

EXCS 11 50 15 : 2018

# 기성말뚝

2018년 6월 19일 제정

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



국토교통부



한국도로공사

### 고속도로공사 전문시방서 제·개정에 따른 경과 조치

「고속도로공사 전문시방서(EXCS ; Express Construction Specification)」는 국가 건설기준(KCS ; Korea Construction Specification)를 기본으로 하여 고속도로 시공에 관련된 공종을 대상으로 작성한 종합적인 시방기준으로서, 단위공사 설계 시 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://ex.co.kr/research/>

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

# 전문시방서 제·개정 연혁

- 이 시방기준은 건설기준 코드체계 전환에 따라 기존 고속도로공사 전문시방서와 건설기준(표준시방서) 간 중복·상충을 비교 검토하여 코드로 통합 정비하였다.
- 이 기준은 기존의 고속도로공사 전문시방서를 중심으로 KCS 11 50 15 등의 해당하는 부분을 통합 정비하여 기준으로 제정한 것으로 제·개정 연혁은 다음과 같다.

| 전문시방서               | 주요내용                                                              | 제·개정<br>(년.월)   |
|---------------------|-------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 고속도로공사<br>전문시방서     | • 고속도로공사 전문시방서를 제정                                                | 제정<br>(1998.5)  |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | • 제정 이후 개발된 신기술 및 신공법을 고속도로공사현장에 적용하기 위하여 개정함                     | 개정<br>(2000.11) |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | • 시대적 흐름을 반영하고 건설기술 발전에 이바지함으로써 ‘신뢰받는 국민기업 실현’을 달성하기 위하여 개정함      | 개정<br>(2004.12) |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | • 2차 개정 이후 기술발전과 축적된 건설기술 노하우를 반영하기 위하여 개정함                       | 개정<br>(2009.7)  |
| 고속도로공사<br>전문시방서     | • 도로건설현장에 발전된 기술을 신속히 적용하기 위해 그간의 많은 연구성과와 축적된 건설기술 노하우를 반영하여 개정함 | 개정<br>(2012.10) |
| EXCS 11 50 15 :2018 | • 건설기준 코드체계 전환에 따라 코드화로 통합 정비함                                    | 제정<br>(2018.6)  |

|                                |                              |
|--------------------------------|------------------------------|
| 제정 : 2018년 6월 19일              | 개정 :       년       월       일 |
| 심 의 : 중앙건설기술심의위원회              | 자 문 검 토 : 국가건설기준센터 건설기준위원회   |
| 소 관 부 서 : 국토교통부 도로정책과          |                              |
| 관련단체 (작성기관) : 한국도로공사 (도로교통연구원) |                              |

# 목 차

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| 1. 일반 .....                       | 1  |
| 1.1 적용 범위 .....                   | 1  |
| 1.2 참고 기준 .....                   | 1  |
| 1.3 용어의 정의 .....                  | 1  |
| 1.4 제출물 .....                     | 2  |
| 2. 자재 .....                       | 2  |
| 2.1 강재말뚝 .....                    | 2  |
| 2.2 철근콘크리트 말뚝 .....               | 2  |
| 2.3 장비 .....                      | 3  |
| 2.4 부속재료 .....                    | 4  |
| 2.5 품질관리 .....                    | 4  |
| 2.6 기성말뚝 용접부 품질관리 기준 .....        | 4  |
| 3. 시공 .....                       | 5  |
| 3.1 시공조건 확인 및 공법선정 .....          | 5  |
| 3.2 시공준비 .....                    | 5  |
| 3.3 시험말뚝 .....                    | 5  |
| 3.4 향타 말뚝시공 .....                 | 5  |
| 3.5 매입 말뚝시공 .....                 | 10 |
| 3.6 말뚝기초 아래에 있는 석회암 공동지반 보강 ..... | 12 |
| 3.7 말뚝머리 마감 및 보강 .....            | 13 |
| 3.8 시공기록 .....                    | 14 |
| 3.9 시공 허용오차 .....                 | 14 |
| 3.10 현장품질관리 .....                 | 14 |
| 3.11 손상된 말뚝 .....                 | 14 |
| 3.12 도장 .....                     | 14 |

## 1. 일반

### 1.1 적용 범위

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

### 1.2 참고 기준

- (1) EXCS 10 10 10 공무행정요건
- (2) EXCS 11 20 05 별개제근 및 표토제거
- (3) EXCS 11 50 00 기초공사
- (4) KS B 0885 수동 용접 기술검정의 시험방법 및 판정기준
- (5) KS B 0896 강 용접부의 초음파 탐상 시험 방법
- (6) KS C IEC 60245-6 정격전압 450/750V 이하 고무절연 케이블 - 제6부 : 아크 용접용 케이블
- (7) KS C 9602 교류 아크 용접기
- (8) KS C 9607 용접봉 호울더
- (9) KS D 0272 용접부의 방사선 투과시험을 위한 시험 방법 및 판정기준
- (10) KS D 3503 일반 구조용 압연 강재
- (11) KS D 3508 피복 아아크 용접봉 심선재
- (12) KS D 7004 연강용 피복 아크 용접봉
- (13) KS F 4301 원심력 철근 콘크리트 말뚝
- (14) KS F 4303 프리텐션 방식 원심력 PC 말뚝
- (15) KS F 4306 프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝
- (16) KS F 4307 프리텐션방식 진동 PC 말뚝
- (17) KS F 4602 기초용 강관 말뚝
- (18) KS F 4603 H형강 말뚝
- (19) KS F 4604 열간압연강 널말뚝
- (19) KS F 7001 원심력 콘크리트 말뚝의 시공 표준

### 1.3 용어의 정의

- (1) 지내력 (stability of soil about reaction and settlement)
  - ① 말뚝기초에서 하중인 말뚝반력 또는 직접기초에서 작용하는 압력인 지반반력에 의해 발생하는 지반의 내적 하중(지지력)과 변형(침하)을 말함
- (2) 지지력 (maximum soil reaction)
  - ① 말뚝반력 (말뚝기초) 또는 지반반력 (직접기초)에 의해 발생하는 지반의 하중 또는 응력크기

## 1.4 제출물

- (1) EXCS 10 10 05 (1.7 (12)) 및 EXCS 10 10 10 (1.8)에 따라 해당 공사의 공사계획에 맞추어 책임시공계획 및 시공계획서를 작성한 후 제출하여야 한다.
- (2) 시험 계획에 따른 말뚝 재하 시험보고서와 말뚝 박기 보고서(서식11)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 3 m 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, 강널말뚝은 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 프리캐스트 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 4301(원심력 철근콘크리트 말뚝)의 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(프리텐션 방식 원심력 PC말뚝), PHC(Pre-tensioned spun High strength Concrete, PHC) 말뚝은 KS F 4306(프리텐션 방식 원심력 고강도 콘크리트 말뚝)의 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 말뚝박기 장비

- (1) 말뚝박기 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 | $0.25\sqrt{f_{\sigma'} + f_{pe}}$ | $0.9f_y$ |

$f_y$  : 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, 공사감독자의 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 스트로크를 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 타입거동 보장을 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 (2.4.2)에 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) 리드는 중동장치를 사용하지 않도록 충분한 길이를 가져야 하며, 경사말뚝에서도 정렬될 수 있도록 하여야 한다.

### 2.3.6 향타보조말뚝

- (1) 향타보조말뚝은 KCS 11 50 15 (2.4.3(1), (2))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

| 검사방법 | 검사빈도                |
|------|---------------------|
| U.T  | 5 이음당 1이음(전 주변장) 이상 |

### 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 (3.3)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 (3.4.1(2), (3))에 따르되 아래의 사항을 추가하여 적용한다.
- (2) 수급인은 말뚝 축방향을 설계도서에서 규정한 각도로 세우고, 공사감독자로부터 말뚝축에 직각방향으로 양방향 검측을 받아야 한다.

##### 3.4.3 말뚝박기

- (1) 말뚝머리는 공사감독자의 확인을 받은 말뚝쿠션재료를 사용하여 해머에 의해 손상되지 않도록 보호하여야 한다.

- (2) 말뚝박기 순서는 KCS 11 50 15 (3.4.1(4))에 따른다.
- (3) 말뚝은 설계도서에 표시된 대로 정확한 간격과 위치가 유지되도록 박아야 한다.
- (4) 말뚝박기로 인하여 기시공된 말뚝들에 과대한 휨응력이나 허용오차를 벗어난 말뚝머리 이동이 발생하지 않아야 한다.
- (5) 말뚝박기 작업 중에 해머와 말뚝이 동일한 중심축을 유지하도록 하여야 한다.
- (6) 박기 도중 저항력이 급격히 감소할 경우에는 항타를 중지하고 말뚝의 파손에 의한 감소인지 또는 지반상태에 의한 감소인지 조사하여야 한다.
- (7) 1개의 말뚝박기는 도중에 정지함이 없이 연속해서 박아야 한다. 다만, 장비의 고장, 작업시간의 제한, 기타 원인에 의해 연속 타입이 어려울 경우에는 정지 후 재타입을 수행하도록 하여야 한다. 재타입시 추가관입이 불가능하게 되는 경우 인접말뚝의 관입깊이, 해머용량 등을 고려하여 추가 말뚝박기 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) 내부결함, 정위치에서 벗어난 말뚝 및 설계도서에 나타난 목표 깊이에 미달되는 말뚝이 발생한 경우에는 말뚝 교체 또는 추가 말뚝박기 등 현장조건에 맞는 방법을 검토한 후 교정하여야 한다.
- (11) 말뚝박기로 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 말뚝 쿠션재로 보호하여야 한다.
  - ② 콘크리트 보호층을 둔 경우에는 박기가 완료된 후에 보호층을 제거하고 철근을 노출시켜야 한다.

### 3.4.4 말뚝 절단

- (1) 말뚝은 설계도서에 표시된 높이에서 축방향과 직각으로 절단하여야 하며, 절단할 때에 손상된 부분은 깨끗이 정리하여야 한다.
- (2) 말뚝머리는 설계도서에서 지시한 깊이까지 기초 콘크리트 속에 매입하도록 하여야 한다.

### 3.4.5 말뚝 이음

- (1) 말뚝박기는 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 발생된 경우에는 다른 말뚝의 모든 용접이음부에 대해 수급인 부담으로 검사를 실시하여 결함유무를 확인하여야 한다.

### 3.4.6 말뚝박기 종료

- (1) 말뚝박기에 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 3.4-1의 빈도를 참조하여 기성말뚝에 대하여 동재하시험을 실시하여야 한다.

표 3.4-1 기성말뚝의 동재하시험 실시빈도(End Of Initial Driving, EOID방법)

| 구 분                              | 시험빈도 | 시험말뚝 위치                  |
|----------------------------------|------|--------------------------|
| 행선별 기초(footing)별 말뚝본수 1~80 본까지   | 2    | 기초내의 대각선상이나 감독원이 지정하는 위치 |
| 행선별 기초(footing)별 말뚝본수 81~160 본까지 | 3    |                          |
| 행선별 기초(footing)별 말뚝본수 161 본 이상   | 4    |                          |

주) EOID방법 : 말뚝타격 초기부터 동재하시험을 동시에 수행하는 방식이며, 시공관리 목적에 이용

- (2) 본말뚝의 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 재하 하여야 한다.

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

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

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

여기서,  $S_{PN \text{max}}$  : 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.

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

여기서,  $R_a$  : 허용지지력(tonf)

$W_h$  : 해머중량(tonf)

$W_p$  : 말뚝중량(tonf)

$S$  : 최종관입량(cm)

$c=c_p+c_q$  : 리바운드량(cm)

$c_p, c_q$  : 말뚝과 지반의 탄성변형량(cm)

$c_c$  : 말뚝머리부착물의 탄성변형량(cm)

$n$  : 반발계수(표 3.4-2)

$H$  : 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 말뚝박기 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 3.4-2 말뚝머리 반발계수 (n)

| 말뚝종류   | 말뚝타격조건             | 단동식 · 낙하식<br>디젤해머, 유압해머 | 복동식해머 |
|--------|--------------------|-------------------------|-------|
| 콘크리트말뚝 | 합성수지 또는 경목둘리+헬멧+패킹 | 0.4                     | 0.5   |
|        | 보통나무둘리+헬멧+패킹       | 0.25                    | 0.4   |
|        | 패드만 사용             | -                       | 0.5   |
| 강말뚝    | 합성수지 또는 경목둘리+캡     | 0.5                     | 0.5   |
|        | 보통나무둘리+캡           | 0.3                     | 0.3   |
|        | 장치물 없음             | -                       | 0.5   |

표 3.4-3 말뚝머리부착물의 탄성변형량,  $c_c$  (mm)

| 타격받는 말뚝재료                                                 | 타격정도 | 말뚝머리 또는 캡에 작용하는 항타응력 (MPa) |            |      |            |
|-----------------------------------------------------------|------|----------------------------|------------|------|------------|
|                                                           |      | 3.5                        | 7.0        | 10.5 | 14.0 이상    |
|                                                           |      | 가벼운<br>항타                  | 중간정도<br>항타 | 심한항타 | 매우심한<br>항타 |
| 강(관)말뚝 머리에 직접 항타                                          |      | 0                          | 0          | 0    | 0          |
| 75 ~ 100 mm 두께의 패킹이 들어있는 캡을 사용하여 프리캐스트 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 심하게 항타할 경우          |      | 0.5                        | 1          | 1.5  | 2          |

다. 일본 건설성 고시(약칭 : 5S 식)

(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 말뚝박기 종료는 KCS 11 50 15 (3.4.2(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 하며, 안착된 말뚝에 대하여 수준기로 수직도를 확인한 후에 경타를 하여야 한다.
- (6) 경타는 시험말뚝에 대한 동재하시험결과에 의하여 시공관리기준(최종 관입량, 램 낙하높이 등)을 결정하여야 하며, 두께 100 mm 이상의 말뚝쿠션재(합판)를 사용하여야 한다. 이때 경타시 발생하는 소음·진동은 소음·진동관리법 시행규칙 별표 8 생활소음·진동의 규제기준을 만족하여야 한다.
- (7) 말뚝을 박은 후 생기는 말뚝 주변 공간을 말뚝의 수평저항력과 주변마찰력을 확보하기 위하여 물-시멘트비(W/C) 70 % 이하의 주변고정액으로 확대기초 저면(설계지반면) 까지 충전하여야 한다.
- (8) 주변고정액은 확대기초 바닥 시공시 추가 시공 여부를 결정하여 보완하여야 한다.
- (9) 주변고정액과 선단고정액의 양생 후 시편제원은 지름 50 mm, 높이 250 ~ 300 mm의 원주형이어야 한다. 이 시편 하단에서 100 mm를 제거한 높이 100 mm를 이용하여 표준일축압축강도를 측정하여야 한다.
- (10) 선단고정액과 주변고정액은 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 표준일축압축강도 490 kPa 이상인 물-시멘트비(W/C)의 주면고정액으로 확대기초 저면(설계지반면)까지 충전하여야 한다.
- (5) 주면고정액의 주입량은 자동계량장치를 사용하여 투입 물량을 확인한 후 정산하여야 한다.
- (6) 주면고정액은 이 기준 3.5.1(9)에 의하여 시편을 제작하여 KS F 7001에 따라 표준일축압축강도를 측정하여야 한다.

### 3.5.3 선굴착 후 선단근고공법(시멘트밀크공법)

- (1) 주요장비는 오거천공장비, 시멘트밀크 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 굴착시 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 공벽 손상이나 주입액이 교반되기 때문에 샤클(Shackle)을 이용하여 말뚝을 천천히 침설하여야 한다. 이때 말뚝의 관입깊이를 측정하여야 한다.
- (11) 말뚝의 자중만으로 소정의 심도까지 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) 시공시 말뚝재하시험을 할 수 없기 때문에 양질의 지지층에 말뚝을 안치하는 것이 매우 중요하다. 따라서 시험시공시, 지질주상도, 자동기록용 전류계의 전류값, 배토를 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 확보하기 위하여 표준일축압축강도 490 kPa 이상인 물-시멘트비(W/C)의 주면고정액으로 확대기초 저면(설계지반면)까지 충전하여야 한다.
- (4) 주면고정액의 주입량은 일수현상 등의 지반조건을 고려하여 감독원이 시험시공을 통하여 결정하여야 한다. 시험시공이 불가능한 경우에는 말뚝 주변공간의 2~3배 정도로 주입량을 산정하여 확대기초 저면까지 2~3회에 걸쳐 주입한다.
- (5) 말뚝선단처리방법은 향타말뚝과 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 위치와 크기를 조사하기 위하여 탐사심도는 말뚝선단부에서 기초 폭의 1배 이상, 탐사 방법과 종류는 X형 또는 Z형의 탄성파토모그래피가 적절하다.
- (2) 설계정수는 물리탐사시 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 청수(清水)가 흘러나올 때까지이다.
- (5) 석회암 공동부의 충전액 주입압은 말뚝반력(설계하중)과 주변지역 환경피해 등을 고려하여 고압에서 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 최소한 개의 말뚝(가상 고결체 기둥)을 건너 뛰면서 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  $4d+1$  m 이상을 충전하여야 한다. 여기서  $d$ 는 말뚝 안쪽 지름이다.
- (10) 초고압절삭수의 고결체 지름은 EXCS 11 50 05 (3.1.4(13))과 같이 1200 mm이다.
- (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(3.5-1)과 같이 시추코아의 일축압축강도나 반력앵커용 말뚝정재하시험으로 결정하여야 한다.
- (14) 설계도서에 언급된 그라우팅 확산범위는 영상카메라 자료를 근거로 고결체 가장자리에 가까운 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, 말뚝박기 중에 나타난 이상조건 등을 제출하여야 한다.
- (2) 시공기록은 작업일별 기록 외에 말뚝박기 시공 전체 개개의 상황을 쉽게 이해할 수 있도록 작성한 후 제출하여야 한다.
- (3) 말뚝의 시공기록은 EXCS 10 10 05 부록편 별지 제32호 서식에 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 (3.7(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 (3.8)에 따른다.

### 3.12 도장

- (1) 도장은 KCS 11 50 15 (3.9)에 따른다.

| 집필위원 | 분야 | 성명                       | 소속     |
|------|----|--------------------------|--------|
|      |    | 남문석<br>정경자<br>박영호<br>김수룡 | 한국도로공사 |

| 자문위원 | 분야   | 성명  | 소속         |
|------|------|-----|------------|
|      | 토목구조 | 이지훈 | 서영엔지니어링    |
|      | 토목구조 | 이원철 | 삼보기술단      |
|      | 토목구조 | 엄종욱 | (주)케이에스엠기술 |
|      | 토목구조 | 이선호 | 도담 ENG     |
|      | 토목구조 | 김충언 | 삼현 PF      |

| 건설기준위원회 | 분야 | 성명  | 소속           |
|---------|----|-----|--------------|
|         | 지반 | 김제경 | 경동엔지니어링      |
|         | 지반 | 김기석 | (주)희송지오텍     |
|         | 지반 | 김동민 | (주)한국종합기술    |
|         | 지반 | 박이근 | (주)지오알앤디     |
|         | 지반 | 최재희 | (주)이산        |
|         | 지반 | 김운형 | (주)다산건설턴트    |
|         | 지반 | 한상재 | (주)지구환경전문가그룹 |
|         | 지반 | 이규환 | 건양대학교        |
|         | 지반 | 최용규 | 경성대학교        |
|         | 터널 | 최원일 | 한국철도시설공단     |
|         | 터널 | 김상환 | 호서대학교        |
|         | 터널 | 김대홍 | 서울시립대학교      |
|         | 터널 | 이용주 | 서울과학기술대학교    |
|         | 터널 | 최항석 | 고려대학교        |

| 중앙건설기술심의위원회 | 성명  | 소속         |
|-------------|-----|------------|
|             | 문성호 | 서울과학기술대학교  |
|             | 황주환 | (주)동일기술공사  |
|             | 이태욱 | (주)평화엔지니어링 |
|             | 신수봉 | 인하대학교      |
|             | 김광수 | (주)신성엔지니어링 |
|             | 배규진 | 한국건설기술연구원  |
|             | 추진호 | 한국시설안전공단   |

| 국토교통부 | 성명  | 소속          | 직책  |
|-------|-----|-------------|-----|
|       | 이용욱 | 국토교통부 도로정책과 | 과장  |
|       | 이윤우 | 국토교통부 도로정책과 | 사무관 |

고속도로공사 전문시방서  
EXCS 11 50 15 : 2018

## 기성말뚝

---

2018년 6월 발행

소관부서 국토교통부

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

작성기관 한국도로공사 도로교통연구원  
(18489) 경기도 화성시 동부대로 922번길 208-96  
☎ 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>