

## 기초판 보강형 PC 암거의 시공사례 연구

### A Case Study of PC-Culvert Construction with Foundation Plate

유 준<sup>1</sup> You, Jun  
최창호<sup>2\*</sup> Choi, Chang-Ho

#### ABSTRACT

Precast culvert system is generally constructed with a series of process such as excavation, ground mitigation, placement of culverts, anti-leakage packing between adjacent culverts, post-tensioning for PS strands and backfilling. In this process inappropriate ground mitigation often causes differential settlement and, correspondingly, makes water-leakage to be occurred between adjacent boxes. This study was performed to understand the behavioral characteristics of recently proposed precast foundation plate to support precast culvert system through on-site pilot construction. The gap between two adjacent culverts, increment of earth pressure at the bottom of culvert, vertical settlement of top of the culverts were monitored using various sensors. The monitoring results showed that the proposed foundation plate provides better culvert system in the points of less gap development, earth pressure and settlement at the adjacent of two culverts.

#### 요 지

PC 암거는 터파기, 하부지반 처리, 암거 거치, 상호접합면에 누수방지용 패킹재 부착, PS 강선의 긴장을 통한 상호박스 접합, 되메우기 등의 일련의 과정으로 시공되어진다. 이 때 부적절한 하부지반 처리는 박스간 상호 부등침하를 야기할 수 있으며 결과적으로 지하수의 외류 및 내부유수의 누수를 발생시키게 된다. 본 연구에서는 하부지반이 연약한 경우 PC 암거 접합부의 부등침하를 저감하기 위하여 개발된 PC 기초판과 일체화된 암거의 거동을 현장 시험시공을 통해 분석하였다. 암거의 거동은 접합부에서 암거간의 벌어짐, 하부지반에 작용하는 토압 증가량, 암거 상부의 침하량 계측을 통해 분석되었으며, 분석결과로부터 PC 기초판과 일체화된 암거가 일반적인 시공방법인 PS 강선의 인장으로 체결된 암거에 비하여 침하 및 접합부에서 벌어짐이 적게 발생하는 것으로 나타났다.

**Keywords** : Precast culvert, Differential settlement, Stress concentration, Residual stress

#### 1. 서론

PC 암거는 현장타설 암거와 비교하여 급속시공이 가능하고 공기를 단축할 수 있다는 장점이 있어 최근에 배수·우수 및 하수 암거설치 공사에 널리 사용되고 있다(손준익 등, 1989, 1990). 급속시공이 필요한 도심지 내 공사나 현장여건상 되메우기가 빠른 시일 안에 필요한 공사에서 PC 암거의 설치에 공기 단축에 있어 상당한 장점을 지니고 있

다. 하지만 암거 시공을 원활히 하기 위해 타설하는 버림 콘크리트는 최소 양생기간이 2~3일 정도 필요하기 때문에, 하수·지하수 유입으로 양수작업이 곤란하여 급속 시공이 절실한 경우에는 잡석, 쇄석, 모래, 또는 산업부산물(슬래그) 등으로 버림 콘크리트의 역할을 대신하기도 한다(한국PC콘크리트암거공업협동조합, 2000a, 2000b).

버림 콘크리트의 부재는 PC암거 설치 및 되메우기 과정에서 발생하는 상재하중을 지지하기 위한 지지력을 충분

1 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실 수석기술원, 인천대학교 박사과정 (Member, Senior Technician, Korea Institute Construction Technology, Geotechnical Research Division)  
2\* 정희원, 한국건설기술연구원 지반연구실 수석연구원 (Member, Senior Research, Korea Institute Construction Technology, Geotechnical Research Division, Email: chchoi@kict.re.kr)

히 제공하지 못하기 때문에 암거 간 접합부에서 부등침하 등을 야기시킨다. 이러한 경우 접합부에서 내하력 저하 및 누수 현상이 발생하므로 접합부의 내하력을 증가시키거나, 기초 지반의 품질을 향상시키기 위한 기술개발을 필요로 하고 있다. 또한 암거의 기초가 되는 지반에 국부적으로 예측하지 못한 연약지반의 존재는 암거의 수명과 역할에 있어서 위험요소로 작용하기 때문에, 암거의 기초지반을 강화할 수 있는 보다 근본적인 지지력 확보 기술개발이 절실히 요구되고 있다.

앞서 제시한 바와 같이 PC 암거의 취약점은 접합부에서 발생하는 내하력 저하에 따른 누수 현상으로, 이를 보완하기 위한 방법으로 접합부를 Eye-bolt와 강봉으로 체결하고 사이의 빈 공간을 무수축 몰탈로 충전하여 접합부를 일체화하는 방법이 널리 사용되고 있다((주)토암산업, 1999). 또한, PS 강선을 절곡시켜 상재 하중과 부등침하시 접합부의 전단력 및 휨모멘트에 효과적으로 저항할 수 있는 공법이 개발되어 사용되고 있다((주)리다산업과 조병완, 1999). 최근에는 기초베딩의 품질을 향상시키기 위한 방법으로 PC 기초판을 암거 하부에 고정·설치하여 접합부에서의 부등침하를 방지하기 위한 기술이 개발되었다(박윤희 등, 2006).

본 연구에서는 PC 암거 상호접합면에서 전단저항력 및 휨모멘트 저항력을 증가시키기 위한 방법으로 조립식 PC 암거 제품의 하부접합부에 PC 기초판을 고정·설치하여 암거를 빔과 같은 형상으로 구성한 방법과 기존방식으로

기초판을 설치하지 않은 방법으로 약 30m 구간에 설치하였고, 실제 교통하중을 가하여 암거의 침하정도와 암거하부에 걸리는 토압의 양을 측정하였다. 암거를 일체화하여 빔으로 구성하기 위한 PC 기초판은 실모형 실내실험 및 수치해석결과를 바탕으로 개발되었으며, 본 현장적용 연구는 새롭게 개발된 PC 암거 시스템의 현장 검증을 위하여 수행되었다(한국건설기술연구원, 2006).

## 2. 현장실험 개요

본 현장실험은 암거의 연결부를 전단력과 휨에 저항할 수 있는 연결된 빔으로 구성하여 현장에 적용하였을 경우 국부적으로 존재할 수 있는 연약지반 등에 대처하고 접합부에 발생할 수 있는 벌어짐과 부등침하에 대응할 수 있는지 여부를 알아보기 위하여 수행하였다. 현장실험은 천안의 실제 암거설치 현장에서 수행되었으며, 그림 1은 연장 150m구간 중 30m의 시험암거 설치 개요도를 보여준다. 그림 1에서 제시된 바와 같이 현장 실험 및 측정은 크게 두 개의 구간, 기초판이 설치되지 않는 기존 구간(PCS)과 PC 기초판이 설치된 구간(RCS)로 나뉘어 수행되었다.

현장실험에서는 내경 1.5m×1.0m 길이 2m PC 암거를 기존방식의 PCS(Plain Culvert System)시편과 PC 기초판이 설치된 RCS(Reinforced Culvert System)시편으로 나누어 30m 시험 구간 중 14m구간을 RCS시편으로 매설하

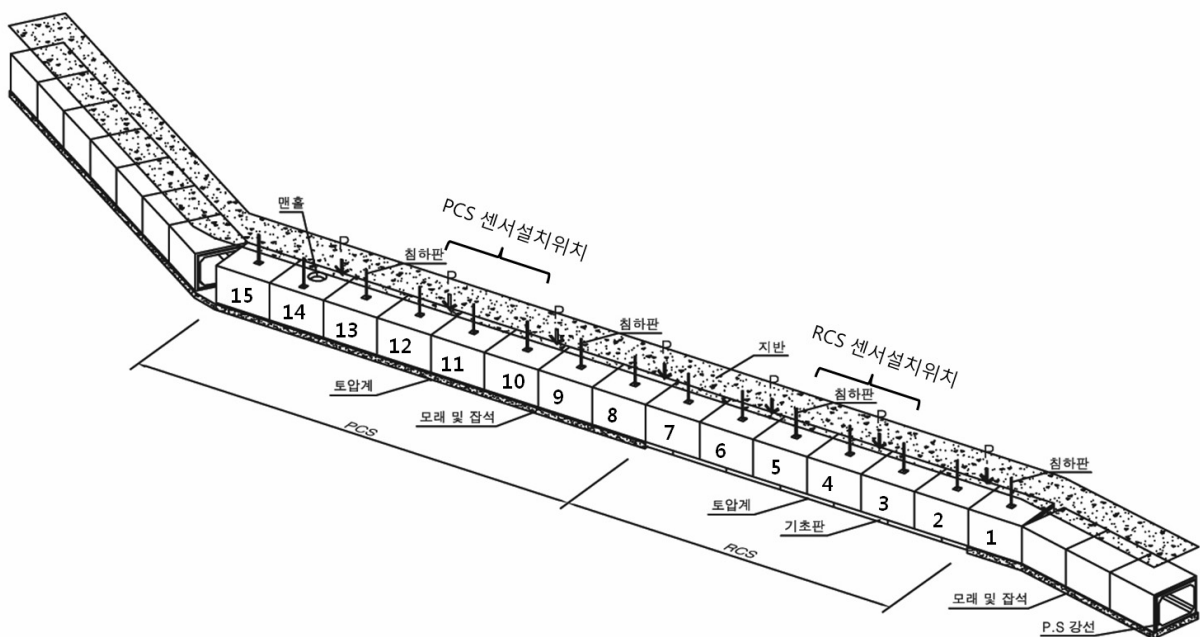


그림 1. PC-Box Culvert 현장설치 개요도

고 이어서 16m구간을 기존방식의 PCS 시편으로 매설하였고, 실제 교통하중을 적용하여 암거의 침하정도와 암거 하부에 걸리는 토압의 양을 측정하여 접합부의 벌어짐과 부등침하 정도를 비교·분석하였다. 그림 2와 그림 3은 각각 현장실험에 사용한 PCS시편과 RCS시편의 설치 개요도를 보여주고 있다.

### 3. 실험장치 및 방법

본 현장실험에 사용된 시편은 국내에서 일반적으로 사용하고 있는 내공 1.5m×1.0m 길이 2m 박스암거를 활용하였다. 그림 4와 그림 5는 각각 PCS시편과 RCS 시편의 설치 개요도를 보여준다. 그림 4에서와 같이 PCS시편은 PC 기초판이 설치되지 않은 것으로 2본의 PC 암거를 4개의 현치부분에서 PS 강선(φ=13mm)으로 인장시켜 연결시키고, 암거 하부지반은 현장여건상 잡석부설로 기초지반이 보강되었다. 그림 5의 RCS 시편은 암거를 조립 설치함에 있어서 지반위에 나란히 거치된 PC 기초판을 암거하부에 고정·설치하였다. 설치과정은 PCS 시편과 비슷하나 일련의 암거를 4개의 현치부분에서 PS 강선으로 인장시켜 연결시킨 후 암거 하부슬래브 아래에 미리 거치된 PC 기초판을 볼트와 너트로 체결하였다. 그림 5에서와 같이 PC 기초판은 제작시 자체에 매설된 앵커 너트와 암거의 공장 제작

시 하부측면에 구성된 천공을 통해 볼트로 체결되었다. 볼트는 고장력 6각형으로 본 시편의 암거규격과 하중에 대하여 인장력을 제공하여 충분한 고정력을 제공하도록 설계되었다. 사진 1은 백호우를 이용하여 암거를 거치하는 모습을 보여주고 있으며, 사진 2는 RCS 시편을 사전에 지반위에 설치된 PC 기초판위에 거치시키는 모습을 보여준다. PC 기초판과 결합을 위하여 암거 내부에 준비된 천공부는 수밀구조 확보를 위하여 설치 후 무수축 몰탈을 이용하여 마감되었다.

현장실험이 수행된 공사는 천안시의 하수도 시설공사 구간으로 지표면으로부터 약 3m 이상이 기존의 하천유역을 매립한 지역으로 PC 암거가 설치된 기초지반은 느슨한 실트질 모래로 육안 관찰되었다. 또한 그림 1에서 보여지는 단면의 오른쪽은 소형 하천이 흐르고 있어 지하수위는 암거 설치 바닥에서 매우 얇은 것으로 예측되었다. 그림 6은 PCS 시편 및 RCS 시편의 거동을 확인하기 위하여 그림 1에서 보여지는 위치에 설치된 센서들의 위치를 보여준다. 각각의 시편에 스트레인게이지, 변위계(DP), 변위계(OU), 토압계, 침하판을 시편의 내부 및 외부에 설치하였고 이를 통해 암거 접합부에서의 벌어짐, 암거 접합부 하부에서의 토압증가량, 암거 상부의 침하량을 측정하고자 하였다. 표 1은 각 시편에 설치된 계측센서에 대한 내용을 보여주고 있다. 스트레인게이지(ST)는 암거 연결부에

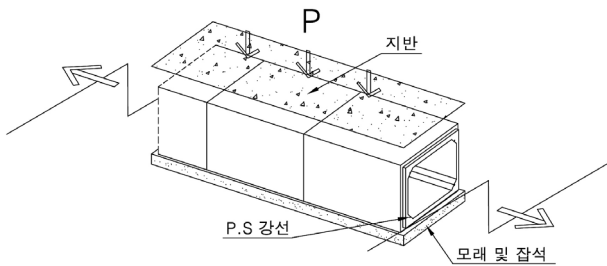


그림 2. PC 암거(PCS시편)

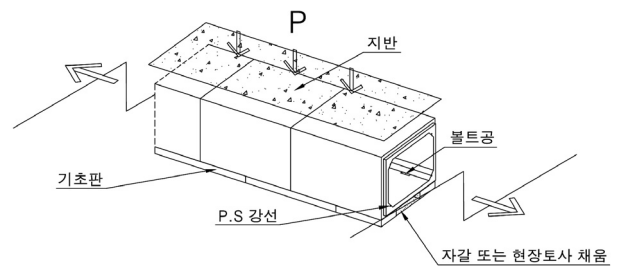


그림 3. 기초판을 설치한 PC 암거(RCS시편)

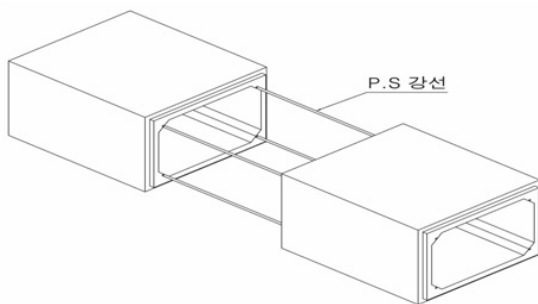


그림 4. 현장실험 PCS 시편의 설치 개요도

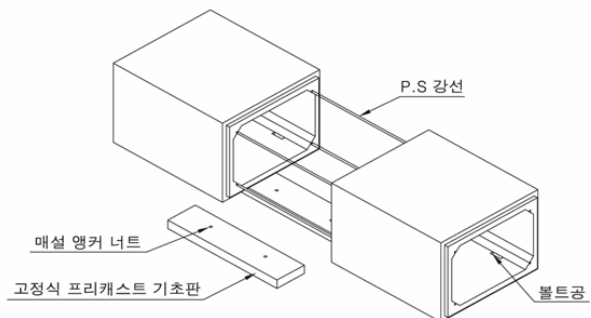


그림 5. 현장실험 RCS 시편의 설치 개요도



사진 1. 백호우를 이용하여 암거를 거치하는 모습



사진 2. RCS 암거를 기초판에 거치 시키는 모습

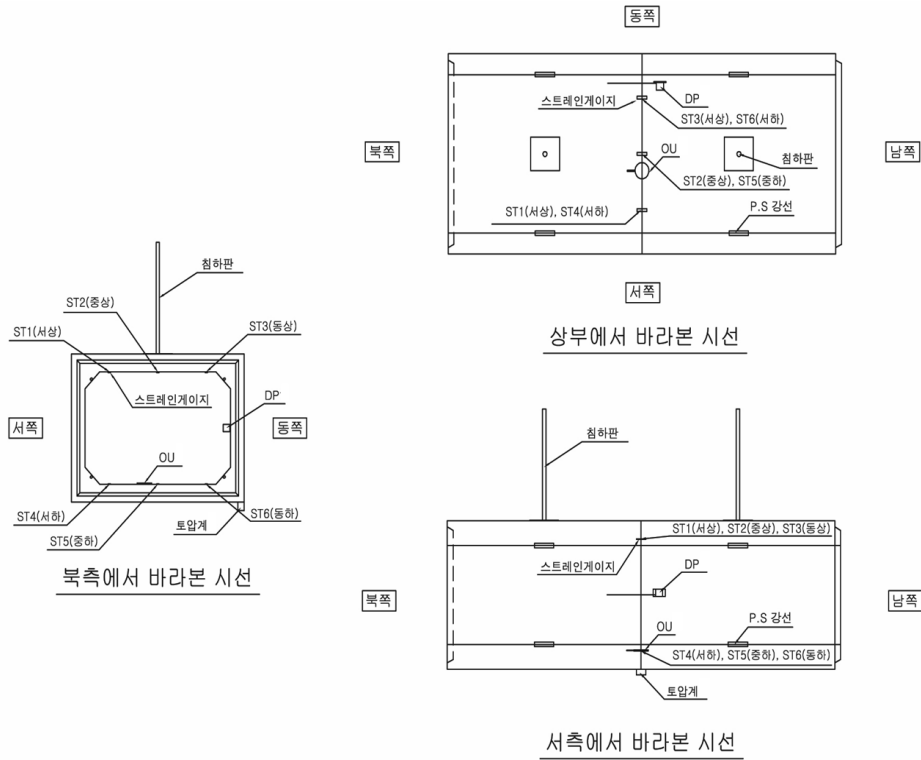


그림 6. 시편에 설치된 센서 위치도

표 1. PCS 및 RCS 시편에 설치된 계측 센서

센서명	센서종류	설치위치	단위
ST1	스트레인게이지	서측상부	$\mu\epsilon$
ST2	스트레인게이지	중앙상부	$\mu\epsilon$
ST3	스트레인게이지	동측상부	$\mu\epsilon$
ST4	스트레인게이지	서측하부	$\mu\epsilon$
ST5	스트레인게이지	중앙하부	$\mu\epsilon$
ST6	스트레인게이지	동측하부	$\mu\epsilon$
DP	변위계	내측측면중앙	mm
OU	변위계	내측중앙하부	mm
토압계	토압계	PCS시편3번4번 연결부 하부	kPa
침하판	-	시편외측상부	mm

철판을 설치하고 그 위에 부착되었으며, 하중재하시 암거의 벌어짐을 확인하기 위하여 설치되었고, 변위계 DP와 OU는 각각 암거 중앙부 및 하부에서의 벌어짐을 확인하기 위하여 설치되었다. 또한 토압계는 암거 연결부 하부에 작용하는 응력을 분석하기 위하여 설치되었고, 침하판은 되메우기 이후 차량하중에 의한 암거 상부의 침하량을 측정하기 위하여 설치되었다.

#### 4. PCS 및 RCS 시편의 현장실험

PC 암거 설치 후 암거하부의 응력-변형 거동 및 기초판

의 보강효과를 분석하고자 토사를 상재한 덤프트럭을 이용하여 암거설치의 종방향으로 상재하중을 가하였다. 이를 통하여 암거 하부에 미치는 토압, 암거접합부에서의 벌어짐, 암거 전체의 침하량 등을 계측하였다. 실험은 총 중량 35t의 덤프트럭이 시속 5km의 속도로 30분(1800초) 동안 시험구간을 주행함과 동시에 시편에 설치된 계측기의 변화값을 측정하여 수행되었다.

#### 4.1 PCS 및 RCS시편의 침하판 계측 결과

표 2는 되메우기와 덤프트럭에 의한 하중재하 후의 침하판의 수직 변위값( $\Delta h$ )을 나타낸다. 침하판이 암거상부에 설치되어 있으나, 암거의 강성이 토사와 비교하여 상당히 크므로 본 변위값은 암거자체의 변형도와 무관하고 암거 하부의 침하로 분석되어 질 수 있다. 그림 7은 표 2의 값을 도식화한 모습을 보여준다. 물론 되메우기 중 침하봉의 수직도가 변하는 등 여러 가지의 오차가 내재되어 있는 것으로 판단되어지나, 그림으로부터 기초판이 설치된 구간의 수직변위 값이 상대적으로 적게 나타나는 경향을 볼 수 있다. 수직변위에 대한 기초판의 보강효과를 정량적으로 파악하기 위하여 침하량을 PCS와 RCS로 구분하여 평균값을 구하였으며, PCS 시편의 평균 수직 침하량은 7.8mm, RCS 시편의 평균 수직 침하량은 3.9mm로 나타났다. 즉, PC 기

표 2. 하중재하에 따른 암거 상부의 침하량

STA. #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
시편	RCS (기초판 사용)							PCS							
$\Delta h$ (mm)	-1	-5	-6	-3	-2	-4	-6	-6	-12	-13	-7	-7	-5	-6	-6

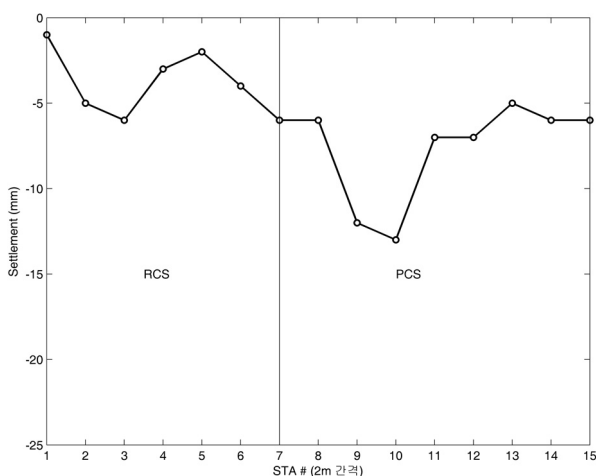


그림 7. 암거 위치별 침하량

초판을 사용한 시편(RCS)에 발생한 수직 침하량은 일반 암거시스템 시편(PCS)의 수직변위 발생량의 약 50%로 분석되었으며, 이로부터 PC 기초판을 활용한 암거기초 지반 보강 방법의 효율성을 파악할 수 있다. 그림 7로부터 PCS 시편인 STA 9와 STA 10에서 가장 많은 침하량이 발생함을 볼 수 있는데, 이는 시공 중에 그 구간에 지하수가 유입되는 등의 영향으로 인하여 하부지반처리가 미흡했기 때문인 것으로 사료된다.

#### 4.2 PCS 및 RCS시편의 강도 실험결과와 분석

그림 8은 하중재하에 따른 RCS와 PCS시편 접합부 하부의 토압 계측결과를 보여주고 있다. 결과는 약 1800초 즉 30분 동안의 암거 접합부 하부에 걸리는 토압의 양을 kPa값으로 나타내는데 트럭이 이동하여 토압계에 영향을 미치는 범위에 있을 때 피크(peak)값이 나타나는 것을 알 수 있다. 그림 8의 비교로부터 RCS시편 접합부 하부의 토압이 PCS시편의 토압보다 상대적으로 적게 발생됨을 알 수 있다. 그림 8에서 각 시편의 응력 결과에 하부피크와 상부피크 값에 대한 경향선을 각각 실선과 점선으로 나타내었는데, 경향선의 기울기는 PC 기초판이 설치된 RCS시편 대비 PCS시편이 3배 이상의 값을 나타내었고, 상부와 하부피크의 응력 진폭 또한 PCS 시편이 RCS 시편에 비교하여 3배정도인 것으로 나타났다. 즉, RCS 시편은 빔과 같이 상호 접합된 암거가 일체화되므로 접합부의 응력집중 현상을 제거하여 보강효과가 뛰어난 것으로 판단되어진다. 이는 기초판이 암거하부 슬라브에 고정되어 있고 중

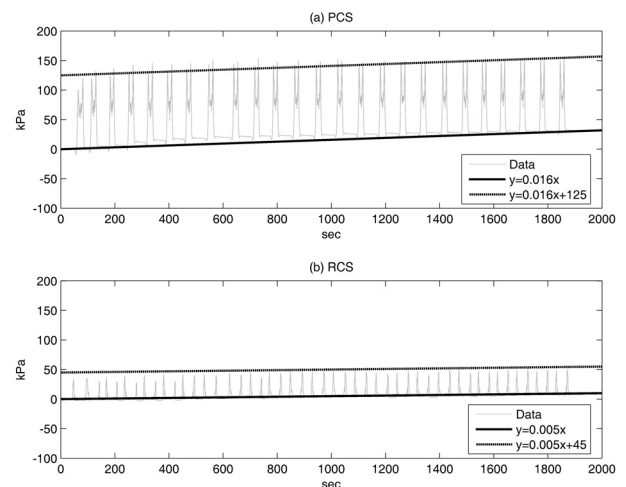


그림 8. 상재하중에 의한 PCS와 RCS 암거시편 접합부 하부의 토압증가량

방향 및 횡방향으로 널리 퍼져있어 집중하중이 접합부에서 발생하는 것을 방지하여 압력을 기초판 넓이만큼 넓게 분포시키기 때문에 일어나는 현상으로 예측되어지며, 이로부터 응력집중 현상을 방지하여 접합부의 부등침하 및 기초지반의 국부 전단파괴 현상을 억제하는 것으로 분석된다. 이에 반하여 PCS 시편의 경우 암거의 접합부 하부에서 암거자체의 회전(rigid rotation)에 의한 응력집중 현상이 발생됨을 알 수 있고 이는 곧 기초지반의 부등침하 등을 야기시키는 원인이 되게 된다.

그림 9는 각각 암거 접합부 상부의 벌어짐과 하부의 벌어짐의 경향을 PCS와 RCS경우로 구분하여 비교하고 있다. 물론 스트레인 값이  $\mu\epsilon$  단위이지만, 그림 9에서 보는 바와 같이 상부와 하부 모두 PCS시편의 경우가 RCS시편의 경우보다 접합부에서의 벌어짐의 경향이 큰 것으로 나타났다. PCS시편의 경우는 내측 상부에서는 인장(+)보다는 압축(-) 즉 암거 사이가 좁아지는 경향을 볼 수 있고 하부에서는 인장 즉 벌어지려고 하는 경향을 볼 수 있다. 또한, PCS시편 상부의 경우는 영구 변형이 파악되는데 이는 하중이 제거되었을 경우에도 접합부가 일부 벌어져 있음을 나타낸다. RCS시편의 경우는 스트레인 값의 진폭이 PCS시편의 스트레인 값보다 작고 이와 더불어 인장축과

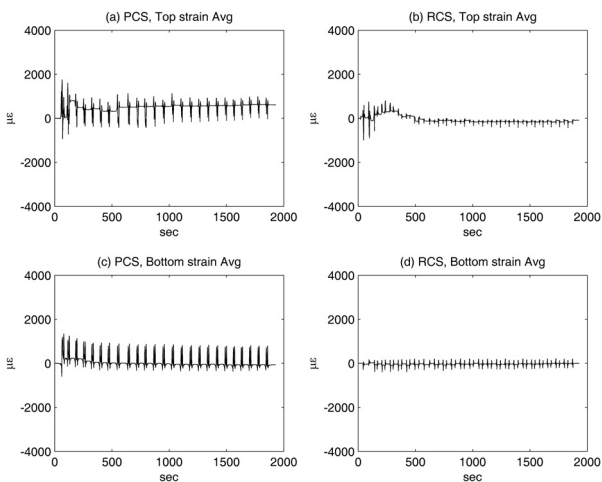


그림 9. PCS시편과 RCS시편 접합부에서의 스트레인게이지를 통한 벌어짐의 경향 비교

표 3. 하중재하에 따른 암거 상부의 침하량

구 분	수직변위 (침하량)	암거하부토압 (토압계)	암거하부 수평변위 (스트레인게이지)
PCS	7.8mm	156kPa	1351 $\mu\epsilon$
RCS	3.9mm	52kPa	218 $\mu\epsilon$
차이	3.9mm	104kPa	1133 $\mu\epsilon$
감소율	50(%)	67(%)	84(%)

압축 측의 절대값이 매우 비슷한 점을 알 수 있는데 이는 PC 기초판이 고정·설치됨에 따라 암거의 연결부가 탄성체로 거동함에 따라 나타나는 현상으로 분석된다.

표 3은 PCS시편과 RCS시편에 대한 현장 실험 결과를 요약하여 제시한다. PCS시편의 경우 암거 연결부 하부지반에서 최대 토압은 156kPa로 나타났으며, RCS시편의 경우 암거 연결부에서의 최대 토압은 52kPa로 나타났다. 침하판의 계측값을 평균한 결과는 PCS시편의 경우 7.8mm로 나타났고, RCS시편의 경우는 3.9mm로 나타났다. 암거하부 변형률의 최대값을 비교하면 PCS시편의 경우 1351 $\mu\epsilon$ 로 나타났고 RCS시편의 경우는 218 $\mu\epsilon$ 로 나타났다. 이러한 계측 결과의 비교로부터 RCS시편의 경우 PC 기초판에 의한 기초지반 보강효과가 우수함을 확인할 수 있다. 정량적으로 파악하면 PC 기초판을 고정·설치함에 따라 침하량은 50% 정도가 감소했고, 암거하부에 작용하는 토압의 경우는 67%, 그리고 수평변위는 84% 정도가 감소하였음을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구는 PC 암거의 현장거동 경향을 파악하기 위하여 수행되었으며, 특히 최근 개발된 PC 기초판을 암거하부에 고정·설치함에 따라 암거 연결부를 전단력과 휨에 저항할 수 있는 빔으로 구성하여 현장에 적용하였을 시 국부적으로 존재할 수 있는 연약지반 등에 대처하고 접합부에 발생할 수 있는 벌어짐과 부등침하에 대응할 수 있는지 알아보기 위하여 수행되었다.

현장 계측결과 일련의 암거를 PC 기초판을 통하여 하부에서 고정·설치할 경우 암거의 수직 침하량을 감소시킬 수 있고, 또한 암거 접합부의 하부에 작용하는 토압의 양을 현저히 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 텀프트럭을 이용하여 교통하중을 재하한 결과 PC 기초판이 설치된 RCS시편에서의 수직 침하량은 PC 기초판이 설치되지 않은 PCS시편의 경우에서 보다 50% 정도 감소한 것으로 나타났으며, 암거 접합부 하부에 발생하는 토압의 양은 PCS시편 대비 1/3 수준으로 저감되는 것으로 나타났다. 이러한 결과로부터 PC 기초판이 암거 접합부의 벌어짐 현상을 방지하고 상부하중을 기초지반에 골고루 분산시켜 침하량을 저감시키는 역할을 하는 것으로 판단되어진다. 따라서 암거 시공시 흔히 발생하는 접합부에서의 부등침하에 대한 문제점을 해결하는데 있어서 상호암거를 빔과 같은 형

식으로 구성하는 것은 상당한 효과가 있는 것으로 판단되어진다.

### 참고문헌

1. 박윤희, 최창호, 정하익, 유준 (2006), 프리캐스트 기초판을 일체로 고정·설치한 박스암거 구조 및 이를 시공하는 방법, 특허등록 100648007, 한국건설기술연구원, 제일에코텍.
  2. 손준익, 이병식, 이원제, 정유원 (1989), 연약지반 매설암거의 설계 및 시공에 관한 연구(I), OTKLRP010403, 한국토지개발공사.
  3. 손준익, 정하익, 강인탁 (1990), 연약지반 매설암거의 설계 및 시공에 관한 연구(II), OTKLRP010405, 한국토지개발공사.
  4. (주)토암산업 (1999), Eye-Bolt 접합형 조립식 PC암거 설치 공법, 건설신기술 제 151호, 한국건설기술연구원.
  5. (주)리다산업, 조병완 (1999), 절곡된 PS강선을 이용한 조립식 PC암거의 제작 및 설치공법, 건설신기술 제 202호, 한국건설기술연구원.
  6. 한국PC콘크리트암거공업협동조합 (2000a), 프리캐스트 철근콘크리트 암거 전문시방서.
  7. 한국PC콘크리트암거공업협동조합 (2000b), 프리캐스트 철근콘크리트 암거의 설계.
  8. 한국건설기술연구원 (2006), PC박스 칼버트 접합부의 고성능 베딩지지 방법에 관한 연구, 건기연2006-044, 한국건설기술연구원, 고양.
- (논문접수일 2010. 10. 13, 심사완료일 2011. 6. 15)