

말뚝의 정재하시험을 통한 현장시험 결과 분석

A Comparative Study on Field Tests for Driven Pile in Static Load Tests

천병식¹⁾, Byung-Sik Chun, 윤환호²⁾, Hwan-Ho Youn, 윤병태³⁾, Byung-Tae Youn, 김영훈⁴⁾, Young-Hun Kim

- 1) 한양대학교 토목공학과 교수, Professor, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.
- 2) 서영 ENG사원, Seo-Yeong ENG, Employee
- 3) 한양대학교 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.
- 4) 한양대학교 토목공학과 석박사과정, Unified course of the master's and the doctor's, Dept. of Civil Engineering, Hanyang Univ.

SYNOPSIS : In This paper, load-settlement curves that obtained from 11 sites were analyzed. At all tests, the load is applied until apparent failure is observed. The validity of the ultimate and yield load estimation method and load calculated from the settlement criterion was investigated through comparison with the measured data. The result indicated that B. Hansen 80% criterion and Stability Plot in ultimate loading decision law almost have been regarded as same by comparing measured data and ultimate bearing capacity decided in depending yield loading decision law from 13% to 46% difference have taeyaeen came out when measured data and Davisson was compared, and S-log t from 5% to 41% log P-log S from 14% to 50% difference have been came out. When Settlement standard and measured data was compared difference had been came out about 3% in total settlement 0.1D criterion and from 12% to 35% difference had been came out in net settlement.

Keywords : Load-settlement curve, Bearing capacity, Driven pile, Static load test

1. 서론

말뚝의 지지력에 대한 안정평가에 가장 중요한 것은 말뚝의 허용지지력이며, 이는 극한하중 또는 항복하중에 일정값의 안전율을 적용하여 결정한다. 허용지지력은 여러 지지력 예측방법에 의해 극한지지력을 산정할 경우 통상 안전율 3.0 이상을 적용하고 있으며, 재하시험에 의해 지지력을 확인할 경우는 시험횟수, 지반조건 등에 따라 조금씩 다른 안전율을 적용하도록 규정되어 있기도 하다(한국지반공학회, 2003). 일반적으로 말뚝설계시 각종 현장 원위치시험 및 실내토질시험결과를 기준으로 지층구성 및 토질정수를 결정하고, 그 값을 기준으로 여러 연구자들이 제안한 이론식으로 말뚝의 지지력을 산정한다. 그 후 현장 시공 시에 적정한 말뚝을 선정하여 지지력 시험을 실시하여, 설계에서 결정한 지지력을 만족하는가를 확인하게 된다. 하지만, 지반조건, 말뚝의 종류, 말뚝의 시공방법, 시공조건 등에 따라 이론식에서 산정한 말뚝의 지지력과 현장시험 결과에서 얻어진 지지력이 서로 다른 결과를 보여주는 예가 많으며, 말뚝의 재하시험으로 실측된 하중-침하 특성을 분석하여 실측 허용지지력을 판정하는 기준은 하중 및 침하량 곡선을 분석하는 방법, 침하량을 적용하는 방법 등에 따라 국내외적으로 다양한 기준이 있고 기준별 안전율의 적용 또한 매우 다양하게 제시되어 있다. 따라서 어떤 기준을 적용하느냐에 따라

허용지지력은 각기 다르게 평가되므로, 기준별 허용지지력 평가에 관한 비교 연구가 필요하다(황성식, 2001).

따라서 본 연구의 목적은 극한하중이 비교적 분명하게 나타난 타입말뚝의 정재하시험 결과를 이용하여 침하량기준과 극한 및 항복하중 판정기준으로 극한하중을 선정하고 그 값을 실측치와 비교 분석하여 각 판정 방법들에 대한 적용성을 평가하였다.

2. 현장 정재하시험 개요

2.1 현장 개요 및 말뚝 제원

본 논문에서는 다양한 극한하중 판정법들과 현장 시험결과와의 비교를 위해 11개 현장에서 파괴가 현저하게 나타날 때까지 재하한 정재하 시험 데이터 19개를 이용하여 분석하였다. 현장 및 말뚝 제원은 표 1과 같다.

표 1. 현장 및 말뚝 제원((주)고려기초연구소, 1994a~1994l)

현 장	시험번호	말뚝직경 및 종류	시 공 법	근입 깊이
군산 oo 아파트	1-1	φ350 PC	디젤해머로 직항타	10.1 m
	1-2	φ350 PC	디젤해머로 직항타	9.0 m
	1-3	φ350 PC	디젤해머로 직항타	11.1 m
포항 oo 아파트	2-1	φ400 PHC	천공 후 디젤해머로 타입	19.0 m
부천 oo 역사	3-1	φ350 PC	시멘트풀 주입공법	9.5 m
경부고속철도 제 o-o 공구	4-1	609.6×12t ST	디젤해머로 직항타	11.7 m
부산 oo 아파트	5-1	φ500 PC	시멘트풀 주입공법	20.7 m
천안시 oo 아파트	6-1	φ350 PC	디젤해머로 직항타	7.0 m
	6-2	φ350 PC	디젤해머로 직항타	5.0 m
	6-3	φ350 PC	디젤해머로 직항타	7.4 m
분당 oo 아파트	7-1	φ350 PC	디젤해머로 직항타	6.2 m
	7-2	φ350 PC	디젤해머로 직항타	5.4 m
경부고속철도 제 o-o 공구	8-1	609.6×12t ST	디젤해머로 직항타	7.4 m
부산해운대oo아파트	9-1	φ400 PC	시멘트풀 주입공법	13.0 m
	9-2	φ400 PC	시멘트풀 주입공법	13.5 m
	9-3	φ400 PC	시멘트풀 주입공법	13.4 m
마산시 oo 아파트	10-1	φ400 PC	디젤해머로 직항타	11.5 m
	10-2	φ400 PC	디젤해머로 직항타	13.5 m
oo-oo간 도로확·포장공사	11-1	508×10t ST	디젤해머로 직항타	9.6 m

2.2 말뚝재하 시험 방법

기초말뚝의 지지력을 추정하는 방법에는 정역학적 지지력 공식과 동역학적 지지력 공식 등이 있으나, 이들 방법은 신뢰도가 낮으므로 현재로서는 현장에서 재하시험을 실시하여 지지력을 직접 확인하는 방법이 가장 최선이라고 할 수 있다(임종철 외 1996).

본 논문에서 정재하시험 데이터 19개의 현장시험방법은 ASTM D1143 및 KS F 2445의 표준재하방법을 일부 수정하여 다음과 같은 방법으로 시험을 실시하였다. 최대 재하하중은 설계하중의 225~250%로 하고 재하하중단계는 재하하중의 25%를 단위로 재하였으며, 재하과정은 잔류침하량 기준 적용

을 위하여 설계하중의 50% 단위마다 재하하여 확인하였다. 그리고 하중유지시간은 각종 기준에서 적용하는 0.01inch/hr 미만이 되면 안전한 것으로 판단하고 다음 단계 하중으로 시험을 계속하였다.

3. 현장시험 결과 및 비교분석

3.1 현장시험 결과

현장시험 결과는 그림 1~3과 같이 각 하중에 대한 침하량 곡선으로 나타 내었고, 이를 이용하여 각 판정법을 이용한 극한지지력 산정결과는 표 2~4와 같다.

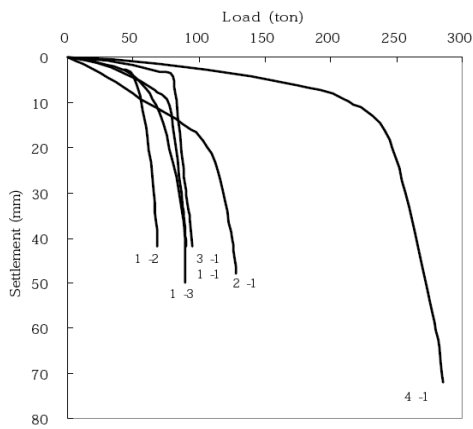


그림 1. 하중-침하량 곡선

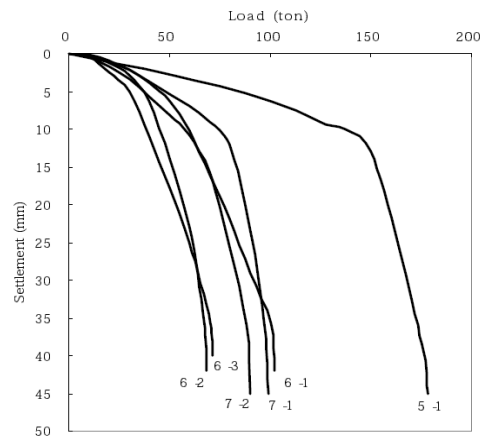


그림 2. 하중-침하량 곡선

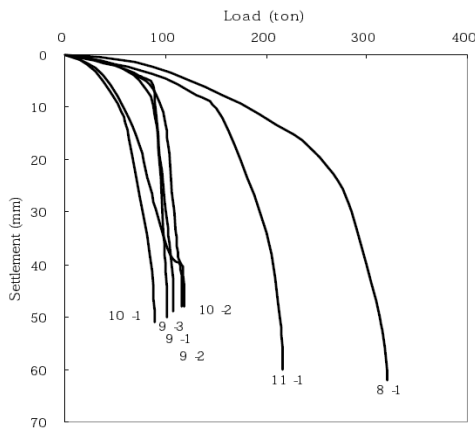


그림 3. 하중-침하량 곡선

3.2 극한하중 판정법에 의한 파괴하중 비교

극한하중판정법에 의한 파괴하중 비교결과는 표 2와 같이 극한지지력을 실측치와 비교하여 보면 B. Hansen 80% 기준과 Stability Plot 방법이 거의 일치하여 가장 신뢰성이 있는 방법으로 판단되며, Mazurkiewicz 방법은 평균 117.3ton으로 실측치와 비교하면 약 8%가 작게 산정되었고, Chin의 방법은 평균 140.9ton로 실측치와 비교하면 약 10% 크게 산정되었다.

표 2. 극한하중판정법에 의한 파괴하중 비교

시험 번호	(1) 실 측 치	극한하중판정법					실측값과 비교시				
		(2) B. Hansen 80%기준 (ton)	(3) Mazur- kiewicz (ton)	(4) Chin (ton)	(5) Stabili- ty (ton)	(6)평균	(7) (2)/(1) ×100 (%)	(8) (3)/(1) ×100 (%)	(9) (4)/(1) ×100 (%)	(10) (5)/(1) ×100 (%)	(11) (6)/(1) ×100 (%)
1-1	95.0	96.0	96.0	94.3	90.5	94.2	101.05	101.05	99.26	95.26	
1-2	68.0	68.6	71.0	70.9	66.5	69.3	100.88	104.41	104.26	97.79	
1-3	89.5	88.9	85.0	97.1	86.4	89.4	99.32	94.97	108.49	96.53	
2-1	127.5	130.0	120.0	153.8	131.8	132.1	101.96	94.11	120.62	103.37	98.03
3-1	90.0	88.2	82.0	99.0	88.4	89.4	98.00	91.11	110.00	98.22	
4-1	285.0	280.6	251.0	303.0	281.4	275.2	98.45	88.07	106.31	98.73	91.22
5-1	178.5	175.1	165.0	217.4	187.1	183.9	98.09	92.43	121.79	104.81	98.03
6-1	102.0	86.0	95.0	109.9	93.0	96.0	84.31	93.13	107.74	91.17	
6-2	68.5	62.9	63.0	71.4	64.4	65.4	91.82	91.97	104.23	94.01	
6-3	71.5	68.8	63.0	79.4	65.3	69.1	96.22	88.11	111.04	91.32	
7-1	99.0	99.8	97.0	108.7	95.3	99.2	100.80	97.97	109.79	96.26	95.95
7-2	90.0	96.1	80.0	104.2	85.7	91.5	106.77	88.88	115.77	95.22	
8-1	320.0	324.2	300.0	357.1	317.2	324.6	101.31	93.75	111.59	99.12	
9-1	108.0	104.2	96.0	112.4	104.9	104.1	96.48	88.88	104.07	97.12	95.37
9-2	119.0	112.6	108.8	123.5	115.2	112.5	94.62	90.75	103.78	96.80	86.55
9-3	102.0	105.8	93.0	106.4	100.6	101.5	103.72	91.17	104.31	98.62	
10-1	89.0	84.4	73.0	100.0	84.4	85.5	94.83	82.02	112.35	94.83	
10-2	116.0	115.8	110.0	131.6	105.2	115.7	99.82	94.82	113.44	90.68	
11-1	217.0	220.6	190.0	238.1	211.2	215.0	101.65	87.55	109.72	97.32	
평균	128.18	126.77	117.83	140.96	120.3	127.0	98.42	92.37	109.39	96.69	94.19
표준 편차							4.75	4.95	5.65	3.54	2.30

3.3 항복하중 판정법에 의한 파괴하중 비교

항복하중에 의한 파괴하중의 비교결과는 표 3과 같이 Davisson(1972) 방법은 13~46% 차이를 보였으며, S-log t 방법은 5~41%, log P-log S 방법은 14~50% 정도의 차이가 나타났다. 침하량기준은 실측치와 비교하여 보면 각 기준별로 전침하량 0.1D기준에서는 평균적으로 약 3%의 차이를 나타냈으며, 순침하량 2.5%D기준에서는 12~35%의 차이를 나타냈다. 이때, 판정된 항복하중에 대해서는 안전율 1.5를 곱한 값을 극한하중으로 하여 실측값과 비교하였다.

표 3. 항복하중판정법에 의한 파괴하중 비교

시험 번호	(1) 실측치 (ton)	항복하중판정법					안전율을 고려하여 실측값과 비교시			
		(2) S-log t (ton)	(3) log p-log S (ton)	(4) dS/d (log t -P) (ton)	(5) Davis son (ton)	(6) 평균 (ton)	(7) $\{(2) \times 1.5\} \div$ $\{(1) \times 100\}$ %	(8) $\{(3) \times 1.5\} \div$ $\{(1) \times 100\}$ %	(9) $\{(4) \times 1.5\} \div$ $\{(1) \times 100\}$ %	(10) $\{(5) \times 1.5\} \div$ $\{(1) \times 100\}$ %
1-1	95.0	90.0	78.0	65.0	82.0	78.8	142.10	123.15	102.63	129.47
1-2	68.0	60.0	50.0	30.0	54.0	48.5	132.35	110.29	66.17	119.11
1-3	89.5	80.0	70.0	47.0	66.0	65.8	134.07	117.31	78.77	110.61
2-1	127.5	112.0	112.0	110.0	73.0	101.8	131.76	131.76	129.41	85.88
3-1	90.0	77.0	77.0	77.0	75.0	76.5	128.33	128.33	128.33	125.00
4-1	285.0	245.0	240.0	240.0	230.0	238.8	128.94	126.31	126.31	121.05
5-1	178.5	150.5	150.5	150.5	152.0	150.5	126.05	126.05	1260.5	127.73
6-1	102.0	60.0	50.0	67.0	55.0	58.0	88.23	73.25	98.52	80.88
6-2	68.5	40.0	40.0	46.0	42.0	42.0	87.59	87.59	100.72	91.97
6-3	71.5	40.0	40.0	50.0	35.0	41.3	83.91	83.91	104.89	73.42
7-1	99.0	80.0	78.0	78.0	67.0	75.8	121.21	118.18	118.18	101.51
7-2	90.0	70.0	70.0	55.0	48.0	60.8	116.66	116.66	91.66	80.00
8-1	320.0	245.0	245.0	220.0	198.0	227.0	114.84	114.84	103.12	92.81
9-1	108.0	87.5	87.5	85.0	88.0	87.0	121.52	121.52	118.05	122.22
9-2	119.0	87.5	87.5	80.0	97.0	88.0	110.29	110.29	100.84	122.26
9-3	102.0	87.5	75.0	73.0	89.0	81.1	128.67	110.29	107.35	130.88
10-1	89.0	60.0	60.0	60.0	50.0	57.5	101.12	101.12	101.12	84.26
10-2	116.0	75.0	75.0	58.0	57.0	66.3	96.98	96.98	75.00	73.70
11-1	217.0	175.0	175.0	160.0	157.0	166.8	120.96	120.96	110.59	108.52
평균	128.1	101.1	97.9	92.1	96.2	95.3	116.60	111.52	104.61	104.27
표준 편차							16.86	15.66	17.45	19.97

3.4 침하량 기준에 의한 파괴하중 비교

침하량 기준에 의한 파괴하중 비교결과는 표 4와 같다. 침하량 기준에 의한 극한하중 판정법 중 본 논문에서 다룬 전침하량 기준 3가지와 순침하량 기준 3가지 방법은 기준별로 차이가 크게 나타나 적용 시 반드시 다른 해석결과와 비교하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.

11개의 현장에서 재하시험으로 측정된 극한지지력 값과 극한하중 판정방법, 항복하중 판정방법, 전침하량 기준, 그리고 순침하량 기준을 활용한 산정결과 값을 비교함으로써 실측치와의 관계를 파악하였다. 침하량 기준을 활용한 산정값은 0.1D 전침하 기준을 활용한 값이 실측값과 가장 유사함을 보였고, 그 외 기준들을 활용한 값은 실측값보다 작게 산정되었다.

표 4. 침하량 기준에 의한 파괴하중 비교

시험 번호	(1) 실 측 치 (ton)	침하량 기준						실측값과 비교시						
		전 침하량 기준			순 침하량 기준			(8) 평균 (ton)	(9) (2)/(1) ×100 (%)	(10) (3)/(1) ×100 (%)	(11) (4)/(1) ×100 (%)	(12) (5)/(1) ×100 (%)	(13) (6)/(1)× 100 (%)	(14) (7)/(1) ×100 (%)
		(2) 0.1D (ton)	(3) 25.4m m (ton)	(4) 20mm (ton)	(5) 2.5% D (ton)	(6) 6.3m m (ton)	(7) 12.7m m (ton)							
1-1	95.0	92.3	88.0	85.9	83.0	81.7	84.0	85.8	97.15	92.63	90.42	87.36	86.00	88.42
1-2	68.0	66.5	63.3	61.5	54.0	50.0	60.0	59.2	97.79	93.08	90.44	79.41	73.52	88.23
1-3	89.5	87.1	81.3	77.1	67.0	63.0	72.0	74.6	97.31	90.83	86.14	74.86	70.39	80.44
2-1	127.5	124.6	113.6	105.2	106.0	102.0	110.0	110.2	97.72	89.09	82.50	83.13	80.00	86.27
3-1	90.0	87.8	83.6	81.2				84.2	97.55	92.88	90.22			
4-1	285.0	280.5	250.9	246.4	230.0	215.0	227.0	241.6	98.42	88.03	86.45	80.70	75.43	79.64
5-1	178.5	177.5	162.3	157.0	153.0	151.0	153.5	159.1	99.43	90.92	87.95	85.71	84.59	85.99
6-1	102.0	99.0	85.0	76.9	66.0	61.0	74.0	77.0	97.05	83.33	75.39	64.70	59.80	72.54
6-2	68.5	66.8	61.4	56.7	46.0	43.0	52.0	54.3	97.51	89.63	82.77	67.15	62.77	75.91
6-3	71.5	69.5	60.3	53.0	43.0	37.0	50.0	52.1	97.20	84.33	74.12	60.13	51.74	69.93
7-1	99.0	96.2	90.5	87.0	82.0	78.0	84.0	86.3	97.17	91.41	87.87	82.82	78.78	84.84
7-2	90.0	87.3	79.8	74.3	62.0	57.0	66.0	71.1	97.00	88.66	82.55	68.88	63.33	73.33
8-1	320.0	319.5	272.7	253.3	260.0	194.0	248.0	257.9	99.84	85.21	79.06	81.25	60.62	77.50
9-1	108.0	105.8	97.3	93.9	83.0	80.0	87.0	91.2	97.96	90.09	86.94	76.85	74.07	80.55
9-2	119.0	116.3	106.0	103.3	101.0	90.0	103.0	103.3	97.73	89.07	86.80	84.87	75.63	86.55
9-3	102.0	99.5	94.3	92.4	82.0	78.0	84.0	88.4	97.45	92.45	90.58	80.39	76.47	82.35
10-1	89.0	86.3	73.1	67.5	62.0	56.0	67.0	68.7	96.96	82.13	75.84	69.66	62.92	75.28
10-2	116.0	112.6	85.0	78.2	68.0	62.0	74.0	80.0	97.06	73.27	67.41	58.62	53.44	63.79
11-1	217.0	214.3	184.4	174.5	170.0	154.0	170.0	177.9	98.75	84.97	80.41	78.34	70.96	78.34
평균	128.1	125.7	111.2	106.5	95.6	86.9	98.1	106.4	97.74	88.00	83.36	75.82	70.02	79.43
표준 편차									0.80	4.77	6.37	8.39	9.52	6.46

3.5 각 판정법에 의하여 산정된 값과 실측값의 비교

각 판정 방법에 의한 극한지지력 산정값과 현장재하시험의 실측값을 비교한 결과는 그림 4~6과 같다. 분석결과, 극한하중 판정법 중 Mazurkiewicz 방법이 평균 117.3ton으로 실측치와 비교하면 약 8%가 작게 산정되었고, Chin의 방법은 평균 140.9ton로 실측치와 비교하면 약 10% 크게 산정되었다.

B. Hansen 80%(1961) 기준과 Stability Plot 방법으로 결정된 극한하중 값은 실측값과 가장 일치하였으며, 항복하중 판정법으로 구한 항복하중에 1.5배를 하여 비교한 결과 $dS/d(\log t)$ -P 방법과 Davisson(1972) 방법이 실측값과 가장 유사한 값을 나타냈다. 항복하중 판정법은 다른 판정법에 비해 표준편차가 비교적 큰 것으로 나타났다.

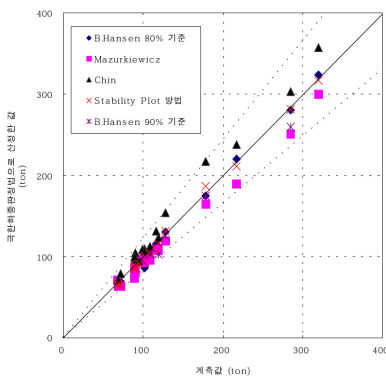


그림 4 극한하중판정법으로 산정한 값과 실측값 비교

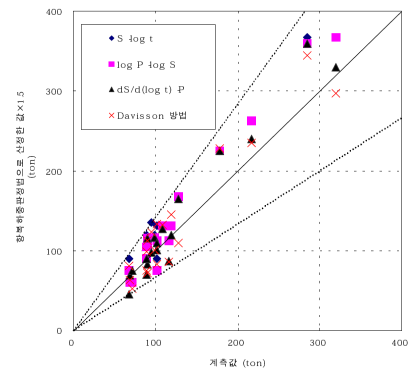


그림 5 항복하중판정법으로 산정한 값과 실측값비교

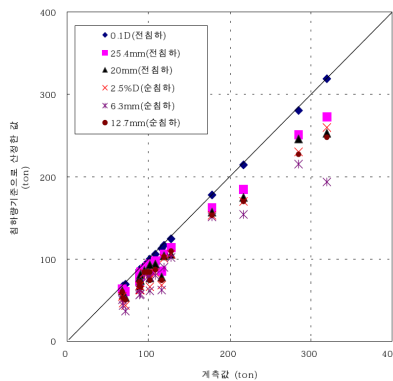


그림 6 침하량 기준으로 산정한 값과 실측값 비교

4. 결론

본 논문에서는 말뚝직경이 350~609.6mm이고 근입깊이가 5.0~19.0m로 시공된 중구경 말뚝에 대한 재하시험 결과를 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 극한하중 판정법 중 Mazurkiewicz 방법이 평균 117.3ton으로 실측치와 비교하면 약 8%가 작게 산정되었고, Chin의 방법은 평균 140.9ton로 실측치와 비교하면 약 10% 크게 산정되었다. 또한,

B. Hansen 80%(1961) 기준과 Stability Plot 방법으로 결정된 극한하중 값이 실측값과 가장 일치 하였다.

- (2) 항복하중판정법으로 구한 극한지지력은 실측치와 Davisson(1972) 방법을 비교하여 보면 13~46% 차이를 보였으며, S-log t 방법은 5~41%, log P-log S 방법은 14~50% 정도의 차이가 나타났다. 침하량기준은 실측치와 비교하여 보면 각 기준별로 전침하량 0.1D기준 에서는 평균적으로 약 3%의 차이를 나타냈으며, 순침하량 2.5%D기준에서는 12~35%의 차이를 나타냈다.
- (3) 침하량 기준에 의한 극한하중 판정법 중 본 논문에서 다룬 전침하량 기준 3가지와 순침하량 기준 3 가지 방법은 기준별로 차이가 크게 나타나 적용시 반드시 다른 해석결과와 비교하는 과정이 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 본 논문에서 분석된 극한하중 판정법들의 보다 정확한 분석을 위해서는 본 논문에서 적용된 결과와 같이 보다 많은 현장에서 파괴시까지 하중재하를 실시하여 분석된 데이터의 축척이 필요하다. 따라서, 본 연구에서 내린 결론이 충분하다고 볼 수 없으며, 향후 보다 많은 계측 자료 및 사례 분석을 통하여 이에 대한 다양한 연구가 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. (주)고려기초연구소(1994a), 군산시 나운동 우성아파트 말뚝재하시험 보고서, Report No. KFR-94-2, pp. 165-260.
2. (주)고려기초연구소(1994b), 동성 포항 창포 주공아파트 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94-28, pp. 180-250.
3. (주)고려기초연구소(1994c), 삼성 부천 민자역사 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94-31, pp. 69-160.
4. (주)고려기초연구소(1994d), 삼환 부산 다대아파트 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94-38, pp. 450-515.
5. (주)고려기초연구소(1994e), 천안시 성성동 우성아파트 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94 -39, pp. 63-180.
6. (주)고려기초연구소(1994f), 경부고속철도 제 4-2공구 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94 -37, pp. 129-150.
7. (주)고려기초연구소(1994g), 분당 주공 PC아파트 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94-45, pp. 519-600.
8. (주)고려기초연구소(1994h), 경부고속철도 제4-3공구 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94 -49, pp. 367-420.
9. (주)고려기초연구소(1994i), 천안시 성성동 우성아파트 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94 -52, pp. 236-315.
10. (주)고려기초연구소(1994j), 부산 해운대 신시가지 11-3B/L 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94-60, pp. 55-120.
11. (주)고려기초연구소(1994k), 마산시 해운동성아파트 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94- 65, pp. 160-199.
12. (주)고려기초연구소(1994l), 과천-우면산간도로 확포장공사 말뚝재하시험 보고서, Report NO. KFR-94-68, pp. 368-430.
13. Brinch Hansen, J.(1961), "The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces", *Danish Geotechnical Institute Bull.* No.12, Copenhagen, pp. 55-68.
14. Chin, F. K.(1970), "Estimation of the Ulimtate Load of Pile not carried to Failure," *Proceedings of 2nd Southeast Asian Conference on Soil Engineering* , Singapore, pp. 81-90.
15. Davisson, M. T.(1972), "High capacity piles. Proceedings of LectureSeries on Innovations in Foundation Construction", *American Society of Civil Engineers, ASCE*, Illinois Section, Chicago, March 22, pp. 81-112.
16. 한국지반공학회(2003), 건설교통부제정 구조물 기초설계기준 해설, **한국지반공학회**, pp. 277-378.
17. 황성식(2001), **암반에 관입된 현장타설말뚝의 정재하시험결과와 지지력 이론식과의 비교**, 한양대학교 대학원 석사학위 논문, pp. 31-46.
18. 임종철 외(1996), **토질공학 핸드북**, 구미서관, pp. 677-788.