

# 조립식교량의 콘크리트 방호울타리 연결시스템 개발을 위한 실험적 연구

## An Experimental Study on Development Connection System of Concrete Barrier in Modular Bridges

정 호 성<sup>1)</sup>      이 상 승<sup>2)</sup>      최 진 웅<sup>3)</sup>      김 태 완<sup>4)\*</sup>      박 선 규<sup>5)</sup>  
Jung, Ho Sung      Lee, Sang Seung      Choi, Jin Woong      Kim, Tae Wan      Park, Sun Kyu

### Abstract

Recently, in field of bridge construction, modular technology has been studied to reduce construction period. However, main stream of the study is limited to the pier, girder and deck of bridge, which are huge or main members. Studies on incidental facilities like concrete barrier is out of sight. Thus, in this study, connection system of concrete barrier was developed to apply to modular bridges and static experiment was performed in order to verify structural capability of proposed system. Variables of experiment are composed of bolt direction such as vertical and horizontal. The experimentation due to the designed variables was conducted by comparison with a standard concrete barrier, which is a traditional barrier. As a result, vertical joint way of the bolt showed nearly identical structural performance and healthy to standard specimen's. it can be applied to modular bridges.

**Keywords** : Modular Bridge, Concrete Barrier, Bolt Connection

### 1. 서론

최근 교량의 건설이나 노후화된 교량을 기존의 방법으로 보수 또는 교체시, 장기간의 교통통제에 따른 경제적 손실과 비산 먼지 등에 의한 환경적인 이유, 동절기 구조물 품질 확보 등이 문제로 제기되어 이에 대한 대안으로 조립식 교량의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 외국의 경우 프리캐스트 세그멘탈 공법에 의한 조립식 교량이 건설되고 있으며, 국내의 경우 조립식 교량연구와 시공이 되고 있지만, 이는 대부분이 주 구조물인 교각, 거더와 바닥판 등에 국한되어 있고 조립식 교량에 적합한 중앙 분리대, 교량 및 노측용 방호울타리와 같은 부대시설에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 국내의 경우 대우건설기술연구원(전세진 : 2007)에 의한 루프이음을 통한 프리캐스트 콘크리트 방호벽에 대한 연구가 있으며, 반영구적인 면에서 보수·보강시 교체가 용이하지 않으며, 무수축 모르타르의 양생기간을 거쳐야한다는 점으로 보았을 때 본

연구의 볼트접합 이음이 시공성 면에서 좋다고 판단된다.

반면, 국외의 경우 미국 FHWA에서 프리캐스트를 이용한 중앙 분리대 적용 사례는 있으나, 이는 연결-조립형태가 아니어서 교량의 외측 방호울타리의 사례로 보기는 어렵다.

현재 국내 방호울타리 시공현황을 살펴보면, 거푸집을 사용하여 시공하는 방법과 Fig. 1과 같이 Slipform Machine을 사용하는 방법이 있다. 하지만 거푸집을 사용하는 방법은 거푸집 설치 및 해체 등의 이유로 공사기간이 길어지는 문제가 있으며 Slipform Machine을 이용하는 방법은 교량위에서 공사하기에 불편한 문제가 있다. 또한 언급한 현장 타설 방법을 Fig. 2와 같은 예상치 못한 Crack이나 Fig. 3과 같이 콘크리트가 무너져 내려 보수해야 하는 단점이 있다.

최근 프리캐스트 조립식교량(Modular Bridge)의 연구가 활발하게 진행되고 있는 실정에서 거푸집을 이용하는 방법과 Slipform Machine등을 이용하여 방호울타리를

1) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정  
2) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 석사과정  
3) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 박사과정  
4) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 연구부교수, 교신저자  
5) 정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학과 교수

\* Corresponding author : tk776@skku.edu 031-290-7530

• 본 논문에 대한 토의를 2012년 4월 30일까지 학회로 보내주시면 2012년 5월호에 토론결과를 게재하겠습니다.



Fig. 1 Slipform Machine



Fig. 2 Crack in Barrier



Fig. 3 Barrier Repair

설치하는 경우는 앞서 언급한 보수에 따른 비용손실과 공기지연의 문제 외에도 타 부재와의 연결 등을 고려하면 조립식교량에 적용이 불가능 할 것으로 판단된다. 이는 조립식 교량의 장점 중 하나인 교체가 용이하다는 점을 고려 할 때, 현장타설된 방호울타리의 제거는 불가능하기 때문이다. 따라서 조립식 교량에 적용이 가능한 프리캐스트로 제작된 콘크리트 방호울타리와 거더와의 연결방법에 대한 연구가 필요한 실정이다. 이 논문에서는 언급한 조립식 콘크리트 방호울타리와 그 연결에 관한 것들을 실험적 방법으로 접근해 보았다.

최근 인구증가와 자동차 수요의 급증으로 인하여 우리나라의 도로율 및 교통량은 급격히 증가하고 있고, 차량의 대형화, 중량화, 고속화로 인하여 도로교통사고 발생률의 둔화에도 불구하고 교통사고 건당 인명, 재산 피해가 증가되고 있으며, 이는 경제적, 사회적 문제로 대두되고 있고, 특히 일반 교량이나 최근 급증하게 건설되고 있

는 해상교량 및 장대교량에서 차량의 추락 사고나 추돌 사고를 예방하기 위하여 교량 및 노측용 방호울타리의 중요성이 부각되고 있다. 하나의 예를 들면, 2010년 10m의 교량 밑으로 추락한 인천대교 버스사고는 도로안전시설이 차량운전자 및 탑승자의 생명에 중요한 구조물 뿐 아니라 경우에 따라서 잘못 설치된 도로안전시설은 경제적 손실을 야기할 수 있음을 보여 주고 있다. 이러한 추세를 반영하기 위해 방호울타리의 설계등급이 강화됨에 따라 단면 또한 대형화 되고 있다.

도로안전시설은 도로법 제3조 및 도로의 시설과 기준에 관한 규칙 제37조에 언급된 시설물로 도로교통의 안전하고 원활한 소통을 확보하며, 도로의 미비한 구조 상태를 보완하여 도로시설 기능 및 서비스 수준을 제고하기 위하여 설치되는 매우 중요한 기능을 가지고 있는 시설물이다. 특히, 차량방호안전시설인 중앙분리대, 교량 및 노측용 방호울타리, 충격흡수시설 등은 이탈, 정면충돌 등과 같은 치명적인 교통사고를 예방하기 위한 시설물로서, 그 기능을 충분히 발휘할 수 있는 시설물 설치가 매우 중요하다.

이렇게 중요함에도 전술한 바와 같이 조립식교량에 관한 연구는 거더와 바닥판에 국한되어 있기 때문에, 구조적 성능 검증을 통해 조립식 교량에 적합한 방호울타리 시스템 개발 연구가 필요하다고 판단된다.

따라서, 본 논문에서는 조립식교량 적용을 위해 콘크리트 방호울타리와 바닥판 간 볼트접합을 이용하는 연결 시스템을 개발하여 실험체를 제작하였고, 이러한 연결 시스템의 구조적 성능을 검증하기 위하여 기 사용 중인 방호울타리와 제원이 유사한 실험체를 제작 하였다. 실험은 연결부의 거동을 확인하기 위하여 집중하중 재하를 통한 구조물 정적 실험을 실시하였고 실험체의 거동을 분석하였다.

## 2. 교량방호울타리의 설치규정

일반적으로 도로에서는 차량이나 보행자 등이 길 바깥이나 대향차로 등으로 이탈하는 것을 예방하기 위해 도로 안전시설인 방호울타리를 설치하고 있다. 특별히 교량에는 교량용 방호울타리를 설치하여 동일한 기능을 발휘하도록 하고 있는데 교량용 방호울타리는 교량 위에서 차량이 차도로부터 교량 바깥, 보도 등으로 벗어나는 것을 방지하기 위하여 설치한다.

Table 1 Level of Barrier in KOREA

| Classification                |  | SB1                              | SB2 | SB3 | SB4 | SB5 | SB6 | SB7 |  |
|-------------------------------|--|----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| Impact Amount(kJ)             |  | 60                               | 90  | 130 | 160 | 230 | 420 | 600 |  |
| Type of Design Speed          | Low Speed (Under Designed 60km/h)                | ◎                                | ○   |     |     |     |     |     |  |
|                               | Normal Speed (60km/h to 80km/h, Artificial Road) | Basic Section                    |     | ◎   | ○   |     |     |     |  |
|                               |  | Bridges and Sections with Median |     |     |     | ◎   | ○   |     |  |
|                               | Interchange or Heavy Vehicles                    |                                  |     |     |     | ◎   | ○   |     |  |
|                               | High Speed (Over 100km/h, Highway)               | Basic Section                    |     |     | ◎   | ○   |     |     |  |
|                               |  | Bridges and Sections with Median |     |     |     |     | ◎   | ○   |  |
| Interchange or Heavy Vehicles |  |                                  |     |     |     |     | ◎   | ○   |  |

1. ◎ : Highly Recommended
2. ○ : Recommended

국내에서는 노면에서 상단까지 810mm 높이의 뉴저지 (NJ)형 콘크리트 강성 방호 울타리가 주로 사용되어 왔으나, 최근에 무게 중심이 높은 대형차에 대한 방호능력을 높이기 위해 높이를 1,000mm로 조정한 F형 형상의 콘크리트 강성 방호울타리가 사용되고 있다.

결국 국내 설치규정을 살펴보면 Table 1과 같고, 등급에 따라 방호울타리의 형상만 정해진 상태이다. 현장에서는 거더 제작 시 철근을 매설하여 방호 울타리 형상을 거푸집 등을 이용하여 현장타설하고 있다.

### 3. 실험절차

본 연구에서는 조립식 교량에 적합한 콘크리트 방호울타리 접합방법의 개발을 위해 수직접합과 수평접합 2가지 형태의 볼트접합을 대안으로 설정하였으며, 현장타설로 설치되는 기존 일체형 방호울타리와 비교실험을 수행하였다.

#### 3.1 실험재료

실험체 제작을 위해 콘크리트는 설계기준 강도 24MPa, 30MPa인 레디믹스트 콘크리트 제품을 사용하였으며, 실험체에 배근된 철근은 설계기준항복강도가 300MPa인 이형 철근을 사용했다. 방호울타리와 바닥판의 연결에 사용된 볼트는 F10T M25의 고장력 볼트를 사용 하였다.

Table 2 Result of Compressive Strength

| Type            | Compressive Strength of Concrete Cylinders (MPa) |      |      | Average (MPa) |
|-----------------|--|------|------|---------------|
| Deck (30MPa)    | 32.1   | 30.0 | 36.8 | 33.0          |
| Barrier (24MPa) | 20.9   | 20.4 | 20.1 | 20.5          |

Table 3 Properties of Steel

| Classification | Diameter (mm) | Cross section (mm <sup>2</sup> ) | Tensile Strength (MPa) | Yield Strength (MPa) |
|----------------|---------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|
| SD30           | 12.7          | 126.7                            | more than 440          | more than 300        |

Table 4 Properties of Bolt

| Classification | Cross-sectional Area(mm <sup>2</sup> ) | Tensile Strength (MPa) | Yield Strength (MPa) |
|----------------|--|------------------------|----------------------|
| F10T M25       | 352.5                                  | 1,000~1,200            | Over 900             |

#### 3.1.1 콘크리트

실험에서 사용된 콘크리트는 방호울타리의 경우 24MPa, 바닥판의 경우 30MPa의 설계압축강도를 가지는 레디믹스트 콘크리트 이며, 각각의 방호울타리와 바닥판 타설시 별도로  $\Phi 100 \times 200$ mm의 원주형 공시체를 제작하였고, 채령 28일 후 콘크리트 압축강도 시험을 하였으며 측정된 값은 Table 2와 같다.

#### 3.1.2 철근

본 실험에서는 KSD 3504D에 규정되어 있는 SD30의 이형철근을 사용했으며 그에 따른 철근의 물성치는 Table 3과 같다. 바닥판 인장·압축철근에는 D19, 배력철근에는 D16, 콘크리트 방호울타리에는 D13 철근을 사용하였다.

#### 3.1.3 고장력볼트

본 실험에서는 고장력 볼트인 F10T M25를 사용하였고 볼트의 단면 및 특성은 Table 4와 같다.

### 3.2 실험변수 및 실험체 형상

#### 3.2.1 실험변수

정적 실험의 변수는 Table 5와 같이 바닥판과 방호벽 간 볼트의 접합 형태로서, 기존 현장타설 일체형 실험체 (ST), 방호울타리와 바닥판을 수직으로 접합(BVC)하는

Table 5 Experimental Parameter

| Experimental Model | Parameter                  | Number of Specimen | Number of Bolt | Remarks       |
|--------------------|----------------------------|--------------------|----------------|---------------|
| ST                 | -                          | 1                  | 0              | Cast-In-Place |
| BVC                | Vertical Bolt Connection   | 2                  | 4              | Precast       |
| BHC                | Horizontal Bolt Connection | 2                  | 4              |               |



Fig. 4 A Shape of Nut



Fig. 5 A Shape of Spiral Bar

실험체, 방호울타리와 바닥판을 수평으로 접합(BHC)하는 실험체를 제작하였다. 실험체별 제작 수와 볼트 수는 Table 5에 표시하였다. 그리고 조립식 교량에의 적용성을 확인하기 위해 기존의 앵커방식이 아닌 너트를 먼저 삽입하여 타설하였다. 사용된 너트는 Fig. 4와 같으며, 콘크리트 방호 울타리와 바닥판 설치 후 하중을 가력 하였을 때, 볼트 주위에서의 국부파괴를 막기 위하여 Fig. 5와 같이 스파이럴 철근을 사용하였다.

### 3.2.2 실험체 형상 및 제작

실험체는 Fig. 6과 같은 일련의 제작과정을 거쳐 제작되었다. 각각의 접합형태에 따른 실험체의 형상은 Fig. 7과 같다. ST실험체의 경우 바닥판과 방호울타리 철근을 조립한 뒤 제작 여건상 바닥판을 먼저 타설하고 이어 방호울타리를 타설하는 방식으로 제작하였고, BVC실험체



Fig. 6 Procedure of Building Specimen

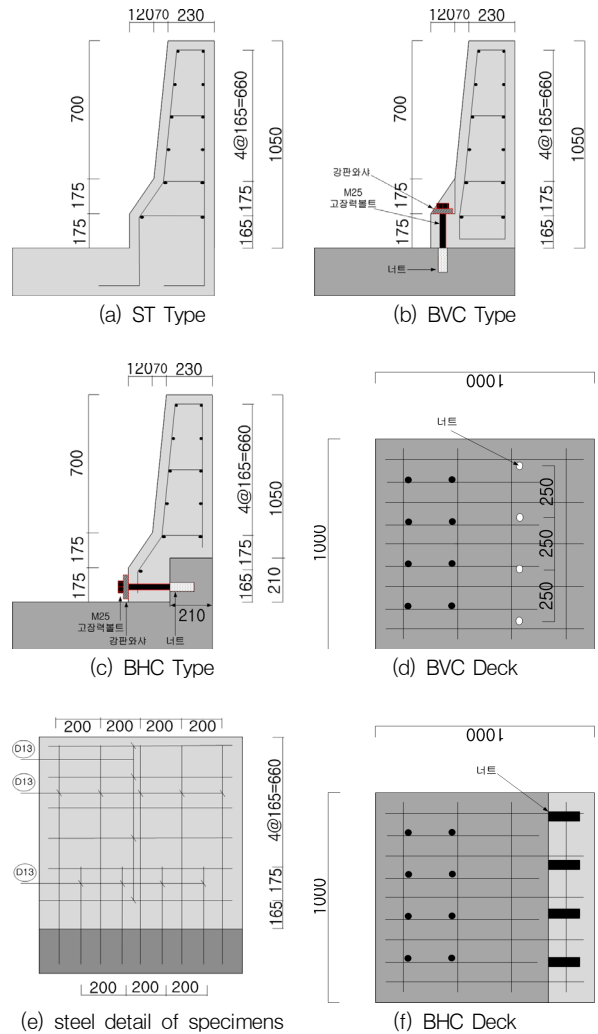


Fig. 7 Detail of Each Specimen

와 BHC 실험체의 경우 각각의 철근을 조립하고, 바닥판 거푸집을 설치하여 먼저 타설한 후 매치캐스팅공법에 의한 방법으로 바닥판 위에 방호울타리 거푸집을 설치한 뒤 타설하는 방식으로 제작하였다.

### 3.3 실험체의 하중재하 및 측정방법

#### 3.3.1 실험체의 하중재하

방호울타리의 정적 실험 재하 형태는 차량이 충돌하였을 때 충돌면과 비슷한 재하 형태를 가진다. 도로교설계기준(2005)에 따르면 수평 충돌력 산정 시 특정 높이가 일정한 등분포하중으로 제시하고 있으나 이것은 바닥판의 설계에 사용하게 되어 있다. AASHTO LRFD Bridge Design Specification(2007) 규정에는 재하 형태와 충돌하중에 대한 내용을 비교적 상세하게 제시하고 있으나, 본 실험은 방호울타리의 구조성능 실험이 아닌 접합부 연결부 시스템의 구조성능 실험으로서 실험체 또한 단위(1m) 길이로 제작하였기 때문에 등분포 하중이 아닌 집중하중으로 AASHTO 기준에 따라 높이 810mm 지점에 500kN 용량의 액츄에이터로 분당 1mm의 변위 제어 방식을 사용하여 파괴시까지 하중을 재하 하였다. 정확한 하중 데이터를 얻기 위하여 Load Cell을 설치하였으며, 실험체의 재하시스템은 Fig. 8과 같다.

#### 3.3.2 측정 방법

본 논문의 주된 목적인 조립식 교량에 적합한 콘크리트 방호울타리 연결시스템의 거동 특성을 파악하고 분석하기 위하여 Gauge 및 LVDT를 설치하였다.

각각의 실험체에서 철근의 변형률을 확인하기 위하여 콘크리트 타설 전 Steel Gauge를 부착하였고, 콘크리트의 변형률을 확인하기 위해 실험 전 Concrete Gauge를

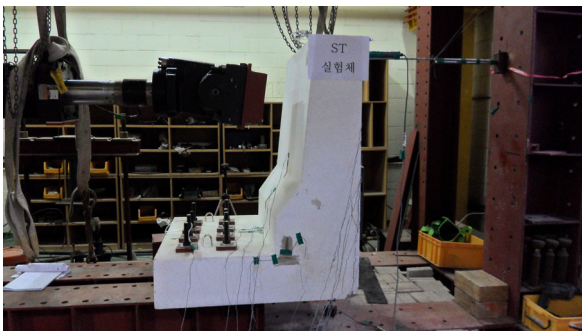


Fig. 8 A Shape of Actuator

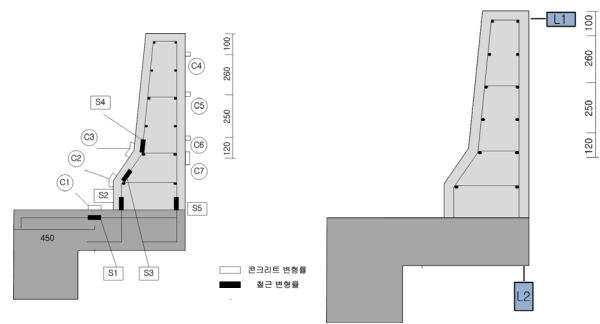


Fig. 9 Location of Strain Gauge Fig. 10 Location of LVDT

Table 6 Measuring Instruments

| ID | Measuring Instrument  | Purpose   |
|----|-----------------------|---|
| L1 | LVDT                  | Measuring Lateral Displacement of Load-Direction    |
| L2 | LVDT                  | Measuring Vertical Displacement of Deck             |
| S1 | Steel Strain Gauge    | Measuring Strain of Main Reinforced Bar             |
| S4 | Steel Strain Gauge    | Measuring Vertical Steel Strain at Front of Barrier |
| C1 | Concrete Strain Gauge | Measuring Strain at Top of Deck                     |
| C4 | Concrete Strain Gauge | Measuring Vertical Strain at Back of Barrier        |
| C7 | Concrete Strain Gauge | Measuring Horizontal Strain at Back of Barrier      |

부착하였다. 각 계측기의 설치위치는 Fig. 9와 같으며, 설치 목적은 Table 6과 같다. 또한 콘크리트 방호울타리의 횡방향 변위와 방호울타리와 바닥판과의 일체화 이후 바닥판의 처짐을 측정하기 위해 Fig. 10과 같이 수직, 수평 방향으로 LVDT를 설치하였다.

## 4. 실험 결과 분석

AASHTO 방호울타리 충격력 산정 수식을 이용하여 수직 접합과 수평접합 실험체의 내하력을 비교한 결과 수직 접합은 161%로 만족하였고, 수평접합은 93%로 만족하지 않았다.

아래 수식은 AASHTO 기준에서 콘크리트 방호울 타리 충격력 산정 수식이다.

$$R_w = \left( \frac{2}{2L_c - L_t} \right) \times \left( 8M_b + 8M_w + \frac{M_c L_c^2}{H} \right)$$

보다 상세한 실험결과 분석을 위해 본장에서는 하중-

변위, 철근변형률, 콘크리트 변형률, 균열양상에 대해 살펴 보았다.

#### 4.1 하중-변위 곡선

##### 4.1.1 방호울타리 횡변위 (L1, Fig. 10)

가력은 분당 1mm의 변위 제어방식을 취하였으며, 콘크리트 방호울타리 상부 중앙에서 측정된 변위값을 이용하여 하중-변위곡선을 Fig. 11과 같이 나타내었고, 실험에서 측정된 각 실험체의 균열 하중 및 최대 내력을 Table 7에 나타내었다.

일체형인 ST실험체와 비교 하였을 때, BVC1,2 실험체의 경우 약 75~85%의 내력을 발휘 하였으며 BHC1,2 실험체는 약 42~50%의 내력을 발휘 하였다. 이는 BHC 실험체와 BVC 실험체의 하중에 대한 저항단면의 차이에 기인하는 것으로 판단된다. BHC 실험체의 경우, 하중 방향과 수평하므로 볼트의 뽑힘 현상이 일어나고, 이는 방호울타리와 바닥판의 이격으로 이어져 대부분의 하중을 볼트가 받으므로 Fig. 11에서 보여지듯이 상대적으로 작은 하중에서 변위의 큰 변화가 관측되었다. 반면, BVC 실험체는 하중방향에 직각으로 저항함에 따라, BHC 실험체에 비해 내하력이 월등히 우수하고, 콘크리트와 볼트가 함께 저항하여 BHC 실험체보다 변위의 변화가 작았다.

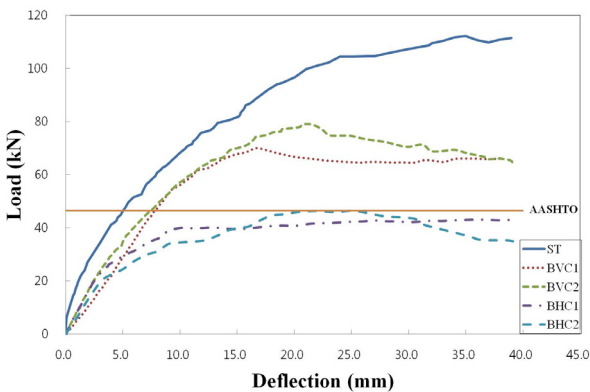


Fig. 11 Load-Deflection Curve at LVDT1

Table 7 Cracking and Maximum Load

| Type  | Cracking Load (kN) | Maximum Load (kN) |
|-------|--------------------|-------------------|
| ST    | 41.6               | 94.33             |
| BVC-1 | 46.0               | 71                |
| BVC-2 | 33.2               | 79.2              |
| BHC-1 | 20.6               | 40.0              |
| BHC-2 | 19.9               | 46.7              |

방호울타리의 충격에 의한 파손 상태를 대변할 수 있는 횡변위 실험 결과, 수평 접합인 BHC 실험체의 경우는 조립식으로 적용하기에는 무리가 있을 것으로 사료되고, 수직 접합인 BVC 실험체의 경우는 조립식 방호울타리로서 적용이 가능한 것으로 판단된다. 또한, AASHTO 기준에 따라 계산된 하중은 46.5kN으로 산정되었고, 본 연구의 실험체는 수직접합의 경우 평균 75kN으로 61%를 초과하였고, 수평접합의 경우 평균 43.35kN으로 7% 미달하였다.

##### 4.1.2 바닥판 수직변위 (L2, Fig. 10)

하중을 가력 하였을 때 바닥판과 방호울타리의 접합면에서 최대 모멘트가 발생하게 되고, 이러한 하중이 방호울타리를 거쳐 바닥판까지 전달이 되면 수직변위가 발생하게 된다. Fig. 12는 바닥판의 수직변위를 보여주고 있으며, 이는 방호울타리 횡변위 계측의 결과와 유사한 경향을 보인다. 특히, BVC 실험체와 ST실험체를 비교해 보면 하중-변위 관계가 거의 일치하는 것으로 보아 BVC 실험체의 방호울타리와 바닥판이 충분히 일체화가 된 것으로 판단된다.

#### 4.2 철근변형률 곡선

##### 4.2.1 바닥판 거더 접합면 철근 변형률(S1, Fig. 9)

바닥판은 방호울타리에 작용하는 하중을 고려하여 설계를 하며 이러한 하중들로 인하여 철근에 변형이 발생하게 된다. Fig. 13은 각 실험체 S1 위치의 철근 변형률을 보여주고 있다. 앞서 언급한 하중-변위 결과와 유사하게 BHC 실험체의 경우 접합면의 이격거리가 증가하게 되면서 하중이 바닥판으로 전달이 되지 않고 볼트가 대부분을

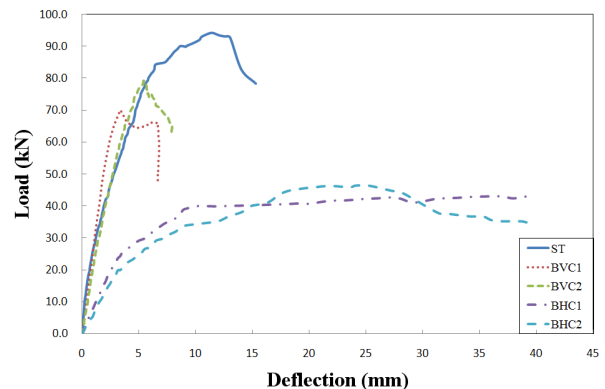


Fig. 12 Load-Deflection Curve at LVDT2

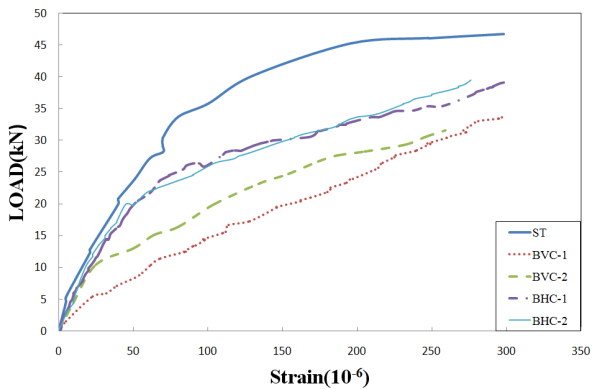


Fig. 13 Strain Curve at S1

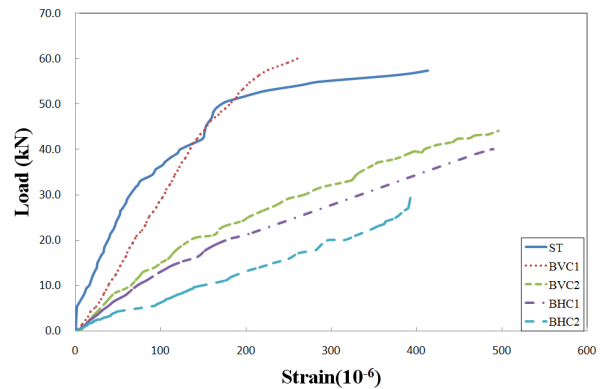


Fig. 15 Strain Curve at C3

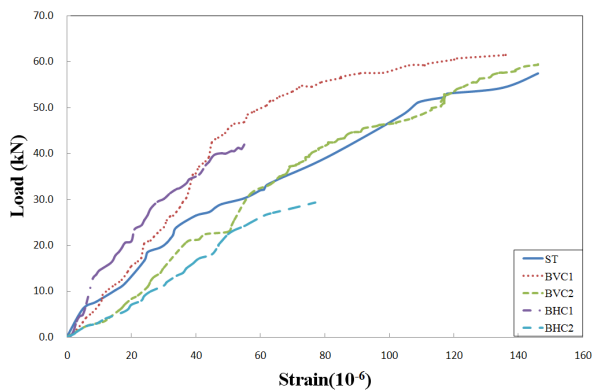


Fig. 14 Strain Curve at S4

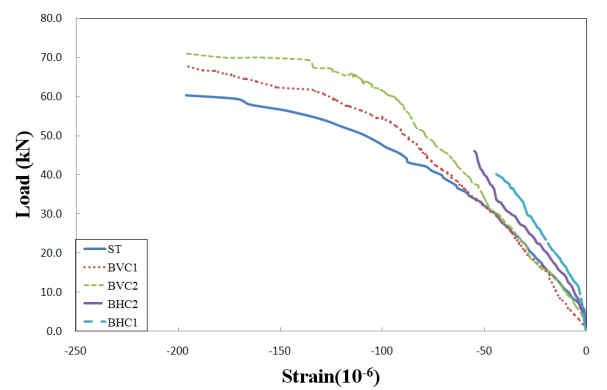


Fig. 16 Strain Curve at C7

받는 것으로 판단된다.

#### 4.2.2 방호울타리 철근 변형률(S4, Fig. 9)

Fig. 14는 변단면부의 철근 변형률을 나타내고 있으며, 방호울타리의 초기 균열이 발생한 곳으로서 ST실험체와 BVC 실험체에서 균열 발생 후 변형률이 급격하게 증가함을 보여주고 있다. 일체형인 ST실험체의 변형률이 계속 증가한 반면, BVC 실험체와 BHC 실험체는 초기 균열이 후 하중의 일부가 볼트로 전달되므로 철근의 변형이 지속되지 않은 것으로 판단된다.

### 4.3 콘크리트 변형률 곡선

#### 4.3.1 방호울타리 변단면 변형률(C3, Fig. 9)

Fig. 15는 방호울타리 변단면에 위치한 C3 Concrete Gauge의 하중-변형률 곡선이다. 이 위치는 균열 및 인장 변형률이 가장 크게 발생하는 위치기도 하다. 일체형인 ST 실험체와 수직 접합인 BVC 실험체는 콘크리트와 철

근의 일체 거동이 이루어져 변형률의 변화가 심하지 않은 반면, 수평 접합인 BHC 실험체는 접합부의 이격현상에 기인하여 방호울타리 콘크리트의 하중부담이 증가되므로 콘크리트 변형률이 큰 것으로 판단된다.

#### 4.3.2 방호울타리 배면 콘크리트 변형률(C7, Fig. 9)

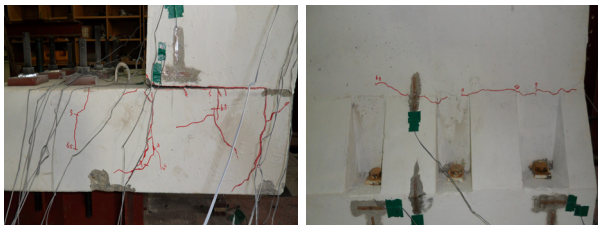
Fig. 16은 방호울타리 배면의 압축 지점에서의 하중-변형률 곡선이다. 이 지점은 방호울타리에 있어서 압축 변형률이 가장 크게 발생하는 곳으로 ST실험체에 비하여 BVC 실험체와 BHC 실험체는 상당히 낮은 변형률을 보여주고 있다. 그 이유는 접합면의 볼트가 하중 증가에 따라 뽑힘 현상이 일어나고, 이는 콘크리트 방호울타리의 이격을 유발시키므로 배면부 콘크리트는 ST 실험체와는 다르게 압축에 큰 영향을 받지 않는다.

### 4.4 균열양상

콘크리트 방호울타리 정적실험의 최종 균열 양상을 다



(a) ST specimen



(b) BVC specimen



(c) BHC specimen

Fig. 17 Crack pattern of specimen

음 아래의 그림과 같이 나타내었다. Fig. 17에서 보는 바와 같이 ST실험체와 BVC실험체는 거의 유사한 균열 양상과 진행 과정을 보였으며, 초기균열은 방호울타리 끝단에서 바닥판으로 수직 균열이 발생하였고, 하중증가에 따라 휨·전단균열, 방호울타리 변단면부의 균열이 발생하기 시작 하였으며, 최대하중에 도달하기까지 변위 및 균열폭이 증가하였고, 바닥판을 고정시킨 볼트 주변으로 수직균열이 발생하기 시작 하였다. BHC실험체의 경우 바닥판에서의 초기균열은 비슷하였으나, 하중이 증가함에 따라 접합면의 이격이 발생하였고, 최대하중에 도달하기까지 이격거리는 계속 증가하였다. 방호울타리에는 균열을 확인 할 수 없었으며, 이격거리가 증가함에 따라 접합된 방호울타리와 바닥판 끝단에서 수직 균열이 발생하였고, 하중의 증가 없이 시간이 지남에 따라 균열폭은 계속 증가 하였다.

바닥판과 방호울타리 접합면의 균열을 보기 위하여 BVC실험체와 BHC실험체의 방호울타리와 바닥판을 각각 분리하여 접합면을 확인한 결과 바닥판 타설전에 매립해 놓은 너트가 뿔뿔 현상을 보였으며, 너트 주변에서 균열이 크게 발생했음을 알 수 있었다. Fig. 18에서 확인 할



(a) BVC Connection

(b) BHC Connection

Fig. 18 Crack pattern of Commissure

수 있다.

## 5. 결론

본 연구에서는 볼트 접합을 이용한 조립식 교량 적용을 위한 콘크리트 방호울타리 연결시스템을 제안하였다. 연결시스템의 구조적 성능 평가를 위한 정적실험을 수행 하였으며, 볼트의 수직접합과 수평접합을 변수로 하여 현장 타설 콘크리트 방호울타리와 조립식 방호울타리를 제작하여 상대적인 비교실험을 수행하였다. 실험을 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 볼트의 수직접합방식으로 일체화한 결과 BVC실험체의 내하력이 평균 75kN, ST 실험체의 경우 94.33kN나왔고, 대비 BVC실험체는 75%~85% 정도의 접합 성능을 유지하였고, 노동력절감, 공기 단축 등의 경제성을 고려하면 수직 접합 방호울타리는 조립식교량 적용을 위한 연결 시스템으로 적당하다고 판단된다.
- (2) 교량용 방호울타리의 주된 목적이 차량의 전도 방지 및 추락을 막기 위함이라 보면, 수평 접합인 BHC 실험체의 경우 내하력이 기준실험체에 비하여 평균 약 43.35kN나왔기 때문에 조립식 교량 연결시스템에 적합하지 않다고 판단된다.
- (3) 너트가 삽입된 BVC, BHC실험체 바닥판의 균열거동을 확인하기 위하여 실험체를 분리하였다. 너트의 뿔뿔 현상은 거의 없었지만, 너트 주변에서 균열이 크게 발생한 것으로 보아 너트 주변으로 국부 파괴를 막을 수 있는 보강재가 필요하다고 판단된다.
- (4) 방호울타리의 성능을 고려할 때 조립식 방호울타리를 위한 적용등급 기준의 마련이 필요하고, 본 실험의 수직접합 방호울타리는 볼트의 형상 변화 등의 후속연구를 통해 성능 개선의 여지가 있다.



---

## 감사의 글

본 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업의 연구비지원(10기술혁신B01)에 의해 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. 건설교통부, “도로안전시설 설치 및 관리 지침: 차량방호 안전시설편”, 2001.
2. 건설교통부, “콘크리트구조설계기준”, 2008.
3. 국토해양부, “도로교설계편람”, 2008.
4. 대한토목학회, “도로교설계기준·해설”, 2003.
5. 신현목, “철근 콘크리트”, 동명사.
6. 한국도로공사 도로교통기술원, “강성방호벽이 설치된 교량바닥판 캔틸레버부 설계방안과 내구성 증진 연구”, 2004.
7. 강준석, “충돌하중에 의한 콘크리트 방호울타리와 교량 바닥판의 거동에 관한 실험적 연구”, 영남대학교, 2004.
8. 서경진, “고속도로 콘크리트 교량 난간의 충돌하중 산정”, 영남대학교, 2004.
9. 전세진, 최명성, 김영진, 현병학, “프리캐스트 콘크리트방호벽의 정적 실험 I. 극한 거동 및 등급 고찰”, 한국토목학회논문집, 제27권 6A호, 2007, pp.891-899.
10. 전세진, 최명성, 김영진, “프리캐스트 콘크리트 방호벽의 정적 실험 II. 계측값 분석”, 한국토목학회논문집, 제27권 6A호, 2007, pp.902-908.
11. AASHTO, LRFD Bridge Design Specification, 2007.
12. FHWA, F-Shape Concrete Traffic Barrier with Quick-Bolt Connection. 2009.

(접수일자 : 2011년 11월 16일)

(수정일자 : 2012년 2월 6일)

(심사완료일자 : 2012년 2월 13일)

---

## 요 지

최근 교량의 건설에서는 공사기간의 단축 등을 위해 조립식 형태의 교량 시공이 연구되고 있다. 하지만 이는 대부분이 주 구조물인 교각, 거더와 바닥판 등에 국한되어 있고, 조립식 교량에 적합한 방호울타리와 같은 부대시설에 대한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 조립식 교량 적용을 위한 콘크리트 방호울타리 연결 시스템을 제안하고, 제안된 시스템의 구조적 성능을 검증하기 위하여 정적 실험을 수행 하였다. 변수는 볼트의 수직·수평 접합방식으로 기준실험체와의 비교를 통해 조립식 교량에 적합한 콘크리트 방호 울타리 연결시스템을 제안하고자 하였다. 그 결과, 볼트의 수직접합이 구조적 성능 및 건진성이 일체형의 기준실험체와 거의 동일하다는 것을 알 수 있었고, 조립식교량 적용을 위한 연결시스템으로 적당하다고 판단된다.

**핵심 용어** : 조립식 교량, 방호울타리, 볼트 접합