

# 시험 콘크리트 말뚝의 지지력 거동

Carrying Capacity Behavior of Instrumented PC Piles

이 영 남\*<sup>1</sup>

Lee, Young - Nam

이 종 섭\*<sup>2</sup>

Lee, Jong - Sub

---

## Abstract

To study the carrying capacity behavior of pile, dynamic pile tests and static load tests were carried out on two instrumented piles during and some time after pile driving. Cone Penetration Test(CPT) and Standard Penetration Test(SPT) were also performed at the test site before pile tests to investigate the relationship between unit skin friction of piles and cone tip resistance values and SPT N values.

Total static capacity of pile reached the ultimate stage at the pile head settlement of about 0.055D (D : pile diameter), at which skin friction of pile already passed the maximum value, but the end bearing was still increasing with the pile head settlement. The carrying capacity of pile increased in the form of natural logarithmic function with the time after pile driving. The increase in skin friction with time was very substantial : the increase in skin friction 40 days after pile driving was 4.6 times of that determined during pile driving. The contribution of skin friction to the total capacity was insignificant in the beginning, but became substantial 40 days after pile driving. This implies that the tested pile initially responded as an end bearing pile and later behaved as a friction pile. It was also noted that unit skin friction of pile might be related to cone tip resistance values( $q_c$ ) and SPT N values, though the coefficient of this relationship might differ from one soil group to another and was somewhat greater than the value used in the design practice of Korea.

## 요 지

말뚝의 지지력 거동을 연구하기 위하여 말뚝 제작시 다수의 변형률계를 설치한 2본의 말뚝들에 대하여 항타시에 그리고 항타후 소정의 시간이 경과된 시점에 동재하시험과 정재하시험을 몇 차례

---

\*1 정회원, 현대건설 기술연구소 연구위원

\*2 정회원, 현대건설 기술연구소 주임연구원

수행하였다. 콘관입저항값 그리고 표준관입저항값과 말뚝의 단위 주면마찰력과 관계를 규명하기 위해 재하시험전에 시험지반에 대하여 콘관입시험과 표준관입시험도 실시하였다.

지지력과 두부침하량 관계를 살펴보면, 0.055D(D: 직경)의 두부침하량에서 전체지지력이 극한에 도달하였고, 이 때에 주면마찰력은 극한값에 도달했으나, 선단지지력은 계속 증가하는 것으로 나타났다. 말뚝의 지지력은 항타후 시간이 경과함에 따라 자연대수합수로 증가하였으며, 지지력 성분중 주면마찰력 성분이 항타한 후 40일 경과한 시점에 초기값의 4.6배 정도로 현저하게 증가하였다. 지지력 거동에 대한 시간경과의 영향을 보면, 시험말뚝들은 초기항타시에는 선단지지말뚝으로 거동하다가 시간이 경과하면서 주면마찰 말뚝으로 거동이 변화되었음을 관찰할 수 있었다. 단위 주면마찰력은, 토질분류에 따라 다르지만, 콘관입저항값( $q_c$ )과 표준관입저항값(N)과 일정한 관계를 갖는 것으로 나타났으며, 관계상수는 현재 국내에서 사용하고 있는 값보다 큰 것으로 나타났다.

Keywords : Dynamic pile testing, Static load test, Time effect, Cone tip resistance value, Standard penetration test

## 1. 서 론

국내외적으로 말뚝설계시 일반적으로 표준관입시험 결과를 많이 이용하고 있으며 국외의 경우 심도가 매우 깊고 지반조건이 연약한 경우에는 콘관입시험 결과도 이용되고 있다. 그러나 표준관입시험 결과를 이용하여 사질토 지반에서 말뚝의 주면마찰력을 예측하기 위해 국내에서는 항타말뚝의 경우  $0.2N(\text{ton}/\text{m}^2)$ 을 추천하고 있다. 또한 말뚝의 지지력이 항타후 시간이 경과하면서 증가한다고 알려져 있으며 전체지지력의 증가를 확인하기 위한 시험은 많이 수행되었으나 각각의 지지력 성분의 증가비율에 대한 연구는 활발하지 못한 실정이다.

본 논문에서는 1994년 8월부터 1995년 5월 사이에 충남 서산소재의 현대석유화학 합성고무현장 부지 내에서 항타 관입된 PC 말뚝의 동적 및 정적 지지력 거동을 규명하기 위해 수행한 실험 및 분석 결과를 보고하였다. 말뚝제작시 말뚝속에 설치된 변형률계로부터 정재하시험시 단위주면마찰력을 산정하여 콘관입저항값 및 표준관입저항값과의 상관관계를 규명하려 하였다. 또한 항타시 동재하시험을 수행하고, 시간이 경과한 후 해머의 램중량을 증가시켜 동재하시험을 수행하였으며 최종적으로

정재하시험을 실시하여 전체지지력 뿐만 아니라 각 지지력 성분의 시간의존 효과를 파악하려 하였다.

## 2. 지반조건

말뚝시험 지역의 지반 특성을 파악하기 위해 1공의 표준관입시험(Soil Boring과 병행)과 2공의 피조콘관입시험(CPT1 및 CPT2)을 수행하였으며, 시험 말뚝과의 상대적인 위치는 그림 1에 나타나 있다. 표준관입시험에서는 중량 64kg의 추를 76cm높이에서 자유낙하시키는 드롭해머 타입을 이용하여 스플릿 배럴 샘플러를 30cm 관입시키는데 필요한 타격회수를 측정하였다. 타격회수가 50회를 초과할 경우 관입심도를 측정한 후 타격을 중단하였으며, 에너지 보정은 이루어지지 않았다. 본 지반조사에 사용된 콘관입시험은 선단각  $60^\circ$ , 선단부면적  $10\text{cm}^2$ (직경 35.7mm), 외주면  $150\text{cm}^2$ 의 콘을 2cm/sec의 속도로 지반에 관입하여 콘선단저항값( $q_c$ ), 콘마찰저항값( $f$ ), 그리고 이것들의 비( $f/q_c$ )인 마찰비율( $F$ )과 간극수압을 측정할 수 있는 전자식 피조콘을 이용하였다.

지반조사 결과는 그림 2에 정리 요약하였는데, 본 지역의 지반조건은 그림에 나타난 것처럼

럼 지표면으로부터 상부매립층, 해상점토를 이용하여 매립한 점토층 및 원지반인 풍화토와 풍화암층 순으로 나타난다. 시험현장의 토질을 통일분류법으로 분류하면 두께 약 1.1m 정도의 실트질 자갈층, 2.2m 두께의 실트질 모래층(SM), 4.9m 두께의 소성이 작은 실트질 점토층(CL), 1.3m 두께의 소성이 작은 실트층(ML), 1.7m 두께의 원지반 실트질 점토층(CL), 2.8m 두께의 풍화토층(SM으로 분류됨)과 풍화암층이 순차적으로 나타나고 있다.

점토층은 상당히 연약해서 표준관입시험의 N 값이 “영”으로 나타났고, 콘관입시험의 콘선단저항값( $q_c$ )은 0.5MPa 이하였고, 마찰비는 3% 이하로 나타났다. 표준관입시험은 상부매립층부터 수행하였으나, 콘관입시험은 상부매립층 2~3m에 포함되어 있는 자갈들로 인하여

콘관입이 불가능하여 이 부분을 모래로 치환한 후 시험을 수행하였다.

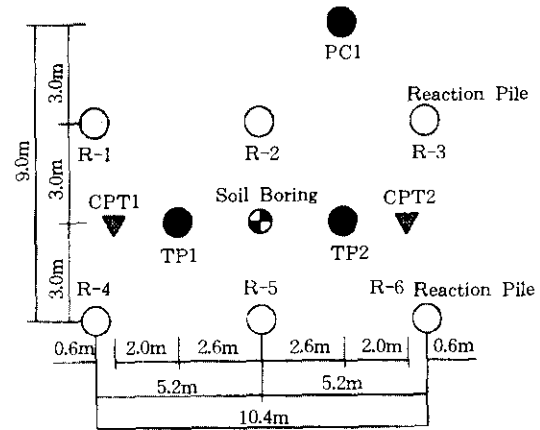


그림 1. 시험말뚝 위치도

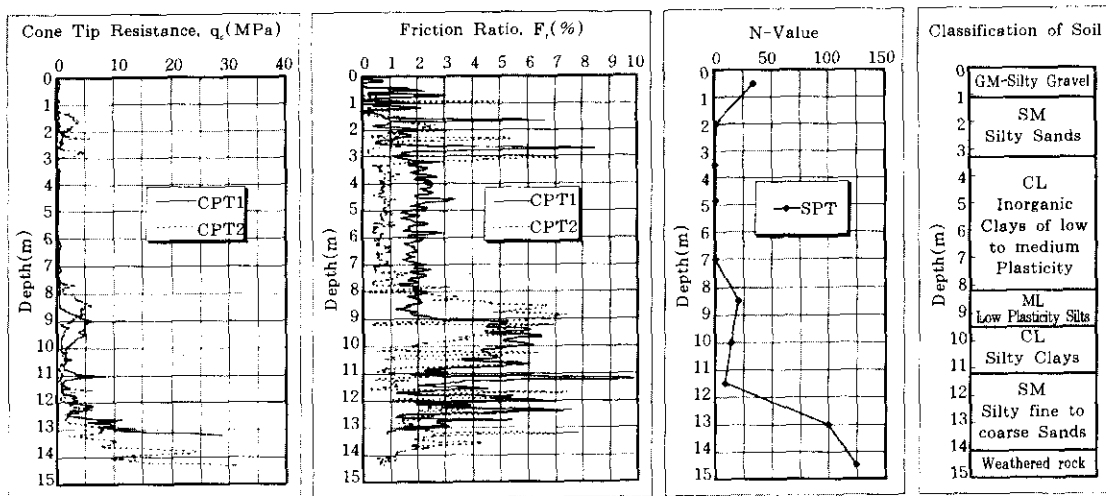


그림 2. 지반조건( $q_c$ ,  $F_r$ , N-Value 및 통일분류법 분류)

### 3. 시험말뚝의 제작 및 시공

본 시험말뚝은 동서산업 대산 공장에서 특별 제작된 것으로 직경 400mm, 두께 75mm, 길이 15m(말뚝 선단 Shoe 0.45m 포함)인 폐단(Closed Ended) PC(Prestressed Spun

Concrete) 말뚝이다. 정재하시험시 하중전이특성을 측정하기 위해 진동현식 변형률계(Vibrating Wire Strain Gauge)를 말뚝 제작시 설치하였다. 변형률계를 설치한 말뚝의 제작 과정은 이영남이 종섭(1997)에 자세히 기술되었으며, 다음과 같이 요약된다.

가) 말뚝속에 사용되는 강선을 조립하고, shoe와 두부판을 조립한다.

나) 변형률계를 부착한 각형 강봉(15×15×1000mm)을 말뚝 강선에 고정시킨다.

다) 강선이 놓인 하부몰드에 콘크리트를 타설하고 상부몰드를 조립한다.

라) PC 강선 인장, 원심성형, 양생, 몰드 탈형 과정을 거쳐 말뚝제작을 완료한다.

제작된 말뚝은 램중량이 2.5ton인 K-25 더젤해머를 이용하여 항타 관입하였으며, 시험말뚝 TP1과 TP2는 그림 3에서 보듯이 각각 지면하 13.35m와 13.65m 깊이까지 관입되었다. 2본의 시험말뚝에 설치된 변형률계의 깊이별 위치는 그림 3과 같으며, 변형률계는 각 깊이에서 대칭의 위치에 설치하였다. 시험에 사용된 9본(시험 말뚝 3본, 반력말뚝 6본)의 말뚝에 대하여 1m 관입시 측정된 항타수를 깊이별로 도시하면 그림 4와 같으며, 이 그림에서 볼 수

있듯이 말뚝항타시 지반의 저항은 지반조사시 수행한 표준관입시험이나 콘관입시험 결과와 유사함을 알 수 있다. 관입깊이당 해머의 항타수를 관찰하면 상부의 매립된 점토층에서는 무시할 정도의 주면마찰력이 예상되며, 깊이 8m 하부의 지반(원지반의 실트층, 점토층과 풍화토층)에서는 상당한 주면마찰력과 선단지력이 예상된다.

#### 4. 시험 개요 및 방법

시험 말뚝의 위치도는 그림 1에 나타내었으며, 시험말뚝들은 변형률계가 설치된 2본의 말뚝(TP1 & TP2)과 계측기가 설치되지 않은 1본의 말뚝(PC1)의 총 3본으로 구성되어 있다. 정재하시험시 사하중과 재하 범의 지지용으로 6본의 반력말뚝이 추가로 설치되었다. 3본의 말뚝에 대하여 말뚝을 항타 관입하면서 그리고

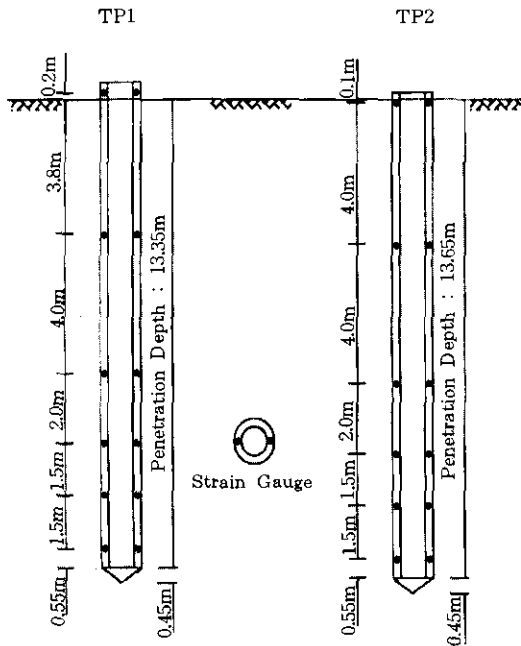


그림 3. 시험말뚝 관입깊이 및 계이지 위치

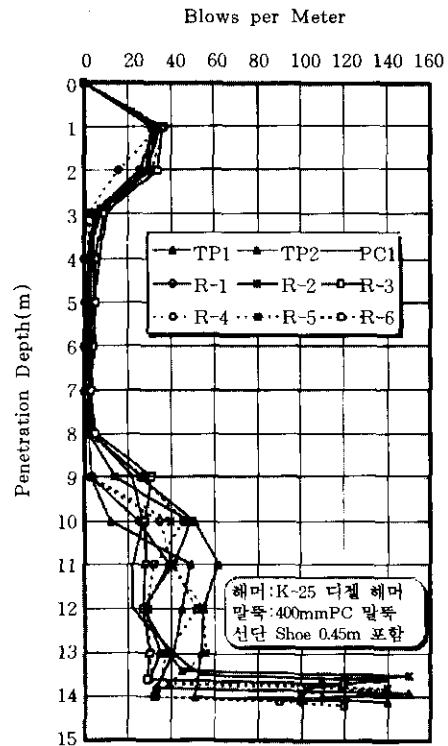


그림 4. 말뚝항타기록

시간경과에 따라 해머용량을 증가시켜 재항타 시험을 1~2회 더 실시하였다. 정재하시험은 계측기가 설치된 2본의 말뚝에 대하여 ASTM D1143-81의 완속재하시험법(Slow Maintained Load Test Method)에 의해 수행하였다. 시험종류들에 따른 항타에서 시험시까지의 경과시간을 정리하여 요약하면 표 1과 같다. 이 표에 나타난 것처럼, 동재하시험은 말뚝 항타시에 처음 수행하고, 상당시간 14시간에서 159시간까지이 지난 후에 재항타하면서 수행하였다. 항타후 159시간 경과한 후 재항타에 의한 동재하시험에서는 램증량이 3.5ton인 K-35 디젤 해머를 사용하였다. 정재하시험은 말뚝 항타후 약 26일(614시간)과 43일(1023시간) 경과 후에 수행하였다.

표 1. 말뚝시험 프로그램

말뚝 번호	관입 깊이 (m)	시험종류	시험 날짜	경과 시간 (Hr)	해머	
TP1	13.35	동재하 시험	초기항타	94.10.17	-	K-25
			재항타	94.10.18	15	K-25
		정재하시험	재항타	94.10.24	159	K-35
			정재하시험	94.11.29	1023	-
TP2	13.65	동재하 시험	초기항타	94.10.17	-	K-25
			재항타	94.10.18	14	K-25
		정재하시험	재항타	94.10.24	158	K-35
			정재하시험	94.11.12	614	-
PC1	13.35	동재하 시험	초기항타	94.10.18	-	K-25
		재항타	94.10.24	134	K-35	

## 5. 시험결과 분석 및 고찰

### 5.1 정재하시험시 하중전이특성 및 단위 주면마찰력 분포

2본의 말뚝에 대한 정재하시험시 측정된 하중-침하량 곡선을 그림 5에 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 TP1말뚝의 최대시험하중 248ton이었으며, TP2말뚝의 최대시험하중 250ton이었다. 정재하시험 결과를 이용하여 극

한하중을 판정하는 방법은 여러 가지가 있으나 본 논문에서는 Davisson 방법을 적용하였다. Davisson 방법을 적용하면 TP1말뚝의 극한하중은 222ton 정도이며 TP2말뚝의 극한하중은 242ton으로 나타났다. 국내에서는 Davisson 방법으로 해석한 하중은 극한하중이 아닌 항복하중으로 간주하고 있으나(구조물 기초 설계 기준, 1997) 본고에서는 극한하중으로 간주하였으며, 이와 관련된 시험결과 해석법에 대한 사항들은 현재 논문으로 준비중에 있으며, 추후 발표예정이다.

말뚝에 설치된 변형률계로부터 측정된 변형률, 말뚝의 단면적 및 탄성계수를 이용하여 각 계측깊이에서 하중을 산정할 수 있다. 이 하중을 이용하여 말뚝의 관입깊이에 따른 하중전이 곡선(Load Transfer Curve)과 각 계측깊이에서의 단위 주면마찰력의 분포를 산정하였는데, 그림 6에 말뚝 TP1에 대한 결과를 대표적으로 나타내었다. 본 연구에서는 정재하시험전 말뚝의 축방향하중을 "영"으로 가정하였다. 말뚝 선단부에는 변형률계를 설치할 수 없어 가장 하부의 변형률계는 말뚝선단부에서 55cm 떨어진 곳에 설치하였다. 가장 하부에 위치한 변형률계보다 아래에서의 단위 주면마찰력은 바로 상부에서 산정된 단위 주면마찰력과 동일하다고 가정하여 이 부분에서의 하중전이곡선(점선으로 표시)을 구하고 단위 주면마찰력과 선단지지력을 추정하였다.

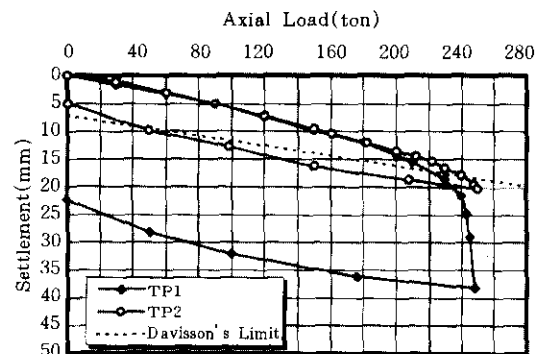


그림 5. 정재하시험 결과

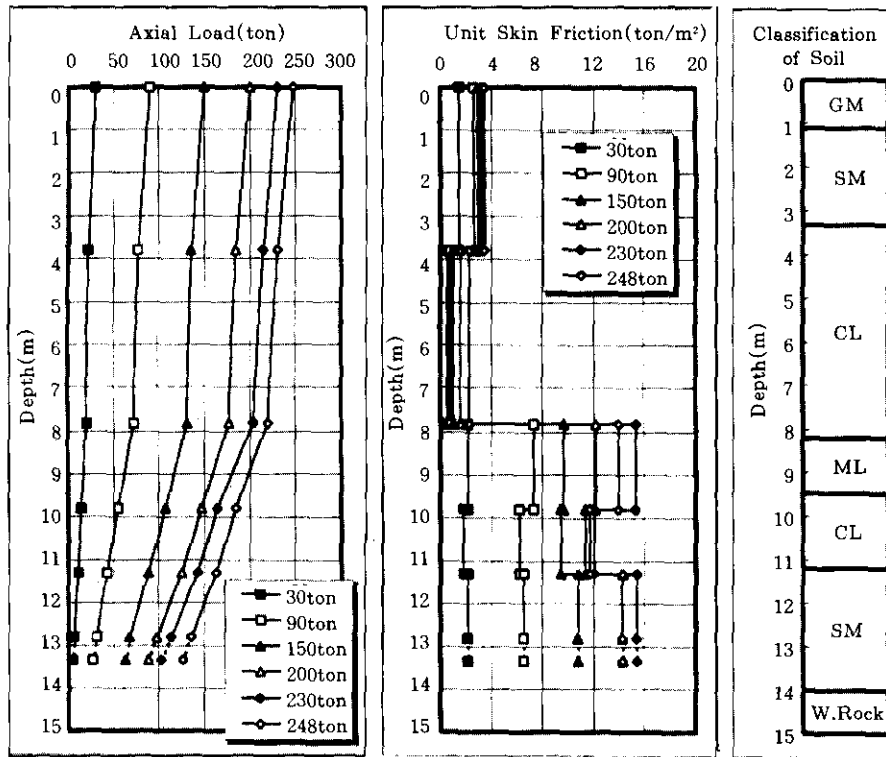


그림 6. 하중전이곡선 및 단위주면마찰력 분포(TPI)

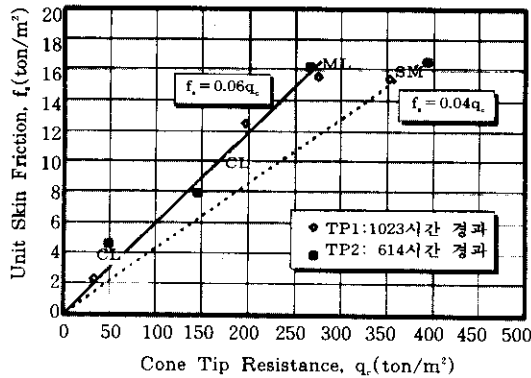
그림 6에 나타난 결과를 살펴보면, 두부하중이 230ton인 경우에는 선단지지력은 102ton 정도이고, 따라서 주면마찰력은 128ton이 되며, 이는 전체지지력의 56%가 된다. 그러나 두부하중이 248ton으로 증가하면, 선단지지력은 127ton 정도로 측정되고, 이에 따른 주면마찰력은 121ton으로 감소하게 되고, 전체지지력에서 주면마찰력이 차지하는 비율도 49%로 감소함을 알 수 있다. 말뚝항타시에 관찰된 것처럼, 두부하중의 대부분(약 75% 이상)은 8m 깊이에서부터 시작하여 그 하부 5m 구간에서 발현되는 주면마찰력에 의해 지지되고 있다. 이 구간에서의 최대 단위주면마찰력은 실트(ML)층과 사질토(SM)층에서 16ton/m<sup>2</sup> 정도가 산정되었고, 하부 원지반 점토(CL)층에서는 12ton/m<sup>2</sup>로 산정되었다.

TP2 말뚝이 관입한 실트층과 사질토층에서는 단위주면마찰력이 16~17ton/m<sup>2</sup>로 말뚝 TP1과 거의 비슷한 값을 나타내었다. 원지반 실트질 점토층에서는 단위주면마찰력이 TP1 말뚝보다 다소 작은 8ton/m<sup>2</sup>로 산정되었다.

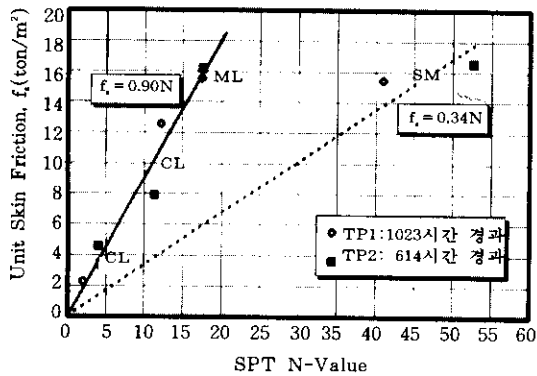
## 5.2 단위 주면마찰력과 관입저항값과의 관계

단위 주면마찰력과 지반조건의 상관관계를 조사하기 위해 지반조건에 따른 콘관입시험의 선단저항값 및 표준관입시험의 N값과 정재하 시험시 산정된 단위 주면마찰력과의 관계를 그림 7(a)(콘선단저항값)와 7(b)(표준관입저항값)에 나타내었다. 이 그림에서 나타나듯이, 단위 주면마찰력은, 흙의 종류에 따라 차이가 있지만, 콘선단저항값( $q_c$ )이나 N값과 일정한 관계를 갖고 있는 것을 알 수 있다. 지반조건

이 점토와 실트층인 세립토 지반에서는 단위 주면마찰력이 콘선단저항값의 0.06배 정도로 나타나고, SM으로 표시되는 사질토 지반에서는, 비록 제한된 자료에 근거한 값이지만, 0.04 배 정도로 나타났다. 표준관입저항값과 단위 주면마찰력과의 관계를 살펴보면, 점토와 실트층인 세립토 지반에서는  $0.90N(\text{ton}/\text{m}^2)$  정도 이고 풍화토층인 사질토 지반에서는  $0.34N(\text{ton}/\text{m}^2)$ 으로써 국내에서 많이 사용하는 건설부 제정「구조물 기초 설계 기준」에서 추천하고 있는  $0.2N(\text{ton}/\text{m}^2)$ 보다 큰 값으로 나타났다.



(a) 단위 주면마찰력과 콘선단저항값과의 관계



(b) 단위 주면마찰력과 표준관입저항값과의 관계

그림 7. 단위주면마찰력과 지반조사결과와의 관계

### 5.3 정재하시험시 지지력 성분의 거동특성

정재하시험시 전체지지력에 대한 주면마찰력과 선단지지력의 기여도를 분석하기 위해 주면마찰력과 선단지지력을 분리하여 두부침하량과 선단지지력, 주면마찰력 및 전체지지력과의 관계를 TP1 말뚝에 대해 그림 8에 나타내었다. 이 그림에서 보듯이 말뚝의 주면마찰력은 말뚝 두부하중이 240ton에 도달할 때까지는 증가하여 최대가 되며, 이 이후에는 전체지지력은 증가하나 주면마찰력은 감소함을 알 수 있다. 주면마찰력이 최대가 되는 때의 두부침하량은 TP1 말뚝의 경우에는 22mm(0.055D, D:말뚝직경) 정도로 나타났으며, 이와 유사한 경향이 말뚝 TP2에서도 관찰되었다. 그림 8에 나타난 결과를 말뚝두부에 가해진 하중에 대한 지지 관점에서 분석하면, 다음과 같은 사항들을 관찰할 수 있다.

- (1) 초기에는 즉, 두부침하량이 작은 경우에는 말뚝이 주면마찰력으로 지지되다가, 침하량이 증가하면서 선단부의 기여도가 증가한다.
- (2) 주면마찰력이 극한에 도달된 이후 침하량이 증가하면서 주면마찰력은 감소하나 선단지지력은 계속 증가하는 것으로 나타났다.
- (3) 주면마찰력의 최대값이 발현되는 두부침하량과 선단지지력이 최대가 되는 두

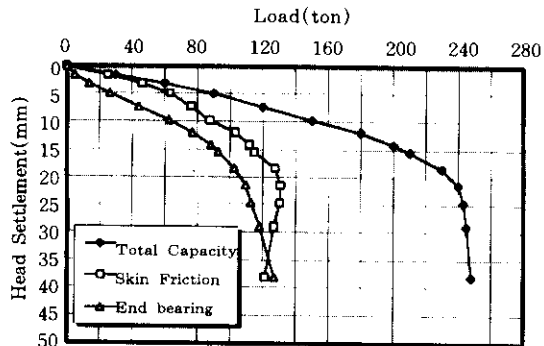


그림 8. 지지력성분-두부침하량 곡선(TP1)

부침하량이 서로 상이한 것으로 나타났  
다.

- (4) 주면마찰력이 극한값에 도달한 두부침  
하량 보다 더 큰 침하량에서는 선단지  
지력이 비록 증가해도 말뚝은 전체지지  
력 면에서 이미 극한에 도달한 것으로  
판단된다.

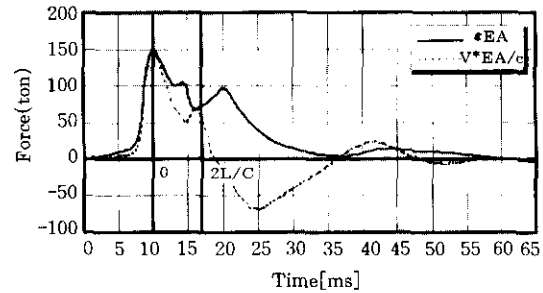
#### 5.4 시간경과에 따른 지지력 변화

말뚝의 지지력은 항타후 시간이 경과하면서  
변하는 것으로 많은 연구자들에 의해 보고되었  
다(Preium 등 (1989), Skov & Denver(1988),  
이 원제 등(1995) 등). 이와 같은 말뚝지지력  
의 시간의존 특성을 파악하기 위하여 말뚝을  
항타하여 관입하는 동안(초기항타시), 그리고  
수일이 경과한 후 재항타에 의한 동재하시험을  
수행하였고 다시 수십일이 경과한 후 정재하시  
험을 수행하였다.

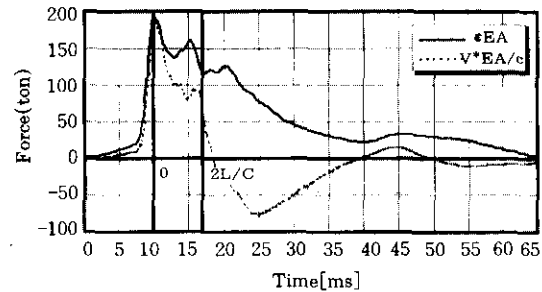
시간이 경과하면서 동재하시험에서 측정된  
힘과 속도 파형은 변하게 되는데 TP1 말뚝에  
대하여 초기항타시와 항타후 159시간 경과시  
측정된 힘과 속도 파형을 그림 9에 나타내었  
다. 이 그림에서 나타난 것 처럼 말뚝 길이에  
해당하는 측정시간 0에서  $2L/c$  까지의 구간에  
서, 초기항타시에 측정된 힘과 속도 파형(a)  
보다 시간이 경과한 후 측정된 힘과 속도 파형  
(b)에서 파형간의 분리가 크게 발생하고 있어,  
주면마찰력이 시간이 경과하면서 증가함을 간  
접적으로 판단할 수 있다. 이러한 증가 경향은  
다른 2본의 말뚝에 대해 수행한 동재하시험 결  
과에서도 동일하게 관찰되었다.

동재하시험의 극한하중은 CAPWAP(CASE  
Pile Wave Analysis Program)을 이용하여 분  
석하였다. 본시험에 사용된 3본의 말뚝이 모두  
폐단말뚝이었으므로 CAPWAP 해석시 선단지  
지력과 주면마찰력을 쉽게 분리할 수 있었다.  
시간경과에 따른 동재하시험과 정재하시험에  
서 산정된 지지력은 전체지지력과 주면마찰력  
및 선단지지력을 분리하여 표 2에 정리하였다.

동재하시험 결과에서는 항타시 말뚝에 최대로  
전달된 에너지와 관입량을 정리하였다.



(a) 초기항타시(해머 K-25)



(b) 159시간 경과 (해머 K-35)

그림 9. 동재하시험시 힘과 속도 파형(말뚝번호:TP1)

표 2. 서산 말뚝시험 결과

말뚝 번호	경과 시간 (Hr)	시험 종류	전달 에너지 (T-m)	관입량 mm blow	지지력 (ton)		
					전체	주면	선단
TP1	-	초기항타	1.6	7.7	109.3	25.3	83.9
	15	재항타	1.2	5.0	129.2	44.2	85.0
	159	재항타	2.0	2.0	179.8	82.9	96.9
	1023	정재하	-	-	222.0	122.0	100.0
TP2	-	초기항타	1.9	7.14	128.2	30.0	98.1
	14	재항타	1.7	3.5	166.9	61.4	105.5
	158	재항타	2.2	2.0	211.7	100.8	110.9
	614	정재하	-	-	242.0	129.0	113.0
PC1	-	초기항타	1.5	5.5	135.4	33.2	102.2
	134	재항타	2.7	3.0	221.9	106.6	115.3



지지력의 증가 비율을 보다 자세히 관찰하기 위하여 3본의 말뚝에 대하여 동재하시험과 정재하시험에서 산정된 지지력 성분을 초기항타시 지지력 성분으로 정규화하여(시간경과시 지지력/초기항타시 지지력) 항타후 시간 경과에 따른 지지력 성분의 증가비율을 그림 10에 나타내었으며, 이 그림에서 다음과 같은 사항을 관찰할 수 있었다.

- (1) 시험한 3본의 말뚝에 대하여 전체지지력, 주면마찰력 및 선단지지력은 각각 초기항타시 지지력 크기에 상관없이 시간 경과에 따라 자연대수함수(Ln) 형태로 증가하고 있다. 이 결과는 말뚝의 전체 지지력이 자연대수 함수로 증가한다는 Skov and Denver(1988)의 보고와 같은 결과를 보이는 것이다.
- (2) 전체지지력은 40일(약 1,000시간)이 경과된 시점에는 항타시 측정된 지지력의 2배 정도로 증가했다.
- (3) 지지력 성분의 증가비율은 선단지지력에서는 아주 작게 나타나나(40일 경과 후에는 초기값에 비해 1.2배 증가), 주면마찰력에서는 매우 크게 나타났다(40일 경과후 4.6배 증가).

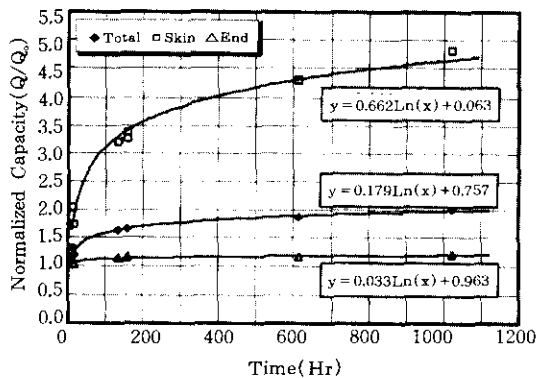


그림 10. 항타후 시간 경과에 따른 지지력 증가 비율 (Q:항타후 지지력, Q₀:항타시 지지력)

지지력 성분중 주면마찰력이 전체지지력에서 차지하는 비율의 시간 경과에 따른 변화를 관찰하기 위하여 시간에 따른 전체지지력중의 주면마찰력의 기여비율을 산정하여, 그림 11에 나타내었다. 이 그림에서 보듯이, 전체지지력중 주면마찰력이 차지하는 비율은 시간이 경과함에 따라 지수형 함수형태로 증가하고 있으며, 항타후 짧은 시간동안에 주면마찰력 비율이 매우 급속히 증가함을 알 수 있다. 초기항타시 모든 말뚝에서 전체지지력 중 주면마찰력이 차지하는 비율이 25%정도였지만, 40일이 경과한 후에는 그 비율이 55%까지 증가하는 것으로 나타났다. 이와 같은 결과는 3본의 시험말뚝 모두에서 관찰되었는데, 이 결과와 표 2의 내용을 종합해 보면, 말뚝들이 초기항타시에는 최종 관입량에 상관없이 선단지지형 말뚝처럼 거동을 하였지만, 시간이 경과함에 따라 말뚝의 지지 거동이 주면마찰 지지형 말뚝으로 변화했음을 알 수 있다.

## 6. 결론

변형률계가 설치된 2본의 PC말뚝과 변형률계가 설치되지 않은 1본의 PC말뚝에 대하여

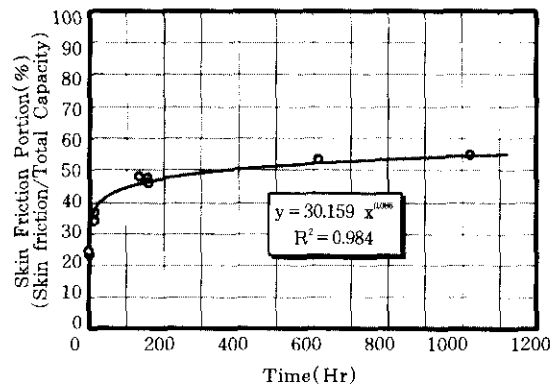


그림 11. 시간경과에 따른 주면마찰력 비율의 변화

수행한 동재하 및 정재하시험 결과를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 정재하시험을 통하여 산정된 말뚝의 단위 주면마찰력은, 흙의 종류에 따라 차이가 있지만, 콘관입시험의 선단저항값( $q_c$ )이나 표준관입시험의 N값과 일정한 관계를 갖고 있는 것으로 나타났다. 특히, 표준관입시험 결과를 보면, 국내에서 많이 사용하는  $0.2N(\text{ton}/\text{m}^2)$ 보다 훨씬 크게 나타났다.
- 2) 주면마찰력과 선단지지력의 최대값이 발현되는 두부침하량이 서로 상이하게 나타났다으며, 주면마찰력이 극한값에 도달한 두부침하량에서 전체지지력도 극한값에 도달하는 것으로 나타났다.
- 3) 말뚝의 전체지지력, 즉 주면마찰력 및 선단지지력은 항타후 시간경과에 따라 자연대수 함수로 증가하였으며, 선단지지력의 증가비율은 매우 작은 반면 주면마찰력의 증가비율은 매우 큰 것으로 나타났다. 두부하중의 지지 관점에서 보면, 초기항타시 말뚝은 선단지지형으로 거동하였지만, 시간이 경과하면서 주면마찰 지지형으로 변화되었다.

## 참 고 문 헌

- 1 건설교통부(1997). "구조물 기초 설계 기준", pp.165~166
- 2 이 영남, 이종섭(1997). "대구경 말뚝의 거동예측 및 지지력 산정", 현대건설 기술연구소, 연구보고서, 연구번호 : 92GEO02, pp.150~184.
- 3 이원제, 전영석, 홍현성, 이명환(1995), "시간경과에 따른 항타말뚝의 지지력변화 연구", 한국지반공학회 '95 봄 학술발표회 논문집, pp.69~89.
- 4 ASTM D 1143-81, "Standard Test Method for Piles under Static Axial Compressive Load", American Society for Testing and Materials, Vol.04.08, Philadelphia, 1992, pp.195~205.
- 5 Preium, M.J., March, R. and Hussein, M. (1989), "Bearing Capacity of Piles in Soils with Time Dependent Characteristics", Proceedings of the International Conference on Piling and Deep Foundations, London, pp.363~370.
- 6 Skov, R., and Denver, H.(1988) "Time-dependence of Bearing Capacity of Piles", Proceedings of the 3rd International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to Piles, BiTech Publisher, Ottawa, Canada, pp.879~888.

(접수일자 1998. 6. 8)