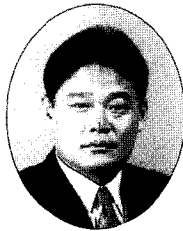


격자형 보·기둥요소를 갖는 조립식 프리캐스트 방음벽 기초의 시공

- An Application of Fabricated Precast-soundproof Wall Foundation Based on Grid Type Beam-Column Elements -



이호석*
Lee, Ho Seok



이석태**
Lee, Suk Tae



김현준***
Kim, Hyun Jun



이원복****
Lee, Won Bok

1. 머리말

최근 도로나 철도에서 발생하는 소음을 저감시켜 연도환경을 개선시키기 위한 방음벽의 설치구간이 증가되고 있다. 방음벽 설치구간에 필요한 방음벽의 기초는 옹벽 기초를 채택하고 있으며 이 옹벽기초 위에 H-Beam 지주를 세우고 이 지주 사이에 방음판을 끼워, 설치하는 공법이 주로 이용된다. 옹벽기초는 상부에서 작용되는 사하중과 풍하중을 지지할 뿐만 아니라 흙중에 설치하므로 토압에 지지해야 한다. 따라서 흙 중에 설치되는 일반적인 옹벽과는 다른 하중 지지구조를 가지므로 방음벽 기초만이 갖는 하중 지지구조에 적합한 공법의 개발이 필요하다.

우리나라에서는 방음벽 기초의 경우 현장타설 콘크리트 공법을 채택해 왔다. 그러나 방음벽 기초의 하단은 상부노체나 노상부에 위치하게 되므로 현장타설 콘크리트 공법을 적용할 경우, 기초의 설치가 선행되어야 하므로 공기지연의 우려가 발생한다. 따라서 방음벽 설치구간에 있어 주

변토공과 동시에 시공 가능하고 기초시공에 따른 공기지연 요소가 최소가 되기 위해서는 프리캐스트 기초공법의 개발이 요구된다.

우리나라의 고속도로, 국도 등과 같은 도로공사와 철도공사의 경우, 방음벽 기초는 역T형 옹벽기초나 L형 옹벽기초를 적용해 왔다. 그러나 이 기존 공법은 토압이 작용된 구조물에서 적용된 것으로서 토압, 사하중 및 풍하중이 작용되는 방음벽 기초 용으로는 최적이지 못하였다. 또, 역T형 및 L형 옹벽은 시공성은 우수하나 부벽식 옹벽에 비해 비경제적인 것이 일반적이다. 따라서 방음벽 기초에 작용되는 하중조건에 최적이고 단면적으로 가장 경제적인 부벽식 기초를 프리캐스트화 하는 기술개발은 경제성, 시공성 및 구조적 안전

성을 향상시킬 수 있는 매우 효과적인 방법이다.

건설교통부와 한국도로공사에서는 기초 높이 H = 3m, 총 5종의 표준화된 역T형 구조단면을 적용하여 오다가 2003년부터는 지역별 설계풍속을 고려하여 세분화된 표준도면을 적용하고 있다. 즉, H = 2m, 총 29종의 현장타설 콘크리트 L형 방음벽 기초를 방음판의 높이 및 지역별 설계풍속에 맞춰 적용할 수 있도록 한 것이다.

그러나 이 형식은 L형 구조단면을 적용하므로 풍하중, 사하중 및 토압이 작용되는 구조물에 경제적이지 못하여 (주)토암산업에서는 다음과 같은 구조형식의 제품을 개발, 성공적으로 시공하였으며 시간경과에 따른 구조물의 상태를 평가, 그 사례를 소개하고자 한다.

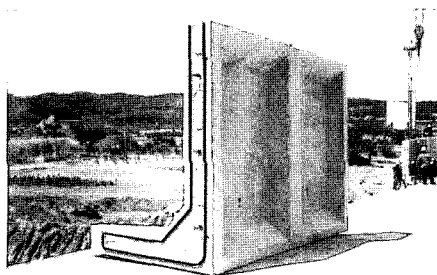


사진 1. 본 공법의 방음벽 기초(전면)

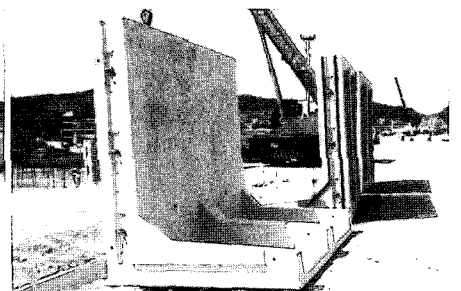


사진 2. 본 공법의 방음벽 기초(후면)

*정회원 (주)토암산업 대표이사
** (주)토암산업 건설기술연구소 소장
*** (주)토암산업 건설기술연구소 책임연구원
**** (주)토암산업 건설기술연구소 선임연구원

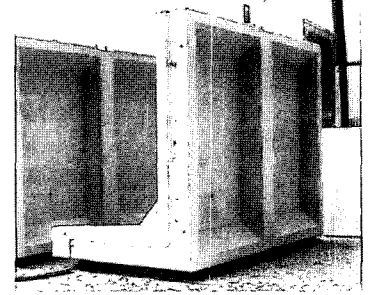
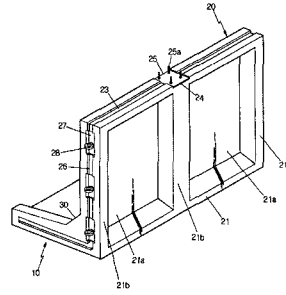
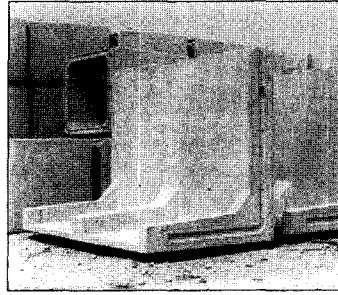
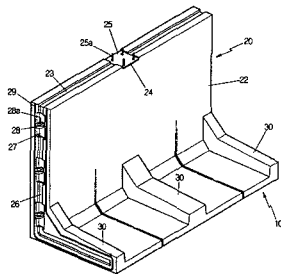


그림 1. PC 방음벽기초 사시도 및 제품사진

2. 프리캐스트 방음벽 기초의 개요

방음벽 기초는 방음판의 자중은 기초의 상부에서 받고 풍하중은 방음판이 받는 것을 방음판을 지지하는 H-Beam을 통해 앵커볼트로 전달된다. 또, 매입깊이에 따라 토압이 다르게 작용된다.

기초의 형상은 이러한 하중조건에 가장 적합한 단면을 갖도록 검토하였다. 먼저 옹벽구조형상 중 가장 경제적인 부벽식 거동을 할 수 있고 기초의 자중을 최소화하여 경제성이 우수한 형상에 대해 수회의 시험을 시도하였다. 이를 통해 보·기둥요소를 갖도록 계획하고 이것을 현장에서 일체화 시켰을 경우, 부벽식 거동이 일어나는 형상을 채택하였다. 이의 결과는 <사진 1> 및 <사진 2>와 같다. 사진에서와 같이 기존의 L형옹벽 단면을 표준으로 하여 보·기둥요소의 거동을 하는 주단면과 벽체역할을 하는 부단면으로 구성하였다.

3. 프리캐스트 방음벽 기초의 원리

<그림 1>에서 기둥요소(21b)인 주단면은 풍하중과 토압과 같은 주요하중을 지지

하는 역할과 H-Beam을 고정시키는 앵커볼트를 매입시키는데 적합하도록 하였다. 상부보요소(23)는 제품중앙의 기둥요소에 집중되는 응력을 구조체 전체에 안전하고 고르게 분포 되도록 할 뿐만 아니라 상면에 길이방향을 따라 요(凹)홈을 형성하여 방음판을 견고하게 장착하는 기능을 한다. 하부 보요소(21)는 기둥요소 저면에 집중되는 지반 반력을 등분포시켜 지지력에 안전하도록 하였다. 벽체인 부단면(21a)은 도로부분의 토사가 흘러내리는 것을 방지하는데 적합하도록 하였다.

이와 같은 구성에 의해 기존 방음벽기초 대비 약 50%의 콘크리트와 철근량을

절감하여 경제성을 확보하였으며, 이를 실용화하기 위해 제작성이 우수한 프리캐스트 콘크리트 공법을 개발하였다.

접합구조는 프리캐스트 기초의 접합부 양측 측면에는 모르타르 홈(26)을 형성하였고 특히 수직벽의 모르타르 홈에는 수직 전단키 구조를 갖도록 소정간격의 이격된 복수개의 전단홈(27)을 형성하였다. 이 전단홈은 설치후 강봉으로 체결하도록 아이볼트(28)를 설치하였다. 이 구조는 설치후 고강도 모르타르를 주입하여 프리캐스트 부재를 일체화시키고 이 때 기초구조물이 전체적으로 부벽식 거동을 하도록 하고 부등침하를 방지하도록 하였다.

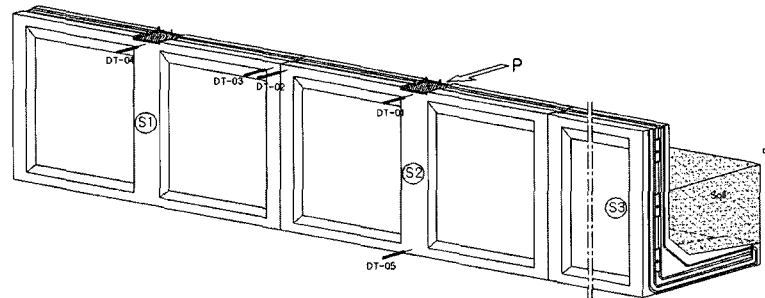


그림 2 하중재하 위치와 변위계의 위치

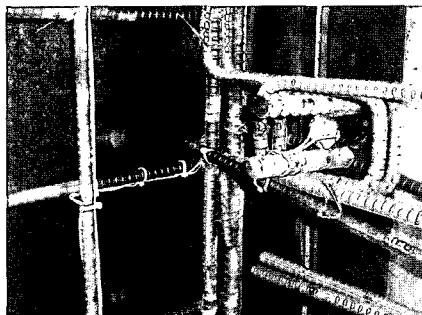


사진 1. 변형률 게이지 설치 전경

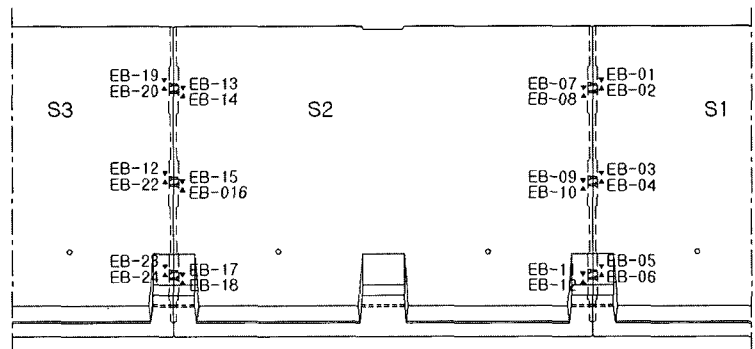


그림 3. Eye-Bolt에 부착된 변형률 게이지의 위치

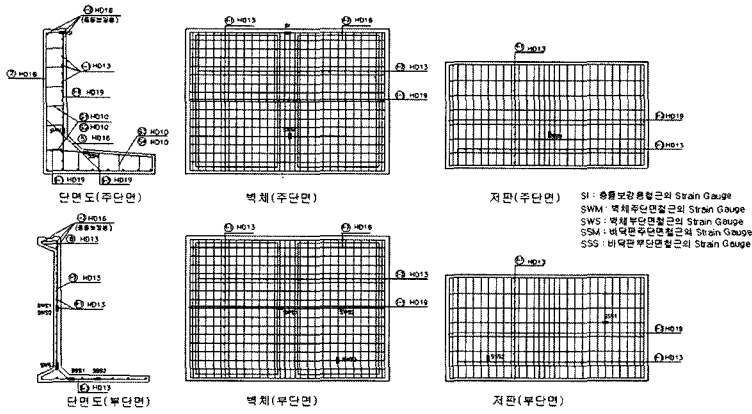


그림 4. 철근에 부착된 변형률 게이지의 위치

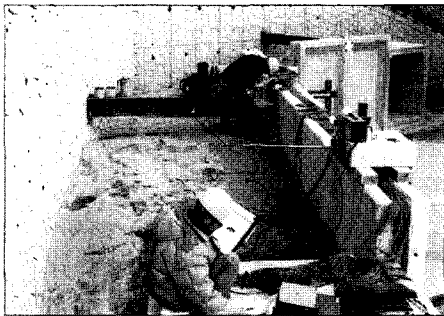


사진 2. 실험 장면

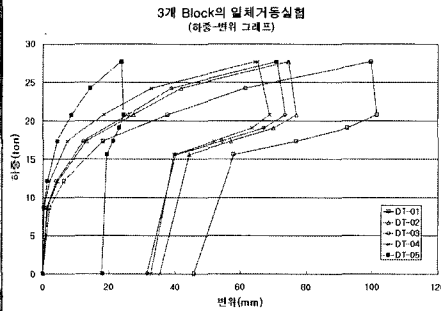


그림 5. 하중-변위 그래프

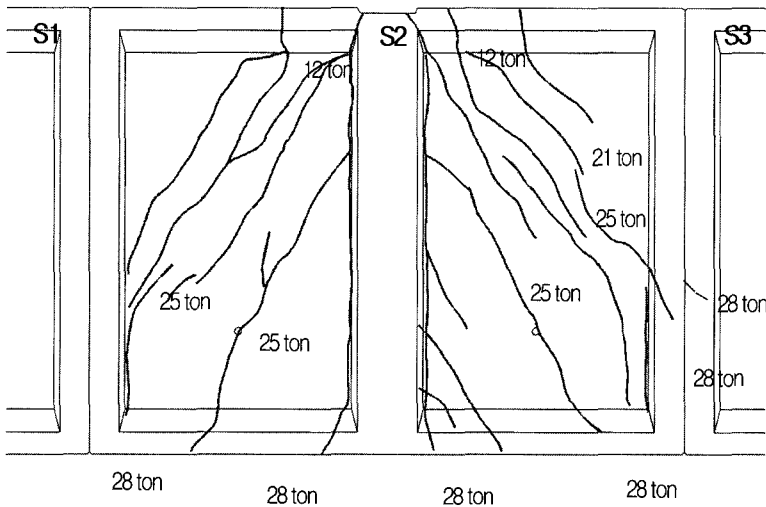


그림 6. 3개 블록의 일체거동실험 - 균열도

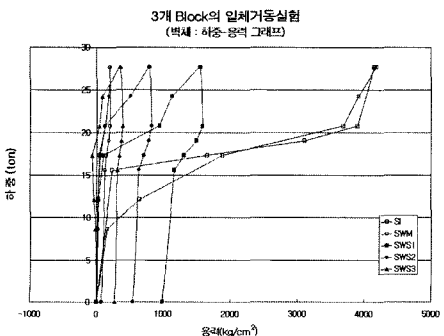


그림 7. 벽체의 하중-응력 그래프

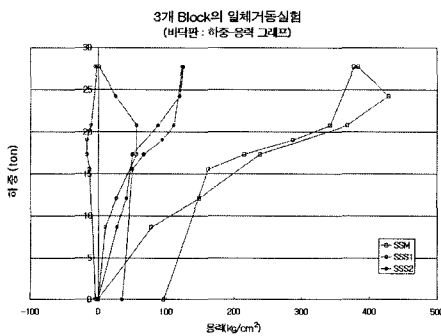


그림 8. 바닥판의 하중-응력 그래프

4. 프리캐스트 방음벽 기초의 실물실험

프리캐스트 콘크리트 방음벽기초의 재하상태에 대한 연결부의 저항능력 등을 통해 일체거동을 하는지를 검토하고 외부하중에 대하여 부재의 내하력의 안전성 검증 및 부등침하시에 접합부의 저항능력을 실물 실험을 통하여 확인하였다.

4.1 프리캐스트 방음벽 기초의 일체화 실험

미리 철근과 Eye-Bolt에 변형률 게이지를 부착하여 3개의 방음벽기초를 제작한 후 평탄한 지반면 위에 방음벽기초를 설치하고 연결부에 강봉을 체결한 후 무수축 몰탈을 타설하여 일체화 시켰다. 무수축 몰탈 타설 후 소정의 양생기간이 지나면 방음벽기초 저면으로부터 2m 높이까지 뒤채움 흙을 성토하고 다짐 완료 후 시험체의 주요 위치에 변위계를 설치하고 중앙부 방음벽기초의 중앙 주단면 상단에 유압실린더를 이용하여 하중을 재하하였다. 시험체에 부착된 센서의 위치를 <그림 2> ~ <그림 4>에 나타내었으며 실험장면을 <사진 2>에 나타내었다.

<그림 5>는 외부하중 재하시 방음벽기초에 발생하는 변위를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 S2에 부착된 변위계(DT-01, DT-02)와 S1에 부착된 변위계(DT-03, DT-04)는 하중 증가에 따라 거의 같은 형태로 변위가 증가하는 양상을 보이고 있으며 하중 재하 위치에서 가까울수록 그 값이 크다는 것을 알 수 있다. 이것은 연결부를 통하여 효과적인 하중전달이 이루어지고 있음을 나타내는 것이다.

<그림 6>은 외부하중 재하시 방음벽기초에 발생한 균열을 나타낸 것이다. 하중 재하 위치인 주단면 상부에서 약 12톤에서 최초로 균열이 발생하기 시작하였으며 28톤 재하시 방음벽기초의 하단으로 균열이 진전된 것을 볼 수 있다. 또한 28톤의 하중에서 균열이 연결부 시스템을 통하여 옆쪽(세그먼트 3)의 방음벽기초로 진행된

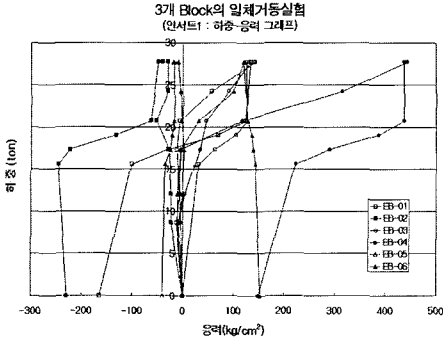


그림 9. 연결부1의 하중-응력 그래프

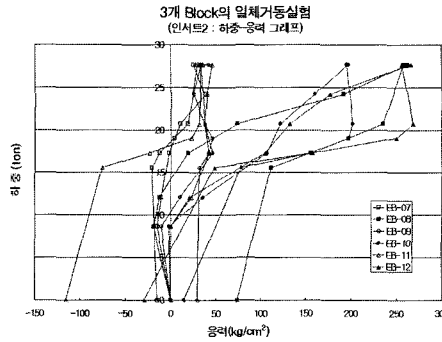


그림 10. 연결부2의 하중-응력 그래프

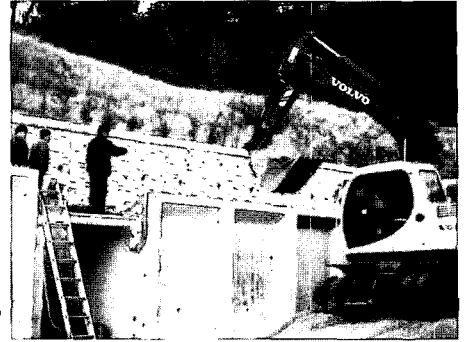


사진 3. 뒤펀흙 성토실험

것을 볼 수 있는데 이것은 연결부 시스템이 일체화 되어있어 하중전달이 원활히 이루어지고 있다는 것을 나타낸다.

〈그림 7〉은 외부하중 재하시 방음벽기초의 벽체에 발생하는 응력을 나타낸 것이다. 하중 재하시점과 가까운 보강용 철근인 SI에서 비교적 큰 응력이 측정되었고 약 28톤의 하중이 재하되었을 때 보강용 철근은 약 420 MPa 정도의 응력을 보이고 있다. 또한 벽체의 부단면은 28톤의 하중이 재하되었을 때 약 120 MPa의 응력을 보이며 이것은 보강용 철근에 발생한 응력의 1/4 수준이다. 이를 통해 본 실험체는 외부하중에 대해 안전한 것으로 판단된다. 〈그림 8〉은 외부하중 재하시 방음벽기초의 바닥판에 발생하는 응력을 나타낸 것이다. 바닥판에 발생하는 응력은 전체적으로 벽체에 발생하는 응력보다 낮은 값으로 가장 큰 값인 바닥판 주단면의 철근(SSM)에 발생하는 응력(약 42 MPa)도 벽체에 발생하는 최대응력(약 420 MPa)의 1/10 수준으로 방음벽기초의 바닥판은 매우 높은 안전도를 보인다.

〈그림 9〉와 〈그림 10〉은 외부하중 재하시 벽체의 연결부 인서트에 발생하는 응력을 나타낸 것이다. 28톤의 하중까지 인서트에 작용하는 가장 큰 응력이 약 45 MPa 정도인데 이 값은 Eye-Bolt 인발실험 결과를 참조하면 약 11톤 정도의 인발하중이 작용하였을 때 나타나는 값으로 최대 저항력 24톤의 45% 정도 수준이다. 따라서 연결부 구조는 파괴에 이르지 않고 주변 구조물에 효과적으로 하중을 전달할 수 있다는 것을 알 수 있다.

4.2 외부하중에 대한 부재력 검토 실험

PC 방음벽기초가 외부 하중에 대해 어떠한 거동을 하는지 파악하기 위하여 단계별로 PC 방음벽기초의 부재력을 검토한다. 우선 PC 방음벽기초가 뒤펀흙의 성토시 어떠한 거동을 하는지 파악하기 위하여 3개 블록의 PC 방음벽기초에 대한 성토 실험을 수행하고 외부하중을 재하하여 보강단면이나 보강용 철근 및 전체 구조물이 제 역할을 하는지 검토하였다.

4.2.1 단계별 성토실험

3개 블록의 PC 방음벽기초를 연결한 후 뒤펀흙을 한다. 이때 뒤펀흙의 성토 높이별로 PC 방음벽기초의 각 부위에 발생하는 응력을 체크한다. 뒤펀흙 성토실험 장면을 (사진 3)에 나타내었다.

뒤펀흙 성토 실험에 의해 방음벽기초에 발생하는 응력을 〈그림 11〉과 〈그림 12〉에 나타내었다. 위 그림에서 보는 바와 같이 뒤펀흙 성토시 방음벽기초에

발생하는 최대 인장응력은 약 10.5 MPa 정도로 철근의 허용 인장응력(160 MPa)의 약 6.6% 수준이므로 뒤펀흙 성토시 방음벽기초는 안전하다고 판단된다. 또한 외부하중 작용시 방음벽기초에 발생하는 응력은 그림에 나타낸 것과 같이 보강용 철근(SI)에서 가장 큰 응력을 보이며 약 17톤에서부터 응력은 급격히 증가하여 약 28톤 정도에서 파괴되었다. 그러나 하중 제거 후 철근에 발생한 응력은 80% 정도 원상태로 회복되었으므로 완전한 파괴로 보기에 무리가 있음을 알 수 있다. 따라서 방음벽기초의 파괴강도는 28톤을 상회하는 값으로 판단된다. 또, 방음벽에 작용하는 가장 주된 하중인 풍하중이 방음벽기초에 가장 주요하게 작용하는 경우는 최대 설계풍하중인 15 MPa의 방음판 전면적에 작용하는 경우로써 이때 방음벽에 작용하는 하중은 $0.15 \text{ ton/m}^2 \times 4 \text{ m(H)} \times 4 \text{ m(L)} = 2.4 \text{ ton}$ 이며, 실험에서 재하된 하중의 약 8.6% 수준으로 방음벽기초는 풍하중에 대하여 매우 안전하다는 것을 알 수 있다.

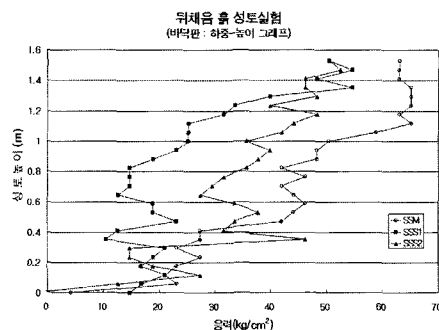


그림 11. 뒤펀흙시 벽체에 발생하는 응력

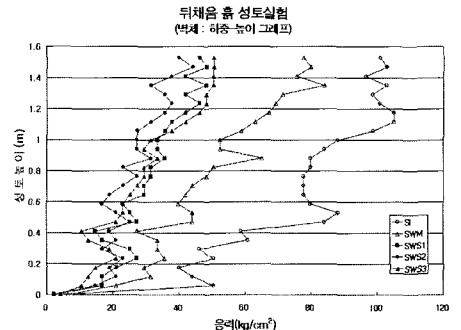


그림 12. 뒤펀흙시 바닥판에 발생하는 응력

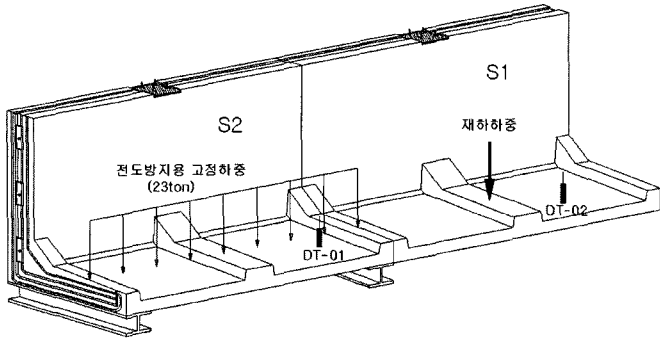


그림 13. 부등 침하 실험 장치

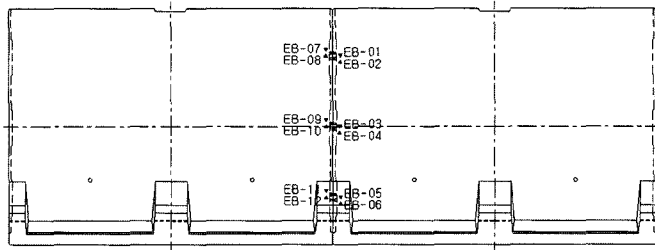


그림 14. Eye-Bolt 변형을 게이지 부착 위치

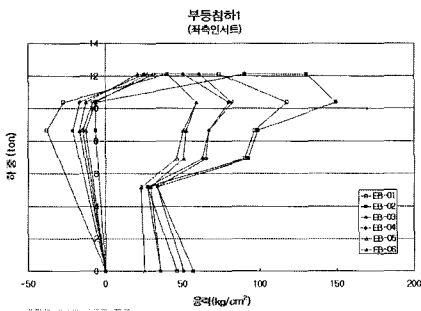


그림 15. 자중에 의해 발생하는 응력(좌측)

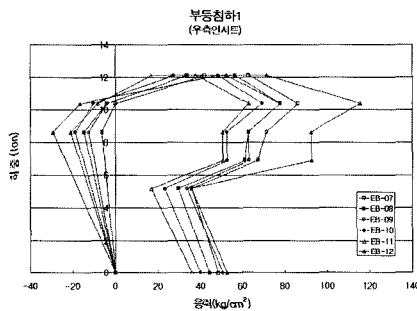


그림 16. 자중에 의해 발생하는 응력(우측)

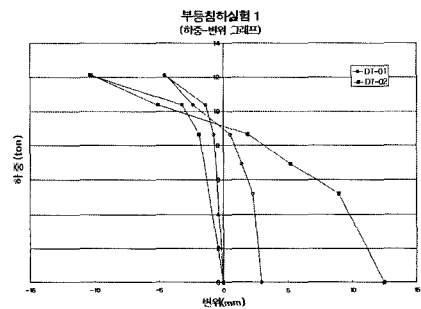


그림 17. 자중에 의해 발생하는 변위

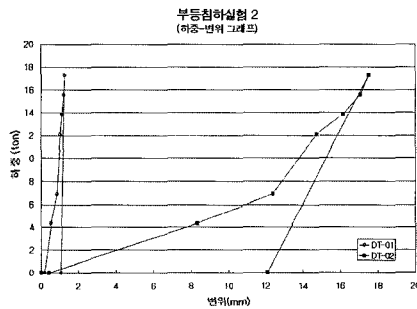


그림 18. 17톤 재하시 발생하는 변위

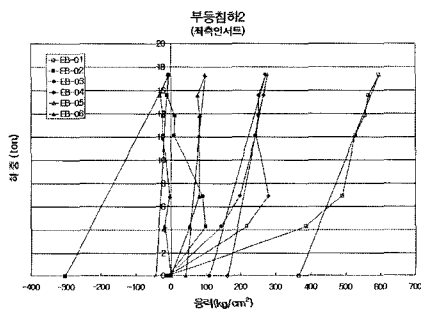


그림 19. 17톤 재하시 발생 응력(좌측)

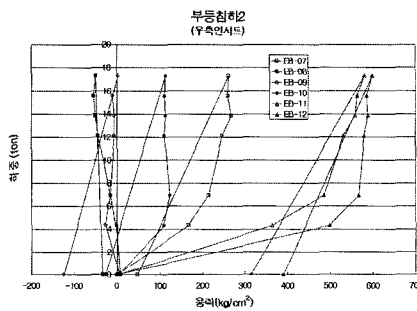


그림 20. 17톤 재하시 발생 응력(우측)

4.3 부등침하시 연결부 저항능력에 관한 실험

지반에 부등침하가 발생하면 PC 방음벽 기초의 연결부에는 상당한 크기의 전단 응력이 발생하게 된다. 이런 구조계의 안전성을 검토하기 위해 두 개의 PC 방음벽 기초를 조립·설치하고 1개의 블록은 H-Beam으로 지지시키고 다른 1개의 블록은 유압 자기로 지지시킨 후 유압자기의 유압을 서서히 제거하는 방식으로 부등침하현상을 모사하여 부등침하에 대한 PC 방음벽 기초 구조계의 안전성을 검토한다. 우선 유압자기의 유압을 제거하였을 때 자중에 의한 연결부의 응력과 방음벽기초의 변위를 측정하고 다시 방음벽기초에 하중을 재하하여 연결부가 파괴에 도달할 때까지 연결부의 응력과 방음벽기초의 변위를 측정하였다.

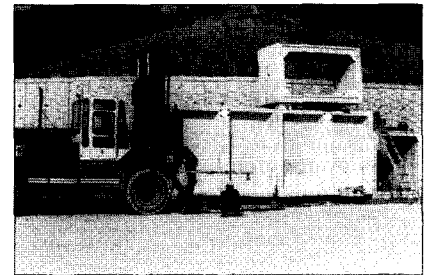


사진 4. 부등침하 실험 장면

유압실린더를 이용하여 방음벽기초를 지지하고 있다가 유압실린더의 압력을 서서히 제거하여 방음벽기초 자중에 의해 부등침하를 발생시켰을 때 방음벽기초에 발생하는 응력과 변위를 나타낸 것으로 <그림 15> 및 <그림 16>에서 보는 바와 같이 방음벽기초 상부에 설치된 인서트에 발생하는 응력이 하부에 설치된 인서트에 발생하는 응력보다 다소 크게 나타내며 <그림 17>에서와 같이 연결부와 거리가 먼 변위계(DT-02)의 변위가 연결부와 가까운 변위계(DT-01)의 변위보다 크게 나타난 것을 볼 수 있다. 자중에 의한 부등침하 실험시에는 연결부 및 방음벽기초에 균열이 발생하지 않았으며 연결부에 발생하는 응력은 15 MPa 정도이고 최대변위는 12

mm 정도이다.

〈그림 18〉~〈그림 20〉은 방음벽기초 바닥판 중앙부에 하중을 재하하였을 때 방음벽 기초에 발생하는 응력과 변위를 나타낸 것이다. 하중은 약 17톤까지 재하되었으며 이 때 인서트에 발생하는 최대 응력은 약 60MPa 정도이다. 이 값은 Eye-Bolt 인발실험 결과로서 약 15.5톤 정도의 인발하중이 작용하였을 때 나타나는 값으로 최대 저항력 24톤의 65% 정도 수준으로 연결부는 17톤(자중을 포함하면 27톤)까지 부등침하에 대한 저항능력이 우수하다고 판단된다. 변위는 〈그림 18〉에서 보는 바와 같이 연결부로부터 먼 곳에 부착된 변위계(DT-02)에서 약 18mm 정도가 발생하였고 연결부 부근에 부착된 변위계(DT-01)에서 약 1.5mm 정도가 발생하였다.

5. 건설 현장 적용 사례

5.1 적용 사례

- 공사명 : 평택 ~ 안성간 고속도로 건설공사
- 발주처 : 한국도로공사
- 방음벽 기초의 연장 및 규격 : H = 3m, L = 134m

기존의 현장 타설 공법은 현장에서 직접 철근과 거푸집을 설치하고 콘크리트를 타설한 후 충분한 양생기간을 가져야 하기 때문에 공기가 지연되고 품질관리의 어려움이 많았지만, PC 공법은 균질한 품질의 확보가 용이하고 시공이 매우 단순하여 공사기간을 획기적으로 단축할 수 있었다. 〈사진 5〉와 〈사진 6〉은 방음벽 기초시공과 완료 후의 전경이다.

5.2 추적 조사 결과

시공 완료 약 1년 경과 후 사용성 측면에서 육안조사 결과 구조물의 침하 변형, 기울기, 크랙 발생 측면에서 문제점을 발견할 수 없었으며, 특히 온도변화, 건조수

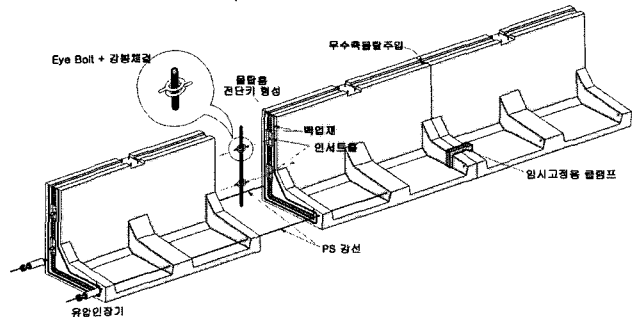


그림 21. PC 방음벽기초 시공 개요도

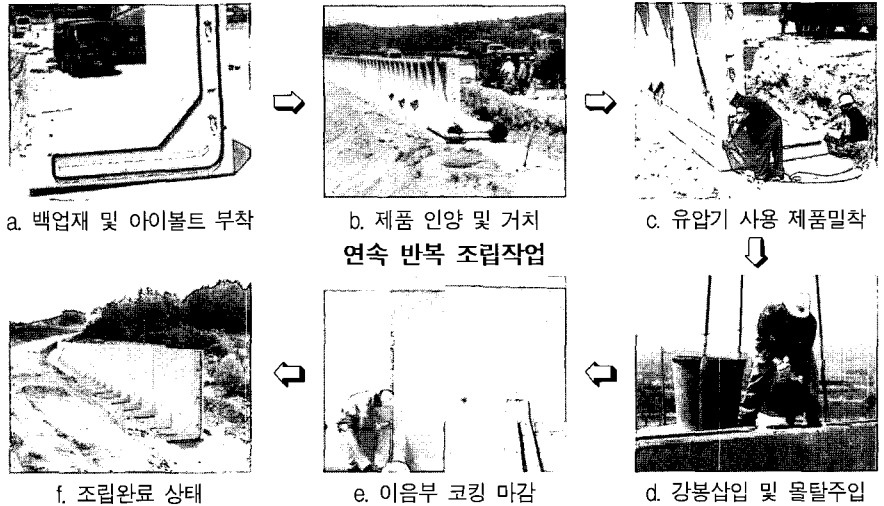


그림 22. PC 방음벽기초 시공 순서도

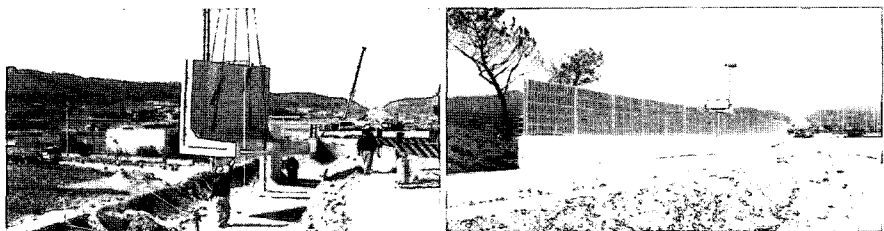


사진 5. PC 방음벽기초 시공 전경

사진 6. PC 방음벽기초 완공 전경

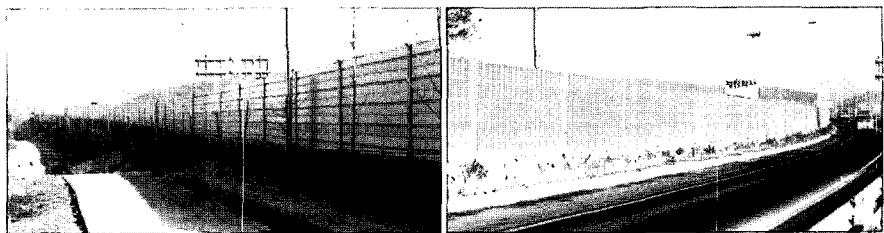


사진 7. 방음벽 전경(전면)

사진 8. 방음벽 전경(후면)

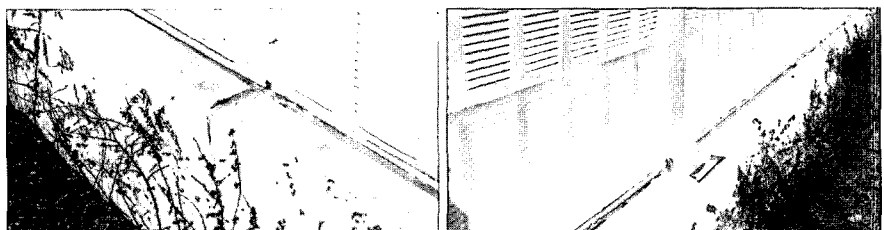


사진 9. 방음벽 앵커

사진 10. 방음벽기초 연결부

표 1. 구조적 거동비교

공법	프리캐스트 콘크리트 방음벽기초	현장타설 콘크리트 방음벽기초
외적안정	전면판 기둥과 바닥판의 보강단면이 부벽식 옹벽으로 저항	역T형 옹벽으로 저항
내적안정	부벽식 거동을 하는 T형 단면으로 검토	사각형 단면으로 검토
단면구성	주단면은 풍압, 토압에 저항하고 부단면은 자중지지 및 토사 흐름 방지 역할을 함.	전단면이 단일단면으로 부분적으로 비경제적인 단면이 존재함.

표 2. 시공법 비교

공법	프리캐스트 콘크리트 방음벽기초	현장타설 콘크리트 기초(기존공법)
시공순서	터파기 → 프리캐스트 부재거치 → 일체화 → 뒷채움	터파기 → 기초 콘크리트 타설 → 벽체 콘크리트 타설 → 뒷채움
주공정과의 관계	도로공사 주공정중 공장에서 프리캐스트 부재를 제작하고 주공정 완료후 프리캐스트 부재시공	도로공사의 주공정 완료후 기초 터파기와 콘크리트 타설 등 모든 공종시공

표 3. 공기 비교

	PC 방음벽기초	현장타설 방음벽기초
작업순서 및 소요일	20m를 기준으로 산출함 레벨용 바닥 콘크리트 타설 및 양생(2일) → PC 방음벽기초 조립(1일) ▶ 20m 시공소요일 : 3일	20m를 기준으로 산출함 기초 콘크리트 타설 및 양생(2일) → 바닥 거푸집, 철근조립(1일) → 콘크리트 타설(1일) → 콘크리트 양생(7일) → 벽체 거푸집(1일) → 철근조립(2일) → 콘크리트 타설(1일) → 콘크리트 양생(7일) → 내부 거푸집 해체(1일) ▶ 20m 시공소요일 : 23일
총 소요공기	<조건> · 시공구간 : 400m · 작업조 : 1개조 · 형틀 : 6조	<조건> · 시공구간 : 400m · 작업조 : 2개조
	<공기산출> · 1일 제품생산 : 6조 × 4.0m ∴ 1회전 = 24m/일 · 제품생산 총소요일 : 400m/24m = 17일	<공기산출> · 총 스펀수 : 400m/20m = 20스팬 · 총소요공기 : 20 × 23일/2개조 = 230일
	<방음벽기초 시공 소요일> · 400m/1개조 × (3일/20m) = 60일 · 총소요공기 : = 60일	

축 등으로 인한 연결 부위의 변형 또는 크랙은 전혀 발생하지 않았다.

6. 기존 현장타설 공법과의 비교

6.1 구조적 거동비교

본 공법은 프리캐스트 콘크리트 공법으로서 보와 기둥요소를 갖는 프리캐스트 부

재를 설치하고 아이볼트로 일체화시켰을 경우, 이 구조체가 부벽식 거동을 하는 특징을 갖는다.

6.2 시공법 비교

주요 시공법의 비교는 <표 2>와 같다. <표 2>와 같이 본 공법은 주공정 중 프리캐스트 콘크리트 부재를 제작, 완료할 수

있으므로 주공정의 영향이 적고 시공법이 단순한 장점이 있다.

6.3 시공성 비교

본 공법과 기존공법의 시공성을 비교하기 위해 중량 및 체적과 공기를 비교하였다. <표 3>의 공기 비교에서와 같이 20m 시공시 본 공법은 3일, 기존공법은 23일이 소요된다. 따라서 본 공법은 대폭적인 공기의 단축을 가져올 수 있다.

7. 맺음말

본 공법은 방음벽기초가 갖는 하중조건에 적합한 구조형식을 개발하고 이것을 프리캐스트 콘크리트 공법으로 적용하여 중량과 부피를 약 1/2로 절감하였다. 기존의 현장타설 방음벽기초에 비해 운반거리가 100km일 경우 약 8~13%, 200km일 경우 약 5~11% 정도 공사비의 직접적인 절감효과가 있었으며, 주공정인 현장 토공작업과 별도로 공장에서 프리캐스트 콘크리트 부재를 제작하므로 주공정의 영향이 적고, 현장에서 조립설치에 의해 구조물이 완성되므로 현장타설 공법에 비해 시공이 단순하고, 현장여건에 따라 1일 20~50m 정도의 시공이 가능하였다. 또한 지주 고정용 앵커볼트를 미리 매설하여 생산하므로 현장 설치작업이 생략되며, 후속 토공작업과의 연계성이 우수하여 토공장비의 효율을 극대화 할 수 있는 부수적인 효과가 볼 수 있었다.

특히 공사기간의 획기적 단축은 사회간접경비의 손실을 막을 수 있다는 측면에서도 향후 이와 같은 방음벽 공사를 계획하는 건설인들에게 본 기사가 좋은 참고사례가 되었으면 한다. ■