

# 國內 最長深度 大口徑 현장타설말뚝 시공사례

윤정섭<sup>\*1</sup>, 정대규<sup>\*2</sup>, 박석근<sup>\*3</sup>, 박정우<sup>\*4</sup>

## 1. 들어가는 말

본 공사는 '부산신항 진입철도 건설공사' 로 부산 신항 배후철도와 남·북 컨테이너 입항철도를 연계, 부산 신항만을 동북아 물류 중심지로 조성함으로써 국가경쟁력 향상을 도모하는데 그 목적이 있다(그림 1, 2).

본 공사구간은 대부분 교량공으로 인접지역에 석유화학 관련업체가 있다. 따라서 진동에 민감한 가압장치의 폭발 가능성이 제기되어 항타공법의 적용이 곤란하므로 총 83개의 Pier중 절반이 넘는 48개소의 기초형식이 저소음·저진동 공법인 현장타설 말뚝공(197공)으로 적용되었다. 또한, 현장 특성상 지반고 이하 90m 이상에서 기반암이 발견되어 10개소 40공의 말뚝을 기반암(연암)이 아닌 풍화암에 지지하도록 설계하였다. 따라서 본 현장에서는 지반고 이하 85.7m에 이르는 국내 최장심도 대구경(Φ

2000mm) 현장타설말뚝을 시공하였는 바 그 사례를 소개하고자 한다.

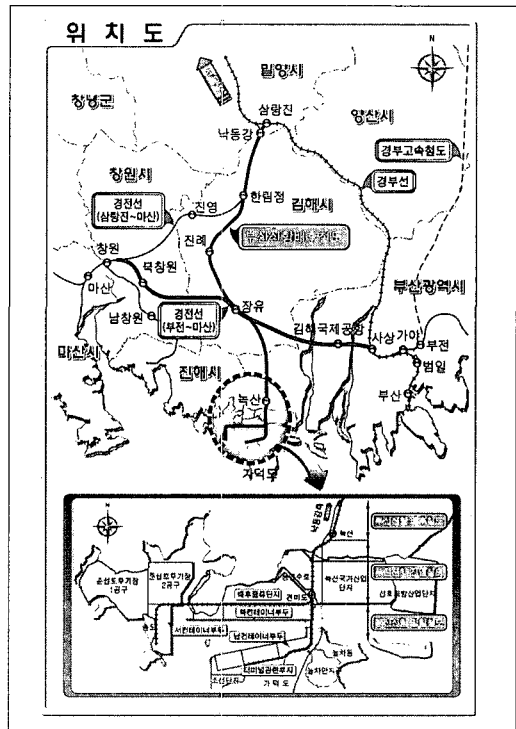


그림 1. 위치도

\*1 부산신항 진입철도 현장소장(yjs0120@samsung.com)

\*2 부산신항 진입철도 공사팀장

\*3 부산신항 진입철도 공사과장

\*4 부산신항 진입철도 사원

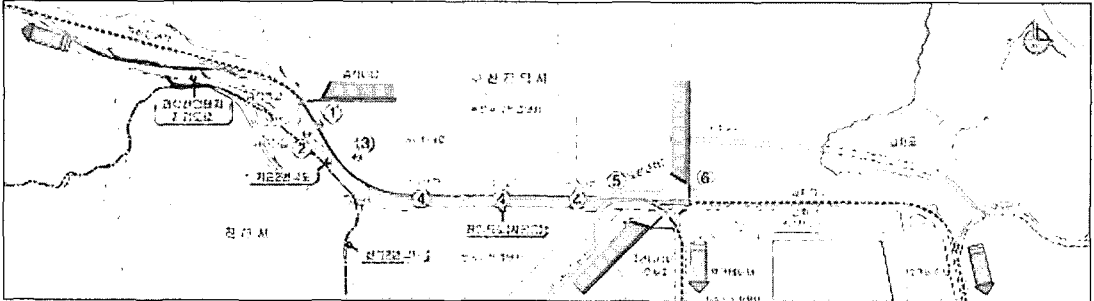


그림 2. 부산신항 진입철도 노선도

## 2. 현장여건분석을 통한 기초형식선정

상세 지반조사를 통한 지반상태 평가 및 지지층 심도, 주변여건 등을 고려하여 기초형식을 선정하였다. 그림 3에서 보듯이 P25~P35구간(P29제외)은 기반암(연암)의 심도가 GL-90m 이상으로 기초를 기반암에 지지할 경우 시공성, 경제성 및 품질관리 측면에서 불리하므로 풍화암에 지지하도록 기초를 설계하였다. 이 구간은 인접지역에 석유화학 관련업체들이 입주하고 있어 항타 진동에 의한 구조물 손상이나 생산차질을 초래할 가능성이 있고 녹산공단 조성시의 매립토 하중에 의한 점토층의 잔류 침하가 진행중으로 부마찰력이 발생하고 있다. 더욱이 인접 '부산신항 진입도로' 공사시 항타에 의한 관련 공장

들의 피해 사례가 보고된 바 있다. 따라서 본 현장에서는 기초공법으로 강관타입말뚝공법이 아닌 저소음·저진동 공법인 현장타설말뚝공법을 채택하였다. 경제성분석에서도 Pier당 4개씩 시공하는 현장타설말뚝(φ2000mm)이 Pier당 25개를 시공하는 강관타입말뚝(φ812.8mm×14t)보다 우수한 것으로 분석되었다.

## 3. 현장타설말뚝의 안정성 검토

### 3.1 현장타설말뚝 적용현황

N(3)의 초연약 점토층에는 콘크리트 타설시 단면

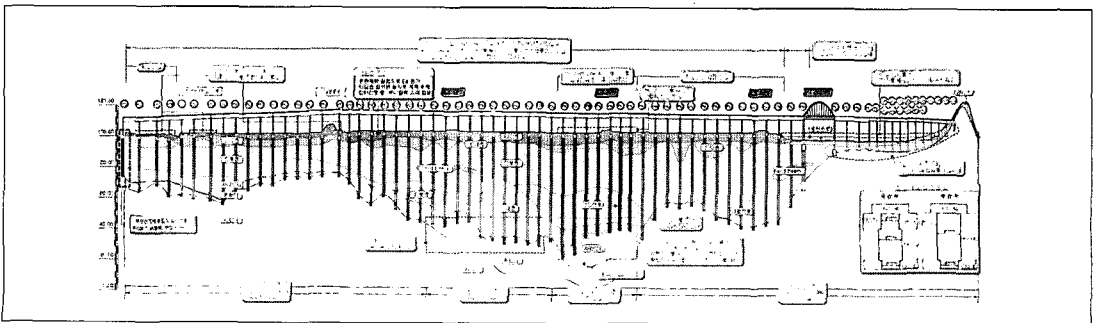


그림 3. 지반현황 및 검토항목

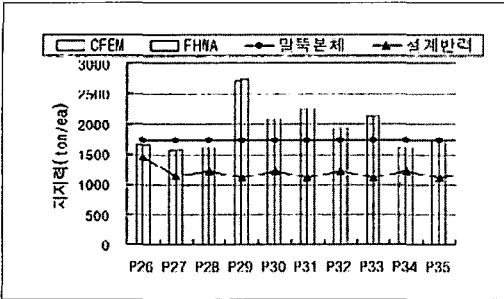


그림 4. 연직지지력 분석결과

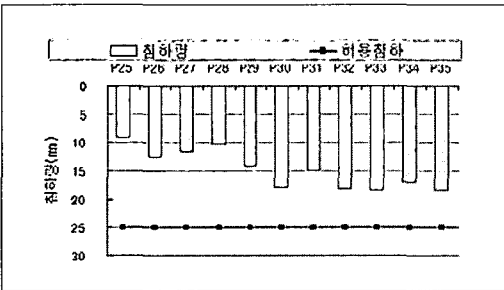


그림 5. 연직침하량 분석결과

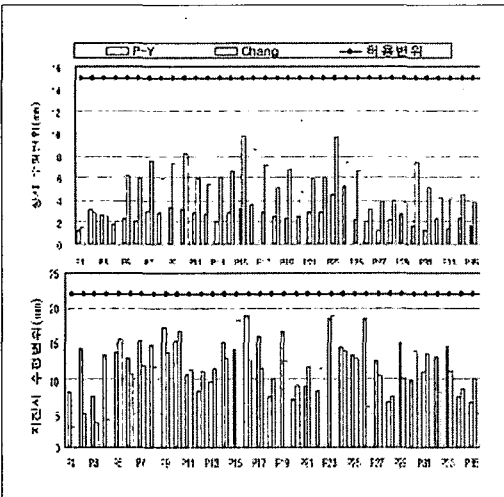


그림 6. 수평변위량 분석결과

변화(bulging)에 대비해  $\phi 1800$ 의 희생 주름관을 사용하고 말뚝 선단은 연암 1m, 또는 풍화암 50/5 이하로 근입시키는 것으로 설계하였다. 말뚝의 재료강

도는 주름관 설치에 따른 축소된 말뚝직경에 대하여 검토하였다.

### 3.2 연직방향 안정성 검토

철도설계기준(철도청)과 구조물기초 설계기준(한국지반공학회)을 통해 연직지지력과 침하량 측면에서 검토한 결과, 허용지지력이 설계하중(1070~1500t/ea)보다 크므로 안정하고, 연직침하량은 최대 23.5mm로 허용침하량 25mm 이내로 허용기준을 만족한다(그림 4, 5).

### 3.3 수평방향 안정성 검토

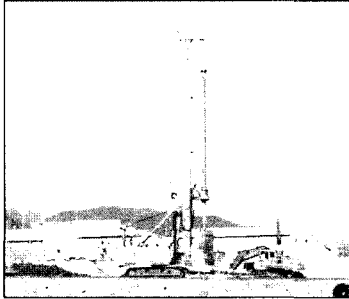
수평방향 안정성 검토는 탄성지반반력법(Chang 방법)과 p-y곡선에 의한 비선형 해석 방법을 이용한 결과, 상시와 지진시의 발생변위량이 각각 0.3~12.1 mm, 1.5~19.0mm로 각각의 허용변위량 15mm와 22.5mm 이하로 안정하다(그림 6).

## 4. 상세시공방법

### 4.1 주요장비 및 자재

#### ① BG50

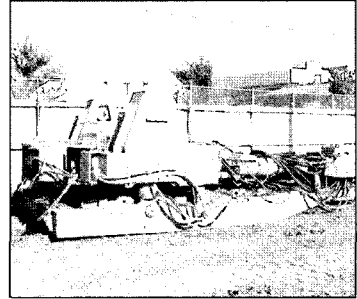
독일 Bauer사에서 제작한 굴착용 장비로 압입 및 굴착력이 우수해 장심도 굴착 뿐만 아니라 수직도 조절장치가 자체 탑재되어 있어 수직도 관리에 유리하다. 또한, 지반상태에 따라 버킷(bucket)을 상시 교체할 수 있어서 굴착 효율이 뛰어나다. BG50은 당 현장에서 장심도 풍화암층 굴착에 유용하게 사용되



(a) BG50



(b) 해머 그래브



(c) 오실레이터

그림 7. 주요 굴착장비

었다(그림 7(a)).

### ② 해머 그래브 (hammer grab)

크레인에 장착한 후 자유 낙하하여 굴착하는 장비로 매립층 및 점토층 굴착에 유리하다(그림 7(b)).

### ③ 오실레이터 (oscillator)

케이싱(casing) 압입 및 인발장비로 케이싱 직경 크기에 따라  $\phi 2000$ 용 및  $\phi 2500$ 용이 있다. 장심도 (GL-50m 이상) 케이싱 압입일 경우  $\phi 2500$ 용이 시공성 측면에서 유리하므로 이를 이용하였다(그림 7(c)).

### ④ 희생 주름관

현장타설말뚝의 품질확보 방안으로 말뚝의 균일 단면 확보, 공벽 붕괴 및 bulging 현상 방지, 콘크리트 말뚝의 염해 피해 저감 등의 효과를 위해 본 현장에 적용하였다.

## 4.2 사전준비 및 초기굴착

### ① 사전준비작업

케이싱 압입시 케이싱 수직도 관리를 위하여 입도

가 큰 암석 등을 사전에 제거하는 치환작업과 증장비의 전도 방지를 위해 지반다짐작업을 실시하고 필요에 따라 충분한 양의 철판을 설치하여 원활한 굴착작업이 이루어지도록 한다.

### ② 장비 세팅(setting) 및 케이싱 설치

사전 측량된 말뚝 중심위치를 토대로 오실레이터를 정밀 세팅하고 케이싱 위치 및 수직도 확인 후 케이싱을 설치한다. 수직도는 1/100 수준으로 유지한다.

### ③ 초기굴착 및 수직도 관리

오실레이터를 이용하여 케이싱 압입과 동시에 굴착작업을 실시한다. 초기굴착(GL-20m)시 5m 굴착

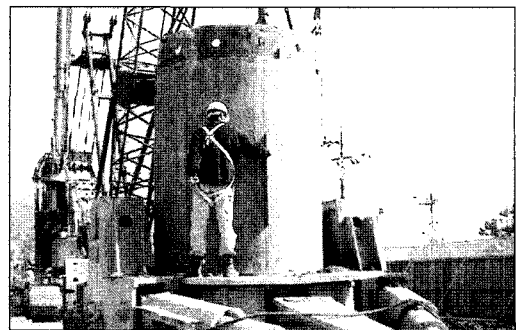
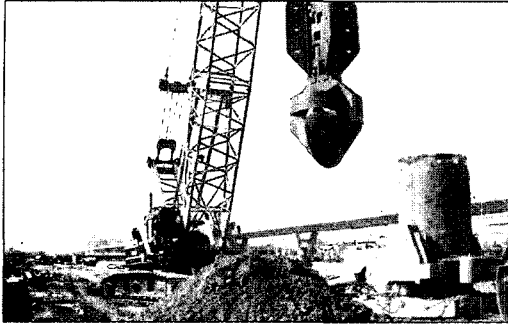
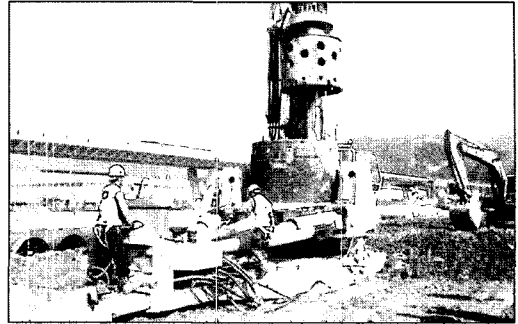


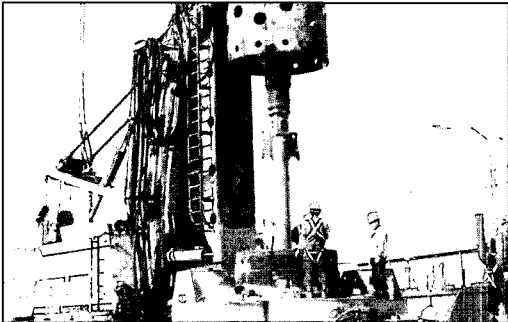
그림 8. 수직도 확인



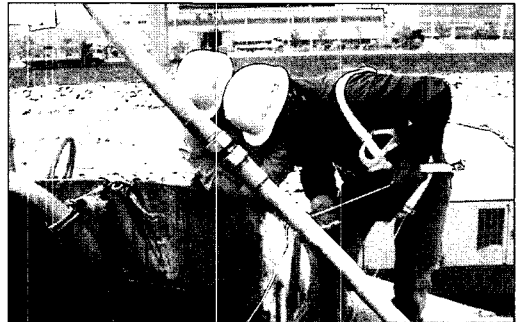
(a) 해머 그래브 굴착



(b) BG50 버킷 굴착



(c) 켈리바 익스텐션 굴착



(d) 굴착심도 측정

그림 9. 본 굴착

할 때마다 수직도 점검을 실시한다(그림 8).

### 4.3 본 굴착

#### ① 지반상태에 따른 굴착

매립층 및 모래층(GL-50m)까지는 굴착 효율이 뛰어난 해머 그래브(hammer grab)로 굴착하고 N치가 높은 점토층은 오거(auger), 풍화암층은 BG50 장비의 버킷(bucket)을 이용하여 굴착효율을 증대시킨다(그림 9 (a), 9 (b), 9 (c)).

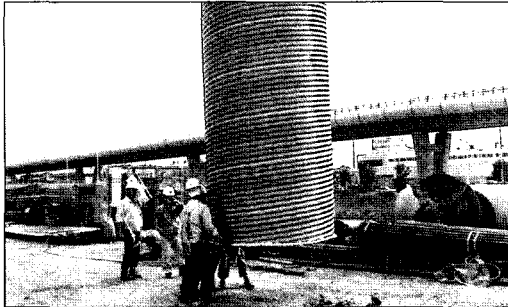
#### ② 켈리바 익스텐션 굴착(Kelly-bar extension)

BG50에 장착된 기본 켈리바의 길이가 65m이기

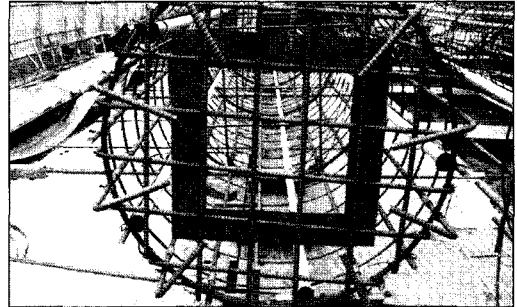
때문에 굴착심도가 GL-65m 이상인 경우는 보조 켈리바를 사용하여 굴착한다. 버킷을 장착한 보조 켈리바를 크레인으로 양중한 후 H-beam(100×100)을 사용, 케이싱 상단에 거치시킨 후 BG50 기본 켈리바와 익스텐션키(extension key)로 연결한다(그림 9(c)).

#### ③ 굴착시 유의사항

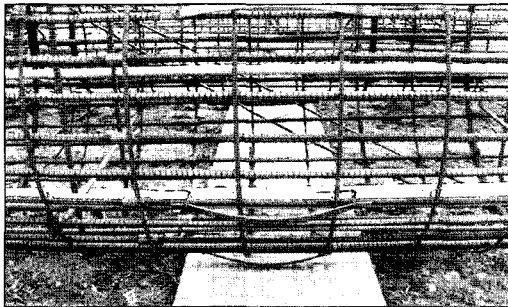
기본적으로 공벽의 붕괴가 발생하지 않도록 선행 굴착을 방지해야 한다. 풍화암 굴착시 발생할 수 있는 공벽의 붕괴와 사질토층에서의 보일링(boiling) 현상을 방지하기 위해서 케이싱 공내수의 수위를 지하수위보다 항상 높게 유지해야 한다.



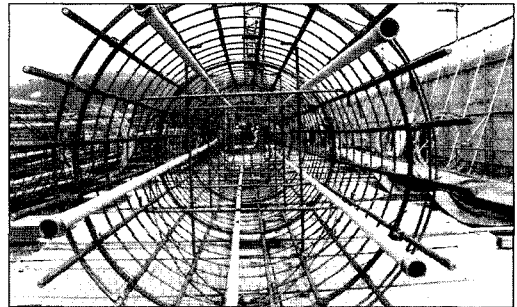
(a) 희생 주름관



(b) 오름방지판 설치



(c) 스페이서 설치



(d) 소년파이프 설치

그림 10. 희생 주름관 및 철근망 제작

④ 선단 확인

말뚝의 지지층이 되는 말뚝 선단부는 지반조사자료 분석, 굴착되는 암석의 양상 육안 확인 또는 다림추 확인 등을 통해 최종 확인한 후 굴착 종료여부를 결정한다.

4.4 희생 주름관 및 철근망 제작

① 희생 주름관 제작

희생 주름관(φ1800mm)을 연약지반층에 설치할 수 있도록 주름관의 길이를 산정하여 제작한다. 주름관 하단에는 콘크리트 타설시 주름관과 케이싱 내에 콘크리트의 유입에 의한 부상을 막기 위하여 백업재를 결속선으로 고정시킨다(그림 10(a)).

② 철근망 제작용 지그(jig)

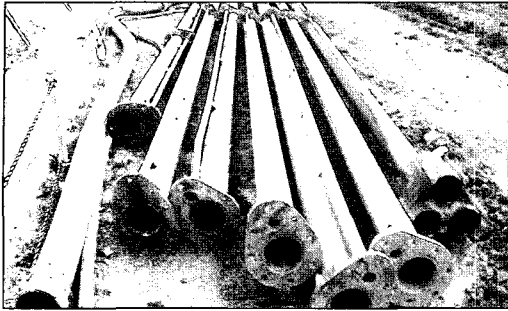
지그의 이용은 주철근 배근 간격을 일정하게 하고 커플러 이음시 정밀도를 유지시킴으로서 철근망의 품질을 높이고 제작 및 건입의 효율성을 증대시킨다.

③ 뒤틀림 방지 철근

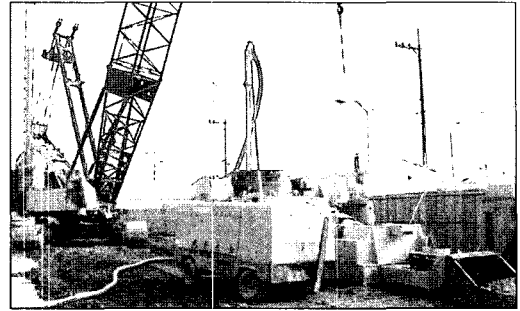
철근망 양중시 철근망의 휨 및 뒤틀림을 방지하기 위하여 D13 철근을 나선형 모양으로 감는다.

④ 오름방지판 및 스페이서(spacer) 설치

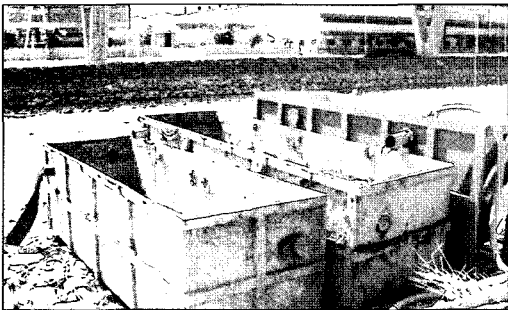
콘크리트 부력에 의해 철근망이 부상하는 현상을 방지하기 위해 오름방지판을 철근망 하부에 용접·설치하고, 철근망을 말뚝 중심에 일정하게 위치시킬 수 있도록 철근망 주철근을 따라서 2m 간격으로 스



(a) 서징 파이프



(b) 서징 작업



(c) 3단 침전조 시설



(d) 서징 유출수 탁도 확인

그림 11. 슬라임 처리

페이서를 설치한다(그림 10 (b),10(c)).

### ⑤ 소닉 파이프(sonic pipe) 설치

건전도 시험(CSL:Cross-hole Sonic Logging)을 위한 소닉 파이프를 콘크리트 타설 전 철근망 안쪽에 결속선으로 설치한다(그림 10(d)).

## 4.5 슬라임(slime) 처리

### ① 서징(surging) 파이프 연결 및 근입

굴착 공내의 슬라임을 제거하기 위하여 서징 파이프를 굴착 선단까지 이르도록 볼트 연결하여 공내에 근입한다(그림 11(a)).

### ② 서징 작업

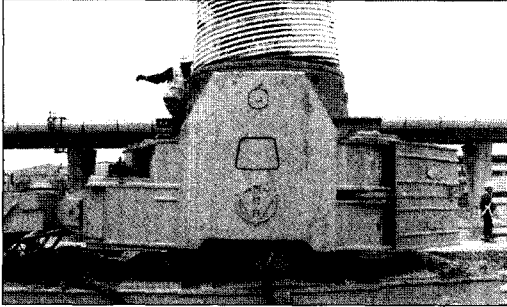
서징 파이프를 통해 콤프레셔(compressor)의 압축 공기를 일정한 압력으로 굴착 선단까지 공급하여 선단부에 쌓여 있는 슬라임을 배출한다. 공내 수위를 유지하기 위해 깨끗한 하천수를 공급한다(그림 11(b)).

### ③ 서징 유출수 처리

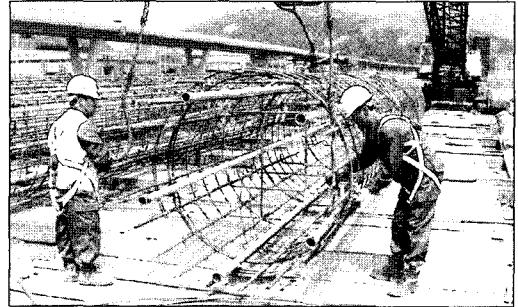
서징 작업을 통해 외부로 방출되는 유출수는 주변 환경오염을 방지하기 위하여 3단계의 고저차를 둔 침전조를 이용한다(그림 11(c)).

### ④ 유출수 탁도 확인

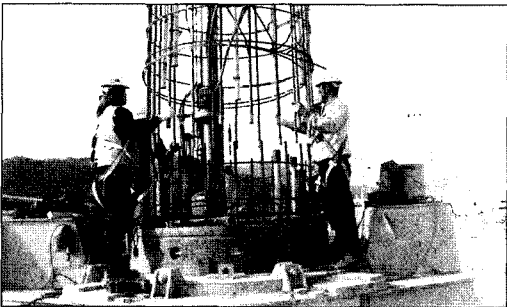
3~4시간의 서징 작업 후 유출수를 채취하여 단위



(a) 희생 주름관 건입



(b) 철근망 인양



(c) 철근망 연결



(d) 희생 주름관 · 철근망 건입

그림 12. 희생 주름관 및 철근망 건입

시간당 침전량을 확인한다. 통상 침전량이 1% 이내 인 경우 합격으로 하며 당 현장에서는 0.5% 수준을 유지하였다(그림 11(d)).

#### ⑤ 공내 슬라임 확인

공내에 다림추를 내려 최종심도 및 슬라임을 확인 한다.

### 4.6 희생 주름관 및 철근망 건입

#### ① 희생 주름관 건입

희생 주름관의 변형을 최소화하면서 케이싱 중앙 에 주름관을 건입한 후 체인블럭(chain-block)으로 케이싱 상부에 고정시킨다(그림 12(a)).

#### ② 철근망 인양, 운반 및 거치

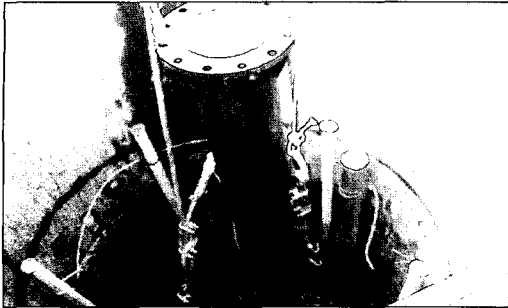
철근망 제작장에서 철근망 인양시 철근망이 휘지 않도록 철근망 거치대를 활용하고 안전하게 운반한 후 케이싱 상부에 거치한다(그림 12(b)).

#### ③ 철근망 연결

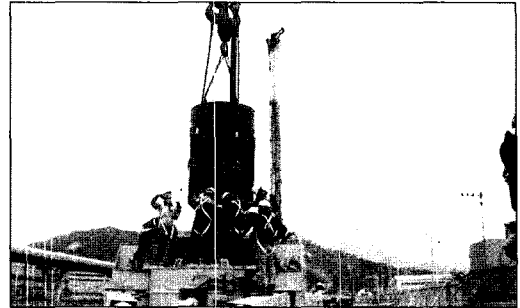
커플러(coupler)를 이용, 철근망의 비틀림을 최소화하여 철근망을 연결하고, 철근망 상·하부 연결부 에 링(ring)철근을 조립한다. 소닉 파이프는 건전도 시험의 정확성을 위해 수직도를 준수하고 콘크리트 타설시 이물질이 혼입되지 않도록 용접작업을 통해 연결한다(그림 12(c)).

#### ④ 희생 주름관과 철근망 용접

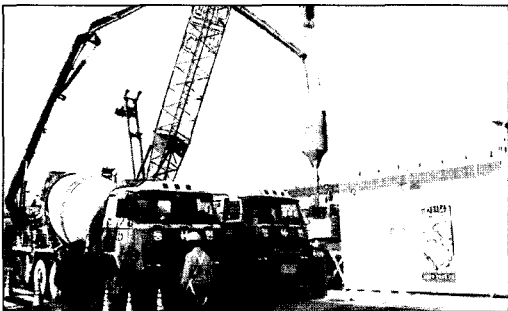




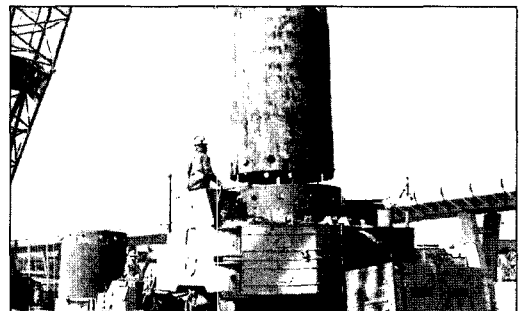
(a) 트래미관 설치



(b) 호퍼 설치



(c) 콘크리트 타설



(d) 케이싱 인발

그림 13. 콘크리트 타설

희생 주름관과 철근망의 일괄 건입과 희생 주름관의 부상 방지를 위하여 희생 주름관의 상·하부를 철근망에 연결·용접하여 일체시킨다(그림12(d)).

### ⑤ 철근망 건입

희생 주름관과 일체화된 철근망을 케이싱 안에 건입시킨 후 체인블럭을 이용하여 케이싱 중심에 정확히 위치시킨다.

## 4.7 콘크리트 타설

### ① 트래미관(tremie pipe) 설치

콘크리트 타설을 위해 트래미관을 굴착 선단에 이르도록 볼트 연결한다. 최상부에는 호퍼(hopper)를

설치하여 타설시 콘크리트 중력에 의해 공저의 슬라임을 배제하도록 한다(그림 13(a)).

### ② 수중 불분리 콘크리트 타설

Flow값이 50cm에 이르는 수중 불분리 콘크리트(6m<sup>3</sup>)를 호퍼(그림 13(b))에 담은 뒤 호퍼 마개를 열어 한꺼번에 쏟아내린다. 이는 최하단부 슬라임을 수중에 띄워 선단부 콘크리트 품질을 양호케 하는 효과를 지닌다. 또한, 수중 불분리 콘크리트는 수중 타설시 콘크리트와 물이 접촉함으로써 발생하는 골재 분리현상을 방지할 수 있다.

### ③ 수중 콘크리트 타설

수중 콘크리트 타설시에는 트래미관 하단을 콘크

리트 속에 2m이상 묻혀 있도록 하여 수중 콘크리트 가물과 직접 접촉하지 않도록 한다(그림 13(c)).

#### ④ 케이싱 인발

콘크리트를 타설하면서 오실레이터를 이용, 케이싱을 인발한다. 이 때 케이싱의 유동을 줄여서 말뚝의 수직도를 유지하고 콘크리트의 손실을 최소화한다. 케이싱의 하단을 콘크리트 속에 1m이상 묻혀 있도록 하여 콘크리트 측압으로 인한 공벽 손상을 방지하여 콘크리트 손실을 최소화한다(그림 13(d)).

## 5. 현장타설말뚝 품질관리

### 5.1 건전도

현장타설말뚝은 지중 구조물이기 때문에 타설된 구조물의 품질을 육안으로 확인할 수 없다. 따라서 소닉 파이프를 이용한 CSL 시험을 통하여 말뚝의 건전도를 확인할 수 있다. 여기서 CSL 시험이란, 소닉 파이프를 통해 근입된 송·수신 probe 사이의 음파 전달속도 및 초음파 에너지 데이터를 취득하고 분석하여 말뚝의 건전도를 확인하는 시험이다(그림 14).



그림 14. CSL 시험전경 및 결과분석

### 5.2 수직도

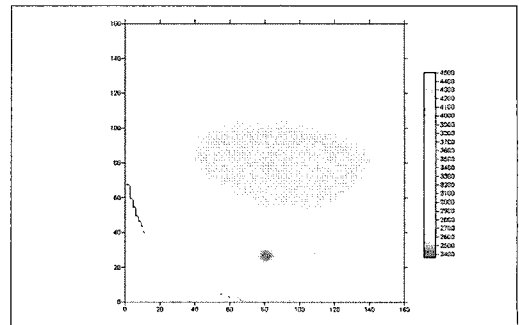
현장타설말뚝의 수직도는 초기 굴착시부터 유지하는 것이 중요하다. 초기굴착 20m까지는 케이싱 상단의 레벨을 확인하고 경사계를 사용하여 시방기준인 말뚝길이의 1/50을 준수한다. 당 현장에서는 현장기준인 1/60을 적용하고 있다.

### 5.3 코어링(coring)

현장타설말뚝 선단부의 슬라임 확인, 타설된 콘크리트의 품질을 확인, 암반지지층의 확인을 위하여 말뚝의 중심부에서 코어링 조사를 시행하였다. 확인결과, 선단부의 슬라임 제거상태 뿐만 아니라 말뚝의 건전도도 매우 양호한 것으로 나타났다(그림 15). 코어링 후 구멍은 마이크로 시멘트로 주입·충전하였다.

### 5.4 동재하 시험

현장타설말뚝의 설계지지력 만족여부 및 건전도를 확인하기 위해 동재하시험을 실시하였다(그림16). 39.1ton 램(ram)을 자유 낙하시켜 시험을 실시하고 CAPWAP(Case Pile Wave Analysis Program)으



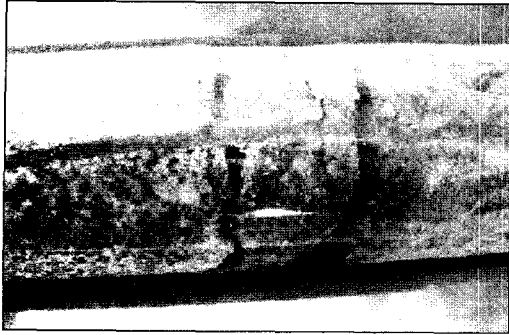


그림 15. 코어링 선단부 조사

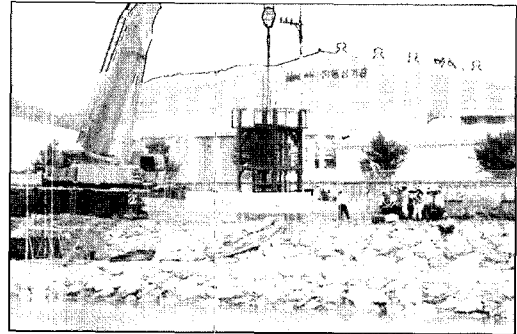


그림 16. 현장타설말뚝 동재하시험

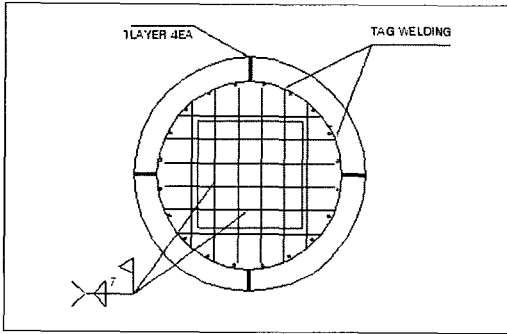


그림 17. 오름방지판 상세도

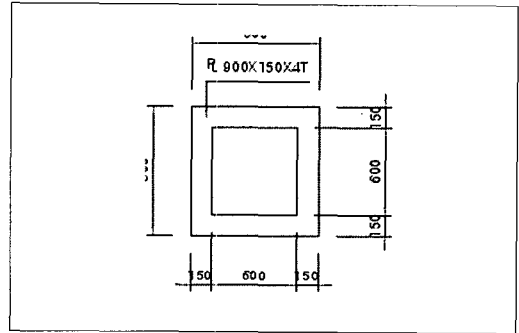


표 1. 동재하시험을 통한 지지력 분석결과 (단위 : ton)

구분	극한 전단지지력	경주연 마찰력	부주연 마찰력	안전율	허용 지지력	사용 반력
Pier 33-4	676.8	2251.4	868.4	2.0	1282.4	1108.8
Pier 34-2	650.2	2878.6	684.2	2.0	1579.8	1224.8

로 분석한 결과, 각 말뚝의 부마찰력을 고려한 허용 지지력은 설계하중을 만족하고 있는 것으로 나타났다(표 1).

## 6. 개선사례 및 효과

### 6.1 오름방지판

콘크리트 타설중 균지 않은 콘크리트의 부력에 의해 철근망이 부상할 가능성이 제기되어 그림 17과 같이 오름방지판을 철근망 하단부에 설치하였다.

### 6.2 소닉 파이프 연장 시공

철근망 제작시 소닉 파이프의 길이를 연장 시공하여 CSL 시험을 위한 터파기 작업과 그라우팅(grouting) 작업을 용이하게 할 수 있었다. 또한, 후속공정인 교량하부구조물 공사를 원활히 하는 효과도 있었다.

國內 最長深度 大口徑 현장타설말뚝 시공사례

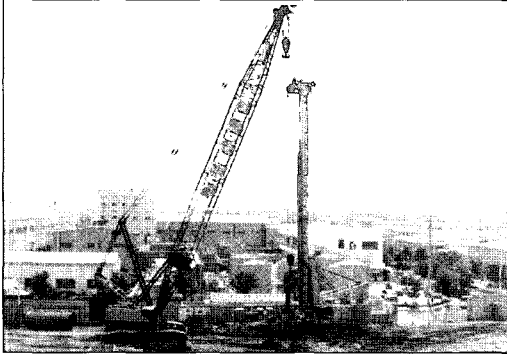


그림 18. 현장타설말뚝 시공전경

도 있었지만, 본사의 체계적인 기술지원과 현장 시공자의 노력이 어우러진 이번 최장심도 대구경 현장 타설말뚝 시공과정과 그 결과물은 앞으로 현장타설 말뚝공사를 수행하는데 있어서 하나의 지표가 될 수 있을 것으로 생각한다.

참고문헌

7. 맺음말

당 현장에서 시공한 85.7m 길이의 현장타설말뚝은 비공식 기록이기는 하나 국내 최장심도이다. 이는 해외에서도 그 전례를 찾아보기가 쉽지 않다.

시공현장의 지반이 두꺼운 연약지반으로 이루어져 있고 말뚝의 지지층이 연암이 아닌 풍화암이라는 점, 그리고 난해한 현장주변의 여건을 극복하고 뛰어난 기술력 및 시공능력을 바탕으로 안전하고 고품질의 기록적인 현장타설말뚝을 시공했다는 점은 본 현장의 자량이자 귀중한 경험이라 생각한다.

무엇이든지 처음이 어렵듯이 크고 작은 시행착오

1. 미승씨앤에스검사(주)(2005), 부산신항진입철도 건설공사 현장 견전도시험 보고서, 2005.11.
2. (주)백경지앤씨(2005), 부산신항진입철도 건설공사현장 현장타설말뚝 동재하시험 보고서(녹산교 Pier 33,34), 2005.8., p.27
3. 부산지방해양수산청 부산항 건설사무소(2004), 부산신항 진입철도 건설공사 공사시방서(1) (토목), 2004.11., p.4~19
4. 부산지방해양수산청 부산항 건설사무소(2004), 부산신항 진입철도 건설공사 지반조사보고서, 2004.11., p.241~245
5. 부산지방해양수산청 부산항 건설사무소(2004), 부산신항 진입철도 건설공사 실시설계보고서, 2004.11., p.119~151
6. 철도청(1999), 철도설계기준
7. 한국지반공학회(2003), 구조물 기초 설계기준

광고 게재 모집 안내

월간 “地盤”에 게재할 광고를 다음과 같이 연중 수시로 모집하오니 지면을 통하여 회사를 홍보하고자 하는 업체 및 회원은 신청하여 주시기 바랍니다.

- 다 음 -

(단위: 만원 / 회)

칼	라	표지 2, 4	표지 3	내 지
		60	50	45
흑	백	40	30	25

※ 1년 단위 계약 10% DC, 특별회원사 15% DC (1년 단위 계약 10% DC 추가)