

대구경 해상 강관말뚝의 설계지지력 확인을 위한 여러 가지 재하시험의 적용

Case Studies of Several Load Tests for Large Diameter Battered Steel Pipe Piles Constructed on the Offshore Area.

이정학¹⁾, Jeong-Hark Lee, 서덕동¹⁾, Deok-Dong Seo, 정현주¹⁾, Heon-Ju Chung

¹⁾ 대림산업(주) 기술연구소 연구원, Researcher, Technical Research Institute, Daelim Industrial Co. Ltd.

SYNOPSIS : It is very difficult to accomplish load tests of piles with large diameter constructed on the offshore area, because of requirement for large scaled loading equipment and bad testing conditions. Therefore, so far in many cases pile driving dynamic formulas have applied to quality control, and recently dynamic load test method is widely used for confirming bearing capacities of such piles. However, in cases of piles with very large diameter about 2,500mm, it is nearly impossible for regular type load test methods of piles such as static and dynamic to apply owing to very large design load. This is case studies of load tests such as modified static and dynamic load tests of piles and point load tests of rock samples for estimating rational allowable bearing capacity of very large diameter piles constructed on the marine area.

Key words : *Pile Load Test, Large Diameter Battered Pile, Design Load, Bearing Capacity.*

1. 서론

교량 및 도로의 해상구간 기초로는 많은 경우에 대구경(직경 800mm이상) 강관 말뚝이 이용되고 있으며, 이 경우 설계하중이 크고 시험 여건이 나빠 허용지지력 확인시 상당한 어려움이 있다. 지금까지 항타공식으로 품질확인이 이루어진 경우가 많았고, 최근같이 동재하시험으로 다수 말뚝의 시공상태가 확인되기 전에는 1분 정도의 정재하시험만으로 품질관리가 이루어지기도 했다. 그러나, 동재하시험의 경우도 편타 및 타격시의 말뚝 자체의 흔들림, 햄머용량부족 등으로 정밀한 평가는 어려운 실정이며, 정재하시험도 별도의 시험용 말뚝을 연직방향으로 시공하여 확인하는 실정이어서 시공된 말뚝에 대한 대표성에 문제가 제기될 수 있다. 특히, 직경이 2,500mm내외인 초대구경 말뚝의 경우는 설계하중이 상당히 커서 정재하중 하중조달이나 동재하중 햄머의 조달이 어려워 시험보다는 주로 경험식에 의존하여 왔다.

본 연구는 대구경 해상 강관말뚝의 설계하중 지지여부 확인을 위해 실시된 여러 가지 재하시험 적용 사례로서 정재하시험(말뚝내 선단부 평판재하시험) 및 동재하시험과 RCD굴착시 회수된 선단부 암편시료에 대한 점재하시험(Point Load Test)결과를 바탕으로 한 사례 연구이다.

2. 시공개요

2.1 지반특성

본 지역의 경우 전반적으로 상부에 실트질모래, 모래, 모래자갈, 실트질 모래, 실트질 점토, 점토 자갈 등으로 다양하게 나타나는 해성퇴적층인 충적층이 분포하며, 그 하부로 풍화대층(풍화토 및 풍화암층)에 이어 기반암(연암, 보통암, 경암)의 순으로 나타나고 있다. 한편, 시험위치에서의 선단부 암석 코아시료의 일축압축강도는 약 187kg/cm²이며, 코아회수율(TCR)은 19~27%정도이고, RQD

는 0%로 매우 저조한 상태를 보이고 있어 현장 압반상태가 매우 균열이 심한 상태를 보인다..

2.1 시공 개요

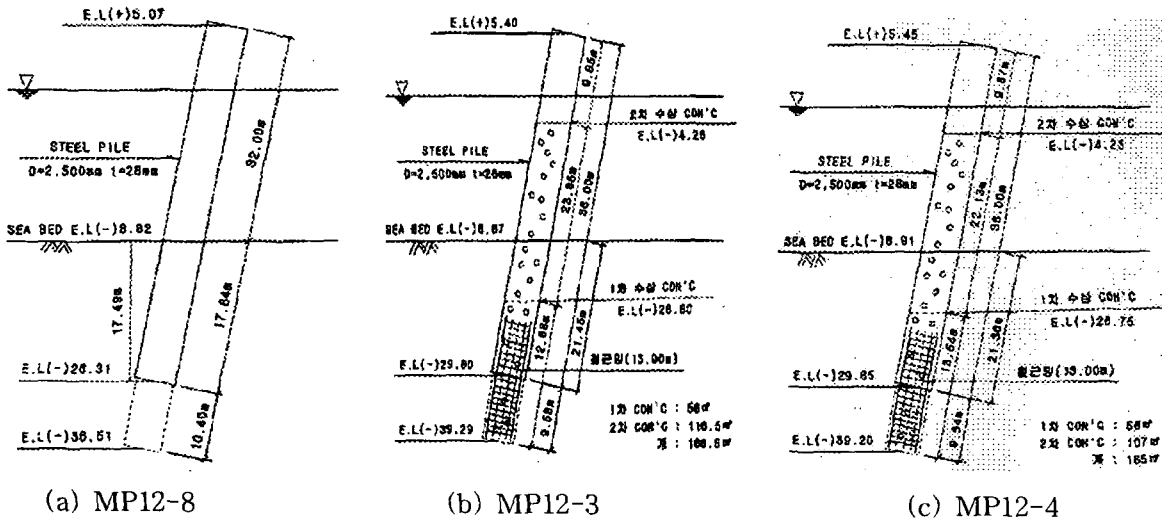


그림 1 시험용 말뚝 시공 현황(시험시점)

본 현장 말뚝의 시공은 해상에서 바이브로 햄머에 의해 시공가능한 심도까지 강관($\phi 2556\text{mm}$)을 타입하고 강관내부로 RCD($\phi 2200\text{mm}$)를 삽입하여 강관내부 및 선단 하부지반을 압축까지 굴착하여 콘크리트 속채움하여 시공되며, 11.3° 의 경사를 이루고 있다. 시공순서는 ① 강관말뚝 타입($\phi 2500\text{mm}$), ② 강관말뚝 내부 굴착, ③ 강관말뚝 선단 하부지반 RCD 굴착 ④ RCD 구간 철근망 삽입, ⑤ 1차 수중 Con'c 타설 ⑥ 2차 수중 Con'c 타설의 순서로 설명할 수 있다. 시험은 선단지지력 확인 목적의 정재하시험과 강관케이싱구간의 주면마찰력 확인 목적의 동재하시험이 실시된 말뚝(MP12-8)과 MP12-3 및 MP12-4 Pile과 같이 시공완료된 상태의 전체지지력과 가능할 경우 RCD 구간의 주면마찰력을 확인하기 위한 동재하시험이 실시된 말뚝 등에 대해 시험시점에서의 시공현황을 그림으로 나타내면 그림 1과 같으며, MP12-3, MP12-4말뚝은 강관말뚝 타입 및 RCD 굴착후 내부 콘크리트 속채움 완료된 상태였으며, MP12-8의 경우 강관말뚝 타입 및 RCD 굴착 완료후 내부 콘크리트 속채움은 이루어지지 않은 나공상태에 있었다.

3. 말뚝재하시험

3.1 정재하시험

3.1.1 시험개요

주면마찰력을 고려하지 않은 상태에서의 선단지지력만으로 설계하중의 지지가 가능할 경우 설계조건을 만족하게 되므로 소구경말뚝($\phi 812.8\text{mm}$)을 기시공된 나공상태의 대구경 말뚝속으로 삽입하여 선단지지력을 간접 확인하는 방법을 이용하고자 하였다.(MP 12-8 Pile) 이 때 반력하중은 기 시공되어 있는 $\phi 2,556\text{mm}$ 강관말뚝의 주면마찰력을 이용하였고, 시험하중은 설계하중 1,500ton에 해당하는 선단부의 하중강도($\phi 2,200\text{mm}$ RCD 굴착부)의 200% 이상(216%)을 내부삽입말뚝(선단부 $\phi 820\text{mm}$ Plate)에 해당하는 하중으로 환산(450ton)하여 재하하고자 계획하였다. 내부말뚝은 강관 $\phi 812.8\text{mm} \times 16\text{mm}$ t 말뚝의 선단부를 $\phi 820\text{mm} \times 60\text{mm}$ t의 Plate로 폐색시킨 후, Roller가 부착된 8.435m길이의 Stabilizer(H-300 \times 300 \times 10 \times 15)를 7m간격(5단), 십자형으로 부착하였다.(사진 1 참조)

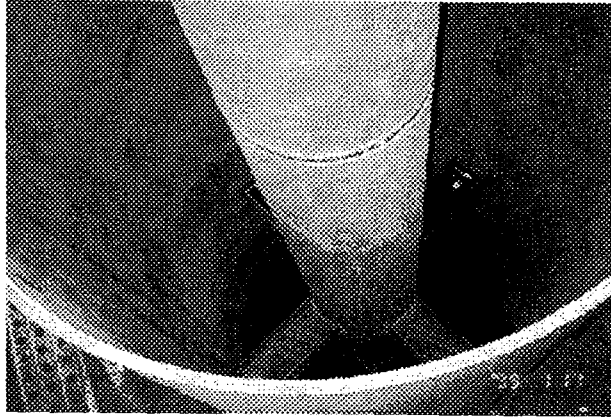


사진 1 내부말뚝의 삽입장면

3.1.2 시험장치의 개발

시험말뚝 선단부의 지지력을 간접 확인하기 위해 내부로 선단부가 폐색된 $\phi 812.8$ PILE을 삽입하였으며, 반력하중은 기시공되어 있는 $\phi 2,556\text{mm}$ 강관말뚝의 주변마찰력을 이용한 재하 장치를 개발하였다.(사진 2, 사진 3 참조)

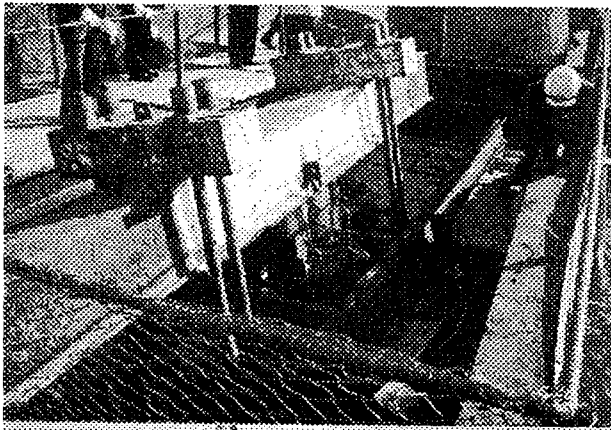


사진 2 시험 장면

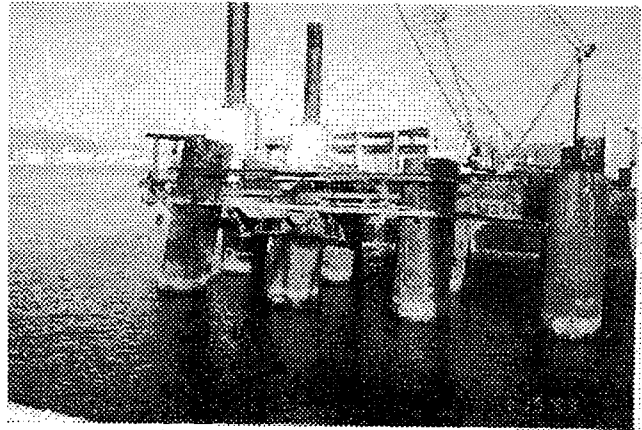


사진 3 시험 전경

3.1.3 시험결과

내부 삽입말뚝의 하중-침하곡선은 그림 2와 같다. 143.4ton 재하과정에서 극한상태를 보였으며 최종 측정된 침하량은 70.39mm 였다. 한편, 재하시험시 극한 하중이 발생한 경우는 안전율 3.0을 적용하므로 내부 삽입말뚝의 순허용지지력(Allowable Net Bearing Capacity)은 47.8ton이 된다. 강관케이싱구간($\phi 2,556\text{mm}$)에 대한 주변마찰력의 일부를 확인하기 위해 인발말뚝에 대해서도 하중재하시 변위를 측정하였으며, 143.4ton재하시 최종 인발량은 0.67mm로서 탄성변위량인 1.1mm에도 미치지 못하고 있었다.

3.1.4 시험결과 고찰

내부삽입말뚝의 단위면적당 극한 선단지지력은 271.5t/m^2 이므로 직경 2,200mm인 말뚝의 전체 선단부 면적에 대하여 적용하면 극한 선단지지력은 1032.1ton이 되며, 말뚝 선단부의 허용지지력은 3.0의 안전

율을 적용할 경우 344.0ton으로서 설계하중(1,500ton)에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 그러나, 내부 삼입말뚝 선단부 조건은 선단부 상부가 주변지반으로 구속된 일반적인 말뚝과는 차이를 보이고 있다. 즉, 실제로 하중이 재하된 부분은 직경 2,200mm인 RCD 굴착공 바닥면 중 중심부 직경 820mm에 불과하기 때문이다. 이러한 차이는 단순히 선단부 단면적이 약 7.2배 차이가 있다는 점보다는 지지력 Mechanism상의 근본적인 차이가 있다. 말뚝기초가 선단지지력을 발휘하는 원리에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔으나 이론적으로 완벽한 해석은 되지 못하고 있다. 그러나 지금까지의 각종 이론해석들 중 가장 보편적으로 응용되고 있는 개념은 그림 4와 같다.

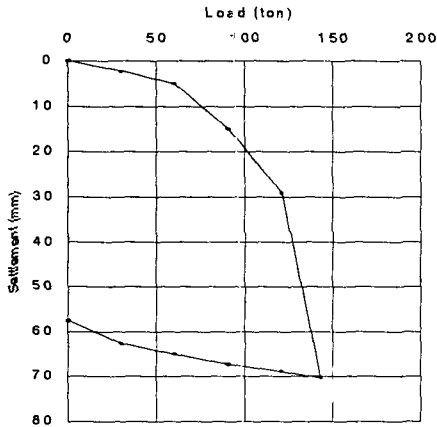


그림 2 선단부 압축재하시험 결과(내부 삼입말뚝)

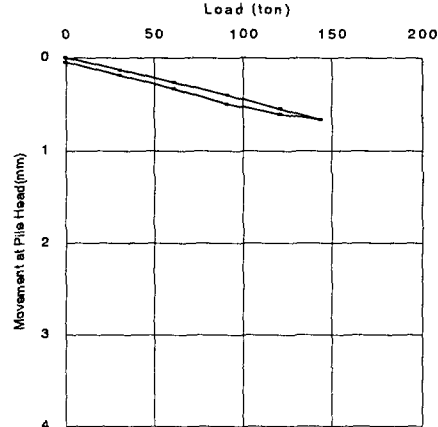


그림 3 강관 케이싱의 인발재하시험 결과

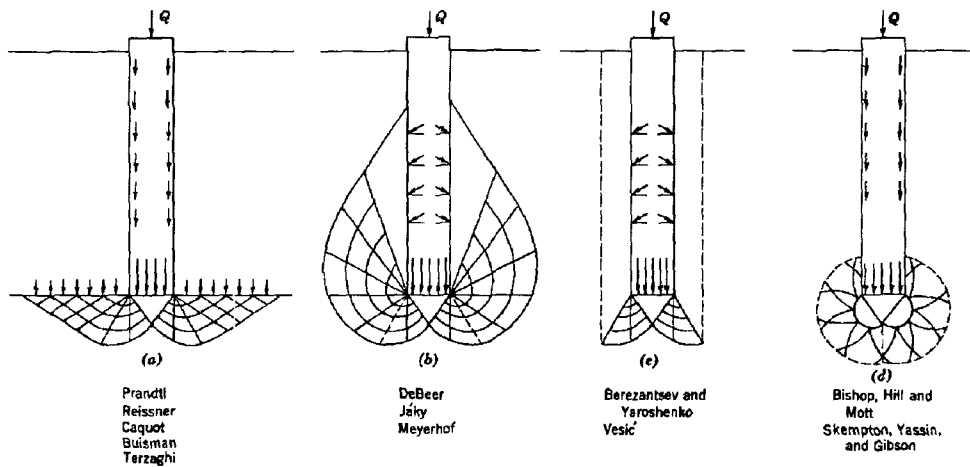


그림 4 대표적인 선단지지력 이론들

말뚝의 선단지지력은 선단부 지반조건 이외에 선단부 윗쪽의 구속(Confining) 조건에 따라 영향을 받는다. 따라서, 본 시험은 하중이 가해진 부분의 바깥쪽으로 공간이 형성되어 말뚝기초의 선단부 조건을 만족시키지 못하며 직접기초의 지지력 조건으로 보고, 말뚝의 선단지지력 이론에 의한 해석 보다는 얇은기초의 지지력 조건으로 해석하는 것이 바람직하다. 동일한 지반조건에 대하여 말뚝기초와 직접기초의 지지력을 시험을 실시하여 비교한 연구 결과는 없는 실정이며, 여러 가지 기초의 지지력 이론들중 $D/B > 1$ 일 경우(D : 관입깊이, B : 기초폭 또는 직경) 기초의 깊이에 대하여 관입깊이 계수(Depth Factor)를 채택하고 있는 B.Hansen의 지지력 이론(1970)을 적용하여 지지력을 검토하였다.

$$d_c = 1 + 0.4 \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad (1)$$

$$d_q = 1 + 2 \tan \phi (1 - \sin \phi)^2 \tan^{-1} \frac{D}{B} \quad (2)$$

여기서, d_c = cohesion term (지지력 공식에서)에 대한 관입깊이 계수

d_q = friction term (지지력 공식에서)에 대한 관입깊이 계수

ϕ = 지반의 내부마찰각

지반의 대부분이 사질토인 점을 감안하여 순수한 사질토 조건으로 가정하고, 토사의 내부마찰각을 풍화암(토)의 일반적인 마찰각인 40°로 하여 관입깊이 비(D/B)인 12.5를 적용하면 관입깊이 계수, d_q 는 1.32가 된다. 즉, 말뚝의 선단지지력은 재하시험 결과의 1.32배인 1361.9ton으로 예측할 수 있다. 이 방법은 실제 시험을 통하여 입증되지 못하였다는 한계가 있으나 선단부 위쪽이 지반으로 구속되어 있지 않은 직접기초 조건에서 측정된 지지력보다는 실제 말뚝의 선단지지력이 클 것이라는 점에서 접근 가능하다고 할 수 있다. 그러나, 구속조건을 고려하더라도 극한 선단지지력은 1361.9ton으로서 말뚝의 허용 선단지지력은 454.0ton이 되므로 선단지지력만으로는 설계하중을 확보하지 못하였다. 따라서, 강관 케이싱 구간 및 RCD Socketing구간의 주변마찰력을 추가로 확인하는 절차가 요구되었다.

3.2 동재하시험

3.2.1 시험 개요

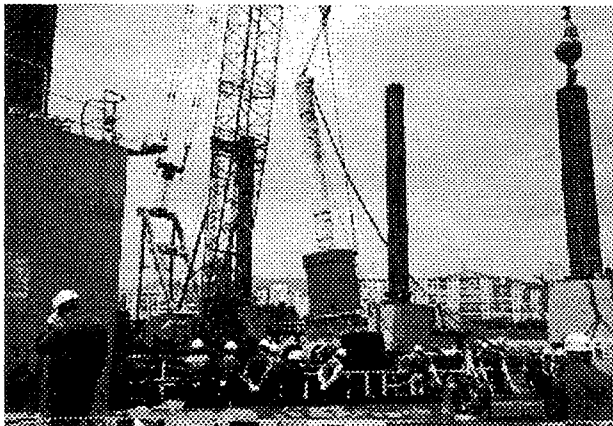


사진 4 타격햄머(S-280)

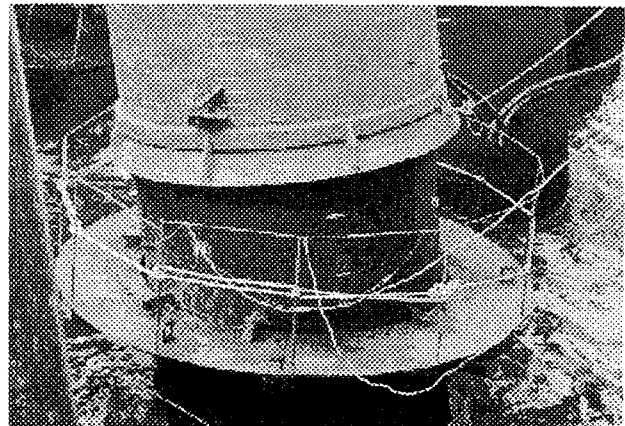


사진 5 게이지 부착 장면

강관케이싱 구간의 주변마찰력을 확인하기 위해 강관타입 및 RCD 굴착후 속채움이 실시되지 않은 나공상태의 MP12-8 Pile에 대해 동재하시험이 실시되었으며, RCD Socketing구간의 주변마찰력 및 시공완료된 상태의 전체 극한지지력을 확인하기 위해 강관케이싱 내부로 콘크리트 속채움이 완료된 MP12-3과 MP12-4 Pile에 대해 동재하시험을 실시하였다. 시험당시의 시공현황은 그림 3과 같다. 시험을 위한 타격장비는 S-280(복동식 유압햄머, IHC 제작, RAM무게 13.5ton, 최대타격에너지 280kJ, 사진 4 참조)을 이용하였다. 일반적으로 강관내부에 콘크리트 속채움이 이루어진 현장타설말뚝은 콘크리트를 말뚝두부 상부까지 속채움하고, 타격 및 게이지(변형률계 및 가속도계) 설치부위가 콘크리트가 되도록 하는 것이 정상적인 방법이나 본 시험말뚝의 경우 말뚝두부 부근은 콘크리트가 타설되어 있지 않은 상태에 있어 상부 강관케이싱구간에 게이지 설치 및 타격을 실시하였다. 또한, 시험말뚝이 대구경인 점을 감안하여 게이지를 말뚝두부로부터 3.8m(1.5 D지점) 떨어진 위치에 90° 방향 4쌍씩 설치하였다.(사진 5 참조)

3.2.2 해석 결과 및 고찰

MP12-3, MP12-4 Pile의 경우 깊이별로 강관케이싱구간, 강관케이싱 내부 콘크리트 속채움 구간, RCD 구간으로 크게 구분할 수 있으며, MP12-8 Pile의 경우 강관케이싱구간 및 선단부 RCD 미굴착부분(강관 직경 $\phi 2556\text{mm}$, RCD굴착부 직경 $\phi 2200\text{mm}$) 등을 고려할 수 있다. 이외에 RCD시공을 위해 보강된 철근망 및 1차 수중콘크리트 및 2차 수중콘크리트의 설계강도 차이 등을 고려할 수 있으나 정량화하기 어려운 점을 감안하여 시험말뚝의 해석을 위한 모델링시에는 이를 고려하지 않고 해석과정중에서 Wave Matching시 깊이별 Reflection Wave의 특성을 고려한 말뚝의 Impedance(EA/C) 조정으로 고려하였다. 시험말뚝의 모델링을 위해 단면2차모멘트 및 재료의 탄성계수비를 이용한 환산단면법을 적용하였으며, 게이지 및 햄머 타격부위가 강관인 점과 해석시 Wave Matching Quality(MQ)등을 감안하여 콘크리트를 강관으로 환산하여 해석을 실시하였다. 이 때, 콘크리트의 탄성계수는 설계압축강도 270kg/cm^2 을 기준으로 산정하였으며, 환산된 강관의 직경은 시공된 말뚝 직경을 그대로 적용하되 두께를 조정하여 해석에 적용하였다. 시험결과 MP12-8의 경우 강관케이싱 구간의 주면마찰력은 716.1ton , 선단지지력이 288.1ton , 전체지지력이 1004.2ton 으로 해석되었다. 이 값은 시험을 위한 초기 타격시 말뚝의 손상을 우려하여 낮은 타격에너지(100kJ 로 Setting)를 가한 상태의 결과로서 실제 전달된 최대에너지는 $4.56\text{ton} \cdot \text{m}$ (44.7kJ)에 불과하며, 선단부에는 $1.29\text{ton} \cdot \text{m}$ (12.7kJ)만이 전달되어 극한지지력으로 보기 어렵다. 이후 낮고 조정 및 장비의 정상 작동을 위한 수차례의 시험타격으로 인해 지반이 교란되고 말뚝이 관입되는 상황이 발생하여 보다 큰 타격에너지에서의 지지력을 측정하는데는 실패하였다. 한편, 측정된 파동이 불안정하고, 주면마찰의 깊이별 분포상태가 말뚝의 중간깊이에서 발휘되지 않는 것으로 해석되는 등 실제 지반조건과 비교하여 다소 비정상적인 것으로 나타난 것은 시험말뚝이 사항인 점과 타격시 말뚝이 다소 흔들린 점, 타격에너지의 부족 등이 원인인 것으로 판단된다. 시공이 완료된 MP12-3, MP12-4 Pile의 허용지지력을 확인하고, RCD구간의 주면마찰력을 간접 확인하기 위해 동재하시험을 실시하였으며, 그 결과 허용지지력은 1510.4ton 이상으로서 설계하중 1500ton 은 확보하고 있는 것으로 나타났다. 그러나, 확인된 지지력의 대부분이 주면마찰력인 점과(전체지지력의 85%이상) 사용햄머의 최대 타격에너지(280kJ 로 Setting)상태에서 실제 말뚝에 전달된 최대 에너지가 $10\text{ton} \cdot \text{m}$ (98.1kJ)이하로서 RCD 구간 및 선단부에는 $1.0\text{ton} \cdot \text{m}$ (9.81kJ)내외만이 전달되어 극한지지력 및 RCD구간부의 주면마찰력과 선단지지력을 확인하기에는 햄머의 용량이 크게 부족하였다. 따라서, 실제 허용지지력은 본 시험에서 확인된 값보다 클 것으로 판단된다.

그러나, 강관내부에 콘크리트 속채움이 이루어진 현장타설말뚝의 경우 콘크리트가 대부분의 거동을 지배하게 되므로 타격 및 게이지가 설치되는 부위를 콘크리트가 되도록 하는 것이 정상적인 방법이나 본 시험말뚝의 경우 말뚝두부 부근은 콘크리트가 타설되어 있지 않은 상태에 있어 상부 현장여건상 강관케이싱구간에 게이지 설치 및 타격을 실시하였다. 따라서, 시험말뚝의 모델링시 탄성계수와 단면 2차 모멘트에 의해 콘크리트를 강관으로 환산하여 해석을 실시하였는 바, 이는 강관과 콘크리트의 응력-변형을 거동이 다르고, 단위중량이 다른 점 등으로 인해 말뚝의 임피던스가 실제와 다르게 반영될 수 있고, 이로 인해 동적 저항의 고려와 해석된 지지력의 신뢰성 문제를 간과할 수는 없었다.

한편, 선단부 압축재하시험 결과와 강관케이싱 구간의 동재하시험 결과만으로는 시험방법 및 해석방법의 적용성, 시험장비의 용량 등 여러 문제로 인해 설계하중을 확보 가능한 지 여부를 확인할 수 없었고 정재하시험 이후 MP 12-8 Pile은 RCD선단부가 3m 이상 추가 굴착됨에 따라 RCD Socketing 구간의 주면마찰력과 추가 굴착에 따른 RCD 구간 선단부에 대한 지반특성을 파악하기 위해 추가 굴착시 채취된 압편 등에 대해 점재하시험(Point Load Test)이 실시되었으며, 기존의 연구결과 및 이론 등을 이용한 검토가 실시되었다.

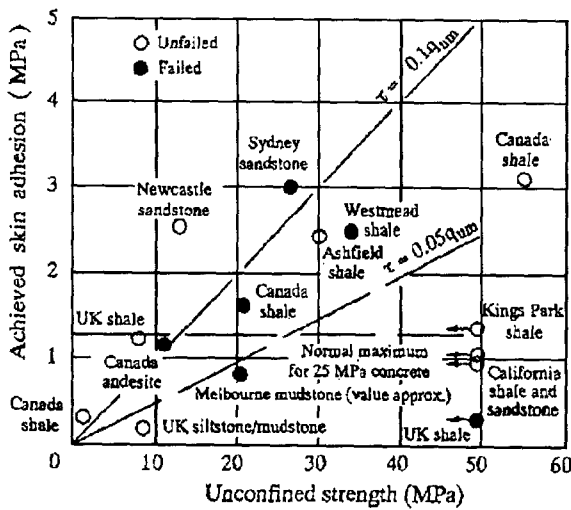
4. 점재하시험(Point Load Test) 및 허용지지력의 평가

4.1 점재하시험결과

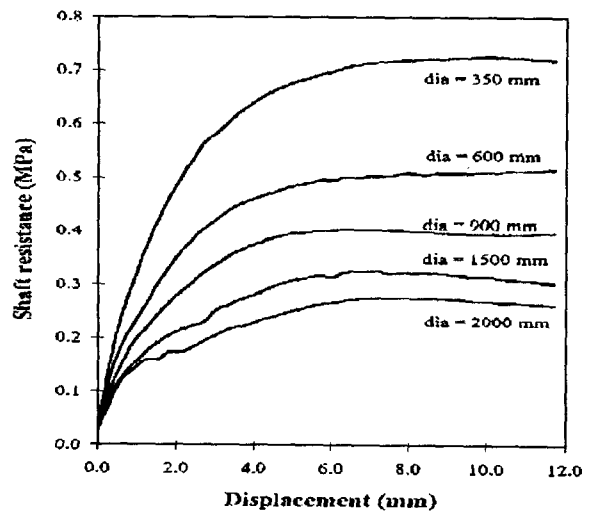
MP 12 기초 Pile의 RCD 굴착시 채취된 선단부 암편시료(MP 12-8의 경우 3m 추가 굴착시 채취된 시료 이용)에 대해 점재하시험을 실시하여 선단부 상태를 확인하고자 하였다. 점재하시험 결과 채취된 암편시료의 일축압축강도는 150~3,105kg/cm²으로 나타나 상당히 큰 편차를 보였다. 한편, MP12 위치에서의 지반조사시 채취된 암석코아의 일축압축강도를 측정된 자료에 의하면 187~1,404kg/cm²로 조사되었으며, MP12-1 시추공 EL-34.5~-37.5m에서 채취한 시료의 일축압축강도는 187kg/cm²이다.

4.2 허용지지력의 평가

MP 12-8 말뚝의 3m 추가 굴착시 채취한 시료를 조사한 기록에 의하면 추가로 굴착된 선단부에서는 토사가 아닌 암(岩)상태인 것으로 나타나고 있어 선단지지력은 점재하시험 결과와는 크게 상이할 것으로 판단되었다. 말뚝의 선단지지력을 추정하는 방법은 여러 가지가 있으나 불확실한 지반물성에 의한 방법보다는 지반조사시 채취된 암석 코아와 굴착시 채취된 암편시료에 대한 일축압축강도를 이용하는 방법을 적용하였다. 구조물 기초 설계기준에서는 암코아의 일축압축강도의 1/5 내지 1/8의 감소율을 적용한 값을 허용 선단지지력으로 본다. 한편, 지반조사시 채취한 암 코아시료의 일축압축강도는 187kg/cm²이며, RCD 굴착시 채취된 암편의 점재하시험결과에 의하면 MP12-8의 추가굴착시 선단부 암편시료의 일축압축강도는 234~3,105kg/cm²로 나타나나 균열이 심한 암반상태로 판단되어 가장 작은 값인 187kg/cm²를 적용하고 가장 안전측인 1/8의 감소율을 적용하여 선단지지력을 추정하였다. 그 결과 말뚝의 극한 선단지지력은 약 2,664.9ton이 되어 점재하시험을 통해 확인된극한 선단지지력(3m 추가 굴착이전 상태) 1361.9ton의 약 2배를 보이고 있다. RCD Socketing 구간의 주변마찰력을 평가하기 위해 단위 면적당 주변마찰력을 이용하여 추정하는 방법을 적용하였다.(Haberfield and Seidel, 1996)



(a) 일축 압축강도의 영향



(b) 말뚝 직경의 영향

그림 5 RCD구간의 주변마찰력에 영향을 미치는 요소들(Haberfield and Seidel, 1996)

Socketing 구간 전체의 일축압축강도 자료는 없으나 RCD Socketing 구간의 평균 일축압축강도를 선단부 강도 187kg/cm²의 1/3로 보면 약 62.3 kg/cm²가 된다. 이를 이용하여 단위면적당 주변마찰력을 추정한 결과 단위면적당 극한 주변마찰력은 약 0.25~0.5MPa 정도로서 약 35t/m²(0.35MPa)정도일 것으로 추정할 수 있다.(Haberfield and Seidel(1996) 구조물 기초설계기준에서는 Socketing구간의 평균 일축압축강도와 콘크리트의 일축 압축강도중 낮은 값을 기준으로 하여 그 값의 0.03-0.05배를 암과 콘크리트의 허용부착응력으로 산정한다. 따라서, 안전측으로 0.03배를 적용하여 Socketing 구간의 단위 면적당 허용 주변마찰력을 추정하면 18.7t/m²이 되며 극한 주변마찰력은 56.1t/m²이 된다. Goodman(1980)은 암석과 콘크리트의 주변사이에 유발된 최대 전단응력은 일축압축강도의 0.05배라고 하였다. 이 경우 단위면적당

극한 주변마찰력은 약 $31.2t/m^2$ 이 된다. 따라서, RCD Socketing 구간의 단위면적당 주변마찰력을 약 $30t/m^2$ 으로 보고 극한 주변마찰력을 산정하면 약 2,791ton으로 산정되었다. 한편, 강관케이싱 구간의 극한지지력은 동재하시험 결과를 이용하면, 주변마찰력은 716.1ton, 선단지지력은 288.1ton, 전체지지력 1004.2ton으로서 허용지지력을 COE기준에 의해 안전율 2.5를 적용하게 되면 401.7ton이 되고, 이를 토대로 극한지지력을 예상하면 1205.1ton(허용지지력× 3.0)이 된다. 따라서, 강관케이싱의 극한지지력, RCD Socketing 구간의 주변마찰력 및 선단지지력을 모두 합한 전체 극한지지력은 5358.1ton이며, 안전율 3을 적용할 경우 허용지지력은 약 1786.0ton으로 판정하였다.

5. 결론

- 1) 전통적인 재하시험방식의 적용이 거의 불가능한 대구경 해상말뚝의 허용지지력을 확인하기 위해 소구경 말뚝을 콘크리트가 타설되지 않은 나공상태의 대구경 말뚝내부로 삽입하여 선단지지력을 확인하였으며, 동재하시험을 통해 주변마찰력을 확인하였다.
- 2) 내부삽입말뚝에 의한 선단지지력은 선단부의 구속조건과 Scale Effect등으로 인해 실제와 다르게 발휘될 수 있어 이에 대한 고려가 필요하였으며, 동재하시험 결과 햄머의 타격에너지 부족 및 경사 등으로 해석이 어려웠고, 본 사례의 경우 합성말뚝의 조건에서 비롯된 강관과 콘크리트의 응력-변형을 거동의 차이와, 단위중량이 다른 점등의 원천적인 오차를 해석 모델링시 고려하기에는 불가능 하였던 바 결과의 신뢰도에 문제가 있을 수 있을 것으로 판단하였다.
- 3) 정재하 및 동재하시험 결과만으로는 허용지지력의 평가와 설계하중의 확보여부를 판정하기에는 다소 문제점이 있는 것으로 나타나 추가로 실시한 선단부 압편의 점재하시험 및 지반조사 결과, 말뚝의 지지력이론 등을 종합적으로 고려하여 지지력을 판정하였다.
- 4) 이상의 결과에서 보듯이 선단부 확인을 위한 정재하시험 장치의 보완 및 합성말뚝에 대한 동재하시험 결과 해석에 대한 연구는 추후 계속 진행되어야 할 것으로 사료된다.

감사의 글

정재하 및 동재하, 점재하 시험 수행에 아낌없는 도움을 주신 광안대로 1공구 현장관계자 여러분과 시험결과 해석에 조언을 아끼지 않으신 이명환 박사님, 장학성 이사님께 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌

1. 건설부(1997), "구조물 기초 설계 기준"
2. 김정환(1997), "편마암에 근입된 현장타설말뚝의 지지거동 분석," 박사학위 논문, 서울대학교.
3. 이명환 기초연구소, 대림산업(주)(1999), "광안대로 1공구건설공사-MP12 말뚝재하시험결과 보고서"
4. 천병식 외(1998), 지반공학-이론과 실제, 구미서관, pp. 646-675
5. Haberfield, C.M. and Seidel, J.P.(1996), "A new design method for drilled shafts in Rock," *Proceedings of the Sixth International Conference on Piling and Deep Foundations, Bombay.*
6. Ladanyi, B. and Roy, A.(1971), "Some Aspects of Bearing Capacity of Rock Mass", *Proceedings 7th Canadian Symposium on Rock Mechanics, Edmonton, Alberta, Canada, pp. 161-190.*
7. Poulos,H.G.and Davis,E.H.(1980), "Pile Foundation Analysis and Design", *John Wiley & Sons, New York.*
8. Shamsheer Prakash & Hari D.Sharma(1990), "Pile Foundations in Engineering Practice", *John Wiley & Sons, pp.218-321.*