

# 1 말뚝시험의 종류 및 기준

글 양성호 \ 토목기술팀 차장 \ 전화 02-3433-7765 \ E-mail yang1222@ssyenc.com

## 1. 머리말

말뚝기초의 표준적인 설계, 시공과정을 살펴보면 먼저 설계단계에서는 상부구조물에 대한 구조해석을 통하여 말뚝머리에 작용하는 외력을 산정한 후, 말뚝의 예상 허용지지력이 작용 외력보다 크도록 말뚝의 길이, 직경, 시공법 등을 결정한다.

일반적으로 말뚝의 예상 허용지지력은 설계기준에서 추천하고 있는 여러 가지 지지력 공식을 적용하여 산정하게 되나, 설계 시 산정된 지지력과 실제 말뚝의 지지력 사이에는 불가피하게 지반조건 및 시공품질에 따른 편차가 발생하게 된다. 이에 따라 시공자는 시공과정 중에 실제 말뚝을 대상으로 재하시험을 실시하여 설계 시 산정된 예상 지지력을 만족하는지 확인하여야 한다(한국지반공학회 기초기술위원회, 2012.02).

말뚝재하시험을 실시하는 목적은 단순히 지지력을 확인하는 것 외에 변위량, 건전도, 시공방법 및 시공장비의 적합성, 시간경과에 따른 말뚝 지지력의 변화, 하중전이 특성 등 다양한 내용들을 확인하기 위함이다.

본 고에서는 말뚝시공의 오차 한계와 실무에서 많이 사용하는 말뚝 시험의 종류 및 기준에 대해서 소개하고자 한다.

## 2. 말뚝의 시공관리 기준

국내외 각종 시방서에서는 다음 (표 1 및 2)와 같이 말뚝의 위치와 수직도에 관해 오차 한계를 제시하고 있다. 다만, 말뚝의 시공 길이에 대한 오차는 제시되어 있지 않는데, 그 이유는 설계 시 결정된 바

에 따라 정확한 길이로 말뚝을 시공하였다 하더라도 말뚝의 실제 지지력이 설계 지지력과 정확히 일치하지 않으므로, 시방서 상에 말뚝 길이에 관한 허용오차 기준은 제시되어 있지 않은 것이다.

표 1 말뚝시공 오차 한계(국내)

구분	말뚝위치	수직도	
토목공사 표준일반시방서 (2005)	항타말뚝	150mm	1/50, 150mm
	현타말뚝	75mm	1/40
	매입말뚝	50mm	1/50
고속도로공사 전문시방서(2013)		D(직경)/4 100mm	1/100
철도건설공사 전문시방서 (2013)	기성말뚝	D(직경)/4 100mm	1/100
	현타말뚝	100mm	1/100
건축공사 표준시방서(2013)		100mm	-
LH 전문시방서 (2012)	기성말뚝	D(직경)/4 100mm	1/100
	현타말뚝	75mm	1/40

표 2 말뚝시공 오차 한계(해외)

구분	말뚝위치	수직도	
미연방 도로국 (FHWA)	항타말뚝	150mm	1/50
	현타말뚝	$D \leq 60\text{cm}$ , 75mm $60\text{cm} < D < 1.5\text{m}$ , 100mm $D \geq 1.5\text{m}$ , 150mm	토사 1.5% 암반 2.0%
홍콩	육상시공	75mm	1/75
	해상시공	150mm	1/25
캐나다	육상시공	50mm	1/50
	해상시공	150mm	
미국동공병단(NAVFAC)		100mm	1/50
싱가포르, LTA		75mm	1/75

FHWA : Federal Highway Administration  
NAVFAC : Naval Facilities Engineering Command  
LTA : Land Transport & Authority

LH 전문시방서(2012)에는 말뚝의 시공 상태가 잘못된 경우 다음과 같이 보강조치를 하도록 규정하고 있다.

### 2-1. 말뚝위치에서 벗어난 경우

설계위치에서 벗어난 거리가 150mm를 초과한 경우에는 구조검토를 하여 추가 항타 및 기초를 보강한다. 독립기초, 줄기초, 매트 기초의 외곽말뚝이 외측으로 75~150mm 벗어난 경우에는 말뚝 중심선에서 벗어난 만큼 기초를 확대하고 철근을 1.5배 보강하여 배근하며, 내측으로 벗어난 경우에는 철근만 1.5배 보강하여 배근한다.

### 2-2. 수직으로 시공되지 않은 경우

항타 완료 후 각도가 등으로 계속하여 수직에 대한 기울기가 말뚝 길이의 1/50 이상일 경우에는 보강말뚝을 시공한다.

## 3. 말뚝재하시험

말뚝재하시험의 종류는 크게 정적인 재하시험과 동적인 재하시험 방법으로 구분할 수 있다. 전자는 하중 작용 방향에 따라 압축재하시험(정재하시험으로 칭함), 수평재하시험(횡방향재하시험), 인발재하시험, 양방향재하시험 등으로 구분할 수 있고, 후자에는 동재하시험, 정동재하시험, 가상재하시험 등이 있다. 본 고에서는 실무에서 많이 사용하고 있는 정재하시험, 양방향재하시험 및 동재하시험에 대하여 '구조물기초설계기준 해설(2015)'의 최신 내용을 발

췌하였다.

### 3-1. 정재하시험

정재하시험은 말뚝의 지지력을 결정함에 있어서 말뚝의 거동을 파악하는 가장 확실한 방법이다.

말뚝두부에 직접 시험하중을 재하하는 방식으로 가압 및 반력 시스템에 따라 고정하중 이용방식, 반력말뚝 이용방식 및 반력앵커 방식으로 분류할 수 있으며, 재하 또는 제하 방법에 따라 완속재하시험법(표준재하시험법)을 포함하여 7개 정도로 나누어 지는데, 이 중에서 완속재하시험법이 많이 채택되고 있다.



(a) 고정하중 이용방식

(b) 반력말뚝 이용방식

[그림 1] 정재하시험 하중 재하 방식

### 3-2. 양방향재하시험

말뚝정재하시험의 경우 시험하중만큼의 고정하중이나 반력말뚝, 반력앵커 등의 반력이 필요하고, 이런 반력하중이 확보되지 않으면 말뚝정재하시험을 할 수 없다. 그러나 양방향말뚝재하시험에서

표 3 정적 압축재하시험 절차의 비교

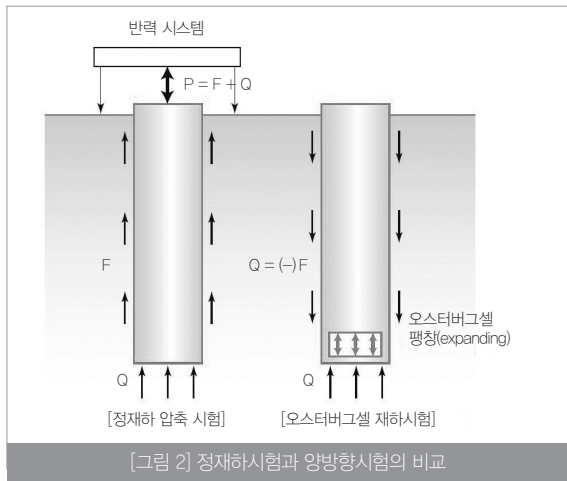
시험법	항목	하중단계	재하(Load)하중유지	종료하중	제하(Unloading)하중
완속재하시험법 (표준재하방법)		8단계(설계하중의 25%, 50%, 75%, 100%, 125%, 150%, 175%, 200%)	말뚝머리 침하율이 시간당 0.25mm 이하(최대 2시간)	설계하중의 200%에서 침하율이 시간당 0.25mm 이하시 12시간, 그 이상인 경우 24시간 유지	시험하중의 25%씩 단계별로 1시간씩 간격을 두어 제하
표준재하방법의 초과하중재하		표준재하시험까지는 설계하중의 50%씩, 이후 최대 시험까지는 설계하중의 10%	표준재하시험까지는 20분, 이후 최대시험하중까지는 20분씩 유지	최대 요구하중 또는 파괴 시까지, 파괴 안 될 경우 2시간 유지	시험하중의 25%씩 단계별로 20분씩 간격을 두어 제하
일정시간간격 재하법		설계하중의 20%씩 8단계 재하	각 하중단계당 1시간씩 유지	설계하중의 200%에서 1시간 유지	설계하중의 20%씩 제하되 각 단계별로 1시간씩 유지
일정침하율 시험법		단계별로 일정침하율(0.25~2.5mm/분내)이 된 후 다음 단계 재하	점성토 : 0.25~1.25mm/분 사질토 : 0.75~2.5mm/분	최종 시험하중 또는 총 침하량 50~75mm, 말뚝직경의 15%	총 하중제하, 제하 후 1시간 기록
일정침하량 시험법		침하량이 말뚝 직경의 1% 정도 되는 하중을 각 단계별 하중으로 결정	소정의 침하량이나 재하하중 변화율이 시간당 총 재하하중의 1% 미만에 이를 때	총 침하량이 말뚝 직경의 10%에 도달할 때 또는 시험하중	4번 정도 나누어 제하되 각 단계의 리바운드율이 말뚝 직경의 0.3%이내가 된 후 제하
반복하중 재하시험법		표준재하방법과 동일	50, 100, 150% 하중단계에서 1시간씩 하중을 유지시키고 나머지 하중 단계에서는 20분 유지하면서 재하하중이 완전히 재하되면 50%씩 단계 재하되 20분씩 유지하면서 재하	표준재하방법과 동일	표준재하방법과 동일
급속재하시험법		각 단계의 하중이 설계하중의 10~15%	각 단계별 2.5~15분(보통 5분) 유지하고, 2~4차례 침하량 기록	극한하중 또는 허용범위까지 재하 후 2.5~15분(보통 5분) 유지	4번 정도 나누어 5분씩 유지하면서 제하

는 특수하게 제작된 유압식 잭(Jack)이나 셀(Cell)을 일반적으로 말뚝단 부근에 설치하여 선단지지력과 주면마찰력에 의해 하중재하에 필요한 반력을 상호간에 마련해주므로 하중재하를 위한 별도의 대형장치가 필요없고, 좁은 시험공간이나 경사진 곳에서도 적용이 가능하다.

다음 [그림 2]는 정재하시험과 양방향재하시험의 차이를 보여준다. 정재하시험은 두부에서 하중을 재하하게 되므로 고정하중이나 반력말뚝, 반력앵커 등의 반력 장치와 큰 재하장치가 필요하다.

양방향재하시험의 경우, 지상에서 유압을 가하면 유압잭의 하부는 하향으로 움직여 선단지지력을 발생시키고 상부는 동일한 힘으로 상향으로 움직이면서 말뚝에 주면마찰력을 발생시킨다. 이런 이유로 양방향재하시험에서는 별도의 반력시스템이 필요치 않게 된다 (김성수 등, 2007). 양방향재하시험은 다음 중 먼저 발생하는 현상이 있을 때까지 수행된다.

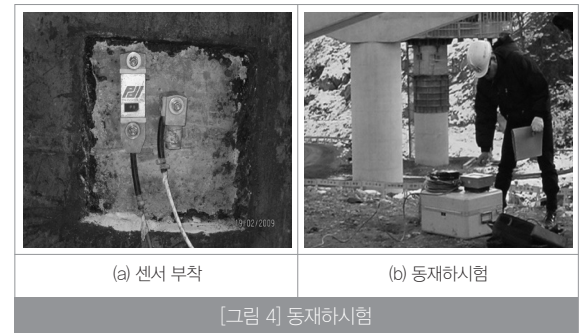
- 주면마찰력이 극한에 도달
- 선단지지력이 극한에 도달
- 하중장치 용량 및 변위 초과



### 3-3. 동재하시험

말뚝의 동재하시험은 말뚝타격 시에 발생하는 충격파의 전달에 대한 파동 방정식을 이론적 근거로 하여 미국 오하이오(Ohio) 주의 케이스웨스턴(Case Western) 대학교에서 1964년에 개발되었다. 이 시험은 말뚝에 변형과 충격파 전달속도를 측정할 수 있는 장치를 한 후에 말뚝이 타격관입되는 과정에서 측정되는 변형과 응력파를 말뚝향타분석기(PDA, Pile Driving Analyzer)로 측정하여 CAPWAP(Case Pile Wave Analysis Program) 프로그램으로 해석하고, 그 결과로부터 말뚝의 지지력, 말뚝에 전달되는 응력분포, 말뚝에 발생하는 압축력과 인장력, 응력파의 전달속도 등의 자료를 얻으며 타격관입 중에 말뚝에 발생하는 이상을 검출해 낼 수 있다. 동재하시험의 장점은 다음과 같다.

- 시험 소요시간이 매우 짧다
- 비용이 비교적 적게 든다
- 말뚝관입 도중의 어느 시점에서든 지지력 확인이 가능하다
- 말뚝과 해머의 성능을 동시에 측정할 수 있으므로 합리적 시공 관리가 가능하다
- 말뚝타격 시에 발생하는 말뚝의 파괴 여부와 위치를 알 수 있다
- 깊이별 저항력 분포를 알 수 있다
- 항타 시와 일정시간이 경과한 후 시간경과에 따른 말뚝지지력 변화를 알 수 있다



### 3-4. 말뚝재하시험의 수행빈도 기준

압축정재하시험은 지반조건에 큰 변화가 없는 경우 건축구조물의 기초 또는 토목구조물의 기초말뚝에 대하여 전체 말뚝개수(공수)의 1% 이상 또는 구조물별로 1회 이상의 시험이 필요하며, 여기서 구조물별로 적용할 경우에는 전체 시공되는 말뚝개수가 100개 미만인 경우에 해당한다. 교량기초에 대해서는 교대와 교각을 별도 구조물로 구분하여 수량기준을 적용하되 이에 해당하는 교량기초는 고속국도 및 일반국도 상의 대형교량을 대상으로 하며 소규모 교량(단지내 교량 등)인 경우에는 교량 전체를 하나의 구조물로 간주하여 수량 기준을 적용한다.

매입말뚝의 지지력은 말뚝을 시공한 시점으로부터 양생에 의해 지지력이 달라질 수 있다. 따라서 시공되는 말뚝의 품질을 확인하고 구조물의 안전을 기하기 위해서는 이와 같은 지지력의 변화를 확인하기 위해서 시공 중 동재하시험(EOID, End of Initial Driving Test)이 실시된 말뚝에 대하여 일정한 시간(가급적이면 1~2주일)이 경과한 시점에서 재향타동재하시험(Restrike Test)이 이루어져야 한다. 시공 중 동재하시험(EOID)의 최소 실시 빈도는 지반조건이 큰 변화가 없는 경우 전체 말뚝개수(공수)의 1% 이상(말뚝이 100개 미만인 경우에도 구조물별로 최소 1개 수행)이다. 시공 중 동재하시험이 실시된 동일한 말뚝에 대하여 시간경과효과 확인을 위해 지반 조건에 따라 일정시간 경과 후 재향타동재하시험을 실시하며 그 수량은 동일 말뚝에 중복해서 수행하므로 시공 중 동재하시험 횟수와 동일하다. 한편 시공이 완료되면 본 시공말뚝에 대해서 품질확인 목적으로 재향타동재하시험을 실시하며 실시빈도는 시공 중 동재하시험 빈도와 동일하다. 국내외 재하시험 빈도에 대한 기준은 다음 <표 4 및 5>와 같다.

표 4 말뚝재하시험 최소 수행 빈도 기준(국내)

구분	압축정재하 시험	동재하시험	
		시공중동재하	재향타동재하
구조물기초 설계기준해설 (2015)	말뚝개수의 1% 구조물별로 1회	말뚝개수의 1%(횟수는 2%) 구조물별로 1회	말뚝개수의 1% 구조물별로 1회
토목공사 표준일반 시방서 (2005)	말뚝 250개당 1개(0.4%) 또는 구조물별로 1개	80본 이하 : 2개 160본 이하 : 3개 161본 이상 : 4개 이상	좌동
LH 전문시방서 (2012)	말뚝 250개당 1개(0.4%) 또는 구조물별로 1개  · 아파트는 1개동 기준으로 하고, 나머지 건물들은 매 동 기준으로 하되 250본 초과시는 250본을 1개동으로 한다. · 통합주차장인 경우 인접 1개 스펀 보강구간을 아파트 1개 동으로 간주하여 시행한다.	말뚝개수의 1% 구조물별로 최소 1회	좌동

표 5 말뚝재하시험 최소 시행 빈도 기준(싱가포르, LTA)

구분	현타말뚝 (Bored Pile)	바렛파일 (Barrettes Pile)	향타말뚝 (Driven Pile)
극한하중 재하시험 (Ultimate Load Test)	2본	2본	2본
사용하중 재하시험 (Working Load Test)	말뚝개수의 1% (최소 2개)	-	말뚝개수의 1% (최소 2개)
동하중시험 (Dynamic Pile Test)	말뚝개수의 3% (최소 3개)	말뚝개수의 5% (최소 5개)	-
향타관입성 분석 (PDA & CAPWAP)	-	-	말뚝개수의 3% (최소 3개)

여기서, 극한하중재하시험의 최대시험하중은 설계하중의 2.5배이며, 사용하중 재하시험은 설계하중의 1.5배이다.

### 4. 현장타설말뚝 건전도 평가

기성말뚝은 KS 표준에 의한 공장제조 제품으로써 말뚝본체의 균질성 확보가 용이하고 제작과정에서의 품질시험을 통하여 재료적 품질평가가 원활하게 수행되므로 말뚝 본체의 건전도가 확보된 상태에서 사용된다. 그러나 현장타설말뚝은 시공방법, 시공관리방법, 콘크리트 타설 및 관리방법, 지반 조건, 지하수 조건 등 다양한 요인에 의해 말뚝 본체의 강도와 타설상태, 결함여부 등 건전성 확보에 영향을 받게 되므로 시공품질을 확인하고 평가하기 위한 건전도시험(Integrity Test)이 필요하다. 실무적으로 활용 중인 현장타설 말뚝의 건전도시험 방법으로는 다음과 같은 3종류가 일반적이다.

- 검측공을 이용하는 비파괴시험인 CSL(Cross-hole Sonic Loggings) 방법(공대공탄성파탐사 또는 공대공초음파검층이라고도 함)
- 저변형률(Low-strain) 건전도시험인 충격반향(Impact Echo, 예로 PIT : Pile Integrity Test) 방법
- 말뚝의 내부 및 그 하부지반을 일정깊이로 코어링(Coring)하는 방법

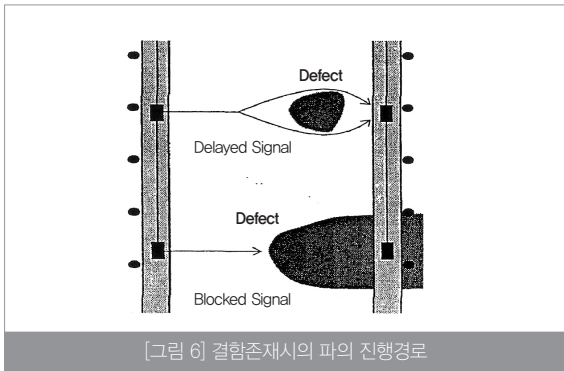
다음 <표 6>에는 상기 3가지 방법들에 대한 장단점을 비교하여 요약하였다.

표 6 건전도 시험의 비교

구분	장점	단점
CSL 방법	· 비교적 정확한 결과 제공 · 말뚝길이에 제한없음	· 타설 전 튜브 매설 필요
충격반향 방법	· 시험이 간편	· 말뚝길이에 제한(말뚝 직경의 30배 이내)
코어링 방법	· 정확한 결과 제공 · 결함부 육안관측 가능	· 상대적으로 경비와 시간이 소요됨

#### 4-1. 공대공탄성파탐사(CSL 방법)

공대공탄성파탐사(CSL)는 공대공초음파검층이라고도 불리며, 최소 7일 양생된 말뚝을 대상으로 수행한다. 기본 원리는 현장타설말뚝의 철근망에 미리 설치한 최소 2개 이상의 탐사용 튜브에 물을 채우고 음파 발신센서와 수신센서를 삽입한 후 말뚝하단부터 끌어올리면서 통상 길이방향으로 매 5cm마다 탐사 대상이 되는 말뚝 본체 단면(탐사경로)에 대하여 음파(탄성파)의 도달시간을 로깅(Logging)한다. 탐사용 튜브의 거리(간격)가 일정한 것으로 가정하여 도달시간으로부터 콘크리트의 탄성파전달속도를 산정함으로써 말뚝 본체의 강도와 건전한 콘크리트의 탄성파전달속도와의 관계를 적용하여 측정 대상 현장타설말뚝의 상대적인 건전도를 평가하는 방법이다.



[그림 6] 결함존재시의 파의 진행경로

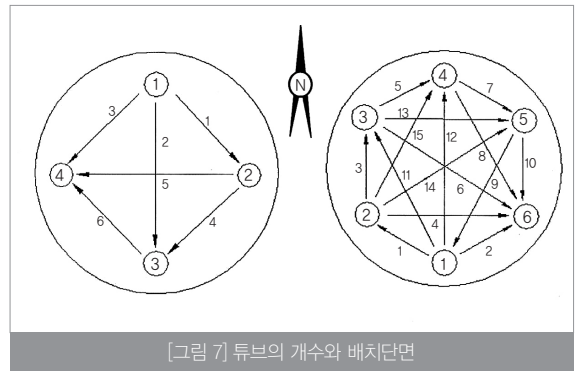
##### 1) 탐사용 튜브의 개수

탐사용 튜브는 통상적으로 말뚝의 직경에 따라 다음 <표 7>과 같은 최소 개수로 설치한다.

탐사용 튜브는 보통 강관을 사용하며 그 직경은 탐사 프루브(Probe)가 원활하게 삽입 및 제거될 수 있는 제원을 적용한다. 일반적으로 탐사용 튜브의 직경은 50mm 이내이고, 말뚝 저면의 품질 확인을 위해 트리플 코어 배럴(Triple Tube Core Barrel)을 사용해야 할 경우 100mm의 튜브를 설치한다.

표 7 말뚝크기별 탐사용 튜브의 최소 개수

말뚝크기(D, m)	탐사용 튜브 개수	탐사 경로 개수
$D \leq 0.6$	2	1
$0.6 < D \leq 1.2$	3	3
$1.2 < D \leq 1.5$	4	6
$1.5 < D \leq 2.0$	5	10
$2.0 < D \leq 2.5$	7	21
$D \geq 2.5$	8	28



[그림 7] 튜브의 개수와 배치단면

##### 2) 공대공탄성파 탐사방법의 건전도시험 빈도

CSL 방법은 주로 교각기초에 적용되므로 국내의 주요 시방서에서는 다음 <표 8>을 일반적으로 따르고 있다. 고층 또는 초고층 건축 구조물에서도 현장타설말뚝의 적용이 일반화되고 있는 추세이므로 이러한 경우에도 최소한의 빈도 기준으로 적용될 수 있다. 단, 토목구조물이든 건축구조물이든 시공되는 현장타설말뚝의 전체 개수가 적은 경우에는 모든 말뚝에 대하여 시험하는 것이 바람직하다.

표 8 CSL 방법의 건전도시험 수량

평균 말뚝길이	시험 수량	비고
30m 미만	20%	· 교각기초(Footing)당 말뚝수량에 대한 백분율 (단, 교각기초당 최소 1개소 이상) · 건축구조물의 경우는 전체 말뚝개수 대비 비율
30m 이상	30%	

여기서, 상하행선이 분리된 교각기초의 경우는 각각 별도의 교각기초로 간주하여 수량을 결정하며, 단일형 현장타설말뚝의 경우에는 모든 말뚝에 대하여 탐사

##### 3) 건전도 판정결과에 따른 결함의 보강

공대공탄성파탐사에 대한 건전도 등급은 다음 <표 9>를 기준으로 판정한다.

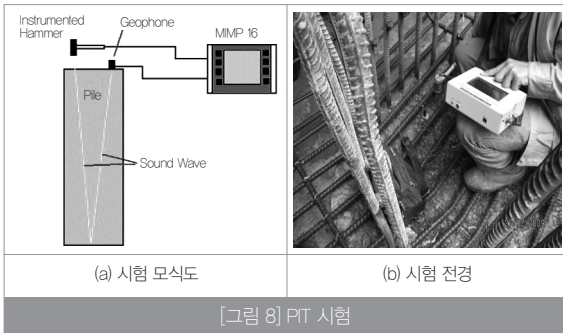
표 9 공대공탄성파탐사 등급 기준

등급	판정기준
A (양호)	· 초음파 주시곡선의 신호왜곡이 거의 없음 · 속도저감을 10% 미만
B (결함의심)	· 초음파 주시곡선의 신호왜곡이 다소 발견 · 속도저감을 10~20%
C (불량)	· 초음파 주시곡선의 신호왜곡 정도 심각 · 속도저감을 20% 이상
D (중대결함)	· 초음파 신호가 감지 안됨 · 전파시간이 초음파전파속도 1.5km/s에 근접

보강이 필요한 것으로 판정된 말뚝이 있는 경우에는 결함 위치와 불량 원인을 조사하기 위해 해당 말뚝에 대한 코어링(Coring)을 실시한다. 결함 위치에 대한 보강은 그라우팅, 마이크로파일, 재시공 등의 적용 가능한 보강 대책을 수립하여 실시하는 것이 바람직하며, 보강이 완료된 말뚝에 대하여 필요한 시험을 실시하고 해당 시험방법에 따른 판정결과를 검토하여 최종적으로 말뚝의 건전도를 평가한다.

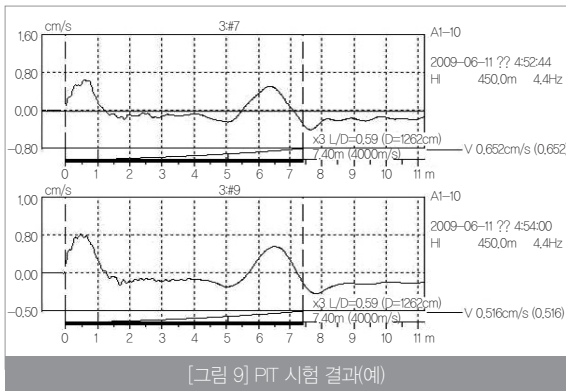
#### 4-2. 충격반향시험(Low Strain Impact Test)

말뚝의 상단표면에 물리적 충격을 가하면, 탄성파가 발생하여 말뚝의 길이방향으로 전달된다. 이때 말뚝의 선단, 내부 결함, 직경의 증감, 서로 다른 매질의 경계 및 주위 토층의 마찰 등에 의해 탄성파의 진행에 영향을 주게 되며, 이러한 반사파의 진행을 말뚝의 상부에 부착된 가속도계가 감지한다. 동시에 햄머 타격에 의한 충격신호도 측정하여 PIT System을 이용하여 파의 도달시간 및 반사 특성을 시간영역 및 주파수영역에서 분석하여 말뚝의 길이 및 품질상태를 파악하게 된다.



[그림 8] PIT 시험

아래 [그림 9]는 길이 7.5m인 말뚝에 대한 시험 결과로 6.5m 부근에서 단면 감소가 확인된 것을 나타내고 있다.



[그림 9] PIT 시험 결과에)

#### 4-3. 코어링 방법(Proof Coring)

다이아몬드코어배럴(Diamond Coring Barrel)을 이용하여 현장 타설말뚝의 기초 저면하 0.5m까지 콘크리트의 코어를 채취하여 육안 확인하는 방법이다. 28일 이상 양생된 말뚝에 대하여 수행하며, 코어 채취가 완료되면 코어 채취부는 그라우팅으로 충전되어야 한다. 채취된 시료는 흠결이 없어야 하며, 콘크리트 강도는 소요강도를 확보하여야 하고, TCR(Total Core Recovery) 및 RQD(Rock Quality Designation)는 100%를 확보하여야 한다(싱가포르, LTA 기준).

- 콘크리트 소요 강도 확보
- 결점이 없을 것
- TCR(Total Core Recovery) = 100% 확보
- RQD(Rock Quality Designation) = 100% 확보

### 5. 맺음말

본 고에서는 국내외 말뚝 관련 시방서 및 설계기준을 참조하여 말뚝 시공의 오차 한계와 실무에서 많이 사용하는 말뚝재하시험의 종류 및 기준에 대해서 간략히 소개하였다.

본 고에 언급된 기준은 최소 기준이므로 지반조건에 큰 변화가 있거나 인명과 관련된 중요 구조물일 때에는 시공관리 기준이나 시험 횟수를 별도로 설정하여 안전성을 충분히 확인하여야 한다. 또한, 품질시험 및 재하시험의 경우 시험자의 경험과 분석 능력이 중요하므로 자격이 있고 경험이 풍부한 시험자가 수행하고, 시험 성과는 지반전문가의 검토 및 확인을 거쳐야 한다. 마지막으로, 본 고가 실무 종사자들에게 조금이나마 도움이 되기를 바란다. S

#### 참고문헌

- ① 국토해양부(2014), 구조물기초설계기준
- ② (사)한국지반공학학회(2015), 구조물기초설계기준 해설
- ③ 국토해양부(2005), 토목공사 표준일반시방서
- ④ 한국도로공사(2013), 고속도로공사 전문시방서
- ⑤ 국토해양부(2009), 도로공사 표준시방서
- ⑥ 국토해양부(2013), 건축공사 표준시방서
- ⑦ 한국토지주택공사(2012), LH전문시방서
- ⑧ 한국철도시설공단(2013), 철도건설공사 전문시방서
- ⑨ 한국철도시설공단(2012), 말뚝기초의 설계
- ⑩ 한국지반공학학회(2002), 지반공학시리즈 4 깊은기초, 구미서관
- ⑪ 조천환(2006), 매입말뚝공법, 이엔지북
- ⑫ FHWA(2006), Design and Construction of Driven Pile Foundation
- ⑬ FHWA(2010), Drilled Shafts Manual
- ⑭ NAVFAC(1986), Foundation and Earth structures
- ⑮ LTA(2007), Materials & Workmanship Specification for Civil and Structural works
- ⑯ Canadian Geotechnical Society(2006), Foundation Engineering Manual 4th edition