

항타강관말뚝의 주면마찰저항 특성에 관한 현장실험 연구

A Field Test Study on Skin Friction Behavior of Driven Steel Piles

이민희¹⁾, Lee, Min-hee, 이충숙²⁾, Lee, Chung-sook, 정창규³⁾, Jung, Chang-Kyu, 최용규⁴⁾, Choi, Yongkyu

- 1) 경성대학교 공학기술연구소 연구원, 공학박사, Ph.D, Researcher, Research Institute of Engineering & Technology, Kyungsung Univ.
- 2) 경성대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Kyungsung Univ.
- 3) 부산광역시 감사관실, Audit & Inspection Office, Busan Metropolitan City
- 4) 경성대학교 건설·환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kyungsung Univ.

SYNOPSIS : Static pile load tests for three instrumented driven steel pipe piles were performed. Based on the distributions of pile axial loads along the pile depth, Characteristics of unit skin friction were analyzed.

Keyword : Skin friction, Axial load transfer, Static pile load test, Driven steel pipe pile.

1. 서론

우리나라에서 설계되고 있는 강관말뚝의 선단지지 조건은 종래에는 연암층에 1m정도 근입시키는 것으로 관습상 설계되어 왔으나, 최근에는 풍화암층에 근입시키는 설계사례가 다수 나타나고 있다. 이와 같은 설계사례도 많은 현장실험을 통하여 과다 설계라는 것이 확인되고 있는 실정이다. 국외에서는 마찰말뚝 형태로 설계된 사례가 많은데, 이것은 선단지지에 의존하기 보다는 주면마찰지지하더라도 설계지지력을 충분히 확보할 수 있다는 것을 의미한다. 본 연구에서는 항타강관말뚝의 주면마찰저항 특성을 파악하기 위하여 직경이 다른 두 가지 강관말뚝에 대하여 3개소에서 정재하시험 및 축하중전이시험을 수행하였으며, 그 결과를 이용하여 지층별 주면마찰저항 특성을 분석하였다. 그리고, 실험 결과와 일반적으로 제안되고 사용되고 있는 주면마찰력 산정공식에 의한 계산된 마찰력을 비교 분석하였다.

2. 현장 말뚝정재하시험

2.1 말뚝의 제원

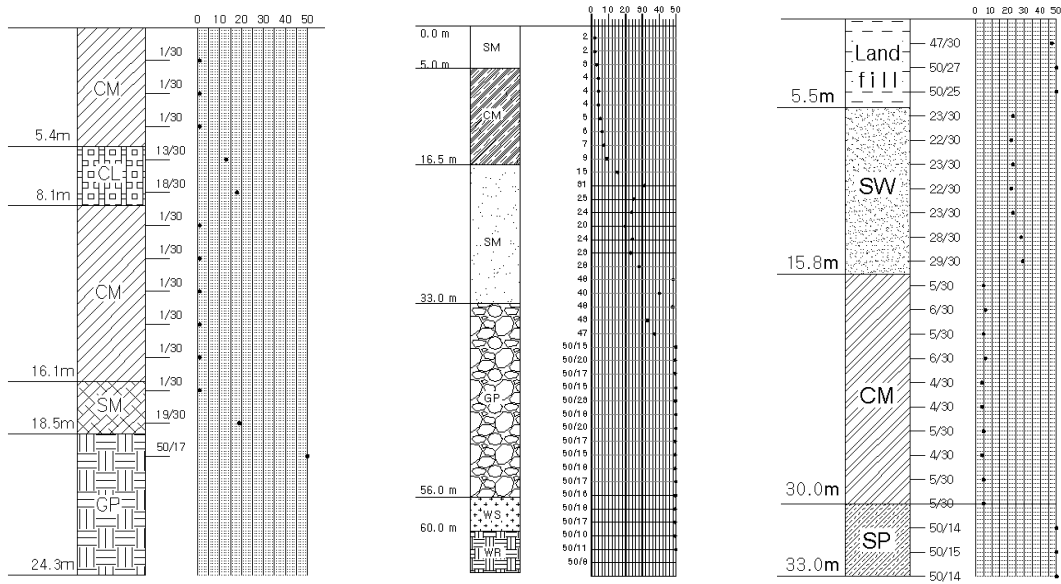
말뚝정재하시험에 대한 각 현장별 강관말뚝 제원은 표 1과 같다.

표 1. 강관말뚝의 제원 및 특징

구 분		TP-1	TP-2	TP-3
말뚝 제원	직경(mm)	508.0	609.6	508.0
	길이(m)	24.0	57.4	33.0
	두께(mm)	12	16	10

2.2 지반조건

각각의 현장에 대한 지층 분포는 그림 1과 같다.



(a) TP-1(고려개발(주), 2002.5) (b) TP-2((주)동아지질, 2002.2) (c) TP-3((주)평산종합건설, 2003.11)
그림 1. 현장별 지층 분포

2.3 재하시험조건

각 현장별 말뚝정재하시험 조건은 표 2에 요약하였다. 표 2와 같이 본 연구에서 분석한 모든 재하시험을 반력말뚝방식을 사용하였다. 시험최대하중은 극한지지력을 확인할 수 있을 정도로 하였으며 $\varnothing = 508\text{mm}$ 의 경우 700 tonf 이상, $\varnothing = 609\text{mm}$ 의 경우 1000톤 정도로 하였다.

표 2. 재하시험 계획

구 분	TP-1	TP-2	TP-3
시험계획하중 (tonf)	1000	1000	700
설계하중 (tonf)	79.8	138.5	65.1
반력 발생 방법	반력말뚝 ($\varnothing = 508.0\text{ mm}$, $t = 12\text{mm}$) : 8 EA	반력말뚝 ($\varnothing = 609.6\text{ mm}$, $t = 16\text{mm}$) : 8 EA	반력말뚝 ($\varnothing = 508.0\text{ mm}$, $t = 10\text{mm}$) : 4 EA
비 고	축하중 계측용 센서 설치	축하중 계측용 센서 설치	축하중 계측용 센서 설치

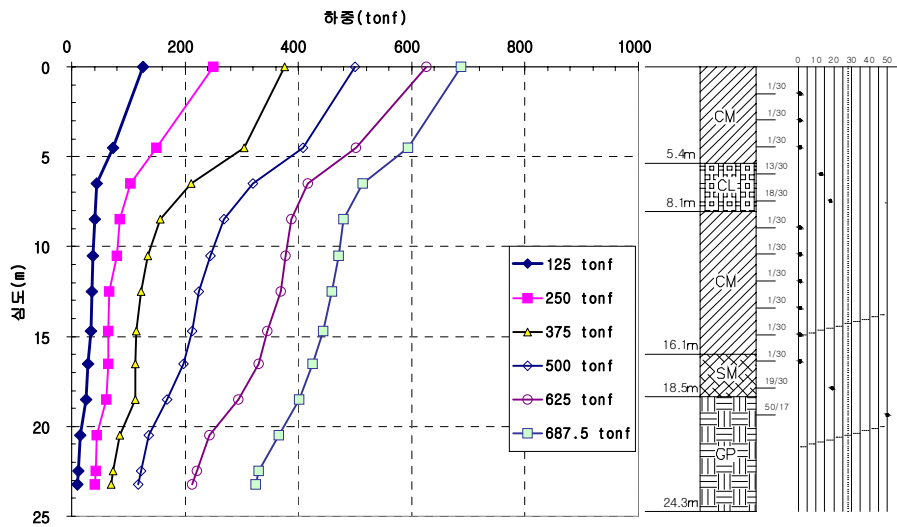
3. 말뚝 정재하시험결과

말뚝 정재하시험 및 축하중전이시험을 수행하였으며 시험결과에 기초하여 각 지층별 마찰응력을 분석하였다.

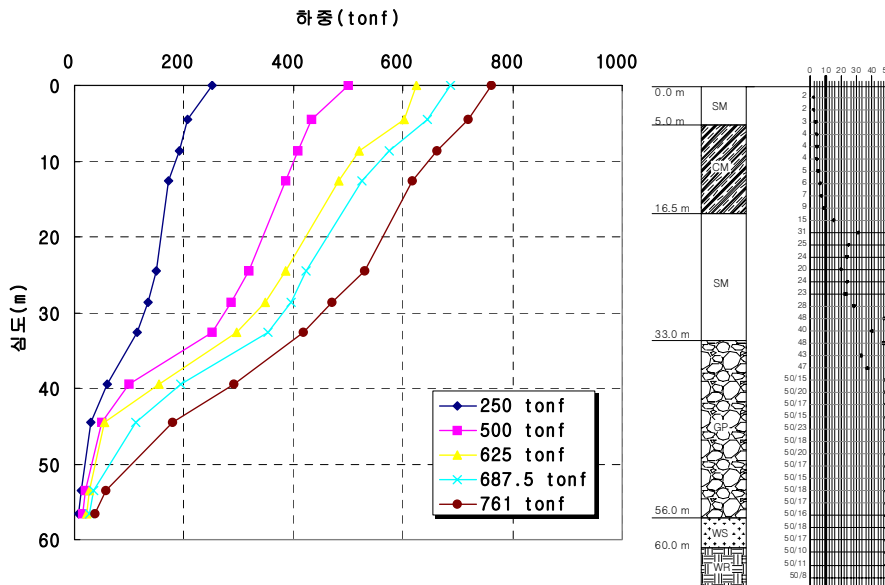
3.1 축하중 분포도

각 재하단계에서 구한 축하중 분포곡선은 그림 2와 같다. 그림 2(a)의 경우, 다른 사례와는 달리, 선단지지력이 크게 발생하고 있는데, 이것은 말뚝길이가 짧고 상부 지층이 매우 연약하여 주변마찰저항이 상대적으로 작게 발생되었기 때문으로 판단된다.

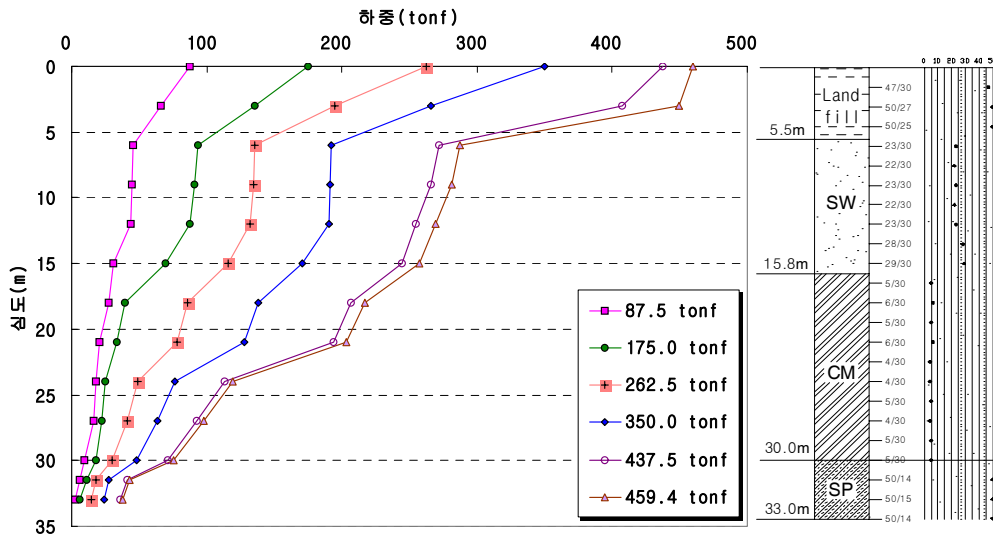
TP-1~3의 경우 최대재하하중에서 주변마찰력 분담율은 각각 52.9, 95.3 그리고 90.6% 이었다.



(a) TP-1(경성대학교 지반공학연구실, 2004. 2)



(b) TP-2 (경성대학교 지반공학연구실, 2003. 4)



(c) TP-3(경성대학교 지반공학연구실, 2004. 12)

그림 2. 축하중전이 분포 곡선

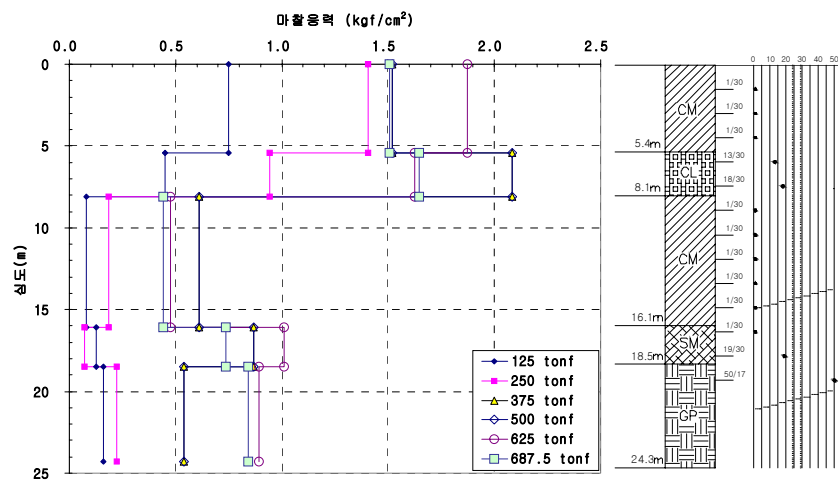
3.2 지층별 단위주면마찰응력

그림 2의 결과를 이용하여 각 지층별 발휘된 평균 주면마찰응력의 크기를 그림 3에 도시하였으며, 각 사례에서 최대재하하중시 각 지층별 발휘된 평균주면마찰응력의 크기를 표 3에 나타내었다.

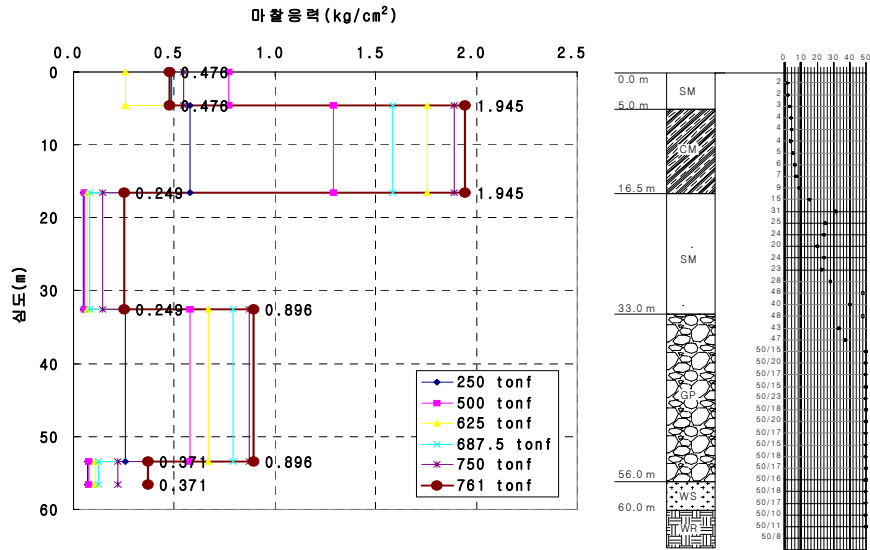
표 3. 각 사례에서 최대재하하중시 각 지층별 발휘된 주면마찰응력(kgf/cm^2)

사례1(687.5 tonf)		사례2(760.9 tonf)		사례3(459.4 tonf)	
지층	마찰응력	지층	마찰응력	지층	마찰응력
CM	1.51	SM	0.48	Land Fill	0.72
CL	1.65	CM	1.95	SW	0.83
CM	0.44	SM	0.25	CM	0.79
SM	0.74	GP	0.89		
GP	0.84	WS	0.37		

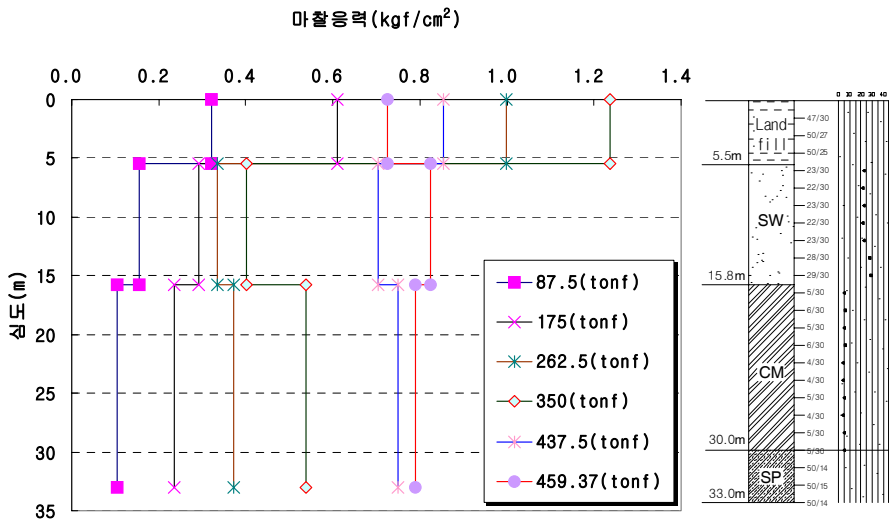
비고 ; () 안에 나타낸 하중은 최대작용하중임.



(a) TP-1



(b) TP-2



(c) TP-3

그림 3. 지층별 평균주면마찰응력 곡선

4. 결과 분석

4.1 주면마찰력 분석

그림 4는 주면마찰력의 관계를 $\frac{S}{D}$ 에 대해 곡선을 도시한 것이다. 여기서, $\frac{S}{D}$ 는 침하량(S)을 말뚝외경(D)에 대해 정규화하여 나타낸 것이다. TP-1과 TP-3는 TP-2에 비하여 말뚝길이가 짧고, 주변지반의 강도가 작기 때문에 주면마찰력이 작게 평가되었다. 여기서, 말뚝의 상대근입길이($\frac{L_f}{D}$)가 가장 짧은 TP-1의 경우($\frac{L_f}{D} = 47.2$) 상대침하율($\frac{S}{D}$) 5%에서 마찰력이 최대에 도달하였다. TP-2의 경우($\frac{L_f}{D} = 94.3$) 상대침하율 25%에서,

그리고 TP-3의 경우($\frac{L_f}{D} = 64.9$) 상대침하율 10%에서 마찰력이 극한에 도달하였다. 그림 5는 최대마찰력에 도달되는 상대침하율($(\frac{S}{D})_{max}$)과 상대근입깊이와의 비를 나타내고 있다. 그림 5에서 보는 바와 같이 상대말뚝 길이가 64.9이하인 경우, $(\frac{S}{D})_{max}$ 가 10% 이내에서 주변마찰력이 최대였고, 상대말뚝 길이가 94.3인 경우, $(\frac{S}{D})_{max}$ 가 25% 정도에서 주변마찰력이 최대로 발생하므로 말뚝근입 깊이가 길수록 발생하는 큰 침하량에서 주변마찰력이 극한값에 도달되는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 실험데이터 수가 제한되어 있어 신뢰성이 제대로 확보되지 않는 상태이지만 차후 더 많은 데이터를 분석한다면 정량적인 결과를 제시할 수 있을 것이다.

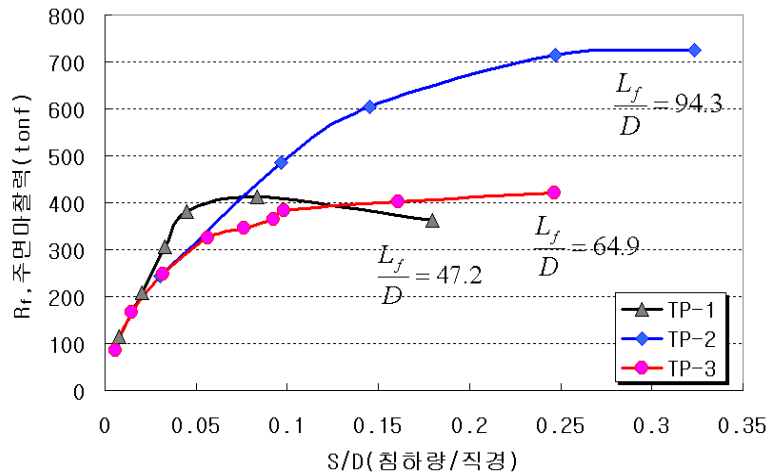


그림 4. $\frac{S}{D}$ 와 R_f 의 관계곡선

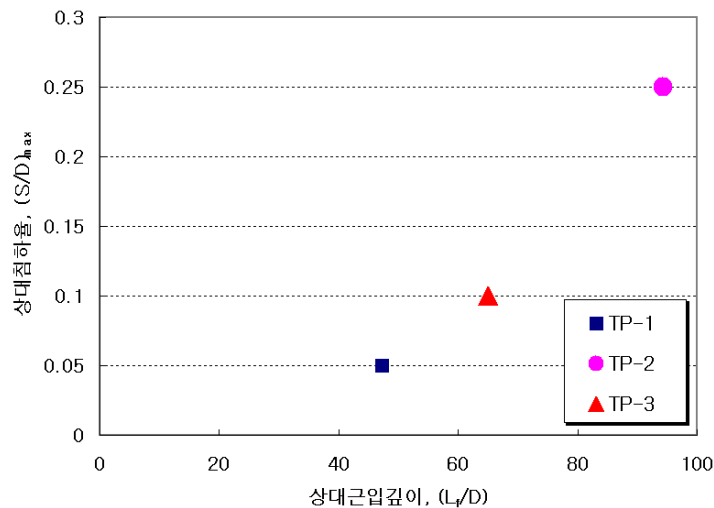


그림 5. 극한주변마찰력을 발휘하는 상대근입깊이와 상대침하율의 관계

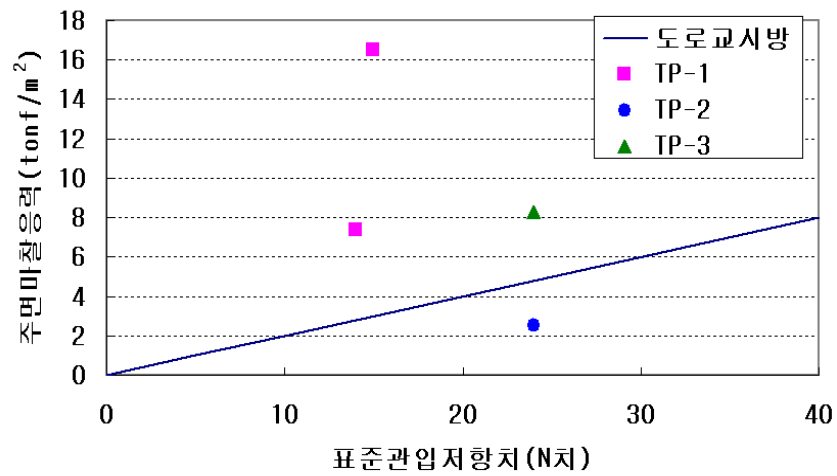
4.2 지층별 단위마찰응력 분석

그림 6은 사질토 지반과 점성토 지반의 N치에 대한 극한주변마찰응력값을 나타낸 것이다. 그림 6에서 실선은 「도로교설계기준 해설 하부구조편(2001)」에서 제시하고 있는 기준(표 4)을 사용하여 도시한 것이다.

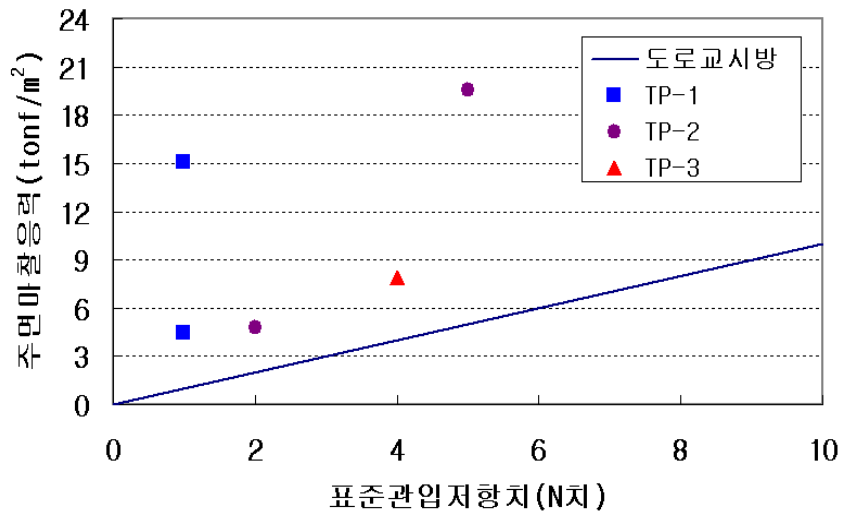
그림 6(a)에서 보는 바와 같이 사질토 지반인 경우, TP-2를 제외한 나머지가 기준치보다 상회한다는 것을 알 수 있었고, 그림 6(b)에서 점성토 지반의 경우, 모두 기준치를 상회하였다. 즉, 현재 사용되고 있는 말뚝의 극한주면마찰응력값의 기준치가 과소평가되고 있음을 알 수 있었다. 그림 6은 적용사례가 한정적이어서 신뢰성이 다소 의심될 수 있으나 차후에 충분한 개수의 사례를 분석하여 보완한다면 설계 기준치를 보완된 설계기준을 제시할 수 있을 것이다.

표 4. 타입말뚝의 극한주면단위마찰력(도로교설계기준 해설 하부구조편, 2001)

지반의 종류	최대주면단위마찰력 (tf/m^2)
사질토	$\frac{N}{5} (\leq 10)$
점성토	$N (\leq 15)$



(a) 사질토



(b) 점성토

그림 6. N치에 대한 마찰응력

6. 결론

본 연구에서는 향타강관말뚝의 주변마찰저항 특성을 파악하기 위하여 직경이 다른 두 가지 강관말뚝에 대하여 3개소에서 정재하시험 및 축하중전이시험을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 상대말뚝길이가 64.9이하인 경우, $(\frac{S}{D})_{max}$ 가 10% 이내에서 주변마찰력이 극한에 도달되었고, 말뚝길이가 94.3인 경우, $(\frac{S}{D})_{max}$ 가 25% 정도에서 주변마찰력이 극한에 도달하였다.
- (2) 현장실험 결과, 사질토 지반과 점성토 지반 모두에서 극한주변마찰응력값은 도로교 설계기준 해설집(2001)에서 제시한 기준치보다 상회함을 알 수 있었다. 따라서 현재 사용되고 있는 말뚝의 극한주변마찰응력값의 기준치가 과소평가되고 있음을 알 수 있었다.
- (3) 상기의 결과는 충분한 현장실험 데이터를 분석하면 보완된 설계 기준을 제시할 수 있을 것이다.

참고문헌

1. 경성대학교 지반공학연구실(2003), 부산 지하철3호선 312공구 건설공사의 말뚝정재하시험 및 축하중전이 시험 용역(P4-2-22), KSU/GT-03-02 2003. 4.
2. 경성대학교 지반공학연구실(2004), 다대항 배후도로 건설2단계 덕천 I.C. 공사 강관말뚝의 하중전이시험 및 정재하시험, KSU/GT-04-03, 2004. 2.
3. 경성대학교 지반공학연구실(2004), 부산 강서구 명지 자동차등록사업소 건설공사 관련 강관말뚝 정재하시험 및 하중전이시험 보고서, KSU/GT-04-11, 2004. 12.
4. 고려개발주식회사(2002), 다대항 배후도로 건설 2단계 덕천 I.C. 공사 토질조사보고서, 2002. 5.
5. (사) 대한토목학회(2001), 도로교 설계기준 하부구조편, 2001. 9.
6. (주) 동아지질(2002). 부산 지하철 3호선 312공구 시험보링지반조사보고서, 2002. 2.
7. (주) 평산종합건설(2003), 강서차량등록사업소 신축부지 지질조사, 2003. 11.