

EXCS 11 50 15 : 2024

기성말뚝

2024년 12월 11일 개정

<http://www.ex.co.kr/research>



고속도로공사 전문시방서 제·개정에 따른 경과 조치

「고속도로공사 전문시방서(EXCS ; Expressway Construction Specification)」는 국가건설기준(KCS ; Korea Construction Specification)를 기본으로 하여 고속도로 시공에 관련된 공종을 대상으로 작성한 종합적인 시방기준으로서, 단위공사 설계시 해당 공사의 특성과 여건 등에 맞게 「공사시방서」를 작성하는데 활용하기 위한 「전문시방서」(Guide Specification)이므로 관계법상 구속력과 계약도서로서의 효력이 없습니다.

이 시방기준 발간 시점에 이미 시행 중인 설계용역이나 건설공사는 발주기관의 장이 필요하다고 인정하는 경우 종전에 적용하고 있는 기준을 그대로 사용할 수 있으며, 이 시방기준으로 공사시방서 작성 시 도로교통연구원 홈페이지 및 국가건설기준센터 홈페이지에 등재된 최신 시방기준을 반드시 확인 후 작성하시기 바랍니다.

※ 도로교통연구원 홈페이지 : <http://www.ex.co.kr/research/>

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

목 차

1. 일반사항	1
1.1 적용 범위	1
1.2 참고 기준	1
1.3 용어의 정의	1
1.4 제출물	1
2. 자재	2
2.1 강재말뚝	2
2.2 철근콘크리트 말뚝	2
2.2.1 기성 철근콘크리트(RC) 말뚝	2
2.2.2 PSC · PHC 말뚝	2
2.3 장비	2
2.3.1 말뚝항타 장비	3
2.3.2 해머	3
2.3.3 해머쿠션	3
2.3.4 말뚝쿠션	4
2.3.5 리드(lead)	4
2.3.6 항타보조말뚝	4
2.4 부속재료	4
2.5 품질관리	4
2.5.1 시험	4
2.6 기성말뚝 용접부 품질관리 기준	4
2.6.1 기성말뚝의 용접부 품질관리기준	4
3. 시공	5
3.1 시공조건 확인 및 공법선정	5
3.2 시공준비	5
3.3 시험말뚝	5
3.4 항타 말뚝시공	5
3.4.1 선굴착	5

3.4.2	말뚝 세우기	5
3.4.3	말뚝향타	5
3.4.4	말뚝 절단	6
3.4.5	말뚝 이음	7
3.4.6	말뚝향타 종료	7
3.5	매입 말뚝시공	10
3.5.1	선굴착 후 최종경타공법	10
3.5.2	선굴착 후 최종향타공법	11
3.5.3	선굴착 후 선단근고공법(시멘트밀크공법)	11
3.5.4	내부굴차 후 최종경타공법	12
3.6	말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강	13
3.6.1	말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강	13
3.6.2	말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강시공	13
3.7	말뚝머리 마감 및 보강	14
3.8	시공기록	14
3.9	시공 허용오차	15
3.10	현장품질관리	15
3.11	손상된 말뚝	15
3.12	도장	15
부록	16

1. 일반사항

1.1 적용 범위

(1) 기성말뚝의 적용 범위는 구조물 및 교량 기초로 사용하는 기성말뚝에 적용한다.

1.2 참고 기준

- EXCS 10 10 05 공사일반
- EXCS 10 10 10 공무행정요건
- EXCS 11 20 05 수목제거 및 표토제거
- EXCS 11 50 00 기초공사
- EXCS 10 10 10 공무행정요건
- EXCS 11 20 05 수목제거 및 표토제거
- EXCS 11 50 00 기초공사
- KCS 11 50 15 기성말뚝
- KS B 0885 수동 용접 기술검정의 시험방법 및 판정기준
- KS B 0896 페라이트계 강 용접 이음부에 대한 초음파탐상검사
- KS C IEC 60245-6 정격전압 450/750V 이하 고무절연 케이블 - 제6부 : 아크 용접용 케이블
- KS C 9602 교류 아크 용접기
- KS C 9607 용접봉 호울더
- KS D 0272 용접부의 방사선 투과시험을 위한 시험 방법 및 판정기준
- KS D 3503 일반 구조용 압연 강재
- KS D 3508 피복 아아크 용접봉 심선재
- KS D 7004 연강용 피복 아크 용접봉
- KS F 4301 원심력 철근 콘크리트 말뚝
- KS F 4303 프리텐션 방식 원심력 PC 말뚝
- KS F 4306 프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝
- KS F 4307 프리텐션방식 진동 PC 말뚝
- KS F 4602 기초용 강관 말뚝
- KS F 4603 H형강 말뚝
- KS F 4604 열간압연강 널말뚝
- KS F 7001 원심력 콘크리트 말뚝의 시공 표준

1.3 용어의 정의

내용 없음

1.4 제출물

(1) EXCS 10 10 05 (1.7 (12)) 및 EXCS 10 10 10 (1.8)에 따라 해당 공사의 공사계획에

맞추어 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.

- (2) 시험 계획에 따른 말뚝 재하 시험보고서와 말뚝항타 보고서(서식1)을 제출하여야 한다.

2. 자재

2.1 강재말뚝

- (1) 강재말뚝은 말뚝 본체, 선단부로 구분하며, 특별히 규정되어 있는 경우 기타 부분으로 구성된다. 그 형태는 설계도서에 따라야 한다. 강재말뚝은 이음이 없어야 하나 부득이한 경우에는 이음부분의 길이가 3m 이상이 되도록 한다. 이음 말뚝은 길이가 긴 부분이 말뚝의 끝단이 되게 타입하여야 한다. 이음하는 부분의 상세에 대하여는 타입 전에 공사감독자의 승인을 받아야 한다. 강관말뚝은 KS F 4602의 규정에 적합한 것을 사용하여야 하며, H형 강말뚝은 KS F 4603의 규정에 적합한 것이어야 하고, 강널 말뚝은 KS F 4604의 규정에 적합한 것을 사용하여야 한다.
- (2) 재생말뚝은 KCS 11 50 15 (2.2.1(2)②)에 따른다.

2.2 철근콘크리트 말뚝

2.2.1 기성 철근콘크리트(RC) 말뚝

- (1) 기성 철근콘크리트 말뚝은 중공원형단면을 가진 사전제작 말뚝을 사용하여야 하며, 말뚝의 종류 및 규정을 변경하고자 하는 경우에는 공사감독자의 승인을 받아야 한다.
- (2) 기성 철근콘크리트 말뚝은 소정의 시설을 갖춘 승인된 제작자에 의하여 원심력 방법에 의하여 제작되어야 하며, 제작자는 말뚝의 콘크리트 강도, 비인장보강에 관한 설명서 등 상세한 자료를 첨부하여야 한다. 기성 철근콘크리트 말뚝은 KS F 4301의 규격에 적합한 것을 표준으로 한다.
- (3) 기성 철근콘크리트 말뚝의 선단은 타입에 대하여 충분히 안전함과 동시에 지반에 알맞은 구조이어야 한다.
- (4) 기성 철근콘크리트 말뚝의 이음은 이음 철구를 이용한 아크용접 이음을 표준으로 한다.

2.2.2 PSC·PHC 말뚝

- (1) PSC(Pre-tensioned Spun Concrete, PSC) 말뚝은 KS F 4303, PHC(Pre-tensioned spun High strength Concrete, PHC) 말뚝은 KS F 4306의 규정에 적합한 것을 표준으로 한다.
- (2) PSC·PHC 말뚝의 선단은 타입에 대하여 충분히 안전하고 시공법을 고려한 구조임과 동시에 지반에 알맞은 구조라야 한다.

2.3 장비

2.3.1 말뚝항타 장비

- (1) 말뚝항타 장비는 KCS 11 50 15 (2.4.1)에 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) 파동이론 분석결과 항타응력이 표 2.3-1의 허용기준값을 초과하는 경우 항타장비의 교체 또는 개조, 시공방법의 변경방안 등을 검토하여야 한다.

표 2.3-1 말뚝의 허용응력

구 분	PSC 또는 PHC 말뚝	강제말뚝
허용압축응력	$0.6f_{\sigma'}$	$0.9f_y$
허용인장응력	$0.25\sqrt{f_{\sigma'}} + f_{pe}$	$0.9f_y$

주) f_y : 강제말뚝의 항복응력 (MPa)
 $f_{\sigma'}$: 콘크리트의 압축강도 (MPa)
 f_{pe} : 유효 프리스트레스(Effective prestress) (MPa)

2.3.2 해머

- (1) 해머는 증기해머, 공기해머, 유압해머 및 디젤해머 사용을 원칙으로 한다. 다만, 공사 감독자의 확인을 받은 경우에는 낙하식 해머도 사용할 수 있다.
- (2) 폐쇄식 램(Ram)을 가진 디젤해머는 규격용량의 출력을 발휘할 수 있어야 하며, 이를 측정할 수 있는 계기를 부착하여야 한다.
- (3) 디젤해머 중 단동디젤해머에는 말뚝을 타입하는 동안 항상 시공 기술자가 해머 스트 로크를 측정할 수 있는 장치를 갖추어야 한다.
- (4) 복동디젤해머에는 측정값을 쉽게 읽을 수 있도록 지표면 가까운 곳에 반발 해머 압력 게이지를 갖추어야 한다.

2.3.3 해머쿠션

- (1) 낙하식 해머를 제외한 모든 타격말뚝 타입장비는 해머나 말뚝의 손상방지와 균일한 타입거동보장을 위하여 소요두께의 해머쿠션 재료를 장착하여야 한다.
- (2) 해머쿠션은 타입 하는 동안 균일한 성능을 유지할 수 있는 내구성을 가진 재료로 제작되어야 한다. 단, 목재, 와이어로프, 석면해머쿠션을 사용해서는 안 된다.
- (3) 타격용 판은 쿠션재료의 균일한 압축을 보장하기 위하여 해머쿠션 위에 설치하여야 한다.
- (4) 해머쿠션은 말뚝 타입을 시작할 때와 말뚝타입이 완료된 후, 매 100시간마다 점검하여야 한다. 또한 해머쿠션은 국부손상이 발생하거나 두께가 25 % 이상 감소되기 전에 교체하여야 한다.

2.3.4 말뚝쿠션

- (1) 두께 50 mm 이상 합판 또는 이와 동등한 성능을 갖는 재료로 하여야 한다. 타입하는 동안 쿠션이 본래 두께보다 1/2 이상 압축되거나 연소되기 시작하면 새로운 말뚝쿠션을 사용하여야 한다.

2.3.5 리드(lead)

- (1) 리드는 KCS 11 50 15 (2.4.4)에 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) 리드는 중동장치를 사용하지 않도록 충분한 길이를 가져야 하며, 경사말뚝에서도 정렬될 수 있도록 하여야 한다.

2.3.6 항타보조말뚝

- (1) 항타보조말뚝은 KCS 11 50 15 (2.4.5)에 따른다.

2.4 부속재료

- (1) 부속재료는 KCS 11 50 15 (2.5)에 따른다.

2.5 품질관리

2.5.1 시 험

- (1) 시험은 KCS 11 50 15 (2.6)에 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) PS콘크리트 말뚝에 대한 시험은 KS F 4303, KS F 4306 및 KS F 4307에 따른다.
- (3) 원심력 철근콘크리트 말뚝에 대한 시험은 KS F 4301에 따른다.

2.6 기성말뚝 용접부 품질관리 기준

2.6.1 기성말뚝의 용접부 품질관리기준

- (1) 기성말뚝의 용접부 현장품질관리기준은 표 2.6-1와 같다.

표 2.6-1 기성말뚝 용접부 품질관리기준

구분	검사방법	검사빈도
강관말뚝 용접부	초음파 탐상 시험 (Ultrasonic Test)	5 이음당 1이음(전 주변장) 이상
콘크리트말뚝 ¹⁾ 용접부	자분 탐상 시험 (Magnetic Particle Test)	5 이음당 1이음(전 주변장) 이상

주 1) 강관말뚝과 콘크리트말뚝 조합의 복합말뚝에 대한 용접부 검사는 콘크리트말뚝 용접부 기준을 따름.

3. 시공

3.1 시공조건 확인 및 공법선정

- (1) 시공조건 확인 및 공법선정은 KCS 11 50 15 (3.1.1 ~ 3.1.2)에 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) 말뚝공법선정
- ① 현장주변여건 및 지반조건상 문제가 없는 경우에는 항타공법을 적용한다.
 - ② 항타공법 적용을 원칙으로 하고, 현장주변여건 및 지반조건상 항타공법을 적용할 수 없을 때에는 제반여건을 감안하여 다음과 같은 매입말뚝공법 또는 기타 적합한 공법을 선정하여야 한다.
- 가. 선굴착 후 최종경타공법
 나. 선굴착 후 최종항타공법
 다. 선굴착 후 선단근고공법(시멘트밀크공법)
 라. 내부굴착후 최종경타공법
 마. 기타 저진동·저소음 공법
- ③ 말뚝기초 아래에 석회암 공동이 존재하는 경우에는 적정하게 보강하여야 한다.

3.2 시공준비

- (1) 시공준비는 KCS 11 50 15 (3.2)에 따른다.

3.3 시험말뚝

- (1) 시험말뚝은 KCS 11 50 15 (3.1.5)에 따른다.

3.4 항타 말뚝시공

3.4.1 선굴착

- (1) 선굴착이 필요한 경우에는 이 기준 3.5에 따라서 시공하여야 한다.

3.4.2 말뚝 세우기

- (1) 말뚝 세우기는 KCS 11 50 15 (3.2.4)에 따른다.

3.4.3 말뚝항타

- (1) 말뚝머리는 공사감독자의 확인을 받은 말뚝쿠션재료를 사용하여 해머에 의해 손상되지 않도록 보호하여야 한다.
- (2) 말뚝항타 순서는 KCS 11 50 15 (3.3.1(4))에 따른다.
- (3) 말뚝은 설계도서에 표시된 대로 정확한 간격과 위치가 유지되도록 박아야 한다.
- (4) 말뚝항타로 인하여 기시공된 말뚝들에 과대한 휨응력이나 허용오차를 벗어난 말뚝머리 이동이 발생하지 않아야 한다.

- (5) 말뚝항타 작업 중에 해머와 말뚝이 동일한 중심축을 유지하도록 하여야 한다.
- (6) 항타 도중 저항력이 급격히 감소할 경우에는 항타를 중지하고 말뚝의 파손에 의한 감소인지 또는 지반상태에 의한 감소인지 조사하여야 한다.
- (7) 1개의 말뚝항타는 도중에 정지함이 없이 연속해서 박아야 한다. 다만, 장비의 고장, 작업시간의 제한, 기타 원인에 의해 연속 타입이 어려울 경우에는 정지 후 재타입을 수행하도록 하여야 한다. 재타입 시 추가관입이 불가능하게 되는 경우 인접말뚝의 관입깊이, 해머용량 등을 고려하여 추가 말뚝항타 등의 후속 조치를 결정하여야 한다. 또한 기계설비의 보수를 신속히 행할 수 있도록 미리 부품 등을 준비해 두어야 한다.
- (8) 인접한 말뚝을 박는 동안 또는 기타 이유로 5 mm 이상 솟아오른 말뚝이 발생하면 솟아오름의 원인을 정밀 조사하여 대책을 강구하여야 한다. 말뚝 솟아오름은 지지력 저하와 말뚝재료의 손상을 유발할 수 있다. 말뚝 솟아오름이 발생하면 재항타 동재하시험을 실시하여 지지력 변화 및 말뚝재료 손상여부를 확인하여야 한다.
- (9) 말뚝은 설계도서에 명시된 높이에서 절단하여야 하며, 절단할 때 손상을 입은 말뚝은 대체하거나 보수하여야 한다.
- (10) 내부결합, 정위치에서 벗어난 말뚝 및 설계도서에 나타난 목표 깊이에 미달되는 말뚝이 발생한 경우에는 말뚝 교체 또는 추가 말뚝항타 등 현장조건에 맞는 방법을 검토한 후 교정하여야 한다.
- (11) 말뚝항타로 인해 지반이 솟아올랐거나 침하된 지반면은 기초 콘크리트 타설 전에 계획고에 맞추어 정리하여야 한다.
- (12) 강관말뚝 또는 콘크리트말뚝을 소요깊이까지 박은 후 말뚝 중공부를 비출 수 있는 조명장치로 내부검사를 하여야 한다. 이 때 말뚝 중공부에 지하수가 차오르는 경우에는 지하수를 양수한 후 검사를 실시하여야 한다. 말뚝관입 깊이에 따라 조명장치만으로 내부 검사 실시가 곤란할 경우에는 CCTV, 카메라 등 정밀조사 장비를 사용하도록 한다. 검사결과 강도를 저하시킬만한 손상이 발견되면 이를 보완하여야 한다.
- (13) 손상된 강관말뚝은 제거하고 새로운 것으로 재시공하여야 한다. 손상된 말뚝을 제거할 수 없는 경우에는 대체품을 공급하여 설치하여야 하며, 이때 손상된 강관말뚝은 구조물 아래로 1.0 m 까지 절단한 다음, 강관내부를 승인된 재료로 채우고, 주변구멍은 되메우기를 하여 잘 다져야 한다.
- (14) 철근 콘크리트 및 PSC·PHC 말뚝
 - ① 말뚝머리는 해머의 직접타격으로 균열, 박리 또는 파열 등이 일어나지 않도록 적절한 말뚝쿠션재로 보호하여야 한다.
 - ② 콘크리트 보호층을 둔 경우에는 항타가 완료된 후에 보호층을 제거하고 철근을 노출시켜야 한다.

3.4.4 말뚝 절단

- (1) 말뚝은 설계도서에 표시된 높이에서 축방향과 직각으로 절단하여야 하며, 절단할 때

에 손상된 부분은 깨끗이 정리하여야 한다.

(2) 말뚝머리는 설계도서에서 지시한 깊이까지 기초 콘크리트 속에 매입하도록 하여야 한다.

3.4.5 말뚝 이음

(1) 말뚝항타는 가능한 한 긴 말뚝을 사용하여 한꺼번에 소요깊이까지 박아야 하며, 부득이한 경우에는 설계도서 및 다음 사항을 준수하여 말뚝이음을 하여야 한다.

- ① 강관말뚝은 콘크리트를 타설 전에 이음을 하여야 한다.
- ② PSC·PHC, 강관·H형강 말뚝의 현장이음은 이음철구를 이용한 반자동 아크 용접 이음으로 하여야 한다.
- ③ 이음부의 허용오차는 강관말뚝의 경우 KS F 4602, PHC말뚝의 경우 KS F 7001에 따른다.
- ④ 이음은 반자동 용접이상의 방법으로 하고, 용접이 완료된 후 공사감독자가 임의로 지정한 이음부에 대해 KS B 0896에 따라 초음파 탐상시험(U.T)을 실시하여 품질시험 성과표를 공사감독자에게 제출하여야 한다.
- ⑤ 용접이음부의 검사빈도는 이 기준 표 2.6-1의 해당 규정을 따르는 것을 원칙으로 하되, 이음부 검사 결과 불합격이 발생한 경우에는 다른 말뚝의 모든 용접이음부에 대해 수급인 부담으로 검사를 실시하여 결함유무를 확인하여야 한다.

3.4.6 말뚝항타 종료

(1) 말뚝항타에 앞서 항타장비의 성능확인, 장비의 적합성 판정, 지반조건 확인, 말뚝재료의 건전도 판정, 말뚝의 지내력 확인 등을 위해 설계에 따라 재하시험을 실시하여야 하며, 설계에 명시되지 않는 경우 표 3.4-1, 표 3.4-2의 빈도를 참조하여 기성말뚝에 대하여 동재하시험을 실시하여야 한다.

표 3.4-1 기성말뚝의 동재하시험 실시빈도
(E.O.I.D 시행말뚝의 지지력이 설계지지력의 100%이상인 경우)

구 분	시험방법 및 횟수
행선별 기초(footing)별 말뚝본수 1~80본까지	E.O.I.D시험 2회
	재항타시험 1회
	품질확인시험 1회
행선별 기초(footing)별 말뚝본수 81~160본까지	E.O.I.D시험 3회
	재항타시험 2회
	품질확인시험 1회
행선별 기초(footing)별 말뚝본수 161~200본까지	E.O.I.D시험 4회
	재항타시험 2회
	품질확인시험 2회

주1) E.O.I.D(End of Initial Driving) 시험 : 초기동재하시험으로서, 항타 또는 매입 말뚝 시공 직후에 실시하는 동재하시험, 재항타(restrike) 시험 : 말뚝 시공 이후 일정시간 경과 후의 지지력의 변화를 확인하는 시험
 주2) 시험위치 : E.O.I.D(대각선 상이나 공사감독자 지정위치), 재항타시험(E.O.I.D 시험을 실시한 말뚝), 품질확인시험(공사감독자 지정위치)

표 3.4-2 기성말뚝의 동재하시험 실시빈도
(E.O.I.D 시행말뚝의 지지력이 모두 설계지지력의 80%이상 100%미만 인 경우)

구 분	시험방법 및 횟수
행선별 기초(footing)별 말뚝본수 1~80본까지	E.O.I.D시험 2회 재항타시험 2회
행선별 기초(footing)별 말뚝본수 81~160본까지	E.O.I.D시험 3회 재항타시험 3회
행선별 기초(footing)별 말뚝본수 161~200본까지	E.O.I.D시험 4회 재항타시험 4회

- (2) 분말뚝의 항타 시공관리기준은 시험말뚝의 동재하시험 결과로 만들어야 한다.
- (3) 동적측정결과 분석용 프로그램을 이용하여 말뚝의 지내력 검토 방법은 다음과 같다.
- ① 말뚝의 지반지지력(R)은 설계하중 또는 말뚝반력($P_N\max$)보다 최소 2.5배 이상을 재하여야 한다.

$$R \geq 2.5 \times P_N\max \quad (3.4-1)$$

- ② 동적측정 결과 분석용 프로그램으로 얻은 하중-침하 곡선에서 설계하중($P_N\max$)에 해당하는 침하량($S_{P_N\max}$)은 허용연직 침하량(S_{vall})보다 작아야 한다.

$$S_{P_N\max} \leq S_{vall} \quad (3.4-2)$$

여기서, $S_{P_N\max}$: 설계하중 또는 말뚝반력에 해당하는 침하량

S_{vall} : 상부구조물의 교대 및 교각의 지점침하량을 말하며, 상·하부 구조물의 형식에 따라 달라지는 허용연직침하량을 말한다. 만약 이 값을 설계도서에서 알 수 없는 경우에는 10 mm를 사용한다.

(4) 항타공식에 의한 지지력의 계산

- ① 항타공식에 의한 지지력은 재하시험에 의한 지지력과는 근본적으로 다르므로, 현장여건상 재하시험을 수행하지 못하고 시공관리를 하여야 할 경우에만 적용토록 하며 시공 후 반드시 그 결과를 확인하여야 한다.

② Hiley 공식

가. 이 공식은 모든 해머에 적용 가능하다.

(가) 타입말뚝의 연직방향 허용지지력은 다음과 같다.

$$R_a = \left(\frac{e \cdot W_h \cdot H}{S + \frac{c + c_c}{2}} \cdot \frac{W_h + n^2 W_p}{W_h + W_p} \right) / FS \quad (3.4-3)$$

여기서, R_a : 허용지지력(tonf)

W_h : 해머중량(tonf)

- Wp : 말뚝중량(tonf)
- S : 최종관입량(cm)
- c=c_p+c_q : 리바운드량(cm)
- c_p, c_q : 말뚝과 지반의 탄성변형량(cm)
- c_e : 말뚝머리부착물의 탄성변형량(cm)
- n : 반발계수
- H : 해머낙하고(cm)
- e : 해머효율

; 동재하시험을 실시하지 않은 경우

- 낙하해머 : e = 25 %
- 디젤해머 : e = 50 %
- 유압해머 : e = 70 %

; 동재하시험을 실시한 경우

$$e = \frac{EMX}{W_h \cdot H} \quad (3.4-4)$$

EMX : 게이지 부착 위치에서의 최대 항타 에너지

단, S 와 c 는 말뚝항타 종료의 최종 10회 평균값을 적용한다.

(나) Hiley 공식의 안전율은 동재하시험을 실시하지 않을 경우 이 기준 3.5를 사용하고, 동재하시험을 실시하는 경우는 다음 식으로 구한다.

$$FS = \frac{R_u^{Hiley}}{R_a^{PDA}} \quad (3.4-5)$$

여기서,

R_u^{Hiley} : Hiley 공식에서 구한 극한지지력

R_a^{PDA} : 동재하시험결과에서 추정된 허용지지력

표 3.4-3 말뚝머리 반발계수 (n)

말뚝종류	말뚝타격조건	단동식·낙하식 디젤해머, 유압해머	복동식해머
콘크리트말뚝	합성수지 또는 경목돌리+헬멧+패킹	0.4	0.5
	보통나무돌리+헬멧+패킹	0.25	0.4
	패드만 사용	-	0.5
강말뚝	합성수지 또는 경목돌리+캡	0.5	0.5
	보통나무돌리+캡	0.3	0.3
	장치물 없음	-	0.5

표 3.4-4 말뚝머리부착물의 탄성변형량, c_c (mm)

타격받는 말뚝재료	타격정도	말뚝머리 또는 캡에 작용하는 항타응력 (MPa)			
		3.5	7.0	10.5	14.0 이상
		가벼운 항타	중간정도 항타	심한항타	매우심한 항타
강(관)말뚝 머리에 직접 항타		0	0	0	0
75 ~ 100 mm 두께의 패킹이 들어있는 캡을 사용하여 사전제작 콘크리트 말뚝 머리를 항타할 경우		3	6	9	12.5
나무패킹이 들어 있는 강캡을 이용하여 H 말뚝이나 강(관)말뚝 머리를 항타할 경우		1	2	3	4
2개의 10 mm 강판사이에 5 mm 섬유 디스크를 이용하여 말뚝을 깊이하게 항타할 경우		0.5	1	1.5	2

③ 약칭 : 5S 식(구 일본 건설성 고시)

가. 이 식은 유압해머 전용식이며, 이 해머를 사용한 타입말뚝의 동적 허용지지력은 다음과 같다.

$$R_a = \frac{2W_h \cdot H}{5S + 0.1} \quad (3.4-6)$$

- 여기서, R_a : 동적 허용지지력(kN)
- W_h : 해머의 무게(kN)
- H : 해머의 낙하고(m)
- S : 최종관입량(m)

(5) 말뚝항타 종료는 KCS 11 50 15 (3.3.2(4))에 따른다.

3.5 매입 말뚝시공

3.5.1 선굴착 후 최종경타공법

- (1) 선단지지층까지 현장 지반조건에 천공장비를 사용하여 굴착한다. 이 때 굴착공의 지름은 말뚝지름보다 100 mm 이상이어야 한다.
- (2) 굴착시 배출토사 등에 의한 환경오염이 발생하지 않도록 조치하여야 한다.
- (3) 지하수에 의해 굴착공이 함몰되거나, 공벽유지가 되지 않을 경우에 케이싱을 사용하여야 한다.
- (4) 선단지지층까지 굴착 후 선단고정액을 주입한다. 선단고정액은 물-시멘트비(W/C)가 70 % 이하 또는 표준일축압축강도는 KS F 7001에 따라 20 MPa 이상이어야 하며, 공저에서 4 d(d:말뚝안쪽지름)+1 m까지 주입하여야 한다.
- (5) 선단고정액을 주입하고 반드시 공저의 슬라임과 교반한 후에 말뚝을 삽입하여야 하

- 며, 안착된 말뚝에 대하여 수준기로 수직도를 확인한 후에 경타를 하여야 한다.
- (6) 경타는 시험말뚝에 대한 동재하시험결과에 의하여 시공관리기준(최종 관입량, 램 낙 하높이 등)을 결정하여야 하며, 두께 100 mm 이상의 말뚝쿠션재(합판)를 사용하여야 한다. 이때 경타 시 발생하는 소음·진동은 소음·진동관리법 시행규칙 별표 8 생활소음·진동의 규제기준을 만족하여야 한다.
 - (7) 말뚝을 박은 후 생기는 말뚝 주변 공간을 말뚝의 수평저항력과 주면마찰력을 확보하기 위하여 물-시멘트비(W/C) 70 % 이하의 주면고정액으로 확대기초 저면(설계지반면)까지 충전하여야 한다.
 - (8) 주면고정액은 확대기초 바닥 시공 시 추가 시공 여부를 결정하여 보완하여야 한다.
 - (9) 주면고정액과 선단고정액의 양생 후 시편제원은 지름 50 mm, 높이 250 ~ 300 mm의 원주형이어야 한다. 이 시편 하단에서 100 mm를 제거한 높이 100 mm를 이용하여 일축압축강도를 측정하여야 한다.
 - (10) 선단고정액과 주면고정액은 자동계량장치를 사용하여 투입물량을 확인한 후 정산하여야 한다.

3.5.2 선굴착 후 최종항타공법

- (1) 선단지지층으로부터 상부 4 d(d:말뚝안쪽지름)+1 m 까지 현장 지반조건에 맞는 천공장비를 사용하여 굴착한다. 이 때 굴착공의 지름은 말뚝지름보다 100 mm 이상 커야 한다.
- (2) 말뚝을 급하게 침설하거나 낙하시키면 말뚝이 경사질 우려가 있으므로 샤클(shackle)을 이용하여 굴착공 중심에서 연직방향으로 말뚝을 천천히 침설하여야 한다.
- (3) 공저에 안치된 말뚝은 이 기준 3.4의 항타말뚝과 동일한 방법으로 지지층까지 타입하면서 동재하시험을 실시하여 말뚝의 지내력을 파악하여야 한다.
- (4) 말뚝을 박은 후 생기는 말뚝 주변 공간은 말뚝의 수평저항력과 주면마찰력을 확보하기 위하여 일축압축강도 490 kPa 이상인 물-시멘트비(W/C)의 주면고정액으로 확대기초 저면(설계지반면)까지 충전하여야 한다.
- (5) 주면고정액의 투입량은 자동계량장치를 사용하여 투입 물량을 확인한 후 정산하여야 한다.
- (6) 주면고정액은 이 기준 3.5.1(9)에 의하여 시편을 제작하여 KS F 7001에 따라 일축압축강도를 측정하여야 한다.

3.5.3 선굴착 후 선단근고공법(시멘트ミルク공법)

- (1) 주요장비는 오거천공장비, 시멘트ミルク 믹스플랜트, 그라우팅 펌프, 잔토처리용 셔블(shovel)이나 백호우 등이며, 현장여건에 적합한 용량을 사용하여야 한다.
- (2) 굴착공의 지름은 말뚝지름보다 100 mm 이상 커야 한다.
- (3) 스크류 오거 굴착에 의한 공벽유지가 되지 않을 경우에는 공벽안정액(벤토나이트)을 사용하여야 한다.
- (4) 믹스플랜트는 오거 굴착 시 공벽안정액, 주면고정액, 선단근고액을 각각 혼합할 수 있어야 한다.
- (5) 선단근고액의 물-시멘트비(W/C)는 70 % 이하 또는 표준일축압축강도는 KS F 7001에

따라 20 MPa 이상이어야 하며, 주면고정액은 표준일축압축강도가 490 kPa 이상이어야 한다. 그리고 공사감독자의 승인에 의해 오거 굴착시 공벽안정액은 주면고정액과 동일하게 사용할 수 있다.

- (6) 지지층의 굴착 깊이는 1.5 m 이상을 표준으로 하고, 지지층 속의 말뚝 근입깊이는 1.0 m 이상이어야 한다.
- (7) 오거헤드의 분사압력은 980 kPa 이상이어야 한다.
- (8) 선단근고액은 공저에서 4 d(d:말뚝안쪽지름)+1 m를 주입하고, 주면고정액은 기초저면까지 주입한다. 그리고 말뚝침설 후 주면고정액의 상면 변화를 관찰하여 액면이 침강하면 유지될 때까지 보충하여야 한다.
- (9) 굴착공 공저의 슬라임의 두께는 500 mm 이내 이어야 한다. 이 이상일 경우에는 재굴착하여 선단근고액을 재주입하여야 한다.
- (10) 말뚝을 급하게 침설하거나 낙하시키면 말뚝이 경사질 뿐만아니라 심한 수류를 일으켜 공벽손상이나 주입액이 교반되기 때문에 샤클(shackle)을 이용하여 말뚝을 천천히 침설하여야 한다. 이때 말뚝의 관입깊이를 측정하여야 한다.
- (11) 말뚝의 자중만으로 소정의 깊이까지 침설할 수 없을 때에는 말뚝침설 보조수단인 압입법과 경타법을 사용한다. 압입법은 오거굴착장비의 자중을 이용하며, 경타는 두께 100 mm 이상의 말뚝쿠션재(합판)를 사용하여야 한다. 그리고 경타는 여러가지 해머를 이용할 수 있으나, 일반적으로 낙하해머를 사용하여 해머높이 500 mm 이하에서 실시한다. 이때 경타시 발생하는 소음·진동은 소음·진동관리법 시행규칙 별표 8 생활소음·진동의 규제기준을 만족하여야 한다.
- (12) 아랫말뚝의 말뚝머리를 지상으로 약 1.5 m 도출시킨 상태에서 윗말뚝을 가설하고, 말뚝이음부를 용접한다.
- (13) 시공 시 말뚝재하시험을 할 수 없기 때문에 양질의 지지층에 말뚝을 안치하는 것이 매우 중요하다. 따라서 시험시공 시, 지질주상도, 자동기록용 전류계의 전류값, 배트를 종합적으로 검토하여 오거굴착관리기준 즉, 공벽안정액 사용여부, 오거굴착깊이, 말뚝관입깊이, 지지층의 전류값 등을 마련하여 본 말뚝을 시공하여야 한다.
- (14) 말뚝의 지내력 확인은 충분한 양생기간을 가진 말뚝에 대하여 동재하시험 또는 정재하시험에 의하거나, 시추조사에 의한 일축압축강도로 확인하여야 한다. 확인 시추공은 선단근고액으로 충전하여야 한다.
- (15) 주면고정액의 강도시험은 이 기준 3.5.1(9)에 의하여 시편을 제작하여 KS F 7001에 따라 표준일축압축강도를 측정하여야 한다.

3.5.4 내부굴착 후 최종경타공법

- (1) 지하수에 의해 굴착공이 함몰되거나, 인접지역에 주요한 구조물이 있어 지반변형을 억제하고자 할 경우에 케이싱을 사용하여야 한다.
- (2) (1)의 조건에서 지름 100 ~ 150 mm 이내의 자갈이 지반에 존재할 경우에는 오거를 사용하고, 그 이상일 경우에는 퍼쿠션 커트(percussion cut)를 사용하여야 한다.
- (3) 말뚝을 박은 후, 생기는 말뚝 주변 공간은 말뚝의 수평저항력과 주면마찰력을 확보하

기 위하여 표준일축압축강도 490 kPa 이상인 물-시멘트비(W/C)의 주면고정액으로 확대기초 저면(설계지반면)까지 충전하여야 한다.

- (4) 주면고정액의 주입량은 일수현상 등의 지반조건을 고려하여 공사감독자가 시험시공을 통하여 결정하여야 한다. 시험시공이 불가능한 경우에는 말뚝 주면공간의 2~3배 정도로 주입량을 산정하여 확대기초 저면까지 2~3회에 걸쳐 주입한다.
- (5) 말뚝선단처리방법은 항타말뚝과 같이 실시한다.
- (6) 주면고정액의 강도시험은 이 기준 3.5.1(9)에 의하여 시편을 제작하여 KS F 7001에 따라 표준일축압축강도를 측정하여야 한다.

3.6 말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강

3.6.1 말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강

- (1) 대표적인 취약지반(석회암 공동과 연약대 등)의 특성(위치와 크기 등)을 조사하기 위하여 탐사깊이는 말뚝선단부에서 기초 폭의 1배 이상을 실시하여야 하며, 대표적인 탐사방법으로는 탄성과토모그래피 등이 있다.
- (2) 설계정수는 물리탐사 시 회수된 시추코아의 물성시험으로 결정하여야 한다.
- (3) 석회암 공동보강 전에 환경피해 지역을 조사하고, 발생 우려가 있는 경우에는 피해방지 시설과 이에 적절한 충전액을 사용하여야 한다.
- (4) 고결체의 허용지내력은 말뚝반력(설계하중)을 견디어내야 하고, 충전액의 블리딩은 미발생하여야 한다.
- (5) 믹스플랜트의 충전액 강도시험은 이 기준 3.5.1(9)에 따라 실시하여야 한다.

3.6.2 말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강 시공

- (1) 설계도서에 따라 말뚝을 먼저 시공한다.
- (2) 말뚝내부로 석회암지반을 선천공할 때, 지름 200 mm의 주상도를 작성하고, 깊이와 횡방향을 인지하는 영상카메라를 삽입하여 청소된 석회암 공동부나 연약대를 촬영 및 기록하여야 한다.
- (3) 석회암 공부 내부에 있는 점토성분을 제거하기 위해서는 초고압절삭수(40 MPa 이상)를 사용하여야 한다.
- (4) 초고압절삭수의 작업 종료시점은 지표면으로 맑은 물이 흘러나올 때까지이다.
- (5) 석회암 공동부의 충전액 주입압은 말뚝반력(설계하중)과 주변지역 환경피해 등을 고려하여 저압에서 초고압까지 주입할 수 있다.
- (6) 충전액의 주입 종료시점은 지표면으로 흘러나오는 충전액의 강도가 설계강도와 동등할 때로 한다.
- (7) 그라우팅 시공순서는 일수현상을 막기 위하여 말뚝기초 가장자리에서 안쪽으로 그리고 최소 한 개의 말뚝(가상 고결체 기둥)을 건너뛰면서 시공하여야 한다.
- (8) 그라우팅 깊이는 말뚝선단부에서 아랫방향으로 기초폭의 1배 깊이 이상으로 그라우팅을 한다. 그 이유는 말뚝의 주면마찰력으로 선단작용력이 감소하였기 때문이다.

- (9) 말뚝선단을 폐색시키기 위하여 말뚝선단부에서 말뚝내부 위쪽으로 말뚝안쪽지름의 $4d+1\text{ m}$ 이상을 충전하여야 한다. 여기서 d 는 말뚝 안쪽 지름이다.
- (10) 초고압절삭수의 수압과 고결체 지름은 EXCS 11 50 05 (3.1.4(13))에 따른다.
- (11) 초고압절삭수가 아닌 저압 또는 고압의 절삭수를 이용하여 고결체 확산범위를 결정할 경우에는 EXCS 11 50 05 (3.1.4(14))와 같이 결정한다.
- (12) 말뚝선단을 지탱하는 가상 고결체 기둥의 이론적 허용지지력, f_a 은 다음과 같다.

$$f_a = \frac{f_u}{2} = \left(0.25f_{ck} \sqrt{\frac{A_c}{A_p}} \right) / 2 = \frac{3}{10} f_{ck} \quad (3.6-1)$$

여기서, f_a, f_u, f_{ck} : 가상 고결체 기둥의 콘크리트 허용지지력, 극한지지력, 설계기준강도 (MPa),

A_c : 가상 고결체 기둥의 면적(m^2),

A_p : 말뚝 선단면의 면적 (m^2),

상기 식은 강관말뚝 지름 0.5(m)와 가상고결체 기둥의 지름 1.2(m)의 경우이다.

- (13) 제트그라우팅으로 보강된 석회암 공동부에 안치된 말뚝의 지지력시험은 식(3.6-1)과 같이 시추코아의 일축압축강도나 반력앵커용 말뚝정재하시험으로 결정하여야 한다.
- (14) 설계도서에 언급된 그라우팅 확산범위는 영상카메라 자료를 근거로 고결체 가장자리에서 중심 방향으로 100 mm 떨어진 곳에서 시추한 코아의 일축압축강도로 확인하여야 한다.
- (15) 확인 시추공은 설계도서에 준하여 재충전하여야 한다.

3.7 말뚝머리 마감 및 보강

- (1) 콘크리트 말뚝의 말뚝머리를 소정의 높이로 끊어서 가지런하게 할 경우에는 말뚝본체에 균열이 발생되거나 프리스트레스가 감소되지 않도록 시공하여야 한다.
- (2) 강관말뚝을 끊어서 가지런하게 할 때는 될 수 있는 대로 평활하게 절단하고, 철근이나 강관을 부착할 때는 확실하게 시공하여야 한다.
- (3) 반력에 만족하는 보강철근의 수는 구조계산으로 결정하여야 하고, 보강철근은 대칭으로 배근한다.
- (4) 말뚝머리 내부의 콘크리트 속채움은 시공이음부가 생기지 않도록 확대기초 콘크리트 타설할 때 같이하여야 한다.

3.8 시공기록

- (1) 시공기록은 말뚝시공 장비의 종류와 등급, 말뚝항타 중에 나타난 이상조건 등을 제출하여야 한다.
- (2) 시공기록은 작업일별 기록 외에 말뚝항타 시공 전체 개개의 상황을 쉽게 이해할 수 있도록 작성한 후 제출하여야 한다.
- (3) 말뚝의 시공기록은 서식 1에 따라 작성하여야 한다.

3.9 시공 허용오차

- (1) 말뚝의 연직도나 경사도는 1/50 이내로 하고, 말뚝타입 후 평면상의 위치가 설계도서의 위치로부터 150 mm 이상으로 벗어나지 않아야 한다.

3.10 현장품질관리

- (1) 현장품질관리는 KCS 11 50 15 (3.6(1))에 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) 수급인은 이음부의 시험을 KS D 0272에 따라 실시하고, 그 결과를 제출하여 확인을 받은 후 후속공정을 추진하여야 한다.
- (3) 설계에 반영된 경우 또는 지층의 변화가 심하여 완성된 말뚝의 지내력을 확인할 필요가 있을 경우 설계도서 및 EXCS 11 50 40에 따라 재하시험을 실시하여야 한다.

3.11 손상된 말뚝

- (1) 손상된 말뚝은 KCS 11 50 15 (3.7)에 따른다.

3.12 도장

- (1) 도장은 KCS 11 50 15 (3.8)에 따른다.

부 록

[서 식]

1. 말뚝항타 보고서 / 1

[서식 1]

말뚝항타 보고서

<input type="checkbox"/> 공 사 명 : 고속국도 제00호선 ○○~△△간 건설공사 제0공구 <input type="checkbox"/> 제 호 : 2009-10(공구별 교량별 일련번호)-5(교량별 항타 누계일) <input type="checkbox"/> 구조물명 : 00교(P1 △△방향) <input type="checkbox"/> 장비제원 <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-left: 40px;"> 장비명 : 형 식 : </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; margin-left: 40px;"> 등 급 : 해머질량(t) : </div> <input type="checkbox"/> 항 타 일 : 2009년 6월 25일 날씨 : 맑음 기온 : 30℃ 오전 : 정오 : 오후 : <input type="checkbox"/> 말뚝별 시공현황									
말뚝 번호	규격 (mm)	말뚝 길이(m)	두부절단 길이(m)	타입 길이(m)	낙하고 (cm)	매 분 간 낙하횟수	평균 침하도(mm)	최종 침하도(mm)	비고

2024년 집필위원

성명	소속	성명	소속
김정학	한국도로공사	신영철	한국도로공사
홍기성	한국도로공사	박혜선	한국도로공사

국가건설기준센터 및 건설기준위원회

성명	소속	성명	소속
김기현	한국건설기술연구원	김동영	케이에스엠기술(주)
김나은	한국건설기술연구원	김명철	동부엔지니어링
김민관	한국건설기술연구원	노성열	(사)한국블록협회
김재훈	한국건설기술연구원	박종호	평화지오텍(주)
김태송	한국건설기술연구원	손윤기	(주)엔비코컨설팅
김희석	한국건설기술연구원	여규권	(주)삼부토건
류상훈	한국건설기술연구원	이규환	건양대학교
안준혁	한국건설기술연구원	임광수	(주)이산
원훈일	한국건설기술연구원	장인희	포스코건설
이상규	한국건설기술연구원	정진훈	인하대학교
이소정	한국건설기술연구원	조항신	극동엔지니어링(주)
이승재	한국건설기술연구원	최준성	인덕대학교
이승환	한국건설기술연구원		
이영호	한국건설기술연구원		
이용수	한국건설기술연구원		
이원종	한국건설기술연구원		
주영경	한국건설기술연구원		
최봉혁	한국건설기술연구원		
허원호	한국건설기술연구원		

중앙건설기술심의위원회

성명	소속	성명	소속
김선백	대우건설	오세봉	영남대학교
김성호	남광토건(주)	유성준	도로교통공단
박영빈	우성디앤씨	장범수	국토안전관리원
백재욱	(주)동명기술공단		

소관부처

성명	소속	성명	소속
신종욱	국토교통부 도로건설과	송진우	국토교통부 도로건설과

EXCS 11 50 15 : 2024

기성말뚝

2024년 12월 발간

소관부서 국토교통부

관련단체 한국도로공사
(39660) 경상북도 김천시 혁신8로 77 한국도로공사
☎ 1588-2504(대표)
<http://www.ex.co.kr>

작성기관 한국도로공사 도로교통연구원
(18489) 경기도 화성시 동탄순환대로 17길 24
☎ 031-8098-6044(품질시험센터)
<http://www.ex.co.kr/research>

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