

동재하시험의 신뢰도

The Reliability of Dynamic Pile Loading Test

홍헌성¹⁾ Hong, Hun-Sung, 조천환²⁾ Cho, Chun-Whan, 이명환¹⁾ Lee, Myung-Whan

1) (주)파일테크, (02)-3402-2361

2) 삼성물산(주), (02)-2145-6584

SYNOPSIS :

Since 1994, the dynamic pile loading test(DPT) method has been introduced to Korea. In order to confirm the reliability of the DPT, research was carried out by comparing the results with those obtained from conventional static loading tests. The results indicated that the DPT could give competitive evaluation of pile bearing capacity.

1. 서 론

근래 발생하였던 몇 건의 구조물 붕괴 사고의 영향으로 건설공사에서 품질확보에 대한 사회적 관심이 고조되고 있다. 이에 따라 각종 구조물 공사에서 기초의 안전성 여부를 확인하는 과정이 건설공사의 필수조건으로 정착되고 있음은 국내 건설 기술수준 향상에 큰 기여를 하고 있다.

기초의 안전확인에는 얇은기초의 경우 평판재하시험이 폭넓게 시행되고 있으며, 깊은기초의 재하시험도 건설공정의 일부분으로 자리잡아가고 있다. 깊은기초의 재하시험은 종래 사하중 재하방식과 반력말뚝 또는 반력앵커를 사용한 정재하시험이 위주가 되었으나 재하시험을 위한 시간 및 비용상의 문제로 시공된 말뚝의 극히 일부분만을 대상으로 한다는 한계를 극복할 수 없었다. 더구나 대구경 현장타설 콘크리트 말뚝의 경우 재하장치의 한계, 이에 소요되는 막대한 경비와 준비를 위한 시간 등의 제약으로 그 필요성은 폭넓게 인식되고 있지만 실제 시행은 거의 이루어지지 못하고 있는 실정이다. 이에 반하여 1994년도부터 국내에 적용되기 시작한 동재하시험은 그 시행이 정재하시험에 비하여 간편하며 따라서 건설현장의 공정에 큰 지장을 초래하지 않으며, 그에 소요되는 비용이 상대적으로 저렴하다는 장점이 널리 인식되어 그 적용이 급속도로 신장되고 있다. 이에 따라 동일현장에서 보다 많은 말뚝품질을 확인할 수 있고 따라서 시공된 품질에 대한 신뢰도를 높일 수 있다.

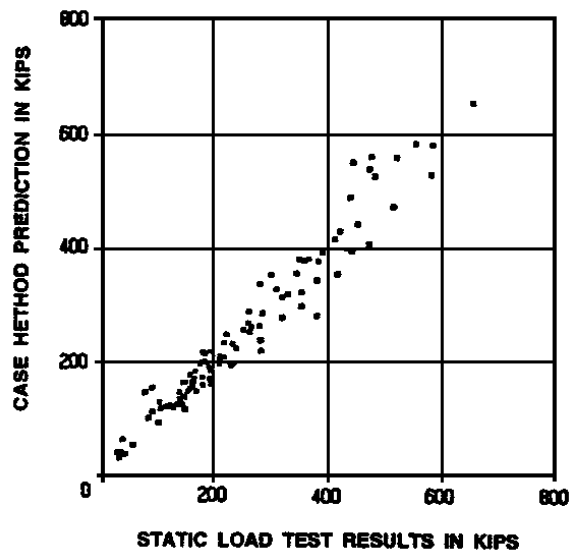
이처럼 동재하시험은 많은 장점을 갖고 있지만, 아직도 국내에서는 동재하시험의 신뢰도에 대하여 기술자들의 견해가 일치하지 못하고 있다. 동재하시험을 실시하는 주체에 따라 말뚝의 허용하중 판정시 2.0 ~ 3.0의 상이한 안전율을 적용하고 있으며, 심지어 동재하시험 자체의 신뢰도를 인정하지 않는 견해까지도 상존하고 있다는 점, 또한 현실이다.

본 논문에서는 그간 국내에서 동재하시험 결과의 신뢰도를 검증하기 위하여 실시한 15건의 정재하시험과의 비교검증 결과를 분석하였다. 연구결과, 동재하시험은 시험이 적절하게 수행되고 그 해석이 합리적으로 되었을 경우 정재하시험과 거의 일치하는 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

2. 동재하시험과 정재하시험 결과의 비교

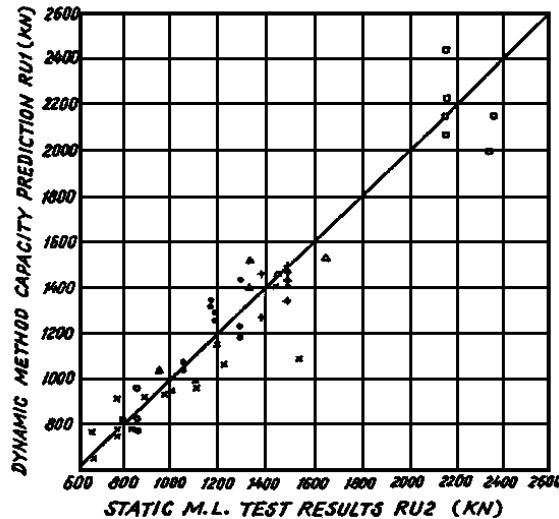
동재하시험이 적극적으로 활용되고 있는 외국에서도 동재하시험 적용 초기에는 그 신뢰도를 입증하기 위하여 정재하시험을 병행하여 검증하는 과정을 거쳤다.

그림1은 Rausche 등(1985)이 97개의 정재하시험 결과와 Case방법에 의한 동재하시험 결과를 비교한 것이다.⁽¹⁾ 비교결과 동재하시험에 의한 말뚝지지력은 정재하시험 결과와 대비해 볼 때 $\pm 15\%$ 정도의 오차를 갖는 것으로 해석되었으며, 이와 같은 오차범위는 정재하시험 실시방법 및 해석방법의 차이에서도 발생할 수 있는 것으로 볼 수 있다.⁽²⁾



[그림 1] 동재하시험 결과(case 방법)와 정재하시험 결과의 비교(Rausche 등)

Liang 등(1984)은 47개소의 비교시험을 수행하였다.⁽³⁾ 그림 2는 비교결과를 나타내고 있으며 몇개의 만족스럽지 못한 결과를 제외하면 대체로 양호한 신뢰도를 갖는 것으로 분석된다.



[그림 2] 동재하시험 결과와 정재하시험 결과의 비교(Liang 등)

이밖에 Holm 등(1984)⁽⁴⁾, Seidel과 Rausche(1984)⁽⁵⁾, Cheng과 Ahmad(1988)⁽⁶⁾, Fujita와 Kusakabe(1988)⁽⁷⁾, Chapman과 Wagstaff(1992)⁽⁸⁾ 등 이와관련한 많은 연구가 수행되었다. 이러한 연구결과는 연구자에 따라 상이하기도 하지만 대체로 동재하시험 결과는 정재하시험 결과와 비교해 볼 때 $\pm 10 \sim \pm 20\%$ 정도의 차이가 있는 것으로 보고되고 있다.

1994년 동재하시험 기법이 도입된 이래, 국내에서도 동재하시험의 신뢰도 문제가 제기되어 외국에서와 같은 검증과정을 거치게 되었다. 그러나 국내의 경우 아직 동재하시험이 본격적으로 활용된 기간이 상대적으로 짧아, 충분히 많은 검증이 이루어지지 못하는 못하였다.

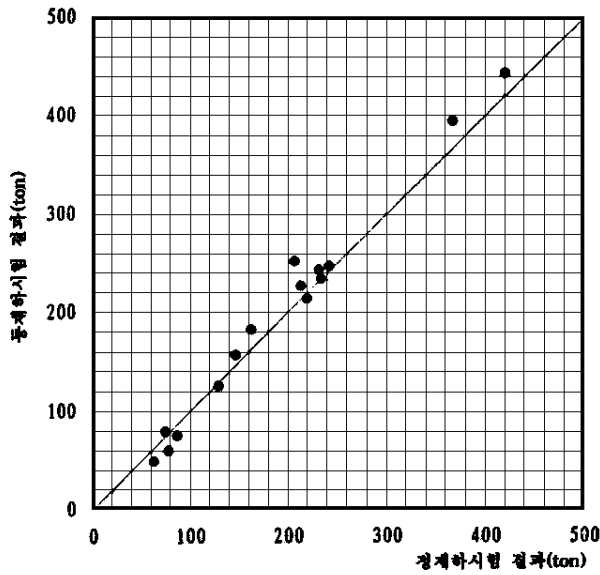
[표 1]에는 그간 저자들의 주관하에 실시한 15개소의 검증연구 결과를 요약하였다. 검증의 과정은 동재하시험을 실시한 후 그 결과를 발주처에 제출한 후 정재하시험을 실시하여 객관적 비교가 되도록 하였다.

[표 1] 동재하시험 결과와 정재하시험 결과의 비교

	말뚝규격, 종류	관입깊이 (m)	시공방법	[Q _u] _s	[Q _u] _D	[Q _u] _D /[Q _u] _s	비 고
1	φ 508, 강관	9.9	항타	368	394	1.07	반력말뚝
2	φ 350, PHC	11.0	항타	220	214	0.97	반력말뚝
3	φ 350, PHC	16.1	항타	234	234	1.00	반력말뚝
4	φ 350, PHC	13.4	항타	147	157	1.07	반력말뚝
5	φ 609, 강관	7.95	항타	421	443	1.05	반력말뚝
6	φ 406, 강관	15.6	항타	207	252	1.22	반력말뚝
7	φ 400, PHC	13.7	항타	232	243	1.05	반력말뚝
8	φ 350, PHC	11.3	항타	163	183	1.12	반력말뚝
9	φ 400, PHC	8.2	항타	129	126	0.98	반력말뚝
10	φ 508, 강관	7.3	항타	242	247	1.02	반력말뚝
11	φ 400, PHC	10.5	SIP	214	227	1.06	반력말뚝
12	φ 400, PC	8.3	항타	75	80	1.07	사하중
13	φ 400, PC	4.0	항타	78	61	0.78	사하중
14	φ 400, PC	7.0	항타	63	50	0.79	사하중
15	φ 400, PC	8.1	항타	87	76	0.87	사하중

주 : [Q_u]_s = 정재하시험에 의한 Davisson의 항복하중
 [Q_u]_D = 동재하시험에 의한 Davisson의 항복하중

[그림 3]은 [표 1]의 결과를 도시한 것으로, 외국에서의 연구결과와 거의 유사한 신뢰도를 확보하고 있음을 알 수 있다.



[그림 3] 동재하시험 결과와 정재하시험 결과의 비교

그간의 비교검증 결과를 통해 동재하시험의 신뢰도를 정재하시험 결과와 비교하여 검증하기 위해서는 다음의 몇가지 조건들이 충족되어야 함을 알 수 있다.

첫째, 말뚝의 지지력은 말뚝이 시공된 시점으로 부터의 경과된 시간에 따라 변화할 수 있다는 점⁽⁹⁾이 두가지 시험결과의 평가에서 고려되어야 한다. 이와같은 고려사항을 배제한 상태에서 두가지 시험 결과를 평가하는 것은 거의 불가능한 바 가능한 한 두가지 시험의 시점을 근접하도록 할 필요가 있다.

둘째, 동재하시험 결과의 해석은 기술자의 능력에 따라 상당한 차이가 있을 수 있음⁽¹⁰⁾을 이해하여야 한다.

셋째, 정재하시험은 시험방법에 따라 차이가 있을 수 있음을 인정할 필요가 있다. 잘 알려진 대로 사하중 재하방식의 경우 반력말뚝을 이용한 재하시험 결과보다 높은 지지력을 주기 때문이다.⁽¹¹⁾ [표 1]의 내용중 시험번호 12~15의 사하중 재하방식의 경우 정재하시험 결과가 다른 결과들에 비하여 높은 지지력을 주는 경향을 보더라도 이와 같은 요인의 영향을 유추할 수 있다.

위와같은 조건들 외에 정재하 시험 측정장치의 오차가능성, 말뚝의 수직도 문제, 정재하시험의 재하·제하 과정, 정재하시험의 해석방법 등 다양한 요소들이 신뢰도 평가에 고려되어야 할 것이다.

3. 결론

국내에서 동재하시험 적용을 위한 신뢰도 검증을 실시한 결과 동재하시험은 적절히 수행되고 합리적으로 해석될 경우 실무적으로 만족할만한 지지력 판정이 가능한 것으로 나타났다. 그러나 동재하시험을 효과적으로 활용하기 위해서는 아래와 같은 점들에 대한 고려가 되어야 할 것이다.

- (1) 동재하시험 결과해석은 기술자의 능력에 크게 좌우된다.⁽¹¹⁾ 따라서 동재하시험을 채택할 때는 이에 대한 고려가 필수적이며 이를 위해 정재하시험 병행등의 조치가 요구된다.
- (2) 정재하시험도 시험방법, 해석방법에 따라 오차가 발생할 수 있다. 따라서 시험장치의 검증이 강화되어야 할 것이며 전문기술자의 판단이 필요하다.
- (3) 대부분의 말뚝은 시간이 경과함에 따라 지지력이 변화한다. 이 개념을 말뚝지지력 해석에 도입하기 위해서는 시공시와 말뚝설치로부터 상당한 시간이 경과한 후에 재하시험을 실시하는 것이 필요하다.
- (4) 본 연구 및 외국의 연구에서 나타난 바와 같이 동재하시험은 정재하시험과 비교해 볼 때 어느정도의 오차는 불가피한 것으로 판단된다. 그러나 이러한 오차는 실무적으로 허용할 수 있는 것으로 판단되며, 여기에서 더 나아가 종래 250본당 1회의 정재하시험보다 많은 개소에서 동재하시험을 실시함으로써 시공된 품질의 현장 대표성을 제고하는 방향의 보완이 필요하다.

참 고 문 헌

1. Rausche, F., Goble, G. G. and Likins, G. E.(1985), "Dynamic determination of pile capacity," Journal of Geotechnical Engineering, ASCE. Vol.111, GT3, pp. 367-383.
2. 이명환, 윤성진(1992), "말뚝의 설계하중 결정방법에 대한 비교," 한국지반공학회 '92년도 봄 학술발표회 논문집, pp.69-102.
3. Liang, S. X., Zhou, F. L., Meng, X. C. and Yang, X. F.(1984)," Prediction of pile bearing capacity by stress-wave theory," Proceedings of the 2nd International Conference on the Application of Stress-Wave Theory on Piles, Stockholm, pp. 33-40.

4. Hom, G. and Jansson, M.(1984), " Dynamic and static load testing of friction piles in a loose sand," Proceedings of the 2nd International Conference on the Application of Stress-Wave Theory on Piles, Stockholm, pp. 240-243.
5. Seidel, J. and Rausche, F.(1984), " Correlation of static and dynamic pile tests on large diameter drilled shafts ", Proceedings of the 2nd International Conference on the Application of Stress-Wave Theory on Piles, Stockholm, pp. 313-318.
6. Cheng, S.S.M. and Ahmad, S.A.(1988), " Comparison of pile capacity evaluated by dynamic measurements and static loading tests five case studies in Ontario, Canada ", Proceedings of the 3rd International Conference on the Application of Stress-Wave Theory on Piles, Ottawa, pp. 477-489.
7. Fujita, K. and Kusabe, O.(1988), " On the evaluation of static bearing capacity, " Proceedings of the 3rd International Conference on the Application of Stress-Wave Theory on Piles, Ottawa, pp. 525-534.
8. Chapman, G. A. and Wagstaff, J. P.(1992), "Predictions of pile performance using dynamic testing, " Proceedings of the 4th International Conference on the Application of Stress-Wave Theory to piles, Hague, pp. 537-544.
9. 이명환, 홍헌성, 이원제(1994), "말뚝기초의 최적설계, " Keynote Lecture, 한국지반공학회 창립10주년 기념 및 '94 가을학술발표회 논문집, pp, 60-76.
10. Fellenius, B. H.(1988), " Variation of CAPWAP results as a function of the operator", Proceedings of the 3rd International Conference on the Application of Stress-Wave Theory on Piles, Ottawa, pp. 814-825.
11. van Weele, A.F.(1993), "Quality assessment foundation piles after installation," Keynote lecture, Proceedings of the 2nd International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles, Ghent, pp.459-467