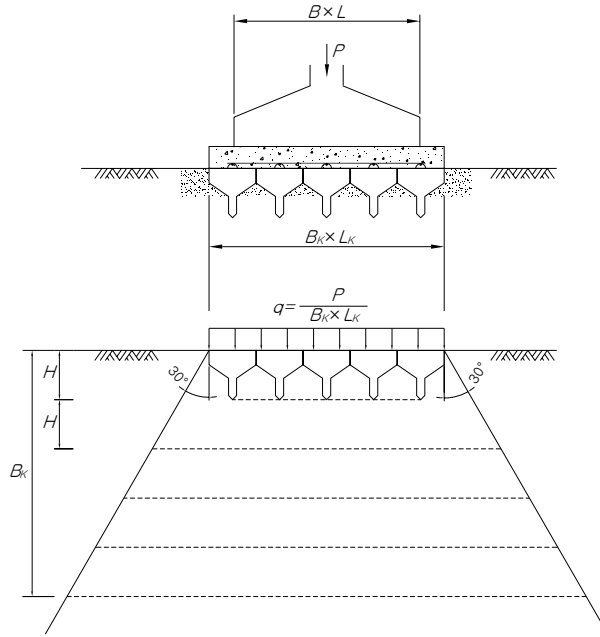


그림 2. 침하량 산정의 개념도

그림 2의 개념도에서와 같이 유효폭 만큼의 심도까지 영향깊이를 결정하고 층을 분할하여 각각의 분할된 토층마다 침하량을 구해서 합계한 것을 팽이기초의 최종침하량으로 한다. 이러한 개념에 따라 팽이기초의 침하량을 산출하기 위해서 우선 분할된 각층의 경계에서 상재하중에 의해 증가된 지반연직응력 $\Delta\sigma_{zi}$ 를 Boston Code법에 따라 식 (6)로 구한다.

$$\Delta\sigma_{zi} = \frac{qBL}{(B + 2z \tan \omega) \times (L + 2z \tan \omega)} \quad (6)$$

식 (6)에서 구한 $\Delta\sigma_{zi}$ 로부터 각 층의 연직변형도 ε_{zi} 를 식 (7)과 같이 구한다.

$$\varepsilon_{zi} = \frac{1}{E} (1 - 2\nu K_0) \Delta\sigma_{zi} \quad (7)$$

식 (7)에서 구한 연직변형도에 층별 심도를 곱하여 층별 침하량을 구하고, 근입깊이 부분의 침하량은 무시하며 하부에서 팽이 높이에 해당하는 부분의 토층변형은 산정된 침하량의 절반으로 고려하여 식 (9)와 같이 최종 침하량을 산정한다.

$$S_i = \varepsilon_{zi} \times H_i \quad (8)$$

여기서, S_i : i 층의 침하량, H_i : i 층의 두께

$$S_t = S_{D_f} + \sum_{i=1}^{\text{총층수}} S_i \quad (9)$$

여기서, S_t : 최종 침하량, S_{D_f} : 저면에서 D_f 침하량

3. 팽이기초의 하중전달 메커니즘

3.1 팽이기초의 하중전달 모델링 및 실험개요

3.1.1 팽이기초와 쇄석사이에 작용하는 반력

그림 3은 팽이기초와 쇄석 사이에서 발생 가능한 분력과 상재하중에 대한 반력을 도시한 것으로, 상재하중을 q 라고 가정할 경우 팽이기초에 작용하는 반력은 크게 주면마찰력과 쇄석의 탄성변형으로 나눌 수 있다.

상기 팽이기초의 분력은 팽이기초 자체의 탄성계수, 쇄석의 탄성계수 등과 상호작용하여 상부하중에 대한 팽이기초 자체의 반력으로 작용한다는 가정 하에 연구를 진행하였기 때문에, 수치해석 및 실내실험의 경우 지반의 영향을 최소화하기 위하여 경계면을 모두 고정된 상태로 수행되었다.

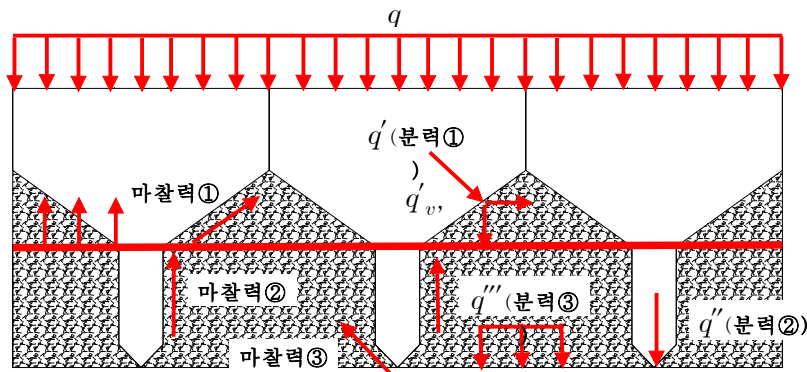


그림 3. 팽이기초에 작용하는 분력

3.1.2 하중전달 모델링에 따른 실험개요

본 연구에서의 대상 모형기초는 일본에서 개발된 Top-Base Foundation과 국내에서 개발된 부양형 팽이기초, 팽이기초에 상응하는 부피의 매트기초가 사용되었으며, 구분의 편의상 본 논문에서 Top-Base Foundation은 원추형 팽이기초로 호칭하도록 하겠다.

실험방법은 모형팽이기초 3×3배열의 부피에 상응하는 모형 매트기초를 제작하였다. 그림 4는 모형크기에 맞게 제작된 주형 및 모형팽이기초와 매트기초이다.

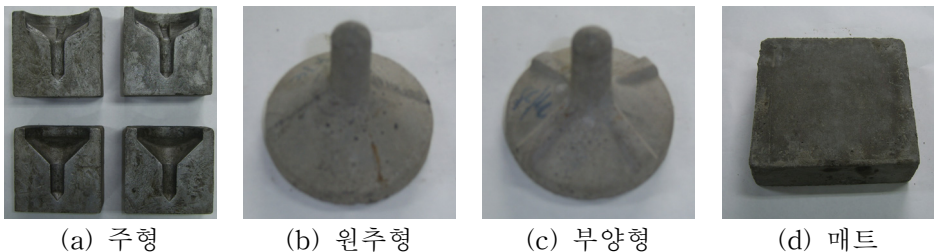


그림 4. 실내시험에 사용된 모형기초

제작된 기초를 대상으로 그림 3의 개념도에서 마찰력을 구하기 위해서는 각각의 접지면의 콘크리트와 쇄석사이의 마찰계수를 알아야 그 값을 계산할 수 있다. 따라서 그림 5에서와 같이 모형팽이기초를 구

성하고 있는 소요강도 $2.25 \times 10^4 kPa$ 의 콘크리트와 축소된 쇠석과의 마찰계수를 직접전단시험으로 산출하였다.

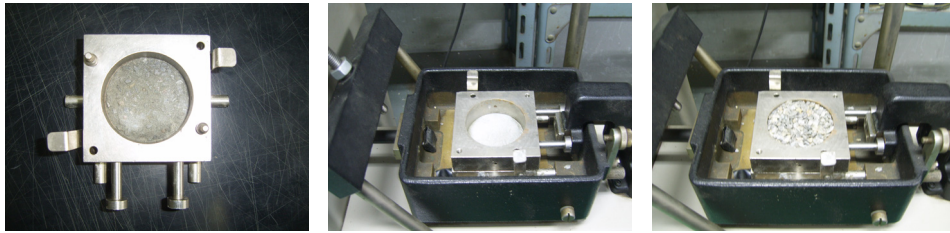


그림 5. 콘크리트와 쇠석의 직접전단시험

또한, 하중전달 메커니즘에 관한 실험으로 측방구속이 가능한 대형전단 상자에 팽이기초와 쇠석을 3×3배열로 타설하여 상재하중을 가한 후 말뚝부와 쇠석부 저면에 토압계를 설치하여 접지압 q'' 와 q''' 를 측정하였다. 그림 6은 하중전달 모형실험의 절차와 방법을 나타낸 것이다.



(a) 게이지 설치

(b) 팽이기초 타설

(c) 하중재하

그림 6. 팽이기초의 하중재하시험

팽이기초 말뚝부에 작용하는 측방응력을 측정하기 위하여 기초사이, 기초 옆 각각 3개소를 설치하여 1차 측정하였으며, 2차에는 팽이기초 측면에 토압판을 대고 토압판 측면에 토압계를 설치하여 전체적인 쇠석의 변형력을 측정하였다.



(a) 게이지 설치

(b) 팽이기초 타설

(c) 하중재하

그림 7. 팽이기초 말뚝부에 작용하는 측방응력 측정

3.2 모형실험결과 및 분석

3.2.1 팽이기초와 쇠석사이에 마찰력

팽이기초와 쇠석사이의 상재하중에 따른 주면마찰력을 산정하기 위해서는 우선적으로 실험에 적용된 쇠석과 팽이기초를 구성하는 콘크리트 사이에서의 마찰각을 측정해야하며, 이때의 팽이기초의 주면마찰

력은 정지 상태에서의 최대주면마찰력과 운동 상태에서 발생하는 잔류마찰력으로 구분할 수 있다.

최대주면마찰력의 크기는 물체가 받는 수직항력에 대해서 최대정지마찰계수를 곱하여 식(10)과 같은 구할 수 있다. 또한, 외부의 힘이 최대주면마찰력보다 커져 물체가 움직이기 시작하면 잔류마찰계수를 적용하여야 한다.

$$F_s = \mu_s \times N \tag{10}$$

여기서, $|\vec{F}_k| = F_k$: 최대정지마찰력, $|\vec{N}| = N$: 수직항력
 μ_s : 최대주면마찰계수, μ_k : 잔류마찰계수
 $\mu_s, \mu_k = \tan(\phi_s, \phi_k)$

다음 표 1은 직접전단실험 결과를 통해 산정한 마찰계수를 나타낸다.

표 1. 콘크리트와 쇠석의 마찰계수

구분	ϕ_s (°)	ϕ_k (°)	마찰계수	
			$\tan\phi_s$	$\tan\phi_k$
Test 1	9.4	7.5	0.17	0.13
Test 2	8.0	6.2	0.14	0.11

상기 측정된 마찰계수를 통해 쇠석과 팽이기초 사이의 주면마찰력을 계산하기 위해서는 상부하중에 대한 원추부의 경사면과 말뚝끝단 경사면에 작용하는 연직분력을 산정해야한다. 이에 구조해석 범용 program인 MIDAS/CIVIL 2006을 사용하여 3차원해석을 수행하였다. 그림 8은 수치해석 결과를 3차원으로 나타낸 것이다.

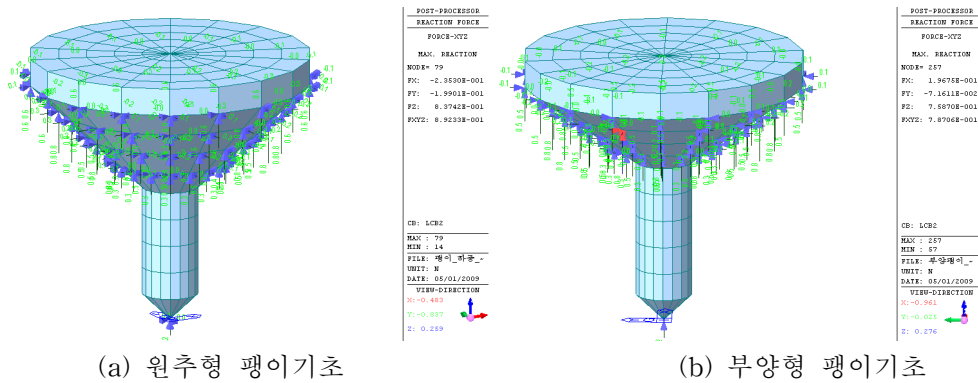


그림 8. 팽이기초 원추부에 작용하는 분포하중

원추형 팽이기초는 노드가 443개, 요소가 432개이며, 부양형 팽이기초는 노드가 462개, 요소가 450개의 솔리드 요소로 모델링하였다. 해석에 구현된 팽이기초의 크기는 실내실험모형 크기로 하였으며, 팽이기초의 경계면은 고정하여 절점에서의 반력분포를 확인하였다.

표 2. 팽이기초 원추부에 작용하는 주면마찰력 (단위 : N)

원추형 팽이기초		부양형 팽이기초	
원추부의 경사면 연직분력	41.0	원추부의 경사면 연직분력	40.5
팽이기초 1개의 주면마찰력	5.6	팽이기초 1개의 주면마찰력	5.6
3×3배열에 따른 주면마찰력	50.8	3×3배열에 따른 주면마찰력	50.1

표 2는 수치해석결과 얻어진 팽이기초 원추부의 경사면에 연직으로 작용하는 하중의 총합과 직접전단실험에서 구한 최대주면마찰계수와 잔류마찰계수의 평균값에 대하여 원추부에서 마찰력의 총합을 나타낸 것이다. 원추부의 주면마찰력과 함께 말뚝부의 주면마찰력을 산정하기 위해서는 그림 9의 개념도에서 수평방향으로 작용하는 하중을 측정해야한다. 이에 그림 7에서 측정된 측방변형력을 말뚝에 작용하는 수평방향 하중으로 환산하였다.

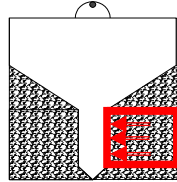


그림 9. 팽이기초 말뚝부에 작용하는 측방하중

말뚝의 주면마찰력은 수평응력이 작용하는 말뚝표면의 넓이를 곱하여 주면에 작용하는 수평하중의 총합을 구하고, 원추부에서 적용한 마찰계수를 적용하여 계산된다. 표 3은 말뚝부에 작용하는 주면마찰력을 계산한 결과이다.

표 3. 팽이기초 말뚝부에 작용하는 주면마찰력 (단위 : N)

원추형 팽이기초		부양형 팽이기초	
말뚝부에 작용하는 수평분력	47.04	말뚝부에 작용하는 수평분력	57.8
팽이기초 1개의 주면마찰력	6.47	팽이기초 1개의 주면마찰력	7.95
3×3배열에 따른 주면마찰력	58.2	3×3배열에 따른 주면마찰력	71.5

따라서, 모형실험에 적용한 상재하중 459N에 대해서 팽이기초의 총 주면마찰력은 원추형 팽이기초가 109N, 부양형 팽이기초가 121.6N로 수치해석 및 실내실험결과 나타났으며, 부양형 팽이기초가 원추부의 주면마찰력은 원추형과 차이가 없으나, 길어진 말뚝부에서 좀 더 우수한 주면마찰력을 발휘한다고 나타났다.

3.2.2 팽이기초의 응력분산각(w')

팽이기초 내부의 하중전달 메커니즘에 관한 실험결과로 상부재하는 15×15cm²의 재하판에 20.38kPa의 등분포하중을 가하고, 접지면에 전달되는 응력을 측정하였다. 모형실험은 매트기초, 원추형 팽이기초, 부양형 팽이기초에 대하여 진행되었으며, 말뚝부와 쇄석부 저면에 토압계를 설치하여 접지압 q'' 와 q''' 를 측정하였다. 그림 10은 본 실험에서 수행한 각각의 모형실험 및 토압계 설치에 관한 개념도이다.

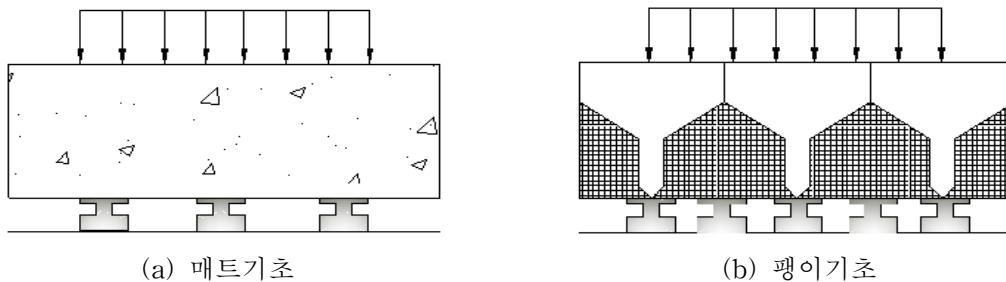


그림 10. 기초저면의 응력측정

표 4는 상재하중 20.38kPa에 대해서 기초저면에서 측정된 위치별 하중과 이를 응력으로 환산하여 나타낸 것이다.

표 4. 기초저면에 작용하는 접지하중

상재하중		매트기초		원추형 팽이기초		부양형 팽이기초	
하중(N)	응력(kPa)	하중(N)	응력(kPa)	하중(N)	응력(kPa)	하중(N)	응력(kPa)
459	20.38	449.8	19.99	346.1	15.38	322.77	14.35

측정결과에서 원추형 팽이기초와 부양형 팽이기초의 접지하중은 말뚝부와 쇄석부의 평균하중을 응력으로 환산한 값으로 원추형 팽이기초의 경우 말뚝부의 하중이 350.33N이고, 쇄석부의 하중은 341.87N이다. 또한 부양팽이기초의 말뚝부의 하중은 323.2N이고, 쇄석부의 하중은 322.3N으로 측정되었다.

상기 결과를 통해 몇 가지 주목할 만한 현상은 첫 번째, 부양형 팽이기초의 경우 원추형 팽이기초에 비해 쇄석부와 말뚝침단부의 접지응력이 큰 차이가 없다는 것이다. 이는 부양형 팽이기초가 쇄석의 유동을 억제하는 효과가 있어 쇄석의 강성을 유지한다고 판단된다.

두 번째, 매트기초의 경우 상재하중이 98% 기초저면에 전달되었으며, 원추형 팽이기초와 부양팽이기초는 각각 75, 70% 기초저면에 전달되었다는 것이다. 이는 팽이기초가 내부의 하중 mechanism을 통해 상재하중을 저감시키는 결과라고 판단되며, 본 결과에서도 알 수 있듯이 부양형 팽이기초가 원추형 팽이기초에 비해 하중을 저감시키는 효과가 더 좋은 것으로 나타났다.

세 번째, 이 결과를 토대로 국내에서 시공방법의 차이에 의해 일본에서는 고려되지 않았던 팽이기초 내부의 하중저감효과에 의한 정방형 팽이기초의 응력분산각을 상재하중에 대한 접지압 분포면적으로 산정하면 표 5와 같다. 원추형팽이기초의 총 응력분산각 $\omega_t = 41.8^\circ$ 이며, 부양형 팽이기초의 총 응력분산각 $\omega_t = 44.5^\circ$ 로 나타났다.

표 5. 팽이기초의 응력분산각

원추형 팽이기초	부양형 팽이기초
공통인자 : $P = 459N, B_k, L_k = 22.5cm, H = 7.5cm$	
-상재하중 P 에 대하여 내부응력분산각을 적용한 접지응력 $\frac{P(\text{상재하중})}{(B_k + 2H\tan(\omega + \omega'))(L_k + 2H\tan(\omega + \omega'))}$ $= \frac{0.459kN}{(0.225 + 0.15\tan 42.8^\circ)^2 m^2} = 3.47kPa$	-상재하중 P 에 대하여 내부응력분산각을 적용한 접지응력 $\frac{P(\text{상재하중})}{(B_k + 2H\tan(\omega + \omega'))(L_k + 2H\tan(\omega + \omega'))}$ $= \frac{0.459kN}{(0.225 + 0.15\tan 46^\circ)^2 m^2} = 3.17kPa$
-실내실험으로 측정된 접지하중 P' 에 대하여 일본에서 제안하는 응력분산각 30°만 넣어 적용한 응력 $\frac{0.346kN}{(0.225 + 0.15\tan 30^\circ)^2 m^2} = 3.56kPa$	-실내실험으로 측정된 접지하중 P' 에 대하여 일본에서 제안하는 응력분산각 30°만 넣어 적용한 응력 $\frac{0.322kN}{(0.225 + 0.15\tan 30^\circ)^2 m^2} = 3.31kPa$

3.2.3 팽이기초의 하중저감 메커니즘 분석

실내실험과 수치해석을 병행하여 팽이기초의 하중 메커니즘을 분석해 본 결과 상재하중 459N, 상재응력 20.38kPa에 대하여 다음과 같은 결과를 도출하였다.

상재하중 q 는 팽이기초 내부의 반력으로 가정한 요소 중 주면마찰력과 쇄석의 탄성변형에 의하여 상재하중을 저감시키는 결과가 나타났다. 상기 결과에서 산출된 수치에 대하여 하중저감에 관한 각 반력별 분담률로 정리하였다.

여기서, 마찰력은 응력으로 환산할 수 없기 때문에 각각의 반력에 대한 분석은 하중단위로 통일하였다.

표 6. 하중저감 분담률 (단위 : N)

원추형 팽이기초				
상재하중	평균접지하중	주면마찰력	위치철근의 휨강성	쇄석의 탄성변형
459	346.1	109	0	3.9
분담률(%)		23.7		0.85

부양형 팽이기초				
상재하중	평균접지하중	주면마찰력	위치철근의 휨강성	쇄석의 탄성변형
459	322.77	121.6	0	14.63
분담률(%)		26.5		3.19

표 6의 결과에서 보면 팽이기초에 적용된 위치철근은 하중을 분담하는 역할은 없으며, 대부분 팽이기초와 쇄석과의 마찰력이 상재하중에 대한 반력으로 작용하며 쇄석의 탄성변형에 의해 약간부분 저감된다는 결과가 나타났다.

또한, 원추형 팽이기초의 경우 팽이기초와 쇄석사이에서 발생하는 마찰력이 대부분의 반력으로 작용하지만, 부양형 팽이기초의 경우 원추부 경사각의 증가로 하중을 분산시켜 쇄석 자체에도 하중을 분산하는 효과가 있으며 말뚝의 길이 증가로 인해 원추형 팽이기초에 비해 높은 주면마찰력을 얻을 수 있다.

4. 결론

1. 팽이기초의 하중전달 메커니즘을 분석한 결과 상재하중에 대한 팽이기초 자체의 하중저감 분담률은 주로 팽이기초와 쇄석사이에서 발생하는 주면마찰력이 가장 크게 나타났다. 원추형 팽이기초는 주면마찰력에 의한 23.7%와 쇄석의 탄성변형에 의한 0.85%의 하중감소효과가 나타났으며, 부양형 팽이기초는 주면마찰력에 의한 26.5%와 쇄석의 탄성변형에 의한 14.63%로 분석되었다.

따라서 부양형 팽이기초는 말뚝부의 길이 확장을 통한 주면마찰력의 증진과 원추부 경사각의 완화로 인한 채움쇄석과의 하중분담을 동시에 얻을 수 있는 팽이기초라고 판단된다.

2. 팽이기초의 응력분산각은 지지력 산정시나 침하량 산정시 팽이기초의 응력분산효과를 대변하는 입력변수로서 현재 국내에서는 일본에서 제시하는 30°를 사용하여 설계를 해왔다.

그러나 이 값으로 지지력 및 침하량을 산정할 경우 지지력은 과소평가되고 침하량은 과대평가되는 문제점이 있다. 이에 팽이기초 내부의 하중분산효과를 확인하기 위해 수행된 모형실험결과 내부분산

효과를 포함한 원추형팽이기초의 총 응력분산각 ω_t 은 41.8°이며, 부양형 팽이기초의 총 응력분산각 ω_t 은 44.5°로 산정되었다.

참고문헌

1. 서울대학교(1995), “팽이형 파일 공법”, 연구보고서.
2. 서울시립대학교(2006), “볼록형 부양팽이기초(Floating Base Plate)의 실용화를 위한 수치해석 및 지지력 특성 연구”, 연구보고서.
3. (주)한국팽이파일(1998), “Top-Base(팽이말뚝기초) 공법”
4. 이무철, 정대열, 정효권, 이송(2006), “볼록형 부양팽이기초의 하중-침하특성에 관한 연구”, 한국지반공학회 2006년도 학술발표회 논문집, pp. 740~751.
5. 이송, 정대열, 정효권, 이무철(2008), “팽이기초의 형상에 따른 특성 분석”, 한국지반공학회논문집, 제 24권, 2호, pp. 15~25.
6. 山田清臣, 安川郁夫, 齊藤實(1986), “軟弱地盤에 있어서 콘크리트팽이형블럭基礎의 現場轉荷試驗”, 第21回, 土質工學研安發表會講演案, pp. 1281~1284.
7. 荒井克彦, 町原秀夫, 大西有三, 小久保晴康(1986), “軟弱地盤에 있어서 콘크리트팽이형블럭基礎의 室内模型實驗” 제21回, 土質工學研安發表會講演案, pp. 1285~1286.
8. K.Arai, Y.Ohnishi, M.Horita, I.Yasukawa and S.Nakaya(1988), “Interpretation of concrete Top Base foundation behaviour on soft ground by coupled stress flow finite element analysis”, 6th International conference on numerical method in geomechanics. Vol.1. pp. 625~630.