

하중전이기법을 이용한 매입말뚝의 하중-침하 거동특성

Characteristics of Load-Settlement Behaviour for Embedded Piles Using Load-Transfer Mechanism

오세욱*

Oh, se wook

ABSTRACT

A series of model tests and analyses by load transfer function were performed to study load-settlement behaviour with relative compaction ratio of soil and embedded depth of pile.

In the model tests, embedded depth ratio(L/D) of pile were installed 15, 20, 25 and relative compaction of soil(RC) is 85%, 95% and then cement were injected at around perimeter of pile.

For analysis of embedded pile, the paper were compared results of model tests with analysis results by Vijayvergiya model and Castelli model, Gwizdala model of elastic plasticity-perfect plastic model and then the fitness load transfer mechanism was proposed to predict load-settlement behaviour of embedded pile.

The analysis results of predicted bearing capacity by load transfer function, ultimate bearing capacity of embeded pile were approached to measured value and behaviour of initial load-settlement curve were estimated that load transfer function by Castelli were similar to measured value. The result of axial load analysis of bored pile shows that skin friction estimated by load transfer mechanism is investigated more a little than that of measured values.

Keywords : Load-Settlement behaviour, bored piles, Load transfer mechanism, Castelli model, Gwizdala model, coyle model

요 지

본 논문에서는 지반의 상대다짐도(RC)와 매입말뚝의 근입비에 따른 하중-침하 거동을 연구하기 위하여 모형실험과 하중전이 함수를 이용한 해석을 수행하였다.

모형시험에서 말뚝은 근입비(L/D)를 15, 20, 25로 설치하였고, 지반의 상대다짐도를 85%, 95%로 각각 조성하였으며 말뚝주면은 시멘트를 주입하였다.

본 논문은 매입말뚝의 해석을 위하여 Vijayvergiya의 하중전이 모델, Castelli 모델, Gwizdala의 탄소성-완전소성 모델, coyle의 제안식 등을 사용하여 실험결과와 비교하였으며, 매입말뚝의 하중-침하 거동을 예측하는데 가장 적합한 하중전 이 방법을 제안하였다.

하중전이 함수에 의한 지지력 예측 결과 매입말뚝의 극한 지지력은 Coyle의 제안식이 실측값에 가장 근접한 것으로 나타났으며, 초기 하중-침하 거동은 Castelli에 의한 함수가 가장 유사하게 하중-침하 거동을 평가하는 것으로 나타났다. 매입말뚝의 축하중 해석결과 하중전이법에 의해 평가된 주면마찰력이 실측값보다 과소평가 되는 것으로 나타났다.

주요어 : 하중-침하 거동, 매입말뚝, 하중전이법, Vijayvergiya의 하중전이 모델, Castelli 모델, Gwizdala의 탄소성-완전소성 모델, coyle의 제안식

* 정희원 · 충북대학교 토목공학과 공학박사

1. 서론

말뚝기초는 인류가 가장 오랫동안 사용해온 기초형식중의 하나로, 최근 구조물의 대형화와 함께 약조건의 지반에 구조물을 시공하는 사례가 증가하면서 가장 효과적이고 경제적인 기초로 말뚝의 중요성이 커지고 있다.

말뚝은 그 구성재료와 형태, 기능, 제작법, 시공방법에 따라 다양한 종류가 있으며, 과거에는 타입에 의한 시공방법이 보편적으로 사용되어져 왔으나, 최근 경제적 여유와 사회적 인식의 변화로 환경문제가 부각되면서 종래의 타격말뚝공법만으로는 시공이 곤란하게 되었다.

이에 따라 소음과 진동을 줄이면서 시공이 가능한 매입말뚝이나 현장타설말뚝의 시공이 증가하고 있다. 특히 근래 들어서 국내 시멘트 산업의 발전으로 기성말뚝의 보급이 활발해지고 있으며, 새로운 굴착장비의 개발로 매입말뚝의 시공이 점차 증가하고 있다.

또한 새로 제정된 말뚝기초의 설계기준에서는 지금까지 인식의 부족으로 설계에 거의 반영되지 않았던 마찰력을 설계에 활용할 수 있도록 함으로써 경제적인 설계가 되도록 하고 있다. 지지층의 개념도 신선한 암반이나 연암만이 양호한 지지층이 아니고 상부하중과 말뚝기초의 지지력을 비교하여 상대적으로 결정하도록 함으로써 항타말뚝이나 매입말뚝의 주면마찰력을 보다 정확하게 평가하는 연구가 요구되고 있다. 그러나 아직까지 매입말뚝의 주면마찰력을 평가하기 위한 연구가 부족한 실정이며, 특히 말뚝의 주면에 주입재를 주입하는 경우 말뚝의 주면마찰력을 평가하는 것은 매우 어려운 일이다.

따라서 본 연구에서는 국내에 가장 보편적으로 분포하고 있는 잔류화강풍화토 지반에서 말뚝 축하중을 측정할 수 있는 센서를 설치하여 말뚝의 축하중전이 특성을 파악하고, 매입말뚝의 주면마찰력을 평가·예측하기 위한 기존의 방법과 비교하고 가장 근접한 하중전이함수법을 제안하고자 한다.

2. 선단의 하중전이함수

선단하중전이함수(q-w curve)는 선단지반의 저항력과 말뚝 선단의 변위량과의 관계를 나타내는 함수로서, 지금까지 많은 연구자들에 의해 경험적 또는 이론적인 방법을 통하여 여러 가지 형태로 제안되었다. 선단하중

전이함수는 크게 완전탄성-완전소성의 형태 및 쌍곡선 형태로 구분되는데, 완전탄성-완전소성 모델의 경우 대부분이, 반무한 탄성지반상의 분포하중에 의해 발생하는 지반 변위에 대한 Timoshenko와 Goodier의 탄성해를 기본으로 하여 개발되었다.

또한 쌍곡선 모델의 경우에도, 곡선의 형태를 결정하는 주요 인자의 하나인 초기기울기의 산정식은 대부분 Timoshenko와 Goodier의 탄성해를 기초로 하여 제안되었다. 지금까지 제안된 선단의 하중전이함수에 대해 살펴보면 다음과 같다.

2.1 Vijayvergiya의 제안식

1977년에 Vijayvergiya는 점성토와 사질토에 모두 적용 가능한 선단하중전이곡선을 다음의 그림 3.5와 같이 제안하였다. 이 모델은, 선단전이하중, q가 극한 단위선단저항력, q_{max} 에 도달하기까지는 비선형의 탄소성거동을 하며, q가 q_{max} 에 도달한 후에는 완전소성 거동을 하는 형태이다.

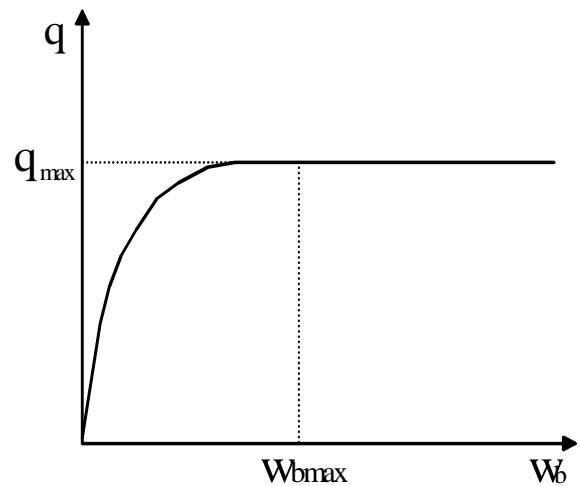


그림 1. Vijayvergiya의 선단하중전이곡선

그림 1의 선단하중전이곡선은 말뚝 선단의 변위량, w_b 의 범위에 따라 각각 다음의 식 (1)과 같이 표현된다.

$$q = \left(\frac{w_b}{w_{bmax}} \right)^{1/3} q_{max} \quad w_b \leq w_{bmax}$$

$$q = q_{max} \quad w_b > w_{bmax}$$

(1)

여기서, q : 선단전이하중
 q_{max} : 극한 단위선단저항력
 w_b : 말뚝의 선단변위량
 w_{bmax} : 한계변위로써 q_{max} 를 발생시키
 는 말뚝선단의 변위량

한계변위량 w_{bmax} 는 Vijayvergiya는 말뚝 선단직경의 4~6%를 사용하도록 추천하였다⁽¹³⁾.

2.2 Castelli의 제안식

1992년에 Castelli는 선단에 대한 하중전이곡선을 주변의 하중전이곡선과 유사하게 쌍곡선 형태로써 그림 2와 같이 제안하였다. 이 모델은 말뚝 선단의 변위량, w_b 가 증가함에 따라 선단저항력, q 가 지속적으로 증가하여 극한 단위선단저항력, q_{max} 에 접근해가는 형태이다.

그림 2의 선단하중전이곡선은 말뚝 선단의 변위량, w_b 의 범위에 관계없이 다음의 식 (2)와 같은 단일 함수식으로 표현된다.

$$q = \frac{w_b}{\frac{1}{KI_p} + \frac{w_b}{q_{max}}} \quad (2)$$

여기서, KI_p 는 선단하중전이곡선의 초기접선기울기로서 Randolph와 Wroth의 연구 결과로부터 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$KI_p = \frac{G_s}{r_o \cdot \ln(R'/r_o)} \quad (3)$$

여기서, G_s : 선단지반의 초기 전단탄성계수
 r_o : 말뚝의 반경
 R' : 방사 방향의 거리

R' 은 선단지반의 전단 변형이 무시될 수 있을 만큼

작아지는 방사방향의 거리로써 일반적으로 1.0~1.5D를 사용한다.

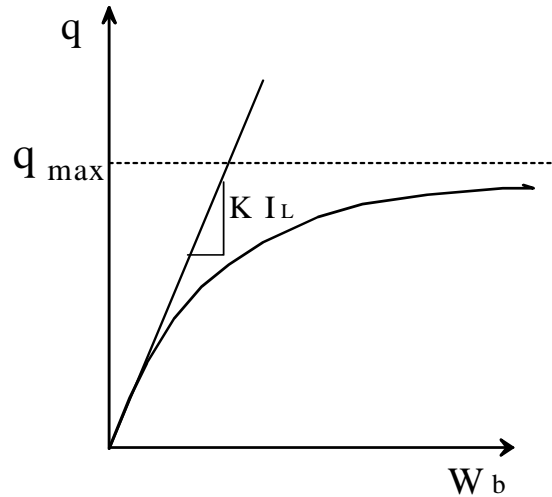


그림 2. Castelli의 선단하중전이곡선

2.3 Gwizdala 제안식

1984년 Gwizdala는 선단의 하중전이곡선을 그림 3과 같이 수정 쌍곡선의 형태로 제안하였다. 이 모델은 선단저항력, q 가 극한 단위선단저항력, q_{max} 에 도달하기까지는 $\alpha_1 q_{max}$ 에 접근하는 쌍곡선의 형태이며, q_{max} 에 도달한 후에는 급격한 소성 변위가 발생하는 형태이다.

이 모델은 다음의 식(4a), 식(4b)와 같이 쌍곡선 모델과 유사한 함수식으로 표현되나, 곡선 형태에서는 탄소성-완전소성 모델의 일종으로 볼 수 있다.

$$q = \frac{w_b}{\frac{1}{a_1} + \frac{w_b}{\alpha_1 q_{max}}} \quad w_b \leq w_{bmax} \quad (4a)$$

$$q = q_{max} \quad w_b > w_{bmax} \quad (4b)$$

여기서, 한계변위, w_{bmax} 는 식 (4a)로부터 $q = q_{max}$ 로 하여 구하며, α_1 은 쌍곡선의 보정계수로서 1.25의 값을 사용한다. 또한, a_1 은 선단하중전이곡선의 초기기울기로서, Gwizdala는 Timoshenko와 Goodier의 탄성해를 기초로 다음의 식 (5)와 같이 제안하였다.

$$a_1 = \frac{4E_s}{\pi D(1-\nu_s^2)} \quad (5)$$

여기서, E_s : 선단지반의 탄성계수
 ν_s : 포아송비
 D : 말뚝의 직경

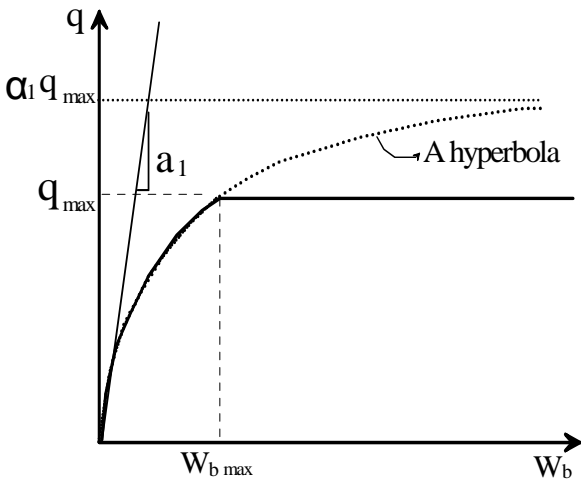


그림 3. Gwizdala의 선단하중전이곡선

2.4 Coyle의 제안식

1985년 Coyle은 많은 현장재하시험의 결과로부터 단위선단저항력과 말뚝 선단의 변위사이의 관계를 모래질 지반과 점토질 지반으로 구분하여 다음의 표 1과 같이 제안하였다.

표 1. 선단저항력과 말뚝 선단변위와의 관계 (Coyle)

점토질 지반		모래질 지반	
$\frac{q}{q_{max}}$	w(z) (mm)	$\frac{q}{q_{max}}$	w(z) (mm)
0.00	0.00	0.00	0.00
0.07	0.13	0.06	0.25
0.14	1.27	0.30	1.27
0.70	1.91	0.60	2.54
1.00	2.54	1.00	7.62
1.00	12.70	1.25	19.05

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

모형실험에 사용된 모델박스는 가로세로가 각각 600mm, 높이 1,200mm로 제작하였으며, 지반조성을 용이하게 할 수 있도록 모델박스를 세 부분으로 분리하여 제작하였다. 모델박스 하부는 폭 1m, 길이 약 1.5m의 정방형으로 굴착하여 화강풍화도를 다짐도 85%와 95%에 맞도록 조성하였다.

하중 재하장치는 용량 10ton의 인발과 압축이 가능하고 재하속도를 조절할 수 있도록 제작하였으며, Loadcell과 LVDT, Strain gage를 이용하여 말뚝의 침하와 축변형률을 측정하였다. 본 연구에 사용된 실험장치의 개요도는 그림 3과 같다.

지반의 상대다짐도는 실내 다짐실험을 수행하여 최대 건조밀도를 결정하고 지반의 가장자리에 설치한 얇은 용기를 이용하여 다짐도(RC) 85%와 95%를 확인하였다. 모형 말뚝은 직경 100mm, 길이 1.5m, 2m, 2.5m의 강관을 이용하여 제작하였으며, 선굴착 후 최종경타하여 말뚝을 매입한 다음, 말뚝주변은 시멘트와 물을 각각 1:1비율로 배합하여 주입하고 3일간 양생한 후 재하시험을 수행하였다

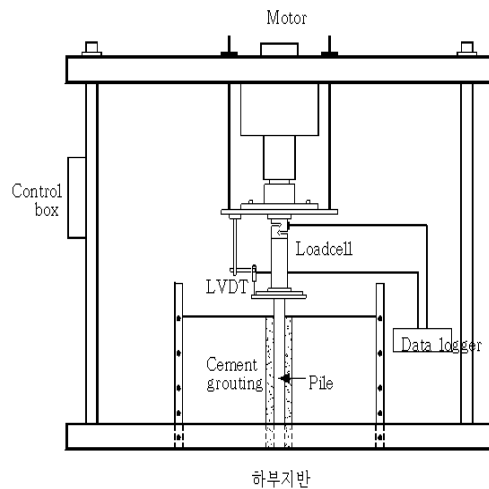


그림 4. 실험장치 개요도

3.2 해석에 적용된 지반특성

본 연구에서는 매입말뚝의 하중-침하 거동을 연구하기 위하여 지반조성을 일반적으로 국내에 많이 분포하고 있는 청주지역 화강잔류풍화토로 조성하였으며, 통일분류상 입도분포가 중간인 모재질 실트로 나타났다. 대상지반의 물리적 특성은 표 2과 같다.

지반의 역학적 특성을 파악하기 위하여 직접전단시험과 원심모형시험기를 이용한 재하시험을 수행하였으며, 범용 유한요소 프로그램인 PENTAGON-3D를 이용하여 탄성계수를 다짐도 85%인 지반은 128kg/cm², 95%인 지반은 211kg/cm²으로 적용하였으며, 삼축압축 시험결과로부터 측정된 포아슨비를 검정하였다.

표 2. 대상지반의 물리적 특성

Physical properties		Quantity
Plastic Index		NP
Water contents ω (%)		11.0
Specific gravity G_s		2.79
Effective size D_{10} (mm)		0.07
Maximum dry density (t/m^3)		1.775
Dry density(t/m^3)	R.C=85%	1.51
	R.C=95%	1.69

원심모형시험에 사용된 모델박스의 제원은 높이 20cm ×가로 51cm×폭 20cm인 직사각형으로 제작되었고, 재하에 사용된 기초는 폭과 길이가 각각 8cm, 20cm인 강성판을 이용하였다.

시험에 적용된 원심모형시험기의 중력가속도는 25G-Level을 적용하였고, 하중은 0.4mm/min 로 변형률 제어방식으로 재하하였다.

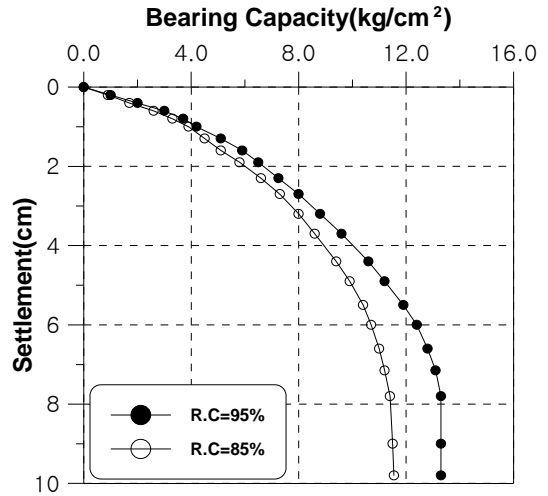


그림 5. 원심모형시험에 의한 하중-침하 곡선

4. 분석 및 고찰

4.1 지반의 다짐도에 따른 하중-침하거동

지반은 다짐도를 각각 85%와 95%로 조성하였고, 말뚝은 직경 100mm, 근입비(L/D)가 15, 20, 25인 경우에 대하여 하중-침하 거동을 분석하였다. 말뚝의 표면에는 좌우 대칭으로 스트레인 게이지를 부착하여 압축재하시 발생하는 축변형률을 측정하였고, 말뚝두부에서 침하량과 하중을 기록하였으며 재하속도는 0.2mm/min로 하였다.

그림 5는 지반의 다짐도가 85%이고 말뚝의 근입비(L/D)가 각각 15, 20, 25일 때 하중-침하 곡선을 나타낸 것으로, 극한 지지력은 일정 침하율을 기준으로 침하가 말뚝 직경의 10%일 때 발현되는 것으로 결정하였다 (Tomlinson,1980).

지지력비(BCR)는 지반의 상대 다짐도가 85%이고 말뚝의 근입비가 15인 경우 측정된 극한 지지력을 기준으로 상대적인 지지력비를 나타낸 것으로, 지반의 다짐도 85%에서 95%로 증가시킨 경우 지지력비는 말뚝의 근입비 15에서 1.56으로 나타났으며, 표 2는 근입비와 지반의 상대 다짐도에 따른 극한 지지력과 지지력비를 나타내고 있다.

표 3. 매입말뚝의 극한지지력과 지지력비

근입비(L/D)	상대다짐도(%)	극한 지지력(kg)	BCR
15	85	167	1.00
	95	263	1.56
20	85	265	1.59
	95	455	2.72
25	85	403	2.41
	95	783	4.69

그림 7은 지반의 상대 다짐도를 95%로 조성하였을 때, 근입비의 증가에 따른 하중-침하곡선을 나타낸 것으로 상대 다짐도 85%인 지반에 비해 극한 지지력이 분명하게 나타나고 있으며, 지지력비는 지반의 상대다짐도 95%, 근입비 25에서 크게 증가하는 것으로 나타났다.

그림 8은 근입비와 상대다짐도의 증가에 따른 지지력비(BCR)의 관계를 나타낸 것으로 지반의 상대 다짐도가 95%인 경우 지지력의 증가율이 크다는 것을 알 수 있다.

또한 상대다짐도가 동일한 지반에서 말뚝의 근입비가 증가할수록 지지력비(BCR)가 증가하는 것으로 나타났으며, 이러한 경향은 지반의 상대다짐도가 높은 지반(RC=95%)에서 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있다.

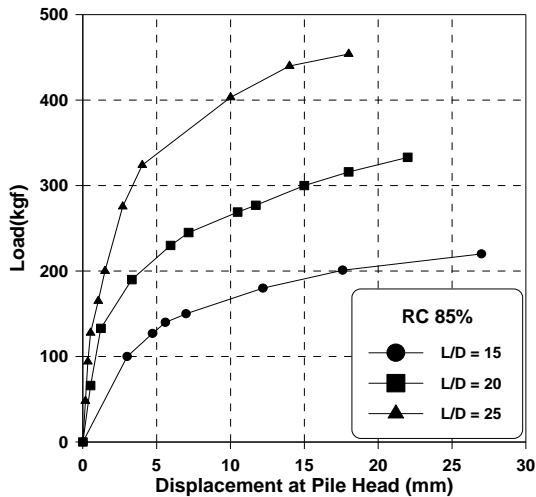


그림 6. 다짐매입말뚝의 근입비에 따른 하중-변위곡선(RC=85%)

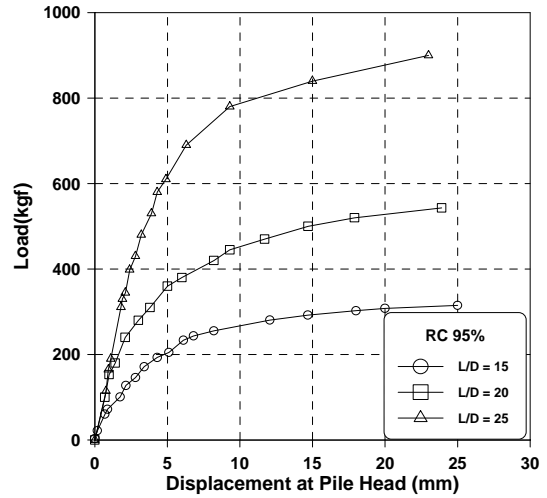


그림 7. 다짐매입말뚝의 근입비에 따른 하중-변위곡선(RC=95%)

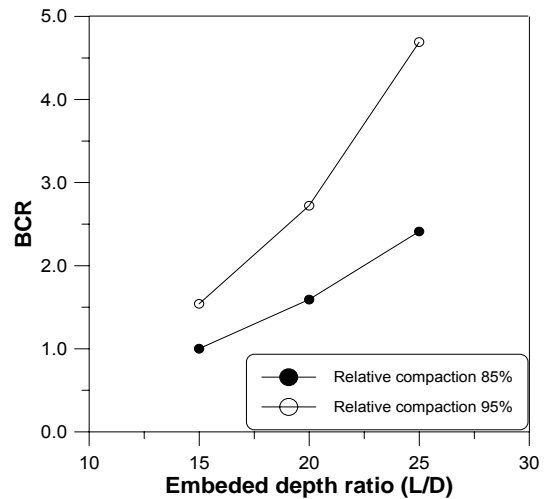


그림 8. 근입비의 증가에 따른 지지력비(BCR)의 변화

4.2. 하중전이 함수에 의한 하중-침하거동

다짐도가 각각 85%와 95%인 지반에서 근입비(L/D)가 15, 20, 25인 말뚝에 대한 실험결과와 Vijayvergia, Castelli, Gwizdala, Coyle 등 여러 가지 하중전이 모델을 사용하여 실측된 하중-침하거동과 비교하였다. 하중전이 해석에 사용된 지반의 공학적 특성은 표 3과 같다

그림 9은 근입비 15이고 다짐도가 85%인 경우 하중-침하거동을 비교한 것으로 Castelli의 하중전이 함수를 적용할 경우 극한 지지력이 가장 작게 나타나는 것으로 나타났으며, Coyle의 모델은 침하량이 과대하게 평가되

어 적용할 수 없는 것으로 나타났다.

Vijayvergia과 Gwizdala의 하중전이함수는 초기하중-침하 거동만 다르고 극한 지지력의 산정방법은 동일하

게 나타난다. 실험에 적용된 매입말뚝의 경우 침하량이 타입말뚝에 비해 크게 나타나므로 전체 실험결과 및 해석 결과에서 두 모델의 극한지지력은 동일하게 평가되었다.

표 4. 하중전이 해석에 적용된 말뚝과 지반조건

Relative compaction (%)	Angle of friction (°)	Pile diameter(cm)	Poisson's ratio	Elastic modulus of pile (kg/cm ²)	Elastic modulus of soil (kg/cm ²)
85	35	10	0.3	1.65×10 ⁶	128
95	40	10	0.3	1.65×10 ⁶	211

그림 9에서 보는 바와 같이 근입비 15, 상대다짐도 85%인 경우 Vijayvergia과 Gwizdala의 하중전이함수에 의한 극한지지력이 실험값과 가장 일치하는 것으로 나타났다.

그림 10는 해석결과중 실측치와 가장 유사한 하중-침하곡선을 보이는 Vijayvergia과 Gwizdala의 하중전이함수를 적용하고 실제 측정한 말뚝길이에 따른 축하중 분포를 비교한 것이다.

해석결과 실측에 의한 축하중의 분포형태와 유사한 것으로 나타났으나 말뚝 선단부에서의 축하중은 실측에 의한 값보다 크게 나타나 하중전이법에 의해 계산된 주면마찰력이 실측값보다 과소평가되는 것으로 나타났다.

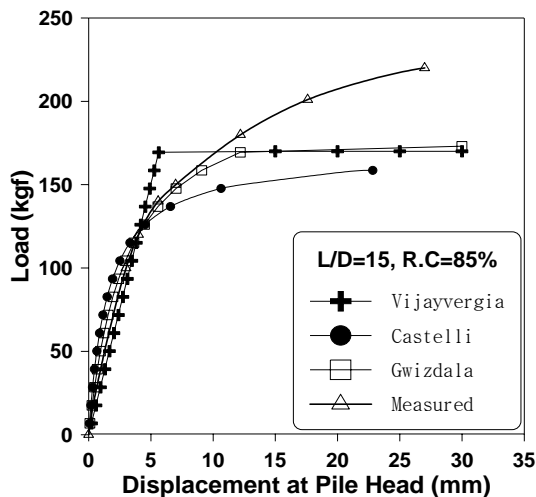


그림 9. 매입말뚝의 하중-침하 곡선(L/D=15, RC=85%)

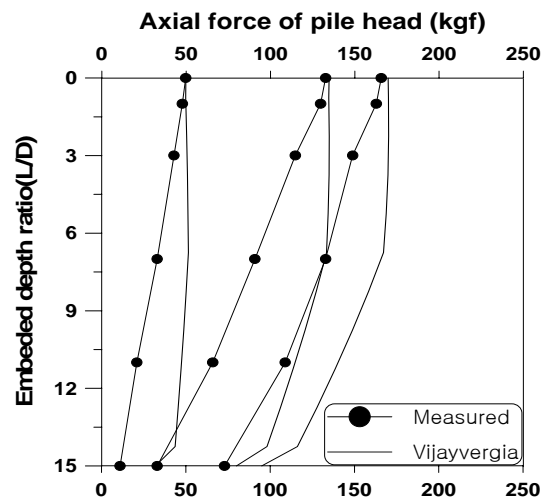


그림 10. 매입말뚝의 축하중 분포곡선(L/D=15, RC=85%)

그림 10과 12는 지반의 상대다짐도가 85%이고 근입비가 각각 20과 25일 때 실측값과 하중전이함수에 의한 하중-침하곡선을 비교한 것으로 두 경우 모두 Castelli에 의한 극한지지력이 가장 작게 평가되는 것으로 나타났다.

말뚝의 근입비가 25인 경우 Vijayvergia과 Gwizdala의 하중전이함수에 의한 하중-침하거동은 초기에 매우 유사한 거동을 예측하는 것으로 보이며, Coyle의 하중전이 함수가 실측값과 가장 유사한 것으로 나타났다. 그림 11과 13은 각각 실측된 말뚝길이에 따른 축하중 분포를 보여주고 있다.

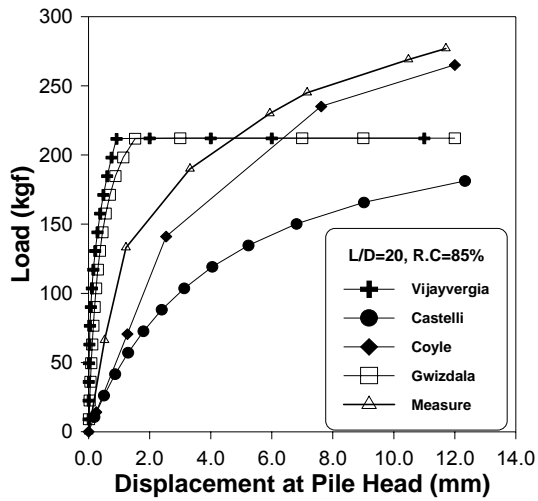


그림 11. 매입말뚝의 하중-침하 곡선(L/D=20, RC=85%)

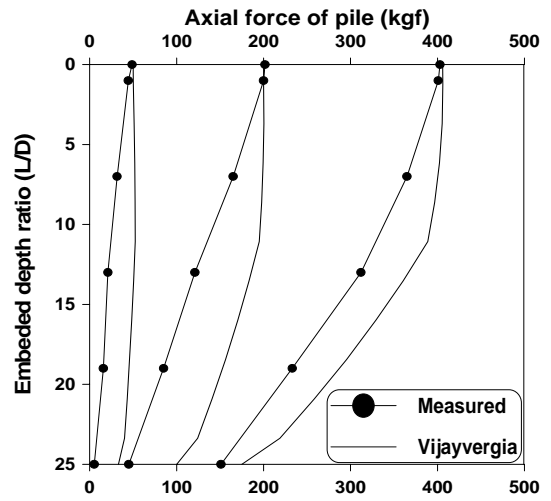


그림 14. 매입말뚝의 축하중 분포곡선(L/D=25, RC=85%)

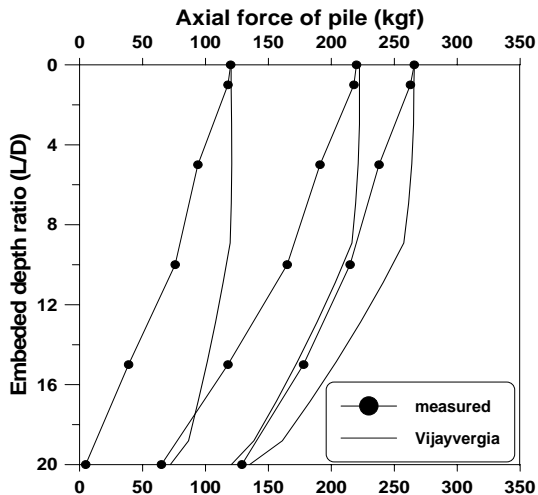


그림 12. 매입말뚝의 축하중 분포곡선(L/D=20, RC=85%)

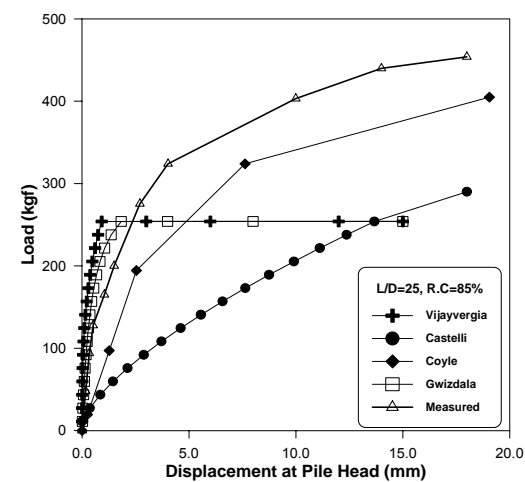


그림 13. 매입말뚝의 하중-침하 곡선(L/D=25, RC=85%)

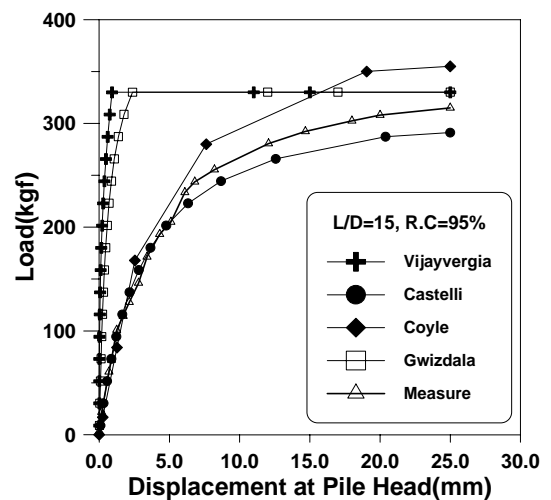


그림 15. 매입말뚝의 하중-침하 곡선(L/D=15, RC=95%)

그림 15, 17, 19은 지반의 상대다짐도가 95%이고 근입비가 각각 15, 20, 25일 때 실측값과 하중전이함수에 의한 하중-침하곡선을 비교한 것으로 두 경우 모두 Castelli에 의한 극한지지력이 가장 작게 평가되는 것으로 나타났다.

말뚝의 근입비가 15인 경우 Castelli가 제안한 하중전이함수가 실측된 하중-침하 곡선과 매우 유사하게 나타났으며, 극한지지력도 유사하게 평가하는 것으로 나타났다.

그림 17에서 보는바와 같이 말뚝의 근입비가 20인 경우 Coyle가 제안한 하중전이함수가 실측된 하중-침하곡선과 거의 유사한 것으로 나타났으며, 극한지지력도 가장 근접하게 예측할 수 있는 것으로 나타났다. 그림 16와 18, 20는 각각 실측된 말뚝길이에 따른 축하중 분포를 보여주고 있다.

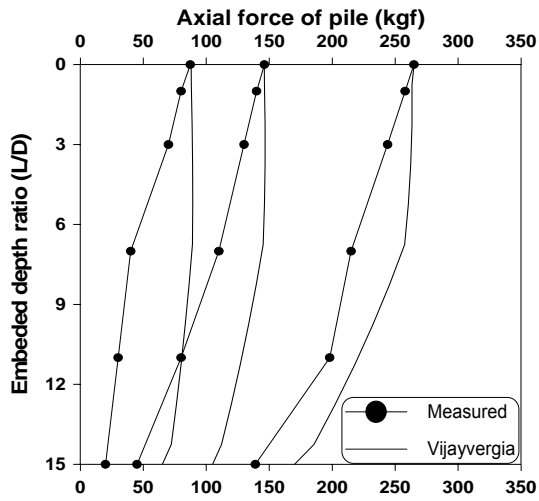


그림 16. 매입말뚝의 축하중 분포곡선(L/D=15, RC=95%)

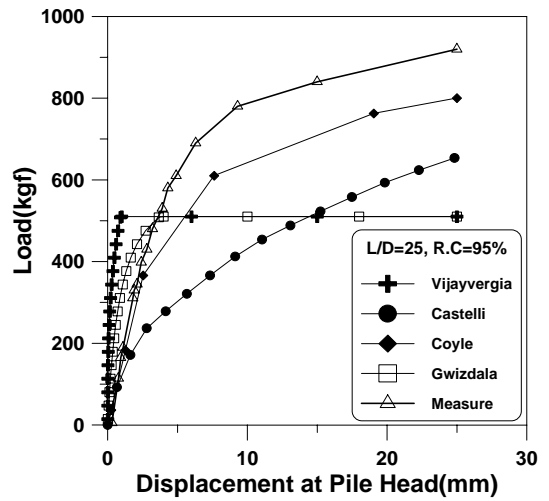


그림 19. 매입말뚝의 하중-침하 곡선(L/D=25, RC=95%)

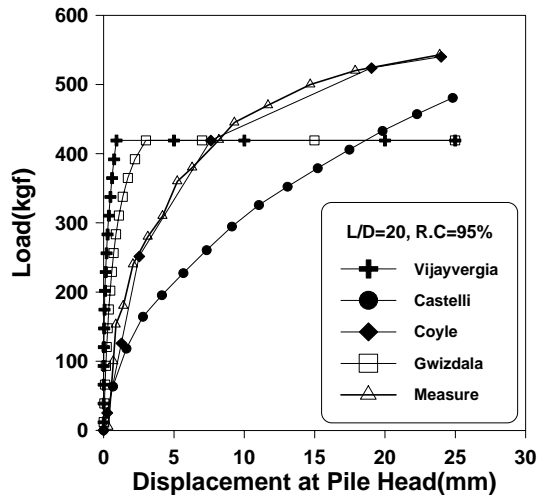


그림 17. 매입말뚝의 하중-침하 곡선(L/D=20, RC=95%)

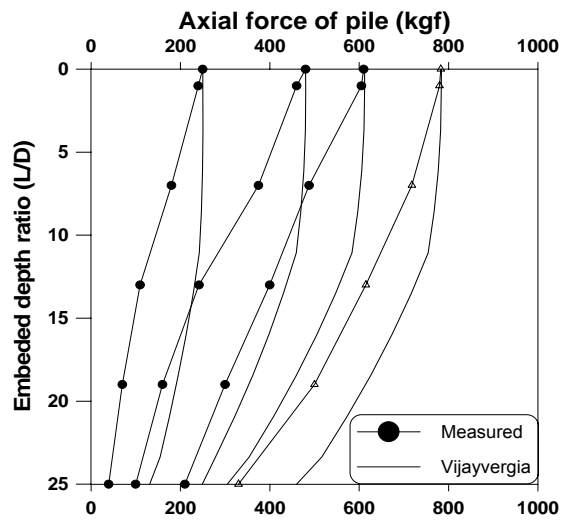


그림 20. 매입말뚝의 축하중 분포곡선(L/D=25, RC=95%)

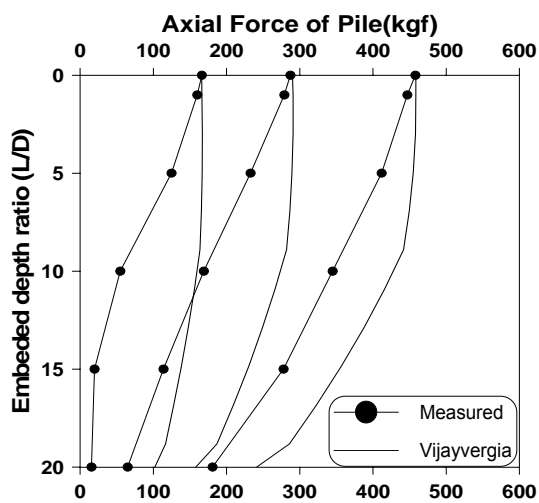


그림 18. 매입말뚝의 축하중 분포곡선(L/D=20, RC=95%)

매입말뚝의 지반밀도와 근입비에 따른 극한지지력을 산정하기 위하여 Tomlinson이 제안한 한계침하량인 말뚝직경의 10%에 도달하는 침하량에 해당하는 하중을 극한지지력으로 결정하였다.

그림 21은 근입비와 지반의 상대다짐도에 따른 실측에 의한 매입말뚝의 극한 지지력과 하중전이 함수법에 의한 극한 지지력의 비교를 보여주고 있다.

그림 21에서 보는바와 같이 실험에서 측정된 극한 지지력이 하중전이 함수에 의해 예측된 극한 지지력에 비해 모두 크게 나타나 있음을 알 수 있으며, 말뚝의 근입비가 증가할 수록 이러한 경향은 더욱 뚜렷하게 나타난다.

그림 22은 근입비와 상대다짐도에 따른 주변마찰력을

비교한 것으로 지반의 상대다짐도가 85%인 경우에는 이론값과 유사하게 나타났으나 상대다짐도가 95%인 경우 실측값이 큰 것으로 나타났다.

또한 상대다짐도에 관계없이 근입비가 증가함에 따라 주면마찰력은 증가하며, 실측된 하중 분담율은 50~60%, 이론에 의한 값은 36~57%까지 분포하는 것으로 나타났다.

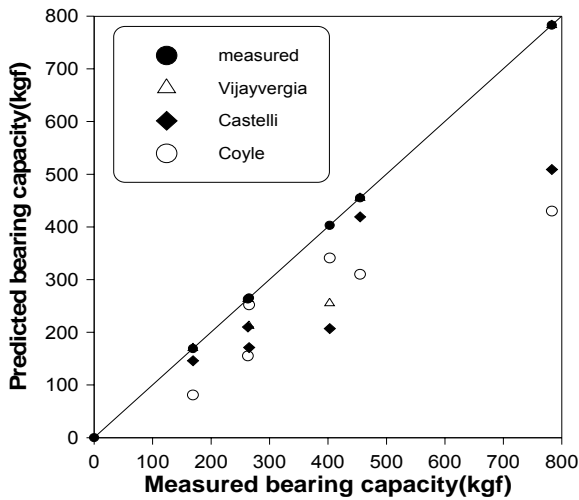


그림 21. 실측과 하중전이법에 의한 매입말뚝의 극한지지력 비교

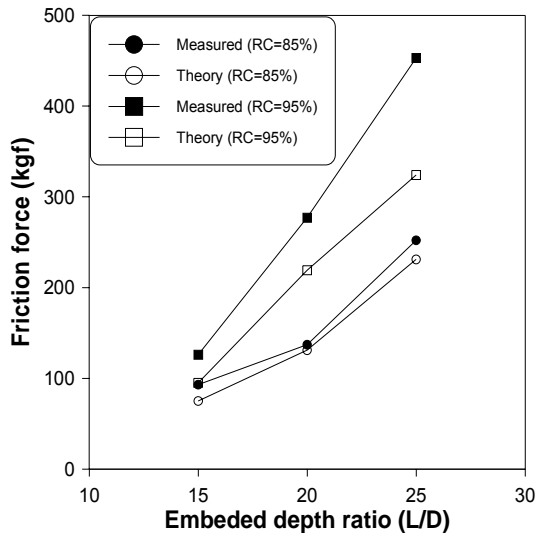


그림 22. 근입비와 상대다짐도에 따른 주면마찰력의 비교

5. 결론

지반의 상대다짐도와 근입비에 따른 매입말뚝의 하중-침하거동을 연구하기 위하여 모형실험과 하중전이 함수를 이용한 해석 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 근입비와 상대다짐도의 증가에 따른 지지력비(BCR)는 지반의 상대 다짐도가 85%인 경우에 비해 다짐도가 95%일 때 지지력비의 증가폭이 큰 것으로 나타났다. 또한 실험에서 측정된 극한 지지력이 하중전이 함수에 의해 예측된 극한 지지력에 비해 모두 크게 나타나 있음을 알 수 있으며, 말뚝의 근입비가 증가할 수록 이러한 경향은 더욱 뚜렷하게 나타났다.
2. 하중전이 함수에 의한 지지력 해석결과 매입말뚝의 극한 지지력은 Coyle의 제안식이 가장 근접한 것으로 나타났으며, 초기 하중-침하 거동해석은 상대다짐도가 85%인 경우 Vijayvergia가 제안한 방법이 가장 유사한 것으로 나타났으며, 상대다짐도가 95%인 경우에는 Castelli에 의한 함수가 가장 유사하게 하중-침하 거동을 평가하는 것으로 나타났다.
3. 매입말뚝의 축하중 해석결과 실측에 의한 축하중의 분포형태와 유사한 것으로 나타났으나 말뚝 선단부에서의 축하중 분포는 실측에 의한 값보다 크게 나타나 하중전이법에 의해 평가된 주면마찰력이 실제보다 과소평가 되는 것으로 나타났다.

(접수일자 : 2001. 10. 31)

참 고 문 헌

1. 백규호 (1997) “새로운 매입말뚝 공법의 지지력 특성”, 한국지반공학회지, 제13권, 제4호, pp. 25~35
2. 조성환, “풍화암에 근입된 현장타설말뚝의 하중전이에 관한 연구”, 연세대학교, 박사학위논문, pp.19~22, 1997.
3. Chin JT, Chow YK, Poulos HG. Numerical analysis of axially loaded vertical piles and pile groups. Computers and Geotechnics 1990.
4. Coyle, H.M. and Sulaiman, I. H., "Skin Friction for Steel Pipes in Sand", Journal of Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. SM6, 1993, pp.261-279
5. Coduto D. P., "Foundation design : Principle and practices", Prentice-Hall, Inc., pp.358-360, 1994.
6. De Beer E., "H Steel Piles in Dense Sand", Proceedings of 10th Int. Conf. on S. M. F. E., Stockholm, pp.693~698, 1981.
7. Hunter, A. H. & Davisson, M. T., "Measurement of pile load transfer", Performance of Deep Foundations, ASTM, STP 444, 1969, pp. 874~878.
8. Mattes, N. S. and Poulos, H. G., "Settlement of Single Compressible Pile", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol. 95, No. SM1, 1969, pp. 189~207.
9. Poulos, H.G. and Davis,E.H., "Pile foundation analysis and design", John Willy & Sons, pp.71~108. pp. 173~193, 1980.
10. Robinsky, E. I. and Morrison, C. F., "Sand displacement and compaction around model friction pile", Canadian Geotechnical Journal, vol. 1, No. 2, 1964, pp. 81~93.
11. Tomlinson M.J., "Pile Design and Construction Practice" 4th ed. E & FN SPON. pp.33~35, pp. 99~122, 1994.
12. Vesic, "Bearing capacity of deep foundation in sand", Highway Research Record, Vol. 39, 1963, pp. 112~153.
13. Vijavergiya, V. N., Load-Movement Characteristics of Piles, 4th Annual Symposium of the Waterway, Port, Coastal and Ocean Division of ASCE, Long Beach, 1977.
14. 高野昭信・安全英明 (1979) “砂地盤中の Non-displacement Pile 先端部地盤の破壊機構”, 日本建築學會論文報告集, 第285号, pp. 51~62