

총목차 (1호 25호)

창간호 (1991.1)

■창간사 : 「건설기술」 지 발간에 즈음하여

■기술자료

- 유동화 콘크리트
- 한중콘크리트 타설시 최소응결시간 및 강도 조건

■신기술·공법

- 고층빌딩 시공 System
- 대공간구조물 "Push-Up"
- 고소벽면작업용 보행 Robot
- 경사면 포장 System
- 실내환경 자동조절 System
- 시공계획서 작성 System
- 박형지수벽 굴삭기

■신재료

- 이형철근에 Epoxy 도장
- 저흡수성 Concrete

■설계개선 : 건축보안 System의 개선안

■원가관리 : Rpice Escalation 적용방법

■하자사례 : Apt·Roof Parapet의 방수하자사례

■건설안전 : 건설공사 안전작업요령

제2호 (1991.3)

■기술자료

- 건설기계 운영관리 정책의 합리화 방안
- 말뚝 선단부의 Grouting
- 방파제 구조에 대하여
- 세분화공조 System에 대한 고찰

■신기술·공법

- 다짐작업이 필요없는 Con'C
- Con'C 귀형방지 공법
- 지하수 유속 1mm이하도 측정
- 경사지 시공 앵커공법
- 터널 굴삭진흙 양질토로 바뀌
- 실드기 방향제어 System
- 도시형 지하 주차장 System
- Gas 유출 없이 관의 절단, 교체
- Con'c Pile 두부 정리용 장비
- 콘크리트 아치교의 신공법
- 배관진단 로봇 개발

■공법개선 : 벽체배관의 무나사 공법

■시공사례 : 효과적인 해안 매립방안(감천항 매립 및 안벽 축조공사)

■하자분석 : 하자보수방지 대책

■건설안전 : 건설공사 안전작업 요령

제3호 (1991. 5)

■기술자료

- 콘크리트의 크랙발생과 대책
- Shield 공법
- 암반문제

■연구논문 : 철근콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 실험적 연구(1)

■신제품

- 정지화상 전송 장치
- S-Net 방재 설비

■신기술

- LIS System에 대한 검토
- 혐기성 폐수처리 유리섬유로
- Soil Cement 말뚝 공법
- 원전시설 외벽 도장

■공법개선 : 전등분전반의 C 배선화

■하자사례 : 김포국제공항 계류장 콘크리트 포장 하자보수에 대한 소고

■건설안전 : 건설안전 작업요령

제4호 (1991. 5)

■연구논문

- 확률밀도함수에 의한 재현기간 풍속의 산정
- 철근콘크리트 기둥의 내력 및 연성에 관한 이론적 연구(2)

■기술자료

- 수변전 설비보호 계전기의 실무기술
- CFC 냉매 사용금지의 대처방안
- P.S 콘크리트 교량건설공법(1)

■신기술

- 30cm 콘크리트 벽 간단히 절단
- 빌딩 생활배수처리 공법 개발

■신제품

- 91년도 일본전설공업전 참가제품 중 입상작

소개

- Mini Crane 소개

■ 건설안전 : 건설안전작업요령(完)

제5호 (1991. 7)

■ 기술자료

- Intelligent Building의 IC Card System
- 초고강도 콘크리트의 실용화 기술의 개발
- 빙축열 냉방시스템 개발 현황
- P.S 콘크리트 교량건설 공법(2)
- 아스콘 제조시설 기술감리 표준화(1)

■ 신기술

- RODEX
- Bio 기술을 응용한 특수혼화제로 응결을 없앤 콘크리트 타설
- 제지슬러지를 골재로 재이용하는 소각플랜트

제6호 (1991. 9)

■ 기술자료

- Pilot 계전방식에 대하여
- 지반침하를 목적으로 한 대규모 복수 공법
- 전기방식공법에 의한 잔교 상부공의 열화방지공사
- 폐기물에 관한 소각 기술
- 아스콘 제조시설 기술 감리 표준화(2)

■ 신기술 : 초활성 오니 자연 정화법

제7호 (1992.6)

■ 시공사례 : 건설물 외형에 사용한 석재판넬 공법

■ 해외견학

- 鯉城 Shield 공사 현장
- 출운 Dome 건설현장

■ 기술자료

- 방음벽 설계지침

■ 국내정보

- 경부 고속철도 추진현황
- 중수도 제도의 도입
- 기술개발 보상절차에 관한 규정

■ 신기술소개

- 고성능파이프 형틀공법
- 자동반송시스템
- Super zet 공법

제8호 (1992.9)

■ 기술자료

- Top-Down 공법
- 지하 매설배관에 대한 부식의 원인과 방지법
- Texsol 공법
- Sand Pack Drain 공법
- 신소재를 이용한 구조의 보수 및 보강
- 덕트 설계 표준화

■ 신 기술

- 장대 PC 사장교 시공
- PC 블록으로 옹벽 구축
- 합리화, 성력화한 콘크리트 실용화
- 이중구조의 Sheet를 사용한 특수형틀
- 인공지반을 Lift-up 시킨 SD공법

제9호 (1992.12)

■ 기술자료

- 철근콘크리트 구조물의 도면주기사항 및 철근의 배근상세도
- 전자식 형광등 starter의 원리와 사용전망
- 신소재를 이용한 콘크리트구조의 보수 및 보강(II)
- 섬유보강 콘크리트의 개발과 실용화
- 폐기 콘크리트의 재활용
- 스위스의 지하시설

■ 해외기술정보

- 수도관을 이용한 발전
- 도시 지역에서 콘크리트 도로 포장금지
- 시가지 활성을 위하여 강변도로를 터널화
- 전천후 시공가설지붕
- Best-mix 열원시스템
- 현장에서 오토의 처리
- 생활하수의 이용

제10호 (1993.6)

1. 국내외 고강도 콘크리트의 개발현황
2. 최근의 연약지반 개량공법
3. 효율적 시공관리 시스템
4. 소화전회로의 문제점 및 개선방안
5. 히트펌프
6. 자동제어시스템의 검출부 설치방법
7. 콘크리트 구조물의 Span 길이에 따른 공사비 산출

제11호 (1993.6)

1. 변압기의 수명과 관리
2. 발파작업과 진동

3. Landma가 Tower 빌딩공사
4. 하수도 관거시설공사 시공관리지침
5. 건설기술관리법 시행령
6. 공동주택 하자과 부설시공현황 및 문제점
7. 현장에서의 문제점 해결
8. 건설현장에서 사용되는 일본어들
9. 신공법 소개
10. 기술용어해설
11. Start 운동 공법개선제안

제 12호 (1993.9)

1. 비행장의 조명시설
2. 전개식 바지선(Spilt Barge)제작
3. 공조용 Heat pipe
4. 건설공사 소음방지 대책
5. 다목적 개폐식 후쿠오카 돔
6. 건설관련 환경법규 발췌요약
7. 공동주택건설의 질적 향상을 위한 정책방향(2)
8. 기업과 정보의 전략적 활용
9. 신기술, 신공법, 신재료
10. 기술용어해설

제 13호 (1994. 3)

1. 폐기물 소각설비
2. 비행장의 통신 및 전자시설
3. Textile Form 공법
4. 고대의 콘크리트 구조물
5. 기존 터널의 확장
6. 아스베스토스 대체 섬유의 개발
7. 빙축열 냉방공조 시스템
8. 하프 슬라브(Half Slab)
9. 건설관련 환경법규 발췌요약
10. 기술용어해설(콘크리트 3(완결))
11. Start 운동 공법 개선 제안사항

제 14호 : 미발간

제 15호 (1994.9)

■ 기술자료

- Gupta법에 의한 벽식구조물의 내진구조 해석
- 건축음향 및 내부소음 저감
- 그린라운드와 대응대책
- 접지공사의 종류와 시공

■ 신기술, 신공법

- 일본의 중, 고층 집합주택기술
- 매전 Sky Building 공동정원의 Life Up 공법

■ 해외시공사례

- 보강콘크리트 구조물에 의한 교량보수공사

제 16호 (1994.11)

■ 신기술, 신공법

- 1) 보의 관통공 및 벽 개구부 둘레의 보강
- 2) PEB 시스템 공법
- 3) SSG 공법을 이용한 건축물 외장 디자인
- 4) 호스를 이용한 콘크리트 이어치기 부분의 처리
- 5) 지하공간 개발
- 6) 전천후 공사용 가설 지붕
- 7) 철제시공 레이저 자동계측 시스템
- 8) C판넬 벽체공법
- 9) 특수형강을 이용한 기둥개발
- 10) 스트레치 공법에 의한 장스팬 구조물
- 11) RC 구조체 구축 System개발
- 12) 폴리머 시멘트를 이용한 콘크리트 착생법
- 13) 폴리우레탄을 이용한 초고속 콘크리트 구조물 시공법
- 14) 콘크리트 구조물의 보수공법
- 15) 달에서의 콘크리트 생산
- 16) 축벽콘크리트 타설 시스템
- 17) 건설공사의 자재관리에 Bar Code 도입
- 18) 지하 구조물을 남겨두고 건물을 개축하는 방법
- 19) 고층빌딩 종합기계화 공법
- 20) 철골을 사용하지 않은 고층빌딩 건설
- 21) Fan을 이용한 인양 제어 System
- 22) 대심도 지하공간 개발
- 23) 준설시 수질오염을 절감시키는 준설선의 개발
- 24) 강관파일 주열 상부공 공법
- 25) Simar 공법(흡수형 진동봉 체결공법)
- 26) 거푸집이 필요없는 웅벽
- 27) 암반향타공법
- 28) 세계최대의 ITAIPU댐 공사
- 29) 화력발전소에서의 새로운 연소기술 개발
- 30) 토양 정화식 오수처리 시스템
- 31) SIG(Super Injection Grout)공법
- 32) MJP(Mixing Jet Pump) Sand-Carry 공법
- 33) ECL(Extruded Concrete Lining) 공법
- 34) 거대 케이슨을 이용한 교량 기초작업
- 35) 노후 교량 보강
- 36) 조립식 오수처리 시스템
- 37) Tensar Geocell Matress 시스템
- 38) 경량 하이브리드(Hybrid) 지붕
- 39) 석면 분진의 비적 방지처리 공법

- 40) 골프장 제초제 처리
- 41) 승강기의 최근 동향
- 42) 이온 방사형 피뢰침
- 43) 전력시스템에 광통신 이용
- 44) 지열발전
- 45) 하수열의 지역 냉난방 이용
- 46) 낙뢰 방지기
- 47) 오염의 열을 이용한 급탕 시스템

■재료

- 1) 일본의 차세대 콘크리트 개발 붐
- 2) 아라미드 섬유를 이용한 RC구조물의 보수, 보강공법 및 PS부재의 개발
- 3) MDF를 이용한 거푸집
- 4) 고장력 비닐을 이용한 철근 대체재료 개발
- 5) 지중 연속벽용 강재 개발
- 6) 이산화탄소 흡수 신소재 개발

■장비

- 1) 콘크리트 구조물의 균열 자동 계측차량
- 2) 바닥 하드너 시공장치
- 3) 무인 측량 로봇 개발
- 4) 자동 수평기준막줄 시공장치
- 5) 경량 소형 결로 예지기
- 6) 철골주 자동용접 Robot 시스템
- 7) 관거 자동진단 로봇
- 8) 파일진동 향타 검측기
- 9) 콘크리트 파일 두부 절단기
- 10) 대기오염 감시
- 11) 전동기 성능시험기 국산화
- 12) 고압의 Water Jet를 병용하는 TBM공법
- 13) 670KW급 연료전지 실용화
- 14) 에폭시 주형 진단 컨테이너
- 15) 상 측정기(Phase Tracer)

■기타

- 1) 환경보전과 경제성장

제17호 (1995.4)

1. 최적설계방법을 이용한 트러스형식선정에 관한 연구
2. 두께중복형 접합부를 갖는 각형강관 골조에 관한 연구
3. 강교의 보수 및 보강
4. 정능천변 도시고속도로 현장 MSS공법
5. 발포스티렌(Expanded Polystyrene)에 의한 성토공법
6. 토목섬유의 특성 및 적용
7. PEB(Pre Engineering Building) System

제18호 (1995.10)

1. 연약지반 개량공법
2. 지반주입공법
3. 건설공사 표준안전관리비의 효율적 운영방안에 관한 연구조사
4. 보행에 관한 슬래브진동의 사용성 평가에 관한 연구
5. 기포콘크리트의 품질관리
6. 건설폐기물의 재활용

제19호 (1996.10)

1. 대형거푸집 적용에 관한 연구
2. 강성벽체의 영향을 받는 얇은 기초의 파괴
3. 일본의 강재 및 콘크리트 도장 기술
4. 건설분야에 사용되는 강재
5. 김포대한항공건물 Lift-Up공법 적용사례
6. Sand Pack Drain 공법 시공사례

제20호 (1997.7)

1. 고강도 콘크리트의 적용성 연구
2. 연약지반상의 성토관리기법 연구(I)
3. 주거문화의 다부문적 연구
4. 건설분야에 사용되는 강재
5. 신기술·신공법 소개
6. 교각형상에 관계없이 시공 가능한 M.S.S 교량 가설공법
7. 슈미트 햄머 사용지침

제21호 (1998.3)

■기술자료

- 실무측면에서 본 차량하중 적용에 의한 지하주차장 슬래브 구조설계
- 강구조물 붕괴, 파괴
- 정적 재하시험에 의한 말뚝의 지지력 결정
- 비계공사 표준작업요점
- 도심지 굴착공사의 붕괴사례분석

■시공사례

- 김해국제공항 평행활주로 신설공사

■기술단신

- 강재관련 용어정리
- 신기술, 신공법의 소개

제22호 (1998.8)

■기술자료

- 매스콘크리트의 온도균열 제어대책
- CM 제도의 도입과 대응방안

- Soil Nailing에 대하여
- 건물의 결로에 대해서
- 연약지반 성토공사에서의 장래 침하예측과 안정관리 기법

■시공사례 : 통영대교 건설공사 현장

■기술단신

- 지적재산권 등록 및 출원
- 혼동하여 사용하기 쉬운 용어

제23호 (1998.12)

■기술자료

- 콘크리트 충전강관구조에 대해서
- 도로사면의 파괴유형과 유지관리 체크리스트
- 건축사업 컨설팅방법론의 기초
- 외국의 외단열공법 사례

■시공사례

- Double-up 공법의 현장적용사례
(동양화재 대구사옥)
- 정석비행장 건설공사

■기술단신

- 지적재산권 현황/신규등록 특허 개요
- 건설영어 약어

제24호 (1999.4)

■기술자료

- 연약지반상의 성토관리기법에 관한 연구
- TTM공법 적용사례 연구
- 암석공학 이야기(I)

■시공사례

- 한진그룹 부산사옥 신축공사현장 토공사
공법 적용사례
- 이동식 비계공법에 의한 교량상판 시공사례

■기술단신

- 건설관련 유용 사이트
- 통합된 콘크리트 구조 설계기준 내용 요약
- 기술연구소 소식

제25호 (1999.8)

■기술자료

- 공동주택 소음실태 및 저감대책(I)
- 말뚝기초의 내진설계
- 휨인성시험
- 암반공학 이야기(II)

■기술단신

- 암반공학 용어해설
- 대기측정장비 소개

소음/진동의 피해사례

목 차

■ 기술자료	■ 지반굴착 흙막이공의 설계	건설기술연구소 김호비	1
	■ 토목공사의 하자사례 및 개선방향	토목사업팀 김경식	12
	■ SOIL & ROCK에 대한 들밀도 시험방법	건설기술연구소 이재호	29
	■ 가설방음벽의 시공법 및 효과	건설기술연구소 김선희	42
■ 시공사례	■ 인천국제공항 연육교 가설공법 적용사례	서재화 양무석	61
■ 기술단신	■ 산업재산권 등록 및 출원		65
	■ 환경관련 기본용어와 단위		79
■ 기술정보지 총목차 (1호 25호)			84

지반굴착 흙막이공의 설계

건설기술연구소 토목기사 김호비

1. 서 론

최근 도시면적의 부족으로 인간의 자연활용공간이 땅속으로 그 영역을 넓혀가고 있다. 이에 수반되는 것이 지반굴착공사이며, 굴착심도 및 규모가 대형화함에 따라 여러 기술적인 문제를 안게 되었다.

지반굴착 시 주변의 흙이나 물이 굴착 현장에 유입되지 않도록 설치하는 흙막이구조물은 여타구조물과 비교하여 2가지 큰 특징을 가지고 있다. 첫째, 지하외벽으로서 구조물 본체와 겸용으로 쓰이는 경우를 제외하면 가설구조물이므로 굴조의 사용기간이 짧고 부재가 반복·사용되며 영구구조물에 비해 정도가 떨어진다. 둘째, 흙막이구조물 자체의 안정성은 물론 인접구조물의 안정성도 확보해야 한다.

흙막이벽에 작용하는 외력은 토압, 수압, 상재하중을 들 수 있으며 이러한 하중은 지반의 상태와 굴착방법, 공사의 진행방법에 따라 변화한다.

이와 같은 특징을 가지고 있는 흙막이구조물의 설계과정을 살펴보면 [표 1-1]과 같다.

[표 1-1] 흙막이구조물의 설계

설계과정	계 획	해 석	설 계
내 용	· 토질정수산출 · 공법선정 · 해석단면 설정 (표준단면)	· 토압 산정 · 부재에 작용하는 전단력, 모멘트, 축력, 변위 산정 · 반력결정	· 근입부분 안정성 검토 · 부재의 설계
비 고		단면력 산정	보일링, 히빙

[표 1-1]과 같이 현장시험과 보링, 실내시험을 통해 토질정수를 정한 후 이에 적합한 공법을 선정하고 해석단면을 설정한다. 이를 이용하여 단면력을 산정하고 안정성에 대해 검토한다. 이 중 가장 중요한 것은 계획이라고 할 수 있으며 그 중에서도 토질정수의 평가는 설계과정 중 가장 중요한 요소라 할 수 있겠다.

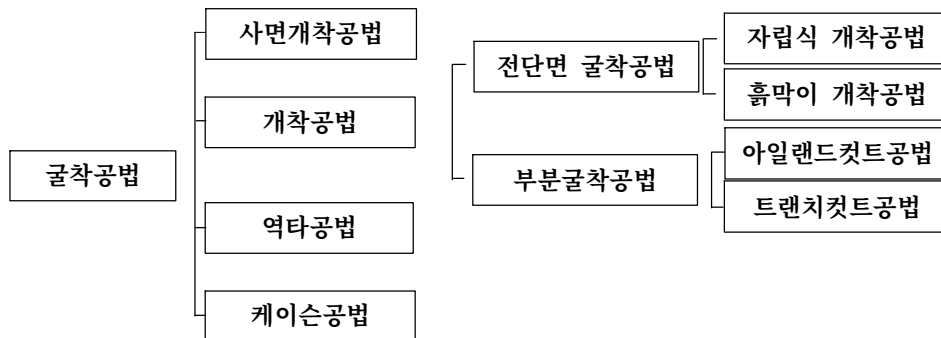
2. 지반굴착 흙막이공법

지반조사를 통해 산출된 토질정수를 이용하여 공법을 선정하려면 흙막이공법에는 어떠한 종류가 있는지 알아야 한다.

흙막이공법은 크게 흙막이벽의 지지형식, 재료, 굴착방법에 따라 분류할 수 있다. 흙막이벽은 지지형식에 따라 버팀보, 앵커, 띠장이 있으며 굴착방법 및 흙막이벽의 재료에 의한 분류는 다음과 같다.

2.1 굴착공법에 따른 분류

흙막이공법을 굴착방법에 따라 분류하면 흙막이골조와 함께 버팀대, 앵커 및 띠장과 같은 지보공을 사용하여 토사의 붕괴를 막으며 굴착을 진행하는 개착공법과 지하 외부옹벽을 본체구조물로 사용하고 지하슬래브 및 보를 연속벽과 연결하여 토공과 병행, 상부에서 하부로 내려감과 동시에 지상구조물 공사를 실시하는 역타공법이 있다. <그림 2-1>은 굴착공법에 의해 흙막이공법을 분류한 것이다.



<그림 2-1> 굴착방법에 의한 흙막이공법의 분류

1) 사면개착공법

사면개착공법은 굴착부지에 여유가 있는 경우, 벽체와 지보공 없이 안정한 사면을 유지하며 굴착하는 공법으로 공사비가 저렴하나 굴착면적에 비해 굴착깊이가 깊은 경우에는 굴착이나 되메우기 토량이 많아져서 공사비가 증가한다.

2) 전단면굴착공법

흙막이벽만을 사용하거나 흙막이벽과 함께 버팀대, 띠장 등의 지보공을 사용하여 굴착을 진행하는 공법으로 지보공에 따라 자립공법, 버팀대공법, 어스앵커공법으로 나뉜다.

3) 부분굴착공법

전단면을 굴착하는 전단면 굴착공법과 비교하여 지반상태가 불량하거나 대단면 굴착일 경우 부분굴착공법을 사용하며 아일랜드컷트공법, 트랜치컷트공법이 있다.

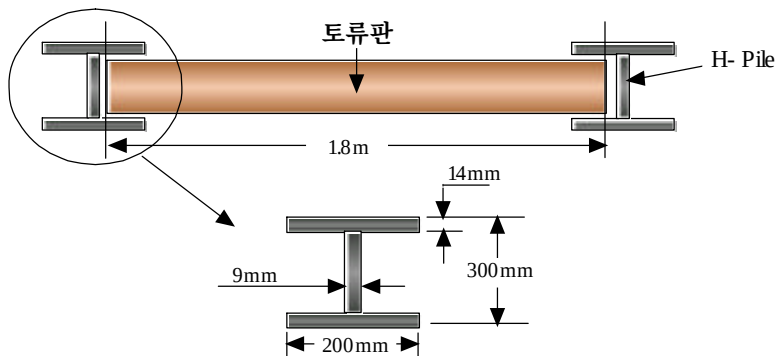
4) 역타공법(Top-Down 공법)

역타공법이란 흙막이구조물을 지하층 외부옹벽으로 사용하고 지하층 기둥은 현장타설말뚝으로 충분한 지내력을 받을 수 있는 지층까지 시공한 후 지하층의 슬래브 및 빔을 연속적으로 연결하며 토공과 병행, 단계적으로 상부에서 하부로 내려감과 동시에 지상구조물 공사를 실시하는 공법이다. 역타공법은 영구벽체와 슬래브를 완성하며 굴토하므로 띠장이나 어스앵커공법보다 인접지반의 변형을 최소화시켜 안정성을 확보할 수 있을 뿐만 아니라 지하연속벽의 차수성이 좋으므로 외벽수위가 급격히 저하되어 생기는 침하에 대한 영향이 거의 무시되므로 주로 띠장 및 어스앵커와 같은 버팀보의 설치가 곤란한 지역이나 연약지반 상태에서 구조적인 안정성 확보 및 인접지역 민원 발생에 대한 대비책 일환으로 사용되어 왔으나 최근에는 공사기간의 단축과 조기분양을 위한 사업성 측면에서도 적용 빈도수가 증가하는 추세에 있다.

2.2 흙막이벽에 따른 분류

1) 엄지말뚝

엄지말뚝식 흙막이벽은 강제엄지말뚝을 타입, 진동압입, 또는 보링하여 지중에 삽입한 후 굴착을 진행하면서 토류판을 끼워서 굴착벽을 지지하는 공법으로 경제성은 있으나 사질토, 점성이 작은 지반, 소성지반에서는 지하수위 상부까지만 적용가능하다. <그림 2-2>는 엄지말뚝 흙막이벽에 사용되는 일반적인 부재단면치수이다.

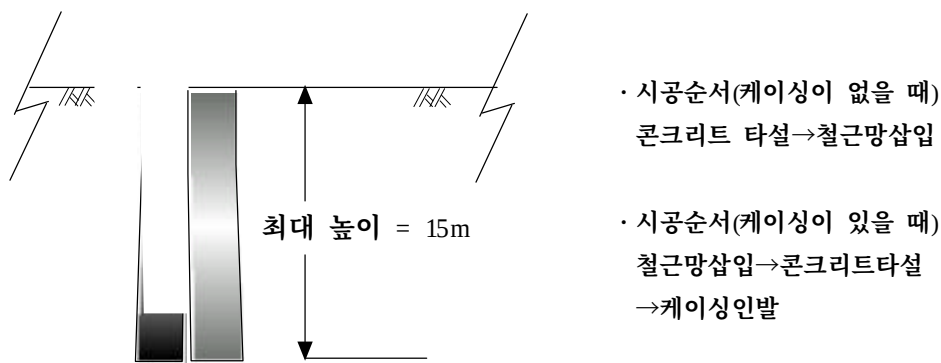


<그림 2-2> 엄지말뚝 흙막이벽에 사용되는 일반적인 부재단면치수

엄지말뚝을 이용한 흙막이 공법은 굴착에 따라 지하수위가 낮아지므로 수압이 작용하지 않지만 지하수위의 저하에 따른 주변지반침하가 예상된다

2) C.I.P 공법

C.I.P(cast-in-placed pile)공법은 로터리 보링기 또는 오거 등의 천공장비로 천공한 후 철근망을 삽입하고 콘크리트를 타설하여 한 개의 현장콘크리트 말뚝을 만들고 이를 연속적으로 시공하여 흙막이 벽체를 형성하는 공법이다. 지하수위가 높거나 연약한 지반에 주로 사용되며 장비가 소형이므로 공사 주변지역의 여건에 크게 구애받지 않으나 중첩시공이 불가능하여 이음부의 보강 및 별도의 차수공이 필요하다. 천공 시 공벽이 무너질 경우에는 안정액을 주입하여 공벽을 보호하면서 천공한다.



<그림 2-3> C.I.P 공법의 시공개요도 및 순서

3) S.C.W 공법

S.C.W (soil cement wall)는 S.M.W (soil mixing wall)라고도 하며 오거로 지반을 교란시키면서 흙과 시멘트를 교반하고 양생이 끝나기전 H-Beam을 2~3공에 하나씩 관입한다. 이 후 형성된 흙막이벽은 소일시멘트를 이용한 지중 연속벽으로 기계적 교반방식에 의한 공법이며 지하수 차단, 연약지반 개량, 구조물 기초형성 등에 사용된다. 천공장비는 지반이 약한 경우 3축오거를, 지반이 강한 경우 1축오거를 사용하며, 시공장비가 매우 크므로 현장이 협소하면 이를 설계에 고려하여야 한다. 저소음·저진동 공법이며 지질의 변화가 심한 경우, 벽체의 길이조절이 가능하지만 지반에 매설물이나 전석이 있는 경우, 토층의 변화가 심한 지반 등에서는 사용하기 힘든 단점이 있다.

4) 지하연속벽(Slurry wall, Diaphragm wall) 공법

지하연속벽 공법은 지반에 안정액(벤토나이트 현탁액)을 주수하면서 연직으

로 굴착을 완료한 후 철근콘크리트를 타설, 완전히 양생한 후 지반을 굴착하는 공법으로 C.I.P 공법의 단점인 기둥과 기둥사이의 유격문제가 해결된 공법이다. 저소음·저진동공법으로 시가지에서 널리 사용되며 영구벽체로 사용이 가능하나 공사비가 비교적 고가이고 고도의 기술과 경험이 필요하고 조인트 처리가 어렵다.

위와 같은 흙막이 공법은 현장조건에 따라 공법이 선정되며 간혹 2가지 공법을 함께 사용하는 경우도 있고 지반보강 및 차수공법을 위해 그라우팅과 함께 병행되는 경우도 있다. 이와 같이 흙막이 공법선정을 위해서는 흙막이 공법의 종류 및 장·단점 뿐만 아니라 그라우팅에 종류, 기능, 방법에 대한 충분한 사전지식이 필요하다.

2.3 흙막이 공법 선정시 조사검토사항

흙막이구조물은 일반적으로 가설구조물이기 때문에 자칫 본체공사에 비해 경시되는 경향이 있기 때문에 조사검토에 대해 소홀히 할 수 있다. 그러나 이는 큰 사고로 이어질 수 있으므로 흙막이 공법 선정에 있어서는 다음과 같은 항목에 대해서 조사검토를 하고 그 결과를 분석하여 형식을 선정하는 것이 바람직하다.

- 1) 설계목적의 검토 - 영구벽체로서의 사용유무 등
- 2) 지형에 관한 검토 - 지형의 고저차, 인접구조물 유무 등
- 3) 지질·토질에 관한 검토 - 지층의 지내력, 지하수위의 높이, 지하수량 등
- 4) 인접구조물에 관한 검토 (공법선정에 절대적 영향)
- 5) 시공환경에 관한 검토 - 지하매설물, 소음·진동 규제 등
- 6) 공정에 관한 검토 (공사비와 관계)

3. 흙막이구조물의 설계

흙막이구조물은 벽체가 토압에 의해 변형이 일어나지 않을 만큼 강성이 크다고 가정하여 흙을 한계평형상태(limit equilibrium state)인 Rankine 또는 Coulomb 토압이론에 의해 해석하는 강성벽체와, 벽체를 연성으로 가정하여 굴착에 따른 벽체의 변위와 토압의 변화를 고려하여 해석하는 연성벽체로 구분된다. 대표적인 강성벽체로 옹벽, 석축, 지하연속벽(slurry wall), 주열말뚝벽(C.I.P)이 있으며, 연성벽체에는 토류판벽, 널말뚝벽 등이 있다. 흙막이구조물은 이러한 토압가정에 의해 해

석한 후 벽체변위로 인한 인접지반 거동에 대해서도 검토하여야 한다.

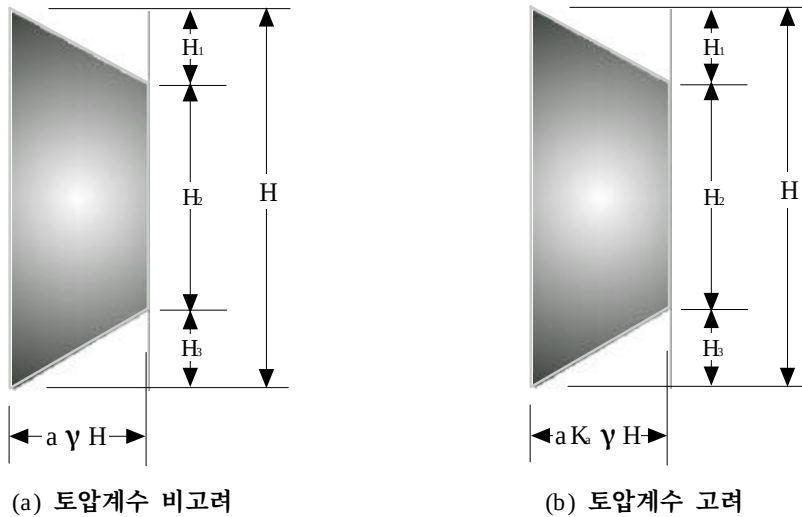
3.1 적용 토압이론

토류벽에 작용하는 가장 큰 외력은 토압이고 굴착진행에 따른 토압의 변화는 지지구조 설치 전후의 벽체거동에 따라 달라지므로 이를 충분히 파악하여 설계하여야 한다. 흙막이벽 해석시 사용되는 토압은 크게 근입깊이 결정에 사용하는 토압, 흙막이벽 설계에 사용하는 토압, 변위 산정에 사용되는 토압으로 나눌 수 있다. 비교적 강성이 작은 흙막이벽체를 앵커 또는 버팀대 등의 지보로 지지하며 굴착하는 경우, 굴착진행에 따른 벽체거동은 옹벽과 같은 강성벽체와는 상이한 거동을 나타낸다. 흙막이 벽체는 연성이므로 굴착을 진행함에 따라 상부의 변형은 버팀대 지지로 감소하고 하부의 벽체변위는 커지게 된다. 이에 따라 토압의 재분배 및 아칭효과로 인해 토압은 다소 감소하게 된다. Tschbotarioff, Peck 등은 폭이 좁은 굴착공사에서 지하수위가 최종굴착면 아래에 있고 사질토는 간극수압이 없으며 점성토는 간극수압을 무시한 상태에서의 경험토압을 계측데이터를 토대로 제안하였다. [표 3-1]은 대표적인 경험토압분포도에 대한 계수를 나타내고 있다.

[표 3-1] 대표적인 경험토압분포도에 대한 계수

계수(factor)		H ₁	H ₂	H ₃	K _a	a
경험토압분포식						
Terzaghi-Peck 수정토압	사질지반	0.0	1.0	0.0	$\tan^2(45^\circ - \phi/2)$	0.65
	연약 중간정도 단단한 점성지반	0.25	0.75	0.0	$1 - (4S_u/\gamma H)$	1.0
	단단한 점성지반	0.25	0.5	0.25	-	0.2 ~ 0.4
Tschbotarioff	사질지반	0.1	0.7	0.2	-	0.25
	연약 중간정도 단단한 점성지반	0.75	0.0	0.25	-	0.375
	단단한 점성지반	0.6	0.0	0.4	-	0.3
NAVFAC 토압	사질지반	0.0	1.0	0.0	$\tan^2(45^\circ - \phi/2)$	0.65
	연약 중간정도 단단한 점성지반	0.25	0.75	0.0	$1 - (4S_u/\gamma H)$	1.0
	단단한 점성지반	0.25	0.5	0.25		0.2

[표 3-1]의 대표적인 경험토압분포도에 대한 계수를 이용하여 <그림 3-1>에 대입하면 경험토압분포가 산정된다.



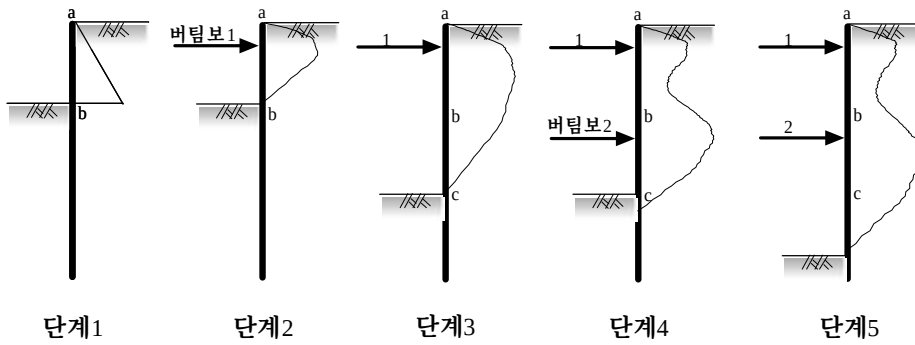
<그림 3-1> 일반화된 형태의 경험토압분포도

경험토압분포도에 의한 토압산정방법은 굴착완료 후 탄소성법과 비교하여 불리한 것으로 적용해야 한다. *서울 지하철

경험토압분포도에 의한 토압산정법은 사용하기 간편하나 굴착과정에 따른 토압변화나 벽체변위를 고려할 수 없고 지층이 다양한 경우에 대한 토압산정이 어렵다는 한계를 지니고 있다. 또한 경험토압을 지반이 아닌 암반에 적용할 경우 다음과 같은 문제점이 발생한다.

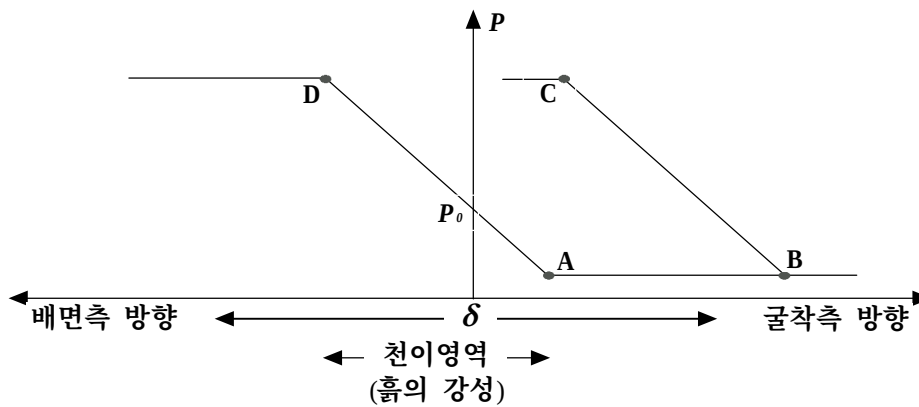
- 1) 경험토압분포식은 암반층을 사질토로 가정하므로 암반층에서의 점착력을 무시하여 과다토압이 산정될 우려가 있으며 점착력을 고려하는 경우에는 토압분포가 과소하게 추정될 수 있다.
- 2) 경험토압분포식은 토사지반을 대상으로 추정된 식이므로 굴착을 깊게 하거나 암반이 상부에서부터 존재할 경우, 암반에서 토압이 작용하는 깊이를 적용하는데 어려움이 있다.

이와 같이 변형이 허용되는 흙막이구조물에 작용하는 토압분포는 기존의 토압이론에 의한 하중과는 전혀 다른 분포형상을 보여주고 있다. 그 이유는 굴착에서의 토압발생은 굴착, 지보공설치, 다음단계 굴착 등 강성벽체와는 전혀 다른 벽체 거동에 의존하기 때문이다. 단계별 굴착 시 연성토류벽의 변형거동에 대하여 Bowles(1988)은 <그림 3-2>와 같은 단계별 토압과 벽체의 변위를 제안하였다.



<그림 3-2> 단계별 굴착 시 토압 및 벽체변위 변화

단계1에서 벽체는 주동토압을 받고 항복을 일으켜 소성평형상태를 유지하고 횡방향 변위는 흙과 캔틸레버 벽체의 상호작용에 지배된다. 단계1에서 지지구조가 설치되면 단계2와 같이 지지구조에 가해지는 힘은 단계1에서와 같은 소성평형상태의 흙에 변형을 일으킬 수 있는 힘 즉, 주동토압보다 큰 힘이 가해져야 하므로 단계1에서의 주동토압보다는 증가할 것이고 그 결과 벽체에 가해지는 토압은 경험토압과 유사할 것이다. 단계2에서 굴착을 계속하면 b와 c 사이에는 새로운 횡방향 변형이 발생하고 흙은 첫단계 지지구조 뒤쪽의 영역으로부터 흙의 크립(creep) 거동과 같이 b와 c사이의 변위속으로 이동하려 하므로(아칭효과) 지지구조의 하중은 감소한다. 이와 같이 단계1과 단계2의 과정을 단계3과 단계4에서 반복하게 되고 최종적으로 단계5와 같은 토압분포와 변위가 발생한다. 이상과 같이 단계별 굴착시 토압은 변화하므로 토압 산정시에는 이러한 여러 가지 조건을 고려하여 적용하여야 한다.

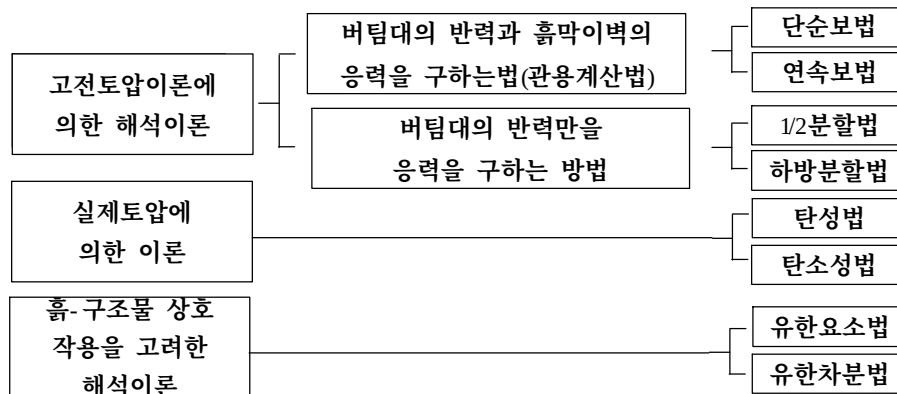


<그림 3-3> 흙의 응력이력 곡선

변위에 따른 토압의 변화는 비선형이나($K=f(\delta)$)이나 이를 설계시 고려하면 토질정수에 따라 여러 매개변수를 합리적으로 모델링하기 어렵기 때문에 선형비례하는 것으로 가정한다. <그림 3-3>에서는 흙막이 뒤채움지반의 변위에 따른 응력이력을 나타내고 있다. 첫 번째 단계에서는 배면측 지반이 굴착측으로 이동하므로 흙요소는 A에서 B로 움직이며 지보공 설치 후에는 배면측으로 흙의 변위가 발생한다. 이 때 지반요소는 B에서 A로 가지 않고 C로 이동한다. 이는 흙의 소성변위를 고려하는 경우로서 벽체를 배면측으로 밀어 넣는데 더 큰 힘이 소요되고 이는 곧 토압의 증가로 이어진다. 이와 같이 탄·소성변위를 고려하는 경우가 실제 흙의 거동에 더욱 근접한 토압의 가정이라 할 수 있다.

3.2 흙막이벽의 해석방법

흙막이벽의 구조해석에는 여러 가지 방법이 있으나 크게 벽체를 보로 해석하는 관용적인 해석방법과 벽체와 지반을 동시에 고려하여 흙-구조물 상호작용을 반영하는 해석방법으로 분류할 수 있다. 벽체를 보로 해석하는 방법은 수작업으로 해석 가능하지만 컴퓨터의 개발과 수치해석 기법의 발달로 해석과정에서 지반의 지지력 계수와 벽체의 변위까지 고려하여 토압을 파악하는 방법으로까지 발전하고 있다. 흙막이구조물 해석법의 종류는 <그림 3-4>와 같다.



<그림 3-4> 흙막이구조물의 해석법

버팀대 흙막이벽 형식으로 굴착을 시행하는 경우 흙막이벽의 구조해석방법은 굴착진행에 따라 변화하는 토압에 대하여 굴착단계 뿐만 아니라 지하층 구조물 시공에 따른 버팀대 해체단계에도 연속하여 해석을 실시하며 또한 굴착 및 지지 구조 설치가 완료되어 경험토압과 같이 재분포된 경우에 대해서도 해석하여야 한

다. 벽체를 보로 보고 해석하는 방법에는 굴착 및 지지구조 설치가 완료된 후의 실측치를 토대로 토압분포를 추정하여 해석하는 방법으로서 이 범주에 속하는 해석법으로서는 단순보법과 연속보법이 있다. 최근에는 컴퓨터의 발달로 반복계산이 가능해져 흙-구조물 상호작용에 따라 굴착 진행단계별 지지구조 설치 전후의 지반, 벽체, 지지구조, 주변지반 및 구조물의 거동도 해석 가능한 수치해석 기법이 발달하게 되었다. 대표적인 해석법이 유한요소법과 유한차분법이며 이 방법으로 해석하는 경우, 굴착지반 뿐만 아니라 인접지반의 응력-변형을 굴착단계별로 알 수 있다. 이와 같은 수치해석 기법은 인접한 중요구조물이 있을 때, 지반고가 서로 현저하여 편토압이 작용할 때, 굴착과 더불어 흙막이벽의 주변지반 구조물의 상호작용 문제가 있을 때 정성적인 거동검토를 하기 위해서 행한다. 그러나 정확한 토질정수의 산정에 문제가 있을 때는 수치해석 기법의 결과만에 의한 흙막이공 설계를 행하는 것은 바람직하지 못하다.

한편, 굴착단계별로 변화하는 횡토압을 고려하여 해석하는 방법으로는 탄소성 지반상 연속보 해석법도 들 수 있다. 탄소성법은 흙막이벽의 거동을 충실히 표현하며 흙막이벽 변형의 파악이 필요할 때 또한 비교적 대규모 굴착 즉, 사질토에서 15m 이상, 연약지반에서의 10m 이상인 경우에 적용하는 것이 타당할 것으로 사료된다. 탄소성법은 합리적인 해석방법이긴 하나 토질정수의 추정오차에 민감하여 그 결과에 영향을 미치기 때문에 신중한 토질정수의 선택이 중요하다. 개정된 일본의 흙막이벽 설계시공지침에는 [표 3-2]와 같이 굴착심도에 따라 적용할 수 있는 토압산정법과 해석법을 추천하고 있으며 깊이 15m 이상의 대규모 굴착에는 Rankine 토압을 이용한 탄소성법을 사용할 것을 추천하고 있다.

[표 3-2] 공사의 규모와 측압산정법 및 계산법과의 관련

측압의 산정법 공사의 규모	측압의 산정방법			계 산 법			
	Peck, 학회 수정법	$P=K \gamma z$	Rankine, Russel	탄성보법	단순보법 (분해법)	가상 지점법	탄소성보 법
자립	△	◎	△	◎	×	△	◎
굴착깊이 10m 미만	◎	◎	◎	×	◎	◎	◎
굴착깊이 15m 미만	×	◎	◎	×	×	◎	◎
대규모	×	◎	◎	×	×	△	◎

3.3 흙막이구조물의 해석방법 비교

상기에서 서술한 바와 같이 흙막이벽의 해석방법은 크게 고전토압이론에 의한 해석방법과 실제 토압에 의한 이론, 흙-구조물 상호작용을 고려한 이론으로 나눌 수 있으며 이를 비교·정리하면 [표 3-3]과 같다.

[표 3-3] 흙막이벽의 해석방법 비교

흙막이벽의 해석방법	해석방법의 장·단점
경험토압방법	· 간편한 방법, 소규모 적합 · 굴착설치 완료 후 해석가능 · 변위해석 불가능
탄성법	· 흙-구조물 상호작용 반영 · 굴착 및 해체 단계별 해석가능 · 굴착면 상부 횡저항이 수동토압을 초과하는 모순
수치해석법 (FEM, FDM)	· 토질정수 산출어려움 (입력정수가 해석법의 정확성 좌우) · 흙막이벽 뿐만 아니라 인접지반이나 인접구조물의 응력-변형 해석 가능
탄소성보법	· 굴착단계별 제반조건 반영 · 실측치에 근접한 결과치 얻을 수 있음 · 응력, 변위 충실히 계산

4. 결론

상기에서 흙막이공법의 종류 및 작용토압, 설계방법에 대해 비교적 간단히 서술하였다. 위와 같은 방법에 의해 단면을 산정한 후 히빙 및 보일링 검토를 통해 안정성을 체크하고 마지막으로 인접지반의 거동을 분석함으로써 설계를 마치게 된다. 그러나 상기의 서술한 사항은 모두 무수한 가정을 내포하고 있는 하나의 이론일 뿐이고 가장 중요한 것은 현장상황이라고 할 수 있겠다. 최근 컴퓨터와 계측기기의 발달과 함께 구조물 설계자료와 거동 예측자료를 비교 검토하여 시공중 안전상태를 판단할 수 있는 정보화시공방법이 유용되고 있으나 이 또한 정확한 수치라기 보다는 정성적인 경향을 파악할 수 있는 한 방법이라고 할 수 있겠다. 현장에 계신 기술자분들께서는 이를 숙지하시고 항상 유의하여야 한다.

토목공사의 하자사례 분석 및 개선방향

토목사업팀 토목차장 김경식

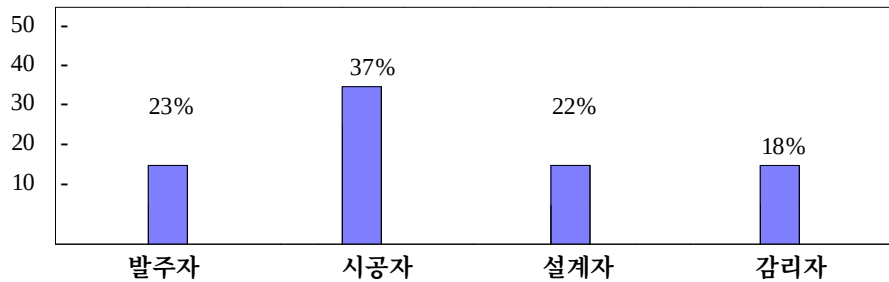
1. 개 요

국내건설 산업은 1970년대 해외건설 진출을 계기로 새로운 전환기를 맞이하여 양적, 질적으로 눈부신 발전을 거듭해 왔다. 또한, 건설업이 국내산업 구조에 미치는 영향을 보면 현재의 건설생산 규모는 GNP의 15%를 상회하고 있으며 건설업에 종사하는 고용인력이 전체의 약 7%에 달하고 있다.

이러한 성장과 국가산업의 중요한 역할을 담당함에도 불구하고 건설업의 현실을 보면 후진국형 만국병이라 불리는 부실공사에 대하여 자주 보도매체에서 거론되고 있는 실정이 안타까운 일이다.

이에 하자사례 및 향후개선방향을 제시하여 부실공사 방지방안 확립 및 유지보수비의 절감을 꾀하는데 참고가 되도록 한다.

[표 1-1] 부실시공 요인별 분석표 (한국건설기술연구원 1993년 발표치)

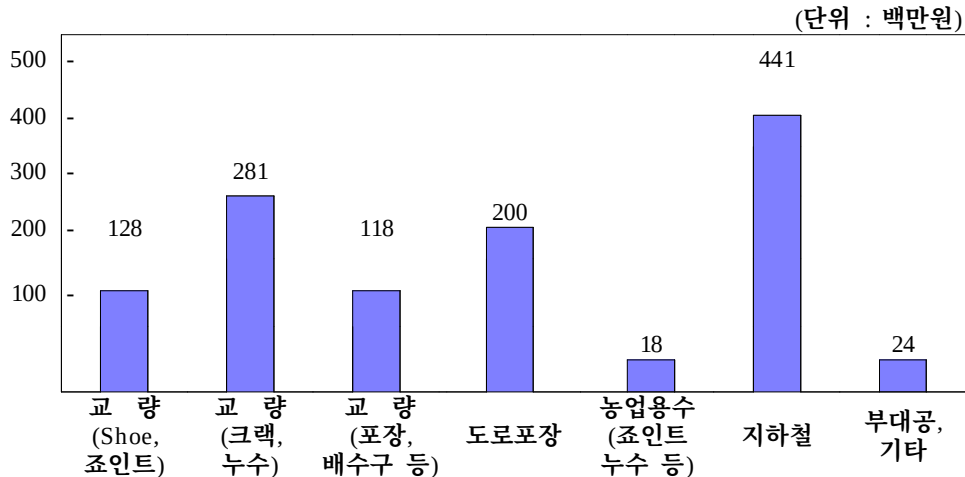


2. 부실(하자)시공의 분류

2.1 부실(하자)시공의 일반적인 사항

건설공사의 부실은 사업계획 단계에서부터 설계, 입찰 및 계약, 시공, 감리, 유지관리 등 각 단계별 요인이 복합적으로 작용하여 발생하는 것이 일반적이며 또한, 발주처의 조기개통 독려로 인한 급속한 시공 등도 원인이 된다.

[표 2-1] 주요 하자사례 분석표 ('97 ~ '99 상반기)



2.2 부실(하자)시공의 원인

2.2.1 사업계획에서의 부실(하자)원인

- 1) 현장의 주변여건(토질, 지반여건) 및 환경 등 기초자료가 미흡한 상태에서 설계함으로서 부실원인 제공 → 시공사는 공사 수행중 설계변경에 따른 공기부족으로 품질관리 소홀
- 2) 발주처의 조기개통 요구로 인한 공사기간의 절대공기 부족

2.2.2 설계 입찰 및 계약단계의 부실(하자)원인

1) 발주처 자료제공의 불충분

현장설명시 제공되는 기본조사 자료(토질조사 보고서, 골재원, 토취장 등)는 계획 및 설계단계에서의 개략적인 조사 및 시험으로써 자료의 불충분으로 재조사, 재시험 및 설계변경사항이 발생되며 이에 대한 금액상의 이견, 승인 지연, 재검토요구 등으로 인하여 공기지연 등 원가상승이 발생하여 부실요인 발생의 경우도 있다.

2) 발주처의 우위의 불평등 계약

발주처는 책임감리하에서도 모든 중요한 사항(설계변경, 공기연장, ESC, 선 급 및 대가의 지급, 하도급 사항)에 대한 최종결정 권한을 가지고 있다. 이러한 우월한 지위를 이용하여 공사와 관련 각종 민원 및 인 허가 업무를 시공자에게 정당한 대가의 지급이 없이 부당하게 전가하는 경우가 많으므로 시공사의 원가상승 및 공기지연을 초래하고 또한 부실의 원인이 되고 있다.

3) 장기계속공사의 연도별 예산에 의한 공사

정부예산이 불규칙하게 집행되거나 예산배정이 공기내에 거의 균등하게 배정되는 경우에도 시공자에게는 당초 계획했던 공정계획(S커브)과 맞지 않을 뿐만 아니라 공정계획에 의한 인원, 자재, 장비 투입 계획이 합리적으로 추진될 수 없어서 생산성 저하, 원가상승 등 큰 타격이 올 수 있다. 또, 경직된 집행(이월불가, 추가예산배정지연)은 사업목표의 합리적 달성보다는 행정편의적으로 운영되어 결과적으로 부실(하자)의 원인이 되고 있다.

2.2.3 시공단계 부실(하자)원인 (시공외적 요인)

1) 현장기술자의 과중한 업무

중앙부처, 발주처, 상위기관 및 시공사의 정기 또는 수시점검 및 감사로 인한 자료준비, 보고 등 부수적인 행정지원업무로 인하여 공사수행에 차질을 빚어 현장시공기술자들의 시간을 빼앗아 고유업무를 소홀히 하게 하는 경향이 있다.

2) 우수 기능인력 부족

건설시공은 계획에 따른 기술자의 관리와 숙련된 기능공에 의해 양질의 제품이 생산되나 최근 3D 현상으로 건설기능 취업을 기피하여 인원이 매년 감소하는 추세이며, 국토개발 연구원의 "건설기능인력 확보 및 육성방안"을 참조하면 근로자 22.3%가 50세 이상으로 제조업 11.8% 보다 높은 편이다. 향후 건설기능인력 부족으로 채산성 악화, 노령화로 인한 안전사고 위험이 증대되고 있어 기능인력 확보에 각별한 관심을 가져야 할 것이다.

[표 2-2] 건설인력 수요 추정

구 분	건설 투자액 (단위 : 10억)	건설인력 수요 (단위 : 천명)
1998	61,890	1,929
1999	65,071	1,991
2000	68,416	2,054
2001	71,933	2,120

주) 국토개발 연구원 "건설기능인력 확보 및 육성방안"

3) 관급자재

관급자재의 적기조달지연, 납품업체의 품질문제, 사급으로 전환시 적정단가 미적용 등의 문제점으로 인한 대책은 관급자재를 폐지하고 시공자가 사급조

달하는 것과 위와 같은 문제점을 해결할 수 있는 제도적 장치를 마련하는 것이다. 제도적 장치라 함은 발주처의 경우는 관급자재의 적기공급, 필요시 적절한 변경, 사급전환시 대체사용 시점의 현실 가격에 의한 대가지불 등이 발주처에서는 시공자의 부담으로 전가하는 의식의 변화가 무엇보다도 중요하다고 하겠고, 공급업자의 경우는 적기 공급여부 및 품질보증 등을 반영한 평가체제를 구축하여 조달청에서 공급업자 선정시 이를 반영하는 방법 등을 들 수 있을 것이다.

4) 설계, 감리의 관계

선진외국의 경우 공사설계 단계에서의 경험과 지식이 시공단계로의 연결 및 부실설계에 대한 책임연계 등의 목적으로 설계 및 감리의 동시발주가 늘어나고 있는 추세에 있다. 이러한 경향은 오랜 경험에 따른 제도의 정비 및 높은 의식수준에 바탕을 둔 것이라고 생각된다. 그러나, 우리나라의 경우 이에 미치지 못하는 것이 현실이고 설계 및 감리가 동일업자에 의해 수행될 경우의 문제점을 고려하여 보다 성숙된 단계의 제도정비 및 의식수준의 향상이 이루어질 때까지 설계와 공사감리자가 분리시행 되어야 한다고 생각된다.

5) 준공후 안전점검 및 유지관리 체계의 확립

발주처 산하에 준공된 시설물의 안전점검 및 유지관리를 위해 적합한 규모의 상설 유지관리조직을 구성하고 예산을 확보하여 전담토록 해야 한다. 이를 보다 효율적으로 추진하기 위해서는 이와 관련한 특별법을 제정해야 할 것으로 생각된다. 이러한 체제를 확립하고 발전시킴으로써 해서 발주처, 설계자, 시공자, 감리자간의 하자문제에 대한 책임소재를 분명히 할 수 있고, 응당 그에 대한 책임을 지는 의식의 전환을 갖게 하고 사소한 결함이 중대건 설사고로 연결되는 것을 막을 수 있으며, 또한 시설물의 경제적인 내구연한을 확보하는데 크게 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

6) 하자이행증권 발급

가) 공종별 법정 의무기간 확인

발주처로 하자이행 보증서를 제출함에 있어 발주처의 요구에 의해 일괄로 발급하여 제출하는 예가 있으나 현장에서는 "국가를 당사자로 하는 계약에 관한 법률 시행령 제60조, 시행규칙 제70조(표4-2 참조)"에 의거 공종별로 금액 분류하여 보증서 발급후 발주처로 제출하여야 한다. 만약 발주처에서 거부시 법적 근거를 제시하여 하자이행 보증서 발급에 착오가 없도록 하여야 한다.

나) 공사의 종류별 하자담보 책임기간 (시행규칙 제70조 관련)

[표 2-3] 공사의 공종별 하자담보책임기간 (규칙 제70조 관련)

공 종	하자담보 책임기간
1. 건설업법에 의한 공사	
가. 교량	
(1) 교각과 교각사이의 간격이 50m 이상이거나 길이 500m 이상인 교량의 철근콘크리트 또는 철골구조부	10년
(2) 길이 500m 미만인 교량의 철근콘크리트 또는 철골구조부	7년
(3) 교량중 교면포장·이음부·난간시설등 「(1)」 및 「(2)」외의 공종	2년
나. 터널	
(1) 터널(지하철을 포함한다)의 철근콘크리트 또는 철골구조부	10년
(2) 「(1)」외의 시설	5년
다. 철도	
(1) 교량 및 터널을 제외한 철도시설 중 철근콘크리트 또는 철골구조부	7년
(2) 「(1)」외의 시설	5년
라. 공항 및 사도	
(1) 철근콘크리트 또는 철골구조부	7년
(2) 「(1)」외의 시설	5년
마. 항만·방파제·사방 또는 간척	
(1) 철근콘크리트 또는 철골구조부	7년
(2) 「(1)」외의 시설	5년
바. 도로(암거·측구 및 포장을 포함한다)	2년
사. 댐	
(1) 본체 또는 여수로부분	10년
(2) 「(1)」외의 시설	5년
아. 상·하수도	
(1) 철근콘크리트 또는 철골구조부	7년
(2) 관로매설 또는 기기설치	3년
자. 하천시설물	
(1) 하천제방상의 수문	5년
(2) 「(1)」외의 시설	3년
차. 관개수로 또는 매립	3년
카. 부지정지	2년
타. 조경시설물 또는 조경식재	2년
파. 발전·가스 또는 산업설비	
(1) 철근콘크리트 또는 철골구조부	7년
(2) 「(1)」외의 시설	3년
하. 기타 토목공사	1년
거. 건축	
(1) 대형공공성 건축물(공동주택·교정시설·종합병원·관광숙박 시설·관람집회시설 또는 대규모소매점과 16층이상 기타 용도의 건축물을 말한다. 이하 이 목에서 같다)의 기둥 또는 내력벽	10년
(2) 대형공공성 건축물중 기둥, 내력벽외의 주요구조부 또는 「(1)」외의 건축물중 주요구조부	5년
(3) 건축물중 「(1)」 및 「(2)」와 너목의 전문공사를 제외한 기타 부분	1년

공	종	하자담보 책임기간
너. 전문공사		
(1) 실내의장		1년
(2) 토공		2년
(3) 미장 또는 타일		1년
(4) 방수		3년
(5) 도장		1년
(6) 석공사 또는 조적		2년
(7) 창호제작 또는 설치		1년
(8) 지붕 또는 판금		3년
(9) 철물(가목 내지 거목에 해당하는 철골을 제외한다)		2년
(10) 철근콘크리트(가목 내지 거목에 해당하는 철근콘크리트를 제외한다)		3년
(11) 급배수·공동구·지하저수조·냉난방·환기·공기조화·자동제어·가스 또는 배연설비		2년
(12) 승강기 또는 인양기설비		3년
(13) 온실설치공사		2년
(14) 지하수개발공사		1년
(15) 건축물조립공사		1년
(16) 「(11)」 내지 「(15)」외의 건물내설비		2년
2. 전기공사업법에 의한 전기공사		
가. 터널식 및 개착식 전력구 송전설비공사(지중)		
(1) 철근콘크리트 또는 철골구조부		10년
(2) 「(1)」외의 시설		5년
나. 송배전관로공사(지중)		
(1) 송전관로공사		3년
(2) 배전관로공사		2년
다. 154KW급이상 철탑공사		3년
라. 변전소 설비(전기설비 및 기기설치공사)		3년
마. 배전선로공사		2년
바. 기타 전기공사		1년
3. 정보통신공사업법에 의한 정보통신공사		
가. 통신공구공사(터널식을 제외)		3년
나. 통신시설용 철탑·케이블설치공사·지하관로공사·교환기 등 통신시설용 기계설치공사		2년
다. 기타 정보통신공사		1년
4. 소방법에 의한 소방공사 등		1년

※ 제1호 너목 중 (13) (16), 제2호 다목, 제3호 등은 97. 1. 1자 시행규칙 개정으로 일부 변경

7) 하도급 업체의 하자보증서 미발급

어려운 건설경기가 계속되는 요즘은 하도급 업체의 부도가 속출하여 현장 및 당사의 피해가 증대되고 있는 실정이며 또한 공사중의 하도급 업체가 시공중인 공사에 대하여 부도시 하자이행증권 발급이 현실적으로 어려운 실정임(부도시 하자증권 발급 중지). 이에 하도급 계약시 연대보증제도 및 현장 전직원들의 평소 품질에 각별하고 세심한 관리를 하여 하자발생이 안되도록 심혈을 기울여야 할 것이다

3. 현장의 공종별 하자사례 (시공적 요인)

3.1 콘크리트 구조물의 하자사례 (교량, 지하구조물)

3.1.1 교면 포장 하자사례

1) 하자 내용

교량의 포장면에 Pot Hole 발생

2) 하자 원인

가) 교면 포장의 도막방수가 교량면에 접촉불량(청소/ 건조 불량)

나) 도막방수 시공시 교면 As-con Thk 8cm 이상 실시 (설계적 원인)

다) 석유화학제품 및 폐기물 운반차량에서 누출된 유해물로 As-con 및 도막방수층의 용해

라) 시공관리상의 원인 (교면의 요철, 텍코트 양생부족)

마) 재료의 불량 (과다한 AP 가열, 골재의 저열, 과열로 인한 배합불량)

3) 조치 사항

Pot Hole 발생부위 전면 재포장 (도막방수 → 침투식 교체)

4) 향후 개선방향

가) 교량의 교면 방수는 침투식공법으로 유도.

나) 교면방수를 도막방수공법으로 시행시 교량의 요철면을 최소화하여 균일한 두께의 포장을 요함.(포장두께 8cm 이상 실시오)

다) 포장 실시중 배차플랜트의 기록점검, 골재온도점검, AP가열온도 등 시방규정을 철저히 지켜 양질의 아스팔트가 현장에 도착하도록 유도(시험실 직원 현장 및 공장 상주)

라) 준공전 임시개통 구간의 현장은 과적차량 및 시공이외의 문제(통행차량의

유해물질 낙하 : 유조차, 화공약품 운반차량 등의 낙하물) 발견시 발주처로 문제제기 공문발송(시공이외의 문제에 관한 사항 사진촬영 포함)하여 하자 발생시 대응토록 자료를 본사로 우송(이관서류 첨부)요함.

3.1.2 콘크리트 구조물의 크랙 및 재료분리 하자사례 (교량, 지하구조물)

1) 하자 내용

가) 교량 Slab의 Crack 및 재료분리

나) 지하구조물(지하철 통로Box)의 Crack 및 재료분리

2) 하자 원인 및 향후 대책

가) 시공상 결함에 관계되는 것

균열 원인		균열 특 징	대 책
레미콘의 장시간 믹싱		- 전면에 망상균열이나 길이가 짧은 불규칙한 균열	- 현장직원의 철저한 제품관리 및 콘크리트 타설시 대기시간이 없을 것
배근의 혼란, 철근의 피복두께 감소		- 바닥 슬래브에서는 주변에 따라서 원호상 또는 철근의 표면에 연하여 발생	- 철근조립전 현장직원의 사전 도면검토, 기능공의 교육, 철근조립중 중간검토 및 품질관리 인식고취 필요
콘크리트 타설 작업방법 불량		- 각종 균열의 시작이 되는 원인 많음	- 콘크리트 타설 시간엄수 및 바이브레타 한곳에만 집중사용 금지
거푸집 변형		- 거푸집의 움직인 방향으로 부분적 발생되나 준공후 크랙이 발달됨.	- 거푸집 조립후 수일이 경과되면 거푸집의 변형이 발생. 거푸집 조립후 조속한 시일내에 콘크리트 타설 및 지반의 처짐 발생 방지
이음면 처리의 불량		- 콘크리트의 이음면 및 콜드조인트 발생으로 부분균열 발생	- 콘크리트 이음면 흠파기 실시, 철저한 청소, 대기시간 등을 없애 이음면 처리 철저 (1차 콘크리트 타설후 즉시 흠파기 실시 및 신규접착시 철저)
경화전의 진동 및 적재		- 거푸집의 조기탈형 및 양생전의 물건적재 등으로 인하여 초기균열 발생 - 각종 균열의 발생원인 많음	- 큰부재의 콘크리트, 타설고가 높은 부재의 콘크리트는 시간과 타설순서 및 재령 유지후 거푸집 제거 요망
초기 양생의 불량	급격한 건조	- 혹서기, 혹한기 타설시 습윤 양생 불량 - 타설직후 표면의 각부분에 짧은 균열이 불규칙적으로 발생	- 양생과정의 습윤 및 보온대책을 허용 온도까지 철저 유지
	초기 동결	- 미세균열, 탈형한 콘크리트의 백태, 스케일링	- 양생과정의 보온대책(열풍기, 난로, 보일러)을 허용온도까지 철저 유지
지보공의 침하		- 동바리 침하로 인하여 단부 중앙 및 중앙부 하단에 발생	- 동바리 설치전 기초지반의 지내력을 설계 규정치 확보후 콘크리트 타설
재료분리		- 표면골재노출(재료분리)	- Slump 조절로 재료분리 방지-과다한 진동으로 시멘트몰탈 누출 금지 - 바이브레타 다짐철저(골고루)
증기양생에 의한 균열		- 망상균열이나 불규칙한 균열	- 증기양생 과정을 실시할 경우 온도상승, 하강의 허용규정 온도 유지

나) 콘크리트 재료적 성질에 관계되는 것

균열 원인	균열 특징	대책
시멘트의 이상응결	- 폭이 크고 균열이 비교적 초기에 불규칙적으로 발생	- 시험실에서 철저한 제품검수
시멘트의 이상팽창	- 방상형의 망상균열	- 시험실에서 철저한 제품검수
콘크리트의 침하 및 블리딩	- 타설후 1~2시간에서 철근의 상부나 벽, 바닥의 상의 균열 발생	- 현장 가수 금지, 바이브레타 과다사용 (한곳에만 집중적으로 시행)금지
시멘트의 수화열	- 단면이 큰 콘크리트에서 1~2주부터 직선상의 균열이 같은 간격으로 규칙적으로 발생, 표면과 부재를 관통하는 것도 있음	- 단면이 큰 부재는 수화열 방지대책(스프링쿨러, 습윤유지등) 수립후 타설
콘크리트의 경화, 수축	- 2~3개월부터 발생, 점차로 생성	- 충분한 습윤유지 및 양생 실시 요함
반응성 골재나 풍화암의 사용	- 콘크리트 내부에서 폭열상으로 발생, 다습한 장소에 많음	- 콘크리트 재료선정시 철저한 시험후 재료선정

다) 사용, 환경조건에 관계되는 것

균열 원인	균열 특징	대책
환경 온도, 습도의 변화	- 혹서기의 콘크리트 타설로 인하여 발생된 균열은 온도, 습도 변화에 따라 변화	- 혹서기는 가능한 아침, 저녁에 콘크리트 타설, 불가피하게 타설시 수화열 방지대책 수립 후 타설
부재 양면의 온도, 습도차	- 저온측 또는 저습측의 표면에 횡방향과 직각방향으로 발생	- 혹한기 타설시 방온대책 철저 수립
동결, 용해의 반복	- 콘크리트 표면이 스케일링을 일으켜 곰보현상을 나타냄	- 혹한기 콘크리트 타설후 보온시설을 충분한 기간동안 실시(설계강도)
화재 및 표면가열	- 표면전체에 거북등 모양의 미세균열 발생	- 준공전 현장의 기능공 교육철저 및 반복
내부철근 녹에 의한 팽창	- 철근의 녹에 의하여 큰 균열 발생. 피복콘크리트가 탈락하고 녹이 유출	- 외부의 공기로부터 유입으로 철근의 산화진행으로 팽창되는 크랙을 시급히 보수
산·염류의 화학작용	- 콘크리트 표면이 침식, 팽창성 물질이 형성되어 전면에서 크랙 발생	- 현장 시험실에서 모래, 자갈, 시멘트 등 철저한 품질검수 실시

라) 구조, 외력 등에 관계되는 것

균열 원인	균열 특징	대책
과하중 (휨응력)	- 인장 측에서 수직으로 균열 발생	- 착공전 구조물의 설계검토는 필히 전문가에게 의뢰하여 설계적 하자는 철저히 파악 후 사전에 조치 (발주처 설계변경 및 실행예산 편성시 반영)
지진, 적재하중 (전단응력)	- 주부재에서 45° 방향으로 균열발생	- 착공전 구조물의 설계검토는 필히 전문가에게 의뢰하여 설계적 하자는 철저히 파악 후 사전에 조치 (발주처 설계변경 및 실행예산 편성시 반영)
구조물의 부등침하	- 45° 방향으로 큰 균열발생	- 구조물 터파기시 충분한 지내력 확보 후 기초콘크리트 타설 - 현장 시공관리직원의 안전의식 고취

3.2 교량의 하자사례

3.2.1 교량의 교좌장치 하자사례(편심 발생)

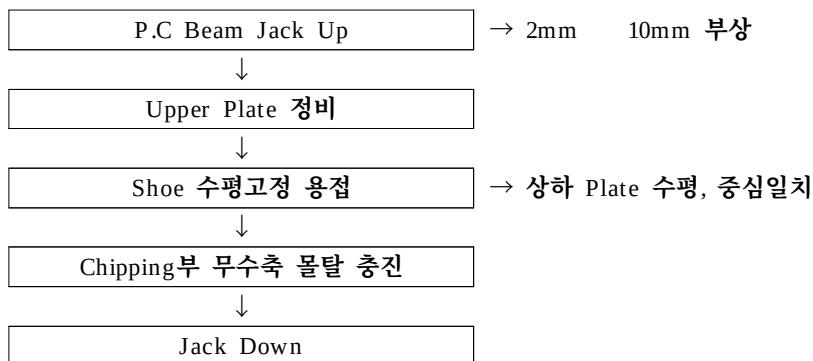
1) 하자 내용

교좌장치의 편기 : 교좌장치의 편기가 허용기준치 1.5cm 이상 발생

2) 하자 원인

Lower Plate의 수평상태의 현상으로 보아 Upper Plate의 Setting 오차 또는 P.C Beam 거치시 무리한 충격으로 변형초래 추정

3) 조치 사항



4) 시공시 유의사항

가) 시공시 온도에 의한 지간의 변화를 고려한 위치선정

나) 정확한 Level 확인

다) 상부 Beam 거치시 교좌장치 손상 주의

5) 향후 개선방향

교좌장치는 교량의 사하중, 활하중, 온도변화량, 처짐, 마찰 등의 하중을 반복

적으로 흡수하는 장치로써 교량의 기능유지 및 사용성에 막대한 영향을 주는 부분이므로 손상시 교량의 중대한 하자가 발생할 우려가 있다.

3.2.2 교량의 교좌장치 하자사례 (가동단)

1) 하자 내용

가) 가동단의 활동공간 부족 발생(본 교량은 5.5cm의 활동여유량 중 한쪽으로 치우쳐 1cm 미만으로 됨)

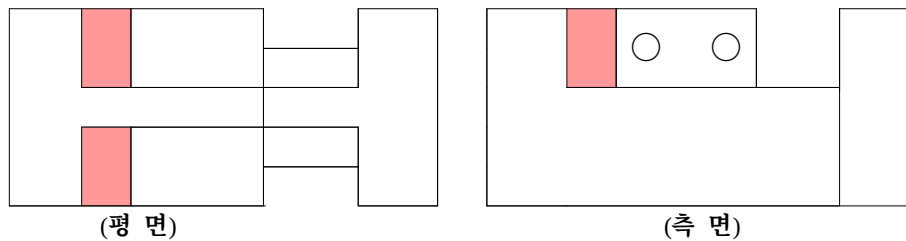
나) 가동단의 활동공간 부족, 무수축물탈 및 교각부위 손상이 예상됨

2) 하자 원인

교좌장치 설치시 당시의 온도 및 가동량 등을 확인하지 않고 설치

3) 조치 사항

Side Block 에 접촉되는 Upper Plate 부분을 절단하여 활동공간 확보



4) 향후 개선방향

교좌장치의 가동단은 상부구조물의 신축 및 변형에 적절하게 대응하여 교좌장치의 기능을 발휘하도록 된 교량의 중요한 부분중 한곳으로서 향후 교좌장치 설치시 가동량 확인 및 온도변화를 고려하여 설치

3.2.3 교량 Expansion Joint 하자사례

1) 하자 내용

교량 Expansion Joint의 Transflex Type 사용으로 인한 고무판 마모 및 파손현상 발생

2) 하자 원인

가) 교량 Expansion Joint의 Transflex Type은 타공법(횡거식, 레일식, 모노셀 등) 보다 수명이 짧고 하자 발생빈도가 많음.

나) 기존 준공현장에 있어서 준공 후 5년 이내에 1회이상 하자 발생하고 있는 현장이 많음.

다) 차량통행으로 인하여 토공 및 아스콘 과밀다짐 발생하여 Expansion Joint

부위가 차량 직접충격 받음으로 고무판 조기 마모 및 파손이 쉽게 일어남.

3) 조치 사항

Transflex Joint 고무판 교체 보수완료

가) 보수시 차량통행으로 안전 위험

나) 보수비용 과다소요

4) 향후 개선방향

가) 현재 공사중인 현장에서는 가능한 타공법으로 설계변경을 요함. (횡거식 이 하자발생빈도가 최소로 발생)

나) 불가피하게 Transflex Type 사용할 때 포장면보다 0.5 ~ 1.0cm 낮게 시공 : 토공부의 포장면이 차량통행으로 과 압밀현상 발생하여 토공부 포장면 1.0cm, 교량 포장면 0.5cm 낮게 시공 요함

다) 무수축 콘크리트(후타재) 타설시 배합비를 정확하게 맞추어 설계 강도 유지토록 철저한 품질관리를 요함.

3.2.4 교량 배수구 주변 누수 하자사례

1) 하자 내용

가) 교량의 배수구 주변 이격되어 누수발생

나) 관주변 채움 콘크리트 미설시

2) 하자 원인

가) 교량 Slab 콘크리트 타설전 배수 Pipe 삽입용 홈을 만들어 콘크리트를 타 설후 배수 Pipe 삽입으로 인하여 주변 누수발생

나) 교량 하부면에 누수가 되어 전체적으로 미관저해 요인이 있음.

3) 조치 사항

배수구 교체로 보수완료

4) 향후 개선방향

교량 슬래브 콘크리트 타설전 배수 Pipe 고정 설치하여 함께 시공을 하여야 하자방지 및 미관 양호할 것임.

3.3 P.C Beam 하자사례

1) 하자 내용

주형에 종방향 및 횡방향 균열 발생

2) 하자 원인

주형의 균열은 건조수축, 강선인장(Post tension)시, P.C Beam 거치시 발생

된 것으로 추정.

3) 조치 사항

Injection Grouting Epoxy 공법으로 보수완료

4) 향후 개선방향

P.C Beam 제작시 충분한 양생 및 강선인장시 설계시방에 맞게 감독 철저.

3.4 포장의 하자사례

1) 하자 내용

토공 침하로 포장면 크랙 및 침하 발생

2) 하자 원인

구조물(지하Box) 시공후 뒷채움 미흡으로 인하여 토공침하 발생

3) 조치 사항

가) 침하부분 재포장 실시

나) 차선도색 실시

4) 향후 개선방향

가) 토공다짐이 시방규정에 의한 다짐허용치 준수

나) 지하구조물 완성후 뒷채움 다짐시 철저한 다짐 요망

다) 현장직원들의 세심하고 철저한 품질관리 실시

3.5 농업용수의 하자사례

1) 용수잠관 하자사례

가) 하자 내용

농업용수 지하잠수용관($\Phi 2100\text{mm}/\text{m}$)이 연결부위가 20cm 가량 이격되어 도로부분으로 용수분출

나) 하자 원인

잠수용관 시공시 상기위치에 지장물($\Phi 450\text{mm}/\text{m}$ 송수관) 통과로 인한 하자 지점의 지반다짐 불가하여 다짐미흡으로 잠수용관 이격 발생

다) 조치 사항

① 잠수용관 이격부위를 지상으로부터 찾아 누수지점 콘크리트로 보호몰탈 타설

② 잠수용관 내부 에폭시 몰탈 처리

라) 향후 개선방향

향후 가능하면 공사 착공전 지장물 위치 파악후 발주처와 충분한 협의를

거처 노선변경 및 보완공법(기초 콘크리트 및 지반개량) 유도하여 하자발생 금지.

3.6 수로교 Joint 누수 하자사례

1) 하자 내용

가) 수로교 기초콘크리트와 벽체콘크리트 연결부위 누수

나) Expansion Joint 누수

2) 하자 원인

가) 수로교 기초콘크리트 타설후 구체콘크리트 타설시 연결부위의 레이턴스 미제거 및 신구접착부위 흠파기 미실시로 크랙 발생되어 누수

나) 시공시 조잡시공

다) 조치 사항

① 누수부위 습식용 Injection Grouting Epoxy 보수

② 하자 Expansion Joint 부위 철거후 재보수 (탄성 에폭시)

라) 향후 개선방향

① 콘크리트 타설전 기초와 구체 콘크리트 접합부위 레이턴스 제거 및 흠파기 실시하여 구체연결 콘크리트 타설 요망

② 벽체 Joint 설치시 철저한 점검 및 기능공의 품질관리 인식 고취

SOIL & ROCK에 대한 들밀도 시험방법

건설기술연구소 토목대리 이재호

현재 사용되고 있는 들밀도 시험은 25mm이하의 골재에 대해서만 사용되도록 규정하고 있으나, 실제 현장에서 사용시 이 최대입경이 국내 기준을 초과한 경우가 빈번히 발생하고 있다. 그러나 이에 대한 국내기준이 없으므로 시험에 어려움을 겪는 경우가 있어 외국 ASTM자료에서 이와 관련한 자료를 제시하여 현장 시험에 도움을 주고자 한다. 아래의 시험방법들은 시료의 최대입자크기가 75mm 125mm일 경우 ASTM 4914(모래치환법)에 대한 시험방법이다.

Standard Test Methods for Density of Soil and Rock in Place by the Sand Replacement Method in a Test Pit(ASTM D 4914)

1. 범위

- 1.1 이들 시험방법들은 시험구멍의 체적을 결정하기 위해 개량된 모래와 쏟음 장치를 사용하여 흙과 돌의 단위중량과 현장밀도를 측정하도록 하는 것을 포함한다. 이들 시험방법에서 "rock"이라는 단어는 시료가 일반적으로 3in(75mm)보다 큰 입자를 의미하는 것으로 사용되어진다.
- 1.2 이들 시험방법들은 1 ft³(0.03 0.17m³)의 체적을 가지는 시험구멍에 가장 적합하다. 일반적으로 시험된 시료들은 3 5in(75 125mm)의 최대입자크기를 가진다.
 - 1.2.1 이들 시험방법들은 원한다면 보다 큰 크기의 구멍을 사용할 수 있다. 그러나 보다 큰 크기의 구멍에 대하여는 시험방법 D 5030에 언급되어있다.
 - 1.2.2 시험방법 D 1556과 D 2167은 대체적으로 1ft³(0.03m³)보다 작은 시험구멍들의 체적에서 사용되어진다. 이들 시험방법에서 설명한 장비들이 1 ft³(0.03m³) 보다 적은 체적들에 사용되었다면 이 시험방법들은 필요할 때 사용될 수 있도록 보다 큰 치수의 장비를 허용한다.
- 1.3 두 시험방법은 아래사항을 위해 준비되어졌다.
 - 1.3.1 시험방법 A - 총 시료의 현장밀도와 단위중량(9절)
 - 1.3.2 시험방법 B - Control Fraction의 현장밀도와 단위중량(10절)

1.4 시험방법의 선택

1.4.1 시험방법 A는 총 시료의 현장단위중량을 결정할 경우에 사용되어진다. 시험방법 A는 또한 시험되어질 현장시료에서 나타난 최대입자크기가 Lab 다짐시험(시험방법 D 698, D 1557, D 4253과 D 4254에 언급된)에서 허용된 최대입자크기보다 초과해서는 안될 때 상대밀도와 다짐율을 결정하기 위해 사용될 수 있다. 단지 시험방법 D 698과 D 1557을 위해서라면 Lab 다짐시험에서 결정된 단위중량은 실습 D 4718의 한계에 영향을 받거나 D 4718의 큰 입자크기에 따라 수정되어질 수 있을 것이다.

1.4.2 시험방법 B는 상대밀도와 다짐율이 결정되어지고 현장시료가 Lab 다짐시험에서 허용한 최대입자크기보다 큰 입자들을 함유할 때나 실습 D 4718이 Lab 다짐시험에 적용되지 못할 때 사용되어진다. 그 때 시료는 두 개의 Fraction 또는 부분으로 구성되어있다는 것을 고려하여야 한다. 현장단위 중량시험에서 시료는 물리적으로 정해진 체 크기로 큰 Fraction과 Control Fraction으로 나누어진다. Control Fraction의 단위중량은 Lab 다짐시험에 의해 산출된 단위중량과 비교되거나 계산되어진다.

1) 입자간섭(Practice D 4718에서 보면)이 있을 때 발생하는 가능한 낮은 밀도들 때문에 control fraction의 다짐율은 야외에서 총 재료의 다짐율을 재현한다고 가정할 수는 없다.

1.4.3 일반적으로 Control Fraction은 점착력이 있거나 잘 통과되지않는 재료인 최소 No.4체 크기이거나 점착력이 없거나 잘 통과하는 최소 3-in 체 크기 재료이다. 다른 크기의 Control Fraction (3/8, 3/4-in)가 사용되더라도 이들 시험방법은 분명하게 오로지 No.4와 3-in 체 크기들을 사용하도록 하였다.

1.5 손도구들로 굴착할 수 있는 어떤 재료들은 중량에 의해 공극이나 구멍이 열림으로서 시험에 사용된 개량 모래가 자연공극으로 들어가지 않게 충분히 작게 되도록 시험되어져야 한다. 시험하는 재료들은 이 시험의 완성도에 따라 시험 구멍을 굴착하는 동안 안정적인 측면들을 유지하도록 점착력이나 입자결속력을 충분히 가지고 있어야 한다. 모래를 채우고 구멍을 파는데 누르는 최소 압력에 의하여 변형이나 진흙구덩이가 되지 않게 충분히 단단하여야 한다.

1.6 이들 시험방법들은 일반적으로 불포화상태의 재료로 제한되고 손으로 굴착한 구멍속에서 물이 스며나오는 습한상태이거나 부드럽거나 부서지기 쉬운 재료는 권하지 않는다. 시험의 정확도는 시험동안에 구멍 근처에서 걷거나 서 있는 경우 굴착된 구멍에서 체적변화를 경험할 수도 있고 변형되기 쉬운 재료의 영향을 받을 수도 있다.

1.7 inch-pound 단위상태에 있는 값들은 기준이며, 괄호안에 주어진 값들은 단지 참고용이다.

1.7.1 엔지니어 전문직에서는 동적계산들($F=Ma$)가 포함되는 한 질량과 힘 둘다 교환할 수 있도록 표현되는 단위를 사용하는 것이 보통이다. 이것은 함축적으로 두 개로 나뉜 단위체계 즉, 절대 시스템과 중량에 측정된 시스템을 결합시킨 것이다. 단일 기준내에서는 두 개의 별개 체계의 사용을 조합하는 것은 과학적으로 바람직하지 못한 것이다. 이들 시험방법들은 힘의 단위(중량)를 표현하는 pound(lbf)로서 inch - pound 단위들(gravimetric system)을 사용하여 쓰여졌었다. 그러나, 변환은 SI 체계로 주어진다. 질량의 pound(lbm)를 기록하거나 lbm/ft^3 으로 밀도를 기록하는 저울이나 접시 저울의 사용은 이들 시험방법들을 벗어나는 것처럼 여겨지지는 않는다.

1.8 이 기준은 위험한 재료들, 작동, 장비들을 포함할 수 있다. 이 기준은 이것의 사용과 관련한 모든 안전문제들을 다루기 위한 목적은 아니다. 사용에 앞서 규정한계의 적용을 결정하고 대략적인 안전을 보장하도록 하는 것은 이 기준 사용자의 책임이다. 특히 위험상태이라면 6과 A1.5 절을 보십시오.

2. 전문용어

2.1 정의

2.1.1 2.2에 다음 사항을 제외하고는 모든 정의들은 용어 D 653을 따른다.

2.2 이 기준서에 특별한 항들의 설명

2.2.1 Control Fraction - 정해진 체 크기보다 작은 입자들로 구성된 토질샘플의 일부

토론 : 이 fraction은 표준 실험실 시험에서 얻어진 단위중량과 현장단위중량을 비교하여 사용되어진다. 이 control 체 크기는 사용된 시험실 시험에 좌우된다.

2.2.2 Oversize 입자들 - 정해진 체 크기보다 큰 입자들로 구성된 토질 sample의 일부

3. 시험방법 요약

3.1 시험위치의 지표면을 정하고 형판(금속틀)을 놓고 지점에 고정시키십시오. 형틀과 지표면사이에 공간체적은 쏟음 장치를 사용하여 계산(개량)된 모래로 공간을 채움으로서 결정되어진다. 현장의 형틀을 채우는 데 요구되는 모래의 중

량을 측정하고 모래를 제거한다. 형틀 경계선 내부에 재료는 구덩이를 형성하도록 굴착한다. 개량 모래로 바로 구덩이와 형틀 안으로 쏟아넣는다.; 구덩이 내부의 모래중량과 구덩이의 체적은 측정되어진다. 현장시료의 습윤밀도는 측정된 시험구멍의 체적과 제거된 시료의 중량으로부터 계산되어진다. 습윤함량이 결정되어지고 현장시료의 건조단위중량이 계산된다.

- 3.2 시료의 Control Fraction의 단위중량은 초기값과 재계산된 단위중량으로부터 어떤 oversize 입자들의 체적과 중량을 뺌으로서 결정할 수 있다.

4. 중요성과 사용

- 4.1 이들 시험방법들은 흙 제방, 도로 채움과 구조물 뒷채움의 건설공사에서 다져진 재료의 현장단위중량을 결정하는 데 사용되어진다. 건설공사 조정을 위해서 이들 시험방법들은 1.4에서 논의된 한계들에 영향을 받게되는 표준시험실 시험방법(시험방법 D698 또는 D1557로 결정된 것처럼)에 의해서 결정된 최대단위중량의 퍼센트이거나 명시된 단위중량으로 다져진 재료를 승인하기 위한 기초로서 가끔 사용되곤 한다.
- 4.2 이들 시험방법들은 자연적인 흙 매장물들, 골재들, 흙 혼합물들 또는 다른 유사한 재료들의 현장단위중량을 결정하기 위해서 사용되어질 수 있다.

5. 장치

- 5.1 접시저울 또는 저울 - 0.01 lbm(1g)을 읽을 수 있는 저울로 기준 D 4753의 요구사항을 부합하고, 최소 50 lbm(20kg)의 용량을 가지며 굴착된 토질과 개량 모래의 중량을 측정하기 위한 저울(또는 접시저울)
- 5.2 접시저울 또는 저울 - 0.1g을 읽을 수 있는 저울로서 기준 D 4753의 요구조건을 만족하고 최소 1000g의 용량을 가지며 No.4 보다 적은 재료의 습윤함량을 측정하기 위한 저울
- 5.3 건조기 - 자동온도조절장치가 있어 건조실을 내내 일정온도 $110 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 를 유지할 능력이 있고 강제 통풍되는 형태의 오븐
- 5.4 체 - 기준서 E 11의 요구조건을 따르는 No.4(4.75mm)체와 3in(75mm)체
- 5.5 금속 형틀 - 굴착을 위한 형태로서 제공되는 원형이나 사각형틀. 형틀치수, 모양과 재료들은 굴착되는 시험구멍의 크기에 따라 다양하다. 형틀은 처짐이나 휘지않게 충분히 단단해야한다.
- 주의 1. <그림 1>에서 보여주는 형틀은 이 목적에 적합한 디자인을 나타낸다.

<그림 1> Typical Metal Template for Excavating Test Pit

- 5.6 Liner - 대략적으로 1/2-mil 두께와 형틀 바깥쪽까지 연장하여 약 1ft(0.3m)를 가지는 시험구멍의 경계보다 충분히 커야 한다. 플라스틱 등 어떤 형태의 재료든 길고 지표면에 밀착이 되도록 충분히 탄력성이 있어야 한다.
- 5.7 모래 쏟음 장치 - (일반적인 장치로서 <그림 2>를 보시오) 많은 형태의 쏟음 장치들이 가능하다. 이 장치는 분출 끝에서 모래 표면까지 거리가 약 2in(50mm)를 유지하여 현장시험구멍속으로 쏟아지도록 분출될 수 있어야 한다. 분출구의 안쪽 직경은 막힘없이 모래가 나올 수 있도록 충분히 커야 한다.
- 5.8 금속 직선자 - 적어도 1/8 in (3mm) 두께와 약 2in(50mm) 높이, 금속형틀의 측면길이(또는 직경) 1.5배의 길이는 형틀에 놓여진 여분의 모래를 걷어내는데 사용된다. 여분의 모래를 걷어내는데 휘어지지 않도록 단단하거나 두꺼워야 한다.
- 5.9 모래 - 모래는 깨끗하고, 건조하며, 균질하고, 접착되지않고, 영구적이고, 흐름이 자유로워야 한다. 등급, 물리적 특성, 단면, 모래저장은 최대입자크기가 No.4(4.75mm)체인 것을 제외하고 시험방법 D 1556의 요구조건을 만족하여야 할 것이다.
- 5.9.1 시험방법이 약 6ft³(0.17m³)보다 큰 시험구멍들에 사용된다면 완두콩같은 자갈처럼 큰 입자크기와 작은 입자들이 상대적으로 자유로운 one-size 재료가 사용되어질 수 있다.

5.10 기타 장비들 - 시험표면을 고르기 위한 삽; 형틀을 정착시키기 위한 햄머; 분류된 작은 브러쉬, 집게, 정, 막대기, 칼 그리고 시험구멍을 파기위한 손가락들; 뚜껑이 있는 양동이, 뚜껑이 있는 이음매가 없는 캔, 습기변화가 없이 모래나 시험샘플을 보관할 수 있는 다른 적당한 용기; 자루나 폐모래등을 담은 다른 적당한 용기들 ; 여분의 모래나 흙들을 덮을 천; 분류된 팬과 습기를 함유한 견본을 건조시키기 위한 적당한 도자기 접시들

<그림 2> Typical Sand Pouring Devices

6. 위험요소

6.1 예방조치

- 6.1.1 이들 시험방법은 무거운 하중을 손으로 다룰 수 있다.
- 6.1.2 여기 이외에서 생산되어 사용되는 어떤 모래들은 지지분하여 혼합하고 쏟아낼 때 적당한 예방조치를 취하여야 한다.

6.2 주의

- 6.2.1 시험하는 동안에 변형이나 흐를 수 있는 재료들은 확인을 하여야 하고 적절한 예방조치를 가져야 한다.
- 6.2.2 즉시 시험장소로 무거운 장비의 이동은 체적측정동안에는 허용되지 않아야 한다.
- 6.2.3 오차들은 흙에서 과도한 습기의 영향으로 재료의 단위중량을 계산하는 데 발생할 수 있다. 이들 오차는 시험구멍바닥이 지하수층의 밑이거나 근접해 있는 모래나 자갈같은 높은 투수성을 가지는 재료에 있어 중요성을 가진다. 오차들은 시험이 진행되는 동안에 물이 솟아오르거나 모세관현상에 의해 스며들게됨으로서 측정된 모래의 밀도가 변화함으로서 발생할 수 있다. 이 문제는 습한 모래가 시험구멍의 측면과 바닥에서 관찰되고 시험구멍에서 측정된 모래를 제거했을 때 분명하게 알 수 있다. liner을 사용했을 때 liner 뒤나 바로 밑에 자유수의 부력이 체적측정에 부정적 영향을 미칠 수 있다.
- 6.2.4 비, 눈 또는 강한바람과 같은 혹독한 날씨 기간동안에 시험장소와 장비들을 적절하게 보호하여야 한다. 현장함수비 값이 요구된다면 직사광선으로부터 그 장소를 보호할 필요가 있다.
- 6.2.5 이들 시험방법을 수행하는 동안에는 수많은 용기들이 요구되어진다. 가능한 혼동되는 것을 피하기 위하여 모든 용기에 적절하게 라벨을 하십시오.
- 6.2.6 측정된 모래 또는 흙 샘플의 총 중량 둘 다 중량의 누적치를 요구하도록 사용되므로 저울의 용량을 초과할 것이다. 총 중량을 적정하게 결정하여 안전하게 취급하십시오.
- 6.2.7 밸브가 있는 쏟음 장치들은 밸브가 완전히 각각 개방될 수 있다면 시험에서 시험까지 일정한 모래흐름을 제공한다. 부분적으로 개방되는 밸브는 장치의 흐름특성을 변경하는데 중요할 수 있다. 각 개개의 쏟음 장치는 별도의 장치로부터 모래가 흐를 수 있도록 하는 단일 특성을 가진다. 최종 교정값들은 이들 흐름특성들에 변화에 의해서 영향을 받는다. 결과적으로 교

정값들은 동일하게 나타나는 장치들에서 조차도 교환되지 않는다.

- 6.2.8 쏘음 작동동안에 모래가 새어나오는 쏘음 장치를 사용하지 마십시오. 쏘음 장치로부터 쏟아지는 모래의 유출크기가 일정해야 됩니다. 쏘음 장치의 저장용량이 한번 쏘음으로서 시험구멍에 채워지기에 매우 작다면 시험구멍을 채우도록 두 개 또는 그 이상 쏘아 사용하십시오. 저장용기의 약 $4/3$ 이 비어있거나 유출크기가 작아지기 전에 모래의 유출을 멈추십시오. 저장용기를 다시 채우고 쏘음을 다시 반복하십시오.

- 6.2.9 쏘음 장치들이 일정한 결과들을 얻어야 된다면 다양하게 모래가 떨어지는 거리를 조심스럽게 조정하여야만 할 것이다. 유출구 끝에서 쏟아지는 표면까지 $2in(50mm)$ 의 거리를 권한다. 떨어지는 거리에 변동은 결과에 중요한 영향을 끼친다. 떨어지는 거리는 쏘음 장치를 조정하는 작동자의 능력이나 그렇게 하는 동안에 떨어지는 거리의 작동자 판단에 의해서 직접적으로 영향을 받는다. 이것은 초기 $50lbm(20kg)$ 또는 그 이상의 중량을 가지는 쏘음 장치가 시험구멍속으로 모래를 흐르게 함으로써 중량이 일정하게 변화하도록 붙들고 있는 것이 갑작스럽게 쏟아지는 것을 포함한다. 교정값들은 장치와 장치에서 교환되지않고 각 조작자에게는 필수적으로 교환되지 않는다. 개개의 조작자는 다른 조작자의 평균 1% 이내로서 적정하게 그들이 그것들을 사용하기 전 장치들에 대한 교정값들을 교정할 수 있다는 것을 설명해야 한다. 다른 한편으로 다양한 조작자에 대한 분리교정은 요구되어진다.

7. 교정과 표준화

- 7.1 부록 A1에 따라서 모래 쏘음 장비와 모래를 교정하십시오.

8. 시험방법 A, 과정 - 총 시료의 단위중량과 현장밀도

- 8.1 총 단위중량을 결정하기 위해 시험방법 A를 사용하십시오.(1.4를 보십시오)
- 8.2 부록 A2에 따라서 앞에 시료등급에 대한 대략적인 형틀을 선정하고 권고한 샘플 체적을 결정하십시오. 요구된 장비의 나머지를 조립하십시오.
- 8.3 굴착된 재료를 포함할 빈용기, 뚜껑, 용기 liner의 각 결합의 중량을 측정하십시오. 용기의 번호와 사용에 있어 표시를 하십시오. 용기의 중량을 기록하고 분리하여 list를 준비하십시오.
- 8.4 사용되어질 모래의 양을 준비하십시오.

- 8.4.1 개량한 모래의 두 세트는 필수적이다. 시험구멍의 체적을 측정하기 위해서 흙표면과 형틀의 윗면사이의 공간을 채우는 데 사용된 모래의 중량을 측정(1)하고 형틀의 윗면까지 시험구멍을 채우는 데 사용된 모래의 중량을 측정(2)하는 데 두 개로 분리된 sand pour가 요구된다. 두 개의 차이점은 시험구멍에 모래중량이다.
- 8.4.2 흙표면과 형틀위까지의 사이에 공간을 채우도록 요구되는 용기의 수와 개량된 모래의 중량을 산출하여라. 개량된 밀도에 의해서 여러형태의 형틀체적에 따라 산출된 중량을 계산하십시오. 예를 들면 "template correction"와 같이 사용하는 표시와 사용되어질 용기에 번호를 기입하십시오. 모래로 용기를 채우십시오. 용기와 모래의 중량을 분리한 list에 기록하고 측정하십시오.
- 8.4.3 시험구멍의 예상 체적에 따라서 시험구멍을 채우는 데 요구된 개량한 모래의 중량을 산출하십시오. 충분한 모래 공급이 현장에서 가능하고 9.4.2에서 계산한 모래의 중량을 더하였을 때 견딜수 있도록 약 25% 정도까지 양을 증가시키십시오. 개량된 모래의 밀도에 따라서 시험구멍의 복잡한 예상 체적으로 시험구멍에 대하여 사용될 수 있도록 산출된 중량을 계산하여라. 그것들의 번호가 요구되는 수 많은 용기들과 예를들면 "test pit"를 사용하는 것처럼 표시하십시오. 모래로 용기를 채우시오. 용기와 모래의 중량을 분리하여 list에 기록하고 측정하십시오.
- 8.5 큰 입자들을 제거하면서 형판 밑을 굴착하는 위치를 피하기 위하여 대표적인 장소를 선정하여라.
- 8.6 시험되어질 위치의 표면을 정리하여라.
- 8.6.1 형틀이 놓여질 위의 충분히 큰 면적에 걸쳐있는 모든 재료를 제거하십시오. 편평하고 단단하도록 돌출된 표면을 정리하십시오.
- 8.6.2 개개인이 시험을 하기 위해 선택한 면적위를 밟지 마십시오. 흐르거나 변형이 있는 재료들을 시험할 때 작업형틀을 준비하십시오.
- 8.7 정리된 표면위에 형틀을 놓아두십시오.
- 8.7.1 시험하는 동안에 형틀이 움직이는 것을 피하기 위해서 형틀을 견고하게 놓도록 해머를 사용하십시오. 못의 사용, 무게 또는 다른 의미들은 위치를 고정시키는 데 필요할 수 있다.
- 8.7.2 형틀아래의 어떠한 공극도 남아 있지 않도록 조심하여 형틀을 고정하거나 놓을 동안에 걸쳐져있는 어떠한 재료도 제거하십시오. 만약 필요하다면 가소성의 흙, 변형점토, 또는 다른 적정 재료들, 이 재료가 시험구멍에서 제

거된 시료의 일부와 같이 결과적으로 굴착된 것이 아닌 것으로 형틀아래의 공극의 채우시오.

8.8 흙표면과 형틀 위까지의 공간을 채우기 위해 사용된 모래의 중량을 측정하십시오.

8.8.1 형틀내부에 흙 표면의 불규칙성을 고려해야만 한다. 이렇게 함으로써 흙표면과 형틀상단사이의 공간을 채우는 데 요구되는 모래의 중량이 측정된다.

8.8.2 형틀 중앙구멍보다 약간 큰 구멍을 가지는 천으로 어떠한 초과 모래나 널려있는 재료 또는 돌 다 놓아두거나 모으기 쉽도록 형틀을 덮어 놓아둔다.

8.8.3 불규칙한 흙 표면과 형틀을 손으로 고정할 수 있도록 형틀과 형태의 전반에 걸쳐 liner(대략 1/2-mil 두께)를 놓아두어라. liner는 형틀의 외측 대략 1ft(0.3m) 연장할 수 있다. liner는 과도하게 접거나 주름이 지지않고 너무 팽팽하게 긴장되지 않아야 한다.(그림 3을 보면)

8.8.4 모래 쏟음 장치를 사용하여 형틀 안쪽에 liner 위에 개량된 모래를 부어라.(그림 4 참조) 형틀을 약간 넘치게 하여라.(6.2.7에서 6.2.9까지 참조) 초기 용기로 쏟음장치에 남아있는 어떠한 모래든 되담으시오.

<그림 3> Plastic Liner Placed Over the Template <그림 4> Sand Being Poured Into the Template

<그림 5> Excavation of the Test Pit

8.8.5 형틀 경계상단을 금속 직선자로 가로질러 미장하듯이 개량된 모래를 조심스럽게 수평을 맞추어라. 최초 용기에 모든 걸러진 여분의 모래를 되담시오. 어떠한 여분 모래의 손실도 피하도록 주의하여라.

8.8.6 특별하게 표시되어 놓여져 있었던 용기에 모래가 재활용되었더라면 형틀 속에 개량 모래를 제거하십시오.

8.9 시험구멍 굴착

8.9.1 손도구(삽, 칼, 붓 등)를 사용하여 시험구멍의 가운데 부분을 굴착하여라.

- 1) 시험구멍에서 흙의 변형이 일어날 수 있는 시험구멍 장소에 무거운 장비의 이동은 허용되지 않는다.

8.9.2 어떠한 재료(8.8.2 참조)의 손실을 피하기 위하여 조심스럽게 시험구멍에서 제거된 모든 재료를 용기에 담아두어라(그림 5 참조).

8.9.3 시료를 용기에 담아두지 않고 시료를 보관하도록 용기의 안쪽에 봉할 수 있는 플라스틱 자루를 사용하라.

8.9.4 흙-형틀이 맞대어 있는 시험구멍의 치수가 가능한 형틀 구멍의 것과 유사하도록 굴착하는 측면들을 조심스럽게 다듬어라. 형틀 바깥쪽이나 바로 밑에 시료 또는 형틀이 흩어지지 않도록 하십시오.

8.9.5 굴착중에 느슨해지거나 다져진 어떠한 재료들을 조심스럽게 제거하면서 요구된 깊이까지 굴착을 계속하십시오.

- 1) 만약 시험구멍속에서 시료를 굴착하는 동안에 입자들이 시험구멍의 최소 체적(부록 A2 참조)과 치수를 산출하는 데 사용되었었던 최대입자크기보다 약 1.5배 또는 그 이상의 것이 발견된다면 대략적으로 옆에 표시를 하여 놓아두어라. 입자들의 체적과 중량을 측정하고 바로 시험구멍이에서 제거된 시료의 체적과 중량에서 그 것을 공제하여라. "oversize"로서 큰 입자를 고려하고 큰 입자를 포함하는 "총" 단위중량은 계산되어지지 않는다는 것을 제외하고는 10절에서 약속된 과정을 따르십시오. "Control Fraction" 값들은 시험구멍에서 총 시료에 대한 값들이 되었을 때 바로 측정한다. 만약 충분한 이들 입자들이 굴착된 시료 중량의 약 5% 이거나 그 이상으로 측정되었다면 부록 A2에 지침에 따라서 큰 시험구멍을 가지는 시험으로 반복하여라.

8.9.6 구멍의 측면들은 약간 안쪽으로 경사지게 된다. 점착력이 거의 보이지 않는 재료들은 보다 원뿔 형태의 시험구멍을 요구할 수 있다.

8.9.7 마감된 구멍의 윤곽은 쏟은 모래로 굴착된 것을 완전히 채울 수 있어야만 한다. 시험구멍의 측면은 모래의 자유로운 흐름을 방해하는 어떠한 것이나

돌출 또는 자유흙들이 가능하면 편평해야 한다.

8.9.8 모든 느슨한 재료 시험구멍의 바닥을 깨끗하게 하여라.

8.10 시험구멍의 체적을 결정하여라.

주의 2 - liner는 시료중량의 자연간극속에 개량한 모래의 이동을 예방할 수 있도록 하여준다. 약 1/2-mil 두께의 liner는 구멍안쪽 흙 표면에 조심스럽게 놓은 후에 형틀의 외측 약 1ft(0.3m)까지 연장하기에 충분히 커야 한다. 허용오차 때문에 느슨하게 만들어져야 한다. liner는 너무 긴장되어있거나 과도하게 접히거나 주름이지지 않아야 한다. 사용하기전에 구멍이 있는지 liner를 검사하여라.

8.10.1 모래 쏟음 장치를 이용하여 개량된 모래를 부어라. 부록 A1에서 서술한 개량 과정에서 사용된 것처럼 동일한 쏟음 기술을 사용하십시오. 형틀을 약간 넘치게 하십시오. 최초의 용기로 쏟음 장치에 남아있는 어떠한 모래든 되 담으시오.

1) 모래가 쏟아지는 동안에 시험장소에 어떠한 진동도 없게 하십시오.

8.10.2 금속 직선자로 형틀상단경계를 가로지르며 미장하듯이 하여 개량된 모래를 조심스럽게 편평하게 하여라. 원래 용기에 미장하며 걷어진 모든 모래를 담으시오. 어떠한 여분의 모래의 손실도 없도록 주의하십시오.

8.10.3 만약 개량된 모래가 재활용된 것이라면 사용된 모래를 걷어내고 별도로 표시된 용기에 담아두십시오. liner와 형틀을 제거하여라.

8.11 건조단위중량의 측정

8.11.1 다음과 같이 형틀에 개량된 모래(흙 표면과 형틀상단 사이에 공간을 채우는 데 사용된 모래)의 중량을 측정하여라.

- 1) 모래의 총 중량과 8.4.2에서 준비한 용기들을 기록하고 측정하여라. 용기번호를 기록하십시오.
- 2) 용기와 모래 잔여량(사용되지 않은 모래)를 더하여 빈 용기의 총 중량을 결정하고 기록하여라.
- 3) 형틀에 모래의 중량을 계산하고 기록하여라.

8.11.2 다음과 같이 시험구멍과 형틀(형틀의 상단까지 시험구멍을 채웠을 때 사용된 모래)에 개량된 모래의 중량을 측정하여라.

- 1) 8.4.3에서 준비한 용기와 모래의 총 중량을 기록하고 측정하여라. 용기번호를 기록하여라.
- 2) 용기와 모래잔여량을 더하여 빈 용기의 총 중량을 결정하고 기록하여라.
- 3) 형틀(사용한 모래의 중량)과 시험구멍에 모래의 중량을 계산하고 기록하여라.

라.

8.11.3 시험구멍을 채우기 위해 사용된 개량된 모래의 중량을 계산하고 기록하여라.

8.11.4 계량된 모래의 밀도(부록 A1에서 설명한 개량 과정에서 측정된)를 결정하여라.

8.11.5 시험구멍의 체적을 계산하고 기록하여라.

8.11.6 굴착된 시료와 용기의 총 중량을 측정하여라.

8.11.7 굴착된 시료를 보관하기 위해 사용된 용기의 총 중량을 기록하고 계산하여라. 용기번호를 기록하여라.

8.11.8 굴착된 시료의 중량을 계산하고 기록하여라.

8.11.9 굴착된 시료의 습윤밀도를 계산하여라.

8.11.10 만약 굴착된 시료가 너무 큰 입자들(일반적으로 점착력이 있는 재료로서 No.4 체(4.75mm)보다는 크고 점착력이 적은 재료인 3-in(75mm) 체)을 포함하고 있다면 적절한 크기의 체를 사용하여 시료를 분리하여라. 만약 시료가 약 3%(습한 기초) 또는 그 이상 너무 큰 입자들을 포함한다면 시험방법 B를 사용하여야 한다.

8.11.11 만약 2% 또는 적게 너무 큰 입자들이 있다면 굴착된 시료로 대표되는 습윤 함유량 견본을 얻어 시험방법 D 2216 또는 C 566에 따라서 습윤 함유량을 측정하고 기록하여라.

주의 3 - 작은 입자(최소 No.200)가 15%보다 적게 함유되어있는 재료를 빠르게 습윤 함유량을 측정하기 위해서는 전기나 가스 열판으로 적절하게 열을 가하여라. 만약 자동온도조절 oven보다 다른 열원을 사용한다면 빠르게 건조시키기 위해 시험견본을 뒤집고 부분적으로 과도한 열은 피하십시오. 시료는 부가적인 중량 손실이 0.1%보다 적도록 열을 더욱 더 발생시키거나 발생될 수 있을 때 건조시켜야 한다.

8.11.12 요구하거나 원한다면 건조밀도와 재료의 건조단위중량을 기록하고 계산하여라.

9. 시험방법 B, 과정 - Control Fraction의 단위중량과 현장밀도

9.1 이 시험방법은 시험하는 재료가 너무 큰 입자들을 함유하고 있고 control fraction의 다짐율과 상대밀도비를 결정할 때 사용되어진다.(1.4를 보시오)

9.2 8.1에서 쪽 8.11.9까지 나타난 것처럼 시험방법 A에 대한 과정에 따라 총 시료

의 현장 습윤밀도를 얻으십시오.

9.3 Control Fraction의 습윤밀도를 얻기 위하여 큰 입자들의 체적과 중량을 측정하고 Control Fraction의 체적과 중량을 얻도록 총 중량과 총 체적에서 그것들을 공제하여라. 그 때 Control Fraction의 중량과 체적에서 Control Fraction의 밀도를 계산한다.

9.3.1 일반적으로 Control Fraction의 습윤밀도는 측정되어지고, 건조밀도는 Control Fraction의 습윤 함유량을 사용하여 계산한다.

9.3.2 추가적으로 큰 입자들의 습윤 함유량, 총 시료의 습윤 함유량, 큰 입자의 퍼센트는 측정되어진다.

9.4 시험구멍에서 제거된 총 시료의 습윤중량을 얻은 후에 정해진 체를 사용하여 큰 입자와 Control Fraction의 시료를 구분하여라. 습윤 손실을 최소화되게 하십시오. 만약 시험이 공사 조정을 위해서라면 더욱 더 시험에 대해서는 밀폐된 용기에 Control Fraction을 담으십시오.

9.5 큰 입자들을 씻은 후에 빨아들이거나 배수시키고 또는 이와 유사한 방법으로 서 큰 입자의 표면위에 자유수를 감소시켜라.

9.6 이미 결정된 중량의 용기를 더하여 큰 입자의 습윤 중량을 측정하고 기록하여라.

9.7 큰 입자의 습윤중량을 계산하고 기록하여라.

9.8 Control Fraction의 습윤중량을 계산하고 기록하여라.

9.9 다음 과정들의 하나로서 큰 입자들의 체적을 측정하여라.

9.9.1 24시간 침수시키고 건조시키지 않는 시험방법 C 127의 원리와 과정을 사용하여 물에 떠 있는 모든 큰 입자들의 중량을 기록하고 측정하여라.

9.9.2 알고 있는 단위체적중량 값을 사용하여 큰 입자의 체적을 계산하여라. 만약 특정부분에서 유사한 큰 입자들의 단위체적중량에 대해 앞에서 시험이 수행되고 값이 상대적으로 일정하다면 단위체적중량은 정리될 수 있다. 사용된 단위체적중량값이 이들 중량이 측정되었을 때 큰 입자의 습윤상태와 부합되어야 한다. 이 시험방법을 사용함으로써 10.5에서 10.7까지 정해진 것처럼 습윤상태에 있는 큰 입자의 단위체적중량을 측정하여라. oven 건조나 흘트러진 표면건조(SSD) 단위체적중량이 사용된다면 결과적으로 oven 건조나 SSD 재료에 이 시험방법으로 큰 입자의 중량을 또한 측정할 수 있다.

9.10 Control Fraction의 체적을 계산하고 기록하여라.

9.11 Control Fraction의 습윤밀도를 계산하십시오.

- 9.12 시험방법 D 2216 또는 C 566(Note 3을 보면)에 따라 Control Fraction의 습윤 함량을 측정하고 기록하여야.
- 9.13 Control Fraction의 건조단위중량과 건조밀도를 계산하고 기록하여야.
- 9.14 만약 원한다면 시험방법 D 2216 또는 C 566(Note 3을 보면)에 따라서 모든 큰 입자의 습윤함량을 기록하고 측정하여야. 만약 특정 부분에서 큰 입자들의 습윤함량에 대한 사전 시험을 수행하고 값이 상대적으로 일정하다면 습윤함량을 정리할 수 있다.
- 9.15 원한다면 다음과 같이 큰 입자의 %를 측정하여야.
- 9.15.1 Control Fraction의 건조중량을 계산하고 기록하여야.
- 9.15.2 큰 입자의 건조 중량을 계산하고 기록하여야.
- 9.15.3 총 sample의 건조 중량을 계산하고 기록하여야.
- 9.15.4 큰 입자의 %을 계산하고 기록하여야.
- 9.16 총 시료의 습윤함량을 계산하여야.
- 9.17 원한다면 총 시료의 건조단위중량과 건조밀도를 계산하고 기록하여야.

10. 시험방법 A, 계산

- 10.1 다음과 같이 형틀에 포함된 모래중량의 계산하시오.

$$m_6 = m_2 - m_4 \quad (1)$$

여기서 : m_6 = 형틀에 모래 중량, lbm(kg)

m_2 = (시험 전) 용기(들)과 형틀 모래의 중량, lbm(kg)

m_4 = (시험 후) 용기(들)과 형틀에 남아있는 모래 중량

- 10.2 다음과 같이 형틀과 시험구멍을 채우는 데 사용된 모래의 중량을 계산하시오.

$$m_5 = m_1 - m_3 \quad (2)$$

여기서 : m_5 = 사용된 모래의 중량, lbm(kg)

m_1 = (시험 전) 용기(들)과 모래의 중량, lbm(kg)

m_3 = (시험 후) 용기(들)과 잔여모래의 중량, lbm(kg)

- 10.3 다음과 같이 시험구멍을 채우는 데 사용된 모래의 중량을 계산하시오.

$$m_7 = m_5 - m_6 \quad (3)$$

여기서 : m_7 = 시험구멍에 모래 중량, lbm(kg)

m_5 = 사용된 모래중량, lbm(kg)

m_6 = 형틀내에 모래 중량, lbm(kg)

10.4 다음과 같이 시험구멍의 체적을 계산하여라.

$$\text{(inch-pound)} \quad V_T = \frac{m_7}{\rho_s} \quad (4a)$$

$$\text{(SI)} \quad V_T = \frac{m_7}{\rho_s} \times \frac{1}{10^3} \quad (4b)$$

여기서 : V_T = 시험구멍의 체적, lbm(kg)

m_7 = 시험구멍의 모래 중량, lbm(kg)

ρ_s = 개량된 모래의 밀도, lbm/ft³ (Mg/m³)

10.5 다음과 같이 시험구멍에서 제거된 습윤시료의 중량을 계산하시오.

$$m_{10} = m_8 - m_9 \quad (5)$$

여기서 : m_{10} = 시험구멍에서 제거된 습윤시료의 중량

m_8 = 용기(들)의 중량 + 시험구멍에서 제거된 습윤시료의 중량

m_9 = m_8 에 대한 용기(들)의 중량, lbm(kg)

10.6 다음과 같이 시험구멍에서 제거된 시료의 습윤밀도를 계산하시오.

$$\text{(inch-pound)} \quad \rho_{wet} = \frac{m_{10}}{V_T} \quad (6a)$$

$$\text{(SI)} \quad \rho_{wet} = \frac{m_{10}}{V_T} \times \frac{1}{10^3} \quad (6b)$$

여기서 : ρ_{wet} = 시험구멍에서 굴착된 시료의 습윤밀도, lbm/ft³ (Mg/m³)

m_{10} = 시험구멍에서 걷어낸 습윤시료의 중량

V_T = 시험구멍의 체적, ft³ (m³)

10.7 다음과 같이 시험구멍에서 걷어낸 시료의 건조밀도를 계산하시오.

$$\rho_d = \frac{\rho_{wet}}{1 + \left(\frac{w}{100}\right)} \quad (7)$$

여기서 : ρ_d = 시험구멍에 시료의 건조밀도, lbm/ft³ (Mg/m³)

ρ_{wet} = 시험구멍에서 굴착된 시료의 습윤밀도, lbm/ft³ (Mg/m³)

w = 시험구멍에서 굴착된 시료의 습윤함량, %

10.8 다음과 같이 시험구멍에서 걷어낸 시료의 건조단위중량을 계산하시오.

$$\text{(inch-pound)} \quad \gamma_d = \gamma \times \frac{1 \text{ lbf}}{1 \text{ lbm}} \quad (8a)$$

여기서 : ρ_d = 시험구멍에서 굴착된 시료의 건조단위중량, lbm/ft³ (kN/m³)

ρ_d = 시험구멍에 시료의 건조밀도, lbm/ft³ (Mg/m³)

inch-pound 체계 1 lbm = 1 lbf로 정리하시오.

$$(SI) \quad \rho_d = \rho_d \times 9.807 \quad (8b)$$

여기서 : 9.807 = Mg를 kN으로 변환할 때 상수

10.9 원한다면 다음과 같이 inch-pound를 SI 단위로 건조단위중량을 변화시켜라.

$$\text{unit weight, kN/m}^3 = \text{unit weight, lb/ft}^3 \times 0.1571$$

여기서 : 0.1571 = lb/ft³을 kN/m³으로 변환시킬 때 상수

11. 시험방법 B, 계산

11.1 다음과 같이 큰 입자들의 습윤중량을 계산하시오.

$$m_{13} = m_{11} - m_{12} \quad (10)$$

여기서 : m_{13} = 큰 입자의 습윤 중량, lbm(kg)

m_{11} = 용기와 큰 입자들의 습윤중량, lbm(kg)

m_{12} = 용기의 중량, lbm(kg)

11.2 다음과 같이 control fraction의 습윤중량을 계산하시오.

$$m_{18} = m_{10} - m_{13} \quad (11)$$

여기서 : m_{18} = control fraction의 습윤중량, lbm(kg)

m_{10} = 시험구멍에서 건어낸 습윤시료의 중량, lbm(kg)

m_{13} = 큰 입자의 습윤 중량, lbm(kg)

11.3 다음과 같이 water method에서 중량과 공기의 중량에 기초를 두고 큰 입자의 체적을 계산하시오.

$$(\text{inch-pound}) \quad V_{os} = \frac{m_{13} - m_{14}}{62.4 \text{ lbm/ft}^3} \quad (12a)$$

$$(SI) \quad V_{os} = \frac{m_{13} - m_{14}}{1 \text{ g/cm}^3} \times \frac{1}{10^3} \quad (12b)$$

여기서 : 62.4 lbm/ft³ = 물의 밀도

1 g/cm³ = 물의 밀도

$$\frac{1}{10^3} = \text{g/cm}^3 \text{ 을 } \text{kg/cm}^3 \text{으로 변환할 때 상수}$$

$$V_{os} = \text{큰 입자들의 체적, ft}^3(\text{m}^3)$$

$$m_{13} = \text{큰 입자들의 습윤중량, lbm(kg)}$$

$$m_{14} = \text{물에 떠 있는 큰 입자들의 중량, lbm(kg)}$$

11.4 다음과 같이 알고있는 단위체적중량에 기초를 두고 큰 입자의 체적을 계산하라.

$$(\text{inch-pound}) \quad V_{os} = \frac{m_{13}}{G_m \blacksquare (62.4)} \quad (13a)$$

$$(\text{SI}) \quad V_{os} = \frac{m_{13}}{G_m \blacksquare (1\text{g/cm}^3)} \blacksquare \frac{1}{10^3} \quad (13b)$$

여기서 : V_{os} = 큰 입자들의 체적, $\text{ft}^3(\text{m}^3)$

m_{13} = 큰 입자들의 습윤중량, lbm(kg)

G_m = 큰 입자들의 단위체적중량

11.5 다음과 같이 Control Fraction의 체적을 계산하십시오.

$$V_c = V_T - V_{os} \quad (14)$$

여기서 : V_c = control fraction의 체적, $\text{ft}^3(\text{m}^3)$

V_T = 시험구멍의 체적, $\text{ft}^3(\text{m}^3)$

V_{os} = 큰 입자들의 체적, $\text{ft}^3(\text{m}^3)$

11.6 다음과 같이 Control Fraction의 습윤밀도를 계산하십시오.

$$(\text{inch-pound}) \quad \blacksquare_{wet}(C) = \frac{m_{18}}{V_c} \quad (15a)$$

$$(\text{SI}) \quad \blacksquare_{wet}(C) = \frac{m_{18}}{V_c} \blacksquare \frac{1}{10^3} \quad (15b)$$

여기서 : $\blacksquare_{wet}(C)$ = control fraction의 습윤밀도, $\text{lbm/ft}^3(\text{Mg/m}^3)$

m_{18} = control fraction의 습윤중량, lbm(kg)

V_c = control fraction의 체적, $\text{ft}^3(\text{m}^3)$

11.7 다음과 같이 Control Fraction의 건조밀도를 계산하십시오.

$$\blacksquare_d(C) = \frac{\blacksquare_{wet}(C)}{1 + \left(\frac{w_f}{100}\right)} \quad (16)$$

여기서 : $\blacksquare_d(C)$ = control fraction의 건조밀도, $\text{lbm/ft}^3(\text{Mg/m}^3)$

$\rho_{wet}(C)$ = control fraction의 습윤밀도, $lbm/ft^3 (Mg/m^3)$

w_f = control fraction의 습윤함량, %

11.8 다음과 같이 Control Fraction의 건조단위중량을 계산하시오.

$$(\text{inch-pound}) \quad \rho_d(C) = \rho_{wet}(C) \cdot \frac{1 \text{ lbf}}{1 \text{ lbm}} \quad (17a)$$

inch-pound 체계 1 lbf = 1 lbf로 정리하시오.

$$(SI) \quad \rho_d(C) = \rho_{wet}(C) \cdot 9.807 \quad (17b)$$

여기서 : 9.807 = Mg를 kN으로 변환할 때 상수

$\rho_d(C)$ = control fraction의 건조단위중량, $lbm/ft^3 (kN/m^3)$

$\rho_{wet}(C)$ = control fraction의 습윤밀도, $lbm/ft^3 (Mg/m^3)$

11.9 원한다면 식(9)를 사용하여 inch-pound 단위를 SI단위로 건조단위중량을 변환하여라.

11.10 다음과 같이 Control Fraction의 건조중량을 계산하시오.

$$m_{19} = \frac{m_{18}}{1 + \frac{w_f}{100}} \quad (18)$$

여기서 : m_{19} = control fraction의 건조중량, lbf(kg)

m_{18} = control fraction의 습윤중량, lbf(kg)

w_f = control fraction의 습윤함량, %

11.11 적절히 다음 공식의 하나를 사용하여 큰 입자들의 건조중량을 계산하여라.

$$m_{17} = m_{15} - m_{16} \quad (19)$$

$$m_{17} = \frac{m_{13}}{1 + \frac{w_{os}}{100}} \quad (20)$$

여기서 : m_{17} = 큰 입자들의 건조중량, lbf(kg)

m_{15} = 용기와 큰 입자들의 건조중량, lbf(kg)

m_{16} = 용기의 중량, lbf(kg)

m_{13} = 큰 입자들의 습윤중량, lbf(kg)

w_{os} = 큰 입자들의 습윤함량, %

11.12 다음과 같이 총 sample의 건조중량을 계산하여라.

$$m_{20} = m_{19} - m_{17} \quad (21)$$

여기서 : m_{20} = 총 sample의 건조중량(큰 입자 + control fraction), lbm(kg)
 m_{19} = control fraction의 건조중량, lbm(kg)
 m_{17} = 큰 입자들의 건조중량, lbm(kg)

11.13 다음과 같이 큰 입자들의 %를 계산하시오.

$$p = \frac{m_{17}}{m_{20}} \times 100 \quad (22)$$

여기서 : p = 큰 입자의 %
 m_{17} = 큰 입자들의 건조중량, lbm(kg)
 m_{20} = 총 sample의 건조중량(큰 입자 + control fraction), lbm(kg)

11.14 다음과 같이 총 시료의 습윤함량을 계산하시오.

$$w = \frac{m_{10} - m_{20}}{m_{20}} \times 100 \quad (23)$$

여기서 : w = 시험구명에서 굴착된 시료의 습윤함량, %
 m_{10} = 시험구명에서 건어낸 습윤시료의 중량, lbm(kg)
 m_{20} = 총 sample의 건조중량(큰 입자들 + control fraction), lbm(kg)

11.15 식 (6a 또는 6b)에서 (8a 또는 8b)까지 사용함으로서 총 시료의 건조단위중량과 건조밀도를 계산하여라.

11.16 원한다면 식(9)를 사용하여 inch-pound 단위에서 SI 단위로 건조단위중량을 변환하여라.

부록 1.

[표 A2.1] Test Apparatus and Minium Excavation Volume^A

Note) More than 18-in. maximum particle size should be determined on a case-by-case basis

Maximum Particle Size in. ^B	Minimum Required Volume, ft ³	Suggested Apparatus and Template Opening	Required Minimum Depth, in. ^C
3	1.0	24-in.square frame	18
5	2	30-in.square frame	12
8	8	4- ft diameter ring	24
12	27	6- ft diameter ring	24
18	90	9- ft diameter ring	36

A Test Pit Types A and B (see Fig A2.1)

B Maximum particle size present in total material or the maximum particle size of control fraction if the total in-place unit weight is not of concern.

C This depth is necessary to obtain the minimum required volume of material when using the suggested apparatus and template opening.

[표 A2.2] Test Apparatus and Minium Excavation Volume

Note) More than 8-in. maximum particle size should be determined on a case-by-case basis

Maximum Particle Size in. ^B	Minimum Required Volume, ft ³	Suggested Apparatus and Template Opening	Required Minimum Depth, in. ^C	Approximate Diameter of Excavated Hold, in.
3	1.0	33-in.square frame	18	30
5	2	40-in.square frame	12	35
8	8	62-in. diameter ring	24	54

A Test Pit Types C (see Fig A2.1)

B Maximum particle size present in total material or the maximum particle size of control fraction if the total in-place unit weight is not of concern.

C This depth is necessary to obtain the minimum required volume of material when using the suggested apparatus and template opening.

<Fig. A2.1> Test Pit Configuration

건설공사장의 소음저감 방법

건설기술연구소 토목대리 김선희

1. 서 론

시공현장에서 발생하는 환경문제는 자칫 공정에서부터 그 중요성이 무시되고 발생 후 처리하는 사례가 많다. 다행히도 커다란 문제없이 공사를 완료할 때도 있었지만 시민들의 환경의식수준이 향상되면서 많은 문제가 제기되고 있는 것이 현재의 실정이다.

대기오염 및 수질오염 등의 공해는 유해물질에 의한 인간의 건강을 해치는 물질공해라 할 수 있으며, 소음과 진동은 인간의 심리적, 생리적 요인을 좌우하는 감각공해로 민원 발생시 정신적 피해보상을, 가축의 경우에는 생산량 저하로 인한 경제적 피해보상을 공사 시행자들에게 요구하게 된다. 이러한 경우 공사중지 등으로 인하여 공사기간에 차질이 발생하고, 민원처리에 적지 않은 시간과 예상치 않았던 공사비가 추가되는 등 원활한 공사수행이 어려워진다.

본문에서는 건설소음의 실태와 방음벽에 의하여 소음을 저감할 수 있는 방법 및 고소음 발생 장비에 있어서 방음벽의 한계에 따른 저소음 공사 방법에 대하여 기술하고자 한다.

2. 소음 발생 현황

[표 2-1]에서 보듯이 가장 소음이 많은 공종은 기초 공사중 Pile 항타 작업이고, 그 다음으로 건설 현장에서 시끄러움을 유발하는 것으로는 크로라드릴, 브레이커 등 파괴용 장비이다.

주거지역 주간대 소음규제기준이 70dB(A)인데 장비 앞 7m에서 측정한 소음도가 85dB(A) 이하인 경우에는 대체적으로 피해지점까지의 거리감쇠나 현장 부지경계선의 차단벽 등에 의하여 규제기준을 만족하는 경우가 많으나, 85dB(A) 이상의 장비 소음은 피해지점이 현장과 근접하여 있고, 소음 피해에 민감하게 반응하는 대상일 경우에는 적절한 조치를 필요로 하게 된다.

[표 2-1] 공종별 건설기계의 소음도

공 종	기 계 명	소 음 도(dB(A))				비 고
		7m		15m		
		범위	평균	범위	평균	
정 지	굴삭기	73/94	82	66/85	75	
	불도우저	80/90	84	73/84	78	
	로우더	70/94	87	69/84	80	
	그레이더	78/90	83	69/82	77	
	로울러	74/90	81	67/85	75	
	범면다짐기	-	90	-	-	
기 초	휴대용착암기	-	96	-	91	사질천공 암반천공 사질천공
	크롤러드릴	88/96	91	84/88	86	
	드릴마스터	88/93	90	84/87	85	
	〃	94/98	96	87/91	89	
	어스오거	75/81	78	70/77	74	
	드릴해머	93/95	94	88/90	89	콘크리트말뚝
	디젤해머	99/110	103	96/101	99	〃
	〃	106/108	107	100/103	102	H-빔
	유압해머	101/104	103	92/93	93	콘크리트말뚝(硬)
	〃	89/92	91	83/85	84	〃 (軟)
	〃	96/99	97	90/92	91	강관(軟)
	진동해머	80/91	85	75/86	80	H-빔(항발)
콘크리트	플랜트	-	82	-	80	
펌프카	80/88	84	72/81	78		
아스팔트	플랜트	79/92	85	76/86	80	
	피니셔	76/83	80	71/77	74	
파괴 및 해체	브레이커	90/103	98	84/97	91	
	압쇄기	81/84	82	76/80	78	
기 타	공기압축기	80/92	84	70/85	76	
	발동발전기	82/87	85	74/81	78	
	콘크리트절단기	91/95	93	85/86	86	
	쇄석기	-	90	-	83	

참고 : 국립환경연구원보, 1992, Vol 114

3. 방음벽의 종류

일부 국내 현장에서 방음용으로 비용이 저렴한 부직포를 사용하고 있는 현장을 가끔 볼 수 있는데, 이는 미관상, 내화성능상, 차음성능상 불리한 것을 알 수 있다. 최근 들어 경제적 측면에서는 다소 불리하지만, 차음성능상 비교적 유리한

알루미늄 방음벽과 폴리프로필렌 방음판을 이용한 가설방음벽도 이용되는 경우가 있다.

[표 3-1] 방음벽 재료의 비교

구 분	알루미늄 방음벽	경량콘크리트 방음벽	부직포	차음시트	피복성형강판 (EGI판)	폴리프로필렌 방음판
장 점	o 흡음성, 차음성, 내구성 우수 o 미관 우수	o 내구성, 내후성, 차음성 우수 o 가격 저렴	o 설치비용 저렴 o 풍하중에 대한 부담이 적음	o 중량이 가벼움 o 차음성능 증가를 위하여 전문설계 필요	o 미관을 다양하게 할 수 있음	o 흡음성 우수 o 미관을 다양하게 할 수 있음 o 재사용이 용이
단 점	o 경제성 측면에서 불리	o 흡음성이 없음 o 중량이 무거움	o 미관상 좋지 못함 o 차음성, 내화성능이 약함	o 차음성, 내구성 측면에서 불리	o 흡음성 측면에서 불리	o 경제성 측면에서 다소 불리 o 풍하중 설계에 대한 주의 필요
투과손실 [500Hz]	30dB	36.7dB	-	25dB	25dB	25.9dB
경제성	100%	70%	8%	15%	33%	70%

[표 3-2]에서는 흡음재를 이용하여 음의 투과손실을 높이고, 이동식으로 개발된 방음재료로 현재 건설공사장에서 사용되는 가설방음벽의 종류와 특성을 비교해 보았다.

[표 3-2] 가설방음벽의 종류 및 특성

종 류	재료 구성			투과손실 (dB)						
	전면	흡음재	후면	125 Hz	250	500	1000	2000	4000	평균
P.E.B 방음벽	폴리프로필렌	폴리우레탄	폴리프로필렌	24.8	25.5	25.9	28.4	31.5	39.0	29
타공 방음벽	아연도금 철판	Glass Wool	아연도금 철판	22.1	26.3	31.7	35.2	35.5	37.4	31
알루미늄 방음패널	알루미늄 슬릿판	Glass Wool	도장용융 아연도금강판	16.2	25.7	34.8	36.2	37.8	38.7	32

* 건설장비 소음의 주파수는 500 1000Hz의 저주파음이 많다.

현장 부지경계선에 보통 설치되는 E.G.I Fence는 가장 저렴하게 설치할 수 있는 방음벽이나 흡음성이 없으므로 반사음이 문제가 되는 지역에서는 흡음재를 사용한 가설방음벽을 공사비에 맞게 적절하게 선택하여 설치하는 것이 바람직하다.

4. 방음벽에 의한 소음저감량

음파는 그 전파경로에 건물벽이나 방음벽과 같이 장애물이 있으면 그 위를 뛰어넘거나 또는 횡단을 하는 성질을 가지고 있다. 이와 같이 장애물의 위를 뛰어넘거나 횡단을 하는 현상을 음파의 회절이라고 한다.

이 회절현상은 파장이 짧은 고주파음보다도 파장이 긴 저주파음에서 활발하다. 즉 회절하는 음의 강하기는 파장이 길수록 강하게 되므로 건물 및 방음벽 등으로 방음을 하고자 할 때는 그 높이 및 폭의 길이는 파장보다 충분히 크지 않으면 효과를 기대하지 못한다.

방음벽을 계획할 때는 다음 사항을 조사할 필요가 있다.

- ① 음의 크기 및 형상의 조사
- ② 발생 소음 Level 및 주파수 특성의 조사
- ③ 부지경계선(피해지점)까지의 거리의 조사
- ④ 유효한 설치의 설정
- ⑤ 벽 높이의 설정
- ⑥ 재료의 선정

4.1 방음벽의 높이와 수음점과의 관계

음원을 S, 수음점을 P라 하고 그 도중에 방음벽이 있을 때와 없을 때에 기하학적으로는 음의 전파거리가 변화된다. 즉 방음벽이 설치되면 전파거리가 커지면서 수음점 P에서 음압레벨은 낮아진다. 이것이 방음벽의 감쇠치이다.<그림 4-1>

방음벽이 있을 때와 없을 때의 전파거리의 차이는 식(1.1)로써 간단하게 구할 수가 있다. 방음벽이 없을 때의 전파거리는 <그림 4-1>에서 $SP=C+D$ 가 되나 그 도중에 벽이 있을 때에는 전파거리는 $SO+OP=A+B$ 가 된다.

그러므로, $\delta = (A+B) - (C+D)(m)$ ----- (1.1)

이 수치만큼 전파거리가 연장되었으며, SP간의 거리가 정해졌을 때 δ 의 값을 크게 하고자 할 경우에는 당연히 벽의 높이가 관계된다. 벽의 높이란 <그림 4-1>에서 알 수 있듯이 실효높이 H가 그 효과를 좌우함으로 유의하여야 한다. 실효높이란 지면에서의 높이가 아니고 S와 수음점 P를 연결한 선에서 위측의 높이를 말한다.

방음벽의 감쇠치를 구할 때에는 경로차에서 구하는 방법이 있다. 첫째 식(1.1)에서 δ 를 구하고 다음에 식(1.2)에서 N의 값을 구하고 N의 값을 알게 되면 N에 대한 감쇠량은 <그림 4-2>에서 간단하게 구할 수 있다.

$$N = \frac{f\delta}{170} \text{ ----- (1.2)}$$

<그림 4-1> 벽에 의한 전파경로차를 구하는 방법 <그림 4-2> 벽에 의한 감쇠

이 N의 값은 파장에 반비례함으로 δ 가 일정할 때, 즉 높이가 일정할 때 파장이 짧을수록 커진다. 또한 주파수가 높을수록 커진다. 또 ■SOP가 예각일수록 δ 는 커지고 N의 값도 커진다. 이것은 방음벽을 음원측 또는 수음측 어느 쪽이든 가까이 설치하면 그 효과는 커진다. 파장이 길어지면(주파수가 낮아진다) N의 값이 적어지는 것은 음파가 용이하게 방음벽을 뛰어넘으므로(회절한다) 적어진다. 그러므로 방음벽의 감쇠량은 적어지고 그 효과는 기대할 수가 없다.

4.2 방음재료의 선택

일반적으로 방음벽 재료는 콘크리트 및 콘크리트 블록 등의 투과손실이 큰 것을 선호하는 경향이 있으나 실제적으로 방음벽에서는 회절음이 문제가 되어 실효 높이가 그 효과를 좌우하므로 중요하다. 그러므로 방음벽 재료의 투과손실은 회절음보다도 15dB 이상 극단적으로 큰 것을 고려할 필요는 없고, 대체로 방음벽 상단에서 회절감쇠보다 적어도 10dB 이상 큰 투과손실을 갖는 재료면 된다. 즉 방음벽 설치에 의해 기대할 수 있는 효과가 최대 15dB(A)이므로 사용 벽체의 투과손실은 25dB 이상 되면 된다.

건물 및 구조물 등 큰 폭을 가진 차음물체는 H 및 θ 가 커짐으로 감쇠효과가 크다. 방음벽을 설치할 때 음원의 형상, 크기, 소음의 특성을 충분히 파악한 후에 설치위치, 높이, 구성 재료 등을 검토하여야 한다.

방음벽의 재료로 내면에 흡음재를 사용한 여러 형태의 것이 개발되고 있지만 그 효과는 크지 않으며, 이 흡음재료 사용과 회절각도에 대한 효과에 있어서는 아직까지 데이터가 부족하며, 최근 일본 中野有明씨의 설에 의하면 회절각도 40° 이상이 되면 감쇠효과를 얻을 수 있다고 한다. 그러나 음원에 근접하게 방음벽을 설치할 때 반사음으로 인하여 소음레벨이 높아져 문제가 될 때도 있는데 이와 같은 조건에 흡음재료를 내면에 사용하면 상당히 큰 효과를 얻을 수가 있다.

방음벽의 효과는 소음원과 수음점 사이에 시선을 차단할 정도의 높이로 설치된 방음벽의 감쇠효과는 약 5dB(A)이며, 지표면의 감쇠효과에 의해 1~2dB(A) 정도가 부가된다. 그리고 합리적인 높이와 길이를 갖는 방음벽 및 방음뚝은 일반적으로 10dB의 감쇠효과를 얻을 수 있으며, 15dB의 감쇠효과를 달성하기는 어려우나 보통 아주 높은 구조물 및 투과손실이 높은 재료를 사용하고 틈이나 개구부를 거의 없게 함으로서 얻을 수 있다. 방음벽을 설치함으로써 최대 얻을 수 있는 감음량은 20dB이나 거의 불가능하기 때문에 저감목표값이 20dB를 초과한다면 다른 방안을 강구하여야 한다.

방음 시설은 수음점에서 음원으로의 가시선을 직접 차단하지 않는 한 감음효과가 거의 없다. 따라서 소음을 저감할 수 있는 범위는 고층건물의 경우 아파트 5층 이하, 기타 건물의 경우 4층 이하이므로, 이 범위까지만 방음벽 등의 방음시설로 저감하고 그 이상의 고층에 대해서는 건축 음향측면, 공사 방법 변경 등의 다른 방법으로 해결하여야 한다.

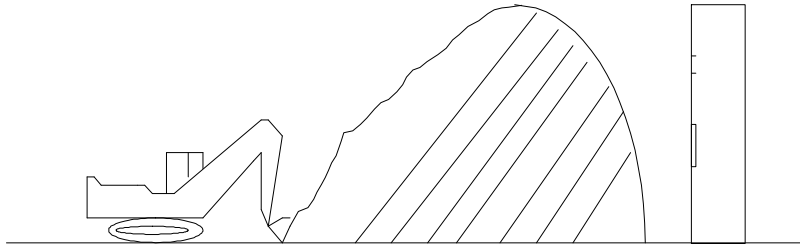
5. 공사종류별 소음저감대책

앞에서 서술한 것처럼 방음시설의 효과는 아파트 5층 이하(기타 건물 4층)이므로, 도심지 공사일 경우 특히, 공사장비의 선정시에 가능한 한 저소음 기계를 사용하고, 무리한 부하나 공회전을 삼가해야 한다. 사전 조사를 통하여 공사장 소음에 의하여 피해가 예상되는 지역이 있으면 발파나 항타의 경우 공사 초기부터 저소음 공법에 대하여 검토를 하여야 한다.

5.1 정지공사

1) 굴삭, 적재 작업

- 가) 둔덕이나 흙무더기 등을 굴삭할 경우에는 가능한 한 <그림 5-1>과 같이 민가 등의 반대편에서부터 실시한다.



<그림 5-1> 피해를 적게 주면서 굴착하는 요령

- 나) 충격력에 의한 굴삭은 가능한 피하고, 굴삭날은 항상 날카롭게 보존하고, 잠시 세워두고 운전할 경우에는 기계를 수평으로 고정시켜 편하중에 의한 삐걱거리는 소음이 발생되지 않도록 한다.
- 다) 굴삭, 적재기에 의해 직접 트럭에 짐을 싣는 경우에는 불필요한 소음, 진동이 발생되지 않도록 낙하높이를 될 수 있는 한 낮게 하고, 굴삭토의 방출을 부드럽게 하며, 특히 점성이 있는 흙을 방출할 때에는 덜컹거림에 의한 소음이 발생되지 않도록 유의한다.

2) 불도우저 작업

흙을 불도우저로 굴삭하여 밀고 나갈 때에는, 후진시에는 고속주행을 피하고 정속주행한다.

3) 다짐작업

진동 및 충격력에 의해 다짐 작업을 할 경우에는 기계의 종류, 작업시간대 설정 등에 유의한다.

5.2 운반공사

1) 운반로의 선정

운반로의 선정시에는 미리 도로 및 인근 상황에 대하여 충분히 조사하고, 사전에 도로관리자 및 경찰 등과 협의하는 것이 좋으며, 다음 사항에 유의한다.

- 가) 통근, 통학 또는 시장 근처 등과 같이 보행자가 많거나 차도와 보도의 구별이 없는 도로, 학교, 병원, 유치원, 도서관등이 있는 도로는 가능한 피한다.
- 나) 좁은 도로를 출입할 경우 등에는 나가는 도로와 들어오는 도로를 별개로 선정한다.
- 다) 주변에 대한 소음피해를 완화하기 위해 될 수 있는 한 포장도로나 폭이 넓은 도로를 선정한다.

라) 경사가 급하거나 급커브가 많은 도로에서는 엔진소음 및 제동소음이 크게 증가함으로 가능한 한 이러한 도로는 피한다.

2) 운반로의 유지

운반로의 점검을 충분히 하고, 필요한 경우에는 유지·보수를 공사계획에 포함시켜 대책을 세운다.

3) 차량의 주행

가) 운반차량의 주행속도는 도로 및 주변상황에 따라 적정하게 계획하여 실시하고, 불필요한 급발진, 급정지와 공회전 등을 삼간다.

나) 주행속도는 소음방지의 관점에서 40km/hr 이하로 하는 것이 좋다.

다) 운반차량 선정시에는 운반량, 투입대수, 주행속도 등을 충분히 검토하여 될 수 있는 한 저소음 차량(소음이 작은 신차 등)의 운행을 늘리고, 과적을 엄격히 제한한다.

5.3 암석 굴삭공사

1) 굴삭계획

시공 도중의 공법변경은 거의 불가능하고 비용 또한 증대함으로 계획시에 리퍼(Ripper)공법, 발파+리퍼공법, 발파공법 등에 대해서 비교 검토하여 전체적으로 소음진동의 영향이 적은 공법을 택한다. 발파 리퍼공법은 발파공법에 비해 천공 구멍수가 많게 되어 착암기 소음이 증가하는 경향은 있으나 진동은 줄어든다.

2) 천공

착암기로 천공할 경우에는 방음대책이 강구된 기계의 사용이나 저소음 착암기(유압식 또는 소음기가 부착된 공압식)의 사용을 검토하고, 이동식 방음상자의 채용도 고려한다.

3) 발 파

가) 암반 등을 발파할 경우에는 저폭속 화약 등과 같은 저진동 특수 화약이나 지발전기뇌관 등의 사용에 관해서 검토한다.

나) 벤치높이를 줄인다.

다) 천공지름을 작게 하는 등의 방법을 통하여 지발당 장약량을 감소시킨다.
(각 발파공을 MS 전기뇌관을 이용하여 지발발파를 하면 면음원의 크기가 감소하여, 면음원의 한변의 길이를 $1/n$ 로 감소시키면 발파소음은 $10 \log n$ (dB) 만큼 작아진다)

라) 주택가에서의 소할발파에 부치기 발파를 하지 말 것과 짧은 천공발파를

하는 경우 모래주머니 등으로 덮는다. 그리고 도폭선 사용을 피한다.

5.4 기초공사

1) 기초공법의 선정

기초공법의 선정시에는 기성말뚝을 향타하는 공법, 현장타설 말뚝공법 등에 대하여 종합적으로 검토한 후, 시공의 신뢰도가 높고 소음진동이 적은 공법을 채용한다.

2) 향타공법

가) 기성말뚝을 시공할 경우에는 사전에 천공기로 천공한 후 말뚝을 타입하는 중굴공법, 프리보링(preboring)공법 등을 원칙으로 하고 다음 대책을 검토한다.

① 저소음 향타기의 사용

유압해머, 초고주파 향타기 등과 같은 저소음용이나 방음대책이 강구된 향타기를 사용한다.

② 하역작업 등

말뚝을 하역하거나 박기 위해 달아올리는 작업 등을 할 경우에 불필요한 소음진동이 발생하지 않도록 조심스럽게 작업하고, 강관이나 H-빔 등과 같은 강재의 말뚝을 다룰 때에는 특히 유의한다.

나) 현장타설 말뚝공법

현장타설 말뚝을 위한 천공공법에는 많은 종류가 있고 또한 그곳에서 발생하는 소음진동의 정도나 발생기구가 다르기 때문에 유의할 필요가 있으며, 토사의 반출 및 콘크리트 타설 등에 따른 소음진동 저감에 관해서도 배려한다.

[표 5-1] 향타공법별 소음레벨과 경제성 비교

구 분	직 타 공 법	프리보어링공법	현장타설말뚝(BENOTO)공법
시 공 서	디젤(유압식) 햄머로 향타	①오거 또는 T-4로 천공 ②강관파일 주입 ③드롭해머로 마무리 향타	①케이싱튜브를 요동압입 장치로 삽입 ②베노토굴착기로 내부굴착 배토 ③Hole내의 Slim 제거, 철근삽입 ④트리미파이프에 대한 콘크리트 타설 ⑤Oscillation으로 케이싱 인발
특 정	◎비교적 시공 용이 ◎대구경 말뚝시공 어려움 ◎과다한 소음·진동 발생	◎대구경 시공가능 ◎시공관리가 어려움 ◎마무리 향타시 소음발생	◎파일지지력이 커 파일본수 저감 ◎시공관리가 용이 ◎저소음·저진동 공법
예상 소음도	◎디젤햄머 99dB(A) 정도 ◎유압햄머 96dB(A) 정도	93dB(A) 정도 (드롭해머로 마무리 향타)	82dB(A) 정도
공사비 비율	100%	161-220% 정도	206% 정도

5.5 토류공사

1) 토류공법의 선정

토류공법 선정시에는 강판 토류공법, H-빔과 토류판에 의한 공법 등을 종합적으로 검토하여 저소음·저진동 공법을 채용한다.

2) 강판 토류공법, H-빔과 토류판에 의한 공법

가) 적용공법

강판, H-빔 등을 시공할 경우에는 유압식 압입·인발공법, 다활차식 인발공법, 어스오거 등에 의한 굴삭병용 압입공법, 유압식 초고주파 말뚝치기공법, 워터젯트 공법 등을 원칙으로 한다.

나) 하역작업 등

강판, H-빔 등을 들어올리거나 떼어내는 작업 또는 하역작업 등을 할 경우에는 불필요한 소음진동이 발생되지 않도록 조심스럽게 취급한다.

5.6 콘크리트 공사

1) 콘크리트 플랜트

콘크리트 플랜트의 설치시에는 주변지역에 대한 소음진동의 영향이 적은 곳을 택하여 설치면적을 충분히 확보하고, 필요에 따라 방음대책도 강구한다. 그리고 콘크리트 플랜트 현장에서 가동되거나 출입하는 차량 등의 소음진동 대책에 대하여도 배려한다.

2) 콘크리트 믹서트럭

콘크리트 타설시에는 공사현장이나 부근에 믹서트럭이 대기할 장소를 배려한다.

3) 콘크리트 펌프카

콘크리트 펌프카로 콘크리트를 타설할 경우, 설치장소에 유의함과 동시에 콘크리트 압송파이프를 항상 정비한다.

5.7 포장공사

1) 아스팔트 플랜트

아스팔트 플랜트의 설치시에는 주변에 소음진동의 영향이 적은 곳을 택하여 설치면적을 충분히 확보하고, 필요에 따라 방음대책도 강구한다.

2) 포장

포장시에는 조합할 기계별로 작업능률을 잘 파악하여 기다리는 시간이 적도록 배려한다.

3) 포장면 철거

포장면 철거 작업시에는 가능한 한 유압재크식 포장면 파쇄기나 저소음 굴삭기 등을 사용한다. 또한 저소음형의 포장면 절단기나 브레이커(전동식이나 유압식, 또는 소음기가 부착된 공압식) 등을 택하고, 소음 민감지역에서는 이동식 방음상자의 활용방안도 검토한다. 파쇄물 적재시에도 낙하물의 높이를 낮게 하여 불필요한 소음진동이 발생되지 않도록 노력한다.

5.8 철구조물 공사

1) 접 합

현장에서 고장력 볼트로 철재를 접합할 경우에는 가능한 한 전동식 또는 유압식렌치를 사용하고, 강재의 구멍을 맞추어 드립트핀을 박을 경우에도 타격식 대신에 유압식 또는 전동식과 같은 정적 시공방법의 채용을 검토한다.

2) 가 설

가설에 사용되는 크레인 등의 운전은 작업시간대에 유의함과 동시에 무리한 부하가 걸리지 않도록 한다.

5.9 구조물 철거공사

1) 철거공법의 선정

콘크리트 구조물을 파쇄하는 경우에는 공사현장 주변의 환경을 충분히 고려하여 콘크리트 압쇄기, 브레이커, 팽창제 등의 사용공법 중에서 적절한 것을 선정한다.

2) 파 쇄

철거한 구조물을 잘게 파쇄할 필요가 있는 경우에는 트럭에 실을 수 있을 정도로 블록화하여 파쇄한 후, 소음진동의 영향이 적은 곳에서 잘게 파쇄한다.

3) 방음시트 등

콘크리트 구조물을 철거하는 작업현장은 소음대책과 안전대책을 고려하여 가능한 한 방음시트나 방음판넬 등의 설치를 검토한다.

5.10 터널공사

1) 굴삭공사

가) 터널 입구부근의 굴삭시에는 발파 등에 따른 소음진동이 될 수 있는 한 적게 배출되도록 배려하고 방음벽 등의 설치를 검토한다.

- 나) 터널내부 굴삭시의 발파소음 대책으로 터널입구 등에 방음벽, 방음시트 등의 설치를 검토한다.
- 다) 소음 민감지역에서 터널을 굴삭하고자 할 때에는 터널보링머신(TBM) 등의 채용도 검토한다.

2) 환기설비 등

환기설비나 공기압축기 등은 현장주변의 환경을 고려하여 피해가 적게 유발될 곳에 설치하고 필요에 따라 소음진동 저감대책을 고려한다.

5.11 가설공사

복공판 설치시에 이음매의 단차나 불량지지 등에 의해 차량통행시 발생하는 소음진동 방지에 유의한다.

5.12 공기압축기, 발전기, 펌프 등

- 1) 설치시에는 주변환경을 고려하여 소음진동의 영향이 적은 곳에 설치한다.
- 2) 공기압축기 및 발전기의 커버에 흡음재료를 부착한 방음판을 설치하는 등 소음진동 대책을 검토한다.

6. 결 론

앞에서 살펴본 방음벽 설치시 유의할 점을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 음원 또는 수음점에 가까울수록 유효하다.
- 2) 주파수가 높은 음일수록 효과가 크다.
- 3) 실효높이가 높을수록 효과가 크다.
- 4) 각도 θ 가 클수록 효과가 크다. 건물과 같이 폭이 크면 각도 θ 가 커지므로 효과가 크다.
- 5) 음원에 근접시켜 설치할 때 방음벽에 반사음 현상이 일어나므로 음원측에 흡음재료를 사용하면 유효하다.
- 6) 재료는 극단적으로 큰 투과손실을 가진 재료는 불필요하고 벽에 의한 회절 감쇠치보다 투과손실이 10dB 정도 높으면 된다. (1000Hz의 투과손실이 25dB 정도)
- 7) 재료 연결부분(조인트)에 틈이 없어야 한다.

방음벽 설치에 의한 소음저감량은 설치상태가 양호할 경우 10 ~ 15dB이고, 고층 건물이 많은 도심지 공사에서 5층 이상의 높이에서는 방음 효과를 기대할 수 없으므로 작업공정별로 소음 저감 방법을 강구하고 소음도를 정기적으로 점검하여야 한다.

일시적이지만 고소음진동을 유발하는 항타 및 발파 작업은 사전조사를 통하여 피해지점이 예상되면 공사초기 단계부터 저소음 공법을 수립하고 실시하여야 추후에 발생하는 민원에 대비할 수가 있다.

<참고문헌>

1. 건설현장의 환경오염과 대책, 건설기술세미나 교재(建協)
2. 건설공사장 소음관리요령, 서대문구
3. 건설공사장 유압해머 항타소음의 특성 및 거리감쇠에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 계획계 14권 7호(통권 117호), 1998.7
4. 국립환경연구원보, 1992, Vol 114
5. 암발파설계기법에 관한 연구, 한국토지개발공사, 1993.3

인천국제공항 연육교(영종대교) 가설공법 적용사례

인천국제공항 연육교 현장소장 서재화
토목부장 양무석

1. 서론

1.1 공사 개요

현재 한진 중공업에서 제작, 선적, 운송 및 설치공사를 수행하고 있는 인천국제공항 고속도로 영종대교(총 연장 4,420M) 2, 3 공구는 영종도에 위치한 인천국제공항과 육지를 연결하는 연육교로서 국내 최대 규모의 교량 공사이다.

도로와 철도가 동시에 통행하게 될 본 교량의 상층은 왕복 6차선 도로, 하층은 복선 철도와 4차선도로가 건설되며 교량 아래에는 1만톤급 선박의 왕래가 가능한 구조이다. 영종대교의 핵심적 구조인 복층 Truss 교량 구간은 총 2,250M인데 국내 3개 시공사가 분할하여 시공하고 있으며, 이중 약 62%인 1,375M의 제작, 선적, 운송 및 설치공사를 한진중공업에서 수행하고 있다.

육상 작업에 비해 작업 난이도가 높은 해상 작업이 대부분인 본 공사는, 여러 가지 열악한 작업조건을 갖춘 대표적인 난이한 작업 현장이다. 예를 들면 약 9.7M에 달하는 세계 최대의 조석간만의 차이, 빠른 조류, 빈번한 돌풍 등으로 작업환경이 최악인 지극히 어려운 작업 조건을 다양하게 갖추고 있다.

따라서 당 현장에서는 본 공사를 성공적으로 수행하기 위해 기존의 가설공법에서 과감하게 탈피하여 대부분 신공법을 개발, 적용함으로써 성공적인 공사 수행 및 공기 준수를 확신하고 있으며, 당사가 적용한 가설공법(제작, 조립, 운반, 설치공법)을 요약해서 소개하면 다음과 같다.

- 1) 3경간 연속 강Truss 교량을 육상에서 가공, 조립, 검사 완료 후 1경간 125M인 5,300ton씩 분리하여 육상 운송 System을 사용하여 해상 Jetty까지 운반한 후, 국내 최초로 조석간만의 차를 이용한 공법을 적용하여 Barge에 선적한다. Barge에 선적된 Truss는 예인선을 이용하여 가설위치까지 약 7km의 해상수송을 한 후 교각기초상부에 기 설치된 작업대(Base Structure)위에 거치한다.

- 2) 거치 후 Lifting Post와 Truss 본체를 Strand로 연결하여 Capacity 600ton Strand Jack(16 Sets)을 이용하여 교각위로 Lifting하여 각 Block의 접합면을 연결하여 교량 구조물 가설을 완료한다. Truss의 연결작업은 Truss Lifting 장비인 Strand Jack System과 교각상부에 설치된 미세 조정 장치에 부착된 유압 Jack을 이용하여 상하, 전후, 좌우 이동 및 회전이 가능토록 하여 안전한 작업이 가능하도록 하였다.
- 3) Lifting Post System은 대 Block을 교각사이에 거치하기 위한 Base Structure와 대 Block을 완성시 정 위치까지 Lifting 하기 위한 Lifting Post, Lifting Post를 고정시키는 Pier Block Support Frame 그리고 대 Block과 Lifting Post 상단을 Strand Wire로 연결하기 위한 Bottom Crosshead로 구성된다.
- 4) Base Structure는 교각 Footing의 양측 모서리 부분의 총 4곳에 설치되며, 각각의 Base Structure에는 2개의 Lifting Post가 놓인다. 각각의 Lifting Post에는 2개의 Strand Jack이 설치되며, Lifting System 1 Set는 Base Structure 4개, 8개의 Lifting Post 그리고 16개의 Strand Jack으로 구성되어 경간별 대 Block을 Lifting하여 가설할 수 있도록 되어있다.

1.2 영종대교 주요 사양

1.2.1 Truss교 구성 상세

1) 상부 구조

- 가) 상부 구조는 3경간 연속 2층 Warren Truss교로서 Truss 중앙부 하로에 복선 철도와 양측 하로 및 상로의 도로 병용교이다.
- 나) Truss는 상로 상형, 상현재, 수직재, 중간 조재, 하현재, 하로횡형, 하횡구 등 단품 Box로 구성되었으며, 상로 상형은 내부의 Truss Type 및 밀폐형 Type의 Diaphragm으로 보강된 구조이다.
- 다) 주구 Truss는 375M 3경간 연속으로 1.9%의 종단구배와 Truss 단면 중심선을 기준으로 양측으로 2% 횡단구배로 되어있다. 1경간의 길이는 125M이며 2,500tons Movable Shoe, 6000tons Fixed Shoe, 6000tons Movable Shoe, 2,500 Tons Movable Shoe인 교좌 장치가 Truss 지점별로 순서대로 지지하고 있으며, 3 경간 단부는 480mm Expansion Joint로 인접 3경간 Truss와 연결되어 있다.

2) 하부 구조

- 가) 하부 구조는 벽체식 콘크리트 교각이다.

- 나) 교각은 부분 중공(中空)콘크리트 벽체와 Copping, 교좌부로 구성되어 있다.
- 다) R.C.D(Reverse Circulation Drill) Pile을 제외한 교각 높이는 43.26 17.26M로 다양하게 분포되어 있으며, 교각의 폭은 각 Type별로 약간씩 다르지만 약 4.5 9.0M 정도의 규모를 가지고 있다.
- 라) Footing과의 이음부는 수중콘크리트 처리를 하였으며, 철근 조립과 콘크리트 타설을 순차적으로 병행하여 교각을 완성 시켰다.
- 마) 효과적인 하중 전달과 미관을 고려하여 교각 측면은 Round 처리를 하였고, 교각 중앙부는 무늬 거푸집을 사용하여 시공하였다.
- 바) 기초는 전면 기초이며, 기초 Pile은 R.C.D 공법을 적용하였는데 이는 직경 1,500mm 강관을 현장 향타한 후 정수압을 유지한 상태에서 Pile 내부의 토사 및 암을 연암 4M까지 굴착하여 내염 도장된 철근망을 삽입한 후 트레미 관을 이용하여 콘크리트 속 채운 구조이다.
- 사) 기초 Footing은 길이 37.50M, 폭 22.50 14.25M, 높이 4.0 4.5M의 Mass 콘크리트이며, R.C.D Pile은 직경 1500mm×12t의 강관을 사용하였고, 교각에 따라 60本(교각 W3, E6), 50本(교각 W4, E5, E7, E8, E9), 40本(교각 E10, E11, E12) 시공하였다.

1.2.2 특징

1) 구조적 특징

- 가) 대형 정착부(Anchorage)가 없는 도로, 철도 병용 2층 자정식 현수교
- 나) 주탑을 다아아몬드형으로 하여 주케이블을 탑정부에서 폐합시킴으로써 주탑 전체의 비틀림 강성을 크게 한 구조
- 다) 주케이블과 행거면을 안쪽으로 경사지게 하여 주탑의 내풍 안정성을 향상
- 라) Sag비를 크게 하여 보강형에 작용하는 축력을 감소
- 마) 공공 시설물(상수도, 전기, 통신, 가스, 송유관 등)을 보강형 상부 Box내에 수용함으로 외관이 양호함.
- 바) 소음 감소를 위하여 장대 Rail 및 궤도 완충재를 설치
- 사) 교량 중심상에 설치한 Catwalk 상에서 2본의 주 케이블을 동시에 가설함으로 시공성이 양호하고 가설비가 저감됨.
- 아) 교통소통, 시공성, 경제성, 내풍, 횡방향 안정성이 가장 유리한 단면 구조이다.

2) 조형적 특징

- 가) 주변의 섬들과 조화를 이루는 완만한 현수 곡선이 주탑과 함께 멀리서도

윤곽이 뚜렷함.

- 나) 케이블 외측면 및 평면 곡선은 전통 한옥의 기와 지붕선을 형상화.
- 다) 주탑은 해면에서 분리된 2개의 기둥이 상공에서 다시 합쳐짐으로서 민족의 통일과 단합을 상징
- 라) Truss의 G/Plate를 한 장의 판에서 도려낸 형상으로 경쾌한 형상을 창조.
- 마) 주탑의 단면을 사다리꼴로 하여 차량 이용자의 압박감을 완화.

1.2.3 주요 시설 및 설비

1) 주요 시설

가) 유지 관리 시설

교량의 건설 목적대로 장기간 공용하기 위해서 교량 본체 및 부속물을 정기적으로 점검하고, 발생한 손상에 대해서는 발생 원인, 진행 상태, 보수 시기 및 보수 방법, 보수비용 등을 종합적으로 검토하여 적절한 대책 수립을 위하여, 기상 및 해상조건이 열악하고 구조물의 점검 및 보수 작업이 위험한 고공 작업이 대부분인 본 교량은 접근이 용이하고 안전한 별도의 유지 관리 설비가 필수이다.

- 주탑 점검차
- 보강형 점검차
- 케이블 점검차
- 교각 유지 관리 시설물

2) 주요 설비

가) 유지 관리 계측 설비

- 프로펠라형 풍속계
- 초음파 풍량 풍속계
- 3축 지진계
- 가속도형 변위계
- 와이어 변위계
- 용접형 응력계
- 미세 진동계

2. 가설 공법 개요

2.1 가설공법 개요

본 교량은 「수도권 신공항 연육교 건설공사」 중 Truss 구간 1,375M에 해당하는 제2, 3공구 해상구간으로서 당초 가설공법은 75M 단위의 중 Block으로 제작하여 Floating Crane과 교각사이의 Temporary Bent(가벤트)를 이용한 Bent 공법으

로 계획되었다. 그러나 당초의 가설공법을 검토한 결과 다음과 같은 문제점을 발견하게 되었다.

- Bent 설치 개소 및 현장 연결 개소가 많아 공기가 길어져 경제성이 떨어진다.
- 현장 용접부가 과다하여 품질 유지관리가 어렵다.
- 해상에 Bent를 설치함으로 시공성이 떨어질 뿐 아니라 설치기간이 길다.
- 중량물 거치에 따른 가 Bent 기초의 침하의 우려가 있어 구조물 안정성 및 Truss Camber 관리에 문제가 있다.
- Bent 해체시기가 길어 Bent 전용이 어려우므로 해상에 많은 Bent설치를 감안할 때 경제성이 떨어진다.
- 설치현장에서 Truss 연결은 기상변화에 크게 영향을 받게되고 온도 변화에 민감하여 현장 연결 개소가 많은 Bent 공법은 품질 유지관리가 어렵다.
- 가설지점의 조류속이 빠르고 조수간만의 차이가 심하여 Floating Crane 사용할 경우 위험요소가 있으며 정확한 위치에 구조물을 Setting 하는데 많은 시간이 소요된다.

상기와 같은 문제점을 안고 있는 Floating Crane에 의한 가Bent 공법보다는 가설시 환경조건의 영향을 최소화할 수 있고, Block 구분을 크게 함으로써 공장에서의 작업은 최대로 하고 현장 작업은 최소화함으로써 교량의 품질을 극대화시켜야 할 절대적인 필요성이 있었다. 따라서 각 경간별로 Truss Block을 일괄 가설함으로써 공기단축이 가능하고 품질 관리 양호하며 시공성이 좋은 Float Mating Methods 및 Hinged Double Post Method 공법을 개발, 채택하게 되었다.

본 공사의 핵심적인 가설 공법을 요약하면 크게 5가지로 구분할 수 있다.

1) 가설 작업의 효율화 및 납기 단축을 위한 대 Block 공법 적용

본 교량은 3경간 연속 강 Truss 교량인 만큼 공장에서 생산, 조립, 검사 완료 후 국내 최대 규모인 1경간 125M인 5,300톤씩 분리하여 육상 운송, 이동 선적, 설치함으로써 작업의 시공성, 안전성 면에서 최상의 품질 확보가 가능하다.

2) 최악의 해상 작업 조건 극복을 위한 Jetty 시설 건설

육상에서 제작한 대형 Truss를 해상으로 운반하기 위하여, 해상에 육상 이동로를 연장한 Jetty 시설을 만들어 세계 최대의 조석간만의 차이를 이용하여 Truss를 운송용 Barge (11,000톤급)에 선적할 수 있도록 선적 시설을 개발 설치했다.

3) 대형 중량물 선적을 위한 신공법 개발

대형 Truss를 해상 운송용 Barge에 선적하기 위한 공법을 신 공법인 Barge Float Mating 공법을 적용했다. 본 공법은 현재까지 시도한 적이 없는 신공법으로 한진중공업에서 성공적으로 대형 Truss를 선적을 완료했다.

4) 해상 작업의 난제를 육상 작업과 동일한 신설치 공법 적용

작업의 안전성 및 효율화를 위해 교각에 거치대(Base Structure)를 설치하여 해상 운송된 대형 Truss를 교각에 직접 거치하여 육상 작업과 동일한 효율적인 작업성을 갖추게 했다. 본 공법 적용으로 안전한 작업 수행 가능, 제작장의 효율적인 활용 및 고가인 대형 설치 장비의 효율적인 활용이 가능하게 될 수 있다.

5) 설치를 위한 Lifting 중장비의 적용 효율화

대형 Truss의 Lifting 장비를 Strand Jack System을 사용하여 안전한 작업 및 분리된 Truss의 연결 작업이 용이하도록 했다. 본 장비는 유럽에서 선호하는 장비로 우리 회사에서는 대한항공 Roof Truss 설치시 성공적으로 사용한 실적이 있는 장비이다.

2.2 공법의 선정 배경 및 특징

[표 2-1] 공사 초기 Floating Crane 공법과 현재의 신공법 비교

구분	초기 공법	신공법(한진공법)
가설 방법	Temporary Bent(가벤프) 및 Floating Crane을 이용한 거치식	Hinged Double Post Method
특징	· 75M 중 Block 가설 · Block의 현장 연결 개소가 많아 작업성이 좋지 않으며, 설치시 기상조건에 많은 영향을 받음. · 현장 작업이 많아 품질 관리에 문제 · F/C를 이용하여 중 Block을 가설함으로 설치 기간 증가로 공기지연 · Bent 기초침하 등 구조적 안정성 결여. · 다수의 Bent설치 및 F/C 이용에 따른 공사비 고가. · 중 Block을 여러개로 분리 설치함에 따라 Camber 관리 불리	· 대 Block 일괄 가설 · Block 연결개소 적어 Block 연결 작업이 용이 · Block Lifting시 기상조건에 영향을 거의 받지 않음 · 공장 작업이 많고 현장 작업은 최소화함으로써 품질관리 양호 · 대 Block가설에 따른 공기 단축 · 가설 구조물 전용 및 설치 공기 단축으로 공사비 저렴. · 강성이 큰 하현재와 상현재 이용으로 구조적 안정성 확보. · 대 Block 일괄가설로 구조물의 Camber 관리 양호

1) Strand Jack을 이용한 Hinged Double Post Method의 특징

- 가설 단위를 대 Block화 할 수 있어 고공에서의 연결 개소를 줄임으로써 교량 품질 관리 및 작업의 안전성을 향상시킬 수 있다.
- 각 지점별로 Lifting Post 1개소 당 4개의 Strand Jack을 이용함으로써 교량의 승강이 자유로워 Block 연결작업이 용이하고 품질관리가 양호하다.
- 각 경간별로 독립 가설을 할수 있어 공기의 단축 및 공비의 절감 효과가 크다.
- 하현재와 상현재의 격점부에 Temporary Diagonal Member를 이용하여 상대적으로 강성이 큰 상로 상현재의 격점부를 지지점으로 함으로써 본체 보강을 최소화하며 가설 하중에 대한 안전성을 최우선적으로 확보할 수 있다.
- Lifting시 주변환경 조건의 영향을 받지 않고 가설을 할 수 있어 공기 단축의 효과가 크다.
- Lifting Post의 연결을 Hinge 구조로 함으로써 P- Δ 효과로 인한 좌굴 현상을 최대한 방지하여 구조적 안정성을 도모하였다.
- Lifting System이 서로 Synchronize됨으로 자동 Level 조정 및 미세 조정이 가능하며 Base Structure 기초가 부등 침하를 일으켜도 보정할 수 있어 Block 연결이 용이하여 품질 관리가 양호하다.
- 각종 가설 구조물을 전용할 수 있어 경제적이다.
- Lifting시 구조물의 거동 예측이 가능하고 시공이 용이하다.
- 대 Block 일괄 가설로 Truss 구조물의 Camber 관리가 양호하다.

2.3 가설 설계 기준

2.3.1 선적설계기준

1) 계류(Mooring)설계기준

- 유의 파고 (H_s) : 1.0M
- 풍속(Wind Speed) : 30 Knots (15 M/sec)
- 조류 속도(Current Speed) : 3.0 Knots (1.5 M/sec)

2) Operation

- 유의 파고 (H_s) : 0.6M
- 풍속(Wind Speed) : 20 Knots (10 M/sec)
- 조류 속도(Current Speed) : 3.0 Knots (1.5 M/sec)

2.3.2 운송설계 기준

- 유의 파고 (H_s) : 1.5M
- 유의파 주기 : 4 - 7 Sec
- 풍속(Wind Speed) : 30 Knots (15 M/sec)
- 조류 속도(Current Speed) : 3.5 Knots (1.75 M/sec)

2.3.3 하역설계 기준

1) 계류(Mooring)설계기준

- 유의 파고 (H_s) : 1.0M
- 풍속(Wind Speed) : 25 Knots (12.5 M/sec)
- 조류 속도(Current Speed) : 3.5 Knots (1.75 M/sec)

2) Operation

- 유의 파고 (H_s) : 0.5M
- 풍속(Wind Speed) : 20 Knots (10 M/sec)
- 조류 속도(Current Speed) : 3.5 Knots (1.75 M/sec)

3. 영종대교 가설 공법

3.1 제작 및 조립 계획

한진중공업 울도 공장에서 제작 및 조립을 하여 지조립을 완료한다.

3.2 이동(Load-Out) Procedure

육상 Load-Out 이란 Truss를 최초 가조립 위치에서 선적 위치까지 이동시키는 작업으로 울도 강교제작 공장에서 Jetty 부두로 Truss를 Bogie & Strand Jack 을 이용하여 Barge 선적위치로 이동시키는 작업을 말한다. 강교 제작장에서 가 조립된 Truss는 약 125M 구간으로 각각 구분한 후 육상 Load-Out을 하게 되며, 아래와 같은 순서로 진행된다.

- 1) Truss 제작 및 조립(육상조립) 완료
- 2) 이동 순서에 따른 Truss 분리 작업 수행
- 3) 이동 Block 하부에 Bogie 설치
- 4) Pulling용 Strand Jack(L100ton/ea) 설치
- 5) Strand Jack 이용하여 Jetty 부두로 Pulling
- 6) Jetty에 거치되어 있는 운송용 Frame 정 위치 Setting

[표 3-1] Load-Out 공법 비교

구 분	신공법(한진 공법)	기존 일반 공법
이동 (Load -Out) 공법 및 System	· 적용 공법명 : Bogie System을 이용한 Pulling 공법 · 공법 개요 : 육상 Load-Out용 장비인 Bogie System에 Truss를 싣고 Strand Jack으로 Pulling하여 Load-Out · 사용장비 : Bogie System 및 S/ Jack · 특징 및 효과 - 수직 하중 분배 : ① 대조립장에서 Jetty 시설까지 125M 교량 약 5,300Tons 규모의 Truss를 운반시 Truss 자중을 등가의 반력 상태로 수직하중을 분배하여 L/O ② L/O시 보강물량 최소화 및 하부구조(Skid Way)에 대한 경제적 설계 가능. - 수평 하중 최소화 : ① Bogie Wheel의 구름마찰력(마찰계수 : 0.02)을 이용함으로써 Pulling Force를 최소화하여 기초의 수평보강 최소화 ② Pulling용 장비 Capacity를 최소화. - Load-Out의 진행 속도가 빠름 : Bogie System을 사용하여 전통적인 Skid Shoe를 이용하는 공법 대비 빠른 작업 가능	· 일반공법 : Winch 혹은 Push Pull System을 이용한 공법 · 사용장비 : Winch, Push Pull System, Skidding System(Timber / Steel 혹은 Steel/Steel등의 마찰력을 Grease/Wax 등으로 감소) · 특징 및 효과 : - 수직하중 분배 및 조정 불가 : 하중 집중 부재에 대한 보강이 불가피하며 및 하부 이동 보조용 구조물의 경량화가 불가능하다. - 기초보강 과대 : L/O시 Timber/Steel 혹은 Steel/Steel의 마찰력을 Grease/Wax 등으로 감소시키나 일반적으로 마찰계수를 0.2 정도 적용해야 하므로 수평력에 대한 과대 보강이 필요하다. - 이동장비의 대형화 : 상대적으로 큰 마찰 계수를 적용해야 하므로 장비의 대형화

3.3 선적(Shipping/Mating) Procedure

Truss가 육상에서 Load-Out되어 Jetty에 도착하면 10,000Ton Barge에 선적을 하게 된다. 10,000ton Barge에는 Jetty에 진·출입이 가능하도록 Mooring & Anchoring System이 되어있고, Jetty에는 Truss선적 및 운송을 위하여 운송용 Frame이 설치되어 있으며 다음의 절차에 의하여 작업이 진행된다.

- 1) Main Block에서 소 Block을 분리하여 Floating Crane으로 인양 및 운송
- 2) Jetty앞에서 Barge 대기(Initial Condition 조정 및 Anchor Setting)
- 3) Mating Time Schedule에 의거 저조 때를 기준으로 Barge가 Jetty내로 진입 시작
- 4) 진입 완료 후 Positioning 및 대기

- 5) Truss가 Float-Up 되면 Barge 진출 시작
- 6) 진출 후 Jetty 앞 대기 및 Sea-Fastening, Mooring Line 해체

[표 3-2] Shipping/Mating 공법 비교

구분	신공법(한진 공법)	기존 일반 공법
선적 공법	· 적용 공법명 : Tide Harmony 공법 · 공법개요 : 육상 이동로를 연장한 Jetty 시설을 개발하여 조석간만의 차이가 큰 환경 조건을 이용하여 Truss를 운송용 Barge (11,000톤급)에 선적 · 사용장비 : Barge (11,000tons급), Mooring 및 Anchoring System, 운송 및 상부 구조 보강용 Frame, 기타 · 특징 및 효과 : - 서해 지역(특히 인천지역)의 큰 조석간만의 차이 (자연조건 최대활용)를 이용한 선적 - 중형급 Barge(Dw 11,000톤급)를 사용하여 별도의 추가 대형장비(대형 Barge, Ballasting System등) 없이 안전하고, 효율적이며 경제적인 선적 작업 가능 - Barge Ballasting Condition을 최소화하고 Sea Water Tide를 최대 이용하므로 선적 시 안정성 확보	· 일반 공법 : 일반적으로 육상에서 제작된 중량물을 해상이동 작업을 위해 Barge나 배에 선적시, Crane에 의한 선적, Skidding 및 Ballasting System에 의한 Load-Out, Transporter에 의한 선적 등의 방법이 있다. 그러나 이 경우 대형화된 각종 System이 필요하므로 안전성, 장비확보 및 원가 측면에서 대단히 불리하다. · 사용장비 : 각종 대형장비

3.4 운송(Transportation) 및 거치(Launching) Procedure

Jetty에서 Barge를 이용하여 Truss를 선적한 후 설치현장까지 Tug-Boat를 이용하여 약 7.7km거리를 해상 운송한다. 설치 대상 교각에 도착한 후 Truss를 선적한 Barge는 Mooring Line을 사용하여 Base Structure 상단에 정확히 거치한다. 이때 Truss 충격을 방지하기 위해 충격방지가 설치되어 있으며 다음의 절차에 따라 작업이 이루어진다.

- 1) 설치 현장까지 예인선을 이용하여 대 Block Truss를 운송
- 2) 설치 대상 교각 앞에서 대기 및 Draft 조정, Anchoring 작업
- 3) Launching Time Schedule에 따라 진입 시작
- 4) 진입 완료후 Positioning 및 대기, Sea-Fastening Member 해체
- 5) Truss가 Base Structure에 Touch되면 Ballasting 시작
- 6) 대기후 진출 시작 및 교각 앞 대기

[표 3-3] Transportation & Launching 공법 비교

구분	신공법(한진 공법)	기존 일반 공법
거치 공법	· 적용 공법명 : 가물막이를 활용한 육상화 공법 · 공법개요 : Barge와 Mooring System을 이용하여 교각에 진입하여 Truss를 교각 Footing 상부에 거치한다. 거치시 구조물의 손상 방지를 위해 충격방지 장치를 설치하여 안전한 작업이 가능하다. · 사용장비 : Barge, Mooring & Anchoring System, Tug Boats 및 기타 · 특징 및 효과 : - 가물막이를 활용하여 교각 내부를 건조한 상태로 유지하여 해상 작업의 난이도 제거 - 거치시 충격 방지 장치를 설치하여 구조물의 손상 방지 및 교축 방향 변위에 대한 자동 흡수 가능 - 거치시 Base Structure를 사용하여 항시 거치 작업이 가능함으로서 공기 절감 및 육상과 동일한 작업 가능	· 일반공법 : Barge가 Tug Boats에 의해 이동되어 교각에 일부 Mooring된 상태에서 구조물 하역작업이 수행되므로 난이한 해상작업의 어려움과 위험성이 내포한 작업 수행 · 사용장비 : Barge, Mooring Line, Tug Boats, 기타

3.5 설치(Installation) Procedure

3.5.1 설비 및 사용 장비

- 1) Strand Jack System
 - 가) Capa. 600 Tons Lifting Jacks 및 Anchor
 - 나) Central Control System
- 2) Pier Block Support Frame(미세 조정 장치)
 - 가) Hydraulic Jack For Horizontal Control
 - 나) Hydro. Jack For Vertical Control
 - 다) Power Pack
 - 라) Central Control System
- 3) Guide Bearing(미세 조정 장치)
- 4) Lifting Post 및 Base Structure
- 5) Bottom Cross Head

3.5.2 Lifting Procedure

Lifting순서는 다음과 같다.

[표 3-4] Installation 공법 비교

구분	신공법(한진 공법)	기존 일반 공법
설치 공법	· 적용 공법명 : Hinged Double Post 공법 · 공법 개요 : 구조물의 안전한 Lifting 및 가설 Lifting Post의 효율적 활용을 위해 Hinge Type의 Post를 설치한 후 Strand Jack System을 이용하여 대형 Truss 구조물을 Lifting한다. · 사용 장비 : Lifting Post, Strand Jack System · 특징 및 효과 : - Lifting Post에 Hinge 개념을 적용함으로써 Post의 경량화 및 Lifting 하중에 대하여 효율적인 저항이 가능하도록 설계되었다. - 일정 한도의 수평 변위가 가능하도록 설계하여 각 Post간의 연계 저항이 가능하도록 설계되었다. - Block 단부에서의 승강이 자유로워 Block 연결작업이 용이하고 품질관리가 양호하다 - 하현재와 상로 상형의 격점부를 Strut로 연결하여 하현재부를 지점부로 택하므로 본체 보강을 최소화하며, 가설시 하중에 대한 본체의 안정성 확보가 용이 - 하현재에 Guide Bearing을 설치하여 Lifting시 수평변위를 제어할 수 있다. - 각 Block의 양측 끝단에서 Lifting 됨으로 Block 자체 힘의 균형(Load Blance)이 이루어져 구조물의 거동 예측이 가능하고 시공이 용이하다.	· 일반공법 : 일반적으로 Floating Crane이나 일반 Crane을 사용하여 소/중규모 Block Lifting 작업 수행 · 사용장비 : Floating Crane, 일반 Crane

1) Step 1 :

- 가) 각각의 Lifting Post는 전용이 가능하도록 여러 Type으로 제작되며, 가장 긴 Lifting Post는 약 40M 정도이다.
- 나) Base Structure를 각 Block의 양 끝단에 있을 수 있도록 4곳의 교각에 고정시킨다.
- 다) Pier Block Support Frame(미세 조정용 구조물)을 교각 상단에 설치한다.
- 라) 소 Block을 Floating Crane을 이용하여 Pier상단에 거치한다.
- 마) 각종 설치 장비 등을 설치한다.

2) Step 2 :

- 가) Barge를 이용하여 대 Block을 Lifting 위치로 운송한다.
- 나) 대 Block을 Base Structure 위에 정 위치시킨 후 Lifting Post 및 Strand

Jack을 설치한다.

다) Strand Jack을 대 Block 하현재에 기 설치한 Bottom Crosshead와 Lifting Post 상단부에 있는 Fixed Anchor에 연결한다.

3) Step 3 :

가) 대 Block을 소요 높이까지 Lifting 한 후 Pier상단에 기 설치된 Block과 Mating 작업을 함과 동시에 연결 작업을 한다.

나) 사재 및 하횡구, 그리고 하로 도로를 연결

4) Step 4 :

가) Crosshead, Guide Bearing 및 Pier Block Support Frame, Strand Jack을 해체한다.

나) 본체 보강재 철거 및 Lifting System을 다음 Block시공 위치로 이동시킨다.

4. 맺음말

해상 교량 건설의 성공적 수행을 위해서는 현장 여건 및 환경조건, 작업조건, 지형, 지질조건 기타 소요장비 반입조건 등 전반적인 면을 면밀히 검토하여 안전성 및 경제성이 뛰어난 공법이 선정되어야 한다.

본 조건을 충족시키기 위해 당사에서는 가설 공법 대부분을 신공법을 적용함으로써 조석간만의 차이가 세계에서 가장 큰 지역의 난제를 극복하여 성공적인 공사를 수행함으로써 열악한 작업환경을 극복한 성공 사례로 남기고, 우리 나라의 대형 중량물의 가설 수준의 향상 및 향후 서해안 지역 해상 중량물 공사 발전에 밑거름이 될 것으로 판단한다.

본 영종대교 공사는 우리나라의 대역사인 만큼 당사에서는 열악한 작업 환경 조건에도 불구하고 본 공사를 성공적으로 수행하기 위하여 불철주야 노력하고 있으며, 막중한 사명감을 갖고 국민에 봉사하는 자세로 최선을 다해 공사에 임하고 있다.

Load-out 진행중	Load-out 완료(Jetty에 진입완료)
Barge에 선적완료	해상운송
대Block 거치	대Block 설치

산업재산권 등록 및 출원

당사의 정릉천변 도로현장에 적용한 "프리캐스트 엘레먼트 접합부(PRE-CAST ELEMENT CONJUNCTION)"를 1999년 7월 1일부터 시행된 특허 및 실용신안 이중출원제도를 이용하여 특허출원(99-28670호)과 실용신안 등록(제0163822호)을 하였다.

[발명의 명칭]

프리캐스트 엘레먼트 접합부(PRE-CAST ELEMENT CONJUNCTION)

[발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래 기술]

본 발명은 PSC 메인 박스거더에 Pre-Cast 엘레먼트(이하, PC 엘레먼트라 함)를 접합하는 접합부에 관한 것으로, 더 구체적으로는 접합시에 사용되는 개량형 충전재를 포함하는 효과적이고 견고한 접합부에 관한 것이다.

PC 엘레먼트 교량공법은 MSS(Movable Scaffolding System, 이동식 비계공법)에 의해 메인박스를 현장에서 콘크리트 타설후 교량폭의 확폭을 위해 공장에서 제조된 PC 엘레먼트 겐트리크레인으로 거치하여, 메인박스 측면에 접합시킨후 상부 슬래브 콘크리트 타설 및 횡방향 강선을 긴장시켜 교량폭을 확대하여 완성시키는 공법이다.

이 공법은 PC 엘레먼트를 공장에서 먼저 제조하여 현장에서 조립, 완성하는 프리캐스트 세그먼트 공법을 현장 타설공법과 혼합시킨 특수한 형태로써 공기단축 뿐만 아니라 시공성 향상, 작업 안정성 및 공사비 절감 등의 실용성을 갖고 있으며, 기존 프리캐스트 공법에서 문제시되는 시공 및 구조적으로 가장 중요한 접합부 처리에 대한 구체적인 기준과 구조상의 문제점을 개선시켜 개량한 공법이다.

종래의 접합부는 통상 PC 엘레먼트의 2개의 지점에서 각 지점당 2개의 일반 탄성패드를 장착하여 최종상태에서 전하중을 부담시키게 하고 있다. 또한 충전재로 사용되는 무수축물탈은 기밀유지 등의 유지 보수용으로 작용할 뿐 하중을 부담하지 않는다. 이러한 상태의 패드는 운반중 또는 최초 거치시 손상될 우려가 있고, PC 엘레먼트와 메인박스 거더사이의 간격을 일정하게 유지하기 어렵다. 더 구체적으로 설명하면 종래의 패드에 의한 지지방식에서는 PC 엘레먼트에서 전달되는 하중이 패드부분에만 집중적으로 작용한다. 또한 패드에 전달되는 응력이 패드

에 수직으로 전달되는 것이 아니라 수직방향으로 70%, 수평방향으로 30% 정도로 힘이 분산됨으로써 패드가 부담할 수 있는 하중이 적어지고, 수평으로 흐르는 힘 때문에 미끄러짐 현상이 발생되어 장기적으로 패드의 수명이 단축되는 결과를 초래할 뿐만 아니라 주위의 기밀용 몰탈까지 균열을 발생시킬 수 있다. 또한 상기 패드는 PC 엘리먼트 제조시 미리 부착되어 있어서, 운반이나 보관시 또는 크레인에 의해 메인박스에 거치될 때 충격 등으로 파손될 우려가 있고, PC 엘리먼트를 메인박스에 거치할 때 패드의 전면이 메인박스에 부착되지 않을 경우 편심하중에 의해 파손 또는 수명 단축의 우려가 있으며, 패드 파손시에 교체가 불가능한 문제가 있다.

[발명이 이루고자 하는 기술적 과제]

따라서 본 발명에서는 상기한 문제점을 고려하여 상부 슬래브의 사하중 및 활하중을 지지하는 PC 엘리먼트와 메인박스 접합부에 위치한 패드와 충전재 몰탈의 구조적 기능을 효과적으로 극대화시킬 수 있고, 또한 하중조건에 부합하도록 하여 교량의 내구성, 시공성 및 안정성을 향상시키고 구조적 견고성을 개선시키는 PC 엘리먼트 접합부를 제공하고자 한다.

[발명의 구성]

PC 엘리먼트 접합은 먼저 엘리먼트 하단부에 패드 및 그라우팅용 러버를 부착하고, 2단계로 PC 엘리먼트를 크레인으로 들어올려 PSC 메인박스거더에 접합하고, 3단계로 바 그림에 의해 두 개의 철근을 접합하고 PC 엘리먼트의 좌우, 높이를 미세 조정한 후 4단계로 상부 슬래브 거푸집, 철근 조립후 콘크리트를 타설하고 PC 엘리먼트 접합부에 몰탈을 충전하여 완성한다. 본 발명에서는 통상적인 패드방식의 PC 엘리먼트 접합부를 개량한 것이다.(<그림 1> 참조)

더 구체적으로 설명하면 <그림 2>에 도시된 바와 같이, 본 발명에서는 PC 엘리먼트와 메인박스 사이에 삽입되는 2개의 접합패드 중 상부측 패드를 설치하지 않고, 하부 경사면에만 탄성보강패드를 설치한 것이다. 즉, 상부측 패드자리에는 PC 엘리먼트와 메인박스 사이의 틈에 볼트의 헤드부분이 위치하고, 그 볼트가 삽입될 수 있도록 대응하는 나사형태를 가진 탭형 파이프를 PC 엘리먼트 제조시에 미리 삽입하여 PC 엘리먼트 가설시 상기 볼트를 조정함으로써 상기 틈의 간격을 유지하고 PC 엘리먼트의 위치를 조정할 수 있다. 이 상태에서 상기 틈에 에폭시 몰탈을 충전한다. 상기 에폭시 몰탈은 최종상태에서 전하중을 부담하는 작용을 하게 된다.

한편, 접합패드는 통상 장기적인 미끄러짐으로 인해 패드자체에 결함이 발생하고 수명이 단축되어 교량안전에도 큰 영향을 미치게 되므로, 지지구조체를 상기한 바와 같이 에폭시 몰탈 충전재로 교체함과 동시에 종래의 일반적인 패드에 3개의 강판을 삽입한 보강패드를 사용하여 미끄러짐 현상을 방지하고 있다.(<그림 3> 참조)

종래의 방식에 의하면 패드와 응력방향이 정확하게 직각을 이루지 않게 됨으로써 응력방향이 분산되어 장기간에 걸쳐 패드는 응력을 부담할 수 있는 능력을 상실하고 최종적으로는 충전재가 전하중을 부담하게 된다. 따라서 본 발명에서는 하중을 최종적으로 지탱할 주지지체를 충전재로 전환하여 안전성과 정밀성을 얻을 수 있도록 하였다. 본 발명의 패드는 전하중을 받는 것이 아니라, 충전되는 에폭시 몰탈과 같이 분담하게 됨으로써 하중집중에 따른 응력집중 등의 역학적인 문제점을 상호 완충하는 작용을 하게 된다.

또한 상기 패드내에 강판을 삽입하여 하중에 견딜 수 있는 강성을 높이고 PC 엘리먼트의 미끄러짐 발생시 상기 강판은 보다 견고한 탄성적 지지를 가짐으로써 종래방식에 비해 시공상의 정밀성과 안전성을 도모할 수 있으며 보수 및 유지가 편리하다.

[특허청구범위]

1. PC 엘리먼트 하단부에 2개의 패드 및 그라우팅용 러버를 부착하고, PC 엘리먼트를 크레인으로 들어올려 PSC 메인박스 거더에 접합하고, 바 그림에 의해 두 개의 철근을 접합하고 PC 엘리먼트의 좌우, 높이를 미세 조정한 후 상부 슬래브 거푸집과 철근의 조립 후 콘크리트를 타설하고 PC 엘리먼트 접합부에 몰탈을 충전함에 의해 상기 메인박스에 접합되는 PC 엘리먼트 접합부에 있어서, 상기 2개의 패드중 상부측 패드자리에 PC 엘리먼트와 메인박스 사이의 틈에 볼트의 헤드부분이 위치하고, 그 볼트가 삽입될 수 있도록 대응하는 나사형태를 가진 탭형 파이프를 PC 엘리먼트 제조시에 미리 삽입한 상태로 PC 엘리먼트를 가설하고, 상기 틈에 최종상태에서 전하중을 부담하는 에폭시 몰탈을 충전하는 것을 특징으로 하는 PC 엘리먼트 접합부
2. 제1항에 있어서 하부측 패드로는 통상의 패드에 3개의 강판을 삽입한 탄성보강 패드가 설치되는 것을 특징으로 하는 PC 엘리먼트 접합부.

<그림 1>

1	메인박스	7	물탈
2	PC엘레먼트	8	탭형 파이프
3	철근	9	탄성보강패드
4	너트	10	볼트
5	와셔	11	그라우팅용 러버
6	바 그립	12	강판

<그림 2>

<그림 3>

환경관련 기본용어와 단위

현장의 환경업무지원시 빈번히 문의하는 기본단위와 환경용어를 간략히 정리한 것이다.

1. 단위 및 기호

1.1 희랍문자

α 알 파(Alpha)	ι 이오타(Iota)	ρ 로 우(Rho)
β 베 타(Beta)	κ 카 파(Kappa)	σ 시그마(Sigma)
γ 감 마(Gamma)	λ 람 다(Lamda)	τ 타 우(T au)
δ 델 타(Delta)	μ 뮤 우(Mu)	υ 업실론(Upsilon)
ε 입실론(Epsilon)	ν 뉴 우(Nu)	ϕ 파 이(Phi)
ζ 제 타(Zeta)	ξ 크사이(Xi)	χ 카 우(Chi)
η 이 타(Ita)	$\omicron$ 오미크론(Omicron)	ψ 프사이(Psi)
θ 세 타(Theta)	π 파 이(Pi)	ω 오메가(Omega)

1.2 계량 및 단위와 명칭

1) 길이(length)

단 위	명 칭	단 위 관 계
μm	micrometer	$10^{-6}\text{m}/\mu\text{m}$
cm	centimeter	$10^{-2}\text{m}/\text{cm}$
ft	feet(foot)	$0.3048\text{m}/\text{ft}$
in	inch	$0.0254\text{m}/\text{in}$
mi	mile	$1609.3\text{m}/\text{mi}$

2) 면적(area)

단 위	명 칭	단 위 관 계
m^2	sqare meter	
cm^2	square centimeter	$10^{-4}\text{m}^2/\text{cm}^2$
ft^2	square feet(foot)	$0.0929\text{m}^2/\text{ft}^2$
in^2	sqare inch	$452 \times 10^{-4}\text{m}^2/\text{in}^2$

■ 기술단신

3) 부피 및 들이단위(volume)

