

콘관입시험자료를 기초로 한 PC말뚝의 주변마찰력 예측

Predictions of PC Pile Shaft Resistance by CPT Data

윤길림* ¹	이종섭* ²
Yoon, Gil-Lim	Lee, Jong-Sub
이영남* ³	이용길* ⁴
Lee, Young-Nam	Lee, Yong-Gil

Abstract

Three prestressed concrete(PC) piles were installed for research purpose at Seosan area of west sea of Korea, and also cone penetration tests(CPT) were performed near two pile locations in order to compute PC pile shaft resistance by using CPT data measured. Three common CPT prediction methods that is, Schmertmann method, Tumay & Fakroo method and LCPC method in France were used to predict pile shaft resistance. The pile shaft resistance predicted by each method was compared with that obtained by full-scale loading test and pile driving analyzer to estimate reliability of each prediction method.

The predicted resistances based on three CPT-based methods underestimated significantly the resistances obtained from by full-scale loading test performed at 25 days and 42 days after pile installation. There were, however, good agreements of predicted shaft resistance of piles between three CPT-based methods and pile driving analyzer tested two weeks after pile installation.

요 지

서해안에 위치한 서산지역에서 연구용 prestressed concrete 말뚝을 3본을 설치하고 주변에서 콘관입시험을 수행하여 말뚝의 주변마찰력을 추정하는 연구를 수행했다. 본 연구에서 이용한 말뚝 지지력 산정식은 세계적으로 많이 이용하고 있는 Schmertmann방법, Tumay & Fakroo방법 및 프랑스의 LCPC방법을 이용하였다. 콘관입시험의 측정결과를 이용하여 3가지 방법으로 예측한 말뚝의 주변마찰력과 현장에서 수행한 정역학적 재하시험 및 동재하시험에서 산정된 주변마찰력과의 비교하여 3가지 예측방법들에 대한 신뢰성을 평가했다. CPT를 이용한 3가지 예측식으로 산정한 말뚝의 주변마찰력은 전체적으로 25일과 42일이 지난후 수행한 정재하시험에 의한 주변마찰력을 상당히 과소평가했으나, 항타시와 말뚝설치후 2주가 지난 시점에 수행한 동재하시험결과와는 유사

*¹ 정회원, 선임연구원, 현대건설(주) 기술연구소

*² 정회원, 주임연구원, 현대건설(주) 기술연구소

*³ 정회원, 연구위원, 현대건설(주) 기술연구소

*⁴ 정회원, 연구원, 현대건설(주) 기술연구소

한 말뚝의 주변마찰력을 예측했다.

Keywords : Pile shaft resistance, Skin friction, Cone penetration test, Piezocone, Static pile loading test, Pile driving analyzer

1. 서 언

현재 일반적으로 시공할 말뚝기초의 지지력을 예측하는 산정식으로는 정역학적 공식과 동역학적 공식이 많이 이용되고 있으나 그중에서 최근 국내에서 보편적으로 사용되는 방법은 표준관입시험을 이용한 예측과 Pile Driving Analyzer(PDA)를 이용한 동역학적 시험이다. 하지만, 국제적으로는 현장에서 채취한 시료의 실내분석결과를 이용한 정역학적인 방법(예, API alpha법)이 설계시에 많이 이용되고 있으며 특히 현장원위치 시험의 보편화에 따라 콘관입시험기를 이용한 말뚝의 지지력 예측식이 일반적으로 사용되고 있다. 이러한 예측결과의 신뢰성을 검토확인하기 위해서 현장에서 직접 시험시공을 통해서 현장 실물재하시험을 수행하는데, 최소한 전체 말뚝 본수의 1~2%를 수행하도록 시방서에서 요구하는 것이 일반적인 경향이다.

최근 국내에서도 건설공사의 품질관리측면에서 말뚝기초를 시공하기 위해서는 사전에 해당지반에서 시공할 말뚝의 지지력을 예측하여 필요한 말뚝의 크기, 본수 및 종류를 경제적으로 결정하기 때문에 정확한 지지력을 예측하는 연구가 중요한 과제로 인정되어 관련 기관의 연구가 활발한 편이다. 본 연구논문에서는 최근에 세계적으로 지반조사시 가장 많이 이용하는 콘관입시험기(cone penetration test, CPT)을 이용하여 국내지반에 적합한 말뚝지지력 산정식을 개발하기 위해서 이미 선진국에서 개발되어 많이 적용되고있는 다양한 공식을 이용하여 그 신뢰성을 검토하고 국내에 도입하여 설계에 적용하는데 어떠한 제한이 있는지를 검토하고 문제점을 파악하여 국내여건에 적합한 경험식을 개발하는데 그 목적을 두고있다.

2. 콘관입시험기 및 지반현황

콘관입시험은 원추모양의 프로브(probe)를 지반에 일정한 속도(20mm/sec)로 압입하면서 프로브에 미치는 저항력을 측정하여 지반의 공학적 성질을 추정하는 원위치(in-situ test) 시험의 일종으로 현재 지반조사시 세계적으로 흔히 이용되는 장비이다. 시험방법에 따라 일정한 속도로 압입하는 정적시험(quasi-static CPT)과 타격으로 관입하는 동적시험(dynamic CPT)등 크게 두가지로 나눌 수 있다. 정적 원추관입시험 중에서 화란식 이중관입시험기(dutch cone penetration testing system)가 일반적으로 널리 쓰이고 있으며 기계의 형식에 따라 기계식(mechanical type)과 전기식(electrical type)이 있다. 기계식은 지난 30여년간 유럽을 중심으로 기본 지반조사장비로 꾸준히 사용되고 있으며 과잉간극수압을 측정할 수 없는 단점이 있다. 이에 비해 전기식은 최근에 들어 과잉간극수압을 측정할 수 있는 피조미터를 장착하여 피조콘으로 발전하고 있으며 지반의 간극수압을 측정하여 보다 정밀한 지반특성을 파악할 수있어 현재 세계적으로 사용빈도가 급격히 증가하고 있다.

원추관입시험은 국내에서도 흔히 이용하고 있는 표준관입시험과 비교하여 신속하고 경제적이며 연속적인 지반조사가 가능하다는 점과 시추공상의 지반변화를 비교적 자세히 알 수 있고 측정치로부터 토질정수를 유추하여 지반의 지지력 및 침하량 등을 구할 수 있다. 하지만, 실제로 점성토 지반에서는 표준관입시험에 비해 효율성이 월등히 우수하다는 사실에도 불구하고 우리나라의 경우 아직까지는 본격적으로 활발히 사용되고 있지는 못하다.

본 논문에서의 연구현장은 서해안에 위치한 서산지역으로 현장에서 수행한 보링조사, 표준

관입시험 및 콘관입시험자료에 대한 분석결과, 토질층의 분류는 그림 1과 같다. 지반의 현황을 보면 표층으로 상부매립층 및 해상점토를 이용한 매립층이 있으며 그 하부에 풍화토층이 있다. 풍화토층 하부에 풍화암 및 연암층으로 이루어져 있다. 통일분류법(unified soil classification system)상의 토질은 매립표층(1m) 아래에 2m두께의 실트질 모래층(SM)이 존재하며 그 아래에 3m에서 8m에 소성이 작은 점토질 흙(CL)이 위치하고 그 하부층에 두께가 약 1.2m의 소성이 작은 실트질층(ML)이 있다. 풍화토 및 풍화암층은 표층아래 약 11m에서 14m에 위치하여 이 층에서 말뚝의 선단지지력이 대부분이 발현되는 지지층을 형성하고 있다. 연구현장에서 수행한 두본의 콘관입시험중에서 하나는 관입깊이가 약 13.2m정도였으며 나머지 하나는 콘관입깊이가 약 14.3m였다. 이러한 사실은 토질의 수평적인 층의 형성이 콘시험을 수행한 위치에서 서로 다를 수 있다. 이는 결국 말뚝을 향타하여 향타관입 가능 깊이도 서로 달라질 수 있음을 시사한다. 뒤에서 설명되었지만, 연구현장에서 향타시공된 PC말뚝의 관입깊이(결국, 말뚝길이를 말함)를 보면, 그림 2의 PC말뚝 TP1은 13.35m가 관입

되었고 TP2는 13.65m가 향타관입되었다.

3. 연구말뚝

연구대상말뚝에 대한 실물시험은 충남 서산에서 PC말뚝의 동적거동 및 정적 거동특성을 파악하기 위해서 실시되었다. 연구말뚝의 위치는 그림 2와 같으며 계측기가 설치된 2본의 말뚝(TP1, TP2)과 계측기가 설치되지 않은 1본의 말뚝(PC1)으로 총 3본의 말뚝과 정재하시험을 위한 6본의 반력말뚝으로 이루어져있다. 본 시험에서는 3본의 말뚝에 대해서 지지력을 측정하기 위해서 사용한 해머는 K-25와 K-35 디젤해머로 K-25는 초기향타시에 사용했으며 이때 동재하시험(pile driving analysis)을 동시에 수행했다. 디젤해머 K-35는 말뚝관입후 1주일후에 재향타를 위해서 사용했으며 이때도 동재하시험을 수행하여 시간에 따른 말뚝의 지지력 변화를 추정했다. 정재하시험과 본 시험들에 대한 자세한 내용은 현대건설에서 발행한 연구보고서(1997)를 참고 할 수 있다.

말뚝의 재하시험결과는 표 1에 나타냈으며 표에서 알 수 있는 사항은 말뚝을 초기향타 하면서 측정한 동재하시험은 정재하시험치(Davission's 판별법 사용, 그림 3 참조)를 상당히 과소평가하고 있어 시간에 따라 전체지지력이 상당히 증가하고 있다. 특히 말뚝의 주면마찰력이 초기향타시에는 전체지지력의 약 23%를 차지하고 있으나 약 160시간이 지난 후에 재향타시의 측정결과는 약 45% 정도까지 증가하여 시간이 지남에 따라서 주면지지력의 향상이 선단지지력보다 두드러진 점을 발견할 수 있다(그림 4). 본 내용에 대한 자세한 분석은 현재 분석중이며 결론적으로 초기향타시의 동재하시험 결과만을 이용하여 설계나 시공에 반영한다면 지지력의 과소평가로 기초공사 차원에서 보면 과대설계가 되는 것이다. 이는 기초공사비의 손실을 의미하므로 최적설계가 되지 못하는 것이다. 특히 국내의 경우에 대부분의 말뚝 기초는 표준관입시험의 결과를 이용하여 지지력을 설계하고 있으며 또한 주면지지력은 전혀

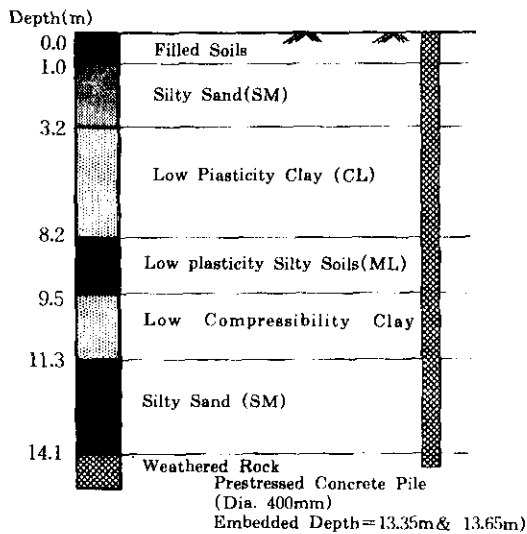


그림 1. 연구현장의 토층현황

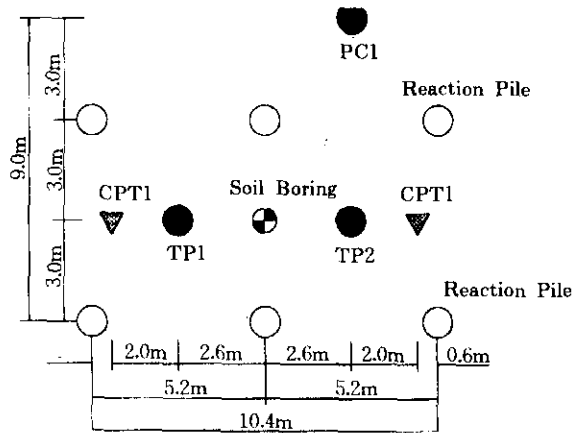


그림 2. 연구말뚝과 콘관입시험위치도

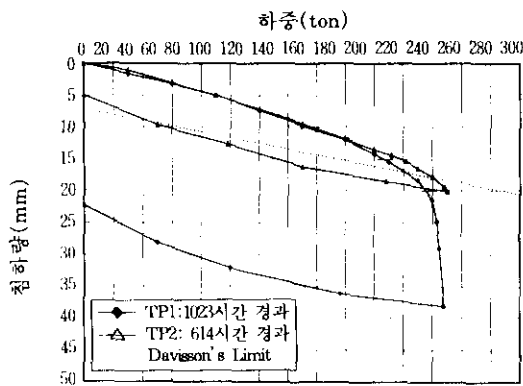


그림 3. 정적재하시험의 결과를 분석한 도표

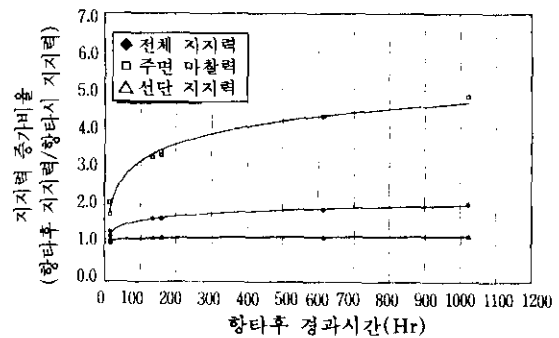


그림 4. 시간경과에 따른 말뚝의 지지력증가 형태

표 1. 연구말뚝의 지지력시험 결과

말뚝종류	관입깊이(m)	관입방법	경과시간(h)	사용해머	지지력 (ton)		
					전체	주면	선단
TP1	13.35m	초기항타	즉시	K-25	109.3	25.3	83.9
			15	K-25	129.2	44.2	85.0
		재항타	159	K-35	179.8	82.9	96.9
			정재하	1023	-	222.0	122.0
TP2	13.65m	초기항타	즉시	K-25	128.2	30.1	98.1
			14	K-25	166.9	61.4	105.5
		재항타	158	K-35	211.7	100.8	110.9
			정재하	614	-	242.0	129.0
PC1	13.35m	초기항타	즉시	K-25	135.4	33.2	102.2
		재항타	134	K-35	221.9	106.6	115.3

고려하지 않고 있는 현실이다. 본 연구에서는 콘관입시험자료를 이용한 말뚝의 주면마찰력에 대한 예측결과와 정재하시험 및 동재하시험의 결과를 상호비교하여 콘관입시험자료를 이용한 예측식들의 신뢰성을 검토하고 국내에서 고려하지 않는 말뚝의 주면마찰력을 정량화하는 것을 기본목적으로 하고 있다.

4. 콘관입시험의 자료분석

연구현장에서 수행한 두개의 콘관입시험 자료는 그림 5에 나타냈으며 말뚝의 주면마찰력을 예측하는데 필요한 측정자료는 콘의 마찰력(f_s)과 콘의 선단지지력(q_c)으로 토층별 평균치와 층별 콘자료의 변이도(coefficient of variance, COV)를 표 2에 나타내어 층별 콘자료의 변화특성을 파악하도록했다. COV는 해당층에서 콘자료의 표준편차를 평균치로 나눈 값이며 COV가 크다는 의미는 해당층에서 콘자료의 변화가 심하다는 것을 뜻한다. 일반적으로 점토층에서는 약 0.3~0.4의 범위를 나타내며 모래층에서는 0.2~0.3정도이며 대부분의 표층에서는 변화가 심한 것으로 알려져 있다(윤, 1996). 본 연구현장의 콘자료에서 얻을 수 있는 내용은 두개의 콘관입시험자료(CPT1, CPT2)

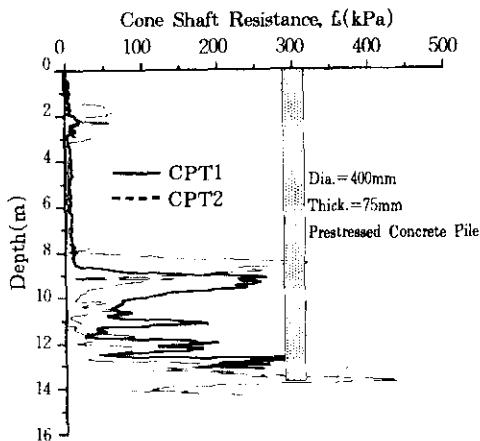


그림 5.1 깊이별 두개(CPT 1&2)의 콘관입시험 자료(f_s)의 변화와 말뚝의 위치

중에서 토층 2와 토층 5에서 콘관입시험자료의 평균치가 서로 상이하여 지반이 수평적으로 변화가 심하다는 사실을 알 수 있으며 이러한 사실은 결국 두 위치에서 산정한 말뚝의 주면마찰력의 차이를 발생시키는 근본원인이 되며 또한 이러한 토질의 공간적 분포는 콘관입시험을 수행한 두 위치에서 지반의 불균일성을 뜻한다.

5. 말뚝지지력 산정식

콘관입시험(CPT)자료를 이용하여 말뚝의 극한 지지력을 산정하는 방법은 주로 선진국에서 설계차원에서 지난 수년간 유럽을 중심으로 자주 이용되어왔다.

일반적으로 콘관입시험의 결과로 말뚝의 지지력을 예측하는데 신뢰성이 있는 것으로 인식되어왔는데 근본적으로 콘관입시험기가 말뚝의 소형모델처럼 인식되기 때문이다. 그 이유는 흙과 말뚝의 상호관련성에서 찾을 수 있다. 왜냐하면 콘관입기를 지반에 관입하는 메카니즘이나 말뚝을 향타하는 동안 지반이 저항하는 힘이 유사하여 말뚝의 지지력을 예측하는 기법이 비교적 신뢰성 높은 것으로 연구결과 밝혀졌기 때문이다. 일반적으로 말뚝의 지지력은 크게 선단지지력(end bearing)과 주면마찰력

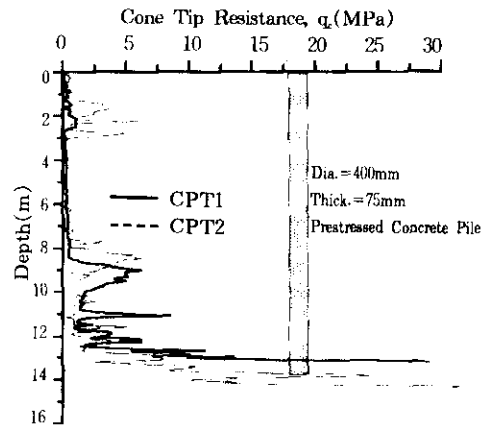


그림 5.2 깊이별 두개(CPT 1&2)의 콘관입시험 자료(q_c)와 말뚝위치

표 2. 토층별 콘시험자료의 평균치와 변화

토층	깊이(m)	흙종류	평균 qc1값 (kPa)	분산도 (COV)	평균 qc2값 (kPa)	분산도 (COV)	평균 fs1값 (kPa)	분산도 (COV)	평균 fs2값 (kPa)	분산도 (COV)
1	0.0~1.0	매립층	237	0.60	264	0.77	1.95	0.97	0.20	2.0
2	1.0~3.2	SM	478	0.69	1939	0.77	6.07	0.77	22.5	1.0
3	3.2~8.2	CL	308	0.26	349	0.49	6.02	0.23	2.58	0.45
4	8.2~9.5	ML	3159	0.63	3289	0.49	112.5	0.92	176.5	0.53
5	9.5~11.3	CL	2404	0.65	897	0.53	113.2	0.49	23.5	0.74
6	11.3~14.1	SM	6395	1.00	5880	0.96	138.2	0.61	131.5	0.87

(skin friction)으로 이루어져 있으나 본 논문에서는 국내 지반의 조건이 비교적 얕은 깊이에 콘의 관입이 어려운 풍화암이 나타나므로 지금까지 주로 선단지지말뚝의 형태로 설계를 하고 있는바, 주변마찰력이 전체 말뚝의 지지력에 어느정도 차지하는 가를 고려하는 것이 본 연구의 주목적이다.

이미 잘 알려진바와 같이 말뚝의 지지력은 토질의 형태, 말뚝의 설치절차, 다양한 말뚝 종류에 따라 복잡한 양상을 보이게 된다. 특히, 말뚝의 설치절차 및 시공관련사항은 말뚝의 극한지지력을 측정하는데 상당한 영향을 미치는 것으로 알려져있다. 일반적으로 사질토지반에서는 말뚝의 지지력은 동하중 또는 진동하중에 아주 예민하므로 극한지지력을 예측하는 경우는 이에대한 설치방법 및 과정을 파악해야 하지만 본 연구에서는 검토할 수 없었다. 또한 사질토 지반상에 항타말뚝은 대개 발휘하중용량은 선단 지지력으로부터 나온다는 사실과 콘관입시험의 측정자료와 말뚝의 선단지지력과 관련된 크기효과분석도 본 연구의 한계를 넘어 추후 연구과제로 했다.

5.1. CPT를 이용한 주변마찰력 산정식

CPT 측정자료로부터 말뚝의 지지력을 결정할 수 있는 방법은 직접 콘자료를 이용하는 방법과 간접적으로 콘자료와 지반의 역학적 상관관계를 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서 적용한 예측방법은 항타말뚝에서 가장 많이 사

용하는 3가지 CPT방법으로 Schmertmann (1978), Tumay & Fakroo(1981)과 LCPC (Bustamante & Gianceselli, 1982)에 의해 설명되었다. 이러한 예측식들에 대한 자세한 설명은 본 논문의 지면상 한계가 있으므로 지지력 산정도표는 연구보고서, 연구논문 및 교과서를 참조하기로 하고 여기서는 간략히 소개만 하기로 한다.

5.1.1. Schmertmann 방법(1978)

Schmertmann의 말뚝 설계법은 점토와 모래 지반에서 수행한 큰 규모의 108개 재하시험의 연구결과로 얻은 Nottingham and Schmertmann(1975)방법을 기본으로 하여 재구성한 방법으로 일반적인 다양한 토질조건에서 비교적 신뢰성이 높은 방법으로 알려져 있다. 말뚝의 주변마찰력(Q_s)은 아래 방정식 1에 의거하여 고려하고자 하는 토층에서 측정된 단위 콘마찰력(f_s)의 평균치($f_{s,av}$)에다 점성토지반인 경우 f_s 의 크기에 따른 적합한 감소계수(k_s)를 곱하여 산정하도록 제안하고 있다. 본 연구에서 사용한 감소계수(k_s)는 토층별로 0.3에서 1.25의 범위에 있다.

$$Q_s = \sum k_s \cdot f_{s,av} \cdot A_s \quad (1)$$

여기서, k_s 는 해당층에서 f_s 에 따른 감소계수,
 $f_{s,av}$ 은 해당층에서 평균콘마찰력,
 A_s 은 해당층에서 말뚝의 주변적.

5.1.2 Tumay & Fakroo 방법(1981)

이 방법에 의거하여 말뚝의 주면마찰력을 추정하는 방법은 콘관입기로 측정된 콘마찰력을 직접 이용하도록 제안하고 있는데, 본 방법은 미국 루이지애나 주의 연약한 지반에서 연구되어 도출된 방법이기여 주로 점성토지반에 적합한 방법으로 알려져있다. 하지만, Yoon & O'Neill(1996)의 연구결과에 의하면 과압밀되어 상당히 강한 지반에서도 비교적 우수한 방법으로 판명되었다. 말뚝의 주면마찰력은 방정식 2에 의거하여 계산되는데, 본 연구에서 사용한 점착력 계수는 토층별로 0.5에서 9.3의 범위에 있다.

$$Q_s = \sum m \cdot f_{cs} \cdot A_s \quad (2)$$

여기서, m 은 해당층에서 콘마찰력(f_c)의 크기에 따른 점착력계수,

f_{cs} 은 해당층에서 평균 콘마찰력,

A_s 은 해당층에서 말뚝의 주면적.

5.1.3. LCPC 방법

(Bustamante and Gianeselli, 1982)

프랑스의 LCPC에서 48개 다양한 현장에서 수행한 197개의 실재하시험결과를 토대로 개발된 방법으로 말뚝의 주면마찰력을 콘의 마찰력을 이용하기보다는 측정된 콘자료의 지층의 변화에 따른 산포도가 작아 비교적 정확도가 높은 콘의 선단지지력(q_c)를 이용하여 예측하도록 제안한 방법이다. 말뚝의 주면 지지력의 예측과정은 방정식 3에 의거하여 계산하는데 먼저, 말뚝의 설치방법에 따른 분류를 통해서 말뚝의 형태를 분류하고 해당하는 토층에서 토질의 종류, 말뚝의 종류 및 콘저항치의 범위에 따라서 말뚝의 계산단위마찰력(f_s)을 산정하여 지지력을 예측하는 방법이다. 본 연구에서 산정된 말뚝의 계산 주면마찰력은 토층별로 8.0kPa에서 46kPa까지 였다.

$$Q_s = \sum f_s \cdot A_s \quad (3)$$

여기서, f_s 는 해당토층에서 말뚝의 종류, 토질

및 콘선단지지력에 의거하여 산정한 말뚝의 계산주면마찰력,

A_s 은 해당토층에서 말뚝의 표면적

6. PC말뚝의 주면마찰력의 추정

위에서 제시된 3가지 예측방법 및 두개의 콘관입시험 자료를 분석하여 토질의 변화에 따른 각층의 콘자료를 평균치로 산정한 후에 PC말뚝의 주면마찰력을 추정했다. 3가지 방법으로 산정한 각각의 추정결과는 표 3에 나타났다. Tumay&Fakroo방법이 가장 큰 주면마찰력을 예측했고 Schmertmann방법이 가장 작은 주면마찰력을 제시했다. 콘관입시험방법으로 산정한 결과를 정적재하시험을 통한 실측치(1196kN과 1264kN)과 비교한 결과는 3가지 예측방법 모두가 정적재하시험결과를 최대 3.5배까지 과소평가하고 있다. 또한 국내에서 최근 많이 이용하고있는 동재하시험의 초기항타시의 결과보다는 3가지 예측식 모두 다소 크게 예측했으나 초기항타후 14~15시간이 지난 후의 재항타 결과와는 Tumay&Fakroo방법이 다소 과대평가했으나 Schmertmann 방법과 LCPC방법은 재항타시 측정된 동재하시험결과와 유사한 주면마찰력을 나타냈다. 그리고 초기항타후 42일이 지난후에 측정된 정재하시험의 주면마찰력은 초기항타시 측정된 동재하시험치의 4.8배까지 측정되는 결과를 나타내어 본 현장에서와 같은 지반은 과잉간극수압의 소산으로 인한 주면마찰력의 증가가 상당하거나 지반자체의 강도회복현상(thixotropy)으로 증가했음을 알 수 있는데, 이렇게 말뚝이 시간이 지남에 따라 지지력증가현상을 "Set-up" 혹은 "Freeze"로 전해진다. 이러한 관점에서 판단해보면 말뚝의 주면마찰력을 예측하는 데에는 무엇보다도 시간이 경과함에 따라 주면마찰력이 증가하는 특징을 정확히 파악하는 것이 중요하다는 사실을 알 수 있다. 그림 6과 7에는 3가지 예측식으로 추정된 주면마찰력과 정재하시험 및 동재하시험의 실측치를 비교적으로 나타냈다.

표 3. CPT방법으로 추정된 말뚝의 주변마찰력

토층	깊이 (m)	흙종류	평균 qc1값 (kPa)	평균 qc2값 (kPa)	평균 fs1값 (kPa)	평균 fs2값 (kPa)	주변마찰력1 QTP1, (KN)			주변마찰력2 QTP2, (KN)		
							Sch.	T&F	LC.	Sch.	T&F	LC.
1	0.0~1.0	매립층	237	264	1.95	0.20	3.1	22.4	10.1	3.1	2.33	10.1
2	1.0~3.2	SM	478	1939	6.07	22.5	7.5	98.3	60.8	59.1	80.8	82.9
3	3.2~8.2	CL	308	349	6.02	2.58	46.9	220.8	87.9	19.8	142.6	94.2
4	8.2~9.5	ML	3159	3289	112.5	176.5	67.9	91.4	62.1	80.7	144.0	63.7
5	9.5~11.3	CL	2404	897	113.2	23.5	94.7	127.7	79.1	47.8	69.0	54.3
6	11.3~13.35 & 13.65	SM	6395	5880	138.2	131.5	128.1	145.7	102.9	116.5	194.2	118.2
합계							348	706	403	326	633	423

Note : Sch.=Schmertmann 방법, T&F=Tumay & Fakroo 방법, LC.=LCPC 방법

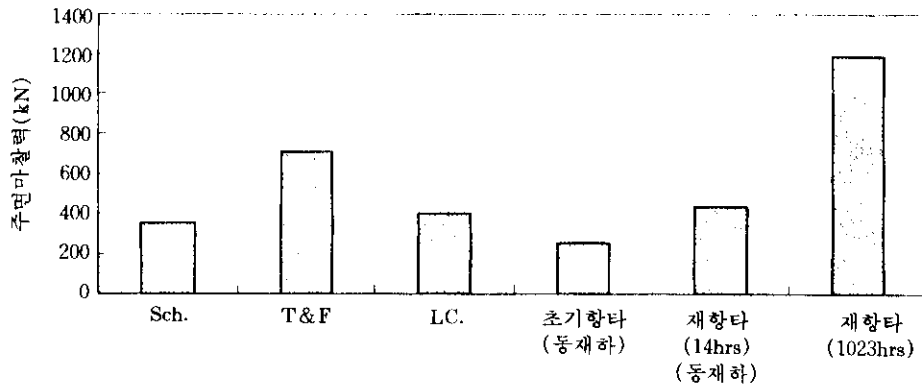


그림 6. 콘관입시험 자료에 의한 PC말뚝1(TP1)의 주변마찰력과 전재하 및 동재하시험의 실측치와의 비교

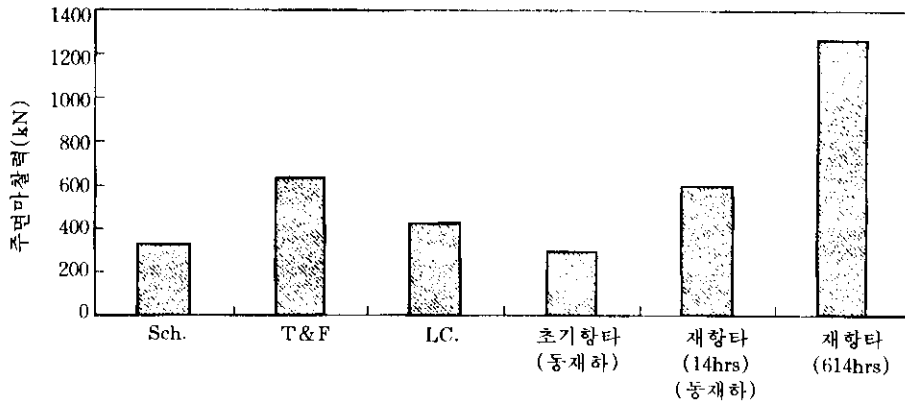


그림 7. 콘관입시험 자료에 의한 PC말뚝2(TP2)의 주변마찰력과 정재하 및 동재하시험의 실측치와의 비교

7. 결 론

한정된 연구현장인 국내의 서해안 지역에서 현장 원위치시험기인 콘관입시험기를 이용하여 말뚝의 극한지지력을 추정할 경우에 세계적으로 많이 사용되는 3가지 추정식(Schmertmann 방법, Tumay & Fakroo방법 및 LCPC 방법)으로 PC말뚝의 주면마찰력을 추정했다. 추정결과를 동재하 및 정재하시험의 측정치와 비교한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 콘관입시험기를 이용한 3가지 예측방법인 Schmertmann방법, LCPC방법 및 Tumay & Fakroo방법으로 산정한 PC말뚝의 주면마찰력은 정재하시험을 통한 측정치를 최고 3.5배까지 과소평가한 결과를 보였다. 하지만 설계차원에서 보면 이러한 결과는 안전측의 설계로 국내의 현장에는 직접 적용하는데는 한계는 있으나 참고자료로 이용가능한 방법으로 판단된다.
- 2) 3가지 예측방법중에서 Tumay & Fakroo 방법으로 추정한 두개의 PC말뚝(TP1과 TP2)의 주면마찰력은 나머지 두 방법으로 추정한 결과보다 큰 주면마찰력을 예측했으며 TP1의 경우에는 기항타후 약 14~15시간이 지난후에 재항타시에 측정된 동재하시험의 결과를 과대평가했으나 TP2의 경우는 비교적 정확히 추정하는 결과를 나타냈다.
- 3) Schmertmann방법과 LCPC방법은 초기항타후 14-15시간후의 재항타시 동재하시험결과를 TP1의 경우에는, 비교적 유사하게 예측했으나 TP2의 경우는 다소 과소평가했다.
- 3) 본 현장에서 수행한 초기항타시의 동적재하시험에 의한 말뚝의 주면지지력은 25일과 42일이 지난후에 측정된 정재하시험의 실측치를 4.0~4.8배까지 과소평가하고 있으므로 동재하시험(PDA)에 의한 말뚝의 주면마찰력을 추정하는 경우에 반드시 시간증가에 따른 지지력 변화를 고려하도록 한다.

- 4) 국내에서는 말뚝기초설계시 주면마찰력을 설계시 고려하지 않는 관행에 비추어 보아 최적설계차원에서 말뚝기초의 전체 지지력중에서 주면마찰력이 차지하는 부분이 국내 지반여건상 상당하므로 보다 과학적으로 이에대한 연구가 시급히 요청된다.

감사의 글

본 논문의 초고를 인내심 있게 검토한 기술연구소의 이승원 박사와 연구결과를 발표하도록 허락한 건설기술연구소의 소장님이하 임직원에게 감사를 드리며 무엇보다도 현장실물시험시에 직간접으로 헌신적인 도움을 주신 동서산업(주)의 관계자에게도 사의를 표합니다.

참 고 문 헌

1. 현대건설기술연구소, (1997), "대구경 말뚝의 거동예측 및 지지력 산정," 최종보고서, 연구번호: 92GEO02.
2. 윤길림, (1996), "CPT를 이용한 말뚝의 지지력 평가 방법연구," 한국지반공학회, 1996년도 가을학술발표회, pp. 321~326.
3. Bustamante, M. and Gianceselli, L.,(1982), "Pile Bearing Capacity Prediction by Means of Static Penetrometer CPT", Proceedings of the Second European Symposium on Penetration Testing, Amsterdam, May, pp. 493-500.
4. Schmertmann, J. H.,(1978), "Guidelines for Cone Penetration Test, Performance and Design", Federal Highway Administration, Report FHWA-TS-78-209, Washington, July, 145 pgs.
5. Tumay, M. T. & Fakroo, M. (1981), "Pile Capacity in Soft Clay Using Electric QCPT Data," ASCE, Special Publications on Cone Penetration Testing and Experience, pp. 434~455.
6. Yoon, G. L. & Michael. W. O'Neill (1996), "Design Model Bias Factor for Driven Pile

- from Experiments at NGES-UH," ASCE, Geotechnical Special Publications No. 58, pp. 759~773.
7. Yoon, G. L. (1996), "Reliability Analysis of Driven Pile for Load and Resistance Factor Design at an Overconsolidated Clay Site," Ph. D. Dissertation University of Houston, Houston, Texas. 435pgs.
(접수일자 1997. 11. 20)