KGS Spring Conference 2005 / March 25~26, 2005 / Jeju / Korea

항타강관말뚝과 현장타설말뚝의 주면마찰력 거동에 관한 현장실험 연구

A Study on Friction Capacity Behavior for Driven Steel Pipe Pile and Drilled Shaft Pile with Field Test

정 성 민[1], Jung, Sung-Min, 이 민 희[2], Lee, Min-Hee, 송 병 덕[3], Song, Byeong-Deok, 최 용 규[4], Choi, Yongkyu

[1] 경성대학교 공학기술연구소 연구원, 공학석사, Master, Researcher, Research Institute of Engineering & Technology, Kyungsung Univ.
[2] 경성대학교 공학기술연구소 연구원, 공학박사, Ph.D., Researcher, Research Institute of Engineering & Technology, Kyungsung Univ.
[3] 부산광역시 상수도사업본부 시설관리사업소, 공학석사, Master, Busan Metropolitan City Waterworks Headquarters.
[4] 경성대학교 건설·환경공학부 교수, Professor, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Kyungsung Univ.

SYNOPSIS : In this study, static pile load tests for instrumented drilled shaft pile and instrumented driven steel pipe pile were performed. Based on the results of pile load test, skin friction of each stratum was compared. Skin friction of drilled shaft were more than those of driven pile at the same settlement. This was based on the difference of surface roughness of piles and pile construction methods.

Key words : Driven steel pipe pile, Drilled shaft, Skin friction, Static pile load test

1. 서론

대형 토목 건설 공사에 사용되고 있는 기초말뚝공법은 일반적으로 강관말뚝과 현장타설말뚝 공법이 사용되고 있다. 공장에서 제작된 강관말뚝은 표면 거칠기가 일정한 반면, 현장타설말뚝은 현장에서 직접 시공되어지기 때문에 표면 거칠기가 일정하지 않으며, 거칠기 또한 강관에 비하여 다른 양상을 보이고 있다. 따라서, 강관말뚝과 현장타설말뚝의 주면마찰력 분포는 다른 거동을 보일 것이다.

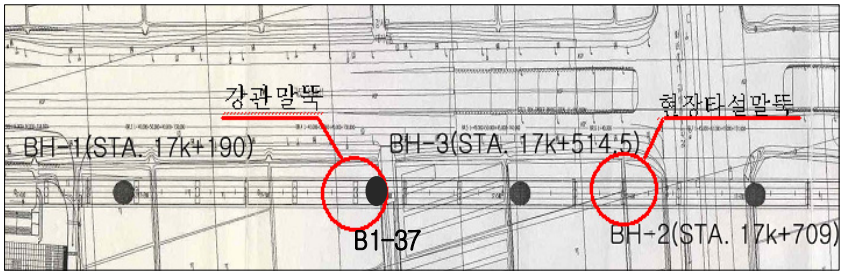
본 연구에서는 동일 현장에 두 가지 종류의 말뚝에 대하여 정재하시험을 수행한 후, 현장타설 콘크리트말뚝과 항타 강관말뚝의 주면마찰력 거동 차이를 분석하였다.

2. 지반조건

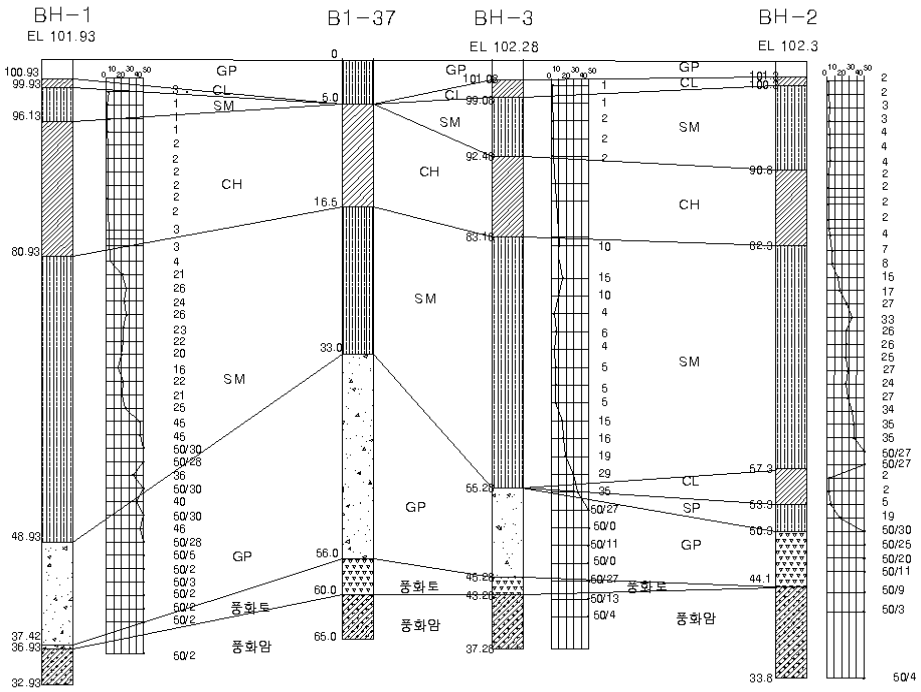
시험위치 및 지층의 개요를 그림 1에 나타내었다. 대표적인 지층은 지표에서부터 GP, CL, SM, CH, SM, GP, 풍화토, 풍화암, 연암의 순서로 분포되어 있으며, 표 1에 지층별 두께를 나타내었다. 그림 1(b)에 시공시 지반조사자료((주) 동아지질, 2002. 2)의 지층분포도를 나타내었으며, 그림 1(a)에서 B1-37은 설계시 지반조사자료(1996. 9)의 결과로서 두 번의 지반조사결과 지층의 분포는 비슷하게 나타나는 것을 확인하였다. 따라서, 항타 강관말뚝의 지층분포는 B1-37의 지층분포를 적용하였으며, 현장타설 콘크리트말뚝은 시험위치와 근접한 BH-3의 지층분포를 적용하였다.

표 1. 시추공별 지층의 두께 및 깊이

지 층 명	2002. 2. 지반조사						1996. 9. 지반조사	
	BH-1		BH-2		BH-3		B1-37	
	지층두께 (m)	누계깊이 (m)	지층두께 (m)	누계깊이 (m)	지층두께 (m)	누계깊이 (m)	지층두께 (m)	누계깊이 (m)
GP	1.0	1.0	1.0	1.0	1.2	1.2		
CL	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.2		
SM	3.8	5.8	9.5	11.5	6.6	9.8	5	5
CH	15.2	21.0	8.5	20.0	9.0	18.8	11.5	16.5
SM	32.0	53.0	25.0	45.0	28.2	47.0	6.5	23.0
CL	-		4.0	49.0			10.0	33.0
SP	-		3.0	52.0				
GP	11.5	64.5	6.2	58.2	10.0	57.0	23	56.0
풍화토	-				2.0	59.0	4	60.0
풍화암	0.5	65.0	10.3	68.5	6.0	65.0	5	65.0
연암	4.0	69.0						



(a) 시험의 위치



(b) 지층의 개요와 SPT 시험의 결과

그림 1. 시험위치 및 지층의 개요

3. 현장재하시험

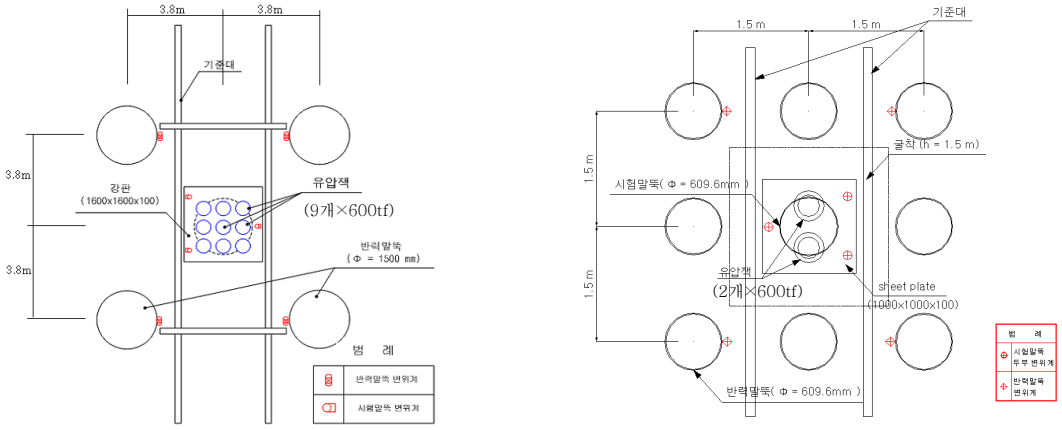
3.1 정재하시험

그림 1과 같은 지반 조건에 항타강관말뚝과 현장타설콘크리트말뚝의 하중지지능력 및 축하중전이분포 특성을 파악하기 위하여 정재하시험을 수행하였다. 시험말뚝과 반력말뚝의 배치는 그림 2와 같으며, 그림 3에 재하시험의 전경을 나타내었다. 표 2에 본 현장에서 수행된 말뚝정재하시험에 대하여 요약하였다.

현장타설 콘크리트말뚝의 반력시스템은 초기 그라운드앵커시스템을 고려하였으나 현장의 연약지반이 매우 깊어 약 60m 이하에 정착장을 설치하여야 함으로 비경제적이며 시공에 어려움이 있을 것으로 판단되었다. 따라서, 시험말뚝 주변의 말뚝을 반력말뚝으로 사용하도록 하였다. 반력말뚝의 주철근을 반력판에 연결하여 반력시스템을 구성하여 시험을 수행하였다(최용규, 2003). 강관말뚝은 낙하고 1m에서 13 톤 헤머로 최종관입량 5mm이하(4.5mm로 시공)로 관리하여 시공하였으며 동재하시험으로 부터 허용지지력을 179.4 tf으로 확인하였다. 반력말뚝 또한 동일한 시공기준으로 시공하였으며, 재하시험은 주변의 반력말뚝 8본을 사용하여 재하시험을 수행하였다(최용규, 2003).

표 2. 말뚝정재하시험 요약

구 분		현장타설콘크리트 말뚝	항타강관말뚝
시험말뚝 기호		PJ-6-3	P4-2-22
시 험 위 치		STA. 17K+600	STA. 17K+380
말 뚝 형 식		현장타설말뚝	개단강관말뚝
말 뚝 제 원	특 징	사용말뚝	사용말뚝
	직경(mm)	1,500	609.6(t = 14mm)
	길이(m)	64.3	57.4
시험계획하중 (tf)		2,200	1000
시험시최대재하하중(tf)		2,000	761
설계하중 (tf)		945.0	138.5
하중재하수단		반력말뚝(Ø = 1500 mm) : 4 EA	반력말뚝(Ø = 609.6 mm, t = 14mm) : 8 EA
선단지지층		풍화암 약 3m 근입	풍화토 약 1m 근입
비 고		하중전이측정용 센서 설치	하중전이측정용 센서 설치



(a) 현장타설 콘크리트말뚝 (b) 항타 강관말뚝

그림 2. 시험말뚝 및 반력말뚝의 배치

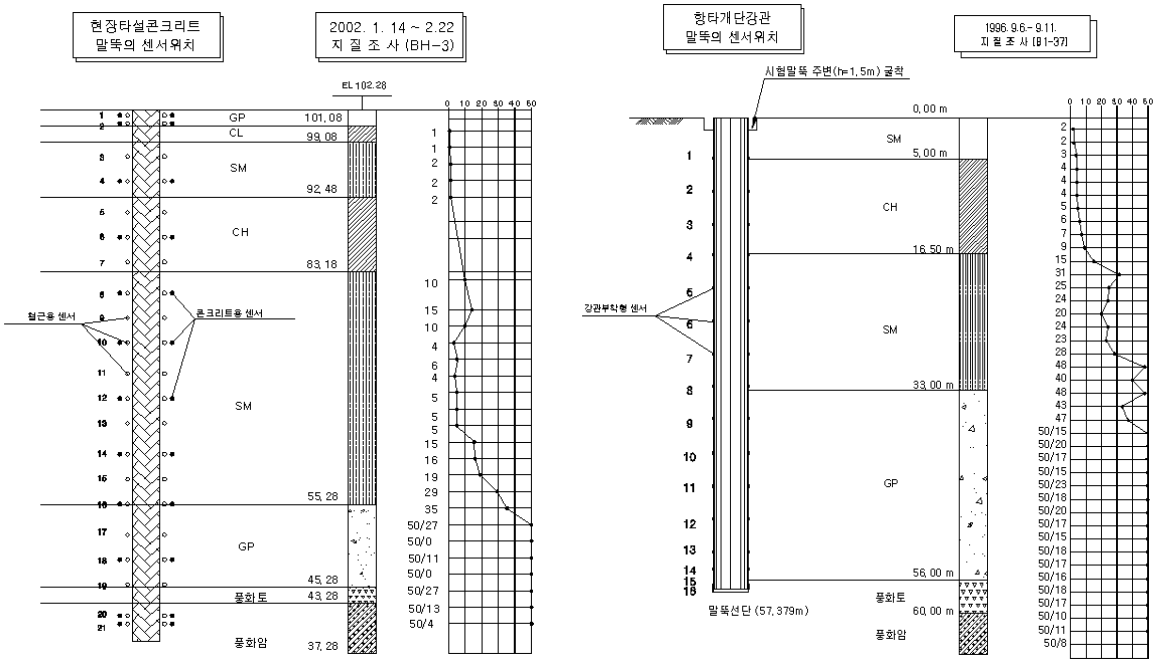
(a) 현장타설 콘크리트말뚝

(b) 항타 강관말뚝

그림 3. 정재하시험 전경

3.2 하중전이시험

그림 4에는 하중전이시험을 위한 축하중계측용 센서의 배치를 나타내었다. 항타강관말뚝의 축하중계측용 센서는 강관의 표면에 각 단면당 2개(180° 방향)로 16개 단면에 총 32개의 센서를 설치하였다. 현장타설 콘크리트말뚝의 축하중계측용 센서를 주철근에 용접할 경우, 주철근이 고열에 의한 변형 발생에 우려가 있어 주철근과 동일한 직경의 철근을 센서부착용으로 추가하여 이 철근에 철근용 센서를 설치하고 콘크리트용 센서로는 시스터바(sister bar)를 설치하였다. 콘크리트용 센서를 24개, 철근용 센서는 84개를 설치하였다.



(a) 현장타설 콘크리트말뚝

(b) 항타 강관말뚝

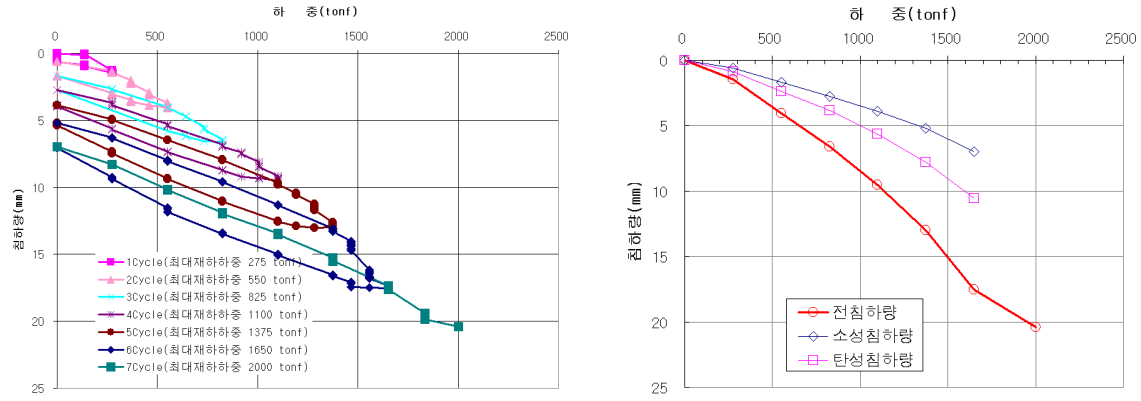
그림 4. 축하중전이 실험을 위한 센서 설치도

4. 현장재하시험 결과

4.1 말뚝의 지지력 결정

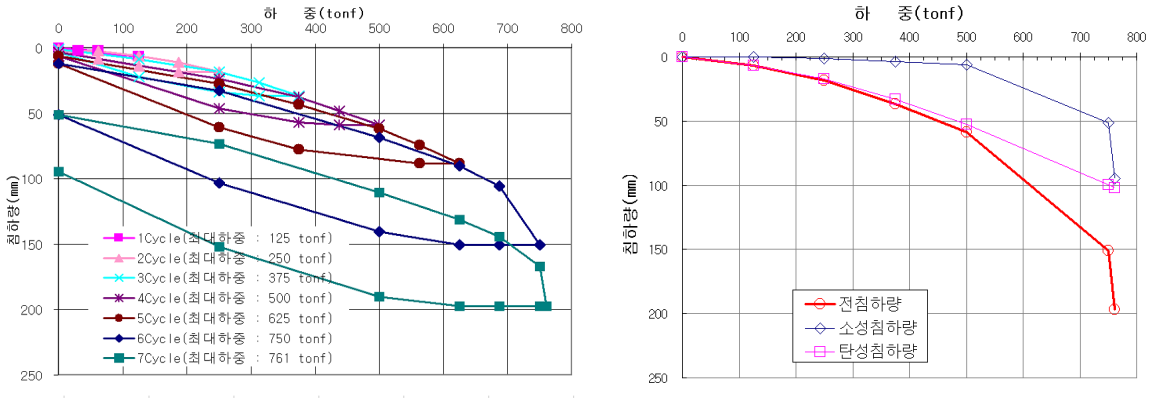
현장타설 콘크리트말뚝의 정재하시험의 결과를 그림 5에 나타내었으며, 주기별 하중-침하량의 관계를 그림 5(a)에 나타내었다. 그림 5(b)에는 하중에 따른 잔류침하량에 대하여 도시하였다. 현장타설 콘크리트말뚝의 시험결과에서는 뚜렷한 항복하중을 결정할 수 없었으며 지반의 잔류침하량도 말뚝의 탄성침하량보다 작게 나타났다.

그림 6에는 항타 강관말뚝의 정재하시험의 결과를 나타내었다. 그림 6(a)에서 보는 바와 같이 약 750tonf 하중 단계에서 침하량이 급속하게 증가하여 극한상태에 도달하였음을 알 수 있었다. 그림 5(b)와 같이 지반의 잔류침하량은 재하하중 700tonf이후에서 약 90mm가 발생하였고, 재하하중이 750tonf보다 더 커지면서 잔류침하량이 급속하게 증가하는 것을 알 수 있었다.



(a) 재하 주기별 하중-침하량 (b) 하중-잔류침하량(또는 말뚝변형량)

그림 5. 현장 타설콘크리트말뚝 정재하시험 결과



(a) 재하 주기별 하중-침하량 (b) 하중-잔류침하량(또는 말뚝변형량)

그림 6. 항타 강관말뚝의 정재하시험 결과

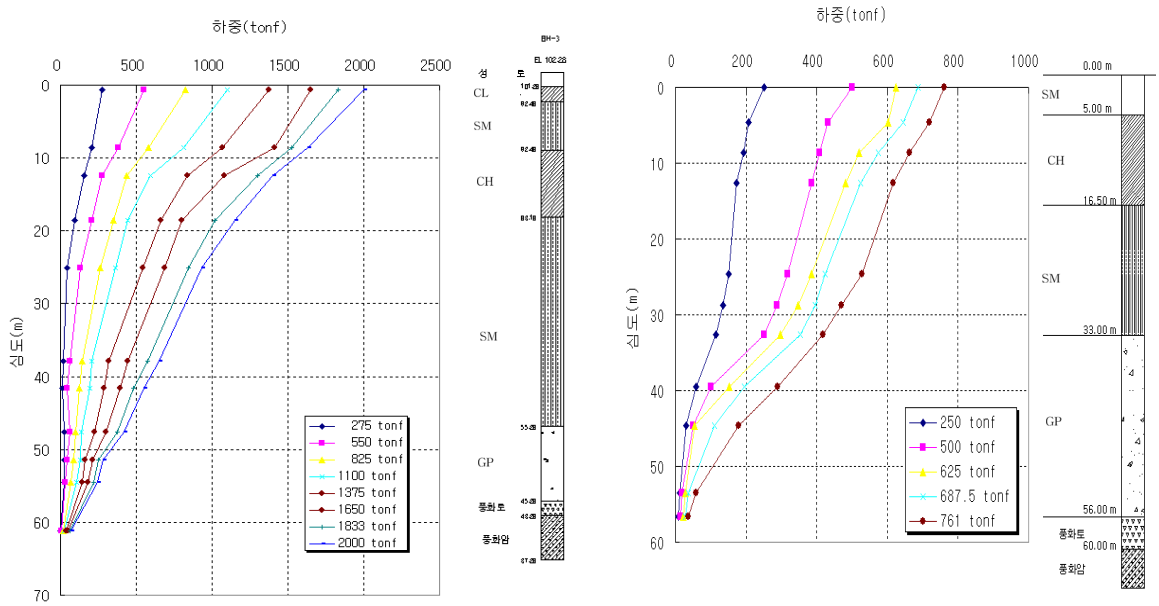
정재하시험 결과를 토대로 다양한 지지력 판정방법들(P-S, log P-log S, S-log t, △S/log△t-P, Davisson, Chin, Brinch Hansen(90%), Mazurkiewicz)에 따라 말뚝의 지지력을 산정한 결과를 표 3에 나타내었으며, 현장타설 콘크리트말뚝과 항타 강관말뚝의 허용지지력은 각각 1000tonf, 247tonf으로 결정할 수 있었다.

표 3. 말뚝의 지지력 산정 요약

구분	현장타설 콘크리트말뚝			항타 강관말뚝			
	최소항복하중 (tonf)	최소극한하중 (tonf)	최소허용지지력 (tonf)	항복하중 (tonf)	극한하중 (tonf)	허용지지력 (tonf)	
P-S	2000	-	1000	715	-	358	340
log P-log S	2000	-		710	-	355	
S - log t	2000	-		750	-	375	
△S/log △t - P	-	-		680	-	340	
Davisson	-	-		-	740	247	247
Chin	-	-		-	1000	333	
Brinch Hansen(90%)	-	-		-	762.5	254	
Mazurkiewicz	-	-		-	757.4	252	

4.2 축하중전이 분포 특성

그림 7에는 심도별 축하중분포를 나타내었다. 현장타설 콘크리트말뚝과 항타 강관말뚝 두 가지 모두 시험최대하중에 대하여 말뚝의 선단에 전달된 하중은 극히 작은 것으로 나타났으며, 두 가지 모두 마찰지지말뚝으로 거동하는 것을 확인할 수 있었다.



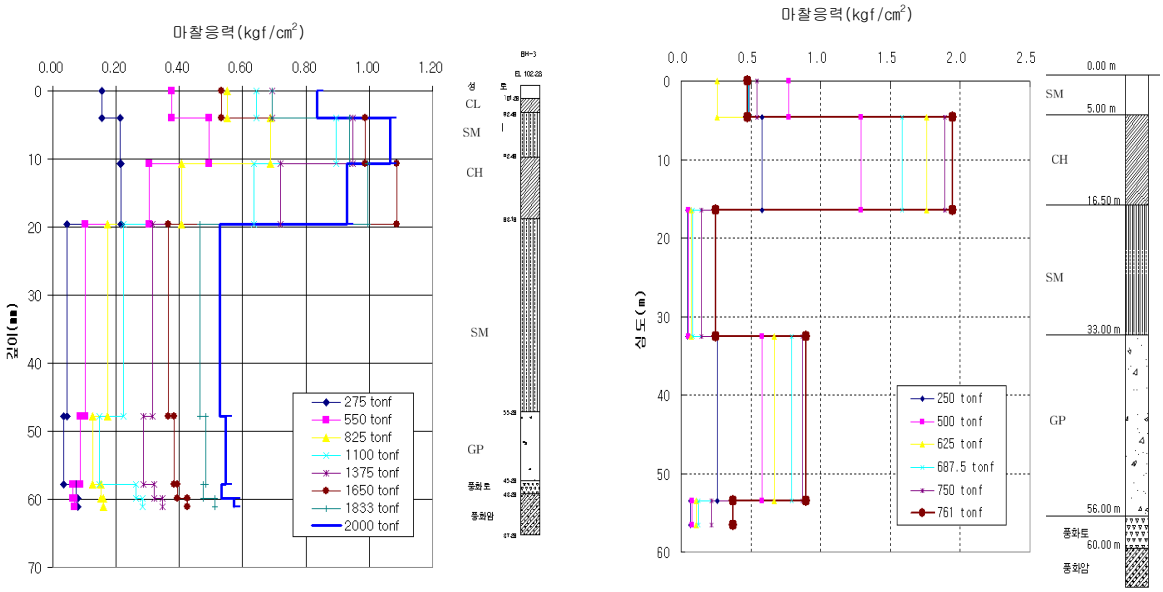
(a) 현장타설 콘크리트말뚝 (b) 항타 강관말뚝

그림 7. 축하중분포도

두 개의 시험말뚝에 대한 지층별 평균마찰응력을 그림 8에 나타내었다. 현장타설 콘크리트말뚝의 최대재하하중 2000 tonf에서의 각 지층별 평균마찰응력은 상부 CL(0.84 kgf/cm^2), 상부 SM(1.07 kgf/cm^2), CH(0.93 kgf/cm^2), SM(0.53 kgf/cm^2), GP(0.55 kgf/cm^2), 풍화토(0.53 kgf/cm^2) 풍화암(0.57 kgf/cm^2)으로 나타났다.

항타 강관말뚝의 최대재하하중 761 tonf에서의 지층별 평균마찰응력은 상부 SM(0.476 kgf/cm^2), CH(1.945 kgf/cm^2), SM(0.249 kgf/cm^2), GP(0.896 kgf/cm^2), 풍화토(0.371 kgf/cm^2)으로 나타났다.

현장타설 콘크리트말뚝의 경우는 상부 SM(3.2~9.8m)에서 1.07 kgf/cm^{2}으로 가장 크게 발휘되었으며, 항타 강관말뚝은 CH(5~16.5m)에서 1.945 kgf/cm^{2}으로 가장 크게 나타났다.

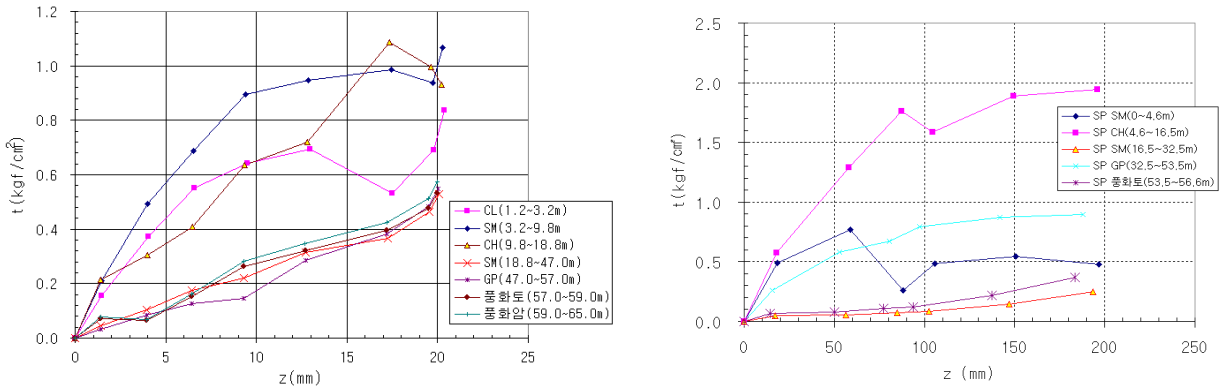


(a) 현장타설콘크리트말뚝 (b) 항타강관말뚝

그림 8. 지층별 평균마찰응력 분포도

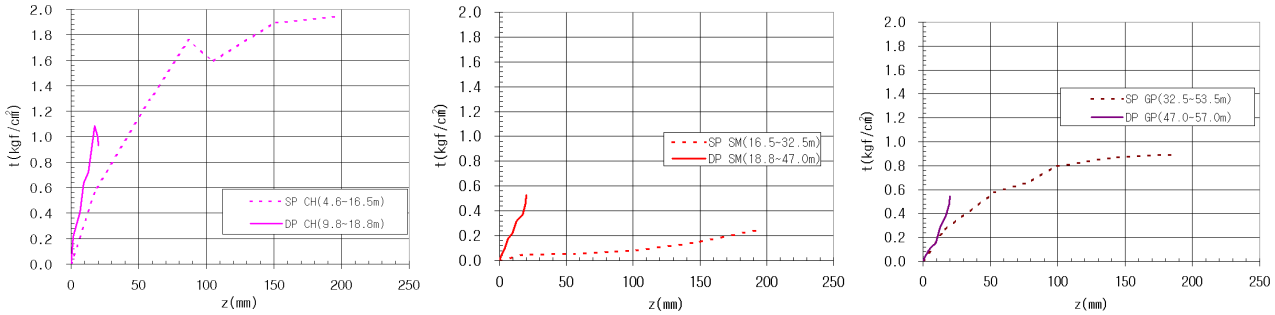
5. t-z 곡선 분석

그림 9(a), (b)에는 각 지층별 평균마찰응력을 지층별 변위에 대하여 나타낸 것으로 현장타설 콘크리트말뚝의 변위보다 항타 강관말뚝의 변위가 약 10배 정도 더 크게 발생한 경우이다. 그림 10은 항타 강관말뚝과 현장타설 콘크리트말뚝에 대한 지층별 t-z곡선을 도시한 것이며, 현장타설 콘크리트말뚝의 변위값이 작은 이유는 재하시험시 탄성영역 이내에서 시험이 종료되었기 때문이다. 그림 10에서 보는 바와 같이 강관말뚝의 경우, 각 지층별 변위가 100mm이상이면 주면마찰력의 증가량이 수렴하는 경향을 볼 수 있었다. 이는 그리고, 각 지층별로 동일한 변위가 발생할 때, 현장타설 콘크리트말뚝에서의 주면마찰력이 항타 강관말뚝의 경우 보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있었으며, 변위가 증가할수록 그 경향이 더욱더 커진다는 것을 알 수 있었다. 이것은 현장타설 콘크리트말뚝과 항타 강관말뚝의 주면 거칠기 차이 및 시공방법 차이(기성 말뚝과 현장 시공말뚝)로 인한 것으로 판단된다.



(a) 현장타설 콘크리트말뚝 (b) 항타 강관말뚝

그림 9. 각 지층별 t-z 곡선



(a) CL층의 t-z 곡선 (b) SM층의 t-z 곡선 (c) GP층의 t-z 곡선

그림 10. 항타 강관말뚝과 현장타설 콘크리트말뚝의 t-z 곡선 비교

6. 결 론

현장타설 콘크리트말뚝과 항타 강관말뚝의 주면마찰 거동에 관한 분석 결과는 다음과 같다.

(1) 항타 강관말뚝의 t-z 곡선으로부터 각 지층별 변위가 100mm이상이면 주면마찰력의 증가량이 수렴하는 경향을 확인할 수 있었다.

(2) 동일한 변위가 발생할 때, 현장타설 콘크리트말뚝에서의 주면마찰력이 항타 강관말뚝의 경우 보다 훨씬 크게 나타났으며, 변위가 증가할수록 그 경향이 더욱 더 커질 것으로 판단된다. 이것은 현장타설 콘크리트말뚝과 항타 강관말뚝의 주면 거칠기 차이와 시공방법 차이로 인한 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 주식회사 동아지질, 부산 지하철 3호선 312공구 시험보링 지반조사보고서, 2002. 2.
2. 주식회사 동아지질, 부산 지하철 3호선 대전-미남 구간 기본설계 지반조사, 1996. 9.
3. 최용규(2003), 부산 지하철 3호선 312공구 강관말뚝 정재하시험 및 하중전이 보고서, 경성대학교 공학기술연구소.
4. 최용규(2003), 부산 지하철 3호선 312공구 현장타설말뚝 정재하시험 및 하중전이 보고서, 경성대학교 공학기술연구소.