

긴말뚝의 축하중 전이거동에 관한 사례연구

Case Study on The Behavior of Axial Load Transfer for Long Piles

최용규¹⁾, Yongkyu Choi, 이호근²⁾, Ho Geun Lee, 이관호³⁾, Kwan-ho Lee, 김명학⁴⁾, Myung Hak Kim, 서정혜⁵⁾, Jeonghae Seo, 정두환⁶⁾, Doo Hwan Jeong

- 1) 경성대학교 건설·환경공학부 부교수, Associate Professor, Dept of Civil & Environmental Engrg, Kyung Sung University
- 2) (주)자유건설 대리, Assit. Manager, Jayou construction Inc.
- 3) 경성대학교 건설·환경공학부 전임강사, Full Time Lecturer, Dept of Civil & Environmental Engrg, Kyung Sung University
- 4) 인제대학교 토목공학과 전임강사, Full Time Lecturer, Dept of Civil Engrg, Inje University
- 5) 경성대학교 건설·환경공학부 대학원 석사과정, Graduate Student, Dept of Civil Engrg, Kyung Sung University
- 6) 동아대학교 대학원 석사과정, Graduate Student, Dept of Civil Engrg, Dong-A University

개요(SYNOPSIS) : In this study, a lot of cases for pile design in domestic and foreign countries were selected and the axial load transfers were researched by comparing the measured results with the results predicted by APILE^{PLUS}.

While the friction ratio by pile load test was more than 80% for cohesive soils and about 70% for cohesionless soils, the friction ratio estimated by APILE^{PLUS} was more than 95% for cohesive soils, 60~70% for cohesionless soils and about 100% for combined soil strata. While, in the case of foreign countries, pile design considering the behavior of axial load transfer has been generalized, just up to 21% of side friction was considered in the domestic pile design.

Even through the pile tip penetrated into hard layer, the side friction was a major resisting component except the cohesionless soil. But, even in the case of cohesionless soil, the side friction took more than 20% of ultimate pile capacity except short pile. Therefore, if the side friction which is currently neglected in domestic pile design can be considered, the optimized pile design will be performed.

1. 서론

현행 우리나라 말뚝기초의 설계관행은 시험말뚝에 대한 말뚝재하시험을 실시하지 않은 채 개략적인 추정 설계로써 설계를 종료하고 있어 대부분의 말뚝기초는 선단지지말뚝으로 되어 있다. 따라서, 말뚝주면에서 크게 발휘될 수 있는 마찰력을 무시하므로 매우 비경제적인 설계가 이루어지고 있을 뿐만 아니라 말뚝의 축하중 전이거동은 전혀 반영하지 못한 추정 설계 (또는 예비 설계)만이 이루어지고 있는 실정이다. (최용규, 1998)

말뚝기초의 연직 하중 전이거동은 말뚝의 관입깊이, 지반의 종류, 말뚝의 공법등에 따라 달라질 것으

로 예상된다. 말뚝의 관입깊이가 짧으면 선단 지지력이 우세하게 발휘될 수 있고 긴말뚝이면 마찰 지지력이 우세하게 발휘될 수 있을 것이다. 그리고, 항타 말뚝은 마찰력에 의해 지지될 수 있으며, 매입 말뚝은 마찰력보다는 선단지지력에 의해 지지될 가능성이 높다.

본 연구에서는 각 종류의 지반에 항타 시공된 말뚝 기초들의 말뚝재하시험 사례나 설계사례를 수집하였으며 말뚝의 연직지지력 해석 코드인 APILE^{PLUS}에 의해 해석된 결과와 말뚝 정재하시험결과를 비교·분석하여 긴 말뚝의 축하중 전이거동을 규명하였다. 이와 같은 축하중의 전이양상에 관한 연구는 현장에 설치된 실물 크기의 말뚝에 축하중 계측 장치를 부착 (또는 매설)하여 수행된 말뚝 정재하실험 결과들을 통하여 이루어져야 할 것이다. 그러나, 본 연구에서는 비용과 시간 문제로 직접 재하 시험을 수행하지는 못 하였으며 국내·외에서 수행된 사용 가능한 말뚝재하시험들을 활용하고 말뚝해석 전용 코드인 APILE^{PLUS}에 의해 해석된 결과들을 분석하였다. 따라서, APILE^{PLUS}의 국내지반에의 적용성, 제한된 말뚝재하시험자료, 극히 제한된 하중전이실험자료등으로 인하여 한계는 있을 것으로 예상되어진다.

2. 해석 사례선정 및 해석 결과

2.1 해석사례선정

지반의 종류를 달리하여 12개의 해석사례들을 선정하였는데, 지반의 경우 대표지층이 점성토, 실트, 사질토 그리고 혼성지층인 것이 각각 3, 1, 4 그리고 4개소씩이었으며 개단강관말뚝과 콘크리트 말뚝을 각각 10개와 2개 선정하였다. 대부분의 사례에서 정재하시험이 수행되었으며, 일부 사례에서는 PDA (Pile Driving Analyzer)가 수행되었다. 또한, 일부사례에서는 말뚝재하시험 중 하중전이를 측정하였다. 선정된 사례들은 표 1에 요약하였다. 표 1에는 말뚝특성 (종류, 제원 그리고 탄성계수), 적용된 말뚝재하시험종류, 하중전이측정여부, 말뚝기초의 설계개념, 적용현장명 그리고 사례구분기호등을 비교적 상세하게 나타내었다. 그러나, 지층주상도는 제한된 지면관계로 수록하지 못하였으나 참고문헌 (이호근, 1998)을 참조할 수 있을 것이다.

표 1. 선정된 해석 사례 요약표

지반종류	말뚝종류	말뚝제원			탄성계수 (kPa)	재하시험	하중전이 측정	설계개념	현장명	사례분류
		직경(mm)	두께(mm)	관입깊이(m)						
점성토	개단강관 말뚝	8128	14.0	36.2	2.1×10^8	PDA	무	선단지지 ($R_t = 0\%$)	연료단지진입도로 P2-16	C-1
	개단강관 말뚝	7620	30.0	30.0	2.1×10^8	정재하시험	유	마찰지지 ($R_t = 98\%$)	영국 TilBrook지역	C-2
	개단강관 말뚝	7620	15.0	40.0	2.1×10^8	정재하시험	유	마찰지지 ($R_t = 98\%$)	영국 Pentre지역	C-3
실트	개단강관 말뚝	4064	8.0	30.0	2.1×10^8	.	무	선단지지 ($R_t = 0\%$)	진영-허남간 도로교량	M-1
사질토	개단강관 말뚝	5080	12.0	33.0	2.1×10^8	정재하시험	무	?	○○현장 가설공사 P16-7	S-1
	개단강관 말뚝	7631	38.6	44.0	2.1×10^8	정재하시험	유	선단+마찰 ($R_t = 70 \sim 75\%$)	Jamuna Bridge	S-2
	개단강관 말뚝	7631	38.6	78.3	2.1×10^8	정재하시험	유	선단+마찰 ($R_t = 67\%$)	Jamuna Bridge	S-3
	PHC말뚝	4000	70.0	21.0	2.5×10^7	정재하시험	무	선단+마찰 ($R_t = 21\%$)	부산대한통운신축부지 말뚝재하시험	S-4
혼성토층	개단강관 말뚝	5080	12.0	39.0	2.1×10^8	정재하시험	유	마찰지지 ($R_t = 94\%$)	남향대교 영도 육상부 교각기초	CO-1
	개단강관 말뚝	8128	16.0	54.6	2.1×10^8	정재하시험 정동재하시험 PDA	무	선단지지 ($R_t = 0\%$)	녹산대교 교각기초	CO-2
	개단강관 말뚝	18000	28.0	43.7	2.1×10^8	.	무	선단+마찰 ($R_t = 14\%$)	남향대교 해상부교각기초	CO-3
	콘크리트 말뚝	6100	.	23.6	2.5×10^7	PDA	유	선단지지 ($R_t = 38.8\%$)	미국사례	CO-4

해석코드에 의한 변수로 입력될 지반특성치들의 산출을 위해 수행된 현장 및 실내역학실험들을 표 2에 수록하였다. 표준관입시험 (SPT)이 주로 실시되었으며, CPT 와 PMT 등의 현장시험과 실내삼축압축 실험등이 부분적으로 실시되었다. 각 사례에서 산출된 지반특성치들을 요약하면 표 2와 같다. 이들 지반 특성치들은 표 2에 열거된 현장 및 실내실험결과들을 활용하여 산출되었다.

표 2 산출된 지반특성치 및 시험들의 요약표

지반	현장명	지층 구분	γ' (kN/m ³)	ϕ ($^{\circ}$)	K	N_{60}	ω (kPa)	c/p ratio	f (kPa)	q_u (kPa)	현장 및 실내시험
점성토	연료단지 진입도로	0~2.7 (매립층)	8.82	28	1	18.40	-	-	-	-	SPT, UU, CU Test
		2.7~10.8 (점토)	5.72	-	-	-	16.38	0.23	-	-	
		10.8~36.0 (점토)	7.09	-	-	-	26.18	0.10	-	-	
		36~37.83 (자갈, 모래)	10.78	45	1	230	-	-	-	-	
	영국 Tilbrook	0~17 (점토)	11.8	-	-	-	405	4.04	-	-	CPT 기본물성 실험 및 역학실험
		17~32 (점토)	11.2	-	-	-	554.3	2.03	-	-	
	영국 Pentre	0~35 (점토)	9.42	-	-	-	90.06	6	-	-	CPT 기본물성 실험 및 역학실험
		35~46 (점토)	9.61	-	-	-	79.36	0.57	-	-	
실트	진영하남간 도로 교량기초	0~2.0 (SM)	10.6	30.5	1.0	60	-	-	-	-	SPT
		2.0~27.2 (ML)	7.6	29.99	1.0	60	-	-	-	-	
		27.2~35 (Sand stone)	-	-	-	-	-	-	94.28	100000	
사질토	OO현장 가설공사	0~21 (SP-SM)	5.88	32	1.0	23.18	-	-	-	-	SPT
		21~31.3 (SM)	6.66	40	1.0	64.20	-	-	-	-	
		31.3~37.5 (GW)	9.80	38	1.0	48.93	-	-	-	-	
	부산대원통운 신축부지말뚝 재하시험	0~8 (매립토 실트질 모래와 자갈)	7.84	32	1.0	23.18	-	-	-	-	SPT
		8~22 (실트질 모래)	6.86	33	1.0	26.09	-	-	-	-	
	Jamuna Bridge	0~3.2	7.84	29.7	0.8	58	-	-	-	-	SPT CPT
		3.2~3.9	7.84	29.1	0.8	57	-	-	-	-	
		3.9~8.6	7.84	28.2	0.8	40	-	-	-	-	
		8.6~12.9	8.82	30.6	0.8	60	-	-	-	-	
		12.9~35.6	8.82	33.9	0.8	110	-	-	-	-	
35.6~50.45		8.82	34.5	0.8	110	-	-	-	-		
혼성토층	남향 영도측 육상부	0~11 (사질토)	10	39.6	1	300	-	-	-	-	SPT, PMT, 기본 물성실험
		11~19 (사질토)	10.5	43	0.8	80	-	-	-	-	
		19~25 (점토)	10	-	-	-	87	0.36	-	-	
		25~35 (점토)	10.5	-	-	-	189	0.63	-	-	
	녹산대교 교각기초	0~11.6 (점토)	6.86	-	-	-	-	0.25	-	-	SPT, 기본 물성실험
		11.6~30.6 (점토)	6.86	-	-	-	-	0.25	-	-	
		30.6~40.8 (사질토)	7.35	30	0.8	57	-	-	-	-	
		40.8~55.8 (점토)	7.84	-	-	-	-	0.25	-	-	
	남향대교 해상부 교각기초	0~1.0 (SW-SM)	10.6	33.8	1.0	80	-	-	-	-	기본물성실험 및 역학실험, SPT, PMT
		1.0~19.0 (SM)	9.6	33.8	1.0	110	-	-	-	-	
		19.0~27.0 (CL)	8.6	-	-	-	40	0.2	-	-	
		27.0~31.2 (GC)	10.6	36.0	1.0	170	-	-	-	-	
31.2~36.5 (SM)		9.6	35.4	1.0	150	-	-	-	-		
36.5~40.7 (풍화암)		-	-	-	-	-	-	105.02	28000		
미국사례	0~1.8 (Sandy clay)	9.6	-	-	-	75	4.25	-	-	SPT	
	1.8~5.2 (Fine sand)	8.6	28.8	1.0	56	-	-	-	-		
	5.2~7.0 (Soft clay)	10.6	-	-	-	30	0.4	-	-		
	7.0~13.4 (Fine sand)	8.6	28.2	1.0	54	-	-	-	-		
	13.4~14.0 (Lime stone)	-	-	-	-	-	-	43.36	150000		
	14.0~23.6 (Calcareous sand)	8.6	30.9	1.0	61	-	-	-	-		

3. 해석코드에 의한 해석결과

3.1 말뚝머리 하중-침하량 관계

그림 3에는 점토지반에서 선정된 사례들에 대한 말뚝머리하중과 침하량 관계의 해석된 결과와 말뚝재하 실험에 의한 측정결과를 도시하였다. 극한상태의 말뚝머리하중과 침하량의 해석치와 실험치에 대한 점성토층에서의 한 사례를 그림 4에 도시하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이, APILE^{PLUS}에 의해 예측된 말뚝머리하중과 침하량 관계는 실험에 의해 측정된 그것과 잘 일치하지는 않았다.

점성토의 경우 예측된 지지력은 실측치보다 작은 값을 나타내었으며 실측치의 0.4~0.9배 이내에 있었다. 혼성토층의 경우에도 예측된 지지력은 실측치의 0.7 ~ 1.0 배 이내에 들었다. 반면, 사질토의 경우 예측된 지지력은 실측치의 1.3 ~ 3.5 배 정도로 크게 나타났다. 따라서, APILE^{PLUS}에 의해 지지력을 예측하는 것은 쉽지 않을 수도 있을 것으로 예상되었다.

침하량의 경우 예측치는 실험치 보다 훨씬 작게 계산되었으며 예측치는 실측치의 0.06~1.0배 이내에 들었다.

지지력과 침하량의 경우 해석치와 실측치는 큰 차이를 나타내었으므로 해석코드에 의한 결과를 그대로 국내지반에 설치된 말뚝기초의 설계에 적용하는 것은 무리가 있을 것으로 예상되므로 더욱 많은 사례들을 선정하여 검증해야 할 필요성이 있을 것이다.

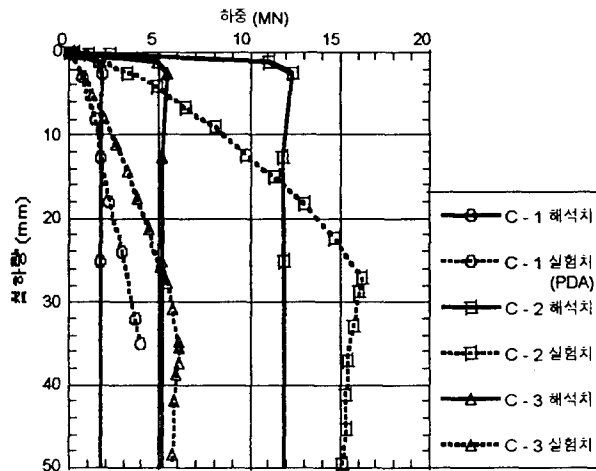
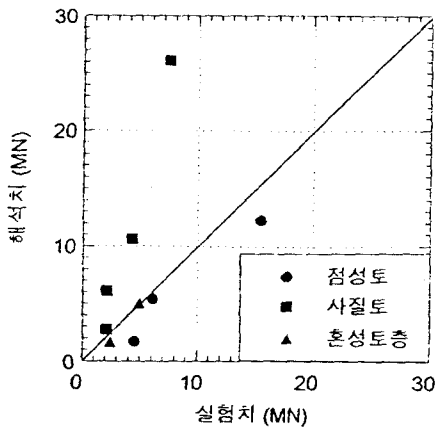


그림 3. 말뚝머리하중과 침하량 관계의 실험치와 계산치의 비교 (점성토층)

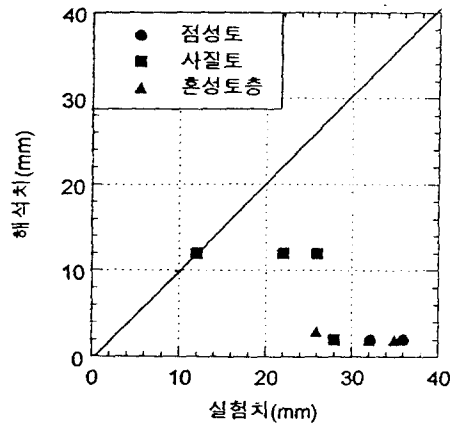
3.2 깊이에 따른 축하중의 전이

서론에서도 언급한 바와 같이 축하중의 전이 양상에 관한 연구에서는 하중 전이 실험이 수반된 말뚝 정재하시험 결과를 통하여 연구되어야 할 것으로 판단되지만, 비용과 시간의 제약으로 인하여 깊이에 따른 말뚝 축하중의 분포를 APILE^{PLUS}를 사용하여 예측하였다.

그림 5와 6에는 깊이에 따른 예측된 말뚝 축하중전이와 실측된 결과를 도시하였으며, 극한하중상태까지의 축하중 전이양상을 임의 하중 단계별로 도시하였다. 해석치의 경우 말뚝머리 하중의 크기는 해석 코드내에서 지정되어지므로 등간격으로 분할되지는 않았다. APILE^{PLUS}에 의해 예측된 말뚝 축하중의 전이 양상은 실측된 축하중의 전이양상과 대체로 일치하였다. 따라서, 선정된 사례들의 깊이에 따른 축하중의 전이양상은 APILE^{PLUS}에 의하여 예측된 결과를 비교·분석하는 것으로 하였다.

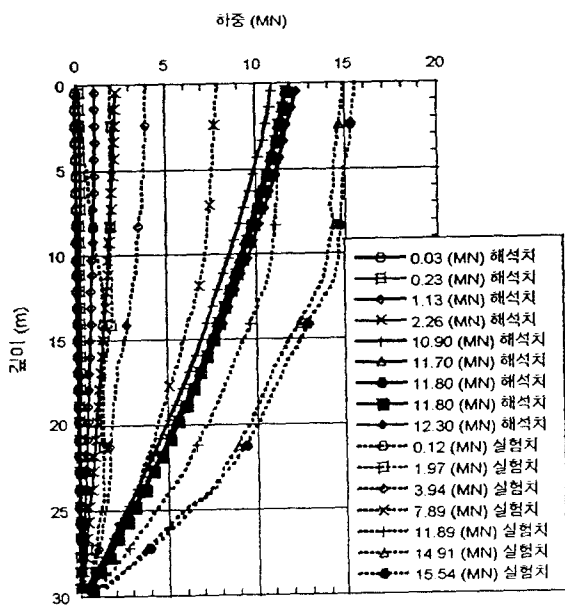


(a) 지지력



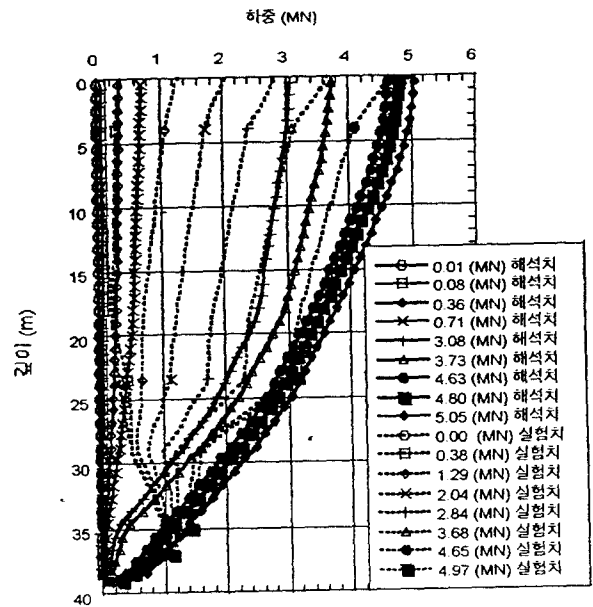
(b) 침하량

그림 4. 극한하중 상태의 지지력과 침하량에 대한 해석치의 비교



(b) C-2

그림 5. 깊이에 따른 축하중 분포도 (점성토) (Clarke, 1992)



(a) CO-1

그림 6. 깊이에 따른 축하중 분포도 (혼성토층) (부산광역시 건설안전관리본부, 1997)

4. 긴말뚝의 축하중 전이거동

4.1 긴 말뚝의 축하중 전이특성 분석

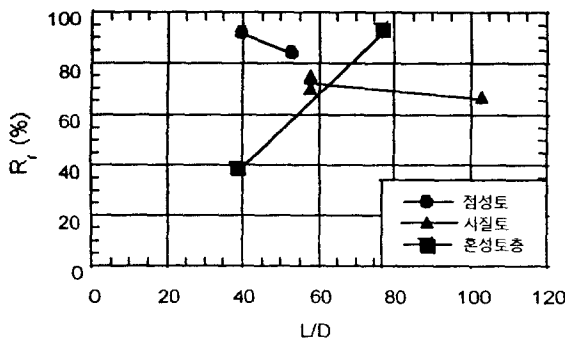
그림 7에는 선정된 사례들의 설계도서에 나타난 설계개념상의 마찰력 분담율, 해석코드의 결과와 말뚝재하시험 결과에 대한 마찰력 분담율을 나타내었다. 그림 7(a), (b), (c) 그리고 (d)에는 실험결과, 해석결과, 국내 사례들에 적용된 설계개념 그리고 외국사례들에 대한 마찰력 분담율 R_f 를 각각 나타내었다.

말뚝재하시험결과들에 대한 마찰력 분담율은 점성토의 경우 80%를 상회하였으며, 사질토의 경우 70% 정도였다 (그림 7(a)). 해석결과들에 대한 마찰력 분담율 R_f 는 점성토의 경우 95%이상이었으며 사질토의 경우 60~72% 정도였고, 혼성토층의 경우에는 CO-1을 제외하면 거의 100%에 근접하였다 (그림 7(b)). 국내사례들에 대한 설계개념상의 마찰력 분담율은 극히 낮았으며, 마찰력을 무시하거나 매우 작게 고려하였다 (그림 7(c)). 본 연구에서 선정된 사례들에서는 21%가 가장 많이 고려된 상태였다. 여기서 혼성토층의 한 사례인 CO-1은 실시 설계 단계에서 하중 전이 실험이 수반된 말뚝 정재하시험을 수행하여 설계된 사례이었으므로 국내 사례이지만 외국에서 일반화되어 있는 설계개념을 고려하여 설계된 사례이므로 예외로 하여야 할 것이다. 국외 사례들에 대한 설계 개념상의 마찰력 분담율은 점성토의 경우 84% 이상이었으며, 사질토의 경우 67~75%정도였다 (그림 7(a)).

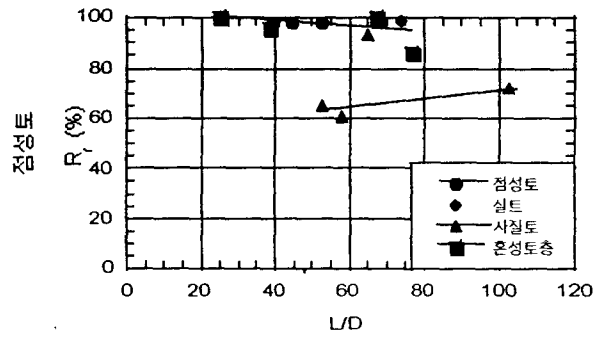
그림 7(d)에 나타난 결과들은 그림 7(a)에 나타난 것과 동일한 결과이었다. 국내 사례이지만 실시설계 단계에서 말뚝정재하시험을 수행하여 설계된 CO-1의 경우에는 외국 사례의 설계개념과 유사한 경향을 나타내었다.

사례 S-2와 S-3는 국내 유명 건설회사에 의해 외국에서 수행된 공사였는데 이 경우 축소 말뚝에 대한 재하시험을 실시한 후 공사를 수행하였다. 여기서, 축하중의 전이 특성을 제대로 활용하였으며 마찰력 분담율은 67~75%였다.

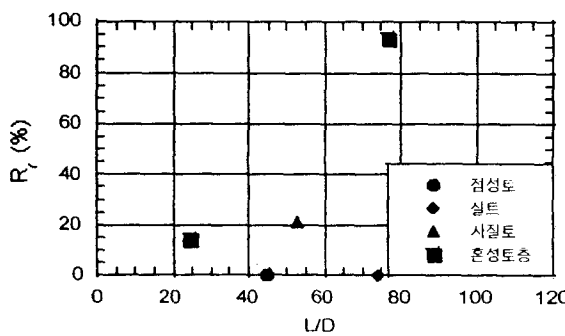
그러나, 같은 시공회사가 국내에서 공사를 수행할 경우에는 마찰력 분담율을 그림 7(c)에 나타난 정도로 극히 낮게 반영하는 것은 무엇 때문일까? 이에 대한 해답은 여러 부문에서 찾을 수 있을 것이며, 많은 것을 생각해 볼 수 있게 하는 대목이 아닌가 싶다.



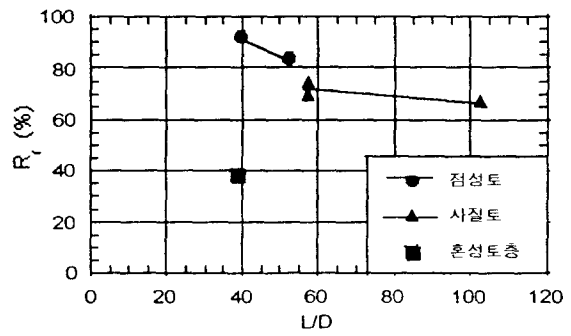
(a) 실험결과



(b) 해석결과



(c) 설계도서의 결과 (국내)



(d) 설계도서의 결과 (국외)

그림 7. 말뚝의 관입깊이/직경 (L/D)과 마찰력 분담율 (R_f)과의 관계

4.2 말뚝 관입 길이에 따른 축하중 전이 특성

그림 8에는 대표 지반종류별 말뚝 관입 길이의 변화에 따른 축하중 전이 특성을 나타내었다. 여기서, 말뚝 관입 길이는 말뚝 직경으로 정규화하여 상대 관입 깊이 (L/D)로 표시하였다. 앞 절에서 볼 수 있듯이 사질토를 제외한 지반들에서는 마찰력 분담율이 크게 나타났으며 상대관입깊이가 10이하로 되더라도 마찰력 분담율은 대체로 80%를 상회하였다. 반면, 사질토의 경우 약간 다른 축하중 전이 양상을 나타내었다. 상대관입깊이 L/D 이 100정도로 매우 큰 경우에도 마찰력 분담율은 약 70% 정도였으며, 이는 점성토의 경우와 비교하면 매우 감소된 상태였다.

상대관입깊이 L/D 이 감소함에 따라 마찰력 분담율은 급격히 감소하였는데, 상대관입깊이가 10정도일 때 R_f 가 20정도이었고, 상대관입깊이가 10이하로 되면 R_f 는 매우 작은 값이 되었다.

이와 같은 결과로부터 말뚝기초의 축하중 전이 양상을 추론해 볼 수 있었다. 말뚝선단이 지지층에 지지되어 있는 경우이더라도 사질토를 제외한 지층에서는 마찰력이 우세하게 발휘되었으며, 말뚝의 관입 깊이가 매우 작더라도 마찰력이 전체 지지력의 80%이상을 차지하였다. 그러나, 사질토층에서는 마찰력이 다소 낮게 발휘되었으나 상대관입깊이가 10이하로 될 때까지는 마찰력이 전체 지지력의 약 20%정도를 부담하였다. 따라서, 말뚝 선단부가 지지층에 관입되어 있는 경우이더라도 사질토층이외의 지층에서는 마찰지지개념으로 설계개념을 전환해야 할 것으로 판단되었으며, 사질토층의 경우에도 상대관입깊이가 10이하로 극히 작은 경우가 아니라면 마찰력을 고려한 설계 개념으로 수정해야 할 것으로 판단되었다.

마찰력을 설계에 고려하기 위해서는 극한 지지력에서 마찰력이 차지하는 비율인 마찰력 분담율 R_f 를 결정해야 하는 데, 이는 하중전이 실험이 수반된 말뚝 정재하 시험을 수행해야만 가능할 수 있다. 따라서 설계단계에서 말뚝 정재하 시험을 실시해야 하며, 이때 극한 하중 단계까지 재하하여야 할 것으로 판단된다 (최용규, 1998).

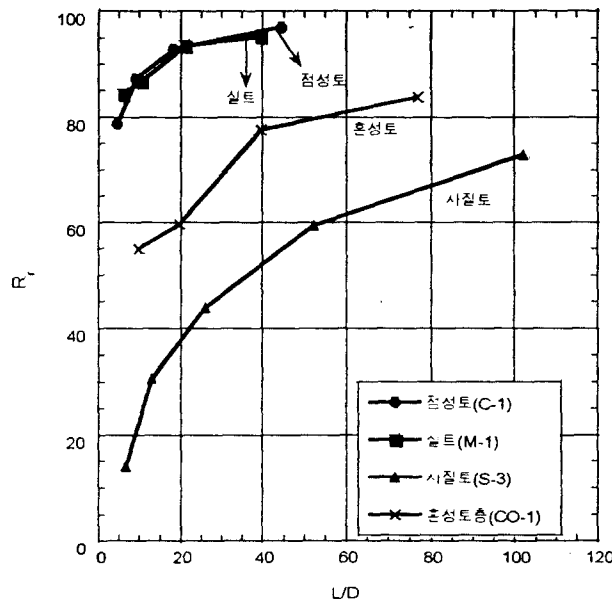


그림 8. 각 지반의 종류별 관입깊이에 따른 축하중 전이특성

5. 결론

연직 말뚝의 축하중 전이 양상에 관한 연구는 하중전이 실험이 수반된 실물크기 말뚝에 대한 정재하 시험 결과를 활용하여 이루어져야 할 것이다. 그러나, 본 연구에서는 국내·외의 사례들을 각 지반 종류 별로 선정하였으며, APILE^{PLUS}로 해석하여 예측된 결과치와 측정된 결과치를 분석하여 축하중 전이 특성을 고찰하였다. 본 연구에서 얻은 결론들은 다음과 같다.

- (1) APILE^{PLUS}에 의해 예측된 연직 말뚝의 축하중 전이 양상은 실측치와 대체로 비슷하였다.
- (2) 하중전이 실험이 수반된 말뚝정재하 실험 결과에 의한 마찰력 분담율은 점성토의 경우 80%를 상회하였으며, 사질토의 경우 70% 정도였다. 그러나 혼성토층의 경우에는 축하중 전이 자료가 충분하지 않아 경향을 알아내는 것이 곤란하였다.
- (3) APILE^{PLUS}에 의한 예측결과에 대한 마찰력 분담율은 점성토의 경우 95% 이상이었으며, 사질토의 경우 60~72% 정도였고, 혼성토층의 경우에는 1개 사례를 제외하면 대체로 100%에 근접하였다.
- (4) 외국의 사례들에 대한 마찰력 분담율은 결론 1)에서 설명한 것과 동일하며, 이것은 하중 전이 시험이 수반한 말뚝 재하 실험을 수행하여 말뚝기초의 실제 거동을 확인한 다음 설계를 완성한다는 것을 의미한다.
- (5) 국내 사례들에 대한 설계개념상의 마찰력 분담율은 극히 낮았으며, 마찰력을 무시하거나 매우 작게 고려하여 21% 정도가 가장 많이 고려된 상태였다. 이와 같은 말뚝기초의 하중전이 특성과 피리된 선단 지지의 설계개념을 개선해야만 경제적이고 합리적인 말뚝기초의 설계가 이루어 질 수 있을 것이다.
- (6) 말뚝선단이 지지층에 관입되어 있는 경우이더라도 사질토층이외의 지층에서는 마찰지지개념으로 설계개념을 전환해야 할 것으로 판단되었으며, 사질토층의 경우에도 상대관입깊이가 10이하로 극히 작은 경우가 아니라면, 마찰력을 고려한 설계 개념으로 수정해야 할 것으로 판단되었다.
- (7) APILE^{PLUS}에 의해 예측된 연직말뚝의 극한 지지력은 평균적으로 실측치의 40~350% 정도의 오차범위에 있었으나 침하량은 실측치의 5~100% 정도의 오차 범위에 있었다. 따라서, 해석코드에 의한 결과를 그대로 국내지반에 설치된 말뚝기초의 설계에 적용하는 것은 무리가 있을 수도 있으므로 더욱 많은 사례들을 선정하여 검증해야 할 것이다.
- (8) 본 연구에서는 각 지반 종류별로 3~4개 정도의 사례를 선정하였다. 이와 같은 많지 않은 사례들로 인하여 제한된 결론만을 도출하였으며, 향후 사례들을 추가하여 일반적인 적용성을 찾기 위한 연구를 계속하여야 할 것이다.

참고문헌

1. 부산광역시 건설안전관리본부 (1997), “제 2 부산대교 건설 실시설계-설계목적의 말뚝재하시험 결과 보고서,” 1997. 6.
2. 이호근(1998), “긴말뚝의 축하중 전이거동에 관한 연구,” 경성대학교 산업대학원 토목공학과 석사학위논문, 1998. 8.
3. 최용규, 오세봉, 권오균, 김동수, 안태경 (1997), “실대형 말뚝재하시험의 축방향 하중 전이해석,” 가을 학술발표회논문집, 한국지반공학회, 1997, pp. 365 - 372
4. 최용규 (1998), “알기쉬운 말뚝기초공학,” 부산광역시 건설안전관리본부 공무원 교육교재, 1998. 6.
5. Clarke, J. (1992), “Large-scale pile tests in clay,” Proceeding of the conference “Recent largescale fully instrumented pile tests in clays” held at the Institution of Civil Engineers, London, on 23 -24 June.
6. Reese, L.C., & Wang, S.T. (1995), “Documentation of Computer Program, APILE^{PLUS} for Windows, Analysis of the Axial Capacity of Driven Piles,” Ensoft, Inc.