

2000 주택건설 전문시방서

임해식*

1. 서론

대한주택공사는 주택건설전문 공기업으로서 지난 38년 동안 118만호의 주택을 건설하였다. 이러한 업무를 원활히 수행하기 위하여 주택건설전문시방서를 제작하여 활용하고 있다. 이 시방서의 지반분야관련 항목에 대하여 살펴보기로 한다.

2. 주택건설전문시방서 현황

주택건설전문시방서는 크게는 다음과같이 1.총칙, 2.철근콘크리트, 3.건축, 4.토목, 5.기계, 6.전기, 7.통신, 8.조경으로 나누어 기술하고 있으며 그중 지반공학과 관련한 주요항목은 세부적으로 직접기초, 말뚝기초, 말뚝선굴착공법등이다. 전반적으로 시방서에서는 시공관리방법에 대하여 보다 자세하게 다루고 설계부이나 시험방법들은 관련된 KS 규준이나 건설부 기준을 준용토록 큰 방향만을 제시하고 있다.

2.1 직접기초

직접기초는 건축물 또는 토목 구조물의 기초가 지지반에 직접 설치되는 지내력 기초의 경우로서 잡석지정 이외의 별도 지정을 사용하지 않는 기초공사를 의미한다.

설계 지내력의 산정방법이나 기준등은 별도로 제시하지 않으며 시공시 평판재하시험을 KS F 2444

에따라 건물동당 2개소 이상을 실시하거나 지내력이 변하는 구간마다 표준관입시험을 실시하여 확인후 필요시 설계변경 조치토록 하고 있다.

지내력확인 시험방법의 적용기준이나 시험결과와 활용방법 및 기준에 대하여 여러 가지 방법들이 차이가 많은 점을 고려할 때 이 부분에대한 보다 세부적인 방향제시와 적용기준이 필요한 것으로 판단된다.

필요에따라 원지반 굴착후 최대크기 4.5cm 이내의 잡석 및 자갈로 기초바닥 고르기를 할 수 있도록 하였다.

또한 직접기초의 지내력이 부족한 경우에는 최대깊이 2m이내에서 입경 5~15cm의입도가좋은 잡석 및 자갈로 치환을 할 수 있도록 하였다. 그러나 치환두께의 산정방법이나 치환후의 지지력 확인방법등에 대하여는 언급하지 않고 있다.

2.2 말뚝기초

말뚝기초 항목에서는 원심력 프리스트레스트 콘크리트말뚝과 프리텐션방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝, 강관말뚝의 타입식 말뚝공사에 대하여 규정하고 있다.

다른 시방항목과 마찬가지로 설계에 대하여는 자세한 언급이 없으며 지반조사 보고서에 관련기술자의 분석 및 검토를 수행토록 하고 있다.

직접기초에서와 마찬가지로 시공관리에관한 내용을 많이 다루고 있다.

* 정회원, 대한주택공사 주택연구소 과장

2.2.1 말뚝의 항타관리

말뚝공법, 재료, 시공장비 등에 대한 검토를 하기 위하여 말뚝재하시험을 실시하도록 하고 있다. 재하시험은 시항타시와 본항타시로 나누어 실시하며 중요한 항목들은 다음과 같다.

(1) 시항타

- 가. 본항타 착수 전에 지반조사보고서와 기초설계 자료를 토대로 항타장비의 적합성 및 지반조건의 확인과 본항타용 말뚝길이, 최종관입량 확정 및 소요지내력 확인을 위하여 시항타를 실시한다. 시항타를 할 때는 PDA(Pile Driving Analyzer)를 사용한다.
- 나. 시험말뚝은 실제말뚝과 같은 무게와 단면을 가진 것으로 하며, 실제 말뚝박기에 적용될 타격에너지로 박는다. 이때 시항타말뚝의 길이는 본말뚝 길이보다 2 ~ 3m 긴것을 사용한다.
- 다. 시항타는 건물 또는 구조물당 3 본 이상, 간격이 15m 이내가 되도록 실시한다. 지반상태가 불규칙하여 설계심도와 상이할 경우는 전반적인 지반상태의 파악이 가능하도록 시항타말뚝의 본수를 조절한다.
- 라. 시항타결과는 매번 사진촬영하여 시공기록을 작성한다.
- 마. KS F 2445 에 따라 동당 1 회씩 동재하시험 또는 정재하시험을 당해 동에서 제일 불리한 조건의 말뚝에 시행한다.
- 바. 시항타 말뚝의 본말뚝으로의 계속사용 여부는 "재하시험" 으로 판단한다.

(2) 본항타

- 가. 말뚝박기의 초기에는 말뚝 관입깊이가 1 타격당 100 ~ 200 mm가 되도록 램의 높이를 200 ~ 300 mm로 낮게 설정하고 말뚝의 연직성을 확

인하면서 서서히 타입한다.

- 나. 지지층까지의 중간박기는 최대관입량이 매회 300 ~ 700 mm가 되도록 램의 높이를 조정하고 항타로 인한 과도한 타격응력이 발생되지 않도록 주의한다.
- 다. 항타시 인접한 말뚝이 솟아오를 경우는 타격력을 증가시켜 솟아오른 말뚝은 원지점 이하까지 다시 박는다.
- 라. 말뚝은 기초설계와 시항타결과를 참조하여 안전지지력이 나올 수 있는 소요최종관입량이 확보되는 길이까지 관입시키며, 그 이상 무리하게 박지 않는다.
- 마. 자동항타검측기를 사용하여 최종관입량을 관리할 때 관입량이 급격히 줄어들면서 멈춤신호가 울릴 경우는 전석, 암반 등으로 인한 말뚝의 중과위험이 있으므로 즉시 항타작업을 멈추고 충분한 기술적 검토를 거쳐 항타의 계속여부를 결정하여야 한다.
- 바. KS F 2445 에 따라 정재하시험을 2 개동당 1 회 비율로 인접 2 개동 시항타 재하시험결과 지지력이 작은 동에 시행한다. 단, 시항타 재하시험결과 인접 2 개동 모두 설계지지력을 상회한 경우 말뚝본수가 많은 동에 시행한다.

(3) 최종 관입량

- 가. 말뚝의 최종 관입량은 자립식의 측정대 또는 자동항타 검측기 등을 사용하여 정밀하게 측정하여야 하며, 최종관입량의 산정은 특기가 없는 한 토질의 종류별로 아래의 기준타격횟수의 평균값으로 한다
 - 일반 풍화토 지반 : 10 회
 - 사질지반 : 15 회
 - 점성토지반 : 20 회
- 나. 항타관리용 최종관입량은 시항타 및 재하시험을 통해 실제 지지력과 동적지지력공식에 의한 지지력을 검토하여 말뚝재질 및 규격, 말뚝관

입길이, 항타기의 타격능력 및 효율, 지반조건 등 현장 제조건에 맞도록 선정, 관리한다.

다. 말뚝의 항타종료 판정은 말뚝기초설계자료, 지반조사보고서, 시험타 및 재하시험 결과에서 판단된 말뚝관입심도, 항타종료시의 1회 타격당 관입량, 동적지지력공식에서 추정된 말뚝 지지력 등을 종합적으로 검토한 후 판단하여 실시한다.

라. 말뚝재료에 따른 타격횟수 및 최종관입량은 아래표의 값에 적합하여야 한다. 이때, 말뚝을 이음시공할 경우의 타격횟수는 상부 및 하부말뚝의 타격횟수 합계로 한다.

표 1. 최종관입량 제한치

구분	PC 말뚝	PHC 말뚝	강관말뚝
총 타격횟수	2,000 회 이내	3,000 회 이내	3,000 회 이내
최종 1m의 타격횟수	100 회 이내	200 회 이내	500 회 이내
최종관입량	8mm 이상	5mm 이상	2mm 이상

2.2.2 말뚝잇기

프리텐션방식 원심력 고강도 콘크리트말뚝과 강관말뚝은 관입길이가 15m를 초과하는 경우에 한하여 현장에서 말뚝을 이어 사용할 수 있도록 하고 있다. 이음방법은 현장 용접이음으로 하며, 이음부위는 모두 외관검사를 하고 고강도 콘크리트말뚝의 이음부위 20개소마다 1회 이상 KS D 0213에 따라 자분탐상 시험을 시행하며 강관말뚝의 이음부위 10개소당 1회 이상 KS B 0896에 따라 초음파탐상시험을 시행하여 품질관리토록 하고 있다.

2.3 선굴착 말뚝기초공법

이 항목은 항타에 따른 민원 및 인접구조물 피해를 막기 위하여 지반을 천공한 후 기성말뚝을 타입하는

선굴착 말뚝기초공법에 대하여 규정하며, 천공 및 말뚝타입방법에 따라 천공 후 직항타공법, 천공·시멘트 페이스트 주입 후 최종항타공법 및 천공·시멘트 페이스트 주입 후 경타공법으로 분류하고 있다.

2.3.1 천공 후 직항타공법

- (1) 지반조건상 지층 중간에 자갈층, 매립층 등의 조밀층이 있고 그 하부에 상당한 깊이로 연약층이 분포한 토질로서 직항타로 중간 조밀층 관입이 불가능한 경우에 적용한다.
- (2) 천공은 수직이 되도록 하여야 하며, 천공시 공벽의 붕괴우려가 있거나 붕괴되는 토질에서는 케이싱을 삽입하여 사용한다.
- (3) 천공직경은 말뚝직경과 동일한 크기로 한다.
- (4) 천공심도는 말뚝관입 깊이의 2/3 미만으로 한다.
- (5) 항타 천공 후의 말뚝항타는 "말뚝기초"에 따르되, 말뚝선단은 지지층에 말뚝직경의 3배 이상 관입되도록 한다. 단, 말뚝직경의 3배 이상 관입이 불가능할 경우에는 감독자와 협의하여 공법을 변경한다.

2.3.2 천공·시멘트 페이스트 주입 후 최종 항타공법

- (1) 천공직경은 말뚝 직경보다 10cm 크게 하며, 천공깊이는 설계천공깊이로 한다.
- (2) 천공이 완료되면 굴진심도를 측정한 후 시멘트 페이스트를 주입하면서 천공 하단부로부터 말뚝직경의 3배 이상 높이까지 오거를 상하 왕복하여 시멘트 페이스트와 하부잔토가 충분히 교반되도록 한 다음 시멘트 페이스트를 주입하면서 오거를 인발한다.
- (3) T₄ 등 장비특성상 천공 후 로드를 인발하면서 시멘트 페이스트 주입을 할 수 없는 경우 교반 절차 없이 로드 인발 후 시멘트 페이스트를 주

입한다.

- (4) 말뚝은 Wire Rope 2 점 지지방식으로 세우되, 세우기를 할 때 1m 정도 먼저 삽입하며 수직상태를 확인한 후 자유낙하시킨다.
- (5) 안착된 말뚝은 수준기로 수직상태를 확인한 다음 향타하여 말뚝선단이 지지층에서 말뚝직경의 3 배 이상 관입되도록 한다. 단, 말뚝직경의 3 배 이상 관입이 불가능할 경우에는 감독자와 협의하여 공법을 변경한다.
- (6) 말뚝시공을 완료한 후 24 시간이 경과한 다음 시멘트 페이스트 충전상태를 확인해야하며, 부족할 경우 밀실하게 재충전한다.

2.3.3 천공·시멘트 페이스트 주입 후 경타방법

“천공·시멘트 페이스트 주입 후 최종 향타공법”의 경우와 다른 항목은 동일하며 최종선단부 설치를 다음과 같이 한다.

- (1) 안착된 말뚝은 수준기로 수직상태를 확인한 다음 오거에 부착된 드롭해머로 경타하여 말뚝선단이 천공깊이 하단에서 2D 이내에 도달되도록 한다. 천공깊이와 말뚝선단부의 고저차가 허용범위를 초과할 경우는 말뚝을 인발한 후 재굴진하여 허용범위 내에 시공 되도록 한다.

2.3.4 시멘트 페이스트

- (1) 시멘트재료는 KS L 5201 의 1 종 보통 포틀랜드 시멘트에 적합한 것으로 한다.
- (2) 물은 청정하고 유해함유량의 염분, 철분, 이온 및 유기물 등이 포함되지 않은 것이어야 한다.
- (3) 배합은 특기가 없는 경우 시멘트와 물은 물시멘트비 83%로 배합한다. 표준배합비는 1m³당 시멘트 880kg, 물 730 l 의 비율로 한다.

2.3.5 시공관리

- (1) 동당 3 분 이상 본 공사와 동일한 조건에서 감독자 입회하에 시험시공을 하며, 지반상태가 불규칙하여 설계심도와 상이할 경우는 전반적인 지반상태의 파악이 가능하도록 시험시공 말뚝분수를 추가할 수 있다.
- (2) 기초시공자료의 설계심도까지 일정한 속도로 천공하면서 RPM 치와 전류치 (A)의 변화를 관찰하여 기록을 유지하고, 오거선단의 토사를 지반조사시료 또는 지반조사 시료 사진과대조하여 지지층을 확인한다.
- (3) 천공 후 직향타 공법인 경우 “말뚝기초”의 재시험방법에 따른다.
- (4) 천공·시멘트 페이스트 주입 후 향타공법 또는 천공·시멘트 페이스트 주입 후경타공법인 경우 특기가 없는 경우 시향타 말뚝에 대해 시향타 후 시멘트 페이스트가 2 주 이상 경과한 뒤에 KS F 2445 에 따라 정재하시험을 동당 2 개소 실시하되, 시험위치는 건물의 좌, 우 불리한조건의 말뚝에 1 개소씩으로 한다.

3. 고 찰

3.1 직접기초

직접 기초의 지지력을 산정하는 방법은 크게 나누어 다음과 같다.

- ① 지반의 강도정수를 이용한 해석적 방법 (Terzaghi, Hansen, Meyerhof 등)
- ② 표준관입시험, 콘관입시험등 원위치시험에 의한 경험적 방법
- ③ 재하시험에 의한 방법

현재의 시스템은 설계단계에서 주로 ①,②의 방

법으로 설계 지지력을 산정하고 현장시공시 재하시험을 통하여 지지력을 확인토록 되어있다.

설계시의 지지력 산정시 방법에따라 많은 차이가 있으나 현재의 시방에서는 설계단계에대한 언급은 거의 없는 편이다. 특히 지지력 산정식의 적용성분석이나 신뢰성등에대하여 참고가 될 지침의 마련이 필요하다고 사료된다.

현장에서의 재하시험에의한 지지력 판정시에도 지지력시험 결과로부터 지지력을 산정하는 기법이나 크기효과(Scale Effect), 기초저면이 지표면 아래에 있는 경우 상재하중항 고려에 대한 지침이 제시되는 것이 필요하다. 한 예로서 치환지반에서의 재하시험의 경우 재하판의 크기에 비하여 치환깊이가 2배이상 클 경우 재하시험 측정치에는 치환깊이 하부지반의 특성은 반영되지 않는경우에 있어서의 처리방법은 빈번히 현장에서 발생하는 문제이다.

또한 기초저면이 이질기초 지반상에 위치하게되는 경우 검토방법이나 폭에비해 길이가 긴 구조물의 기초해석 검토방법과 같은 내용들에 대하여는 해석방법의 종류나 개요들에 대하여 시방서에 제시할 필요가 있다.

3.2 말뚝기초

3.2.1 국내 말뚝기초 설계·시공관리 현황

현재 국내의 말뚝기초 설계·시공관리는 주로 [그림 1]과같은 과정으로 이루어지고 있다. 즉, 설계단계에서 설계지지력과 심도 말뚝본수를 결정하여 시공시 시험시공과 정,동재하 시험을 실시하여 그 결과 설계지지력을 만족하는가를 검토후 만족하는 경우 설계대로 시공토록 하고 설계지지력을 만족하지 못하는 경우 보강방안을 수립하여 조치토록 하고 있다.

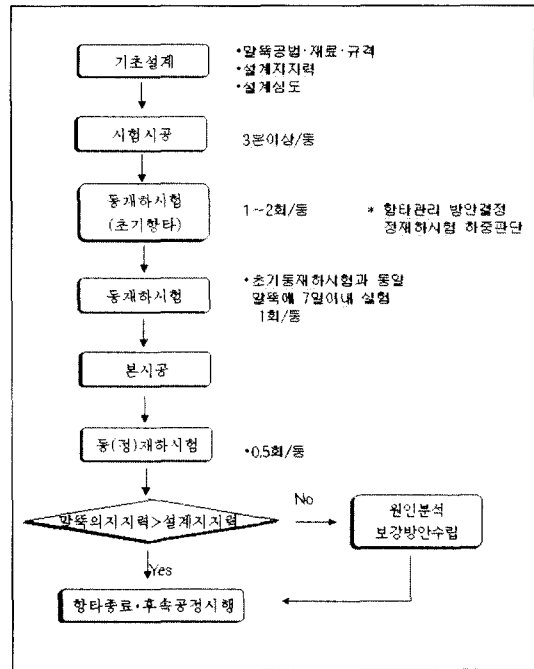


그림 1. 국내의 말뚝기초 설계·시공관리 흐름

3.2.2 말뚝기초 설계단계

말뚝기초 설계단계에서는 주로 지반조사 시험결과를 토대로 설치심도와 N치에의거 지지력을 결정하고 있다. 이 경우 말뚝공사에서 중요한 항타장비와 항타조건에대한 검토가 충분히 이루어지지 못하고있는 실정이다. 그러나 최근에는 설계단계에서도 파동이론을 이용한 시뮬레이션을 통하여 지반조건뿐만 아니라 항타장비와 항타조건등을 포함하여 검토할 수 있는 방법이 활용되고 있다. 이에대하여 좀더 자세히 살펴보면 다음과 같다.

(1) 파동이론을 이용한 동적해석

파동이론을 이용하여 말뚝의 항타과정 및 지지거동을 분석하는 방법은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 즉, 말뚝시공전에 항타과정을 모사하여 적절한 항타장비 선정, 항타관입성, 지반지지력 예측 등을 검

토할 수 있는 시뮬레이션 프로그램인 WEAP(wave equation analysis for pile driving)을 이용하는 방법과 항타도중이나 항타종료후 말뚝에 측정시스템을 설치한 후 직접 항타과정이나 지반지지력을 측정/확인하는 PDA(Pile Driving Analyzer)를 이용한 동적시험 방법이 있다. 말뚝시공의 가장 확실한 품질관리 방법은 이들 두 해석방법을 병용하는 것이며 여기에 정적시험을 추가하여 확인하면 보다 신뢰도 높은 방안이 된다.

(2) 파동이론 해석에 의해 파악되는 결과

파동이론을 이용한 말뚝 항타의 동적 해석결과는 전문한 시뮬레이션 프로그램을 이용한 방법과 측정을 통해 해석하는 동적재하시험으로 구분할 수 있으며, 이들 결과는 해석목적에 따라 항타관입성과 지지력의 두 가지 측면으로 분류할 수 있다.

파동이론을 이용하여 가장 일반적으로 수행하는 표준해석(Standard Analysis)으로 얻을 수 있는 전형적인 결과는 다음의 2가지로 분류할 수 있다.

- ① 극한지지력과 단위근입에 필요한 항타수의 관계
- ② 말뚝에 걸리는 항타응력

또한 설정한 각각의 말뚝지지력 값에 대하여 항타응력, 말뚝에 전달된 에너지, 항타수 등이 해석 결과로 산출될 수 있으며, 일정한 관입깊이에서의 여러 지지력 값이 해석되어 그 결과를 "Bearing Graph"에 나타낼 수 있다. 파동방정식을 이용한 말뚝의 항타관입성 해석은 주어진 해머 및 항타시스템의 성능으로 소요의 지반 심도까지 말뚝재료의 손상없이 적절하게 시공하여 소요의 지지력을 확보할 수 있는지의 여부를 평가하는 것이다. 즉, 항타관입성 해석은 항타응력, 항타수, 지지력등이 말뚝 관입깊이와의 관계로 해석되어야 실질적인 의미가 있다.

3.2.3 말뚝기초 시공관리

말뚝의 시공관리는 [그림 2]에 나타난 바와같은 절차로 이루어지고 있으며 신뢰성이 낮은 항타공식에 해머효율, 안전율을 적용하여 지지력을 산정하고 시방서에 지시된 최종 관입량을 만족하면 항타를 종료하는 방법을 택하고 있다. 이 방안은 시간경과 효과, 최종 관입량의 적합성, 타격에너지의 적절성등이 전혀 검증되지 않아 불확실성을 많이 내포하고 있다.

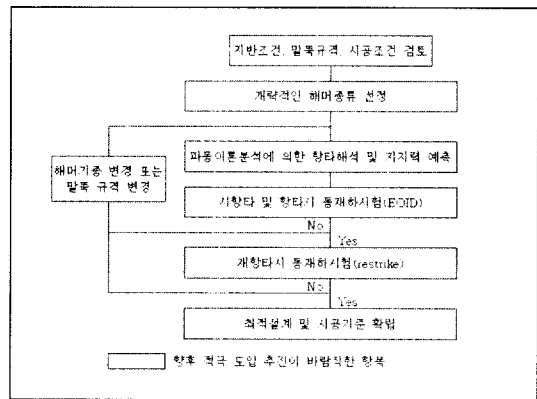


그림 2. 항타말뚝의 시공관리 절차

이런 관리방안은 본당 설계하중을 말뚝의 허용재료 하중까지 이용하지 못하는 가장 큰 원인이 되고 있다. 이 문제를 개선하기 위해 신뢰성이 높은 정재하시험을 실시하고 있으나 이또한 설계지지력을 만족하는지만을 확인하는 용도로 활용되고 있을뿐이다. 정재하시험시의 많은 비용과 시간 때문에 최근에는 동재하시험을 통해 시공관리를 실시하고 있다.

동재하시험 결과를 말뚝의 시공관리 목적으로 활용할 수 있는 것은 다음과 같은 Quality를 얻을 수 있기 때문이다.

- ① 허용 타격응력 : 말뚝타입시 말뚝에 발생하는 타격응력이 말뚝재료의 허용응력을 초과하는 지를 추정
- ② 건전도 지수 : 말뚝의 손상정도

- ③ 에너지 전달율 : 정격 항타에너지가 실제 말뚝에 전달되는 정도를 파악함으로써 해머효율을 산정
- ④ 극한 지지력 : CASE방법과 CAPWAP분석에 의해 정적 지지력을 산정
- ⑤ 항타장비의 적정성

그러나 아직까지는 현장에서 동재하 시험을 시행하고 있으면서도 그 결과를 단순히 지지력확인 용도로만 주로 활용하고 있을뿐 다른 중요한 정보들을 제대로 활용하고 있지 못한 경우가 많다.

따라서, 항타분석기에 의한 동재하시험을 단순히 설계지지력 확인을 위한 시험과정으로 인식하지 말고 전반적인 항타시공관리방안 수립을 위한 절차로 이용하는 것이 타당하다.

3.2.4 말뚝기초 지지력의 시간효과

말뚝지지력과 관련한 최근의 가장 큰 변화는 말뚝 지지력의 시간경과에 따른 변화 현상을 구체화하고 이를 말뚝설계와 시공에 반영한 것일 것이다. 말뚝 지지력의 시간 경과에 따른 변화 현상은 과거에도 알려져 왔으나(Tomlinson, 1987) 이러한 현상은 점성토 지반에서 말뚝 설치와 관련하여 발생하는 과잉 간극수압(excess porewater pressure)이 시간이 경과함에 따라 원래의 정수압(hydrostatic)상태로 돌아가는 때문으로 이해하였다. 그러나, 이러한 현상은 종래의 정재하시험으로는 시간과 비용상의 제약으로 적극적으로 확인되지 못하였으며 따라서 실무 설계나 시공에 도입되지 못하였다.

그러나, 근래에 들어 동재하시험 기술의 발전에 따라 시간경과에 따른 말뚝지지력 변화 현상은 점성토 지반뿐만 아니라 사질토 지반에서도 현저하게 발생할 수 있다는 것이 밝혀지게 되었다.

우리 나라에서도 이 부분에 관하여 본격적인 연구가 시도되었고, 이러한 연구결과에 의하면 항타말뚝의 지지력은 지반조건이 점성토 또는 사질토 모두에

서 항타로부터 시간이 경과함에 따라 변화함을 알 수 있었다.

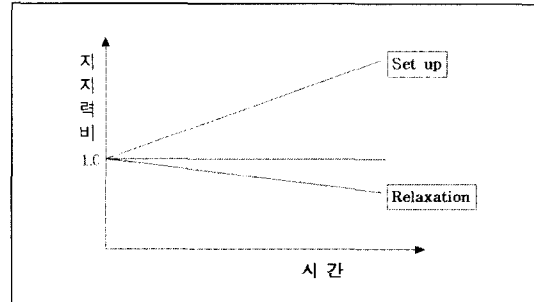


그림 3. 시간효과의 발생

지금까지 보고된 국내외의 각종 연구결과에 의하면 항타된 말뚝의 지지력은 시간이 경과함에 따라 대부분 증가하는 것으로 나타나고 있다. 이러한 시간 경과에 따른 말뚝지지력 증가는 대부분 주면 마찰력 성분에서 나타나고 있다.

그러나, 이 부분에 관한 연구를 계속해 본 결과 지반조건에 따라서는 말뚝을 항타한 후 상당한 시간이 경과하더라도 지지력이 전혀 증가하지 않는 경우도 많이 조사되고 있다. 뿐만 아니라 일부 지반조건에서는 항타후 시간이 경과하면 오히려 지지력이 감소하는 경우도 보고되고 있다. 이와 같이 시간이 경과함에 따라 지지력이 감소하는 현상은 relaxation이라 칭하고 있으며, 우리 나라에서도 이러한 relaxation이 발생한 사례가 보고되고 있다.

따라서 향후 국내에서도 이 영향에 대한 자료를 축적하고 설계 시공시 반영 방안을 추진하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

4. 맺음말

전반적으로 지반공학분야는 수학적 근거와 경험적 인자들이 함께 조화되어 설계·해석기법이 성립되고 여기에 현장시공시의 수많은 변화인자들이 영향을 미쳐 최종적인 완성물이 제작되는 것이다. 이런 이유

들로 인해 한가지 항목에대한 설계·해석 이론에 대하여도 수많은 방법들이 제시되어있고 각각의 방법에 따라 큰 차이를 나타내기도 한다. 본 고에서는 주택건설 전문 시방서상의 여러항목들중 지반공학분야와 관련이 깊고 가장많이 시공이되는 직접기초와 깊은기초중의 말뚝기초에 대하여 현재의 내용과 향후 나아가야할 방안에 대하여 언급하고 다음과 같은 의견을 제시해 보고자 한다.

- (1) 현행시방이 주로 시공관리 위주로 기술되어 있으며 설계검토시의 방법들에 대하여도 제시가 필요한 것으로 판단된다.
- (2) 직접기초의 경우 많은 지지력 산정 제안식에 대한 적용성분석이나 신뢰성등에대하여 참고가 될 지침의 마련이 필요하고 재하시험 결과의 활용과 이질기초지반 치환기초지반등에서의 설계·해석에 대하여도 제시가 필요할 것으로 보여진다.
- (3) 말뚝기초 부분에 있어서는 항타말뚝의 경우 설계 단계에서 과도방정식을 이용한 항타관입성과 지지력산정 방법의 활용에 대하여 적극 도입하는 것이 바람직 하다.
- (4) 또한 말뚝기초의 시공관리에 있어서 재하시험 결과를 단순히 설계지지력 확인만이 아니라 기왕에 실시하고있는 동재하 시험의 경우 항타관리 기준의 수립 및 검토에 적극 활용하는 방안을 제시하는 것이 바람직 하다.
- (5) 말뚝기초의 경우 시간경과 효과의 실체가 인지도된 만큼 향후 이의 활용방안을 적극 검토하는 것이 필요한 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 대한주택공사, "주택건설 전문 시방서", (서울, 대한주택공사, 2000.5)
2. 대한주택공사, "말뚝의 최적 타격력 및 항타종료시기 결

- 정에 관한 연구", (서울, 대한주택공사, 2000.3)
3. 대한주택공사, "말뚝 재하시험 및 분석방법에 관한 매뉴얼작성", (서울, 대한주택공사, 1998.11)
4. 대림산업(주), "말뚝항타 관리지침서", (서울, 대림산업(주), 1997.4), pp.1-8
5. 이명환, 홍현성, 조천환, "합리적인 항타시공 관리방안", (서울: 한국지반공학회, 1999.3), '99 봄학술발표회, pp.201-208
6. 국지반공학회, "지반공학시리즈4, 깊은 기초", (서울, 한국지반공학회, 1997.6), pp.74-81
7. (주)파일테크역, "말뚝기초의 문제점과 그 대책", (서울, 한국건설기술연구원, 1992), pp.6-10, 51-54
8. 천병식, 조천환, 이명환, "시간경과에 따른 항타말뚝의 지지력증가", (서울, 한국지반공학회, 1998), '98 가을 학술발표회, pp.191-198
9. 이명환, 홍현성, 김성희, 전영석, "최종관입량을 기준으로 한 합리적인 말뚝 시공관리 방안", (서울, 한국지반공학회, 2000.3), '2000. 말뚝기초 특별 학술발표회
10. 한국건설기술연구원, "말뚝기초의 설계 및 시공관리 개선방안", (서울, 한국건설기술연구원, 1989.12)
11. 조천환, "시간경과에 따른 타입말뚝의 지지력증대 특성에 관한 연구", (서울, 한양대, 1998), 박사학위논문
12. GRL Associates, Inc., "GRLWEAP Manual", 1996
13. Smith, E.A.L., "Pile Driving Analysis by the Wave Equation", ASCE, Vol 86, August, 1960
14. Federal Highway Administration, "Manual on Design and Construction of Driven Pile Foundations", 1986
15. Randolph, W.F. and Carter, J.P., "Driven Piles in Clay -the Effect of Instakktion and Subsequent Consolidation", Geotechnique, 29(4), pp.361-393
16. U. S. Dpt. of Transportation, "Design and Construction of Driven Pile Foundations, Workshop Manual", 1996
17. Tomlinson M.J., "Pile Design and Construction Practice(3rd ed.)", Viewpoint Publications, 1987