

# 지하차도 구조물의 우각부 연결장치에 대한 실험적 평가

김성배\* · 김장호\*\* · 김태균\*\*\*

Kim, Sung Bae\*, Kim, Jang Ho Jay\*\*, Kim, Tae Kyun\*\*\*

## Experimental Test on Coner Rigid Joint Connection Method for Underground Roadway Structure

**ABSTRACT :** In this study, a safe, economic, and rapid construction method of underground roadway using PSC girder is developed to reduce traffic congestion and maximize space usage in urban area. For an efficient application of the method, a rigid joint connection is proposed and tested. For the testing, cantilever specimens were used to verify its capacity. The parameters for this study were cross beam length and joint connection type. The results of the test showed that the proposed connection system has superior performances. Despite having differences of cross beam length and joint connection type, the stable flexural behavior was shown in all of the tested specimens. Also, the behaviors of PSC girders and upper slabs connected by the proposed method showed superior performance. Moreover, the improvement of structure performance according to the increase of length of cross beams has been verified.

**Key words :** underground roadway, PSC girder, rigid joint connection, cross beam

**초 록 :** 본 연구에서는 지상공간이 부족한 대도시 밀집지역과 교통혼잡이 심각한 도심부의 교통문제를 해결하기 위해 안전성과 경제성이 확보되면서도 급속시공이 가능한 PSC 거더를 적용한 지하차도 급속시공 공법을 개발하였다. 그리고 이를 안정적으로 적용하기 위해 개발된 연결부 고정장치의 성능을 확인하기 위한 연구의 일환으로 캔틸레버 형식의 구조실험체를 통하여 성능 검증을 실시하였다. 본 실험은 고정연결장치의 방식과 가로보의 길이를 변수로 설정하였다. 실험결과, 개발된 고정연결장치는 형상과 연결방식에 상관없이 모두 안정적인 휨 거동을 나타내었다. 또한, 실험체는 파괴시까지 고정연결장치에 의해 연결된 PSC 거더와 상부 슬래브가 일체 거동을 하는 것으로 나타나고 고정연결장치의 성능이 매우 우수한 것으로 확인되었다. 가로보의 길이에 따른 영향은 가로보의 길이가 길어짐에 따라 구조물의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.

**검색어 :** 지하차도, PSC 거더, 고정연결장치, 가로보

## 1. 서 론

전 세계적으로 국가 경제의 발달과 함께 도시의 팽창이 가속화되고 있으며, 대도시를 중심으로 외곽에 대규모 신도시가 개발되고 있다. 이러한 도시의 팽창은 인구밀집현상을 초래하여 교통량의 증가에 따른 교통 혼잡을 발생시켜 시민들에게 큰 불편함을

\* 정회원·(주)바이텍코리아 기술연구소 차장, 공학박사 (77sztk@hanmail.net)

\*\* 정회원·연세대학교 부교수, 공학박사 (**Corresponding Author**·Yonsei university Associate professor, Ph.D·jjhkim@yonsei.ac.kr)

\*\*\* 정회원·(주)홍지디씨에스 대표이사, 공학석사 (ceo@hgdc.com)

Received January 11 2012, Revised February 17 2012, Accepted November 6 2012

끼친다. 특히 우리나라의 경우 서울, 부산, 광주 등 대도시권을 중심으로 지속적인 인구, 산업, 자동차 등 교통혼잡 유발 요인이 집중되어 이미 과포화상태이며 교통체증 현상이 극심화 되어있어 시민생활의 불편이 극에 달하고 있는 실정이다.

일반적으로 지하차도는 급속한 경제발전에 따른 도시화로 인해 발생하는 교통혼잡의 문제를 해결하기 위해 가장 우선시 되는 대안 중 하나이다. 지하차도는 도로시설을 필요로 하는 지점에 기존의 건물이 건설되어 있는 경우 지하 공간을 이용할 수 있는 장점이 있으며, 접근성이 우수하여 도로의 만족성과 효율성을 증대시킬 수 있다. 또한, 대기 환경 조건으로부터 자유로워 날썬 환경이나 지진 등과 같은 재해 환경에 대한 영향도 적어 도로의 기능을 수행하는데 큰 제약이 없는 것으로 평가되고 있다(Han and Han, 2010).

RC 라멘교 공법에 의해 지하차도를 시공하는 방법은 상부 슬래브를 타설하기 위한 동바리와 거푸집을 설치하기 위하여 기초 바닥판을 우선적으로 설치하여야 하는 공정을 갖는다. 이러한 이유는 기초 바닥판의 미설치 시 동바리 침하에 의한 시공상의 문제점을 발생시키기 때문이다. 그러나, 기초 바닥판을 시공하더라도 시공 도중에 발생하는 지하수위의 상승으로 인한 양압력(부력)이 발생하여 콘크리트 기초바닥판에 균열을 발생시키거나 심각할 경우 기초바닥판 전체가 부상하게 되어 누수 및 내구성 저하의 원인이 된다. 특히, 지하굴착 깊이가 깊어질수록 발생하는 양압력도 커져 이에 저항하기 위해 기초 바닥판의 단면이 필요이상으로 크게 되는 경우가 있다. 이처럼 기존의 개착식 지하차도 공법은 복잡한 공정을 거쳐 타설되기 때문에 공기가 길어질 뿐만 아니라 다양한 시공상의 문제를 야기 시킨다. 또한, 필요 이상으로 기초 바닥판의 단면이 두꺼워지는 경우가 발생하여 공사비용이 증가한다(Lee, 2011). 따라서, 지하차도 건설시 발생하는 시공상의 문제점을 해결하고 동시에 공정을 단순화하고 안전성과 경제성을 확보할 수 있는 지하차도 공법이 필요하다.

이와 같은 사회적 요구에 따라 현재 새로운 지하차도 공법들이 시험적으로 건설되고 있다. 이러한 공법중의 하나로서 상부 구조에서 하부구조로 힘을 전달하기 위해 사용되는 교량 받침

대신에 스테드나 철근 같은 전단연결재를 사용하여 상부구조와 하부구조를 라멘식으로 일체화시킨 라멘식 복합교량이 현재 연구중에 있다(Woo et al., 2009; Seung, 2007; Suzuki et al., 1998; Afifuddin, 1998). 특히 본 연구에서 개발하고자 하는 공법은 프리캐스트 PSC 거더를 이용하여 시공하기 때문에 RC 라멘교 공법에 비해 공기가 단축되고 동바리 설치에 따른 문제가 발생하지 않는다. 그러나 이러한 프리캐스트 거더는 연결부의 부재간 연결이 어렵고 충분한 성능이 발휘되지 않아 많은 문제점을 발생시키고 있다(Song and Yu, 2006a; Song and Yu, 2006b). 따라서 프리캐스트 PSC 거더를 적용한 라멘공법이 적용되기 위해서는 연결부에 대한 안전성 확보가 가장 중요시 되며 성능규명을 위한 대부분의 연구가 접합부 연결에 대한 것이다(Kyung et al., 2003; Park and Yeo, 2007; Park and Kim, 2010; Sato et al., 1999; Sasaki et al., 1998; Hayalioglu and Degertekin, 2005; Feng et al., 2010; Alva et al., 2009).

본 연구는 지상공간이 부족한 대도시 밀집지역과 교통혼잡이 심각한 도심부의 교통문제를 해결하기 위해 안전성과 경제성이 확보되면서도 급속시공이 가능한 지하차도 급속시공 공법을 개발하기 위한 연구의 일환으로 프리캐스트 PSC 거더를 적용한 지하차도의 우각부 연결 및 고정연결장치의 성능 검토를 목적으로 한다.

## 2. PCR (Prestressed Concrete Girder Composite Rahmen) 공법

### 2.1 PCR 공법의 개요

PCR 공법은 지하차도 기초 바닥판의 시공 없이 상부 슬래브 시공이 가능하도록 하기 위하여 프리스트레스가 도입된 프리캐스트 거더를 도입하여 급속시공이 가능하도록 개발한 라멘교 공법이다. 즉, 지반 굴착 후에 기초 바닥판을 먼저 시공하지 않고 벽체를 시공한 후 그 위에 PSC가 도입된 프리캐스트 거더를 얹어 상부 슬래브를 형성시키고 바닥판을 시공하는 공법이다. 이처럼 기초 바닥판 시공 전에 동바리의 설치 없이 상부 슬래브의 시공이 가능하기 때문에 공정이 매우 단축되며

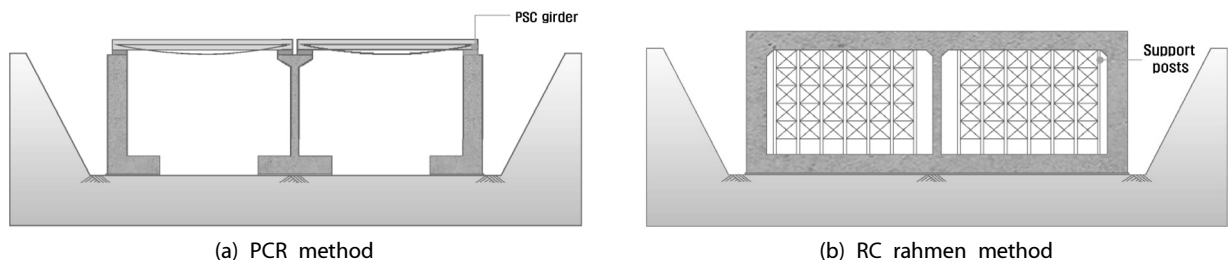


Fig. 1. Characteristics of PCR Method

시공성이 우수하다. 또한 연약지반에 의한 기초 바닥판 침하나 지하수의 침투에 의해 발생하는 균열 및 부상 등의 문제가 발생하지 않으며, 바닥판의 부상방지를 위해 콘크리트 단면을 증가시키지 않아도 되므로 바닥판 단면이 축소되어 경제적인 측면에서도 우수한 성능을 갖는다. Figure 1은 PCR 공법의 기술적 특징을 나타내고 있다.

## 2.2 우각부 고정연결장치

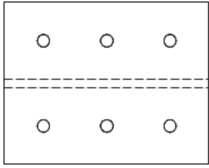
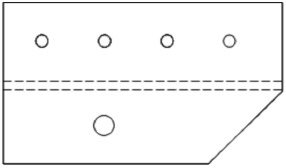
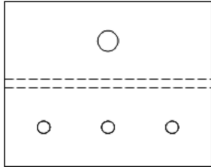
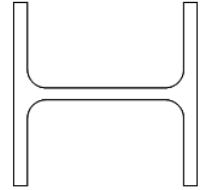
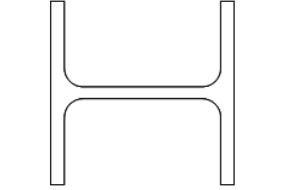
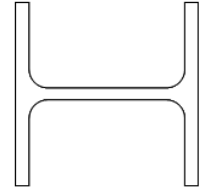
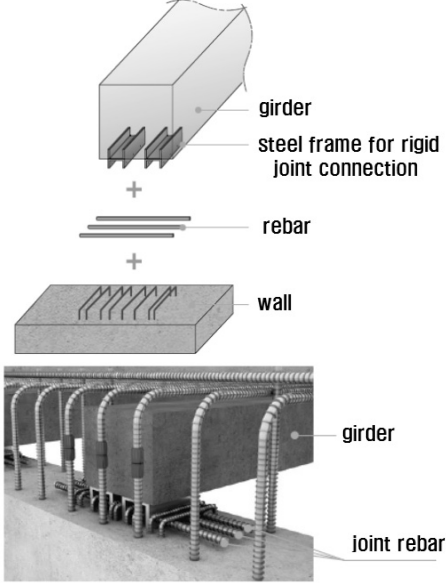
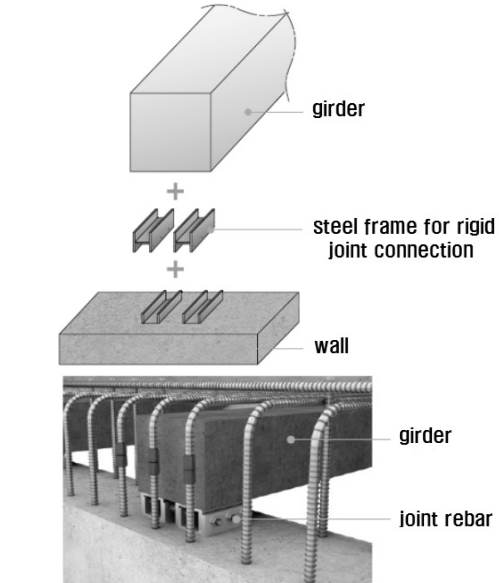
근래 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 프리캐스트 콘크리트 보-기둥 연결부는 강제 접합부를 이용하는 방법과 강선 또는 강봉을 활용하여 긴장력을 도입하는 방법 등을 적용하여 부재간 접합 시 시공이 어려우며 전문 인력과 장비에 의한 긴장력 도입 등으로 부재간의 연결의 어려움으로 인하여 공기가 증가되는 시공상의 단점이 지적되고 있어 기존의 철근콘크리트 연결

방법에 비해서 고비용이 소요되어 경제성면에서 불리하다. 또한, 시공되는 지하차도 벽체와 상부 슬래브를 시공하기 위한 프리캐스트 PSC 보는 시공 시 계면(interface)이 발생하여 상부 슬래브와 벽체간의 균열과 단차가 발생하는 구조적인 문제를 일으키기도 한다. 따라서 이러한 단점 및 문제점의 우려가 있는 기존의 프리캐스트 콘크리트 공법을 개선시킬 수 있는 대안 공법이 절실히 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서 개발하고자 하는 급속시공이 가능한 개선된 PSC 거더를 적용한 지하차도 시공방법도 이러한 프리캐스트 거더와 벽체와의 연결부의 문제점이 발생할 수 있다. 따라서 지하차도의 급속시공을 위한 거더벽체 연결부 시공성능의 향상과 구조물의 일체화를 위한 우각부 고정연결장치 및 급속시공방법을 개발하였다.

개발된 고정연결장치는 기본적으로 거더와 벽체의 일체화를

Table 1. Type of Rigid connections and connection methods

Type	A-Type	B-Type	
		girder	wall
plan view			
front view			
rigid connection method	 <p>girder steel frame for rigid joint connection + rebar + wall girder joint rebar</p>	 <p>girder + steel frame for rigid joint connection + wall girder joint rebar</p>	

도모하기 위하여 프리캐스트 PSC 거더 제작 시 미리 H형 강재를 매입하여 시공된 벽체에 거치한 후 수평철근에 의한 일체화를 유도하였다. 개발된 고정연결장치는 수평철근을 사용한 기본형의 A-Type과 벽체 연결부 철근을 강재로 대체하여 접합부의 강성을 증가시킨 B-Type이 있다. 아래 Table 1은

개발된 우각부 고정 연결장치의 종류와 단면형상, 그리고 연결부 시공상의 어려움을 개선하고 우각부를 강결하기 위한 고정연결장치의 시공절차를 나타내고 있다.

### 3. 우각부 고정연결장치의 성능검증 실험

#### 3.1 실험체의 제작

본 연구의 목적은 수정된 캔틸레버 형상의 시험체를 이용하여 최적 우각부 연결장치와 PSC 거더의 일체 거동을 유도할 수 있는 우각부 단면형상을 파악하는데 있으므로, 기초 및 거더, 슬래브 등은 실구조물의 시방규정에 적합하도록 제작하였다.

Table 2. Material properties and Prestressing force

Compressive strength	girder+wall	$f_{ck} = 40 \text{ MPa}$
	girder+slab	$f_{ck} = 27 \text{ MPa}$
Wire	SWPC 7B ( $\phi 15.2 \text{ mm}$ )	$f_{py} = 1,600 \text{ MPa}$
PS force	797.18 kN	

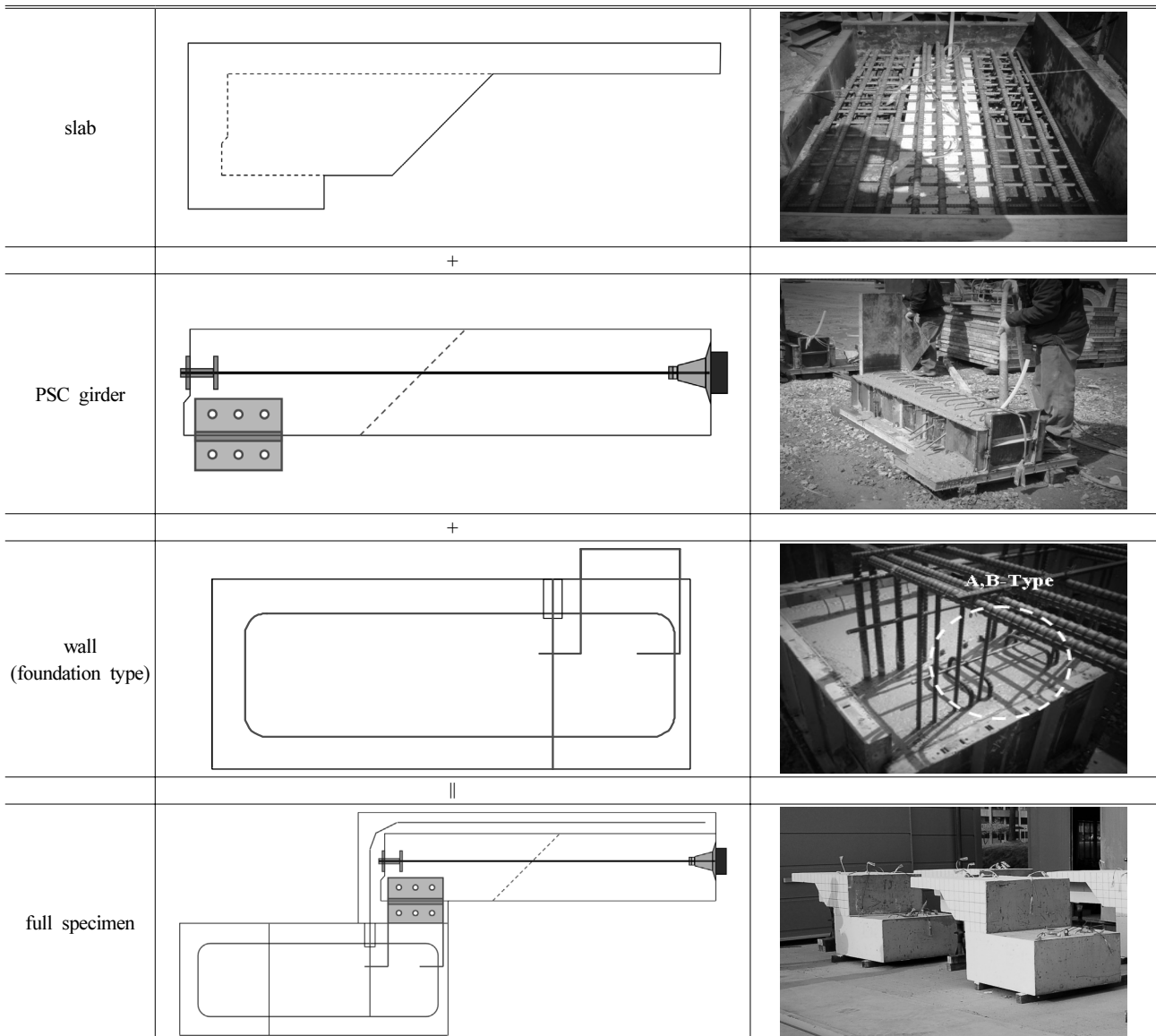
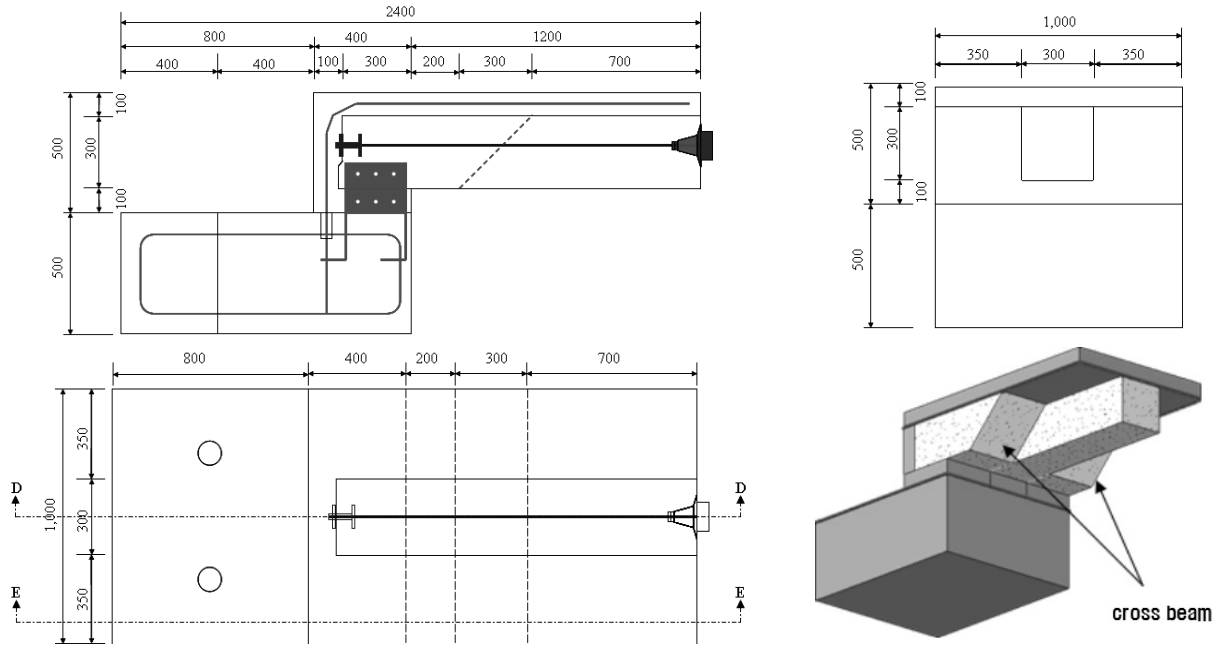


Fig. 2. Constructing process of the test specimen

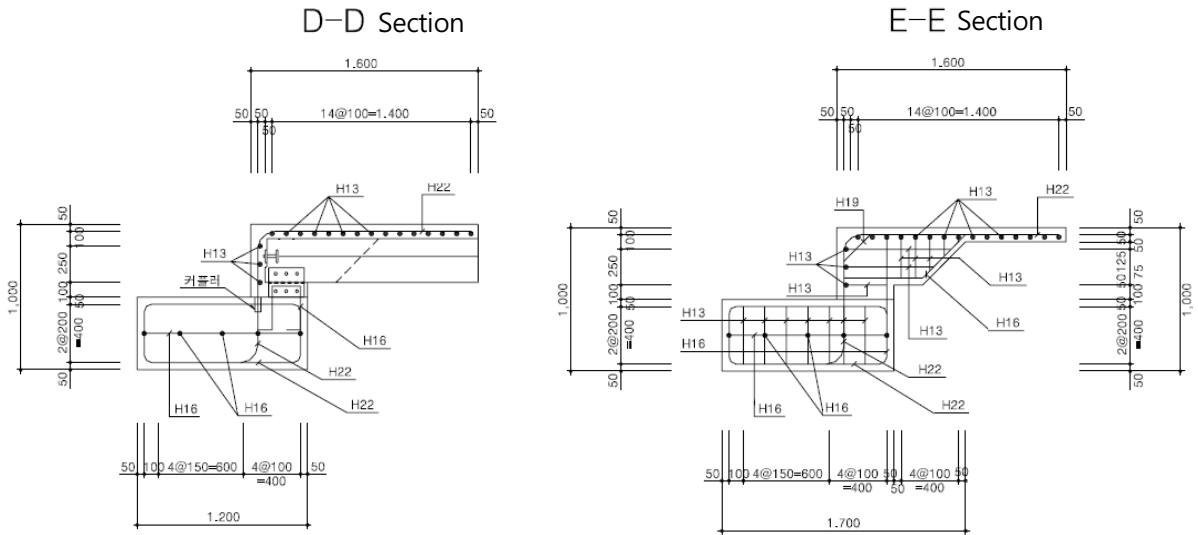
시험체의 제작은 앞에서 언급한 것과 같이 프리캐스트 PSC 거더와 상부 슬래브를 실제 시공단계와 동일한 방법으로 계획을 수립하였으며, 실제 시공 상에서 발생할 수 있는 문제점 및 구조물의 성능을 정확히 평가할 수 있도록 캔틸레버 형상의 구조 모형 시험체를 제작하였다.

수정된 캔틸레버형상의 구조형 시험체를 제작하기 위하여 지하차도의 벽체와 고정 연결장치를 매입한 PSC 거더를 설계기

준 강도 40MPa의 콘크리트로 타설하고 커플러에 의한 상부 주철근을 연결한 후 상부 슬래브와 가로보를 설계기준 강도 27MPa의 콘크리트로 타설하여 시험체를 제작하였으며, Table 2에 재료물성과 거더에 도입한 긴장력을 나타내었다. 또한 대상 시험체의 제작과정 및 시공단계 전경과 개념도를 Figure 2에 나타내었으며, 시험체의 단면도를 Figure 3에 나타내었다.



(a) Section view of the test specimen



Unit : mm

(b) Rebar details

Fig. 3. Dimension and details of test beams

### 3.2 계측위치

PSC 거더를 적용한 캔틸레버 형상의 실험체 및 연결부의 거동을 확인하기 위하여 내부 주철근과 거더의 상부철근 및 고정연결장치에 철근게이지를 부착하여 하중 재하에 따른 대상 실험체의 변형을 변화를 측정하였다. 또한, 하중의 변화에 따른 실험체의 변위는 LVDT를 사용하여 측정하였으며 처짐에 대해 가장 많은 변형을 보일 것으로 예상되는 실험체의 최외측 부분과 내측 중앙 부분에 LVDT를 설치하여 처짐 변화를 측정하였다. Figure 4에는 철근게이지의 부착위치와 LVDT의 설치 위치를 나타내었다.

### 3.3 실험 방법

지하차도 우각부 연결고정 장치의 성능을 평가하기 위한 캔틸레버 형상의 구조실험체는 충청대학 국제공인 시험연구원에서 실시하였다. 정적 재하실험은 최대용량 2,000 kN의 만능 시험기(UTM)를 사용하여 실험체가 파괴될 때까지 실험을 실시하였으며 설계하중에서의 안전성과 최대극한하중을 확인하였

다. 실험체는 변위 제어법을 사용하여 0.02 mm/sec의 재하속도로 가력 하였다.

실험체는 캔틸레버 형식으로 하중 재하 시 실험체가 전도되는 것을 방지하기 위하여 기초 상부에 강제프레임을 거치시키고 고장력 볼트와 강봉을 사용하여 실험실 내부 바닥판과 연결하여 고정시켰다. 전도 방지를 위해 체결한 강제프레임과 기초 상부의 경계면에서 압축하중에 의한 지압과괴가 발생하는 것을 방지하기 위하여 일정 두께의 탄성고무판을 경계면에 삽입하였다. 또한, 포인트 하중으로 재하하는 가력 지점에도 안정적으로 하중이 전달되도록 탄성고무판을 사용하였다.

실험체는 수평철근을 이용하여 고정장치를 연결한 A-Type 과 벽체 연결부 철근을 강재로 대체하여 접합부의 강성을 증가시킨 B-Type이 있다. A-Type은 가로보의 길이에 따라 A-I, II, III로 구분하여 실험체를 제작하였으며, 이는 가로보의 길이에 따른 거동을 확인하기 위한 것이다. 본 연구에서 수행한 실험에 적용된 실험체의 변수와 실험 전경은 각각 Table 3과 Figure 5에 나타내었다.

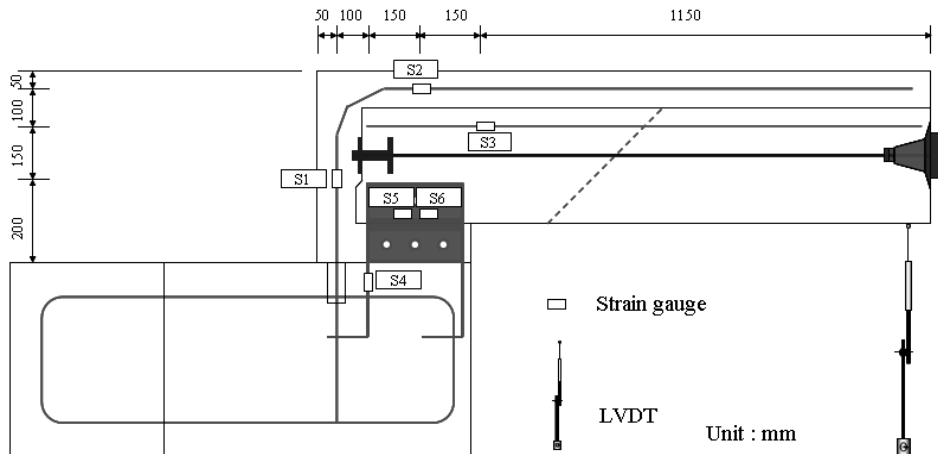
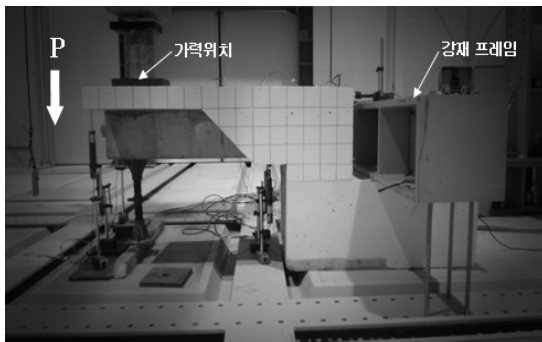
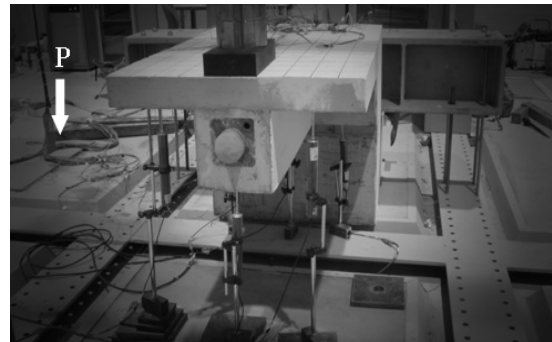


Fig. 4. Gauge placement location



(a) Lateral view



(b) Longitudinal view

Fig. 5. Set up of test specimen

Table 3. Direction of loading and coner shapes

Specimens	Section view of cross beams (unit : mm)	Rigid joint connection
A- I		
A- II		
A- III		
B- I		

#### 4. 실험 결과 및 분석

##### 4.1 하중-변위

Figure 6에 는 캔틸레버 실험체의 하중-변위 곡선을 나타낸 것이다. Figure 6에서 보이는 것과 같이 고정연결장치에 의해 고정된 PSC 거더가 적용된 시험체는 파괴시까지 모두 비교적 내력의 감소가 완만한 안정적인 거동을 나타내었다. 또한, 전체적인 거동은 PSC 구조물의 거동과 유사한 거동을 보이고 있으며 최대 휨 모멘트가 발생하는 벽체 뒷부분에서 파괴가 발생하여 구조물의 성능을 지배하는 것은 벽체의 주철근과 콘크리트의 강도로 확인되었다.

고정연결장치에 따른 성능을 비교해보면, 수평철근에 의해 연결된 A-II 실험체의 경우 약 337.8 kN에서 극한하중에 도달 하였으며, 최대 변위는 약 30.9 mm로 측정되었다. 강재에 의해 연결된 B- I 실험체는 극한하중이 약 326.8 kN이고 이때의 변위는 약 37.9 mm로 측정되어 동일한 실험체 조건하에서는 A-II type의 고정연결방식이 더 우수한 성능을 갖는 것을 확인

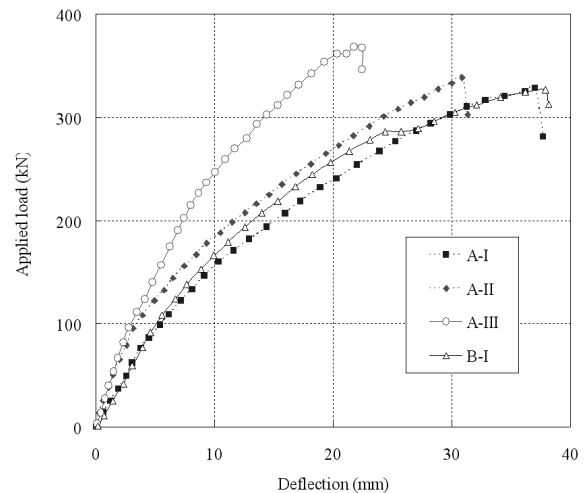


Fig. 6. Load-deflection curves

할 수 있었다. 이러한 결과는 연결부 콘크리트 타설 시 강재로 연결된 B-type의 상부강재와 하부강재 사이의 공극이 충실히

채워지지 않아 거더에서 벽체로의 확실한 응력 전달이 되지 않았기 때문인 것으로 판단된다. 실험 종료 후 실험체 파쇄하여 내부를 확인한 결과 이러한 결과를 확인할 수 있었다. 추후 강재를 이용하여 연결부를 시공할 경우에는 강재 사이의 공극을 충실히 충전할 수 있는 방안을 모색하여야 할 것이다.

실험체의 가로보의 길이에 따른 영향은 실험체 A-I, II, III를 비교하여 확인 할 수 있다. 실험 결과, PSC 거더 양 옆으로

시공되는 가로보의 길이에 따라 실험체의 성능이 크게 차이가 나는 것으로 나타났다. 가로보가 없는 A-I 시편은 극한하중이 약 328.2 kN으로 가장 낮게 나타났으며, A-II 실험체는 A-I 실험체에 비해 약간의 성능이 증가하는 것으로 나타났다. 가로보의 길이가 가장 긴 A-III 실험체의 경우에는 A-I 실험체에 비해 약 12%의 강도 증가를 보여 가로보의 길이에 따라 실험체의 성능이 향상되는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 PSC 거더에 작용하는 응력을 가로보가 분산하여 저항하기 때문에 성능이 향상된 것으로 판단된다. Table 4는 우각부 연결장치의 성능을 실험하기 위한 실험체의 결과를 정리하여 놓은 것이다.

Table 4. Summarized flexural strength test results

Specimens	$P_u$ (kN)	$\Delta_u$ (mm)	Relative strength
A- I	328.2	37.0	1
A- II	337.8	30.9	1.03
A-III	366.8	22.4	1.12
B- I	326.8	37.9	0.99

#### 4.2 철근의 변형률

Figure 7(a)-(d)는 각 실험체별 PSC 거더 상부의 철근(S3)과 슬래브(S2) 및 벽체 주철근(S1)에 부착한 철근 게이지의 하중에

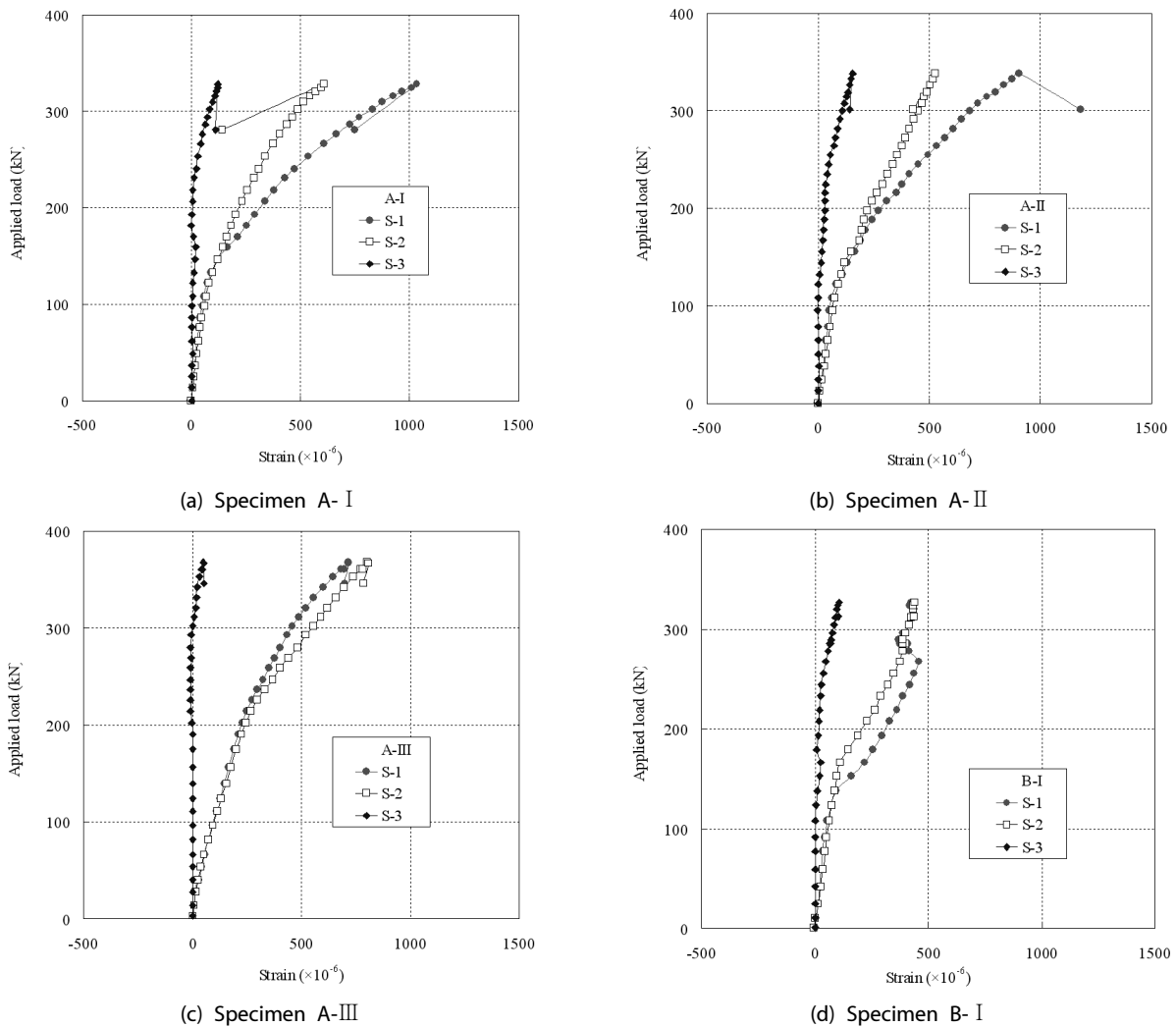


Fig. 7. Load-strain curves of rebar



따른 변형률을 나타내고 있다. 실험 결과에 의하면 하중의 증가에 따라 PSC 거더와 벽체의 주철근 모두 인장을 받는 것으로 나타났다. A-I, A-II, B-I 실험체의 벽체 주철근(S1)은 균열이 발생하기 전 재하 하중인 약 120 kN까지는 매우 안정적인 탄성거동을 보이고 있으며 균열 발생 후 기울기가 완만해 지는 것을 볼 수 있다. PSC 거더(S3)의 경우 PSC 거더 양 옆으로 시공되는 가로보의 길이가 상대적으로 긴 A-III 실험체를 제외한 실험체들의 PSC 거더(S3)는 재하하중 약 230 kN까지 거의 변형률 증가를 보이지 않고 있으며, 재하하중 약 230 kN에서의 변위는 약 16.81~18.95 mm로 전체적인 구조물의 변형은 발생하였으나 PSC 거더(S3)의 변형률은 거의 발생하지 않은 것을 확인할 수 있다. 특히, 가로보의 길이가 상대적으로 긴 A-III 실험체의 경우 약 300 kN 이상에서도 PSC 거더(S3)의

변형률이 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 PSC 거더의 강성이 다른 부분에 비해 상대적으로 강도와 강성이 매우 높아 Rigid-body로 작용하기 때문인 것으로 판단된다. 특히 A-III 실험체를 제외한 다른 시험체는 약 150 kN 근처에서 슬래브상부 철근(S2)과 벽체 주철근(S1)의 변형률의 차이를 보이는 반면에 A-III 실험체는 슬래브상부 철근(S2)과 벽체 주철근(S1)의 변형률의 차이가 거의 유사하게 거동하는 것을 확인할 수 있어, 가장 안정적인 거동을 보이는 것으로 판단된다.

### 4.3 고정연결장치의 변형률

Figure 8은 각 실험체별 연결부 고정연결장치와 고정연결장치를 연결하여 주는 수평철근을 구속하는 철근의 하중-변형률 그래프이다. Figure에서 보이는 것과 같이 강재 고정연결장치는

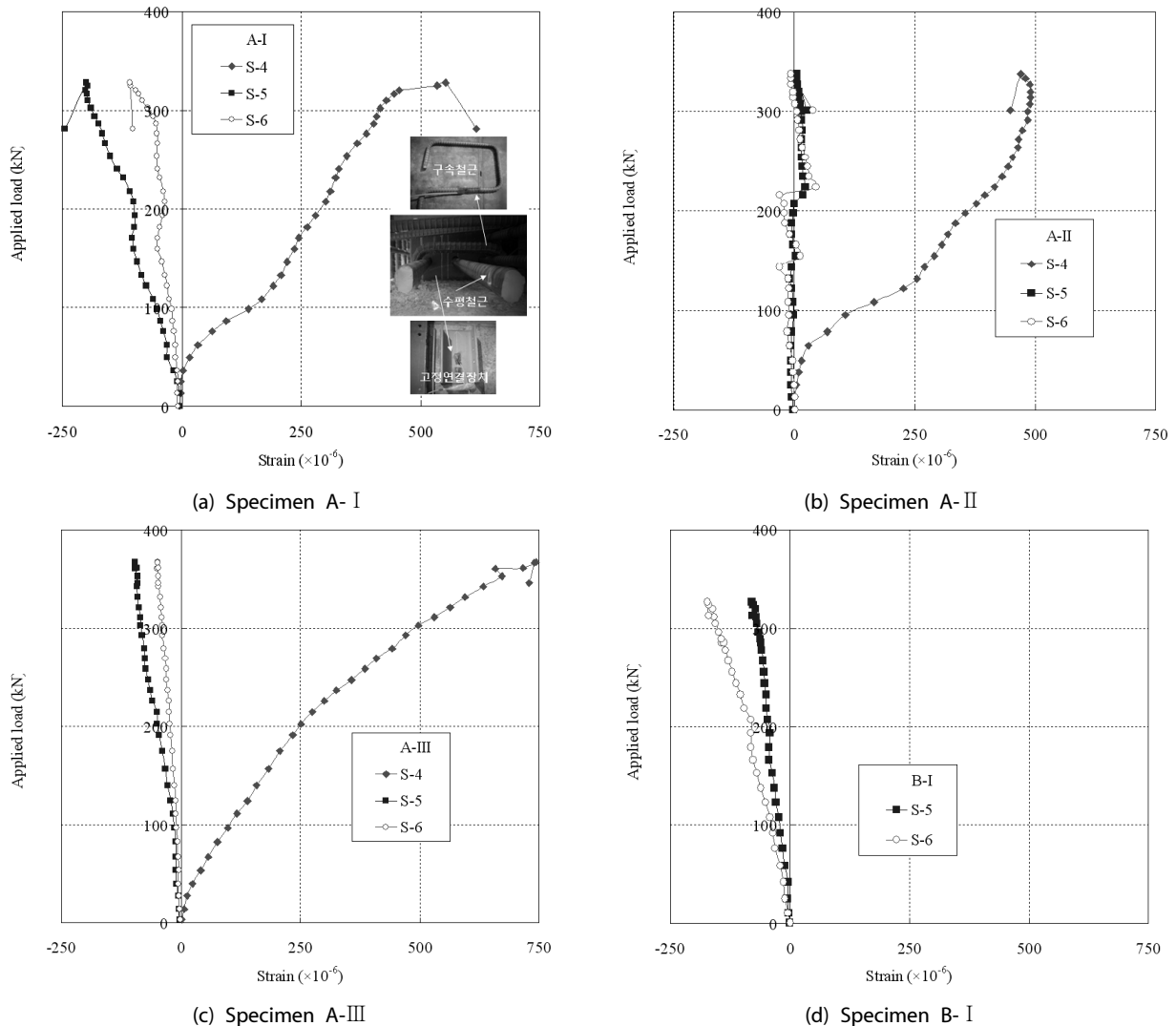


Fig. 8. Load-strain curves of rigid joint connection

형상에 상관없이 매우 안정적으로 PSC 거더를 기초와 연결시켜 주는 것을 알 수 있다. 그러나 고정연결장치를 체결하는 수평철근을 구속하여 주는 구속 철근(S4)은 기초와 벽체가 연결되는 최대 모멘트 발생지점인 접합면의 균열과 함께 급격한 변형을 보이는 것으로 나타나고 있다. A-I 실험체는 약 40~100 kN까지 급속한 변형률 증가를 보이고 있으며, A-II 실험체는 약 50~120 kN까지 급속한 변형률 증가를 보이고 있다. 반면에 A-III 실험체는 파괴 시까지 안정적인 거동을 보이고 있어 가장 우수한 성능을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 구속철근의 구속응력이 증가되면 접합면에 발생하는 균열 발생을 지연시킬 수 있으며 전체적인 구조물의 성능을 향상시킬 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 따라서 추후 구속철근의 철근량을 증가시킬 필요가 있으며 구속철근의 철근량의 증가로 접합면의

균열 저항력을 증대시킬 수 있을 것으로 기대된다. 그러나, B-type 고정연결재를 사용한 실험체는 접합부 상·하 모두 강제로 연결하기 때문에 특별한 구속 철근을 사용하지 않아 이러한 효과를 기대하기는 어려울 것으로 기대된다.

#### 4.4 균열 형상

휨 실험에 대한 캔틸레버 실험체의 초기 균열은 기초 부분과 고정연결장치가 매입되어 있는 접합면에서 가장 먼저 균열이 발생하였으며, 하중이 증가됨에 따라 상부 슬래브와 벽체 뒷면으로 균열이 진전되는 것을 확인 할 수 있다. 특히, 모든 시험체에서 벽체 뒷부분에 하중 증가에 따라 균열이 집중되는 현상을 보이고 있다. A-III 실험체는 약 230 kN 부근에서 휨 균열에 의한 변형률 증가를 보이고 있으며 A-III 실험체를 제외한 실험

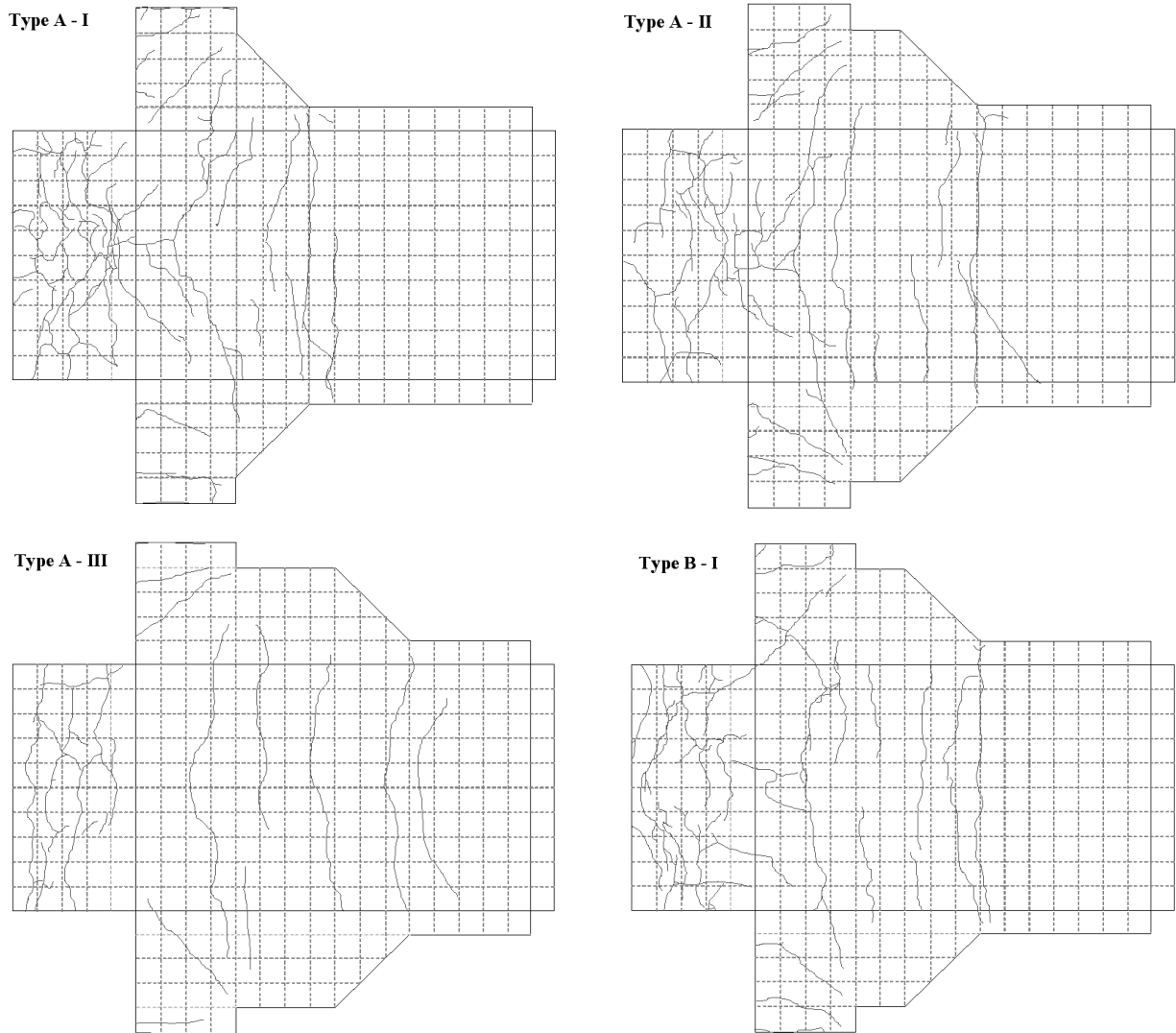


Fig. 9. Crack patterns of specimens

체들은 재하하중 약 110 kN에서 급격한 변형을 증가를 보이며 휨 균열이 발생하였다. 모든 실험체에 발생하는 대부분의 균열은 휨에 의한 균열이 지배적이었으며 압축에 의한 파괴는 발생하지 않았다. 캔틸레버 부분에서는 접합면에서의 초기 균열발생 이후 상부 슬래브 끝에서 중심부로 균열이 발생하였으며 슬래브 아래 거더로는 균열이 진전되지 않았다. 앞에서도 언급한 것과 같이 캔틸레버 부분은 PSC 거더와 고정연결장치에 의해 Rigid-body가 되어 매우 안정적인 거동을 보이기 때문에 현장 타설 콘크리트인 상부 슬래브에 발생한 콘크리트 표면의 균열은 구조물의 거동에 큰 영향을 주지 않는다. 그러나 상부 슬래브와 벽체를 연결하는 주철근이 매입된 벽체부분은 PSC 거더의 영향을 받지 않으며 부모멘트에 의한 최대 모멘트가 발생하여 다른 부분에 비하여 넓은 범위의 분산 균열을 나타내고 있다. 또한, 슬래브와 벽체에 타설된 콘크리트의 압축강도는 설계기준 강도인 27 MPa에 못 미치는 약 24 MPa로 나타나 균열진전과 파괴가 더 빠르게 발생한 것으로 판단된다. 아래 Figure 9는 휨 실험에 의한 응력집중 현상에 의해 분산 균열을 보인 벽체와 상부 슬래브의 균열형상을 실험체별로 정리하여 놓은 것이다. Figure에서 보이는 것과 같이 대부분의 실험체는 벽체 뒷면에서 분산균열을 보이고 있으며 상부 슬래브와 연결되는 것을 알 수 있다. 또한, 상부 슬래브에 발생하는 균열은 대부분이 가로보와 벽체 접합부 사이에서 발생하며 가로보의 단면형상 변화 구간을 중심으로 수평균열이 발생하였다. 강도와 강성이 가장 우수한 성능을 보인 A-III 시험체의 경우에는 다른 시험체에 비해 벽체에 발생하는 균열의 수가 적었으며 상부 슬래브에 발생하는 수평 균열도 슬래브 전체에 걸쳐 발생하는 것으로 나타났다. 이는 상대적으로 길게 설계된 가로보의 하중 분담 능력이 우수하고 PSC 거더에 응력이 집중되는 것을 방지하였기 때문으로 판단된다.

## 5. 결론

본 연구는 지상공간이 부족한 대도시 밀집지역과 교통혼잡이 심각한 도심부의 교통문제를 해결하기 위해 안전성과 경제성이 확보되면서도 급속시공이 가능한 지하차도 급속시공 공법을 개발하고 이를 안정적으로 적용하기 위해 개발된 연결부 고정장치의 성능을 확인하기 위한 연구의 일환으로 캔틸레버 형식의 구조실험체를 통하여 성능 검증 실시하였다.

(1) 본 연구에서는 개착식 지하차도 시공 공법의 문제점을 해결하고 급속시공이 가능한 경제적이고 안전성이 확보되는 지하차도를 개발하였다. 개발된 시공 공법은 기존의 시공

공법에서 가장 큰 문제점으로 지적되고 있는 상부 슬래브 시공을 위한 동바리 지지대인 기초 바닥판의 균열 및 부상문제를 해결하기 위하여 프리스트레스트가 도입된 프리캐스트 거더를 도입하여 바닥판 시공 공정을 거치지 않고 상부 슬래브 시공이 가능한 시공 공법이다.

- (2) 본 연구에서 개발한 급속시공이 가능한 개선된 PSC 거더를 적용한 지하차도 시공방법은 프리캐스트 PSC 거더와 벽체의 연결부에서 발생하는 문제를 해결하고 급속시공을 위한 거더-벽체 연결부 시공성능의 향상과 구조물의 일체화를 위한 우각부 고정연결장치를 개발하였다.
- (3) 개발된 고정연결장치의 성능을 평가하기 위하여 수정된 캔틸레버 형상의 구조실험체를 제작하여 휨 실험을 수행한 결과 개발된 고정연결장치의 형상과 연결방식에 상관없이 모두 안정적인 휨 거동을 나타내었다. 또한, 실험체는 파괴 시까지 고정연결장치에 의해 연결된 PSC 거더와 상부 슬래브가 일체 거동을 하는 것으로 나타나 고정연결장치의 성능이 매우 우수한 것으로 확인되었다. 다만, 가로보의 길이가 길어짐에 따라 구조물의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있었다.
- (4) 지하차도에서 최대 모멘트가 발생하는 벽체부분이 파괴될 때까지 고정연결장치에 의해 연결된 PSC 거더의 변형률은 거의 발생하지 않는 것으로 나타났다. 이러한 이유는 상대적으로 강성과 강도가 높아 Rigid-body로 작용하는 PSC 거더를 연결부 고정연결장치가 안정적으로 강결시켜 완전한 일체거동을 나타내기 때문인 것으로 판단된다.

## References

- Afifuddin, M., Machida, A., Sugiyama, T. and Sato, T. (1998) Study on Behavior of Connection Mechanism on Hybrid-Rigid Frame Bridge Structure, *Journal of Structural Engineering*, JSCE, Vol. 44A, pp. 1423-1434.
- Alva, G.M.S., Ferreira, M.A. and El Debs, A.L.H.C. (2009) Partially Restrained Connections in Reinforced Concrete Structures, *IBRACON Structures and Materials Journal*, Vol. 2, No. 4, pp. 356-379.
- Feng, F., Dennis, L. and Jianqiao, Y. (2010) Moment resistance and rotation capacity of semi-rigid composite connections with precast hollowcore slabs, *Journal of Constructional Steel Research*, Vol. 66, No. 3, pp. 452-461.
- Han, S.J. and Han, S.H. (2010) Feasibility of underground highway project, *The Magazine of the Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 58, No. 2, pp. 27-34.
- Hayalioglu, M.S. and Degertekin, S.O. (2005) Minimum Cost Design of Steel Frames with Semi-rigid Connections and Column Bases Via Genetic Optimization, *Computers & Structures*, Vol.

- 83, No. 21-22, pp. 1849-1863.
- Kyung, K.S., Lee, H.H., Jeon, J.C. and Cho, K.H. (2003) A study on structural behavior at rigid connection of rahmen-type hybrid bridge, *Journal of The Korean Society of Civil Engineers*, KSCE, Vol. 23, No. 4A, pp. 687-694.
- Lee, H.S. (2011) Analytical evaluation of corner joint behavior in precast psc underground structures, ME thesis, Yonsei University, Seoul, 70pp.
- Park, S.K. and Kim, M.H. (2010) Seismic performance of precast beam-column joints with thru-connectors, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol. 22, No. 4, pp. 441-450.
- Park, S.K. and Yeo, I.S. (2007) Experimental test for seismic performance of PCS structural system, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol. 19, No. 3, pp. 313-322.
- Sasaki, Y., Hirai, T. and Akehashi, K. (1998) Experimental study on rigid connection for hybrid frame bridge consisting of steel girder and reinforced concrete pier, *Journal of Structural Engineering*, JSCE, Vol. 44A, pp. 1447-1457.
- Sato, T., Shimizu, I., Ota, T. and Machida, A. (1999) A proposal on design method for rigid section of hybrid rigid-frame bridge, *Journal of Structural Engineering*, JSCE, Vol. 45A, pp. 1431-1438.
- Seung, J.M. (2007) A study on the design of steel-concrete composite frame integral bridges, ME thesis, University of Seoul, Seoul, 64pp.
- Song, H.S. and Yu, S.Y. (2006a) Analysis on the behaviors of precast concrete beam-column connections subject to cyclic loading, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol. 18, No. 4, pp. 497-506.
- Song, H.S. and Yu, S.Y. (2006b) Evaluation on the behaviors of precast concrete beam-column connections for apartments, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol. 18, No. 5, pp. 657-666.
- Suzuki, Y., Mizuguchi, K., Yoshida, M., Nakashima, H. and Tachi, K. (1998) A rigid connection mechanism of composite frame bridge and its model loading test, *Journal of Structural Engineering*, JSCE, Vol. 44A, pp. 1435-1446.
- Woo, K.H., Lee, D.K., Lee, S.M., Lee, J.S. and Lee, C.H. (2009) A construction case of cut-and-cover tunnel with precast arch bridge (PAB) system, *Journal of the Korea Concrete Institute*, KCI, Vol. 21, No. 3, pp. 81-86.