

사질지반에서의 바렛말뚝의 주면하중전이 거동 평가

Evaluation of Shear Load-transfer Barrette Pile in Sandy Soils

이 상 래¹ Lee, Sang-Rae
박 성 완² Park, Seong-Wan
임 대 성³ Lim, Dae-Sung

Abstract

Recently, the use of barrette pile has remarkably increased for high-rise building and bridge foundations. However, relatively few studies have been made for analyzing barrette pile behavior by considering shear load transfer on interface between pile and soils. Therefore, in this paper, an empirically derived equation is proposed. This equation correlates the load transfer curve of barrette piles with the N value from field standard penetration test based on full-scale load tests. The results from all procedures are presented. In addition, the effect of interface on pile-soil is evaluated using 3-D non-linear finite element method and verified with the field data.

요 지

최근 초고층 빌딩과 대형 교량의 사용 증가로 인하여 바렛말뚝에 대한 사용이 증가하고 있지만 바렛말뚝의 주면부 거동특성에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 실험물고기 시험말뚝에 대한 현장재하시험을 실시하여 표준관입시험 저항치와 바렛말뚝의 주면하중전이곡선을 산정하는 경험식을 제안하였다. 또한 3차원 유한요소해석을 실시하여 말뚝과 지반과의 경계면 효과를 살펴보았으며 이를 현장자료와 비교하여 평가하였다.

Keywords : Barrette pile, Foundation, Interface, Shear load transfer

1. 서 론

최근 들어 초고층 건물의 신축공사나 대형 교량의 건설이 증가함에 따라서 대구경 현장타설말뚝에 대한 필요성이 대두 되고 있다. 기존의 대구경 현장타설말뚝은 시공상의 문제, 높은 공사비, 소음 및 진동 등의 문제로 도심지 공사에서는 단점을 가지고 있지만 많은 연구결과와 현장실적을 바탕으로 대부분의 대형 공사에 사용되고 있는 실정이다. 이에 대한 대안으로 최근 대두되고 있는 것이 Barrette말뚝이다. Barrette말뚝은 지하연

속벽 굴착장비를 이용한 시공이 가능하므로 경제적인 손실을 줄이고 공사기간을 단축할 수 있는 장점이 있지만 아직 구조적인 안정성이나 거동의 불확실성을 가지고 있고, 편심으로 인한 피해도 발생할 수 있다는 단점도 가지고 있어서 효과적인 사용을 위해서는 Barrette말뚝의 주면부 거동특성에 대한 연구가 시급한 실정이다.(임대성, 2009) 또한 대구경 현장타설 말뚝(Barrette말뚝 포함)은 지지할 수 있는 하중이 크기 때문에 정재하시험법으로 극한 지지력을 산정하기에는 많은 개수의 반력말뚝을 필요로 하고 시험 시에 불확실성이 증가

1 정회원, 단국대학교 대학원 공학석사 (Member, Master of Engrg., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Dankook Univ.)

2 정회원, 단국대학교 토목환경공학과 부교수 (Member, Associate Prof., Dept. of Civil & Environmental Engrg., Dankook Univ., 교신저자, spark@dankook.ac.kr)

3 정회원, 삼보 E&C(주) 기술연구소 선임연구원 (Member, Senior Researcher, Technical Research Center, Sambo E&C)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2011년 3월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

하므로 인해서 대구경현장타설말뚝의 지지력 산정을 위한 시험으로는 반력말뚝이 필요없고 극한지지력 산정에 효율성이 있는 양방향재하시험을 사용하여서 barrette말뚝의 현장 적용성 및 주면부 거동특성에 관하여 연구해 보고자 한다.

본 연구에서는 실물크기의 Barrette말뚝의 재하시험 자료를 토대로 바렛말뚝의 주면하중전이곡선을 산정하는 경험식을 제안하였고 그 결과에 대한 검증은 위하여 유한요소해석 프로그램인 MIDAS-GTS를 사용하여 수치해석을 실시하였다. 또한 Barrette말뚝과 지반사이 발생하는 Filter cake의 영향을 모사한 지반의 미끄럼 효과를 고려하기 위하여 Interface요소를 수치해석을 통하여 모사하여 그 적용 범위를 제시하였다.

2. 재하시험

2.1 바렛말뚝

‘Barrette’이란 용어는 프랑스어로부터 기원된다. 바렛은 지하연속장비로 벤토나이트나 폴리머 슬러리를 이용한 짧고 깊게 굴착된 트렌치 내에 철근과 같은 응력재를 삽입 후 콘크리트를 타설하여 말뚝을 형성하는 공법을 의미한다(Ramaswamy & Pertusier, 1986). 현장타설 말뚝의 일종으로 상부구조물의 하중을 견고한 지지층에 전달시킬 목적으로 사용되어지고 있다. 바렛은 먼저 지표에 축조된 안내벽을 선 시공하고 일정폭의 트렌치 내에 굴착면의 붕괴와 지하수의 침투를 방지하기 위한 안정액(bentonite slurry)을 공급하면서 연속벽 굴착기로 소요의 굴착깊이까지 굴착하고, 굴착이 완료되면 안정액 속 슬라임(slime)을 디샌딩(desanding)하고 철근망등의 응력재를 건입한 후 트레미관에 의한 콘크리트를 타

설하는 말뚝을 지칭한다. 하중과 기초의 형식 등에 따라 여러 가지 형태의 벽체식 말뚝을 설치할 수 있으며, 특히, 지층이 연약하고 토사층이 깊은 구간에서 기존 현장타설말뚝(RCD 등) 사용시 공벽유지를 위한 케이싱 삽입 후 콘크리트 타설공법에 따른 케이싱 인발문제 및 철골의 수직도 문제에 대한 대안 공법으로 바렛말뚝이 적용되고 있다(임대성 등, 2008).

2.2 양방향재하시험

양방향재하시험은 미국 Northwestern 대학의 명예교수인 Osterberg 박사에 의해 처음 고안된 시험이다. O-cell은 특수하게 고안된 고압의 유압잭과 고압에도 견딜 수 있는 금속부품 등으로 구성되며, 유압용 액체로는 깨끗한 물과 약 5%정도의 물과 혼합이 가능한 특수 기름이 사용된다(Osterberg, 1998). 기존의 재하시험 경우 시험하중만큼의 반력말뚝이나 반력 앵커 등이 필요하고, 반력 하중을 사용할 수 없는 경우에는 말뚝 정재하시험을 할 수 없는 반면 양방향재하시험은 유압잭을 말뚝 선단 가까이 설치하여 선단지지력과 주면마찰력의 상호간 반력으로 작용시켜 시험을 하기 때문에 별도의 반력장치가 필요 없고 좁은 시험공간이나 경사진 곳에서도 가능하다는 장점이 있다. 기존의 정재하시험은 반력시스템이나 사하중을 이용하여 말뚝에 압축력을 가한다. 이때 주면마찰력과 선단지지력이 더해져 상부의 하중을 지지하게 되며 각각의 크기는 말뚝에 변형률계를 설치하여야 개략적으로 알 수 있다.

그러나, 양방향재하시험은 말뚝의 선단에서 압축력이 가해지는 특성으로 셀이 유압으로 팽창함에 따라 선단 지지력과 주면마찰력이 반력으로 작용하여 둘 중에 한 성분이 극한에 도달할 때까지 하중을 가하게 된다. 따라

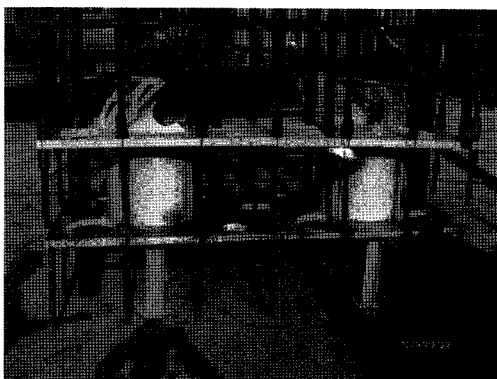


그림 1. 하중재하시험장치 및 계측기 설치 사진

서, 자동적으로 주면마찰력과 선단지지력이 분리되어 측정을 할 수 있는 시험법이다(권오성 등, 2006). 그림 1은 기본적인 선단유압장치(O-cell)의 장치 모식도를 나타낸 것으로 선단유압장치(O-cell)의 상판과 하판(Plate)에 각각의 탐측관(Steel Pipe)을 장착하고 말뚝을 시공한 후 시험시 탐측관내에 변위봉을 삽입 설치하여 상부 LVDT를 통해 그 변위봉의 변위를 측정하여 말뚝의 선단부 지지에 따른 변위와 주면부 저항에 따른 변위를 직접 분리하여 측정할 수 있다.

본 연구에서는 주면부특성만을 규명하고자 하여 양방향 재하시험에서 얻어지는 선단지지력곡선에 대한 결과는 고려하지 않고 주면부 하중-침하곡선만을 사용하여 거동특성을 규명하였다.

표 1. 바렛말뚝 제원 및 시험하중

	규격	길이	설계 하중	최대 시험 하중
A-현장	2.8m × 1.0m	15.1m	12,000kN	26,000kN
B-현장	2.8m × 1.2m	20.9m	30,000kN	85,000kN
C-현장	2.8m × 1.0m	14.5m	6,840kN	22,500kN
D-현장	2.8m × 1.7m	9.5m	14,600kN	30,000kN

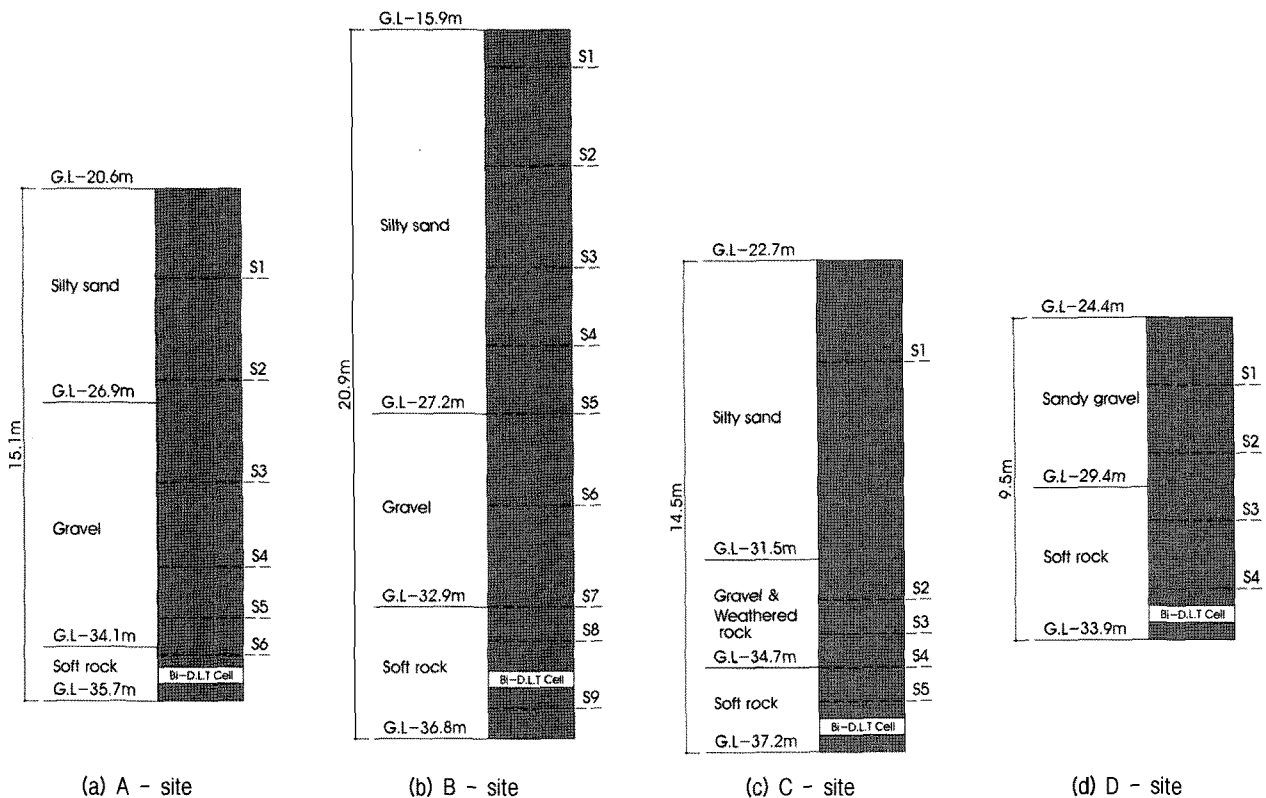
2.3 재하시험

본 연구에서는 4개 현장(A, B, C, D현장)에 바렛말뚝을 시공하고 양방향 재하시험을 실시하였다.(경남기업, 2008; 대우건설, 2006; 롯데기공, 2007; 신세계건설, 2007) 지반조건은 매립층, 실트질 모래층과 실트질 점토층, 연암층 순으로 구성되었고 재하시험은 ASTM D1143-81에서 규정하고 있는 반복재하방식에 따라 수행하였고 말뚝의 제원은 표 1과 같고, 변형률 게이지 설치위치는 그림 2와 같다.

2.3.1 재하 시험 방법

일반적으로 외국에서 사용하는 양방향 재하시험은 급속재하시험방법에 따라 수행하는 것이 일반적이나 다른 방법으로 시험도 가능하다. 따라서 본 시험의 양방향 말뚝재하시험에서는 ASTM D-1143, 1981에서 규정하고 있는 완속표준재하시험방법과 반복재하방법을 혼합한 형태로 실시하였다.

본 시험방법은 말뚝 시공시 하중가압장치를 말뚝 선단에 정착하고 말뚝선단과 말뚝두부의 변위를 측정하여 말뚝이 저항할 수 있는 최대 지지력을 확인하는 시험



* Bi-D.L.T. Cell : 양방향재하시험셀, S : 변형률 센서

그림 2. 양방향 재하시험 위치 및 시험말뚝 개요도

방법으로 실시하였다.

2.3.3 재하 시험 결과

그림 3은 A-B현장의 재하시험 결과를 나타낸 하중-침하 곡선이며 최대하중인 13000kN에 이르기까지 파괴는 발생하지 않았다. 또한 본 연구에서는 하중전이분석을 위해 깊이에 따른 변형을 센서를 설치하였으며 탄성침하량을 고려한 깊이별 하중전이곡선(t-z curve)을 측정된 결과에 대해 실트질모래층, 모래질 자갈층을 중심으로 그림 5와 6에 나타내었다. A, B, C 그리고 D는 각 현장을 표시한 것이고 (1)과 (2)는 현장별 깊이에 따른 변형을 센서의 번호를 나타낸 것으로 위치는 표 2와 같

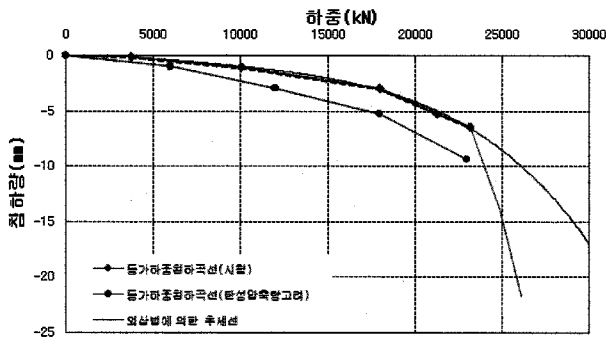


그림 3. 등가하중 - 침하곡선(A-site)

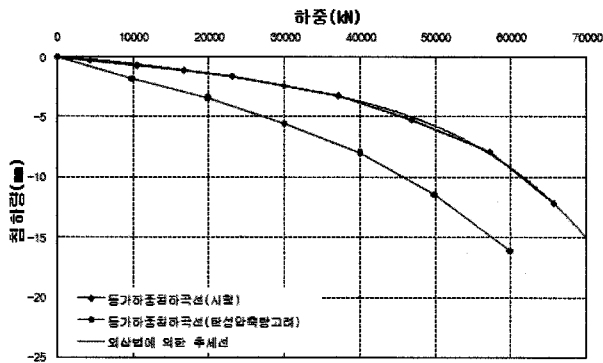


그림 4. 등가하중 - 침하곡선(B-site)

다. 도시결과 하중전이곡선 모두 비선형곡선 형태로 거동하고 있으며 모래자갈층의 경우 하중에 따른 깊이별 변화폭이 큼을 알 수 있었다.

3. 경험적 주변하중전이곡선의 개발

양방향 하중재하시험을 통해 구한 주변 하중전이곡선을 쌍곡선함수 형태로 정규화 시킨 후 정규화된 주변 하중전이곡선과 지반조사자료와의 상관관계를 분석하

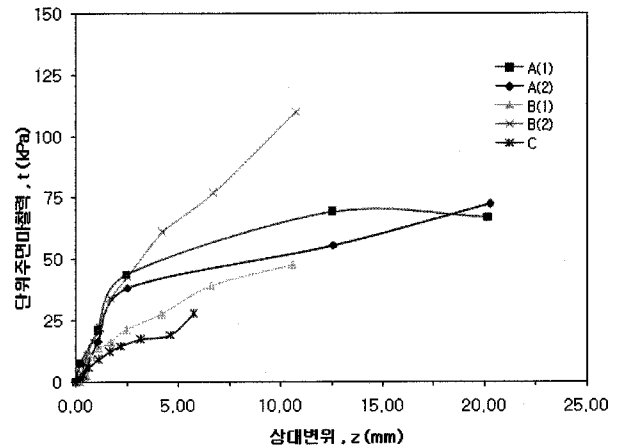


그림 5. 실트질 모래층

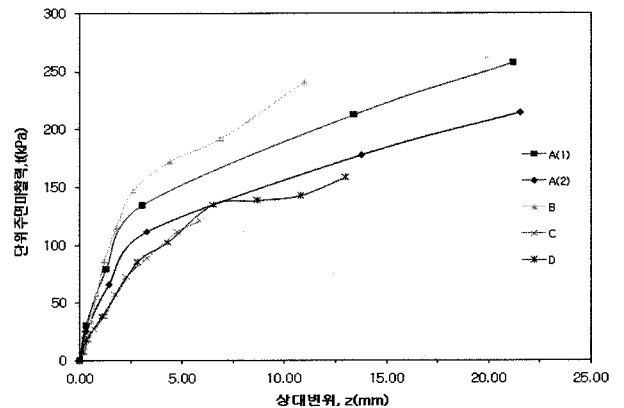


그림 6. 모래질 자갈층

표 2. 쌍곡선 함수의 초기 접선 기울기 및 극한주면마찰력

현장	센서 No.	구간	지반 분류	k	t _{max}	N _{avg}
A	1	21.3~24.3	SM	34.72	76.34	4
	2	24.3~27.3	SM	20.04	83.33	7
	3	30.3~32.3	GP	51.28	142.86	49
	4	32.3~33.3	GM	84.75	285.71	49
	5	33.3~34.5	GM	65.36	243.90	42
B	1	16.5~22.9	SM	13.12	69.93	6
	2	22.9~27.2	SM	21.01	200.00	12
	3	27.2~32.9	GM	86.21	312.50	50

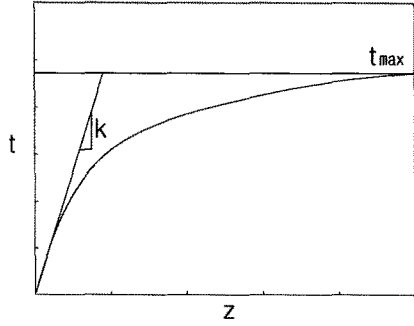


그림 7. 가정된 t-z 곡선의 함수(Hyperbolic Curve)

$$t = \frac{z}{a + b \cdot z} \quad (1)$$

여기서 $a = \frac{1}{k}$; $k = t-z$ 곡선의 초기 접선 기울기

$b = \frac{1}{t_{max}}$; $t_{max} = t-z$ 곡선의 극한주면마찰력

식 (1)을 선형관계로 다시 표현하면 다음 식 (2)와 같으며 선형회귀분석을 위해 $z/t - z$ 의 함수로 선형관계 그래프를 나타내면 그림 7과 같이 표현된다.

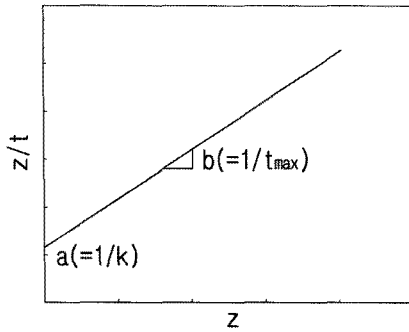
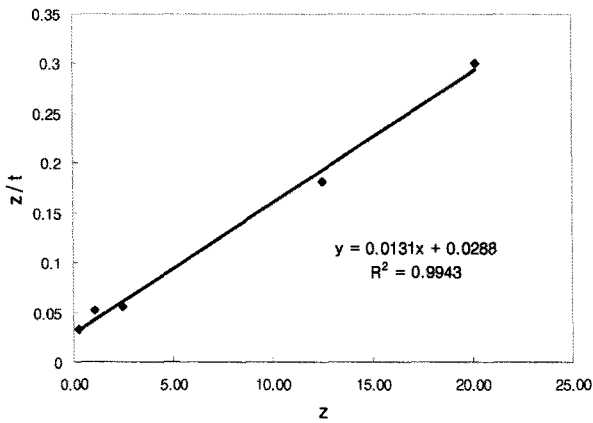
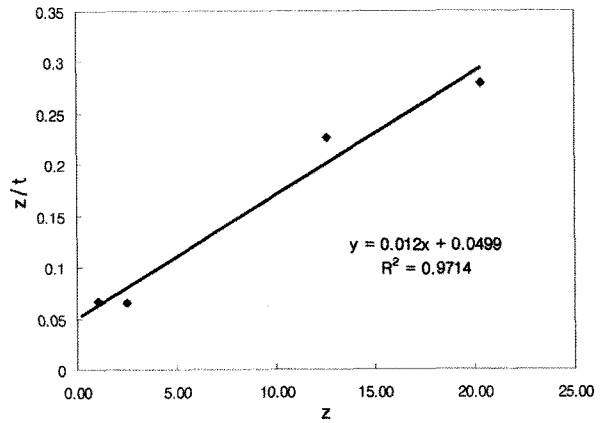


그림 8. z/t-z Line(Transformed Hyperbolic Curve)

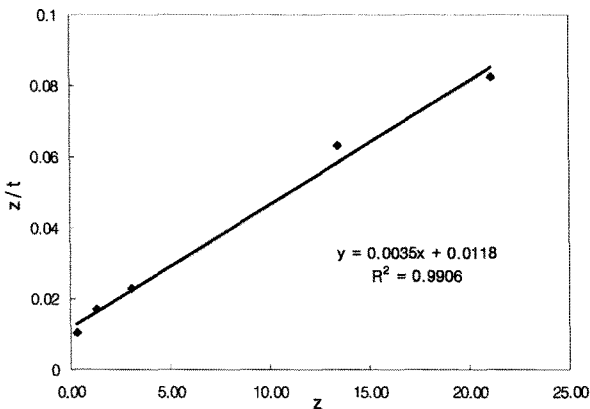
$$\frac{z}{t} = a + b \cdot z \quad (2)$$



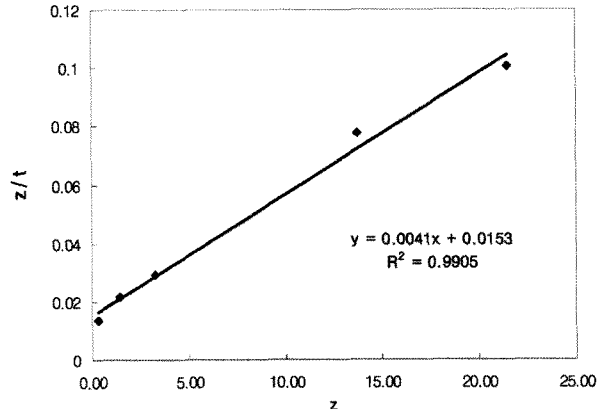
(a) A-site, 21.3~24.3m 구간



(b) A-site, 24.3~27.3m 구간



(c) A-site, 32.3~33.3m 구간



(d) A-site, 33.3~34.5m 구간

그림 9. 선형회귀분석

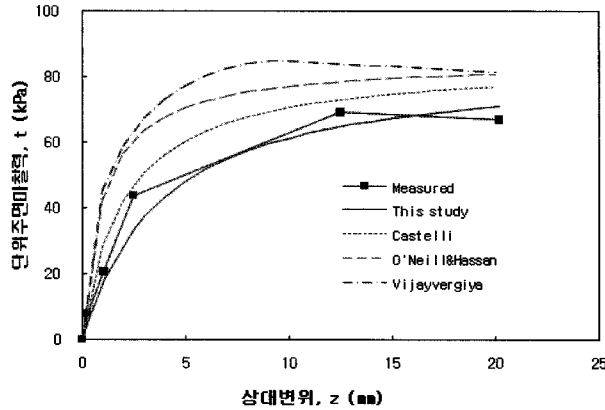


그림 10. 주면하중전이곡선 비교(A-site sand)

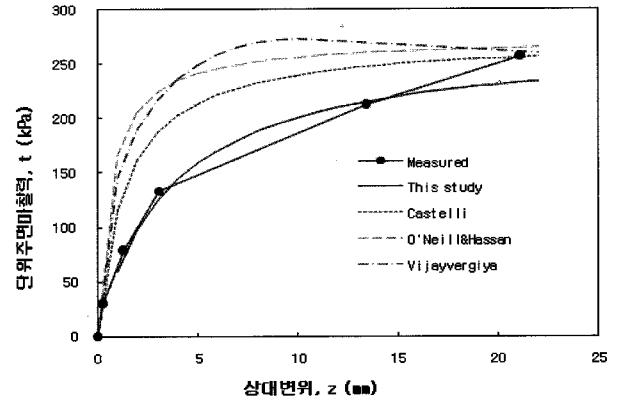


그림 11. 주면하중전이곡선 비교(A-site gravel)

여기서 $a = \frac{1}{k}$, $b = \frac{1}{t_{max}}$

이 같이 제안된 가정함수를 토대로 그림 8과 같이 실제 barrette 말뚝에 대해 양방향재하시험을 통해 구한 주면하중전이 곡선을 깊이에 따라 정규화 하였으며 1차 함수 기울기($1/t_{max}$)와 절편($1/k$)을 취하여 식 (1)에 대입하였다. 해석결과, 그림 9와 같이 전반적으로 높은 상관도(R^2)를 보였다. 이렇게 구한 $1/t_{max}$ 와 $1/k$ 을 식에 대입하면 그림 10과 같은 쌍곡선 함수 형태로 나타낼 수 있다. 깊이에 따른 초기 접선 기울기(k)와 극한주면마찰력(t_{max})은 표 2에 정리하였다.

또한, 극한주면마찰력은 지층의 관입성에 따라 변화하는 것으로 알려져 있다. 따라서, 초기 기울기는 barrette 말뚝의 환산직경과 깊이에 따른 경험적 상관관계를 이용하고 극한주면마찰력은 시추조사를 통해 쉽게 구할 수 있는 표준관입저항치(N)를 이용하여 경험적 상관관계를 나타내 보고자 하였다.

표 2에 제시된 초기 접선 기울기 값을 지층에 따른 깊이(Z)와 말뚝의 환산직경(D)으로 표현한 무차원값(Z/D)을 이용하여 쌍곡선 함수의 초기 접선 기울기(k)의 상관관계를 나타내었으며 그 식은 다음과 같다.

$$k = 1.862 \cdot \left(\frac{Z}{D}\right) \quad (\text{실트질모래}) \quad (3)$$

$$k = 4.384 \cdot \left(\frac{Z}{D}\right) \quad (\text{모래질자갈}) \quad (4)$$

선형회귀분석을 통해 구한 극한주면마찰력(t_{max})과 표준관입시험 저항치(N)와의 상관관계는 다음식과 같이 제안하였다.

$$t_{max} = 14.828 \cdot (N) \quad (\text{실트질모래}) \quad (5)$$

$$t_{max} = 5.201 \cdot (N) \quad (\text{모래질자갈}) \quad (6)$$

위 식 (3)~식 (6)은 barrette 말뚝의 실규모 재하시험을 통해 얻은 현장 Data를 사용하여 선형의 상관관계를 나타낸 것이며, 실트질모래층의 경우 $N < 15$ 이하와 모래질자갈층의 경우 $N > 40$ 이상의 지층으로 제한된다.

4. 수치해석

본 연구에서는 현장에 시공된 barrette 말뚝에 대해 양방향재하시험을 실시한 결과를 토대로 주면부 하중전이특성을 분석한 결과에 대해 정량적인 해석결과를 얻고자 유한요소해석을 통해 검증하고자 하였다. 이를 위해 barrette 말뚝과 지반의 경계면 요소의 적정성을 검토하고 실제 재하시험을 통해 구한 주면하중전이곡선($t-z$ curve)과 제안된 하중전이함수를 토대로 경계면 정수 산정을 위한 해석 기법을 제안하였다. 이를 토대로 현장재하시험에서 얻은 주면부 하중-변위곡선과 수치해석을 통해 구한 결과를 비교·평가하고자 한다.

4.1 수치해석 조건

Barrette 말뚝은 비대칭형상으로 말뚝 해석시 평면 변형을 조건이 적용되는 2차원으로 해석할 경우 단계별 하중재하에 따른 정확한 지지거동 및 하중전이 특성의 파악이 어려워 본 연구에서는 직사각형 barrette 말뚝에 대하여 3차원 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 프로그램은 범용해석 프로그램인 MIDAS GTS를 사용하여 해석을 수행하였다. 해석에 사용된 지반의 구성모델은 탄성(Elastic) - 소성(Plastic)의 관계로 표현되는 Mohr-Coulomb

표 3. 대표 수치해석 물성치

구 분	γ_t (kN/m ³)	C (kN/m ²)	ϕ (°)	E (kN/m ²)	ν	k_s (kN/m ³)
실트질모래층	18	30	25	18000	0.35	3000
모래질자갈층	20	0	37	160000	0.3	10000
연암층	28	50	40	37000000	0.25	-
말뚝	23	-	-	25000000	0.17	-

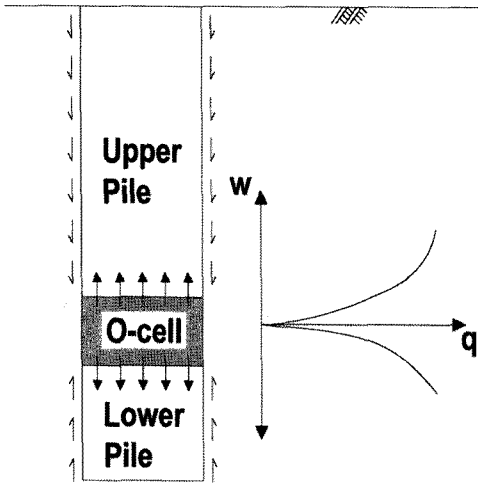


그림 12. 양방향재하시험의 모델링 개념도

모델을 사용하였으며, barrette 말뚝 본체는 Hooke의 법칙을 따르는 탄성 모델을 사용하였다.

해석대상 지반은 지층별 역학실험결과와 산정된 지반의 N치를 근거로 하여 탄성계수 및 Poisson's ratio의 값을 사용하였고, 단위중량과 점착력 그리고 내부마찰각은 현장실험값에 근거하여 적용하였다. 말뚝 기초는 해석대상 barrette 말뚝과 동일한 현장타설 con'c 말뚝으로 산정하고 철근 콘크리트 물성치를 사용하였다. 표 3은 해석에 사용된 대표 물성치이다.

현장에서 실시한 양방향재하시험을 수치해석으로 모사하기 위해 그림 12와 같이 Load cell(O-cell)이 설치된 위치를 기준으로 상부말뚝과 하부말뚝으로 나누고 주변부 하중전이해석을 위해 상부말뚝을 상향으로 재하하였으며 실제 현장에 적용된 동일한 시험하중과 지층 조건으로 모델링하였다.

해석영역에 대한 경계조건으로 좌우 경계부는 연직 방향 변위만을 허용하기 위하여 roller조건으로 하고, 하부 경계부는 hinge로 설정하여 좌우 변위는 고정하고 회전만을 허용하였다. 해석순서는 원지반과 말뚝을 동시에 모델링하고 응력상태를 초기상태로 안정화시킨 후 재하하중을 각 단계별로 나누어 하중을 재하하였다.

4.2 경계면

현장타설말뚝의 모델링에서 말뚝과 지반사이 경계면의 상호작용을 수치해석적으로 구현하기는 상당히 어려운 문제이다. 기존의 연구 결과에 의하면 Ellison & D'Appolonia(1971)은 교란의 범위에 대해 일반적으로 수인치내로 제한되며 말뚝과 주변지반의 부착력을 감소시킬 수 있다고만 언급하고 있다. 따라서 본 수치해석에서는 접촉면 거동을 해석하기 위하여 힘-변위 관계를 사용하였다. 수직방향에서 응력-변형 관계는 선형적이라 가정하면 이는 수직강성도에 의해 지배되게 된다.

$$F_n = k_n u_n \quad (7)$$

여기서, $k_n = \frac{F_{n \max}}{u_{n \max}}$

마찬가지로 interface에서의 전단강성도의 변화량은 식 (8)과 같이 정의된다.

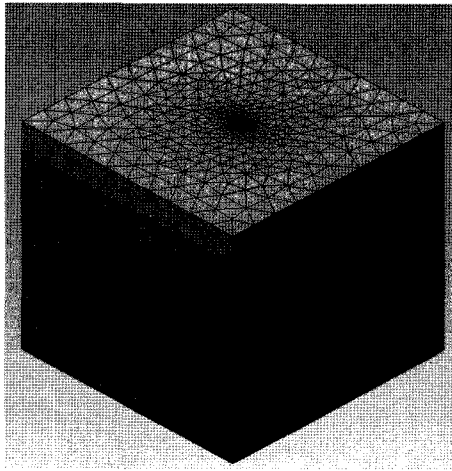
$$F_s = k_s u_s \quad (8)$$

여기서, $k_s = \frac{F_{s \max}}{u_{s \max}}$

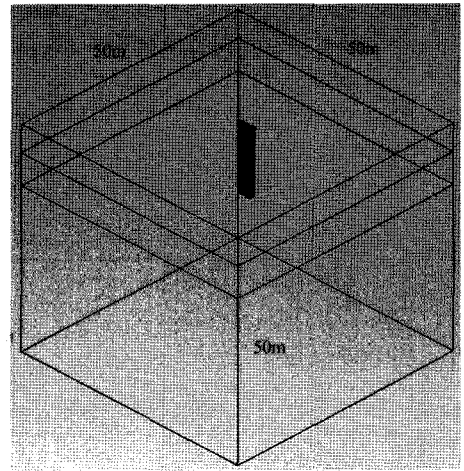
따라서, barrette 말뚝 시공시 발생되는 Filter caker와 말뚝과 지반의 상호작용을 수치해석에 반영하기 위해 말뚝과 지반사이 미끄러짐(Slip)을 모사 하였으며 이를 위해 Interface Element를 적용하였다.

4.3 수치해석 결과

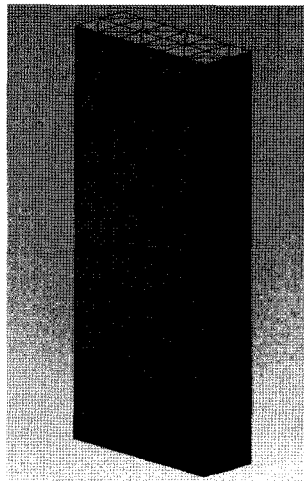
그림 13과 14는 하중단계별 침하량을 정규화한 그래프로 Y축은 동일한 하중조건에서 δ_s (현장 침하량)/ δ_i (수치해석 침하량)으로 정규화 하였으며, X축은 하중단계를 나타내었다. 상기 결과를 살펴보면 수치해석시 경계면효과를 고려한 수치해석결과는 현장결과와 정규화한



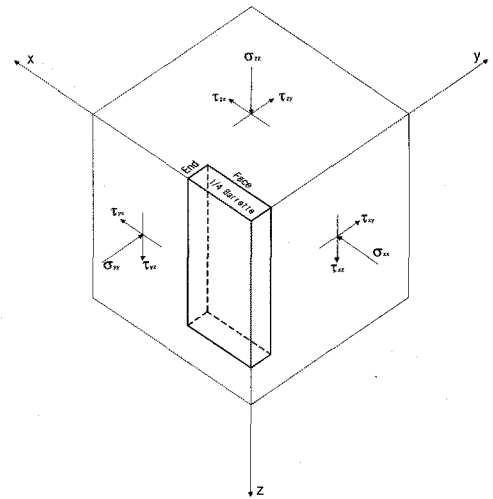
(a) 요소망



(b) 말뚝 근입 모사도



(c) 말뚝부 요소망



(d) 응력 좌표계

그림 13. 수치해석 요소망 및 모사도

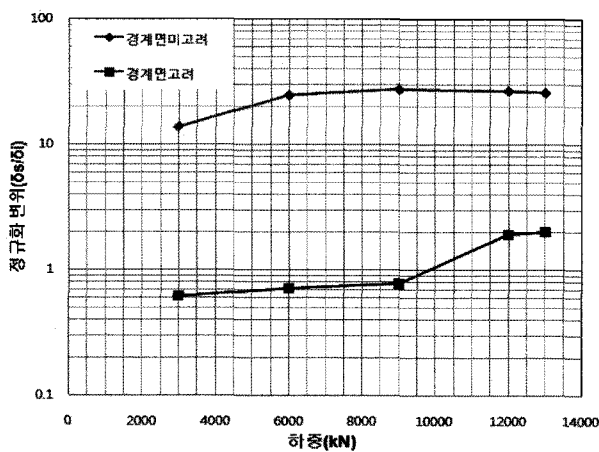


그림 14. 경계면효과 적용에 따른 하중-침하곡선(A-site)

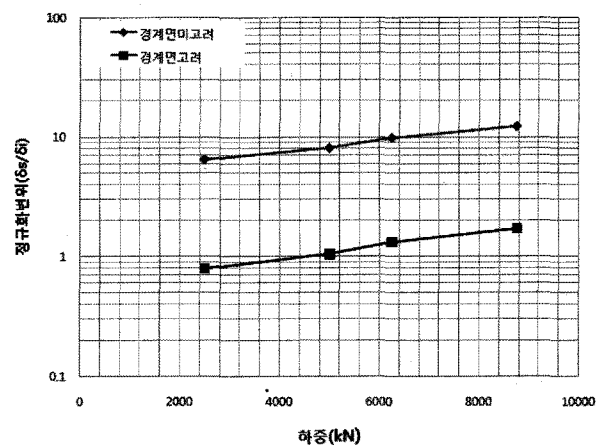


그림 15. 경계면효과 적용에 따른 하중-침하곡선(B-site)

“ δ_s (현장 침하량)/ δ_i (수치해석 침하량)”의 값이 0.8~2 배의 차이를 보이는 반면 경계면효과를 고려하지 않은 수치해석결과는 초기하중단계를 제외하고 현장시험값

에 비해 정규화한 “ δ_s (현장 침하량)/ δ_i (수치해석 침하량)”의 값이 5~20배의 차이를 보이는 것으로 나타났다. 이는 바렛말뚝의 주변부 해석을 위해 수치해석으로 말뚝

의 하중-침하곡선을 추정할 시에는 경계면효과를 고려한 해석결과가 현장재하시험결과와 근사한 결과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다.

5. 결론

본 논문에서는 barrette 말뚝의 주면부 거동 특성을 살펴보기 위해 실규모 현장 양방향재하시험과 관련 해석을 통하여 주면부 거동을 평가하였다. 따라서 하중전이 곡선을 토대로 말뚝조건을 고려한 제안된 정규화된 함수곡선을 검증한 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 국내 사질지반에 시공된 barrette 말뚝을 대상으로 양방향재하시험을 실시하고 주면부 변형을 센서를 통한 자료의 획득과 하중전이분석을 통해 주면부 하중전이곡선(t-z curve)을 구하였으며 쌍곡선 함수 형태로 가정하여 선형회귀분석하여 주면하중전이 곡선을 제안하였다.
- (2) 분석결과 모래 및 자갈층의 말뚝 주면부 하중전이를 쌍곡선 형태 함수로 비교적 잘 표현할 수 있었으며 극한주면마찰력의 추정식들은 실트질모래층의 경우 $N < 15$ 이하에서 모래질자갈층의 경우는 $N > 40$ 이상의 지층에서 활용할 수 있도록 제안하였다.
- (3) 제안된 barrette 말뚝의 주면부 하중전이곡선을 통해 말뚝과 지반의 경계면 요소를 고려한 3차원 유한요소해석을 실시한 결과, 경계면 효과를 고려한 해석이 현장 결과와 주면부 하중-변위곡선을 유사하게 모사하고 있는 것으로 나타났다.

- (4) 본 연구에서 제안한 방법은 활용된 자료의 한계로 인하여 개발된 경험식의 적용이 제한적일 수 있어 추후 실시되는 유사조건에서의 하중재하시험 자료의 확보를 통하여 추후 연구가 요구된다.

참고 문헌

1. 경남기업 (2008), *WBC The PALACE 오피스텔 신축공사 현장타설말뚝 재하시험 보고서*.
2. 권오성, 최용규, 권오균, 김명모 (2006), “양방향 말뚝재하시험을 이용한 말뚝의 하중-변위곡선 추정 방법”, *한국지반공학회논문집*, 제22권, 제4호, pp. 11-19.
3. 대우건설 (2006), *부산 센텀 리더스마크 신축공사 바렛말뚝 재하시험 보고서*.
4. 롯데기공 (2007), *부산 해운대 센텀 콘도미니엄 신축공사 Barrette Pile 재하시험 보고서*.
5. 박성완, 임대성 (2009), “양방향 재하시험결과를 활용한 바렛말뚝의 하중전이특성 평가”, *대한토목학회논문집*, 제29권, 제2C호, pp.41-49.
6. 신세계건설 (2007), *센텀시티 신세계 UEC PROJECT 현장타설말뚝 재하시험 보고서*.
7. 임대성, 박성완, 박정환, 오세훈 (2008), “공벽유지용 유체에 따른 대구경 현장타설말뚝의 하중전이특성”, *한국지반공학회 2008 봄 학술발표회 논문집*.
8. ASTM D1143-81 (Reapproved by 1994) (1994), “Standard Test Method for Piles Under Static Axial Compressive Load”.
9. Osterberg, J. O. (1998), “The Osterberg Load Test method for Drilled Shafts and Driven Piles-the First Ten Years”, *Proceedings 7th International Conference on Deep Foundations*, Vienna, Austria., June 15-17, Deep Foundation Institute, Englewood Cliffs, N.J., 1.28.1-1.28.11.
10. Ramaswamy, S. D. & Pertusier, E. M. (1986), “Construction of Barrettes for High-rise Foundation”, *Journal of Construction Engineering*, No. 4, pp. 455-462.

(접수일자 2009. 9. 14, 심사완료일 2010. 9. 7)