한국지반공학회논문집 제24권 2호 2008년 2월 pp. 15 ~ 25

팽이기초의 형상에 따른 특성 분석

A Study on the Characteristic of Floating Base Plate due to Plate Shape

이 송[1] Lee, Song
정 대 열[2] Jeong, Dae-Yeol
정 효 권[3] Jung, Hyo-Kwon
이 무 철[4] Lee, Moo-Cheol

Abstract

A soft ground improvement method is used for structures which are constructed on soft ground to decrease settlement and increase bearing capacity. The Floating Base Plate has been developed for such purposes. In this study, the load-settlement characteristics were investigated by numerical analysis on various Floating Base Plate shapes to select an optimum shape, different from the conventional shape. The selected optimum shape was used to perform plate bearing test and numerical simulations. It was found that the Floating Base Plate is very effective in reducing the settlement and increasing the bearing capacity.

요 지

압축성이 크고 지지력이 작은 연약지반에 구조물 축조 시 침하저감 및 지지력의 향상을 위한 다양한 공법이 필요하며 이러한 목적으로 팽이기초가 개발되어 사용되어왔다. 본 논문에서는 기존의 구형팽이기초에 형상의 변화를 준 다양한 팽이기초에 대한 수치해석을 실시하여 하중-침하 특성을 파악한 후 침하량 저감 효과가 입증된 부양팽이기초에 대하여 평판재하시험 및 수치해석을 실시하였다. 연구결과, 부양팽이기초는 연약지반의 침하 저감 및 지지력 향상에 효과를 발휘하는 것으로 나타났다.

Keywords : Floating Base Plate, Load-Settlements Characteristic, Numerical analysis, Soft ground

1. 서 론

활용가능한 부지가 많던 시기에는 지지력 및 침하특성이 좋은 양호한 지반이 많아 연약지반에 대한 개량의 필요성이나 지지력 및 침하특성의 향상이 불필요하였다. 그러나 산업의 발달 및 인구의 증가와 함께 양호한 토질 특성을 가지는 지반은 거의 구조물이 들어서 있어 현재에 와서는 간척지나 쓰레기 등을 매립한 매립지 등의 연약지반의 사용이 불가피한 실정이다.

또한 삼면이 해양으로 둘러 쌓인 국내 지역적 특성상, 화물의 중간 집하지로서의 이점을 활용하고자 해안 개발 및 항만 등의 건설이 활발해지고 있으며 이와 함께 해안 인접 지역 부지 개발이 활발해지고 있다. 이러한 해안 지역은 지지력이 약하고 침하가 큰 연약지반이 주를 이루고 있으며 이러한 이유에 따라 연약지반 보강공법과 안정 공법에 대한 국내의 관심과 연구가 활발히

1 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 교수 (Member, Prof., Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul, scugeo@uos.ac.kr, 교신저자)
2 에메랄드 소프트 대표이사 (President, Emerald Soft Co., Ltd)
3 정회원, 한국팽이파일(주) 대표이사 (Member, President, Hankook Paengyi Pile Co., Ltd)
4 정회원, 서울시립대학교 토목공학과 박사수료 (Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Univ. of Seoul)
* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2008년 8월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

진행되고 있다.

본 연구는 기초의 침하 방지효과 및 안전성과 측방변형을 억제하는 효과를 나타낸다고 보고된바 있는 팽이기초의 형상에 따른 침하 특성을 파악하고자 한다.(日本材料學會, 1991)

팽이기초의 지지력 및 침하 특성을 파악하기 위하여 먼저 3-D를 이용한 수치해석방법을 통하여 쇄석의 탄성 및 탄소성 모델에 대한 침하량 분석, 측압계수 및 연결철근의 위치에 따른 침하특성을 분석하여 팽이기초의 해석 모델을 설정한 후 그 결과를 토대로 각 팽이기초 형태별 하중-침하특성을 비교분석하여 형상에 따른 침하 저감효과를 파악하였다. 침하량 저감 효과가 입증된 부양팽이기초를 실제작하여 현장평판재하시험을 실시하여 침하 방지 효과 및 지지력 증가에 따른 안전성을 확인하기 위한 연구를 진행하였다.

2. 팽이기초공법

팽이기초공법은 일본에서는 "Top-base method"라 불리우며 1980연대 말까지 이미 6천여개소에 달하는 다양한 기초시공 실적이 있다. 우리나라는 1991년에 도입된 이후 1000여개 이상의 설계 및 시공사례가 있다. N치 0~2에 이르는 연약한 간척지, N치 2~7에 이르는 성토층 등에서 각 종 상·하수관로, 건물, 공장, 하수처리장, 지하주차장, 지하차도, 암거, 옹벽 등의 기초에 적용되어 왔다.(에스트건설, 1998)

팽이기초공법은 연약지반에 구조물을 축조하고자 할 때 부족한 지반의 지지력 증가와 함께 침하를 억제시켜 주는 연약지반 표면처리 공법이다. 팽이기초공법은 배근된 위치철근과 연결철근의 보강효과가 작용되면서 재하 하중이 팽이기초로 하여금 채움쇄석을 구속 압축하여 강성을 갖는 지반구조 기초를 얻게 된다. 이러한 표층처리의 기초로서 팽이기초는 지반의 측방변형을 방지하고 침하방지와 부등침하억제의 효과를 얻게 된다.(山田 등, 1987; 安川 등, 1987).

이러한 팽이기초공법은 구조물 하중이 별로 크지 않은 중·소규모의 구조물의 축조 시에 말뚝기초 대신 사용함으로써 지지력의 증가와 침하의 감소를 가져올 수 있으며 시공부지나 대형장비 등에 관계없이 공사기간 단축과 함께 과잉 설계를 피하여 경제적인 기초를 설치할 수 있다.

그리고 연약지반 뿐만 아니라 협소한 곳 등에서 시공이 가능하며, 소음과 지반교란 방지에 적합하고 지진 및 방진에 상당한 효과가 있고 침하의 가능성이 높은 곳에 효과적이며 도로성토기초에서는 진동에 대한 흡진 효과도 기대할 수 있으며 보조기층의 일부 또는 노상의 기초로 효과적이다.

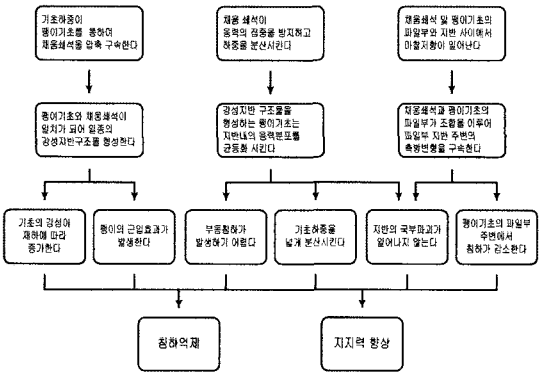
3. 팽이기초의 형상별 수치해석

3.1 팽이기초의 형상별 특징

팽이기초의 형상에 따른 하중-침하 특성을 파악하기 위하여 PENTAGON-3D를 이용한 수치해석에 앞서, 팽이기초의 형상을 가정하였다.

표 1 및 그림 5, 6과 같이 기존의 구형팽이기초와 부양팽이기초로 크게 분류하였으며 기본형 부양팽이기초는 기본형 구형팽이기초에 총길이 및 원추부, 파일부 길이, 원판부 두께 및 원추부 경사 각도, 목부 직경을 달리하여 각 부의 제원에 따른 침하 특성을 파악하였다.

원추부 하부의 형상에 따라 쇄석의 근입구속능력에 따라 침하의 차이가 예상되었으며 원추부 하부 형상의 영향을 파악하기 위하여 각 팽이기초는 기존의 부양팽이기초와 하부 형상이 동일한 기본형, 돌출부를 형성시킨 볼록형과 홈을 형성시킨 오목형으로 나누어 해석하



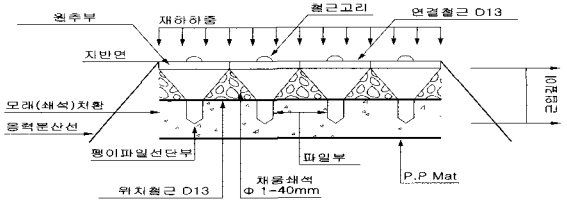


그림 1. 메카니즘 및 팽이기초 각 부의 명칭(日本材料學會, 1991; 에스트건설, 1998)

표 1. 해석에 사용된 기초 형태

기초 형태			원추부 길이 (mm)	원판부 두께 (mm)	파일부 길이 (mm)	총길이 (L) (mm)	목부직경 (T) (mm)	원추부 경사각도 (°)	비교대상
모양		Type							
무처리지반		A	-	-		-	-	-	직접기초
구형팽이기초	기본형	B	250	50	250	500	100	45	기 본
	볼록형	C	250	50	250	500	100	45	형 태
부양팽이기초	기본형	D	200	60	300	500	100	55	몸통경사
		E	200	60	350	550	100	55	길 이
		F	200	60	300	500	130	55	목부직경
	오목형	G	200	60	300	500	100	55	형 태
	볼록형	H	200	60	300	500	100	55	형 태
		I	200	60	300	500	130	55	복 합
* 모든 기초의 원추부 직경은 495mm, 파일부 직경은 100mm									

여 형상에 따른 침하 특성을 파악하여 침하량 저감 효과를 파악하고자 하였다.

수치해석에 앞서 팽이기초의 제원 및 형상 외에 해석에 영향을 미치는 인자들에 대해 침하특성을 파악하여 기본모델링을 확정하였으며 기본 모델링의 구성 후에는 수치해석을 실시하였다.

무처리지반과 부양팽이기초와의 비교를 통해 부양팽이기초의 지지력 증대 및 침하저감 효과를 입증하고 팽이기초 각 형태에 대한 지지력 특성 및 하중-침하 특성을 파악하였다.

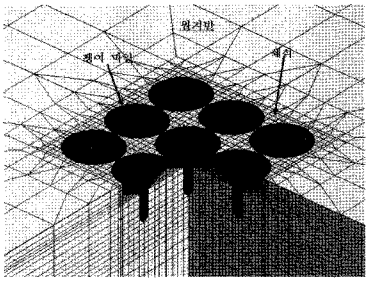
3.2 팽이기초의 수치해석 모델링

3.2.1 시공 단계에 따른 해석 순서

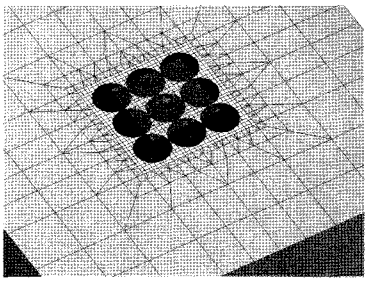
쇄석의 탄성 및 탄소성 모델, 측압 계수 및 철근의 위치에 따른 침하량 특성을 분석하여 수치해석 기본 모델을 구성하였다.

수치해석 기본 모델 구성 후 여러 가지 형태의 팽이기초에 대하여 지지력 및 침하특성을 파악한 후 비교분석을 수행하여 최적의 팽이기초 형상을 제안하였다.

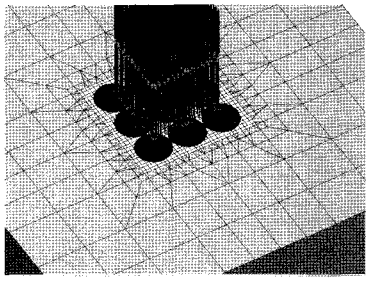
해석에 사용된 기초는 1층 기초를 사용하고, 23mm 판 두께, 길이와 폭이 각 1m인 정사각형 강재 재하판에 총 50 ton의 하중을 재하하고, 기초 지반은 Mohr-Coulomb 탄소성 재료 모델을 사용하여 해석하였다. 재하판 강성이 기초에 미치는 영향을 없애기 위해서 재하판과 기초 사이는 재하판 두께의 반 만큼 띄우고, 재하판과 기초 사이는 하중을 전달할 수 있도록 스프링 요소로 처리하였으며 지반의 등가 강성을 표현하는 Spring 요소의 강성이 Spring 요소가 차지하는 지반 분담 면적에 따라 달라지며 사용한 수치해석 프로그램에서는 Spring 계수가 자동으로 계산하여 나오게 된다.



(a) Element Mesh



(b) Load_stage 1



(c) Load_stage 2 ~ 11

그림 2. 해석단계

그림 2와 같이 Load Stage 1에서는 지반과 기초, 재하판의 자중에 의한 해석을 실시하여 자중에 의한 침하량을 추가 침하량에서 제거하였으며 Load Stage 2~11 단계에서는 기존의 팽이기초 시공 현장의 지지력 및 기존의 연구 내용을 기준으로 각 하중단계마다 예상파괴 하중의 1/5 이하인 5 ton씩 재하하여 총 50 ton의 하중을 재하하여 해석하였다.

3.2.2 재료의 특성치

지반은 N=5의 점성토 및 N=4의 실트질 모래층의 두 가지 경우에 대하여 검토하였다. 수치해석 입력 데이터인 재료의 특성치는 N값과 토질분류에 따른 기본값을 따랐으며 수치해석에 있어 기본 모델의 가정에 중요한 변수인 변형계수는 그림 3과 같은 일본 토질공학회에서 제시하는 변형계수(E)와 N치와의 관계를 나타낸 상관식을 이용하여 가정하였다. 콘크리트 기초와 연결철근, 재하판 등은 실제 팽이기초에 사용하는 재료들의 특성치를 사용하였으며 채움쇄석, 점성토와 실트질 모래층은 일반적인 특성치를 사용하였다.

3.2.3 Element Mesh

그림 4와 같이 팽이기초는 3×3의 배열로서 총 9개의 팽이기초를 사용하는 것으로 가정하였으며 쇄석부의 크기는 수평 방향의 해석 모델 경계로서 쇄석부를 지나 팽이기초 직경의 약 10D인 5m를 해석 모델 범위로 택하였으며, 연직 방향의 해석 모델의 경계는 지표면에서 팽이기초 길이의 12L인 6m를 택하였다.

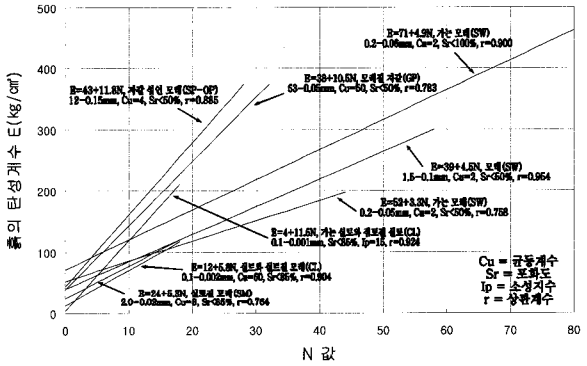


그림 3. 흙의 변형계수 E와 N치와의 관계

표 2. 재료 특성치

재 료	변형계수(t/m²)	포아송비	단위중량(t/m³)	점착력(t/m²)	내부마찰각(°)	비 고
콘크리트 기초 σ_{ck}=180 kg/cm²	2,010,000	0.167	2.3	–	–	탄 성
연결 철근(D=13mm)	20,400,000	0.3	7.85	–	–	
재하판(t=23mm steel)	20,400,000	0.3	7.85	–	–	
채움쇄석	5,000	0.35	1.9	0	42	탄소성
점성토(N=5)	410	0.3	1.6	4.17	0	
실트질 모래층(N=4)	510	0.3	1.6	0.5	15	

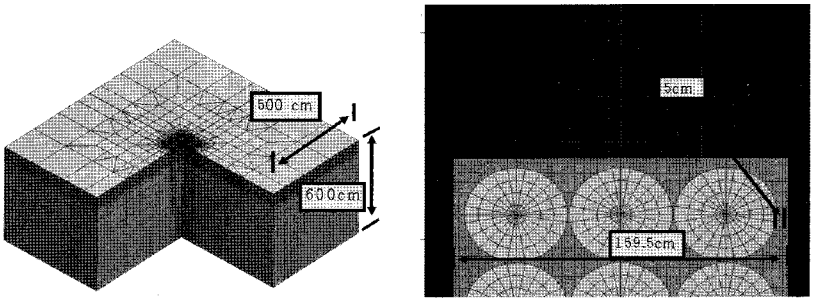
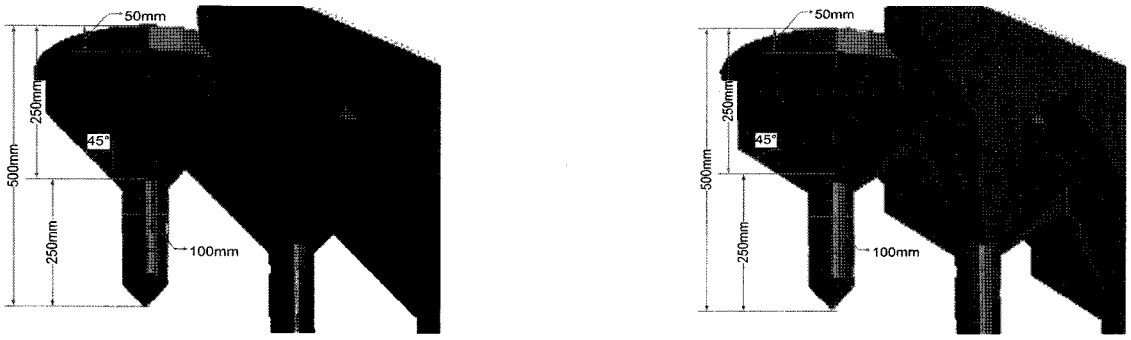
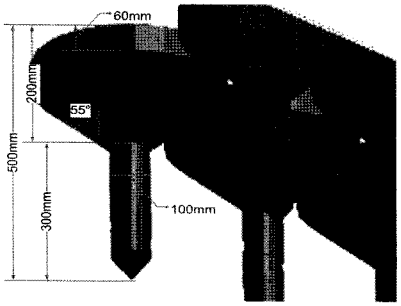


그림 4. 해석모델 범위

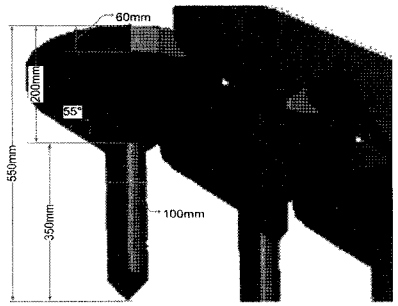


(a) 기본형 구형팽이기초(B-Type)　　(b) 볼록형 구형팽이기초(C-Type)

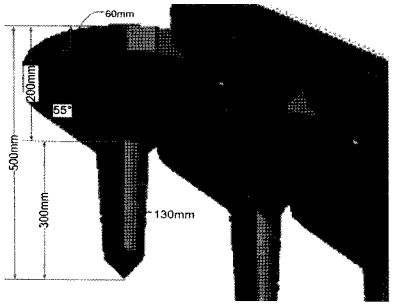
그림 5. 구형팽이기초 형상 및 제원



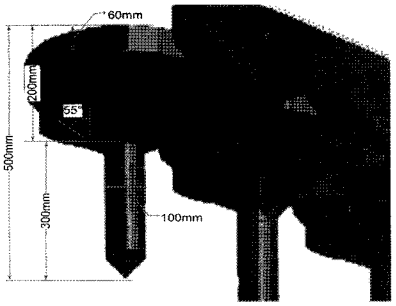
(a) 기본형 부양팽이기초(D-Type)



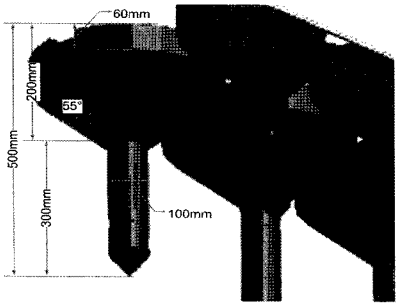
(b) 기본형 부양팽이기초(E-Type)



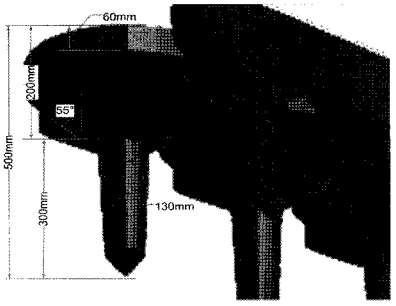
(c) 기본형 부양팽이기초(F-Type)



(d) 오목형 부양팽이기초(G-Type)



(e) 볼록형 부양팽이기초(H-Type)



(f) 볼록형 부양팽이기초(I-Type)

그림 6. 부양팽이기초 형상 및 제원

3.3 수치해석 결과 분석

3.3.1 여러 가지 변수에 따른 침하량 분석

콘크리트 및 위치철근, 재하판은 일체로 거동을 하므로 탄성으로 해석을 하여도 무방하나, 채움쇄석의 경우, 지반과 일체의 거동이 아닌 상호작용이므로 쇄석뿐만 아니라 지반에 대해서도 탄성과 탄소성해석에 따른 침하량을 분석하여야 한다. 분석 결과, 탄소성 재료로 사용한 경우가 침하량이 크며, 그 차이는 약 2% 내외로 무시할 정도였다. 따라서, 모든 해석은 탄소성 재료로 사용하여 분석하는 것으로 확정하였다.

초기응력과 관계있는 지반 물성치는 단위중량과 측압계수가 있다. 측압계수가 지반 물성치에 포함되어 있는 이유는 각 지층별로 지정하기 위해서이다.

쇄석의 경우는 탄성 및 탄소성 해석 시 큰 차이가 없는 것으로 나타났으나, 기초지반의 경우 동일하게 거동을 하는 탄성재료가 아니므로 지지력 및 침하특성을 파악하기 위해서는 측압계수의 영향을 파악하여야 한다. 지반의 자중에 의한 최초 수평 응력의 설정은 연속체 역학에 의한 응력 해석 결과를 그대로 유지시키는 방법과 측압 계수를 사용하여 변경시키는 방법이 있다. 지반 자중에 의해 연속체 역학으로 해석된 수평 응력을 수정하지 않고 그대로 사용한 경우와 측압 계수에 의해 강제로 수평 응력을 수정한 경우에 대해서 침하량 분석을 실행하였다. 이 경우에 측압 계수는 0.5, 1.0, 2.0의 3가지 경우를 검토하였다.

해석 결과, 연속체 역학으로 해석된 응력을 수정하지 않고 사용한 경우에서 침하량이 가장 크게 나타났으며

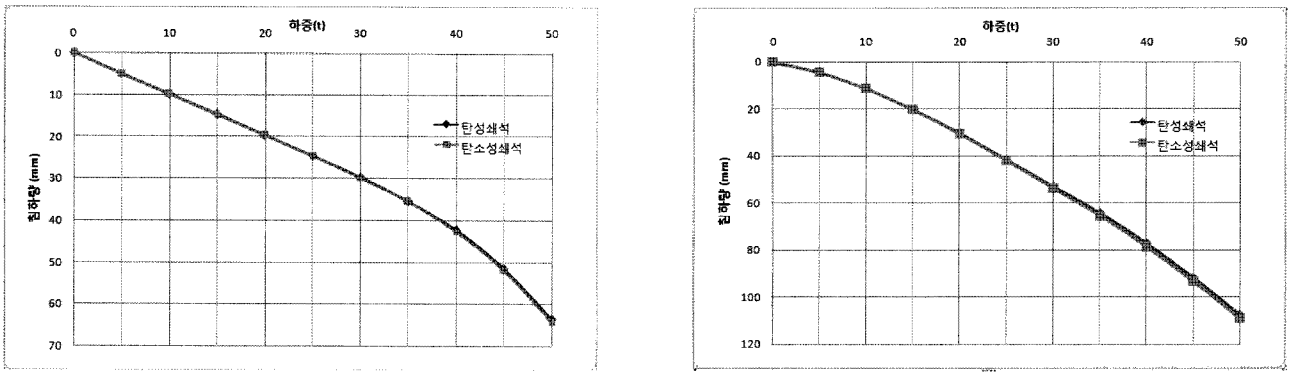
측압 계수가 작을수록 침하량이 크게 나타났다. 이는 측압계수의 영향에 따라 채움쇄석의 구속 및 팽이파일부의 구속압에 의한 영향으로서 구속압이 커질수록 측방유동에 의한 변위 및 침하가 작게 발생하는 것으로 판단된다.

따라서, 최대 침하량에 대한 안전측 해석을 위하여 지반 자중에 의해 연속체 역학으로 해석된 수평 응력을 수정하지 않고 사용하는 것으로 확정하였다.

연결철근의 위치는 부양팽이기초의 거동과 관계가 있으며 연결철근의 위치에 따라 일체거동의 특성이 변할 것으로 판단되었다.

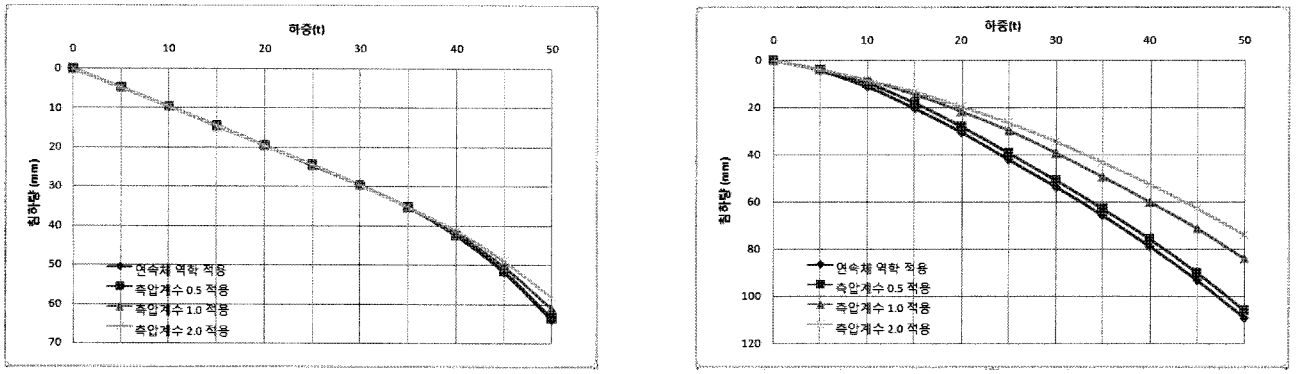
연결 철근의 위치는 팽이 머리, 팽이 중심, 팽이 목부에 위치시켰을 때를 가정하여 해석하였으며 철근의 위치에 따른 분석을 실시한 결과, 그림 9와 같이 거의 비슷한 결과를 나타내었으며, 목부 연결이 머리부나 중심부 연결에 비해 다소 침하량이 감소하였다.

따라서 연결 철근 위치에 따른 해석 모델링의 구성은 연결 철근의 위치를 머리부로 확정하여 보수적인 해석이 가능하도록 하였다.



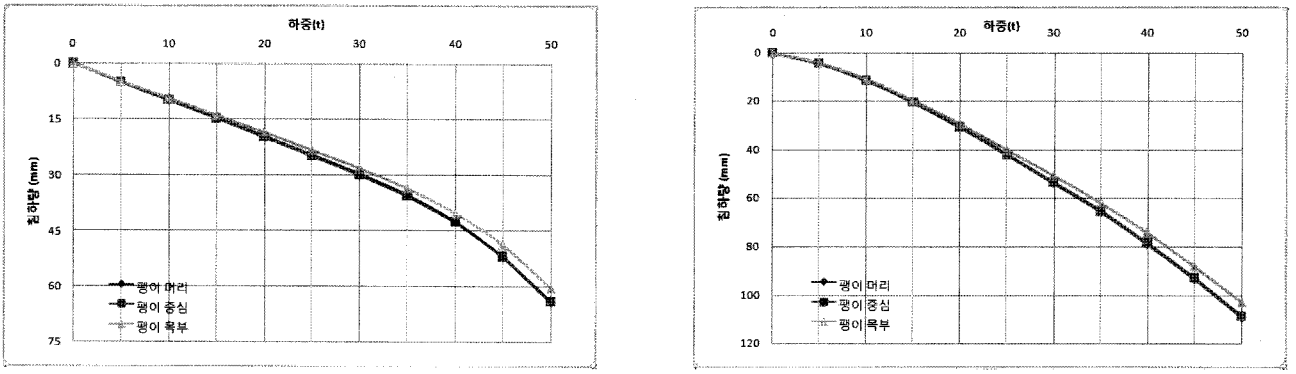
(a) Clay(N=5) (b) Silty-Sand(N=4)

그림 7. 쇄석 거동에 따른 침하 특성



(a) Clay(N=5) (b) Silty-Sand(N=4)

그림 8. 측압계수에 따른 침하 특성



(a) Clay(N=5) (b) Silty-Sand(N=4)

그림 9. 연결 철근의 위치에 따른 침하 특성

3.3.2 기초 형태별 해석 결과

지반조건을 점토와 실트질 모래 지반으로 나누고 무처리 원지반 및 팽이기초의 각 형태별로 수치해석을 실시하였다.

먼저 매개변수 연구 시의 중요 인자에 대하여 비교 분석하였다.

부양팽이기초 기본형 Type-D와 Type-E의 비교를 통하여 총길이와 파일부 길이의 차이에 따른 침하량의 감소를 비교하였다. 해석결과, 침하량은 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

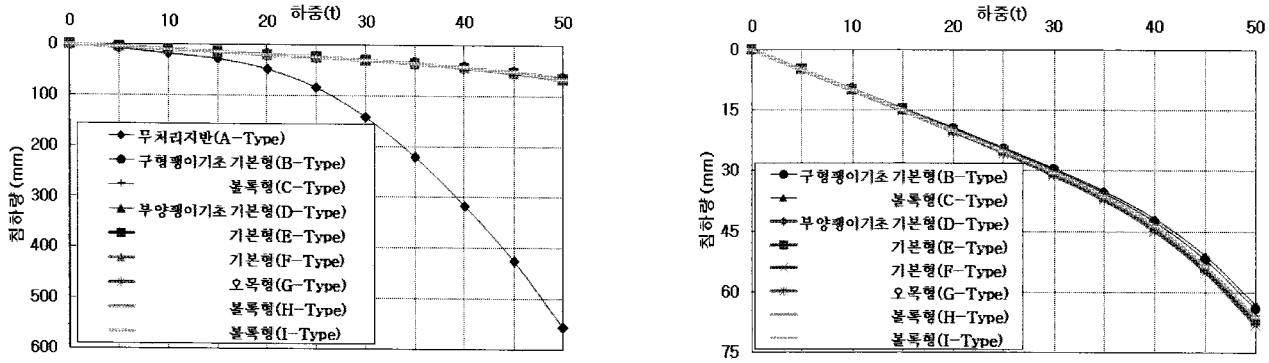
Type D와 F, H와 I의 비교를 통한 목부직경에 따른 침하량 해석 결과, 큰 차이가 발생하지는 않으나 목부직경이 증가할수록 침하량은 감소하였다.

원추부 하부의 세 가지 형상인 기본(Type D), 볼록(Type-G), 오목(Type-H) 및 Type-F와 I, Type-B와 C의 침하량의 감소 효과를 확인한 결과, 볼록형의 침하량이 가장 작았으며 기본형, 오목형의 순으로 침하량이 작게 나타났다. 볼록형 부양팽이기초(Type-G)는 오목형(Type-H)과 비교한 결과, 점성토의 경우 2.79%, 사질토의 경우 10.6%의 침하감소를 보였으며 기본형 부양팽이기초(Type-D)와의 비교 결과, 점성토 지반의 경우 1.5%, 실트질 모래의 경우 9.5% 침하가 저감되었다.

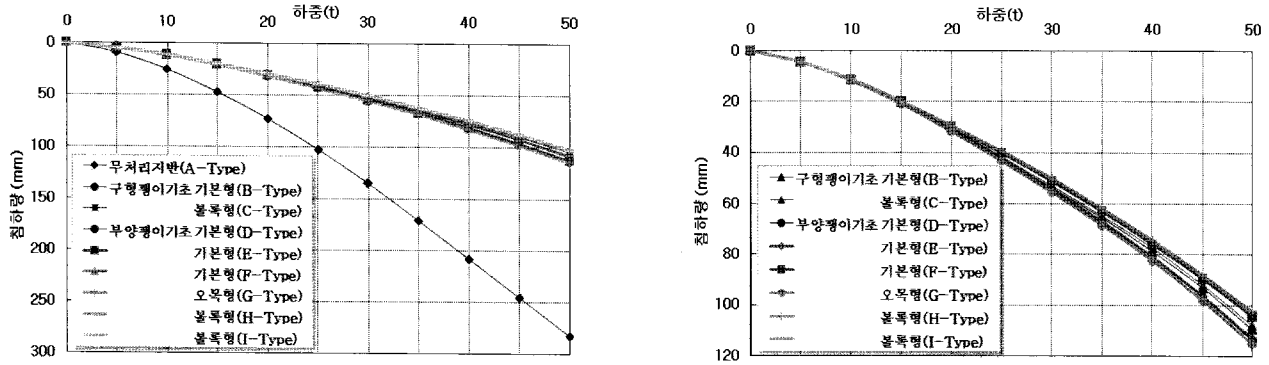
이는 하부에 전달되는 쇄석에 의한 측방변형 억제 및 침하 억제에 크게 관여하는 하부 면적의 차이와 쇄석의 구속압에 기인한다. 즉, 볼록형의 돌출부위가 쇄석과의 거동에 더욱 효과적으로 작용하여 볼록형 팽이부양기초를 구속시킴으로써 침하 특성을 향상시킨 것으로 판단된다. 이는 기본형이나 오목형에 비해 돌출부를 형성시킨 볼록형이 쇄석과의 일체 거동에 더욱 효과적으로 작용하는 것을 보여준다.

또한 무처리 지반(Type-A)과 볼록형 부양팽이기초(Type-H)를 비교하면 침하량의 측면에서 볼 때 볼록형 부양팽이기초는 점성토의 경우 88.08%, 실트질 모래의 경우 63.6% 감소하였다. 이는 쇄석에 의한 강성지반의 형성을 통해 하중을 넓게 분포시켜서 연약지반상에 전달되는 응력을 감소시킴으로써 침하량을 줄이고 저항능력을 증대시키는 것으로 판단된다.

점성토와 모래의 수치해석 결과를 검토해 보면 점성토 지반에서 침하량의 억제 효과가 더 큰 것으로 나타났으며 따라서 팽이기초 공법은 점성토 지반에 더 적합하다.



(a) Clay(N=5)



(b) Silty-Sand(N=4)

그림 10. 기초 형태별 하중-침하량 추이

4. 부양팽이기초의 평판재하시험

4.1 부양팽이기초의 형태별 특징

표 1과 같이 3개의 형상(D, G, H-Type)을 가진 부양팽이기초를 선정하였으며 각 부양팽이기초는 그 형태에 차이를 두어 형상에 따른 지지력 및 침하 특성을 파악하고자 하였다. 부양팽이기초 기본형 및 오목형, 볼록형은 기초형상은 동일하며 그 형태만 원추부에 있어서 약간의 차이를 지니고 있는 것으로 가정하였다.

주요 비교대상인 구형팽이기초와 볼록형 부양팽이기초의 형상을 살펴보면 그 제원은 표 1 및 그림 3, 4와 같이 구형팽이기초의 원추부 경사각도는 45°, 원추부 두께는 250mm, 파일부 길이는 250mm이나 볼록형 부양팽이기초의 경우 원추부의 경사각도를 약 55°로 증가시키고 원추부의 두께는 200mm, 파일부 길이는 300mm로 변화시킴으로써 쇄석의 근입구속이 가능한 돌출부를 형성하였고 이에 따라 수평침하의 저감이 예상되며 구형팽이기초의 중량 60kg에 비해 볼록형 부양팽이기초는 형상제작에 소모되는 콘크리트양의 감소에 따라 약 50kg으로 그 무게가 저감되었다. 팽이 기초의 무게가 약 17% 가량 가벼워짐으로써 그 무게의 차이만큼 시공 시 작업속도의 향상과 그에 따른 공기의 단축 및 비용의 절감이 예측되며 이에 따른 경제적인 시공이 예상된다.

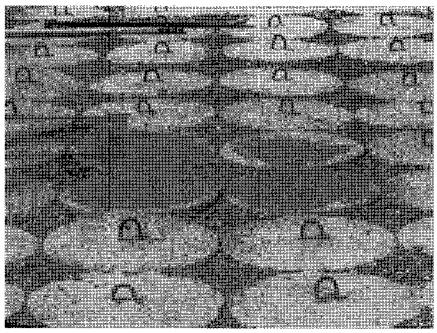
4.2 시험위치 선정 및 토질조건

기존의 연구결과 및 시공 자료에 따라 부양팽이기초가 가장 큰 효과를 발휘할 수 있는 연약지반을 대상으로 시험을 실시하기 위하여 평판재하시험에 앞서 시험위치 선정을 위한 토질조사를 실시하였으며 그 결과 부산 명지동(사질토, N=1~2), 김해시 풍유동(점토질 실트, N=1)의 2개 지역을 평판재하시험 지역으로 선정하였다.

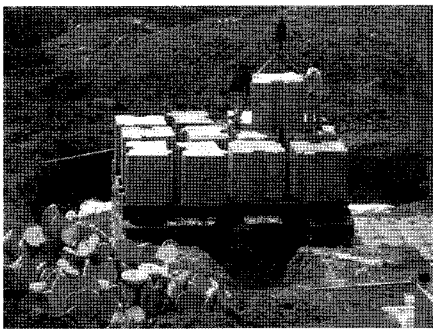
선정 지역에 PP 매트 설치 후 잡석 포설 및 기초철근 부설 후 부양팽이기초를 설치하고 채움쇄석 포설과 다짐을 실시한 후 재하판을 설치하기 위하여 위치철근을 잘라낸 후 재하판을 설치하였다. 설치가 완료된 후 콘크리트 블록을 재하하여 볼록형 부양팽이기초와 일반적인 형상의 기본형 부양팽이기초, 원지반에 대한 평판재하시험을 실시하여 지지력 및 침하특성을 파악하였다.

4.3 평판재하시험 지지력 결과

허용지지력은 하중(P)-침하량(S) 곡선법을 이용한 항



(a) 부양팽이기초 시공 완료



(b) 하중재하

그림 11. 평판재하시험

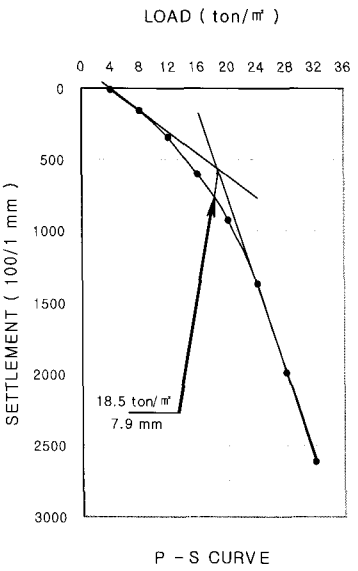
표 3. 평판재하시험 결과

지지력(ton/m^2)		무처리 원지반	볼록형 부양팽이기초	기본형 부양팽이기초
부산 명지동	항복하중(q_y)	7.1	20.8	19.1
	허용지지력(q_y/2)	3.5	10.4	9.5
	극한하중(q_u)	10.4	37.9	39.2
	허용지지력(q_u/3)	3.4	12.6	13.0
	사용 허용지지력	3.4	10.4	9.5
김해시 풍유동	허용지지력(q_u/3)	2.9	9.9	8.7
	극한하중(q_u)	8.9	29.7	26.2
	사용 허용지지력	2.9	9.9	8.7

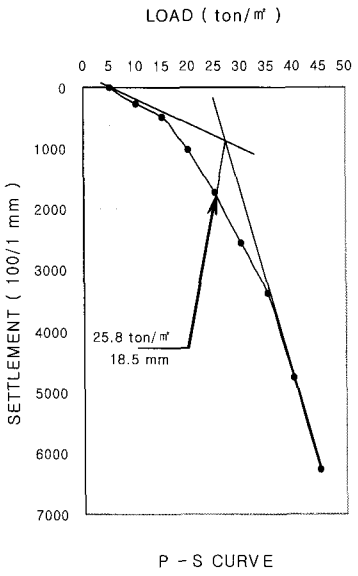
복하중과 재하판 침하량 10%발생 시(100mm) 최소값을 적용한 극한하중에 의한 허용지지력 중 작은 값을 기준으로 산정하였다.

평판재하시험 결과, 볼록형과 기본형의 부양팽이기초는 원지반에 비해 지지력이 향상되는 것으로 나타났다. 허용지지력을 산정한 결과, 부산 명지동의 경우 무처리 원지반에 비해 기본형은 179.4%, 볼록형은 205.88% 증가했으며 김해시 풍유동의 지반은 기본형은 200%, 볼록형은 241.38%증가하는 결과를 나타냈다. 이를 통해 볼록형 부양팽이기초는 실제 연약지반 현장에 적용 시 그 지지력 향상효과가 뛰어난 것으로 판단된다.

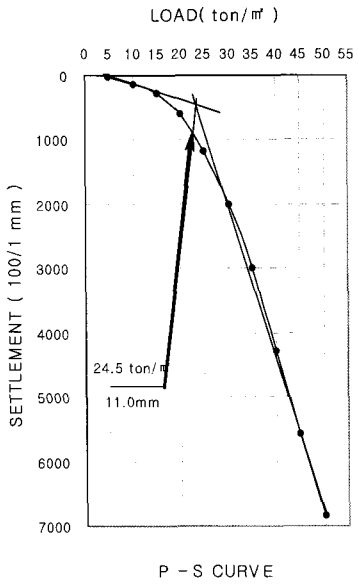
또한 점토질 실트지반인 김해시 풍유동의 결과를 보면 그 허용지지력 증가율이 다른 시험 현장에 비해 큰 것으로 나타났으며 이를 통해 볼록형 부양팽이기초는 사질토 보다는 점성토 및 점토질 실트 지반에 더 적합한 것으로 판단된다.



(a) 무처리 원지반

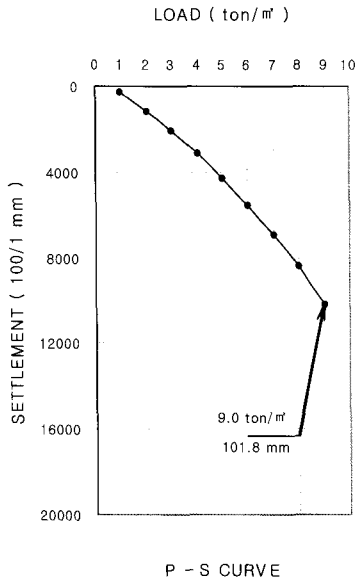


(b) 볼록형 부양팽이기초

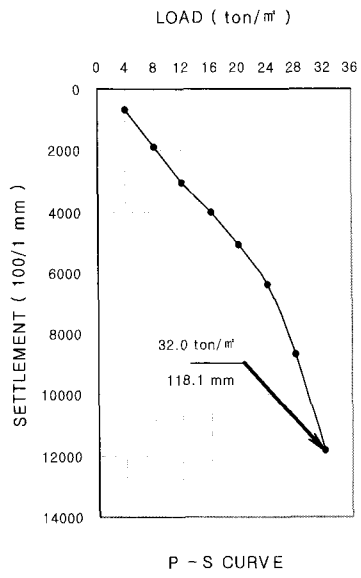


(c) 기본형 부양팽이기초

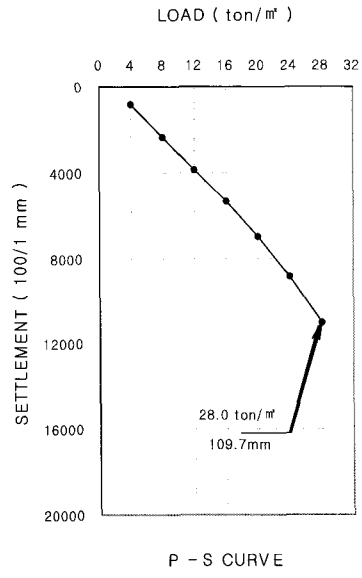
그림 12. 부산 명지동 하중-침하 곡선



(a) 무처리 원지반



(b) 볼록형 부양팽이기초



(c) 기본형 부양팽이기초

그림 13. 김해시 풍유동 하중-침하 곡선

4.4 평판재하시험 침하량 결과

평판 재하 시험과 수치해석 결과 하중-침하량 비교를 표 4에 나타내었다.

점토질-실트 지반의 경우 각 재하하중에 따른 침하량을 비교분석해 보면 평판재하실험은 무처리지반에 비해서 77.65%, 76.16% 침하량을 감소시켰으며 점토질 사질토 지반은 무처리지반에 비해서 46.85%, 80.84% 침하량을 감소하는 것으로 나타났다.

침하량 감소효과는 점토질 사질토 지반 보다는 점토질 실트 지반에서 더 큰 효과를 나타내고 있는 것으로 판단된다.

4.5 볼록형 부양팽이기초의 층 구조에 따른 침하량 저감 효과

볼록형 부양팽이기초의 지지력에 대한 연구를 위해, 1층 구조, 2층 구조 및 무처리 지반과의 비교 해석을 실시하였다.

지지력 평가를 위해 단위 m 당 총 50ton의 무게를 점진적으로 재하하였다.

점토질 실트 지반의 최종 침하량은 무처리지반의 575.1mm에 비해 볼록형 부양팽이기초 1층 구조 경우 76.2mm로 86.75%, 2층 구조 경우 41.9mm로 92.71%감소하였으며 점토질 사질토 지반의 최종 침하량은 무처리지반 경우 128.7mm로 볼록형 부양팽이기초 1층 구조 경우 56.8% 감소한 55.6mm, 2층 구조 경우 67.1% 감소한 42.4mm를 나타냈다.

5. 결 론

본 연구는 PENTAGON 3-D를 이용하여 팽이기초 형태별 수치해석을 실시하여 팽이기초의 형상에 따른 침하량 저감효과를 비교 분석하였으며 침하량 저감 효과가 예측된 부양팽이기초를 실제작하여 평판재하시험을 실시한 후 지지력 증대 효과 및 침하량 저감 효과를 확인하였다. 또한 볼록형 부양팽이기초 시공형태에 따른 수치해석을 실시하여 그 결과를 분석하였다. 연구결과에 따른 결론은 다음과 같다.

1. 수치해석 결과, 볼록형 부양팽이기초는 쇄석에 의한 강성지반의 형성을 통해 무처리 원지반에 비해 점성토의 경우 88.08%, 실트질 모래의 경우 63.6% 침하량을 감소시키는 것으로 나타났다.
2. 부양팽이기초의 "오목형"과 "볼록형" 수치해석 비교결과, 볼록형이 오목형에 비해 점성토의 경우 2.79%, 사질토의 경우 10.6%의 침하감소를 나타냈으며 이는 볼록형의 돌출부위가 쇄석과의 거동에 더욱 효과적으로 작용하여 볼록형 부양팽이기초를 구속하는데 기인한 것으로 판단된다.
3. 연약지반에 대한 평판재하시험에 의한 허용지지력 측정 결과, 무처리 원지반에 비하여 볼록형 부양팽이기초는 197.14~241.38%, 기본형 부양팽이기초는 171.43~200% 증가하는 것으로 나타났으며 점토질 실트 지반의 지지력 증가 비율이 더 큰 것으로 보아 볼록형 부양팽이기초는 사질토 지반 보다는 점성토 및 점토질 실트 지반에 더 효과적인 것으로 판단된다.
4. 평판재하시험에 의한 침하량 분석 결과, 볼록형 부양팽이기초는 점토질 실트의 경우 76.16%, 점토질 사질토 지반의 경우 80.84% 감소시키는 것으로 나타났으며 평판재하시험과 수치해석의 침하량 분석 결과의 오차는 약 25%이나 그 경향은 잘 일치하는 것으로 나타났다.
5. 수치해석을 통한 볼록형 부양팽이기초에 지지력 및 하중-침하량 특성 평가 결과, 점토질 실트지반의 경

표 4. 평판 재하 시험 결과 하중-침하량 비교

재하 하중	점토질 실트 지반		재하 하중	점토질 사질토 지반	
	무처리 지반	볼록형 부양팽이기초		무처리 지반	볼록형 부양팽이기초
4	30.92	6.91	5	13.47	7.16
8	83.63	19.94	10	89.36	17.12
12	-	31.26	15	-	26.83
16	-	39.21	20	-	38.00
20	-	44.94	25	-	50.45
24	-	55.05	30	-	71.36
28	-	86.64	35	-	96.79
32	-	118.15			

우 침하량은 1층 구조는 86.75%, 2층 구조는 92.71% 감소하였으며 점토질 사질토 지반은 1층 구조의 경우 56.8%, 2층 구조의 경우 67.1% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 허용지지력은 1층 구조 220%, 2층 구조 300% 증가하는 것으로 나타났다.

6. 볼록형 부양팽이기초는 구형팽이기초에 비해 그 무게가 약 17% 가벼우며 이를 통한 운반 및 시공의 용이성, 공기 단축 등의 경제성을 예상할 수 있었으며 이와 함께 지지력 증가 및 침하량 저감의 공학적 특성을 함께 지닌 공법이라 판단된다.

본 연구는 제한된 토질 조건에 대한 수치해석 및 현장재하시험을 이용한 연구로서 향후 지속적으로 다양한 토질 조건에 대한 현장 실험과 실내 모형 실험 결과를 수치해석과 비교한다면 더욱 좋은 연구가 진행될 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 에스트건설(주)(1998), Top-base 공법 설계와 시공편람
2. 단국대학교 토목환경공학과(2004), 현장타설형 팽이말뚝기초공법 적용에 따른 기초 및 지반거동에 관한 연구
3. 서울시립대학교 도시과학연구원(2006), 볼록형 부양팽이기초의 실용화를 위한 수치해석 및 지지력 특성 연구
4. Arai, K., Ohnishi, Y., Horita, M., and Yasukawa, I.(1987), "Measurment and Interpretation of Loading Test of Concrete Top Block on Soft Ground", *The proceedings of 2nd International Symposium on Field Measurement in Geomechenics*, Vol. 2, pp. 919-926.
5. Sekiguchi, H. and Ohta, H.(1984), "Induced anisotropy and time dependency in clay", *Proceedings of 9th ICSMFE, Specially Session No.9 : Constitutive Equation of Soils*, pp. 229-238.
6. 日本材料學會 土質安定材料委員會 編(1991), "地盤改良工法 便覽", pp. 205-222.
7. 山田, 齊朦, 安川(1987), "コマ型基礎の沈下抑制効果についての考察", *第 22 回 土質工學研究發表會講演集*, pp. 1833-1836
8. 安川, 山田, 大西, 齊朦(1987), "軟弱地盤におけるま型基礎の支持力特性", *第32回 土質工學シソポジウムー支持杭にらない基礎工法ー發表論文集*, pp. 49-54.

(접수일자 2007. 2. 21, 심사완료일 2008. 2. 14)