기술기사 2 | 한국지반공학회지 | Vol.22, No.11 | pp.31~44

# 양방향재하실험을 이용한 현장타설 시험말뚝의 계획, 시공 및 품질관리 방법

송 명 준*1, 김 동 준*2, 박 영 호*3

## 1. 서론

최근 구조물의 크기가 대규모화 되어감에 따라 지반에 하중을 전달하는 기초의 크기도 점점 커지며, 이에 따라 대구경 현장 타설말뚝의 사용빈도가 계속해서 늘어나고 있는 추세이다. 현재 국내에서는 최대 직경 3.0m의 현장타설 말뚝이 시공되었다. 대규모 하중을 지지하기 위하여 대부분이 암반층에 소켓팅되는 말뚝들로 설계되고 있으므로, 암반층에서의 주면마찰력과 선단지지력의 특성과 거동파악이 설계의 중요한 요소가 되고 있다. 그 반면에 말뚝머리에 하중을 가하여 지지력을 확인하는 일반적인 말뚝재하시험 방법은 그 특성상 재하할 수 있는 하중의 크기에 한계가 있다. 따라서, 최근에는 대구경 현장타설말뚝의 지지력을 평가하기 위하여 O-cell 시험 또는 양방향 말뚝재하시험이 널리 사용되고 있다(김동준 외 2004).

*1 현대건설 기술연구소 선임연구원(mjsong@hdec.co.kr)
*2 현대건설 기술연구소 선임연구원(djkim@hdec.co.kr)
*3 현대건설 기술연구소 수석연구원(yhpark@hdec.co.kr)

O-cell 시험 또는 양방향 말뚝재하시험은 말뚝 내에 수압 또는 유압을 이용하는 재하장치를 매설하여 수행되며, 이 재하장치는 단일 또는 다수의 가압잭과 그 상·하에 위치한 재하판으로 구성된다. 이와 같이 말뚝 단면 내에 재하장치를 설치 할 경우 재하장치의 상·하 방향으로 하중이 작용되어 말뚝자체의 선단지지력과 주면마찰력을 반력으로 이용하므로 재하용량의 두 배까지 시험이 가능하여 기존의 정재하시험으로는 불가능하였던 매우 큰 하중까지 재하가 가능하다. 또한 선단부 지지력과 주면마찰력을 직접 분리하여 측정함으로서 정확한 선단지지력의 측정이 가능하게 되었다. 시험대상 말뚝이 매우 길거나 단위면적당 주면마찰력이 큰 암반층의 경우, 말뚝 내에 두 개소 이상의 재하장치를 설치하여 말뚝의 지지력을 구간별로 나누어 시험할 수 있으며 다수의 말뚝 시공에 소요되는 비용 및 시간을 절감할 수 있다(송명준 외, 2006).

국내의 경우 양방향 재하시험의 적용 초기에는 본 말뚝의 지지력확인을 위하여 주로 사용되어 왔으나 마창대교 시험말뚝 재하시험(송명준 외, 2005)을 시

작으로 본 말뚝 시공 전 주면마찰력과 선단지지력을 평가하여 설계에 반영하기 위한 시험말뚝 재하시험이 사용되기 시작하였다. 표 1에는 최근에 국내에서 수행되었던 현장타설말뚝의 대표적인 시험말뚝 재하시험이 나타나 있다.

표 1에서 볼 수 있는 것과 같이 시험하중이 그전의 일반적인 말뚝재하시험보다 훨씬 큰 시험하중을 재하시킬 수 있으므로 암반에 근입된 말뚝의 지지력을 좀 더 현실적으로 평가하는데 크게 기여하고 있다.

본 기사에서는 현장 타설말뚝의 양방향 말뚝재하시험을 이용한 시험말뚝의 성공적인 수행을 위한 시험계획, 시공시 유의점 및 품질관리 방법에 대하여 기술하고자 한다.

## 2. 시험말뚝 재하시험의 계획

일반적으로 국내의 현장타설말뚝은 대부분이 풍화암이나 연암층에 설치가 되므로 시험말뚝에서 평가해야할 주 대상이 풍화암과 연암층의 주면마찰력과 선단지지력이다. 하지만, 암반층의 심도가 매우 깊은 경우에는 모래, 자갈층 또는 풍화토층이 주 시험대상이 된다. 따라서 각 현장의 지반조건 및 설계조건에 따라 시험말뚝의 위치를 적절히 선정하고 이에 따른 시험계획을 수립하여야 한다. 시험위치 선정을 위하여 충분한 지반조사를 실시하여 지반특성을 충분히 파악하여야 한다. 또한, 재하장치에 관한 자료를 참고하여 대상 주면이나 선단에 항복이 발생할 수 있는 하중을 가할 수 있는 재하장치 종류, 개수 및 위치를 선정하여야 한다.

### 2.1 지반조사

시험말뚝의 위치선정 및 시험결과의 비교분석 및 적용을 위하여 가장 중요한 것이 지반조사이다. 지반조사는 시험목적과 시험결과의 활용 방법을 고려

**표 1. 국내에서 실시된 대표적인 시험말뚝 재하시험**

| 현장명 | 년도 | 직경 | 시험하중(tonf) | | 비고 |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | 양방향 | 단방향 | |
| 마창대교 | 2004 | 1.5m | 4,700 | 2,350 | |
| | | 1.5m | 4,700 | 2,350 | |
| 송도신도시 | 2005 | 1.25m | 5,400 | 1,900 | Multi-Level |
| | | 1.25m | 4,800 | 2,400 | |
| | | 1.25m | 3,200 | 1,600 | |
| 인천대교 민자구간 | 2005 | 3.0m | 28,958 | 14,479 | |
| | | 2.4m | 13,799 | 6,900 | |
| | | 2.4m | 24,531 | 12,266 | |
| | | 2.4m | 17,369 | 8,685 | |
| 인천대교 국고구간 | 2006 | 2.5m | 31,500 | 10,750 | Multi-Level |
| | | 2.0m | 11,563 | 5,000 | Multi-Level |
| | | 1.5m | 9,000 | 4,500 | |
| | | 2.0m | 9,850 | 3,750 | Multi-Level |

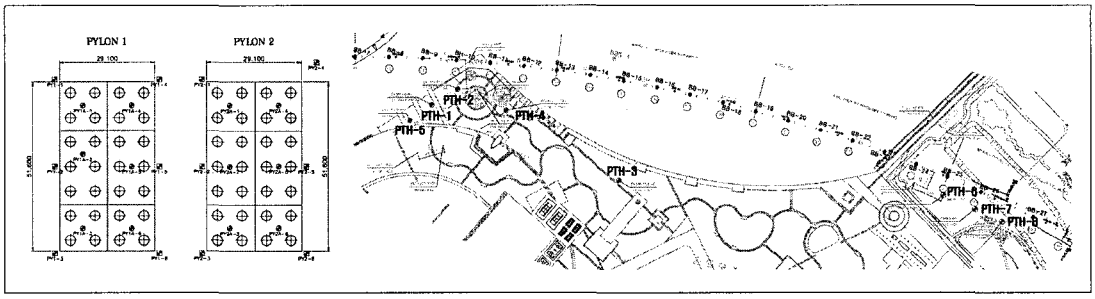
하여 계획되어야한다.

재하시험으로 구한 주면마찰력과 선단지지력을 실제 말뚝에 적용하기 위해서는 지반조사 결과의 비교분석을 하여야 하므로 반드시 다량의 고품질 지반조사가 실시되어야 한다.

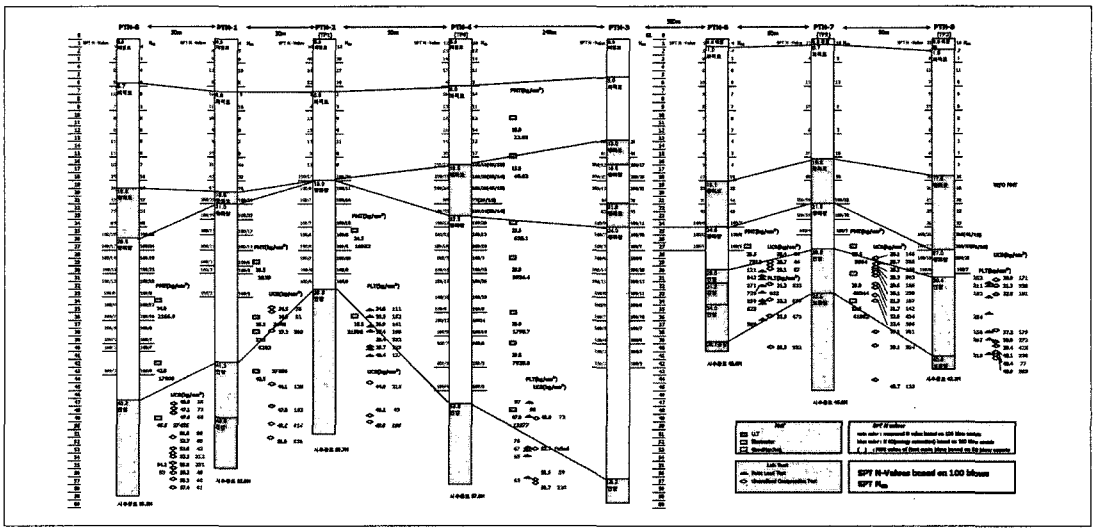
### (1) 시추조사

일반적으로 시험말뚝에 적합한 위치의 선정을 위해서는 기존의 시추조사 자료를 참조하되 계획된 시험말뚝의 2배수 또는 3배수 이상의 시추조사를 추가로 실시하는 것이 바람직하다. 그림 1은 마창대교에서 2본의 시험말뚝 위치선정을 위한 12개소의 추가 시추위치도와 인천대교 국고구간에서 4개소의 시험말뚝 위치선정을 위하여 실시된 8개소의 시추주상도가 도시되어있다.

시추조사시 암반분류는 가급적 설계시의 암반분류법을 적용하여 시험말뚝 재하시험결과를 바로 적용할 수 있도록 하는 것이 유리하다. 하지만, 여러 공구를 대표하는 재하시험의 경우에는 가장 표준적인 방법으로 지반을 분류하여야 한다.




(a) 마창대교(기존12+추가 12개소)와 인천대교 국고구간(8개소) 시추 위치도



(b) 인천대교 국고구간 시추조사 주상도

그림 1. 시험말뚝 재하시험을 위한 시추조사 위치도 및 주상도

### (2) 삼중관 코어배럴

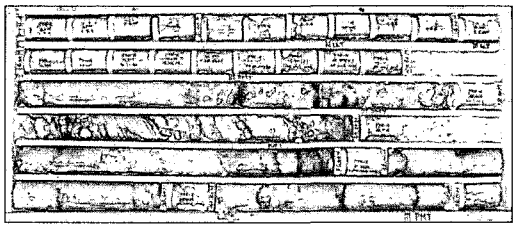
풍화암층의 경우 일축압축시험이 불가능하며 일반적으로 SPT N치로 분류한다. 일반적으로 사용되는 D3 코어배럴을 사용할 경우 시료회수율이 좋지 않으므로 풍화암층의 시료회수를 위하여 삼중관 코어배럴을 사용하는 것이 좋다. 인천대교 국고구간 시추조사시 풍화암층에 삼중관 코어배럴을 사용하였을 경우 약 70% 정도 코어가 회수되어 풍화상태를 눈으로 직접 확인이 가능하였다. 그림 2에는 삼중관 코어배럴로 회수된 2종류의 다른 풍화암 시료사진이 나타나 있으며 본 말뚝위치에서의 풍화암 종류를 고려하여 그림 2의 (c)가 시험말뚝 위치로 선정되었다.

### (3) SPT와 PMT

SPT의 경우 가급적 실시 설계에 사용된 것과 동일한 방식의 장비를 이용하는 것이 좋으며 반드시 에너지 효율을 측정하여야 한다. 특히 많은 시추작업 때문에 2대 이상의 장비가 투입된 경우에는 각각의 장비에 대해서 에너지 효율 측정을 실시하여야 한다. 시험 후 본 말뚝에 시험결과를 적용시에는 N60을 기준으로 본 말뚝을 실시설계시 측정된 에너지 효율로 수정하여 적용하여야 한다.

SPT와 함께 지반의 특성 평가를 위하여 사용되는 시험이 공내재하시험(PMT)이다. 공내재하시험의 경우 시험비용등의 문제로 인하여 SPT와 같이 매 깊이별 프로파일을 측정할 수 없는 단점이 있지만 기존 연구 결과들을 참고하면 주면마찰력 및 선단지지력과 상관관계가 많이 있는 것으로 알려져 있다. 따라서, 시험말뚝으로 최종 결정된 시추공 위치에서 집중적인 PMT 시험을 실시할 경우 좋은 결과가 도출될 것으로 판단된다.

(a) 삼중관 코어배럴



(b) 풍화암 시료1

(c) 풍화암 시료2

그림 2. 삼중관 코어배럴과 풍화암시료

### (4) 일축 압축강도 시험 및 점하중 시험

일반적으로 설계를 위한 지반조사시에는 시추공당 1-2개의 일축압축시험만을 수행하여 설계자료로 불충분한 경우가 태반이다. 더구나 시험말뚝 재하시험의 경우 최근에는 하중전이 시험과 병행하여 실시하므로 하중전이 측정 구간별로 강도의 대표값을 산정할 수 있도록 충분한 수량의 시험을 실시하는 것이 바람직하며, 위치별로 현장 암반상태를 대

표할 수 있도록 암종, 풍화정도, 절리 상태 등을 고려하여 시편을 선정하여야 한다.

10cm 크기의 코어가 없을 경우에는 점하중 시험을 실시하며, 이 경우 인접한 위치에서의 일축압축강도와 비교하여 반드시 강도정수를 확인하여야 한다. 인천대교 국고구간의 자료로서 점하중시험 결과 강도지수 24를 적용한 것과 실제 일축압축강도의 관계가 그림 3에 도시되어있다.

## 2.2 변형율 게이지의 선정

진동현식 게이지는 변형율에 따라 주파수값을 출력하며 신호선의 길이가 긴 경우에도 전송이 용이하며, 신호선의 길이 및 온도변화에도 영향을 받지 않는 것이 장점이나, 가격이 고가이고 동적인 하중을 측정하기 어렵다는 단점이 있다. 이에 반해 전기 저항식 게이지는 변형율에 따른 저항값의 변화에 의한 입출력 단에서의 전압차를 측정하므로, 게이지와 신호선의 부식, 수분침투, 온도 및 길이변화 등 변형율 이외의 요인들에 의하여 측정값이 영향을 받을 수 있다.

변형율 게이지는 한 단면에 대칭으로 모두 4방향으로 설치하는 것이 바람직하다. 4방향 배치의 경우 서로 대칭되는 방향에서의 변형율의 합이 서로 유사하게 되므로 말뚝의 벤딩 등에 의한 영향을 최소화시켜서 보다 정확한 측정값을 얻을 수가 있다. 설치 깊이는 각 지층별로 일정간격으로 나누어서 설치계획하며 일반적으로 풍화암과 연암층에는 1-2m 간격으로 설치한다. 설치시 편심에 의한 영향을 최소화 시킬 수 있도록 sister bar 형태를 고려하거나 또는 주철근에 직접 용접 설치하는 형식을 고려하여야 한다.

변형율 게이지는 설치직후부터 계속해서 계측을 실시하여 콘크리트 타설 또는 자중 및 구속압등에 의한 잔류하중을 산정하여 추후 분석시 적용할 수 있도록 고려하여야 한다.

## 2.3 재하장치 및 하중계획

연암층의 주면마찰력의 경우 표 1의 기존 시험결과들을 종합적으로 고려하여 판단해 볼 때, 시험되는 연암 구간에 대해서 일축압축강도를 고려하여 Rowe & Armitage(1987)의 제안식인 $\tau_{max} = 4.5 \cdot q_u^{0.5}$ 이상 가압되도록 설계하는 것이 주면마찰력의 항복점 파악에 유리하다. 그림 4의 경우 인천대교 국고구간 시험결과로써 $\tau_{max} = 3.3 \cdot q_u^{0.5}$ 으로 계획한

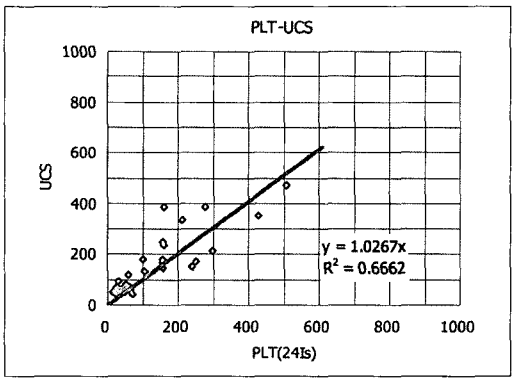



그림 3. 일축압축시험과 점하중시험 비교

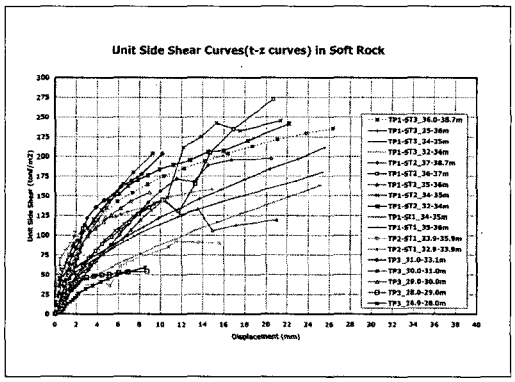



그림 4. 연암층에서의 주면마찰력 t-z 곡선

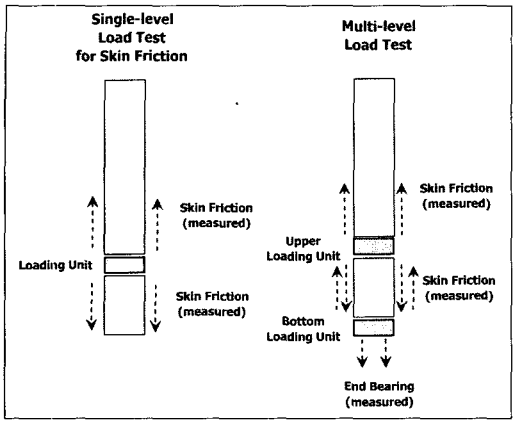



**그림 5. 주면마찰력 측정을 위한 단층 및 다층 재하장치 배치도**

후 실제로는 그 이상 하중을 가압해서 얻은 연암층의 주면마찰력 t-z 곡선이다. 일부를 제외하고는 15mm 이상의 변위에서도 항복거동을 보이지 않았다(송명준 외 2006).

정해진 단면내에서 가장 하중이 큰 유압잭이나 cell을 계획, 배치하여야 하며, 대상층의 깊이가 깊거나 주면마찰 파괴가 힘들 것으로 예상되면 다층(muilt-level)재하시험을 고려하거나 선단부에서 일정 깊이 위에 재하장치를 설치한다(그림 5).

시험말뚝의 경우 최대한 하중을 작용시켜 극한 상태를 확인하는 것이 목적이므로 유압잭은 충분한 스트로크를 가진 것을 사용하여야 한다. 특히, 토사지반이나 풍화암층의 경우 최대시험하중이 하중보다는 변위에 의해서 제한되는 경우가 많이 발생한다.

## 3. 시험말뚝의 시공

시험말뚝의 시공법은 일반적인 현장 타설말뚝의 시공법과 유사하다. 시험말뚝의 시공절차가 다음 표 2에 나타나 있다.

**표 2. 현장타설 시험말뚝의 시공 절차**

| |
|---|
| 케이싱 설치 ➡ 해머그랩 굴착 ➡ RCD 굴착 ➡ 수직도(Koden) 시험 ➡ (철근망 제작 ➡ Telltale 측정관 설치 ➡ 변형율 게이지 설치 ➡ 재하장치 연결 ➡ )* 선단부 확인 및 슬라임 제거 ➡ 철근망 근입 ➡ 콘크리트 재료시험 ➡ 트레미를 이용한 콘크리트 타설 ➡ 건전도(CSL) 시험 |

( )* : 철근망 제작부터 재하장치 연결까지의 절차는 다른 절차와 병행해서 수행 가능하다.

이 중 유의해야 할 사항을 몇가지 정리하면 다음과 같다.

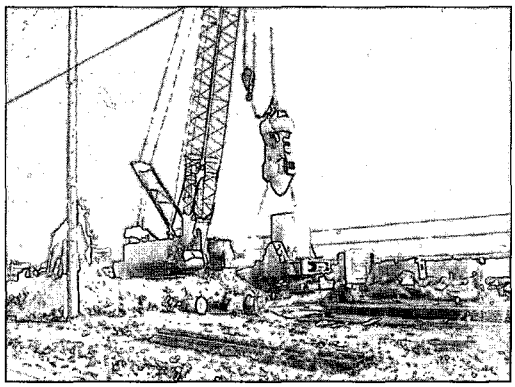
### 3.1 굴착 시공

#### (1) 풍화암내 케이싱 설치 깊이

일반적으로 임시 케이싱 또는 희생강관의 설치 깊이를 풍화암 1m 근입으로 설계를 하는 경우가 많으나 실제 시공시에는 지층 조건에 따라서 풍화암 1m에 케이싱을 설치하기가 힘든 경우가 많이 존재한다. 이 경우에는 원래 계획된 풍화암의 주면마찰력 시험길이가 확보가 안되거나 심한 경우에는 풍화암층의 시험이 불가능한 경우가 발생하기도 한다.

하지만, 시험계획길이를 맞추기 위하여 무리하게 연약한 풍화암층 위치에 케이싱을 설치한 경우에는 공벽의 붕괴가 발생하거나 공벽의 확장 등으로 시험할 주면면적이 실제보다 넓어져 잘못된 결과를 도출하게 될 가능성이 존재한다.

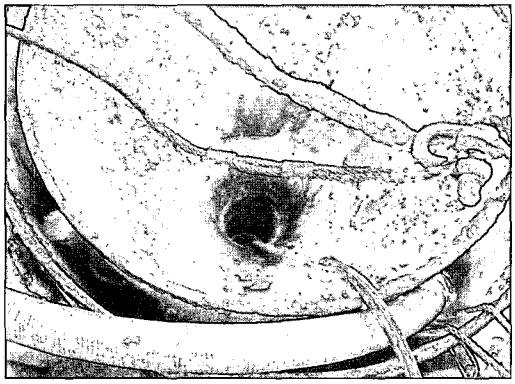
케이싱이 선 관입된 후에 해머그랩등으로 굴착을 하여야하며, 해머그랩등이 케이싱 보다 먼저 바닥면을 굴착하지 않도록 유의하여야 한다. 각 위치에서 회수된 풍화암을 눈으로 직접 확인하고 케이싱의 근입깊이를 결정하여야 한다.



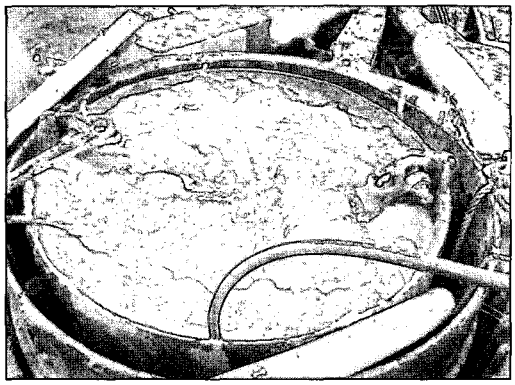
(a) 해머그랩으로 풍화암 굴착

(b)굴착된 풍화암 확인

그림 6. 풍화암 굴착 장면



(a) 에어리프팅을 위한 고압호수 설치장면



(b) 트레미관을 이용한 에어리프팅 장면

그림 7. 에어리프팅을 이용한 선단부 슬라임 제거

### (2) 선단부 슬라임 제거

선단부 슬라임 제거를 위하여 가장 좋은 방법은 RCD로 일정시간 선단부를 공회전하여 슬라임을 제거한 직후에 재하장치가 부착된 철근망을 근입하고 트레미 파이프를 이용해서 콘크리트를 타설하는 것이다. 하지만, 다층 말뚝재하시험의 경우처럼 재하장치와 철근망 설치에 많은 시간이 소요되거나 또는 레미콘 차량의 도착이 지연되었을 경우에는 트레미 파이프를 설치하고 콘크리트를 타설하기 직전에 에어리프팅을 실시하여 선단부를 다시 한번 청소하는 것이 바람직하다.

### (3) 선단부 슬라임 제거 확인

선단부 슬라임 제거를 확인하는 가장 손쉬운 방법은 줄자에 달린 추를 이용하여 굴착심도와 선단부의 반발정도를 평가하는 방법이다. 본 작업은 한사람이 전담해서 하는 것이 좋으며 가급적 경험이 많은 기술자가 직접 실시하는 것이 좋다. 굴착 후 선단부 서징이나 에어리프팅 직후에 실시하고 추가로 트레미 파이프 설치 후, 콘크리트 타설 직전에 다시 한번 실

시하여 확인하는 것이 좋다.

## 3.2 철근망 제작 및 변형율 게이지 부착

시험말뚝에 사용될 철근망 제작시에는 철근망에 부착되는 변형율 게이지가 예정된 위치에 기울어짐 없이 설치되도록 하여야 한다. 철근망 제작시에는 띠철근과 주철근이 수직을 이루지 않거나 주철근의 길이 및 끝단 위치가 서로 차이가 나는 경우가 있으나, 이럴 경우 철근망을 근입하거나 재하장치와 결합할 때 주철근이 휘어지거나 주철근끼리 위치의 차이가 생겨 결과적으로 변형율 게이지의 위치가 달라지거나 수직에서 벗어나는 경우가 발생한다. 또한 철근망이 여러단에 걸쳐 제작되는 경우, 각 철근망 연결 시 결합위치를 정확하게 체크하여 게이지를 설치하여야 하고 각 철근망의 결합위치를 미리 표시하여 철근망 근입시 예정위치에서 결합되도록 하는 것이 바람직하다.

변형율 게이지는 예정 위치에 주철근과 평행하게 적정 거리를 확보하여 설치하고, 띠철근과 간섭이 발생할 경우에는 시험말뚝의 경우 띠철근의 구조적 기능이 미미하므로 띠철근을 일부 절단처리하여 설치한다. 변형율 게이지의 배선은 콘크리트 타설이나 기타 작업시 손상되지 않도록 피복이 충분한 것을 사용하는 것이 바람직하며, 주철근 안쪽에 위치하여 철근망 근입시 공벽과의 부딪침으로 인한 손상을 방지하도록 한다.

철근망의 외경과 굴착 내경의 차이로 인하여 철근망이 국부적으로 휘는 경우가 발생할 수 있는데 이럴 경우 변형율 측정값이 의도된 하중에 의한 거동과는 다른 변형율을 나타내게 되므로 잘못된 시험결과를 도출할 수 있다. 따라서, 스페이서를 충분히 설치하여 공벽 내에서 철근망이 휘는 것을 최대한 방지하여야 한다.

## 3.3 재하장치 설치

### (1) LVWDT 설치

양방향 재하시험은 재하장치가 말뚝 내에 매설되며 따라서 변위도 매설된 재하장치의 상판 및 하판의 변위를 기준으로 측정한다. 재하장치의 상판과 하판의 절대적인 변위를 직접 측정할 수 없으므로 telltale을 사용하여 간접적으로 측정한다. telltale은 상판과 하판의 변위를 지상으로 전달하여 주는 역할

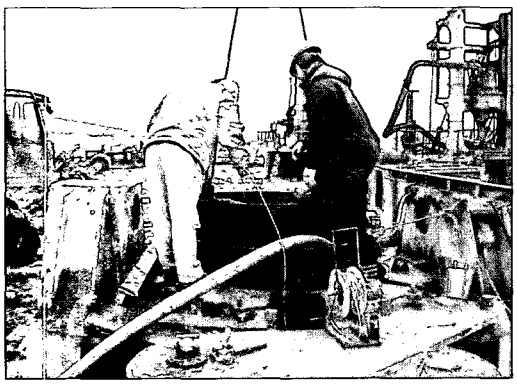


그림 8. 콘크리트 타설 전 선단부 확인 장면

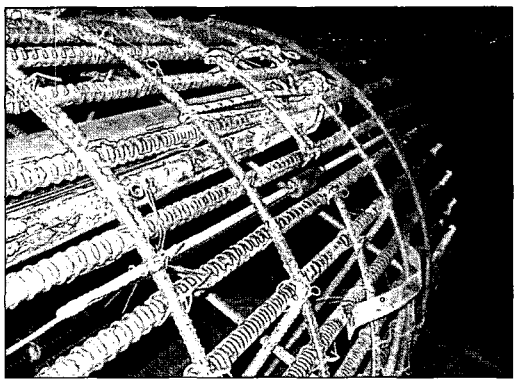


그림 9. 철근망 제작과 변형율 게이지 부착

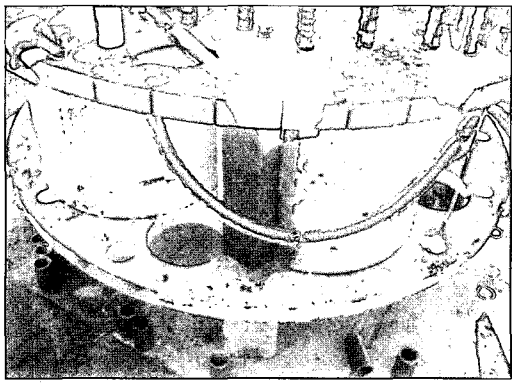


그림 10. 재하장치 변위 측정을 위한 LVWDT의 설치

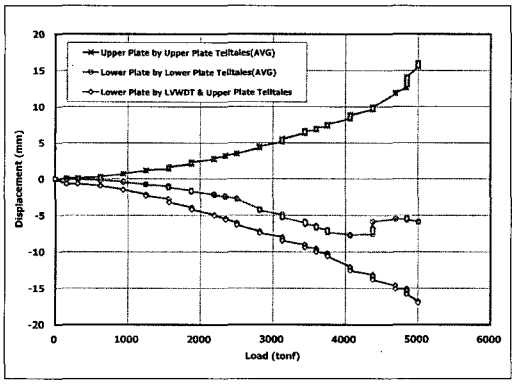



그림 11. telltale 측정변위와 LVWDT 측정변위에 차이가 있는 경우의 예

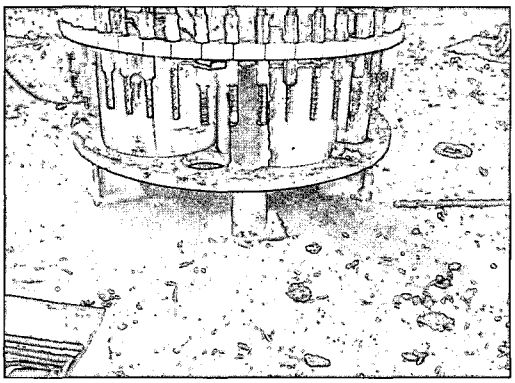


그림 12. 선단부가 풍화암인 지반에 재하장치 받침부를 넓혀 보강한 예

을 하며 변위 측정은 지상으로 전달된 telltale의 레퍼런스 빔과의 상대적인 변위에 대해 측정한다. 다른 방법으로는 재하장치의 상판변위는 telltale로 측정하고 상판과 하판사이의 변위는 LVWDT(Linear Vibrating Wire Displacement Transducer)로 직접 측정하여 하판의 변위를 계산하는 방법이 있다.

그림 11은 상, 하판 모두 telltale로 측정한 경우와 LVWDT를 사용한 경우를 비교한 경우인데, 정확한 원인은 알 수 가 없지만 하판을 측정하는 telltale 결과 값에 오류가 있는 것으로 판단된 사례이다.

다층 양방향 재하시험의 경우 한 재하장치에서 2번 이상을 가압하게 되는 시험의 특징상 각 재하장치에 LVWDT를 설치하면 각 재하장치의 절대변위를 연속해서 추적이 가능하다는 장점이 있지만 설치가 까다롭고 비용이 증가하는 단점이 있다.

### (2) 선단 받침 설치

선단 받침은 해당 지층에 따라 재하장치 및 철근망이 예정된 깊이에 설치되도록 하여야 한다. 만약 모래, 자갈층 또는 풍화암층 등에 근입되는 경우 받침의 면적이 충분하지 않을 경우 재하장치가 침하하여 하판과 굴착 선단이 직접 닿게 되는 것도 가능하다. 이 경우 선단부에 콘크리트 타설이 원활하지 않아 선단 품질 확보가 되지 않으며, 실제 선단지지력과는 차이가 있는 결과를 얻을 수 있다.

## 3.4 재하장치 및 철근망 연결

재하장치와 철근망을 연결시에는 철근망을 수직으로 유지하고 재하장치는 수평을 유지하도록 하여, 변형율 게이지 및 상부 재하장치 등이 철근망을 따라서 예정 위치에 정확하게 설치될 수 있도록 하여야 한

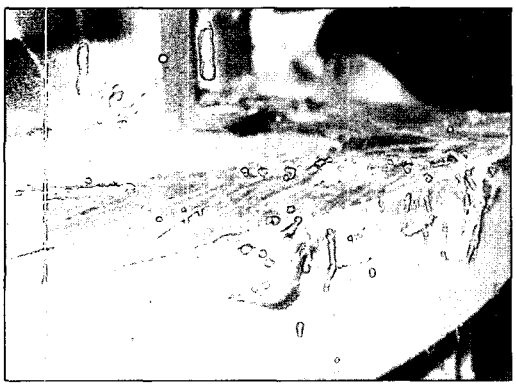
다. 이를 위해서는 철근망 조립을 정교하게 실시하여야 하며, 철근망에 결합 위치를 표시하고 일부 커플러를 예정 위치에 미리 세팅하여 놓는 것이 좋다.

하판이 가능한한 작은 하중에서 분리되도록 하판에 구리스를 충분히 도포하도록 하며, 하판에도 철근망이 연결되는 경우에는 콘크리트와 철근이 견고하게 부착되지 않도록 길이를 짧게 하고 보온재 등으로 모두 감싸는 것이 바람직하다.

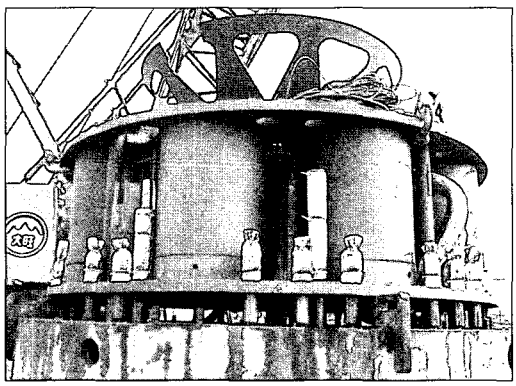
선단이 아닌 말뚝 중간부에 재하장치가 설치될 경우에는 선단재하장치의 유압라인이나 하부에 설치되는 변형율게이지의 라인들이 재하장치를 통과하게 된다. 재하시 상 하판이 벌어지므로 만약 이 라인들이 적당한 유격을 갖도록 설치되지 않은 경우 단선되는 경우가 발생하므로, 주름관 안에 라인들을 넣고 실린더 스트로크 이상의 충분한 유격이 확보되도록 설치하여야 한다.

### 3.5 telltale 관 부착

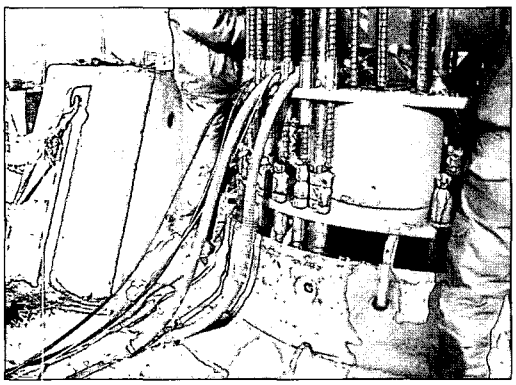
양방향 시험에서 변위 측정은 telltale에 의존하므로 telltale 관의 설치는 매우 중요하다. telltale 관은 하판이 잘 분리될 수 있도록 캡은 하판에 완전히 용



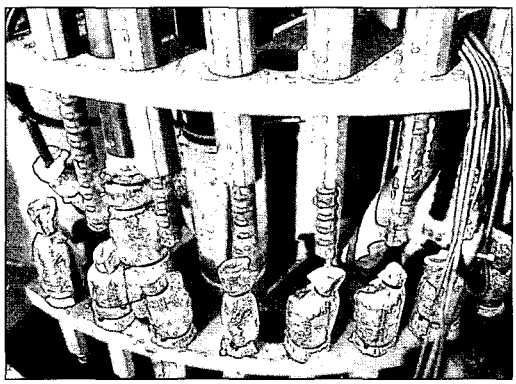
(a) 재하장치 상판 하부의 구리스 도포



(b) 상부 재하장치 설치



(c) 재하장치를 통과하는 라인들의 유격확보를 위한 주름관



(d) 하판에 결합되는 철근의 분리용 보호재

그림 13. 재하장치 및 철근망 연결

접시키고 캡과 telltale관은 나사선이 일부만 결합되도록 하며, 콘크리트가 유입되지 않도록 실리콘 및 테이프로 봉합 처리해야 한다. Telltale 측정용 캡은 재하장치 제작시 공장에서 하판에 단단하게 용접되어야 하며 현장에서 용접시에는 단단하게 고정하지 못하므로 가압시 하판과 분리되는 현상이 발생할 수 있다.

Telltale용 파이프와 캡 사이가 분리되어야 정상이나, 캡이 하판에 단단하게 고정되지 않거나 캡과 파이프가 너무 세게 고정되었을 경우에는 캡이 하판과 같이 벌어지지 않고 파이프에 붙어있는 경우가 발생하며 이런 경우 하판의 변위를 측정하는 것이 불가능하다. 이때는 불가피하게 telltale용 파이프 내부에 삽입이 가능한 EX 규격의 비트를 사용하여 캡을 천공한 후 시험을 해야하는 상황이 발생할 수 있다.

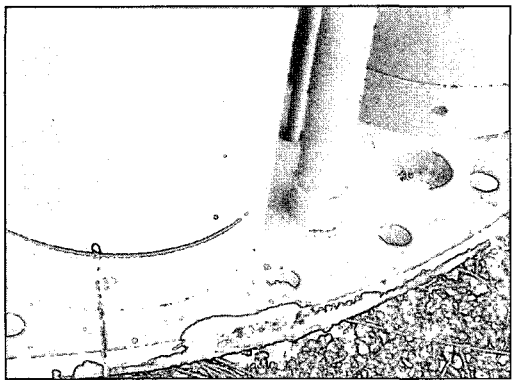
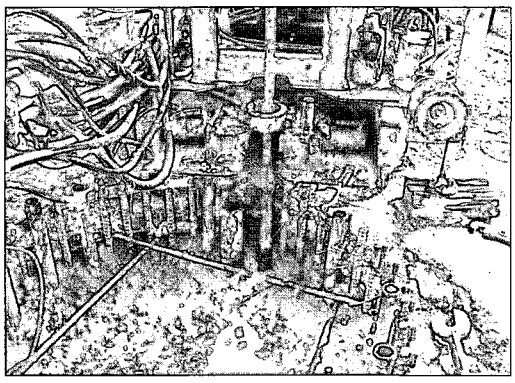


그림 14. 하판에 견고하게 부착된 telltale관의 캡

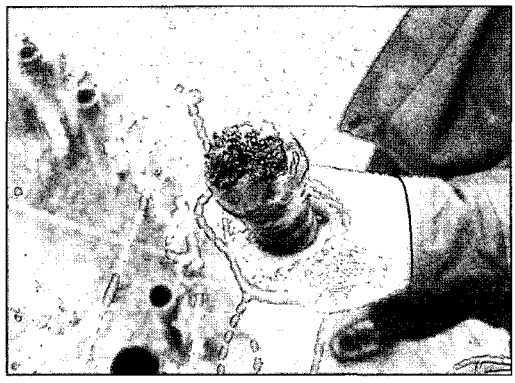
## 3.6 레퍼런스 빔 설치

레퍼런스 빔은 재하시험에서 변위 측정의 기준이 되는 매우 중요한 장치이다. 레퍼런스 빔은 겉으로 보기에는 거의 움직임이 없는 것으로 보이나, 실제로는 온도변화와 직사광선으로 인한 자체 변형 및 비, 바람 또는 주변 진동으로 인한 흔들림 등으로 인하여 상하로의 처짐변형 및 뒤틀림 변형이 발생하게 된다. 레퍼런스빔의 의도하지 않은 변형은 시험 결과에 결정적인 영향을 끼치게 된다. 레퍼런스 빔 자체의 변형 및 변위를 최소화하기 위해서는 아래와 같은 조치들이 권장된다.

a) 받침대를 지중에 충분한 깊이로 매설함
b) 빔 및 받침대를 충분한 강성이 있는 재질 및 규격을 사용함
c) 천막 등을 설치하여 직사광선 및 눈,비를 맞지

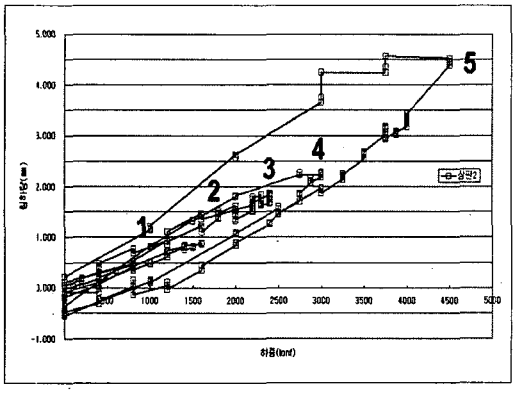


(a) Telltale 측정관 천공 작업

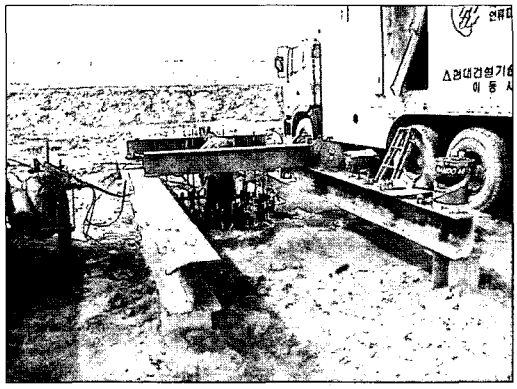


(b) 자석을 사용하여 천공 슬라임 제거

그림 15. telltale 측정관 분리가 안된 경우의 천공작업




(a) 레퍼런스 빔이 잘못 설치된 경우의 시험결과



(b) 우물 정자 프레임 형식으로 제작된 레퍼런스 빔

그림 16. 레퍼런스 빔의 설치 및 영향

않도록 하며, 바람을 최대한 차단함

d) 자체 온도변화를 최소화하기 위하여 부직포 등으로 레퍼런스 빔을 감싼다

e) 우물정(井) 형태로 하여 뒤틀림을 감소시킴

f) 1/100 mm 이상의 정밀도를 갖는 레이저 레벨 등을 사용하여 자체의 변위를 보정함

g) 재하시험은 직사광선이 없는 야간에 실시함

# 4. 시험말뚝의 품질관리

## 4.1 사전 품질관리

### (1) 유압잭 검교정

사용되는 실린더는 원칙적으로 모두 공인시험기관에서 실린더와 유압측정 장치에 대하여 검교정을 실시한 후에 현장에 투입되어야 하나 하중의 크기와 시간 및 금액등의 문제로 실제로 시행되지 못하는 경우가 자주 발생하므로 이에 대해 사전에 충분한 검토가 필요하다.

### (2) LVDT 검교정

LVDT는 시험 전 반드시 검교정이 실시된 제품을 사용하여야 하며, 현장에서는 시험 전에 버니어 캘리퍼스 등을 이용하여 개략적인 캘리브레이션 및 작동상태 점검을 실시하고 변위 방향에 따른 출력값의 부호를 확인하도록 한다. 종류가 다를 경우 같은 변위방향에 대해서도 다른 부호의 출력값을 내는 경우가 있으므로 이럴 경우 부호를 같게 세팅하여 현장에서의 즉시 판별 및 해석이 용이하도록 하여야 한다.

### (3) 변형율 게이지의 검교정

변형율 게이지는 제작사에서 각 개별 게이지에 대해서 교정성적서를 제공하는 신뢰도 높은 게이지를 사용하는 것이 바람직하다. 만약, 제작사에서 검교정 성적서가 제공되지 않을 경우, 공시체를 이용한 압축강도시험을 실시하여 센서의 게이지 팩터를 검증하고 센서의 성능을 시험한 후에 사용하여야 한다.

그림 17의 국내 B사의 진동현식 변형율 게이지의 경우 시험결과 약 200 ~ 250 kgf/cm$^2$ 의 범위까지는 선형성이 확보되는 것으로 나타났으며 실제 시험

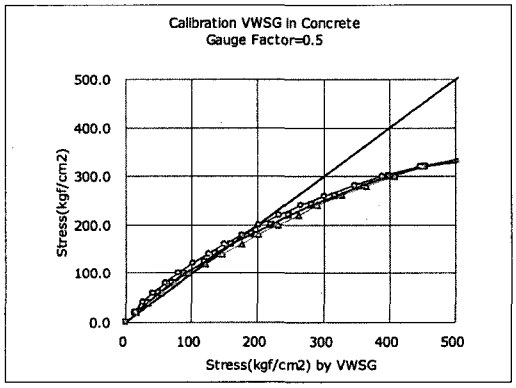
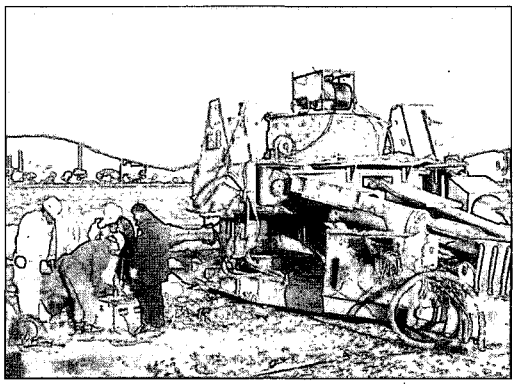
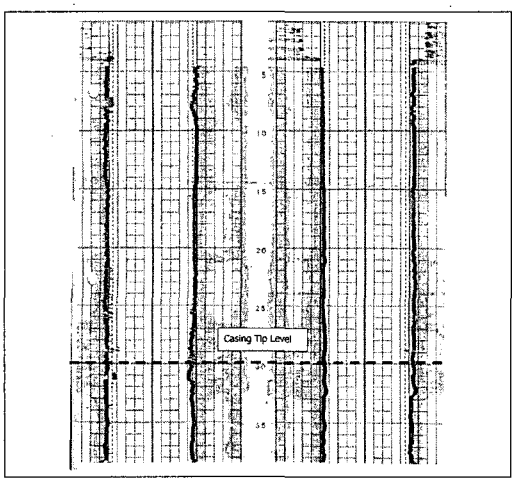



그림 17. 재하 응력과 측정된 응력과의 비교



(a)시험장면




(b) Koden결과

그림 18. Koden 시험을 실시하는 장면과 시험결과

시 작용응력은 최대 160 kgf/cm$^2$정도였으므로 본 센서의 현장 적용에는 큰 무리가 없는 것으로 판단되었다.

### 4.2 시공 중 및 시공 후 품질관리

#### (1) 콘크리트의 품질관리

시험말뚝의 콘크리트 품질 시험은 일반적으로 실시되는 시험 항목과 유사하다. 콘크리트는 타설 전 미리 배합시험을 실시하여 기준치에 부합하는지 점검하여야 하며, 타설 직전에도 테스트를 실시한다. 강도시험은 일반적으로 실시되는 3, 7, 28일 강도 외에 시험 실시일의 재령에 대한 강도시험을 추가로 실시하여야 한다.

#### (2) Koden 시험

Koden 시험은 초음파를 사용하여 공벽을 스캐닝하여 공벽의 형태, 함몰 여부 및 수직도를 검사하는 시험이다. 굴착 완료후에는 Koden 장비를 사용하여 공벽의 상태와 수직도를 점검하도록 한다.

#### (3) 공대공 초음파 시험

공대공 초음파 시험(Crosshole Sonic Logging) 시험은 말뚝 내 초음파 전파 속도를 측정하여 말뚝의 건전도를 측정하는 시험으로서, 시험 전 후에 실시하여 시공 품질 및 시험 후 말뚝의 건전도의 변화를 점검하도록 한다.

## 5. 결론

최근 사용 빈도가 점점 증가되고 있는 대구경 현

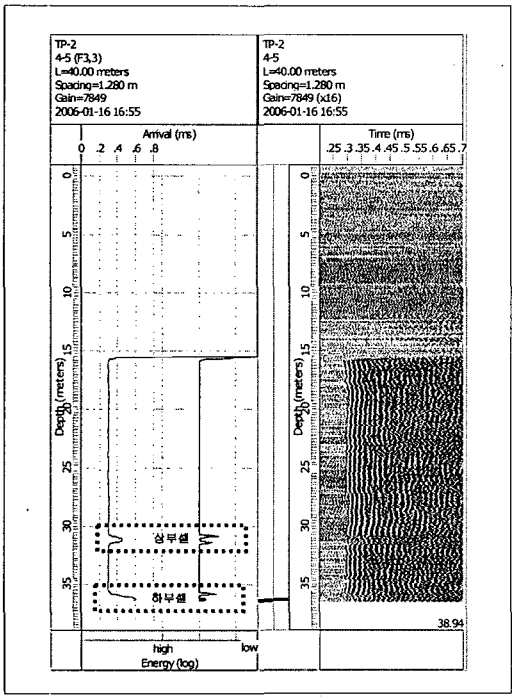



**그림 19. 공대공 초음파 시험 결과**

장타설말뚝의 시험말뚝 재하시험을 원활하게 계획하고 수행하기 위한 여러 가지 요소들에 대하여 논의하였다. 현장 타설말뚝을 이용한 시험말뚝의 계획과 시공 및 품질관리방법에 대하여 요약하여 정리하면 다음과 같다.

(1) 시험말뚝의 위치 선정을 위하여 충분한 양의 지반조사를 실시하여야 하며 지반조사시 수행하는 모든 시험은 표준방법을 따라서 실시되어야한다.

(2) 암석의 일축압축시험은 변형율 게이지가 설치된 각 구간마다 최소한 1개소 이상 실시되어야한다.

(3) 주면마찰력을 최대한 확인하기 위해서 필요하다면 다층 재하장치 혹은 재하장치를 말뚝 중간에 설치할 수 있다.

(4) 재하장치는 충분한 스트로크를 가진 재하장치를 사용하여 큰 변위에서도 하중 변위 거동을 파악할 수 있도록 계획하여야 한다.

(5) 철근망 연결시 연결지점을 표시하여 변형율 게이지가 반드시 정해진 위치에 부착되도록 하여야한다.

(6) 재하장치의 정확한 변위 측정을 위하여 telltale + LVWDT 시스템이 적합한 것으로 판단된다.

(7) 모든 계측기 선들과 유압라인들이 시험시 망실되지 않도록 철저히 보호되어야 한다.

(8) 시험에 사용되는 모든 재하장치와 계측장치들은 반드시 검교정을 받은 제품을 사용하여야 한다.

## 참고 문헌


1. 김동준, 송명준, 박영호 (2004), "해상 대구경 현장타설말뚝의 설계 및 시공사례 연구", 대한토목학회 정기학술대회, pp.1649~1654.
2. 송명준, 박영호, 김동준 (2005), "대구경 현장타설말뚝의 설계를 위한 선단재하방법에 의한 시험말뚝 재하시험", 한국지반공학회 봄 학술발표회, pp.89~98.
3. 송명준, 김동준, 박영호 (2006), "다층 양방향 말뚝재하시험의 적용사례 연구", 대한토목학회 정기학술대회.
4. 송명준, 김동준, 박영호, 조성민 (2006), "인천대교 연결도로 공동 말뚝재하시험 사례연구", 대한토목학회 정기학술대회.
5. 송명준, 김동준, 박영호(2006), " 대구경 현장타설말뚝의 지지력 산정", 현대건설 기술세미나 2006, pp.119~143.
6. Rowe, R. K. and Armitage, H. H. (1987), "A Design Method for Drilled Piers in Soft Rock", Canadian Geotechnical Journal, Vol.24, pp.126~142.

# "성능중심 신뢰성 설계 연구회" 설립 및 운영위원 공개모집

## ① 연구회 설립목적

국제적으로 토목 및 건설 분야에서 ISO-2394인 **"토목 건축분야 성능중심의 신뢰성 설계원리 접목 의무화"**와 관련한 기술정보 습득 및 국내 설계기준 적용확대를 위한 연구회입니다. 이 연구회는 ISO-2394와 관련한 교육, 홍보 및 연구필요성이 대두되고 있는 시점에 지반구조물에 대한 경제성 설계 및 자연재해 위험성 존재에 따른 설계기준 관련하여 우리학회내에 관련 연구모임이 필요하여 9월 28일 한국지반공학회에서 우리학회 회원 16명이 모임을 가지고 연구회를 조직했습니다. 그러므로 이 연구회는 신뢰성 설계관련 학술세미나 및 워크샵 개최, 그리고 관련 논문 및 보고서, 자료 수집 등을 상호 교류하고 토론하는 것이 주요 목적입니다.

## ② 연구회 활동방향

- 매월 성능중심 연구회 위원들의 자발적 기술발표를 통하여 활동위원간 자료교환 및 지식공유를 추구하며,
- 년 1회의 소규모 워크샵 및 우리학회 가을발표회를 통한 특별세션 개최,
- 년 1회 연구회 활동 위원의 국제세미나 공동참석을 통한 국제화 추구
- 장기적 국가 성능설계기준 정립에 필요한 지반구조물 설계 표준화 연구

## ③ 연구회 조직 : 회장 1인, 간사 3인, 운영위원 20여명 - 산학연 구성원칙

- 회장 : **윤길림** (한국해양연구원, glyoon@kordi.re.kr)
- 간사 : **양태선** (김포대, 총무담당, sj98@kimpo.ac.kr)
  **이준환** (연세대, 학술담당, junlee@yonsei.ac.kr)
  **이봉열** (시지이엔씨, 기획담당, tojo@unitel.co.kr)

본 연구회에서 운영위원으로 참여를 원하거나 관심있는 회원은 연구회장이나 간사들에게 메일이나 전화을 통하여 참여 의사를 밝혀주시기 바랍니다. 그리고 11월 22일(수) 16:30 한국지반공학회 회의실에서 연구회 3차 모임이 있으니 참석하여 주시기 바랍니다.