

KCS 11 50 40 : 2021

말뚝재하시험

2021년 5월 12일 개정

<http://www.kcsc.re.kr>

KC CODE



국토교통부



건설기준 제정 또는 개정에 따른 경과 조치

이 기준은 발간 시점부터 사용하며, 이미 시행 중에 있는 설계용역이나 건설공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있습니다.

건설기준 연혁

- 이 기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 건설기준(설계기준, 표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 말뚝재하시험에 대한 기준으로 연혁은 다음과 같다.

건설기준	주요내용	제정 또는 개정 (년.월)
KDS 11 50 40 : 2016	• 건설기준 코드체계 전환에 따라 말뚝재하시험에 해당되는 부분을 정비함.	제정 (2016.6.30.)
KDS 11 50 40 : 2016	• 한국산업표준과 건설기준 부합화에 따라 수정함	수정 (2018.7)
KCS 11 50 15 : 2021	• 건설기준코드의 통일성을 위해 작성지침과 부합화, 적용범위 명확화, 용어정의 보완 및 추가, 시험시공말뚝 및 시험말뚝 수량 등 내용 정비, 각종 재하시험 내용을 정비함	개정 (2021.5)

제 정 : 2016년 6월 30일

개 정 : 2021년 5월 12일

심 의 : 중앙건설기술심의위원회

자문검토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회

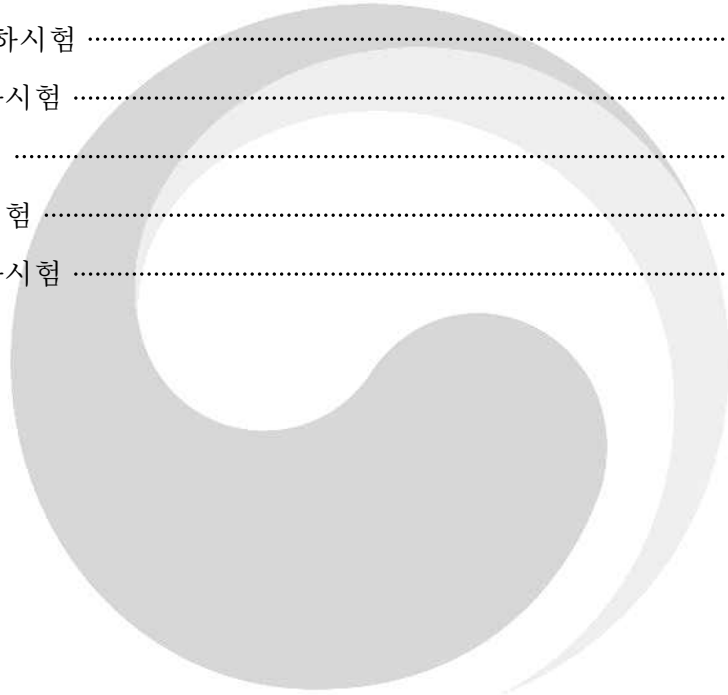
소관부서 : 국토교통부 기술혁신과

관련단체 : 한국지반공학회

작성기관 : 한국지반공학회

목 차

1. 일반사항	1
1.1 적용범위	1
1.2 참고 기준	1
1.3 제출자료	1
1.4 용어의 정의	2
2. 시험	3
2.1 압축 정재하시험	3
2.2 양방향재하시험	8
2.3 동재하시험	15
2.4 인발재하시험	19
2.5 횡방향재하시험	23



1. 일반사항

1.1 적용범위

- (1) 이 기준은 연직으로 설치된 외말뚝에 축방향 압축력 또는 인발력, 수평력(횡력)이 가해지는 압축 정재하시험, 양방향재하시험, 동재하시험, 인발재하시험, 횡방향재하시험(이하, 시험이라고 부름)에 적용한다.
- (2) 기성말뚝(강관말뚝 및 콘크리트말뚝)과 현장타설 콘크리트말뚝을 주 대상으로 하며, 소구경말뚝(마이크로파일 등)이나 복합말뚝, 합성말뚝, 기타종류의 말뚝 등의 경우도 이 시방서를 참고할 수 있으나 말뚝별 특성에 따라 별도의 자재 시방 등이 있는 경우 공사감독자의 승인을 받아야 한다.

1.2 참고 기준

1.2.1 관련 법규

내용 없음

1.2.2 관련 기준

- KS F 2206 목재의 압축 시험방법
- KS F 2438 콘크리트 원주 공시체의 정탄성계수 및 포아송비 시험방법
- KS F 2445 말뚝의 압축 정재하 시험방법
- KS F 2591 말뚝의 동적 재하 시험방법
- KS F 7003 대구경 현장타설말뚝의 양방향재하시험

1.3 제출자료

1.3.1 시험계획서

- (1) 전체 말뚝의 배치도 및 제원·수량·말뚝머리의 레벨, 시험시공말뚝 또는 시험말뚝의 위치, 수량 및 제원, 설계하중, 계획최대시험하중, 재하 및 측정 방법 등 시험계획의 기본사항을 포함하여야 한다.
- (2) 시험 목적, 지반조건, 사용말뚝에 작용하는 하중조건, 말뚝 시공법 등을 고려하여 계획최대시험하중의 적정성을 검토하여야 한다.
- (3) 시공 공기, 시공비, 시험비 등을 고려하고, 시험장치, 재하 및 측정 방법, 분석기법의 적정성 분석이 이루어져야 한다.
- (4) 계획최대시험하중이 시험말뚝에 가해질 수 있는지를 검토하여야 하고, 필요시 별도의 시험말뚝을 계획하여야 한다.

1.3.2 시험결과 및 분석 보고서

- (1) 시험계획에 따라 시험을 실시하고 그 결과를 보고서로 제출하여야 한다.
- (2) 보고서에는 시험결과 외에도 시험과정에서 일어난 특이사항을 세밀히 기록하여야 한다.

1.4 용어의 정의

- 건전도지수: 동재하시험에서 항타로 인한 말뚝의 손상 여부와 정도를 알려주는 지수
- 계획최대시험하중: 시험의 목적을 달성하기 위하여 시험말뚝에 가하는 최대하중
- 단계재하방식: 하중을 단계적으로 일정시간 지속시키면서 하중을 증가시키는 재하방식
- 말뚝의 최대지름: 말뚝지름, 선단부 고결지름, 확대선단지름 등 원지반과의 경계를 이루는 부분의 최대지름
- 말뚝의 파괴(failure): 일정하거나 감소하는 하중 하에서 외말뚝 또는 무리말뚝의 과도한 변위가 발생하는 경우 및 말뚝재료의 강도를 초과하여 파손되는 경우를 의미함
- 말뚝지름: 말뚝의 외경
- 사용말뚝(본말뚝): 구조물의 기초로 설치된 말뚝
- 시험말뚝: 재하시험을 실시하기 위한 말뚝으로서 시험시공말뚝과 사용말뚝 중 재하시험 대상이 되는 말뚝
- 시험시공말뚝: 설계의 적정성, 실제 지반조건, 시공성 등을 파악하기 위하여 사용말뚝(본말뚝) 시공 전 기초부지 인근에 시험적으로 시공하는 별도의 말뚝
- 완속재하방법: 하중을 단계적으로 증가시키며, 임의 하중단계에서는 일정 시간 지속하면서 하중을 재하하는 방법
- 양방향재하시험: 주로 현장타설말뚝의 선단부 또는 임의 위치에 가압용 재하장치를 설치하여 하향과 상향으로 축하중을 정적으로 가하는 시험
- 양방향 반복재하시험: 하중 가력위치를 180도 간격으로 배치하여 양방향으로 재하하는 횡방향재하시험 방법
- 일방향 반복재하시험: 말뚝의 한 방향으로 일정 간격으로 증가하거나 감소하는 하중을 반복적으로 가하는 횡방향재하시험 방법
- 재하용량: 시험의 종류와 목적에 따라 계획최대하중을 재하할 수 있는 재하장치의 용량을 의미하며, 양방향재하시험의 경우 말뚝의 충분한 변위를 유발시킬 수 있는 용량으로서 상·하방향의 합계하중이 아닌 1방향 재하하중(즉, 가압재의 용량)으로 정의함
- 재항타(restrike) 동재하시험: 말뚝 시공 후 일정한 시간이 경과한 후 실시하는 동재하시험으로 시간 경과에 따른 주면마찰력 및 선단지지력의 증감 등 지지력의 시간경과효과 확인과 함께 말뚝의 허용지지력을 산정하기 위하여 실시하는 시험
- 정적재하: 말뚝과 지반의 속도 및 가속도에 의존한 저항을 무시할 수 있는 재하방법
- 주기재하방법: 하중을 주기별로 재하 및 제하하여 시험하는 재하방법
- 초기항타(EOID: End Of Initial Driving) 동재하시험: 항타관입성, 항타장비의 적정성, 말뚝재료의 건전성 및 지지력 평가를 위한 동재하시험의 실시시기를 정의하는 용어로

서 항타 중 또는 직후에 실시하는 동재하시험

- 축하중전이 측정용 센서: 말뚝이 관입되는 지반의 각 지층별 마찰저항과 선단저항을 구분하여 측정하기 위해 말뚝본체에 설치하는 센서로서 응력계, 변형률계가 일반적으로 사용되며 진동현식 또는 전기저항식 센서를 주로 사용함
- 캡블록(capblock): 항타기 플레이트와 말뚝 상단의 드라이브 캡 사이에 삽입된 재료(해머쿠션이라고도 함)
- 말뚝쿠션(pile cushion): 말뚝 상단의 드라이브 캡과 말뚝 사이에 삽입된 완충 재료로서 주로 콘크리트말뚝 시공 시 사용
- 말뚝 임피던스(pile impedance): 항타 시 속도 변화에 대한 말뚝의 저항
- 항타(impact event): 충격력을 가하여 말뚝이 관입 방향으로 압축 및 / 또는 인장을 포함하여 움직이는 시간
- 항타관입성시험(drivability analysis): 동재하시험기를 이용하여 항타 중 말뚝에 발생하는 압축·인장응력, 전달되는 최대에너지, 관입저항 등을 연속적으로 측정하여 항타 중 말뚝의 견전도 확인, 해머 선정의 적정성과 지반의 관입저항을 측정하여 말뚝의 항타 관입성 등을 확인하는 시험이며, 과동방정식에 의한 항타관리 기준(해머낙하고-최종관입량-지지력관계)을 확인·검증하거나 새로운 항타관리 기준을 설정하기 위한 시험

2. 시험

2.1 압축 정재하시험

2.1.1 시험목적

- (1) 본 시험은 정적하중에 의한 말뚝의 압축지지력 특성에 관한 자료를 얻는 것, 또는 이미 정해진 말뚝의 설계 압축지지력을 확인하는 것을 목적으로 하며, 시험말뚝에 하중전이 측정용 센서를 설치하여 지층별 마찰력분포 및 선단지지력을 측정할 수 있다.

2.1.2 시험계획

- (1) 시험의 계획에서는 시험목적, 지반조건, 사용말뚝에 작용하는 하중조건, 말뚝 시공법, 사용말뚝 제원·수량·배치·말뚝머리의 레벨, 시공 공기·시공비 등을 고려하고, 계획최대시험하중, 시험말뚝 제원·수량·위치, 시험장치, 재하·측정방법 및 수행절차의 기본사항을 결정한다.

2.1.3 계획최대시험하중

- (1) 시험의 목적에 따라서, 예상된 말뚝의 극한지지력 이상, 혹은 설계지지력에 안전계수를 고려한 값 이상을 계획최대시험하중으로 한다.
- (2) 시험말뚝의 조건이 사용말뚝의 설계조건과 다른 경우 그 차이가 지지력에 미치는 영향을 고려하여 계획최대시험하중을 정한다.

2.1.4 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 제원·수량 및 위치

- (1) 시험시공말뚝은 원칙적으로 사용말뚝 중 대표적인 말뚝과 동일 제원으로 하고, 사용말뚝과는 별도로 계획하며, 그 시험의 결과분석에 따라 사용말뚝을 설계·시공하는 것을 원칙으로 한다.
- (2) 말뚝재료의 강도가 충분하고, 시험 후 말뚝의 변위로 인하여 구조물에 나쁜 영향을 미치지 않는다고 판단되는 경우 사용말뚝을 시험시공말뚝으로 대체할 수 있다.
- (3) 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 수량과 위치는 시험의 목적에 따라 결정되어 명시된 설계서에 따른다.

2.1.5 시험장치

- (1) 하중 재하를 위한 반력저항체로는 반력말뚝, 지반앵커, 고정하중, 혹은 이들의 조합이 있고, 이들 중에서 선택한다.
- (2) 복수의 반력저항체를 사용할 경우 반력말뚝과 지반앵커의 조합은 피하여야 한다.

2.1.6 재하 및 측정방법

- (1) 하중재하방법은 단계재하방식으로 한다.
- (2) 압축 정재하시험의 하중재하방법은 완속재하방법 및 주기하중 재하방법을 적용하는 것을 원칙으로 하며, 필요한 경우 재하주기는 조정할 수 있다.
- (3) 측정항목 및 측정기구를 시험의 목적에 따라 결정한다.

2.1.7 실시계획서의 작성

- (1) 시험의 실시에 앞서, 시험계획의 내용 및 현지조사의 결과에 기초하여 시험의 실시계획서를 작성한다.
- (2) 실시계획서에는 시험의 목적, 지반조건, 계획최대시험하중, 시험말뚝의 제원·위치·시공방법, 시험장치의 조립도, 유압잭의 제원, 반력장치의 설계계산, 반력저항체의 제원·시공방법, 측정항목, 측정기구의 구성·제원·부착위치, 재하방법, 측정시기, 현장 기록 항목, 결과의 정리방법, 공정표, 시험기간 중의 유의사항 등을 기재하여야 한다.

2.1.8 시험말뚝의 설계

- (1) 시험말뚝의 말뚝재료는 계획최대시험하중에 대하여 안전한 강도를 지녀야 한다.
- (2) 시험말뚝의 지상돌출 길이는 재하·반력장치의 조립, 기준보의 설치 및 측정기구의 부착 등을 고려하여 정한다.
- (3) 시험말뚝의 머리는 하중의 편심에 의한 영향 등을 고려하고 필요에 따라 보강한다.
- (4) 부주면마찰력 방지공을 실시하는 경우 필요에 따라 말뚝의 좌굴 등에 대하여 검토한다.

2.1.9 시험시공말뚝의 시공과 양생

- (1) 시험시공말뚝을 시공할 때에는 원칙적으로 사용말뚝과 동일하여야 한다.
- (2) 시험시공말뚝의 시공 상황을 상세히 기록한다.
- (3) 시험시공말뚝의 시공에 의하여 교란된 지반의 강도회복, 콘크리트 또는 시멘트풀의 경화 등을 고려해서 충분한 기간 동안 양생을 한다.
- (4) 양생기간 중 시험에 나쁜 영향을 줄 수 있는 하중·충격·진동 등을 시험시공말뚝에 가하지 않도록 주의하여야 한다.

2.1.10 시험장치의 설치와 시험장의 환경정비

- (1) 실시계획서에 따라 시험장치를 정확히 설치한다.
- (2) 직사광선, 비바람이 시험에 나쁜 영향을 미치지 않도록 시험장치를 시트 등으로 덮고 시험장 주위에 배수구를 설치한다.
- (3) 시험장에 근접한 공사, 기계, 차량 등의 진동이 측정에 미치는 영향을 검토하고, 필요에 따라 이들의 영향을 줄일 수 있도록 대처한다.

2.1.11 시험장치의 구성

- (1) 시험장치는 재하장치, 반력장치 및 측정장치로 구성한다.
- (2) 재하장치는 유압잭, 펌프 및 재하판으로 구성한다.
- (3) 반력장치는 반력저항체, 재하대 그리고 그것들의 접합부재로 구성한다.
- (4) 측정장치는 계측기구, 기준점 및 기준보로 구성되고, 계측기구는 하중, 변위, 변형 등을 측정하는 센서와 그 측정치를 표시하고 기록하는 계측시스템으로 구성한다.

2.1.12 재하장치

- (1) 재하장치는 계획최대시험하중에 대하여 안전하여야 한다.
- (2) 유압잭은 원형바닥판이 붙은 것을 표준으로 하고 검·교정을 마친 것을 사용한다.
- (3) 유압잭은 계획최대시험하중에 대하여 충분한 재하능력과 시험말뚝 및 반력장치의 변위에 대응할 수 있는 스트로크를 가져야 한다.
- (4) 유압잭은 시험말뚝에 대하여 편심이 없도록 설치한다.
- (5) 여러 개의 유압잭을 사용하는 경우 동일제원으로 하고, 그것들을 연동제어 가능하도록 한다.
- (6) 펌프는 유압잭의 재하능력과 설정된 재하속도에 대응할 수 있는 용량을 가져야 하며 변위에 따른 유압보상이 가능하여야 한다.
- (7) 재하판은 계획최대시험하중에 대하여 충분한 강성을 가져야 하고 수평으로 설치한다.

2.1.13 반력장치

- (1) 반력장치는 계획최대시험하중에 대하여 소요의 저항력을 가져야 한다.
- (2) 반력저항체는 원칙적으로 시험말뚝에 대하여 대칭으로 설치한다.

- (3) 시험말뚝과 반력말뚝 또는 지반앵커와의 중심 간격, 혹은 시험말뚝 중심과 받침대의 간격은 시험말뚝 최대지름의 3배 혹은 1.5 m 이상을 원칙으로 한다.
- (4) 사용말뚝을 반력말뚝으로 이용하는 경우 사용말뚝에 나쁜 영향을 미치지 않도록 유의한다.
- (5) 지반앵커를 사용한 경우 인장재의 늘임량에 대하여 검토하고, 시험의 실시 및 결과에 지장을 주지 않도록 대책을 강구하여야 한다.
- (6) 지반앵커의 앵커정착체는 시험말뚝의 지지력 특성에 영향을 미치지 않는 깊이에 설치한다.
- (7) 고정하중과 재하대의 중량이 시험말뚝에 직접 작용하지 않도록 받침대를 설치한다.
- (8) 재하대는 휨, 전단, 지압 및 좌굴에 대하여 안전하여야 하고 전도되지 않는 구조이어야 한다.

2.1.14 계측기구

- (1) 계측기구는 시험의 목적에 적합한 정도를 가지고, 검·교정을 마친 것을 사용한다.
- (2) 센서는 적합한 위치 및 방향에 설치한다.
- (3) 계측을 위한 센서가 시험의 진행에 의하여 시험말뚝, 재하장치, 반력장치의 변위와 변형에 의해 지장을 받지 않도록 주의하여야 한다.

2.1.15 기준점 및 기준보

- (1) 기준점은 사용말뚝 혹은 가설말뚝에 설치한다.
- (2) 사용말뚝을 기준점으로 하는 경우 시험말뚝 및 반력말뚝으로부터 각 말뚝지름의 2.5 배 이상 떨어진 위치의 것을 이용하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 가설말뚝을 기준점으로 하는 경우 시험말뚝으로부터 그 지름의 5배 이상 혹은 2 m 이상, 반력말뚝으로부터 그 지름의 3배 이상 떨어진 위치에 설치하는 것을 원칙으로 한다.
- (4) 기준점은 지반앵커, 지반앵커의 재하판, 고정하중 및 재하대의 받침대 등으로부터 2.5 m 이상 떨어진 곳으로 한다.
- (5) 기준보는 기준점에 견고하게 설치하고, 온도변화에 의한 변형이 측정치에 큰 영향을 미치지 않도록 주의하여야 한다.
- (6) 기준점 및 기준보는 지반진동 등의 영향을 받지 않도록 충분한 강성을 가진 것으로 한다.

2.1.16 재하방법

- (1) 단계재하방식의 경우 하중단계수, 사이클 수, 재하속도 및 하중유지시간은 표 2.1-1을 따른다.

표 2.1-1 단계재하방식에 의한 재하방법

하중단계수	8단계 이상	
사이클 수	1사이클 혹은 4사이클 이상	
재하속도	하중증가 시 : $\frac{\text{계획최대하중}}{\text{하중단계수}} / \text{min}$	
	하중감소 시 : 하중 증가 시의 2배 정도	
각 하중단계의 하중유지시간	신규하중단계	30 min 이상의 일정시간
	이력 내 하중단계	2 min 이상의 일정시간
	0하중단계	15 min 이상의 일정시간

2.1.17 측정항목

(1) 측정항목은 다음 중 시험의 목적에 따라 선택한다.

- ① 시간
- ② 시험하중
- ③ 말뚝머리의 변위량
- ④ 말뚝 선단 및 중간부의 변위량
- ⑤ 말뚝의 변형량
- ⑥ 말뚝머리의 수평변위량
- ⑦ 반력장치의 변위량
- ⑧ 그 외

2.1.18 시험요원의 구성

(1) 시험요원은 시험관리자 및 재하, 측정, 안전관리 등의 담당자로 구성한다.

2.1.19 시험요원의 임무

- (1) 시험관리자는 실시계획서에 기초하여 담당자를 배치하고 안전하게 시험의 목적이 달성되도록 시험전반을 관리한다.
- (2) 각 담당자는 시험시작 전 시험장치의 안전성을 점검하고 각 장치가 정상적으로 작동하는지를 확인한다.
- (3) 재하담당자는 설정된 재하방법에 따라 재하장치를 조작한다.
- (4) 측정담당자는 소정의 측정항목을 설정한 시기에 측정한다. 또 시험상태가 파악되도록 주요한 데이터를 정리하고 도시한다.
- (5) 안전관리담당자는 시험 중 시험장치의 안전성 확인 및 환경정비에 각별히 주의하여야 한다.

2.1.20 시험의 개시, 중단, 종료

(1) 시험장의 환경정비, 각 장치의 준비, 기후의 상태 등의 조건이 정리된 후 시험을 개시

한다.

- (2) 시험장치 및 시험말뚝에 이상이 확인되면 신속히 시험을 중단하고 그 원인이 제거되어 시험의 속행이 가능하다고 판단될 때 시험을 재개한다.
- (3) 시험의 목적이 달성되었을 때 또는 결과를 얻지 못하고 시험의 속행이 불가능하다고 판단될 때 시험을 종료한다.

2.1.21 현장기록

- (1) 시험 시 다음 항목을 현장에서 기록한다.
 - ① 시험의 개시·중단·종료의 연, 월, 일 및 시각
 - ② 시험요원의 이름
 - ③ 기후의 상태
 - ④ 시험장치, 시험말뚝의 배치 및 제원
 - ⑤ 시험장치, 시험상황 등의 사진
 - ⑥ 특기사항(계획된 시험방법의 내용과 차이가 발생한 경우 상황, 원인, 처리방법 등)

2.1.22 결과의 정리

- (1) 시험의 측정데이터를 정리하여 하중-시간, 변위량-시간, 하중-변위량, 하중-탄성회복량, 하중-잔류변위량 등의 관계곡선을 도시한다.
- (2) 시험의 목적에 따라 말뚝의 압축지지력에 관한 특성치를 구한다. 특성치는 항복지지력, 극한지지력, 말뚝머리의 연직 스프링 정수 등이 있고, 다음 방법에 의하여 판정한다.
 - ① 항복지지력은 $\log P$ - $\log S$ 로 나타내어진 명확히 꺾이는 점의 하중을 말하고 S - $\log t$ 법, $\Delta S/\Delta \log t$ - P 법, 잔류변위량이 급격히 증가하는 점 등을 종합적으로 판단한다. 여기서 P 는 하중, S 는 말뚝머리의 변위량, t 는 신규하중단계의 경과시간이다.
 - ② 극한지지력은 관입저항이 최대로 될 때의 하중으로 한다. 단, 선단변위량은 선단지름의 10% 이하의 범위로 한다.
 - ③ 말뚝머리의 연직스프링 정수는 하중-변위량 곡선의 할선구배에 의하여 산정한다.
- (3) 말뚝의 변형률을 측정한 경우 축방향 변형률분포, 축방향력 분포 등에 대하여 도시한다. 축방향력 분포로부터 구간별 주면저항력 특성 및 선단저항력 특성에 대하여 평가한다.

2.1.23 보고서

- (1) 보고서에는 시험의 목적, 지반의 개요 및 토질조건, 시험의 공정, 시험말뚝의 제원 및 시공기록, 시험장치, 재하 및 측정방법, 시험결과 등을 기재한다.
- (2) 토질조건에 대해서는 지반조사 및 토질시험 데이터 등의 상세한 정보를 첨부한다.

2.2 양방향재하시험

2.2.1 시험목적

- (1) 이 시험은 목적에 따라 지지력 특성시험과 지지력 확인시험으로 구분할 수 있으며, 전자는 말뚝의 선단지지력 특성 또는 주면지지력 특성, 혹은 양자에 관한 자료를 얻는 것이 목적이며 후자는 이미 정해진 말뚝의 설계지지력의 만족 여부를 확인하는 것을 목적으로 한다.

2.2.2 시험계획

- (1) 시험의 계획은 2.1.2의 요건을 따른다.

2.2.3 계획최대시험하중

- (1) 계획최대시험하중은 말뚝의 예상되는 선단저항력, 주면저항력 및 설계지지력 등을 충분히 고려한 후 시험목적에 따라 결정한다.
- (2) 시험의 주목적이 선단지지력 특성의 평가에 있는 경우 예상되는 극한선단지지력 이상의 값을 계획최대시험하중으로 결정한다.
- (3) 시험의 주목적이 주면마찰력 특성의 평가에 있는 경우 예상되는 극한주면마찰력 이상의 값을 계획최대시험하중으로 결정한다.
- (4) 시험의 주목적이 설계지지력의 확인에 있는 경우 설계지지력에 안전계수를 고려한 값 이상의 값을 평가할 수 있도록 계획최대시험하중을 결정한다.
- (5) 시험말뚝의 조건이 사용말뚝의 설계조건과 다른 경우 그 차이에 의한 지지력의 영향을 고려하여 계획최대시험하중을 결정한다.

2.2.4 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 제원, 수량 및 위치

- (1) 시험시공말뚝의 경우는 원칙적으로 사용말뚝 중 대표적인 말뚝과 동일한 제원으로 하며, 사용말뚝과는 별도로 계획하는 것이 좋으나, 사용말뚝을 시험말뚝으로 사용하여도 무방하다.
- (2) 말뚝본체의 강도가 충분하고 시험완료 후 말뚝의 변위거동이 구조물에 나쁜 영향을 미치지 않는다고 판단될 경우 사용말뚝을 시험말뚝으로 사용할 수 있다.
- (3) 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 수량과 위치는 2.1.4에 따른다.

2.2.5 시험장치

- (1) 양방향 재하장치는 하부반력과 상부반력이 균형을 이루는 위치에 설치하여야 한다.
- (2) 확인목적의 재하시험인 경우 시험 종료 후 시험말뚝의 건전도는 말뚝본체와 양방향 재하장치가 모두 재하시험 전의 원상태 건전도보다 저하되지 않는 양방향 재하장치를 사용하여야 한다.
- (3) 양방향재하시험 후 잔류하는 말뚝 두부 및 선단변위량은 잭의 로드가 노출된 변위량에 해당하여 향후 말뚝의 침하로 이어질 수 있으므로 이 노출된 로드의 변위량을 최소화할 수 있는 재하장치를 사용하여야 사용말뚝을 시험말뚝으로 적용할 수 있다.
- (4) 가력장치 및 재하시스템은 적절한 방법에 의하여 검증하여야 하며, 가력장치는 적절

한 방법에 의하여 보정하여야 한다.

(5) 계획최대시험하중에 따라서 양방향 재하장치의 용량, 스트로크, 설치위치 등을 결정한다.

2.2.6 하중재하와 측정방법

- (1) 양방향재하시험의 재하방법은 완속재하방법 및 반복재하방법을 사용하는 것을 원칙으로 한다. 필요한 경우 재하주기는 조절할 수 있다.
- (2) 측정항목 및 계측기구를 시험의 목적에 따라 결정하여야 하며 변위량 측정의 경우 상향 및 하향 변위는 각각 2개소 이상, 그리고 말뚝두부 변위도 2개소 이상을 측정하여야 한다.
- (3) 하중전이 측정용 센서의 계측은 일반적으로 양방향말뚝재하시험의 시작부터 종료 시까지 지속적으로 측정하도록 하며 필요 시 철근망에 센서 설치 후, 말뚝의 시공 직후, 말뚝의 양생 시 일정시간 등에서도 측정할 수 있다.

2.2.7 실시계획서의 작성

- (1) 시험의 실시에 앞서 기본계획 내용 및 현지조사 결과에 기초하여 시험 실시계획서를 작성한다.
- (2) 실시계획서에는 시험목적, 지반조건, 계획최대시험하중, 시험시공말뚝 또는 시험말뚝의 제원, 위치, 시공방법, 시험장치 조립도, 양방향재하장치의 제원, 시험 후 노출된 로드 변위량의 조치방법, 하중전이 측정용 센서의 수량 및 제원, 하중전이 측정용 센서의 설치도, 측정항목, 계측기구의 구성, 제원, 설치위치, 재하방법, 측정시기, 시험요소의 구성, 현장기록의 항목, 결과의 정리방법, 공정표, 시험기간 중의 유의사항 등을 기재한다.

2.2.8 시험말뚝의 설계

- (1) 시험말뚝의 말뚝본체는 계획최대시험하중에 대하여 충분한 강도를 가지는 것으로 한다.
- (2) 시험말뚝의 길이는 재하장치의 조립, 기준보의 설치 및 측정기구의 부착에 필요한 지상돌출 길이 등을 고려하도록 한다.
- (3) 시험말뚝의 구조는 양방향재하장치의 하중이 말뚝본체에 정확히 전달될 수 있도록 한다.

2.2.9 시험말뚝의 시공과 양생

- (1) 양방향 말뚝재하장치를 시험말뚝에 설치 시 편심, 경사, 낙하 등 시험에 지장이 발생할 우려가 없도록 주의한다.
- (2) 시험시공말뚝을 시험말뚝으로 하는 경우 원칙적으로 사용말뚝과 동일한 방법으로 시공하여야 하며, 양방향 말뚝재하장치의 하중이 말뚝의 선단지반에 정확히 전달되도록 계획한다.

- (3) 하중전이 측정용 센서를 설치할 때에는 지반의 지층별 주변마찰력이 확인될 수 있는 위치에 설치한다.
- (4) 시험말뚝의 시공에는 가압용 호스 등의 가력용 벨브시스템과 상·하판 변위측정용 변위봉 보호 파이프 등의 측정용 부속물이 손상을 받지 않도록 주의한다.
- (5) 양방향재하장치는 말뚝의 선단 또는 임의의 위치에 적합하게 설치한다.
- (6) 시험말뚝의 시공 시 시공 상황을 상세히 기록한다.
- (7) 시험말뚝의 시공에 의하여 교란된 지반의 강도회복, 콘크리트와 시멘트 모르타르의 경화 등을 고려하여 충분한 기간 동안 양생을 하여야 하며 필요 시 시험말뚝 시공 시 채취된 콘크리트 공시체를 이용하여 양생기간에 따른 콘크리트의 강도를 측정하여 참고할 수 있다.
- (8) 양생기간 중 시험에 나쁜 영향을 미치는 하중, 충격, 진동 등을 시험말뚝에 가하지 않도록 고려한다.

2.2.10 시험장치의 설치와 시험장의 환경정비

- (1) 실시계획서에 기초하여 시험장치를 정확히 설치한다.
- (2) 기후조건이 시험에 나쁜 영향을 미치지 않도록 시험장치를 보호 장치로 덮고 시험장 주위에 배수구를 설치한다.
- (3) 시험장에 근접한 공사, 기계, 차량 등의 진동이 측정에 미치는 영향을 조사하고 필요에 따라 이들의 영향이 최소화되도록 하여야 한다.

2.2.11 시험장치 및 그 구성

- (1) 시험장치는 양방향재하장치 및 재하시스템, 측정장치 그리고 축하중 전이 측정시스템(선택항목)으로 구성한다.
- (2) 양방향재하장치는 시험말뚝의 선단부 또는 적절한 위치에 설치된 가력기구, 펌프, 벨브 등으로 구성된다.
- (3) 계측장치는 계측시스템, 기준점 및 기준보로 구성되고 계측시스템은 하중, 변위, 변형 등을 측정할 수 있는 센서와 계측시스템(데이터로그, 채널확장용 스위치박스, 컴퓨터 등) 및 말뚝변위측정용 변위봉으로 구성한다.
- (4) 하중전이 측정시스템은 축하중계측용 센서와 계측시스템으로 구성한다.

2.2.12 양방향재하장치 및 재하시스템

- (1) 양방향재하장치에 사용되는 가력장치는 검정을 득하여야 한다. 이때 하중의 정확도와 시험의 신뢰성을 높이기 위하여 실제로 이용할 압력센서와 호스를 조립한 상태로 압축시험기에서 공칭능력의 1/2 이상의 압력까지 검정하여야 한다.
- (2) 대용량시험 및 중요한 시험에서는 상·하판의 조립이 완료된 양방향재하장치에 대하여 검정할 수 있다. 이때 조립된 양방향재하장치에 대하여 공칭능력의 50%까지 검정할 수 있다.

- (3) 양방향재하장치는 계획최대시험하중에 대하여 충분한 재하능력을 가지며 시험말뚝의 변위에 대응할 수 있는 스트로크를 가진 것으로 한다.
- (4) 복수의 가력장치를 사용할 경우 동일한 제원이어야 하며 연동제어가 가능하여야 한다.
- (5) 가력용 호스 등의 밸브시스템은 내압능력이 충분히 크고 손상이 없는 것으로 한다.
- (6) 펌프는 양방향재하장치의 재하능력과 재하속도에 대응할 수 있는 충분한 토출량을 가진 것으로 한다.
- (7) 복수의 가력장치를 설치한 단면적을 제외한 상·하판 단면적에 콘크리트 타설이 원활히 되도록 유동공간을 확보하여야 한다.
- (8) 양방향재하시험의 실시 후 말뚝 두부 및 선단 변위량은 잭의 로드가 노출된 변위량에 해당하여 향후 말뚝의 침하로 이어질 수 있으므로 이 노출된 로드의 변위량이 최소화 되도록 조치한 후에 시험말뚝을 사용말뚝으로 사용할 수 있다.

2.2.13 계측장치

- (1) 계측장치는 시험의 목적에 적합한 정도를 만족하고 검·교정을 득한 것을 사용한다.
- (2) 하중센서는 압력센서를 이용하는 것을 원칙으로 하고 가능한 한 가압장치에 근접하여 설치한다.
- (3) 변위측정용 센서는 적절한 위치·방향을 만족시키도록 설치한다.
- (4) 변위측정용 센서와 변위측정용 변위봉은 시험의 진행과 시험말뚝의 변위와 변형에 의하여 지장을 받지 않도록 설치하여야 한다.
- (5) 재하시험 시 축하중 계측용 센서는 시험말뚝이 시공된 지반의 지층별 하중전이를 확인할 수 있도록 길이방향으로 적절한 간격으로 설치하여야 하며 각 지층별 1개소 이상 설치하도록 한다.

2.2.14 기준점 및 기준보

- (1) 기준점은 사용말뚝 혹은 가설말뚝에 설치한다.
- (2) 사용말뚝을 기준점으로 하는 경우 시험말뚝으로부터 각 말뚝지름의 2.5배 이상 떨어진 위치에 있는 것을 이용하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 가설말뚝을 기준점으로 하는 경우 시험말뚝으로부터 그 지름의 5배 이상 혹은 2 m 이상 떨어진 위치에 설치하는 것을 원칙으로 한다.
- (4) 기준보는 기준점에 견고하게 설치하고, 온도변화에 의한 변형이 측정치에 영향을 미치지 않도록 고려한다.
- (5) 기준점 및 기준보는 지반의 진동 등의 영향을 받지 않도록 충분한 강성을 가져야 한다.

2.2.15 재하방법

- (1) 하중재하방법은 완속재하방법 및 반복하중재하 방법을 중 하나를 선택하되 가급적 반복재하방법을 적용하도록 하며, 반복하중재하 시 반복 사이클 수는 필요에 따라 조정할 수 있다.
- (2) 초기 재하 시 가력기구 고정용 임시고정기구의 절단을 확인할 수 있도록 가능한 한 느리게 재하하여야 한다.

2.2.16 재하장치 다단 설치 시 재하단계

- (1) 말뚝의 길이가 지나치게 길거나 1단의 양방향재하장치로 말뚝의 지지거동을 확인하기 어려울 때는 다단으로 양방향재하장치를 설치하여 시험을 수행할 수 있다.
- (2) 재하순서는 일반적으로 말뚝선단에 설치된 재하장치의 시험을 먼저 수행하며 이후 상부 재하장치의 시험을 수행하고 추가적인 시험은 시험수행자의 판단에 따라 수행한다.

2.2.17 측정항목

- (1) 측정항목은 시험의 목적에 따라 아래 항목 중에서 선택한다.
 - ① 시간
 - ② 재하단계별 하중
 - ③ 말뚝두부 및 양방향재하장치의 하향/상향 변위량
 - ④ 선단 및 중간부의 변위량
 - ⑤ 말뚝본체의 변형률(심도별 설치된 하중전이 측정용 센서의 변형률 또는 응력)
 - ⑥ 말뚝 주변지반의 변위량
 - ⑦ 그 외

2.2.18 측정시기

- (1) 모든 자료는 자동화 계측 되어야 하며 자동화 측정시스템에서의 측정항목들은 실시간으로 시험의 시작부터 종료까지 지속적으로 자동측정하는 것을 표준으로 한다.

2.2.19 시험의 개시, 중단, 종료

- (1) 시험장의 환경정비, 각 장치의 준비, 기후 상태 등의 조건을 정리한 후 시험을 개시한다.
- (2) 시험장치 및 시험중인 말뚝에 이상이 확인될 때에는 신속히 시험을 중단해야 하며, 그 원인을 제거한 후 시험의 진행이 가능하다고 판단될 때 시험을 재개한다.
- (3) 시험의 목적이 달성되었을 때 혹은 부득이하게 시험의 진행이 불가능하다고 판단될 때 시험을 종료한다.

2.2.20 재하시험 종료 후 가력기구 내부 및 말뚝 내부처리

- (1) 시험말뚝이 사용말뚝인 경우 사용상 안전성이 확보되어야 한다.
- (2) 가력기구 내부에 발생한 빈 공간은 적절한 방법으로 제거하고 사용말뚝 재료 이상의 고강도 그라우트로 채운다.
- (3) 말뚝 내부에 발생한 빈 공간은 사용말뚝 재료 이상의 고강도 그라우트로 건전성이 확보되도록 밀실하게 채운다.

2.2.21 현장기록

- (1) 시험 시 다음 항목을 현지에서 기록한다.
 - ① 2.1.21에서 명시한 현장기록 항목
 - ② 시험에 의한 주변지반의 균열 상황
 - ③ 시험종료 후 그라우팅 시 작업개시부터 종료 시까지의 상황을 상세하게 기록

2.2.22 시험결과의 정리

- (1) 측정 데이터를 이용하여 하중-시간, 양방향재하장치의 하판 변위량-시간, 하중-하판 변위량, 하중-하판의 탄성회복량, 하중-하판의 잔류변위량, 상판 변위량-시간, 하중-상판 변위량 등의 관계곡선을 도시한다.
- (2) 양방향재하장치의 하판변위에 관한 측정으로부터 얻어지는 특성치는 극한선단저항력, 말뚝선단의 연직지반반력계수 등이 있고, 양방향재하장치의 하판과 말뚝의 선단이 가까운 경우 양방향재하장치의 하중을 선단저항력, 하판 변위량을 선단 변위량으로 볼 수 있다. 특성치는 다음 방법으로 판정한다.
 - ① 극한선단저항력은 선단저항이 최대로 될 때의 값으로 하되, 선단 변위량이 선단지름의 10% 이하의 범위로 한다.
 - ② 말뚝선단의 연직지반반력계수는 말뚝선단의 단위면적당의 선단저항력-변위량 곡선의 할선구배에 의하여 산정한다.
- (3) 양방향재하장치의 상판변위에 관한 측정으로부터 얻어지는 특성치는 주변마찰저항력의 항복저항력, 극한저항력, 말뚝 주변의 선단 지반반력계수, 축하중 분포도에 의한 구간별 단위저항력 등이 있으며, 이들 특성치들을 적합한 방법으로 판정하여야 한다.

2.2.23 결과의 분석 및 해석

- (1) 하중-하판변위 및 하중-상판변위 곡선을 이용하여 말뚝머리 등가하중-침하량 곡선을 작성하고 분석하여야 한다.
- (2) 수정 등가하중-변위량 곡선을 작성하여 두부재하방식의 압축 정재하시험방법에 준하는 특성치를 구한다.
- (3) 등가하중-변위량 곡선의 작성 시 측정된 하향반력과 상향 반력만을 사용하여야 하며 외삽하여 추정된 반력은 사용하지 않아야 한다. 단, 재하용량을 충분하게 구비하였더라도 선단부 지반이 연약하여 충분하게 재하하지 못한 경우 외삽된 말뚝두부 등가하중을 사용할 수도 있으나, 이는 실험에 의한 결과가 아니므로 사용상 주의를 요한다.

- (4) 깊이에 따른 주변마찰력 분포도의 곡선을 이용하여 축하중 분포도를 작성하고 분석하여야 한다.
- (5) 2단 이상으로 재하장치가 설치된 경우 시험의 목적과 재하 순서에 따라 적절하게 말뚝머리 등가하중-침하량 관계 및 축하중분포도를 작성하여야 한다.

2.2.24 보고서

- (1) 보고서에는 시험목적, 지반개요 및 지반 특성치, 시험공정, 시험말뚝 제원, 시공기록, 시험장치, 하중전이 측정용 센서 배치 및 수량, 재하 및 측정방법, 가력기구의 로드 노출변위량, 시험 결과(지지력 분석, 축하중 분포도, 각 지층별 평균마찰응력 분포도 등) 등을 기재한다.

2.3 동재하시험

2.3.1 시험목적

- (1) 동재하시험의 목적은 말뚝의 지지력 측정과 품질확인 및 시공관리기준을 수립하는 것으로 현장에서 올바른 측정이 이루어져야 하며 정확하게 계측된 데이터에 기초하여 분석하여야 한다.
- (2) 필요 시 동재하시험의 품질을 검증하기 위해 압축 정재하시험과의 비교·평가를 수행한다.

2.3.2 시험계획

- (1) 시험의 계획은 2.1.2의 요건을 따른다.

2.3.3 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 수량

- (1) 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 수량과 위치는 2.1.4에 따른다.

2.3.4 향타장비

- (1) 말뚝에 충격력을 가하기 위하여 일반적인 향타기나 유사 장비를 사용할 수 있으며, 설계지지력을 충분히 초과하는 지지층에서의 정적 저항을 만들어 낼 수 있는 말뚝 관입량을 유발할 수 있거나 최소 3/1,000초(3 ms)간 말뚝에 타격에너지를 작용시킬 수 있는 장비이어야 한다.
- (2) 향타기 위치는 말뚝의 두부에 대하여 축방향으로 말뚝 중심에 향타가 이루어지도록 정한다.

2.3.5 동적거동 측정기구

- (1) 향타 중 말뚝 축을 따라 특정 위치에서 시간에 따른 가속도와 변형을 독립적으로 측정할 수 있는 변환기가 포함되어야 한다.

- (2) 말뚝 중심축을 기준으로 반대편에 가속도 측정용 장비와 변형 측정용 장비가 하나씩 최소 2개 이상의 장비가 미끄러지지 않도록 안전하게 부착되어야 한다.
- (3) 볼트로 조이거나 아교로 붙이거나 용접된 측정기를 사용할 수 있다.

2.3.6 가속도계

- (1) 사용되는 가속도계는 궁극적으로 적분에 의해 속도로 환산되어 분석에 사용되므로 이러한 기능을 갖는 가속도계 및 변환장치가 사용되어야 한다.
- (2) 가속도계는 공명 주파수가 2,500 Hz 이상인 것이 사용되어야 하며 최소한 2개가 말뚝 중심축을 기준으로 원주방향으로 대칭이 되도록 부착되어야 한다.
- (3) 콘크리트말뚝인 경우 사용되는 가속도계는 최소한 1000 g (g:중력가속도) 및 1,000 Hz 범위 내에서 선형을 보이는 것이 요구되며, 강관말뚝인 경우에는 최소한 2000 g 및 2,000 Hz범위 내에서 선형을 확보할 수 있는 성능을 가져야 한다.

2.3.7 변형률계

- (1) 변형률계는 전체 변형 가능 범위에서 선형 결과이어야 하며, 말뚝에 설치하는 힘 또는 변형률계의 고유 주파수는 2,000 Hz 이상이어야 한다.
- (2) 측정된 변형률은 그 위치에서의 말뚝 순단면적과 동적탄성계수를 이용하여 힘으로 전환되어야 한다.
- (3) 강재의 동적탄성계수는 $(200\sim 207) \times 10^6$ kPa 정도이다.
- (4) 콘크리트와 목재 말뚝의 동적탄성계수는 KS F 2438과 KS F 2206에 따라 압축 시험 중 측정된 것으로 추정할 수 있다.
- (5) 다른 방법으로 콘크리트, 목재, 그리고 강재 말뚝의 탄성계수($E = \rho c^2$)는 단위 중량(말뚝 재료의 밀도)에 파속도(압축파가 말뚝을 따라 전달되는 속도)의 제곱을 곱하여 계산할 수 있다.

2.3.8 향타분석기

- (1) 말뚝에 부착된 가속도계 및 변형률계로부터 측정되는 데이터가 전송되어 변위 및 힘으로 변환되어 화면(주로 LCD)에 출력되는 기기가 필요하다.
- (2) 이 기기 내에는 자료 취득 및 처리, 신호변환 등의 기능을 실행할 수 있어야 하며 파형분석 프로그램에 적합한 자료처리 기능을 가져야 한다.
- (3) 이 기기는 신호저장 장치, 자료처리 장치, 변환자료 저장 장치 및 화면출력 장치 등으로 구성된다.

2.3.9 시험말뚝의 두부 정리

- (1) 선정된 시험말뚝은 지상 부분의 돌출길이가 3 D(D: 말뚝의 지름) 정도 되어야 하며, 말뚝 두부에 편심이 걸리지 않도록 표면에 요철이 없는 완전히 매끈한 상태를 유지하여야 한다.

2.3.10 게이지 선정

- (1) 동재하시험에 사용되는 게이지는 변형률계와 가속도계가 분리되어 있는 것과 일체로 된 것이 있으며 같은 형태의 것을 선정한다. 즉 변형률계와 가속도계가 분리되어 있는 것은 분리되어 있는 것으로, 일체로 되어 있는 것은 일체로 된 것을 사용하여야 한다.
- (2) 스파이럴 형식(Spiral type)의 대구경 강관말뚝과 대구경 현장타설 콘크리트말뚝인 경우 정확한 데이터 획득을 위하여 여러 개의 게이지를 부착하여야 한다.
- (3) 게이지는 각 제작사별로 정해진 검정 유효기간을 준수하기 위해 반드시 제작사나 공인인증기관에서 검·교정이 실시되어야 하며, 특별한 규정이 없으면 반드시 2년 내 검·교정이 이루어진 것을 사용한다.

2.3.11 게이지 부착

- (1) 게이지는 말뚝에 1쌍씩 대칭(180°)으로 부착하는데 말뚝 두부로부터 최소 1.5 D 이상 (D : 말뚝지름 또는 대각선 길이) 이격시키는 것이 바람직하다. 게이지는 움직이지 않도록 안전하고 견고하게 부착되어야 하며, 볼트로 조이거나 아교로 붙이거나 용접된 장비를 사용할 수 있다.

2.3.12 초기값 입력

- (1) 말뚝 길이
 - ① 말뚝 전 길이
 - ② 두부에서 게이지를 설치하는 위치까지의 길이
 - ③ 지표에서 말뚝 선단까지의 관입 길이
- (2) 말뚝 면적 등
 - ① 말뚝 바깥지름을 기준으로 한 전체 면적
 - ② 말뚝 바깥지름에서 안지름을 제외한 순단면적
 - ③ 말뚝의 탄성계수
 - ④ 말뚝의 단위중량
 - ⑤ 탄성과 속도
 - ⑥ 지반의 감쇠계수
 - ⑦ 게이지 보정계수

2.3.13 게이지 점검

- (1) 게이지의 초기 상태는 동재하시험의 신뢰성과 관련되는 중요한 것으로 게이지 보정계수 및 부착 상태의 확인으로 크게 나눌 수 있으며 게이지의 출력값이 허용 범위 이상이거나 파형이 불안정하면 말뚝에 부착된 게이지를 점검하거나 교체하여야 한다.

2.3.14 해머의 거치

- (1) 말뚝을 타격하기 위하여 해머를 말뚝에 거치한다. 이때 유의할 점은 편타가 발생하지 않도록 해머와 말뚝의 축선을 일치시켜야 한다.

2.3.15 향타 및 자료 평가

- (1) 초기 3 ~ 5회 향타하고 향타분석기 상에 나타난 좌·우의 하중 그래프 차이를 참고하여 편타 여부를 확인한다.
- (2) 편타가 확인되면 향타 장비를 이동하여 향타를 다시 실시하여 최종 편타 여부를 확인한다.
- (3) 양질의 데이터를 위하여 측정 자료의 비례성(proportionality)이 확보되어야 한다.
- (4) 최종 관입 깊이를 확인하고 입력하여 측정 자료를 저장한다.

2.3.16 시험결과분석

- (1) 분석 과형의 선정 기준은 비례성이 양호하고 지지력을 충분히 발생시키도록 변위가 발생한 것을 선택하여야 하며 말뚝 두부의 압축력, 말뚝에 작용하는 최대 인장응력, 최대 향타에너지 등을 참조하여 선택한다.
- (2) 현장에서 측정된 파를 실내에서 재현 분석(signal matching)한 후 측정된 파와 재현 분석된 파의 결과를 함께 나타낸다.

2.3.17 시험결과정리

- (1) 시험결과에는 다음 사항이 기록되어야 한다.
 - ① 현장명
 - ② 시험 위치 또는 인접한 위치의 주상도
 - ③ 말뚝 시공장비의 명칭 및 해머중량, 낙하고
 - ④ 해머쿠션, 말뚝쿠션, 리드타입(lead type)
 - ⑤ 사용된 게이지의 검교정서(유효기간)
 - ⑥ 시험말뚝의 종류, 시공법, 시공 일자, 시험 일자
 - ⑦ 시험말뚝의 설계하중
 - ⑧ 시험말뚝의 길이, 지름, 두께, 단면적
 - ⑨ 게이지 설치에 대한 설명과 위치를 포함한 시험 절차에 대한 설명
 - ⑩ 초기향타 또는 재향타 시 시험일자 및 시험말뚝 향타순서와 관입 깊이
 - ⑪ 게이지 설치위치, 단위중량, 탄성과속도, 탄성계수, 감쇠계수 확인
 - ⑫ 초기향타 또는 재향타 시 시험종료 시점과 재향타 시작 시점을 설명
 - ⑬ 해머 성능, 말뚝 두부 및 선단에서의 압축 응력
 - ⑭ 건전도에 대한 설명
 - ⑮ 향타 종료 시 최종관입량

2.3.18 결과의 분석

- (1) 시험결과에 대한 분석에는 다음 사항이 기록되어야 한다.
 - ① 시험된 말뚝의 지지력 산정에 대한 설명 : 초기항타 또는 재항타 여부 확인 및 재항타 시 시항타 종료 시점과 재항타 시작 시점을 설명
 - ② 측정결과와 계산결과에 대한 분석 결과로부터 해석한 주변마찰력과 선단지지력
 - ③ 관입 깊이에 따른 주변마찰력의 분포
 - ④ 말뚝 선단과 주변에서의 지반계수(웨이크, 댐핑)
 - ⑤ 초기항타 시 관입성에 대한 분석

2.4 인발재하시험

2.4.1 시험목적

- (1) 시험은 정적하중에 의한 말뚝의 인발저항력 특성에 관한 자료를 얻는 것, 또는 이전에 결정된 말뚝의 설계인발지지력의 타당성을 확인하는 것을 목적으로 한다.

2.4.2 시험계획

- (1) 시험의 계획은 2.1.2의 요건을 따른다.

2.4.3 계획최대시험하중

- (1) 시험의 목적에 따라 예상되는 말뚝의 극한인발지지력 이상, 또는 설계인발지지력에 안전계수를 고려한 값 이상을 계획최대시험하중으로 한다.
- (2) 시험말뚝의 조건이 사용말뚝의 설계조건과 다른 경우 그 차이에 의한 인발지지력의 영향을 고려하여 계획최대시험하중을 정한다.

2.4.4 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 제원·수량 및 위치

- (1) 시험시공말뚝은 원칙적으로 사용말뚝 중 대표적인 말뚝과 동일한 제원으로 설치한다.
- (2) 말뚝재료의 강도에 충분한 여유가 있고, 시험 후 말뚝의 인발변위 양상이 구조물에 나쁜 영향을 미치지 않는다고 예상되는 경우 사용말뚝을 시험말뚝으로 하는 것도 가능하다.
- (3) 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 수량과 위치는 2.1.4에 따른다.

2.4.5 시험장치

- (1) 반력 저항체로는 반력말뚝 혹은 반력판이 있고, 어느 것이든 적용 가능하다.

2.4.6 재하 및 측정방법

- (1) 재하방법으로 단계재하방법과 연속재하방법이 있고, 전자의 경우 재하단계 수, 사이클 수 및 각 하중단계의 하중 유지시간을 결정하고, 후자의 경우 사이클 수 및 재하속도

를 결정한다.

- (2) 측정항목 및 계측기구를 시험의 목적에 따라서 결정한다.

2.4.7 실시계획서의 작성

- (1) 시험을 실시하기 전 기본계획서의 내용 및 현지조사의 결과에 기초하여 시험의 실시 계획서를 작성한다.
- (2) 실시계획서에는 시험의 목적, 지반조건, 계획최대시험하중, 시험말뚝의 제원·위치·시공방법, 시험장치의 조립도, 유압잭의 제원, 반력장치의 설계계산, 반력저항체의 제원 및 시공방법, 최종 인발변위량, 측정항목, 계측기구의 구성·제원·부착위치, 재하방법, 측정시기, 시험요원의 구성, 현장기록의 항목, 결과의 정리방법, 공정표, 시험기간 중의 유의사항 등을 기재한다.

2.4.8 시험말뚝의 설계

- (1) 시험말뚝의 재료는 계획최대시험하중에 대하여 충분히 안전한 강도를 가져야 한다.
- (2) 시험말뚝의 길이는 재하 및 반력장치의 조립, 기준보의 설치 및 계측기구의 부착에 필요한 지상돌출길이 등을 고려하여 결정한다.
- (3) 시험말뚝의 말뚝머리는 하중의 편심에 의한 영향 등을 고려하고, 필요에 따라서 보강한다.

2.4.9 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 시공과 양생

- (1) 시험시공말뚝은 원칙적으로 사용말뚝과 동일하게 시공한다.
- (2) 시험시공말뚝을 시공하는 경우 시공 상황을 상세히 기록한다.
- (3) 시험말뚝의 시공에 의하여 교란된 지반의 강도회복, 콘크리트 또는 시멘트풀의 경화 등을 고려해서 충분한 기간 동안 양생한다.
- (4) 양생기간 중에는 시험에 나쁜 영향을 줄 수 있는 하중, 충격, 진동 등을 시험말뚝에 가하지 않도록 주의하여야 한다.

2.4.10 시험장치의 설치와 시험장의 환경정비

- (1) 실시계획서에 따라 시험장치를 정확하게 설치한다.
- (2) 직사광선, 비바람이 시험에 나쁜 영향을 주지 않도록 시험장치를 시트 등으로 덮어 두고, 시험장 주위에 배수구를 설치한다.
- (3) 시험장에 근접한 공사·기계·차량 등의 진동이 측정에 미치는 영향을 검토하고, 그 영향이 최소화되도록 대처한다.

2.4.11 시험장치 및 그 구성

- (1) 시험장치는 재하장치, 반력장치 및 계측장치로 구성한다.
- (2) 재하장치는 유압잭, 펌프 및 시험말뚝과의 접합부분으로 구성한다.

- (3) 반력장치는 반력저항체, 재하대 및 그것의 접합부재로 구성한다.
- (4) 계측장치는 계측기구, 기준점 및 기준보로 구성되고, 계측기구는 하중, 변위, 변형률 등을 측정하는 센서와 함께 그 측정값을 기록하는 계측시스템으로 구성한다.

2.4.12 재하장치

- (1) 재하장치는 계획최대시험하중에 대하여 충분히 안전하여야 한다.
- (2) 유압잭은 원형바다판이 붙은 것을 표준으로 하고 검·교정을 받은 것을 사용한다.
- (3) 유압잭은 계획최대시험하중에 대하여 충분한 재하능력과 말뚝 및 반력장치의 변위에 대응할 수 있는 충분한 스트로크를 가져야 한다.
- (4) 유압잭은 시험말뚝에 대하여 편심이 없도록 설치한다.
- (5) 여러 개의 유압잭을 사용하는 경우 동일한 재원을 사용하고, 연동제어가 가능하여야 한다.
- (6) 펌프는 유압잭의 재하능력과 설정한 재하속도에 대응할 수 있는 충분한 용량을 가져야 한다.
- (7) 시험말뚝과 접합부분은 계획최대시험하중에 대하여 충분히 안전하여야 한다.

2.4.13 반력장치

- (1) 반력장치는 계획최대시험하중에 대하여 충분한 저항력을 가져야 한다.
- (2) 반력저항체는 원칙적으로 시험말뚝에 대하여 대칭적으로 설치한다.
- (3) 시험말뚝과 반력말뚝과의 중심 간격 또는 시험말뚝 중심과 반력판의 간격은 시험말뚝 최대지름의 3배 이상 혹은 1.5 m 이상을 원칙으로 한다.
- (4) 사용말뚝을 반력말뚝으로 이용하는 경우 사용말뚝에 나쁜 영향을 미치지 않도록 유의한다.
- (5) 재하대는 휨, 전단, 지압 및 좌굴에 대하여 안전하고, 전도되지 않는 구조로 한다.

2.4.14 계측장치

- (1) 계측장치는 시험의 목적에 적합한 정도를 가지고 검·교정을 받은 제품을 사용한다.
- (2) 센서는 적절한 위치 및 방향에 확실하게 설치한다.
- (3) 센서를 설치할 때에는 센서가 시험의 진행에 따라 시험말뚝, 재하장치, 반력장치의 변위 및 변형에 의하여 지장을 받지 않도록 충분히 주의하여야 한다.

2.4.15 기준점 및 기준보

- (1) 기준점은 사용말뚝 또는 가설말뚝에 설정한다.
- (2) 사용말뚝을 기준점으로 하는 경우 시험말뚝 및 반력말뚝으로부터 각 말뚝지름의 2.5배 이상 떨어진 위치의 것을 이용하는 것을 원칙으로 한다.
- (3) 가설말뚝을 기준점으로 하는 경우 시험말뚝으로부터 그 지름의 5배 이상 또는 2 m 이상, 반력말뚝으로부터 그 지름의 3배 이상 떨어진 위치에 설치하는 것을 원칙으로

한다.

- (4) 기준점은 반력판으로부터 2.5 m 이상 떨어진 곳으로 한다.
- (5) 기준보는 기준점에 확실히 설치하고, 온도변화에 의한 변형이 측정치에 큰 영향을 미치지 않도록 고려한다.
- (6) 기준점 및 기준보는 지반의 진동 등의 영향을 받지 않도록 충분한 강성을 가진 것으로 한다.

2.4.16 측정항목

- (1) 측정항목은 다음 중에서 시험목적에 따라 선택한다.
 - ① 시간
 - ② 하중
 - ③ 말뚝머리의 변위량
 - ④ 선단, 지중부 및 재하점의 변위량
 - ⑤ 말뚝재료의 변형률
 - ⑥ 말뚝머리의 수평변위량
 - ⑦ 반력장치의 변위량
 - ⑧ 말뚝 주변지반의 변위량
 - ⑨ 기타

2.4.17 시험실시

- (1) 시험요원은 시험관리자 및 재하, 측정, 안전관리 등의 담당자로 구성한다.
- (2) 시험요원의 임무
 - ① 시험관리자는 실시계획서에 기초하여 담당자를 배치하고, 안전하고 확실히 시험의 목적이 달성되도록 시험전반을 관리한다.
 - ② 각 담당자는 시험시작 전 시험장치의 안전성을 점검하고 각 장치가 정상적으로 작동하는지를 확인한다.
 - ③ 재하담당자는 설정된 재하방법에 따라 재하장치를 조작한다.
 - ④ 측정담당자는 소정의 측정항목에 대하여 설정한 시기에 측정한다. 또한, 시험의 진행상태가 파악될 수 있도록 주요한 측정데이터를 그 즉시 정리하고 도시한다.
 - ⑤ 안전관리 담당자는 시험 중 시험장치의 안전성 및 환경정비에 충분히 주의한다.

2.4.18 시험의 개시 · 중단 · 종료

- (1) 시험장의 환경정비, 각 장치의 준비, 기후의 상태 등의 조건이 정비된 것을 확인한 다음 시험을 시작한다.
- (2) 시험장치 및 시험말뚝에 이상이 확인되면 신속하게 시험을 중단하고, 또한 그 원인이 제거되어 시험의 속행이 가능하다고 판단될 때 시험을 재개한다.
- (3) 시험의 목적이 달성되었을 때, 또는 부득이하게 시험의 속행이 불가능하다고 판단될

때 시험을 종료한다.

2.4.19 현장기록

- (1) 시험을 실시할 때 다음 항목을 현장에서 기록한다.
 - ① 시험의 시작·중단·종료 시기의 날짜 및 시각
 - ② 시험요원의 이름
 - ③ 기후의 상태
 - ④ 시험장치, 시험말뚝의 배치 및 제원
 - ⑤ 시험장치, 시험상황 등의 사진
 - ⑥ 시험에 의한 주변 지반의 균열 상황
 - ⑦ 특기 사항(계획된 시험방법의 내용과 차이가 발생한 경우의 상황, 원인, 처리방법 등)

2.4.20 결과의 정리

- (1) 시험에서 측정된 데이터를 정리하여 하중-시간, 변위량-시간, 하중-변위량, 하중-탄성회복량, 하중-잔류 변위량 등의 관계곡선을 작성한다.
- (2) 시험의 목적에 따라 말뚝의 인발저항력에 관한 특성치를 구한다. 특성치에는 항복지지력, 극한지지력, 말뚝머리의 연직 스프링 정수 등이 있고, 다음 방법으로 결정한다.
 - ① 항복지지력은 $\log P$ - $\log S$ 곡선에서 명확하게 꺾이는 점의 하중을 말하고, S - $\log t$ 법, $\Delta S/\Delta t$ - P 법, 잔류변위량의 급증점 등을 종합하여 판정한다. 여기에서, P 는 하중, S 는 말뚝머리변위량, t 는 신규하중단계의 경과시간이다.
 - ② 극한지지력은 인발저항이 최대로 될 때의 하중으로 한다. 여기서 인발변위량은 말뚝 지름의 10% 이하의 범위로 한다.
 - ③ 말뚝머리의 연직 스프링 정수는 하중-변위량 곡선의 할선구배에 의하여 산정한다.
- (3) 말뚝의 변형률을 측정하는 경우 축방향변형률 분포, 축방향하중 분포 등에 대하여 그림으로 나타낸다. 축방향하중 분포로부터 구간별 주면저항력 특성 등을 평가한다.

2.4.21 보고서

- (1) 보고서는 시험의 목적, 지반의 개요 및 지반조건, 시험의 공정, 시험말뚝의 제원 및 시공기록, 시험장치, 재하 및 측정방법, 최종 인발량, 시험결과 등을 기록한다.
- (2) 지반조건에 대하여 가능한 모든 지반조사 및 토질시험 데이터 등의 상세한 정보를 첨부한다.

2.5 횡방향재하시험

2.5.1 시험목적

- (1) 말뚝-지반 간의 실제 횡방향 허용지지력은 횡방향재하시험을 통해 가장 적절하게 측정할 수 있으며, 이를 통해 횡방향하중에 대한 말뚝-지반의 상호작용을 규명하는데

필요한 자료를 제공한다.

- (2) 말뚝의 횡방향재하시험을 실시하는 가장 큰 목적은 얻어진 결과를 말뚝기초의 설계에 직접 혹은 간접적으로 반영시키는 데 있다.

2.5.2 시험계획

- (1) 시험은 그 목적, 규모, 주변 환경 등에 의하여 전체의 계획이 달라지므로 시험을 계획할 때에는, 미리 다음 사항을 명확하게 고려해 둘 필요가 있다.

- ① 지반조건
- ② 말뚝의 조건
- ③ 외력조건
- ④ 설계조건
- ⑤ 반복계산

2.5.3 시험의 종류

- (1) 시험은 말뚝두부자유의 상태로 실시하는 것을 표준으로 한다.
- (2) 시험은 다음 중 어느 것으로 하든지 시험방식은 재하속도가 일정한 다사이클을 원칙으로 한다.
- ① (+)(-)의 반복재하시험
 - ② 1방향재하
 - ③ 설계하중 및 하중 주기에 따른 분류

2.5.4 시험말뚝의 선정

- (1) 시험말뚝은 설계 말뚝의 제원, 말뚝주변의 지반 등을 검토하여 대표성을 갖도록 선정한다.

2.5.5 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 위치와 수량

- (1) 시험말뚝의 위치는 주위에 지표면의 교란이 없고, 원칙적으로 수평한 지반으로 한다.
- (2) 시험말뚝의 변형에 영향을 미친다고 판단되는 범위 내에는 구조물, 성토, 반력말뚝 등이 없어야 한다.
- (3) 시험시공말뚝 및 시험말뚝의 수량과 위치는 2.1.4에 따른다.

2.5.6 시험말뚝의 양생기간

- (1) 시험시공말뚝 또는 시험말뚝은 콘크리트 또는 시멘트풀 등의 경화 및 말뚝의 시공에 의하여 교란된 지반의 강도회복을 고려하여 양생하여야 한다.

2.5.7 말뚝본체의 보강

- (1) 시험말뚝의 재하지점은 국부적인 파손과 변형이 생기지 않도록 적당한 보강을 시행한다.

(2) 보강 시 재하장치의 안정성도 고려한다.

2.5.8 시험방법

- (1) 재하점의 높이는 말뚝이 실제로 구조물의 하중을 받는 상태를 고려하여, 그것과 가장 근접한 위치로 한다.
- (2) 재하방법은 다음 사항을 고려하여 선정한다.
 - ① 구조물의 종류, 외력의 종류 및 시험목적을 고려하여 재하방법을 결정한다.
 - ② 재하방법으로 반복재하와 1방향재하가 있다.
 - ③ 각각의 재하방법을 표 2.5-1과 표 2.5-2에 나타내었다.

표 2.5-1 반복재하방법

항목	하중증가 시	하중감소 시
하중단계	8단계 이상	8단계 이상
하중속도	$\frac{\text{계획최대하중}}{8 \sim 20}$ (톤/분)	$\frac{\text{계획최대하중}}{4 \sim 10}$ (톤/분)
하중지속시간	각 하중 단계 3분	각 하중 단계 3분

표 2.5-2 1방향 재하방법

항목	하중증가 시		하중감소 시
	하중유지시간	처녀 하중, 이력 내 하중	
	0 하중	15분	

(3) 재하방식은 재하속도가 일정한 다사이클을 원칙으로 한다. 단 시험의 목적에 따라 1 사이클도 가능하다.

2.5.9 계획최대시험하중 및 계획최대변위

- (1) 시험 목적은 설계법과 관계가 있으며, 탄성설계법에서의 횡방향 허용지지력 및 횡방향 허용변위의 확인 등을 들 수 있다.
- (2) 시험조건이 설계조건과 근사한 경우 횡방향 허용지지력 및 횡방향 허용변위가 계획최대시험하중 및 계획최대변위로 된다.
- (3) 극한설계법에서는 말뚝의 내력과 변형성능, 지반의 지지력 확인 등이 시험의 목적이 된다.
- (4) 말뚝의 파괴, 지반의 파괴까지 재하시험을 수행한다면 지반조건, 말뚝의 구속조건을 고려하여 여유 있는 계획최대시험하중, 계획최대변위로 설정하고 시험장치도 그것이 가능하여야 한다.

2.5.10 측정항목

(1) 측정항목은 다음 사항으로 한다.

- ① 시간, 기후, 온도
- ② 하중
- ③ 재하점의 변위
- ④ 말뚝머리의 경사각
- ⑤ 반력말뚝의 변위
- ⑥ 주변지반의 상황
- ⑦ 말뚝본체의 휨변형
- ⑧ 말뚝본체의 휨각
- ⑨ 토압

2.5.11 측정간격

(1) 측정간격은 측정항목과 재하방법에 따라 표 2.5-3 및 표 2.5-4에 정한 바와 같이 측정한다.

표 2.5-3 측정간격 (1방향 재하방법)

측정항목	하중증가 시 측정시간		하중감소 시 측정시간
	처녀 하중, 이력 내 하중	0 하중	
하중	처녀 하중, 이력 내 하중	0분, 약 2분	0분
	0 하중	0, 2, 4, 8, 약 14분	
변위, 말뚝두부 경사각	처녀 하중, 이력 내 하중	0분, 약 2분	0분
	0 하중	0, 2, 4, 8, 약 14분	
그 외 ¹⁾	처녀 하중, 이력 내 하중	0분	0분
	0 하중	0, 8, 약 14분	

표 2.5-4 측정간격 (반복재하방법)

측정항목	하중증가 시 측정시간		하중감소 시 측정시간
	각 하중단계	0 하중	
하중	각 하중단계	0분, 약 2분	0분
변위, 말뚝두부 경사각	각 하중단계	0분, 약 2분	0분
그 외 ¹⁾	각 하중단계	0분	0분

주 1) 말뚝의 변형률, 말뚝본체의 휨각, 토압, 반력말뚝의 변위, 주변지반 관측 등

2.5.12 시험완료의 판정

(1) 시험은 다음의 경우에 종료한다.

- ① 계획최대시험하중에 도달한 경우
- ② 계획최대변위에 도달한 경우
- ③ 소요기록이 얻어져 시험의 목적을 달성한 경우

2.5.13 재하 장치

- (1) 재하 장치는 시험의 목적, 방법, 계획최대시험하중, 말뚝의 종류, 주위의 상황 등의 조건을 고려하여 안전하게 재하 가능하도록 한다.
- (2) 재하장치는 가력장치 및 반력장치로 구성된다.
- (3) 특별히 지정되어 있지 않은 경우, 횡방향하중 재하장치는 반력하중이 수평으로 재하될 수 있도록 설계되어야 한다.
- (4) 재하장치는 외말뚝 및 무리말뚝의 수직 축 선상에 위치하여 편심하중이 발생하는 것을 최소화하여야 하며, 경사말뚝 구조나 경사말뚝을 포함하는 무리말뚝의 횡방향재하시험의 경우 재하하중을 말뚝의 길이방향 축의 교차점에 가하여야 한다.

2.5.14 가력장치

- (1) 재하장치는 계획최대시험하중의 120% 이상의 가력능력을 가져야 하며, 예상되는 시험 말뚝 등의 변형에 충분히 따를 수 있는 것으로 한다.

2.5.15 반력장치

- (1) 반력장치는 계획최대시험하중에서 충분한 저항력을 가지면서 안전하여야 한다.
- (2) 외말뚝 또는 무리말뚝에 하중을 재하 할 때, 하나 또는 그 이상의 유압실린더와 구조물을 이용하여 적절한 반력시스템을 구축하여야 한다.
- (3) 인접한 기초말뚝을 반력장치로 하는 경우가 보편적이며, 드물게는 구조물기초 등이 이용된다.

2.5.16 계측장치

- (1) 계측장치는 시험목적에 맞는 능력 및 정도를 가진 것으로 한다.
- (2) 시험 중 작업과 교통에 의한 진동, 기상조건 등에 의하여 지장을 받지 않도록 하여야 한다.

2.5.17 하중 계측장치

- (1) 로드셀 혹은 유압센서를 사용하고 압력계만에 의한 계측은 피하여야 한다.

2.5.18 변위 계측장치

- (1) 변위 계측장치는 일반적으로 기준점, 기준보, 변위계로 구성한다.
- (2) 기준점은 시험말뚝 및 반력말뚝의 변위 등에 의하여 영향을 받지 않는 범위에 설치하는 것으로 한다.
- (3) 기준보는 기준점의 간격에 따라 충분한 강성을 가진 것으로 하고, 외부 기온의 변화 등의 영향을 최소화할 수 있는 지지방식을 선정한다.
- (4) 변위계는 변위량을 정확하게 계측 가능하도록 정 방향으로 설치한다.

2.5.19 그 외 계측장치

- (1) 말뚝본체의 휨변형률, 길이방향 변위(경사), 토압 등을 계측할 경우 시험목적에 따라 적절한 장치를 선정하고, 설치방법 등을 검토하여야 한다.

2.5.20 시험결과의 정리

- (1) 말뚝두부에 대한 하중-변위곡선 및 하중-시간 곡선을 도시하고 하중과 말뚝경사각의 관계도 도시한다.
- (2) 다사이클 재하시험에서는 하중-탄성회복 곡선, 하중-잔류변위 곡선도 작성한다.

2.5.21 결과의 이용

- (1) 횡방향하중을 받는 말뚝의 거동을 재하시험으로부터 추정하는 경우 실제 구조물과 재하시험에서 말뚝 및 하중 조건과의 차이를 고려하여야 한다.

2.5.22 보고서

- (1) 시험방법, 시험장치, 결과의 정리 외에 지반의 개요, 시험말뚝의 시공 상황, 시험공정 등을 알기 쉽게 정리하여야 한다.

집필위원

성명	소속	성명	소속
강인규	(주)브니엘컨설팅	백승철	안동대학교
김성렬	서울대학교	여규권	삼부토건(주)
김홍연	삼부토건(주)	이원제	(주)에스텍컨설팅그룹

자문위원

성명	소속	성명	소속
정상원	명성항 (주)	조천환	삼성물산

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
이영호	한국건설기술연구원	김대상	한국철도기술연구원
구재동	한국건설기술연구원	김동민	(주)한국종합기술
김기현	한국건설기술연구원	김범주	동국대학교
김나은	한국건설기술연구원	김운형	(주)다산컨설팅
김태송	한국건설기술연구원	남문석	한국도로공사
김희석	한국건설기술연구원	박이근	(주)지오알앤디
류상훈	한국건설기술연구원	박종호	평화지오텍(주)
원훈일	한국건설기술연구원	오정호	한국교통대학교
이승환	한국건설기술연구원	이규환	건양대학교
이용수	한국건설기술연구원	정충기	서울대학교
주영경	한국건설기술연구원	최용규	경성대학교
최봉혁	한국건설기술연구원	최창호	한국건설기술연구원
허원호	한국건설기술연구원	한상재	(주)지구환경전문가그룹

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
권순철	sk 건설	이양규	대림대학교
김동규	한국수자원공사	이종섭	고려대학교
김사한	LH	이충원	행정안전부
박정권	LH		

국토교통부

성명	소속	성명	소속
유병수	기술혁신과	양성모	기술혁신과
백세영	기술혁신과		

(분야별 가나다순)

KCS 11 50 40 : 2021

말뚝재하시험

2021년 5월 12일 개정

소관부서 국토교통부 기술혁신과

관련단체 한국지반공학회
05836 서울특별시 송파구 법원로9길 26, C동 701호(문정동,에이치비즈니스파크)
Tel : 02-3474-4428 E-mail : kgssmf@hanmail.net
<http://www.kgshome.org>

작성기관 한국지반공학회
05836 서울특별시 송파구 법원로9길 26, C동 701호(문정동,에이치비즈니스파크)
Tel : 02-3474-4428 E-mail : kgssmf@hanmail.net
<http://www.kgshome.org>

국가건설기준센터
10223 경기도 고양시 일산서구 고양대로 283(대화동)
Tel : 031-910-0444 E-mail : kcsc@kict.re.kr
<http://www.kcsc.re.kr>