

# 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 라멘형 가설교량의 거동평가

김 상 호<sup>1)</sup> · 정 중 연<sup>2)</sup> · 허 원 호<sup>2)</sup> · 정 치 영<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup> 교수, 연세대학교, 사회환경시스템공학부 <sup>2)</sup> 박사과정, 연세대학교, 사회환경시스템공학부

## Performance Evaluation of Rahman-type Movable Joint System for Temporary Bridge

Kim, Sang Hyo<sup>1)</sup> Jung, Jung Yeun<sup>2)</sup> Heo, Won Ho<sup>2)</sup> Jung, Chi Young<sup>2)\*</sup>

<sup>1)</sup> Professor, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

<sup>2)</sup> Ph.D. Student, School of Civil and Environmental Engineering, Yonsei University, Seoul, 120-749, Korea

**ABSTRACT** : Most rahmen-type temporary bridges are constructed with limited bridge length to prevent excessive horizontal forces due to the thermal expansion of main girder. To achieve a long length temporary bridge several independent bridges are required and they can not share the bents, at the rahmen-type ends, with the adjacent ones. The additional bents require more cost and reduce the section space under bridges. In order to remove extra bents with keeping the rahmen effect at the bridge ends, this study proposes a new rahmen-type movable joint system for temporary bridges.

**KEYWORDS** : rahmen-type movable joint system, rahmen-type temporary bridge, thermal expansion

### 1. 서 론

가설교량은 일반적으로 H형강을 현장에서 조립하여, 주거더와 벤트가 일체화된 라멘형 가설교량과 교좌장치를 적용하여 주거더와 벤트부가 독립되어 있는 가설교량으로 구분되어진다. 라멘형 가설교량의 경우 구속된 주거더 단부에서 부모멘트가 발생하여, 지간 중앙의 정모멘트가 감소하게 된다. 따라서 교좌장치가 적용된 경우보다 주거더의 장시간화가 가능하다. 그러나 연장이 길어질 경우, 외측 벤트부로 갈수록 주거더의 온도변형이 누적되어 외측 벤트부에 과도한 수평력이 발생하게 된다<sup>[1],[2],[3],[4],[5],[6]</sup>. 이를 방지하기 위해서 일반적으로 연장을 100m 이하로 분할하여 가설하고 있으며<sup>[7]</sup>, 대기온도에 의한 강거더의 온도분포와 강구조물의 내하성능 개선에 대한 연구도 진행되고 있다<sup>[8],[9],[10],[11]</sup>. 라멘형 가설

교량의 가설 시 중복하여 설치되는 벤트에 의해 통수단면 및 형하공간이 감소하는 문제가 발생하고, 구조물의 시공성 및 구조물의 미관을 저하시키게 된다.

본 연구에서는 이러한 라멘형 가설교량의 연속화 시 발생하는 문제점을 해소하기 위해, 기존 라멘거동을 유지하고 가설교량의 단부에서 발생하는 수평변위 문제를 해소하기 위한 단부 수평가동-수직구속 부재를 이용한 라멘화 공법을 제안하고자 한다. 제안하고자 하는 단부 수평가동-수직구속 부재는 주거더 단부와 벤트부를 연결하는 부재로서, 주거더 단부의 온도변형에 의한 교축방향 신축을 허용하여, 벤트부에 가해지는 수평력을 최소화 시키는 역할을 한다. 동시에 주거더 단부의 수직방향 변위를 구속하여, 주거더 단부에서 라멘거동을 유도한다. 그러나 제안하고자하는 공법을 실용화하기 위해서는 단부 수평가동-수직구속 부재의 전체 구조물에 대한 영향과 부재의 거동에 대한 검토가 이루어져야 한다. 따라서 본 연구에서는 상용프로그램을 이용한 단부 수평가동-수직구속 부재 적용에 따른 라멘형 가설구조물의 거동변화에 대한 검토를 실시하고, 단부 수평가동-수직구속 부재를 이용하여 주거더 단부와 벤트부를 연결한 축소모형 실험체를 통하여 부재의 거동 및 단부 수평가동-수직구속 부재의 형식에 따른 거동특성을 검토하고자 한다.

Note.-Discussion open until August 31, 2013. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on August 10, 2012; revised November 27, 2012; approved on January 30, 2013.  
© KSSC 2013

\* Corresponding author

Tel. +82-2-2123-2804 Fax. +82-2-313-2804  
E-mail: cyjung@yonsei.ac.kr

## 2. 단부 수평가동-수직구속 부재를 이용한 라멘화공법

### 2.1 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 라멘형 가설 교량

단부 수평가동-수직구속 부재를 이용한 라멘화공법은 Fig. 1과 같이 가설교량의 주거더 단부와 벤트부의 수평부재를 단부 수평가동-수직구속 부재를 이용하여 연결하는 공법이다. 해당 부재는 거더 단부의 수평방향에 대한 신축은 허용하여, 일교차 및 연교차에 의한 벤트부에 가해지는 수평력을 최소화 시키는 역할을 한다. 그리고 해당 부재는 거더 단부의 수직방향에 대한 구속은 유지하고, 이동하중 및 고정하중에 의한 거더의 수직변위는 구속하여 다경간 가설 구조물을 라멘화 시킬 수 있다. 또한 본 부재는 전체 벤트들 중 중앙부 벤트에 설치되게 되는데, 기존 라멘형 가설교량에서 중앙 벤트부를 중심으로 신축하여 외측에 가까울수록 수평변위가 누적되는 문제점을 본 부재를 통하여 중앙 벤트부에서 수평변위를 허용시켜줌으로써 벤트부에 가해지는 수평력을 감소시키는 역할을 한다.

Fig. 2는 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 다경간 라멘형 가설교량의 개요도이다.

본 공법에서 주거더의 단부와 벤트부의 수평부재를 연결하는 단부 수평가동-수직구속 부재는 매우 중요한 부분이다. 해

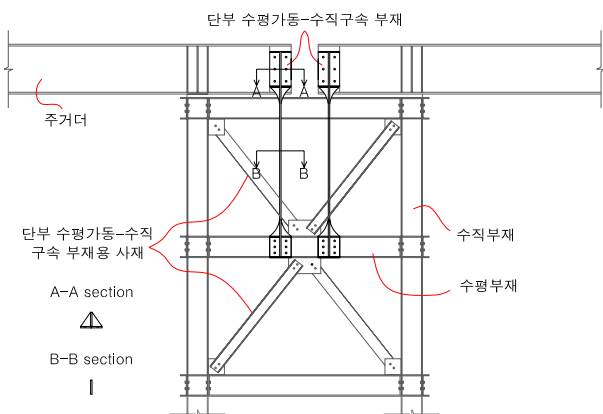


Fig. 1 Rahman-type Movable Joint System for Temporary Bridge

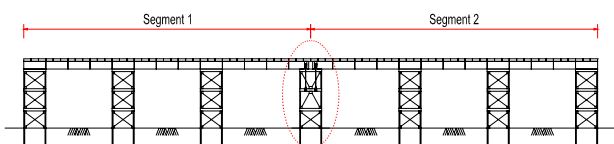


Fig. 2 Multi-Span Temporary Bridge Using Rahman-type Movable Joint System

당 부재를 적용한 라멘형 가설교량의 경우, 주거더 단부의 교축방향 거동이 허용됨에 따라, 벤트부에 가해지는 수평력이 최소화된다. 이로 인해 기존 라멘형 가설교량과 비교하여 벤트부의 거동이 변화하게 된다. Fig. 3은 일교차 및 연교차에 따른 주거더 신장에 의해 기존 라멘형 가설교량과 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 라멘형 가설교량의 벤트부에서의 구조거동을 나타낸 것이다.

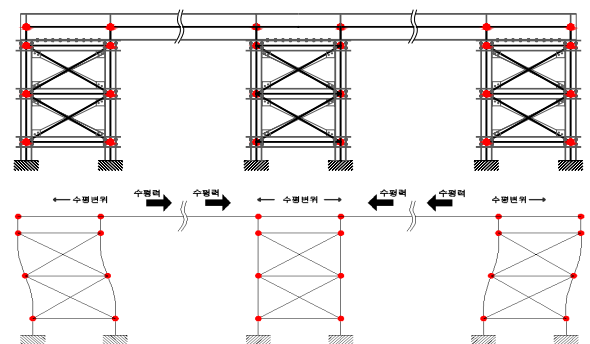
### 2.2 단부 수평가동-수직구속 부재의 형상

구조물 설계 시 온도변화에 의한 상부구조의 신축량 및 수평력은 다음 식 (1)과 식 (2)의 이론적 관계를 갖는다.

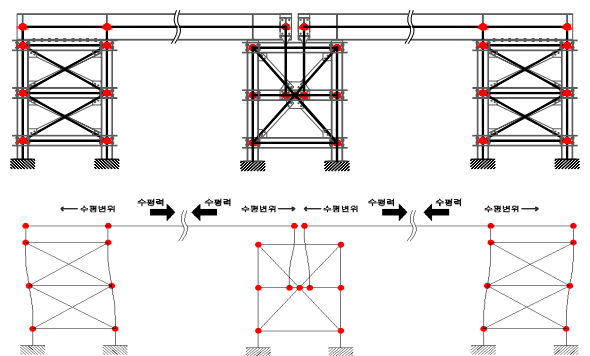
$$\delta = \alpha \cdot \Delta T \cdot L \quad (1)$$

$$P_H = k \cdot \delta \quad (2)$$

여기서  $\delta$ 는 상부구조의 신축량,  $\alpha$ 는 강재의 열팽창 계수 ( $1.2E-5/^\circ C$ ),  $\Delta T$ 는 온도변화,  $L$ 은 교량의 연장을 의미한다.  $k$ 는 하부구조의 부재구성, 높이, 지반조건 등으로 결정



(a) Existing Temporary Bridge



(b) Temporary Bridge Using Rahman-type Movable Joint System

Fig. 3 Behavior of Bents of Main Girder due to Temperature Rising

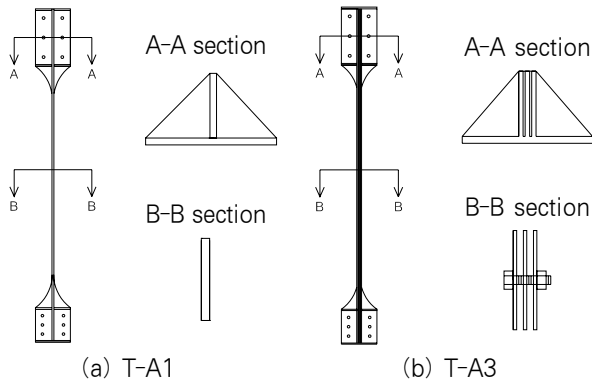


Fig. 4 Shape of Specimens of Rahman-type Movable Joint System

되는 하부구조의 강성을,  $P_H$ 는 상부구조의 온도변화에 따른 신축량  $\delta$ 로부터 유발되는 수평력을 나타낸다. 도로교설계기준(2010)에 따르면 일반적으로 설계에 사용되는 온도변화의 범위는 기후가 보통인 지역의 경우  $-10^{\circ}\text{C}$ 에서  $+50^{\circ}\text{C}$ 를 표준으로 하고 있다<sup>[12]</sup>.

라멘형 가설교량은 식 (2)에 따라 주거더의 축력과 벤트부의 수평력이 결정된다. 따라서 일정한 신장이 발생할 시 구조물의 강성( $k$ )을 줄임으로써, 주거더의 축력과 벤트부의 수평력을 감소시킬 수 있다. 그러므로 단부 수평가동-수직구속 부재는 휨강성을 최소로 하고, 축방향 강성은 최대로 하여, 부재의 수평방향에 대한 가동성과 수직방향에 대한 구속성을 확보해야 한다. 이에 만족할 수 있는 단면형상은 다양한 형식이 제안될 수 있으나, 본 연구에서는 Fig. 4와 같은 T자 형식을 제안하고자 한다.

제안된 형식은 주거더와 중앙 벤트부 수평부재를 연결하기 위한 볼트 체결부를 제외한 나머지 부분은 부재의 휨강성 측면에서 약축으로 배치된 판으로 구성된 단면이다. 이 판은 주거더의 수평력을 해소하고 수직력은 구속할 수 있는 저항단면을 만든다. 설계조건에 따라, Fig. 4(b)와 같이 저항단면을 추가 부착하여, 수직 구속력을 증가시킬 수 있으며, 판을 일정간격으로 여러장 배치하여 휨강성은 감소시키고 수직구속성은 향상시킬 수 있다.

### 3. 단부 수평가동-수직구속 부재에 대한 해석적 연구

단부 수평가동-수직구속 부재의 효과를 확인하기 위하여, 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용하지 않은 라멘형 가설교량(총연장 72m, 141m)과 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 라멘형 가설교량(총연장 141m)을 대상으로 구조해석을 실시하였다. 구조해석을 통하여 얻어진 주거더에서 나타나는 휨모멘트, 축력, 수직방향 처짐 및 수평방향 변위를 비교하였다.

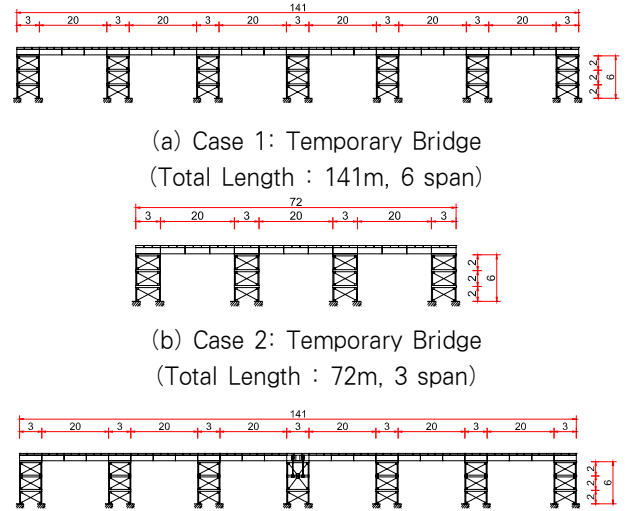


Fig. 5 Temporary Bridges for the Structural Analysis (unit: m)

### 3.1 대상 구조물

대상으로 하는 구조물은 Fig. 5와 같이, 총 세 가지 종류의 해석조건으로 정의하였다. Case 1(Fig. 5(a))은 총연장 141m의 6경간 라멘형 가설교량으로, 중복 배치되는 벤트부 없이 연속으로 벤트부와 주거더를 연결하여, 긴 연장을 갖는 다경간 라멘형 가설교량의 거동을 검토하였다. Case 2(Fig. 5(b))는 총연장 72m의 3경간 라멘형 가설교량으로 Case 1의 연장 및 경간을 절반으로 줄인 경우이다. Case 3(Fig. 5(c))은 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 가설교량으로, 본 연구에서 적용하고자 하는 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용하였다. 대상 구조물에 대한 표기는 연장 141m의 일반 라멘형 가설교량은 '6 span'으로 표기하였고, 연장 72m의 일반 라멘형 가설교량은 '3 span', 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 라멘형 가설교량은 '3-3 span'으로 표기하였다.

Fig. 6은 구조해석 모형에 적용한 단부 수평가동-수직구속 부재의 재원을 나타낸 것으로, 휨강성을 줄이기 위하여 볼트 정착부를 제외한 나머지 부분은 강판만으로 구성하여 전체적인 형상이 T 형태가 되도록 하였다. 주거더 및 벤트부 부재는 Table 1과 같이 적용하였다.

구조해석 시 고려한 하중은 Table 2와 같이 구조물의 자중, DB-24 이동하중과 주거더의 온도변형에 의한 하중을 고려하였다. DB-24 이동하중 해석 시 정모멘트의 최대값(+Mmax)과 부모멘트의 최대값(-Mmax)을 고려하였고, 온도변형에 의한 하중의 경우, 주거더의 온도가 평균온도  $15^{\circ}\text{C}$ 를 기준으로 최고 온도  $50^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하는 경우( $+35^{\circ}\text{C}$ )와 최저 온도  $-10^{\circ}\text{C}$ 까지 하락하는 경우( $-25^{\circ}\text{C}$ )를 고려하였다.

### 3.2 해석모형

대상 구조물의 구조해석은 범용 구조해석 프로그램인 LUSAS v14.3을 사용하였으며, 주거더와 벤트부의 부재의 모형화에

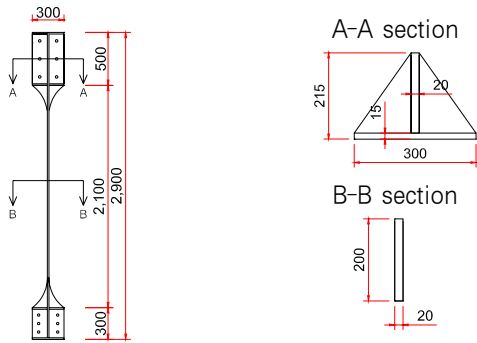


Fig. 6 Shape of Specimen Used in the Structural Analysis(unit: mm)

Table 1. Kinds of Member

	Dimension
Main Girder	H Secion 700×300×13×24
Vertical Specimen	H Secion 300×300×10×15
Horizontal Specimen	H Secion 300×300×10×15
□ Channel	□ Channel 150×75×6×10
L Angle	L Angle 100×100×10
Rahman-type Movable Joint System	(Fig. 6)

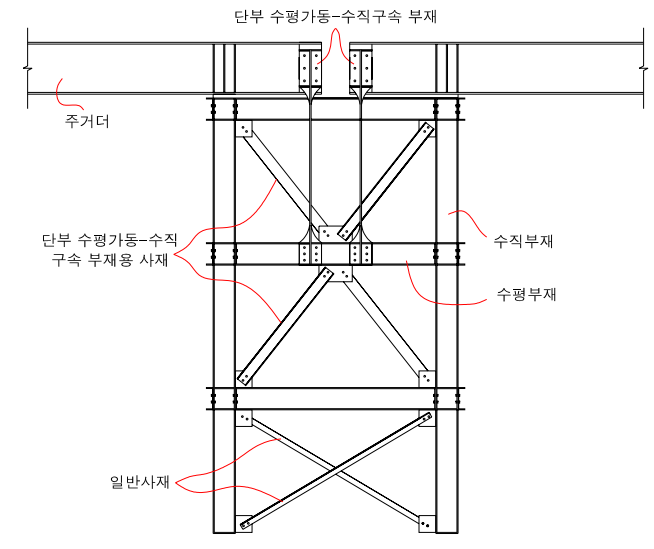


Table 2. Load Case

	Case of Load
Load 1	Self Weight
Load 2	Temperature Deformation (-25℃)
Load 3	Temperature Deformation (+35℃)
Load 4	DB-24

는 frame 요소(BMS3)를 사용하였다. 단부 수평가동-수직 구속 부재가 적용된 주거더의 단부와 벤트 수직부재 및 수평 부재 사이의 포인트는 joint 요소(JNT4)를 적용하여, 실제 구조물과 같이 joint 요소가 상부하중재하 시 경계면에서의 압축에 대해서는 고정된 거동을 나타내고, 인장에 대해서는 저항하지 않도록 정의하였다. 또한 주거더와 벤트부 사이에서 발생하는 주거더의 교축방향으로의 마찰력은 무시하도록 설정하였다. 일반 벤트부의 상면과 주거더의 경우, rigid 연결을 통하여 강결거동을 모사하였다. 벤트 하부의 지점조건은 고정단으로 정의하였다. 구조해석 시 주거더의 자중과 주거더의 온도변형에 따른 신장을 고려하였다. Fig. 7은 각 모델별 구조해석 모형을 나타낸 것이고, Table 3은 구조해석에 사용된 재료 물성치이다. Table 4는 단부 수평가동-수직구속 부재의 단면특성을 정리한 것이다.

### 3.3 해석결과

해석모형별 주거더의 거동을 검증하고 모델별 거동특성을 확인하기 위하여, 하중에 대한 주거더에서의 휨모멘트도와 축력도 및 수직방향 처짐과 수평방향 변위를 그래프로 도시하

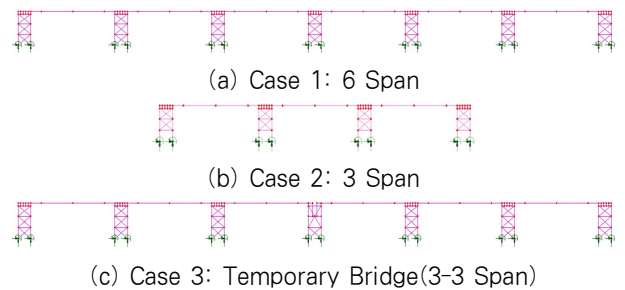


Fig. 7. Modeling for Structural Analysis

Table 3. Properties of Material

	Material Property
Material	Steel
Modulus of Elasticity	2.1E+5 MPa
Poisson's Ratio	0.3
Mass Density	7.8E-9 N/mm <sup>3</sup> /g
Coefficient of Expansion	1.2E-5 /℃

Table 4. Section Property

	Section Property
Cross Sectional Area	4.00E+3 mm <sup>2</sup>
Second Moment of Area	1.33E+7 mm <sup>4</sup>
Center of Figure	10 mm

였다. 결과도시는 가설교량의 최외측 벤트부(0m)를 기준으로 거리에 따른 각각의 결과값을 나타내었다.

### 3.3.1 주거더의 수평방향 변위

Fig. 8은 각 하중종류별 구조물의 수평방향 변위를 나타낸 것이다. 온도변형 하중의 경우 주거더 수평변위에 매우 큰 영향을 미친 반면 다른 하중들은 매우 미소한 영향을 발생시켰다. 6 span과 3 span의 경우, 중앙 벤트부를 기준으로 외측 방향으로 갈수록 변위 값이 누적됨을 확인할 수 있었다. 그러나 3-3 span의 경우, 2번째 벤트부(L=24.5m)와 6번째 벤트부(L=116.5m)에서 수평변위값이 0을 나타내고, 해당 지점에서 최외측과 내측에 가까울수록 변위 값이 증가함을 확인할 수 있다.

온도변형에 의한 거동은 -25°C와 +35°C가 유사한 거동특성을 나타냈다. -25°C의 결과를 살펴보면, 6 span의 경우 0m 지점에서 최대 변위는 13.18mm의 변형이 발생하였고, 3 span의 경우 8.7mm, 3-3 span의 경우 6.37mm의 변형이 발생하였다. 3-3 span의 경우 단부 수평가동-수직구속 부재가 적용된 70.5m지점에서 수평방향 변위가 크게 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통하여 해당 부재가 주거더 단부에 대한 수평가동성을 원활히 확보하고 있음을 알 수 있었다. 따라서 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용할 경우, 총연장이 감소하는 효과가 나타남을 확인할 수 있다.

### 3.3.2 주거더의 축력분포

Fig. 9는 각 하중종류별 주거더의 축력도를 나타낸 것이다. 온도변형(+35°C, -25°C)에 의해 유발되는 축력을 살펴보면, 6 span의 경우, 전체 6경간 중 중앙 경간부에 해당하는 3-4경간(L=47.5-93.5m)에서 온도상승 시와 온도하강 시 모두 매우 큰 축력이 유발됨을 확인할 수 있다. 그러나 3 span의 경우에는 총 3경간 중 중앙경간(L=24.5-47.5m)에서 최대 축력이 발생하였는데, 6 span 대비 50% 수준으로 나타났다. 이는 라멘형 가설교량의 경우 총연장에 따라 주거더의 축력이 증감함을 보여준다. 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 경우 6 span 과 3 span 보다도 작은 축력이 주거더에 발생함을 알 수 있다.

### 3.3.3 주거더의 수직방향 변위

Fig. 10은 각 하중종류별 구조물의 수직방향 처짐을 나타낸 것이다. 수직방향 변위를 살펴보면, 3-3 span의 경우 3-5번째 벤트부 구간(L=47.5-93.5m)에서 DB-24(-Mmax) 하중에 의한 수직방향 변위가 6 span과 3 span 보다 다소 증가하는 경향이 나타났다. 해당 하중에서 6 span과 3 span

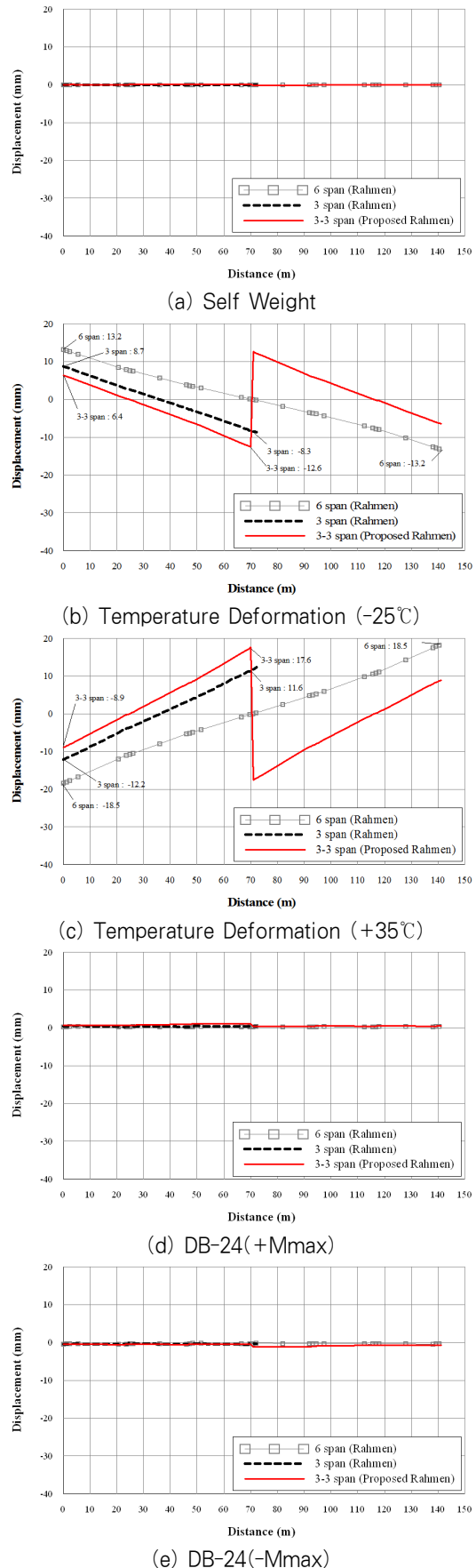


Fig. 8 Horizontal Deformation of Main Girder



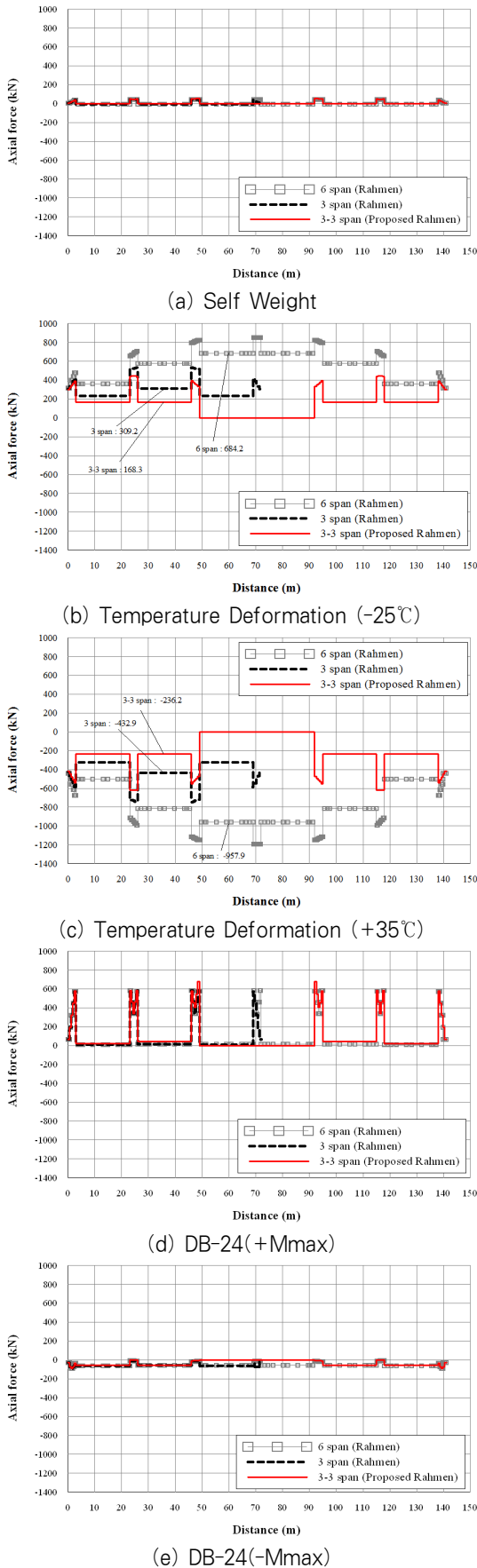


Fig. 9 Axial Force Diagram of Main Girder

의 경우에는 35.5mm 정도의 변위가 나타났고, 3-3 span의 경우 43.1mm의 변위가 나타났다. 일반 라멘형에 비해 제한한 공법의 변위가 더 크게 나타났는데, 이는 주거더 단부의 교축방향 신축이 허용되고, 수직방향 구속력이 기존 라멘형에 비해 다소 감소함에 따라 상대적으로 수직방향 처짐이 크게 나타나는 것으로 판단된다. 그러나 단부 수평가동-수직구속부재가 적용된 주거더 단부에서의 수직변위도 6 span과 3 span의 경우와 같이 0에 가까운 값을 나타내고 있으므로, 해당 부재가 본 공법에서 의도한 바와 같이 적절한 수직구속성을 나타내고 있음을 확인할 수 있다.

### 3.3.4 주거더의 휨모멘트 분포

Fig. 11은 각 하중종류별 주거더의 휨모멘트도를 나타낸 것이다. 휨모멘트를 통한 하중별 거동특성 검토결과, 온도변형(+35°C, -25°C)의 경우에는 6 span의 경우 최외측 벤트부로 갈수록 누적된 수평변위에 따라 주거더에 발생하는 정·

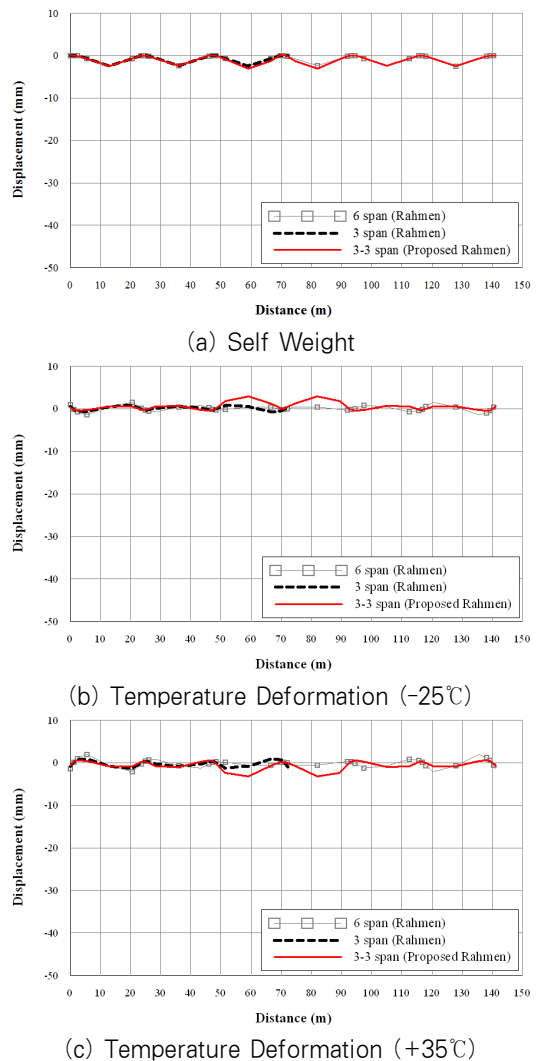
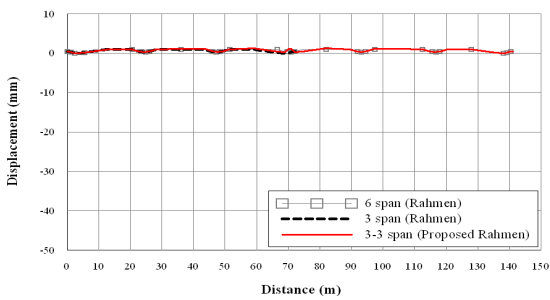
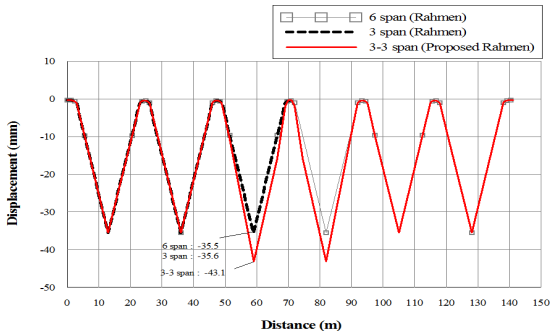


Fig. 10 Vertical Deformation of Main Girder(continued)



(d) DB-24(+Mmax)



(e) DB-24(-Mmax)

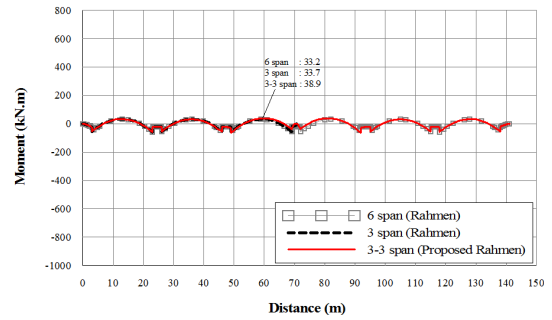
Fig. 10 Vertical Deformation of Main Girder

부모멘트가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 3 span의 경우에는 6 span 대비 총연장이 감소함에 따라 최외측 경간과 중앙경간에서의 휨모멘트 역시 6 span 대비 40% 정도 감소함을 알 수 있었다. 3-3 span에서는 3 span의 경우보다 더 작은 휨모멘트가 나타났는데, 그 수준은 약 60% 정도로 나타났다. 총연장이 증가하면 부재력을 많이 받는 일반 거더와는 달리, 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용함으로써 총연장이 짧은 거더보다 부재력을 적게 받는 것을 확인 할 수가 있었다.

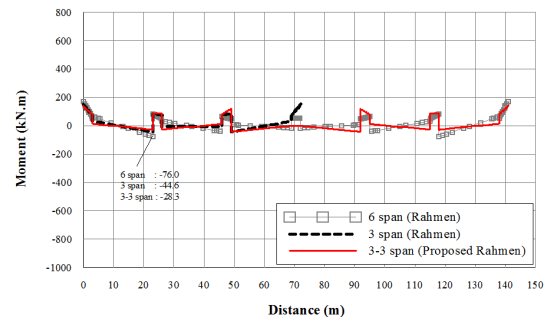
지중과 DB하중에 경우에는 3-3 span의 3-4번째 벤트부 구간(L=47.5-70.5m)에서 정모멘트와 부모멘트에 다소 차이가 나타났다. 이는 단부 수평가동-수직구속 부재가 수직구속력은 확보하고 있으나, 수평변형에 대한 저항성능은 기존 벤트부에 비하여 약하기 때문에 라멘효과가 다소 감소하는 현상인 것으로 판단된다. 그러나 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 주거터 단부에서 부모멘트가 발생하여 지간 중앙의 정모멘트가 감소하게 되기 때문에 기존 교좌장치를 이용하는 가설교량에 비해서 주거터의 장기간화가 가능할 것으로 판단된다.

### 3.4 형식별 비교분석

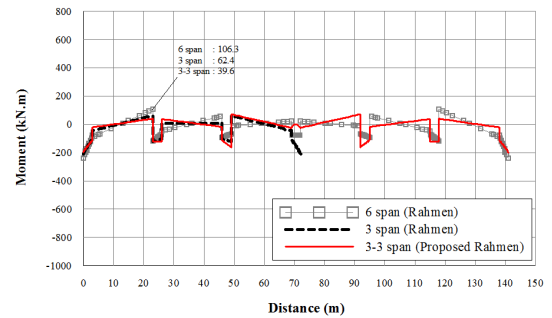
해석결과, 총연장 141m의 일반형 가설교량에 비하여 총연



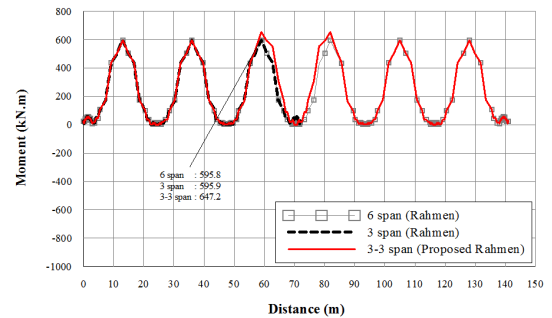
(a) Self Weight



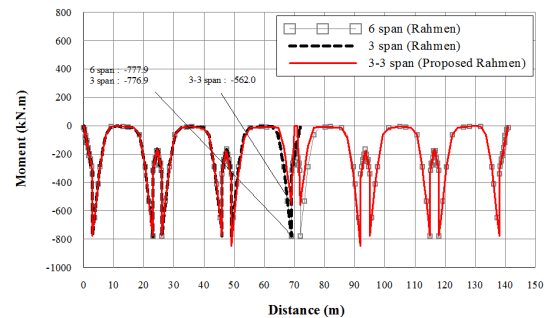
(b) Temperature Deformation (-25°C)



(c) Temperature Deformation (+35°C)



(d) DB-24(+Mmax)



(e) DB-24(-Mmax)

Fig. 11 Bending Moment Diagram of Main Girder

장 72m의 일반형 가설교량과 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 가설교량에서 온도변형에 의해 발생하는 수평방향 변위에 대한 저항성이 크게 감소함을 알 수 있었으며, 이에 따라 주거더의 축력이 크게 감소함을 알 수 있었다. 이는 본 공법이 목표로 하는 벤트부의 수평력 감소에 대해서 적합한 구조형식임을 확인할 수 있는 결과였다. 또한 수직방향 처짐과 휨모멘트에 대한 결과를 통하여, 해당 부재가 수직방향에 대한 구속력을 확보하고 있음을 알 수 있었다.

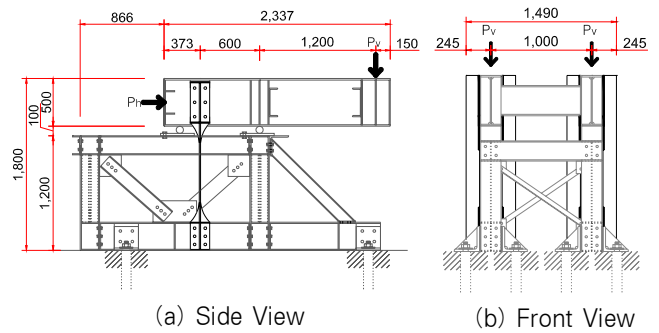


Fig. 12 Shape of Specimens

#### 4. 단부 수평가동-수직구속 부재에 대한 실험적 연구

라멘형 가설교량의 장기간화를 위한 단부 수평가동-수직구속 부재에 대하여, 본 공법이 요구하는 수평 가동성 및 수직 구속성을 검증하기 위하여 하중재하실험을 실시하였다.

##### 4.1 실험개요 및 실험조건

본 연구에서 계획한 실험체는 Fig. 12와 같이 주거더와 벤트부를 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용하여 연결한 라멘형 가설교량의 축소모형이다. 주거더에 대한 하중재하는 수직하중의 경우 주거더의 자유단쪽에서 재하하여, 주거더 단부에서 상향력이 발생하고 단부 수평가동-수직구속 부재에는 인장력이 발생하도록 하였다. 수평하중의 경우 실험여건을 고려하여 주거더 단부 뒤쪽에서 수평하중을 재하 하였다. 주거더와 벤트부 상면의 사이에는 롤러 지점부를 거더당 두 개씩 설치하여, 주거더가 수평방향으로 이동 시에 경계면에서 발생할 수 있는 마찰력을 최소화하였다.

단부 수평가동-수직구속 부재의 거동 특성을 검토하기 위하여 Table 5에 제안된 부재형식을 변수로 하였다. 단부 수평가동-수직구속 부재의 기본 형상은 T형을 갖고, 볼트체결부를 제외한 구간을 한 장의 판을 설치한 경우(T-A1)와 세 장의 분리된 판을 적용한 경우(T-A3)로 구분하여 제작하였다. T-A1과 T-A3의 판의 전체 단면적은 동일하게 구성하였다.

실험체에 대한 하중재하는 수평하중재하와 수직하중재하의 형태로 실시하였다. 수평하중재하는 500kN 용량의 액츄레이터를 사용하였으며, 수직하중재하는 1,000kN 용량의 액츄레이터를 사용하였다. 하중재하에 따른 실험체별 하중 변위 및 변형률 관계를 평가하고 거동특성을 비교하기 위하여 Fig. 13과 같이 변형률계(STR) 및 변위계(LVDT)를 설치하였으며, DATA logger(TDS-602)를 이용하여 이를 측정하였다. Fig. 14는 단부 수평가동-수직구속 부재가 적용된 실험체의 하중재하 모습이다.

정적하중재하 실험을 통하여 얻어진 결과를 검증하기 위하여, 구조해석을 실시하였다. 해석은 유한요소해석 프로그램인

Table 5. Dimension of Test Specimens (unit: mm)

Case	Shape and Dimension of Specimen	
T-A1		
T-A3		

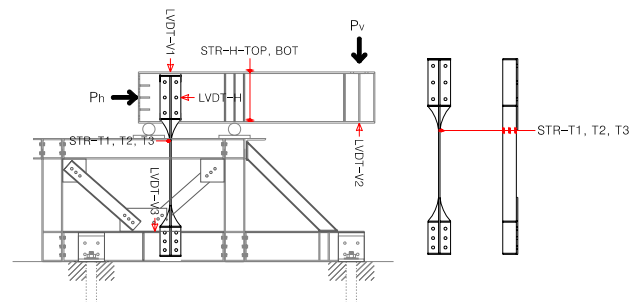


Fig. 13 Measurement Locations

LUSAS v14.3을 이용하였고, 해석결과와 실험결과를 비교하여 단부 수평가동-수직구속 부재의 수평하중에 대한 거동과 수직하중에 대한 거동을 검증하였다. 구조물의 모형을 위해 단부 수평가동-수직구속 부재는 절점당 3개의 자유도를



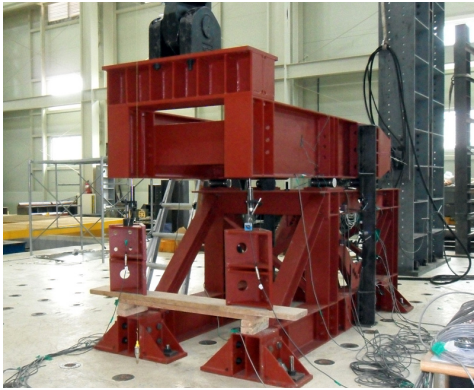


Fig. 14 Test Specimen of Rahman-type Movable Joint System

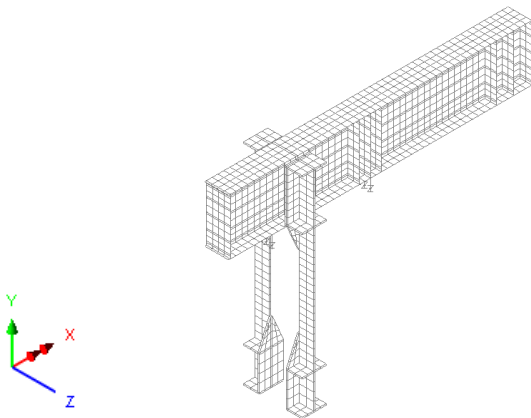


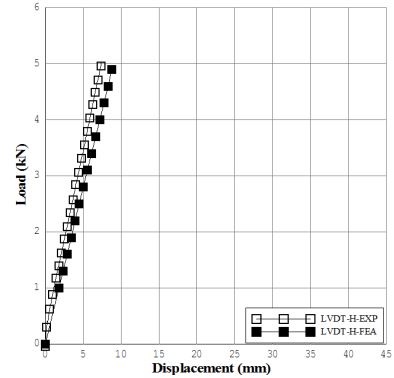
Fig. 15 Modeling for Structural Analysis

갖는 8절점 solid 요소 (HX8M)를 사용하여 모형화하였고, 주 거더는 절점당 6개의 자유도를 갖는 shell 요소(QSI4)를 사용하여 모형화하였다. Fig. 15는 구조해석에 사용된 모델을 나타낸 것이다. 구조모형의 구속조건은 실험체의 물리지지점은 joint 요소를 사용하여 압축에는 저항하고, 인발에는 저항하지 않도록 정의하였고, 단부 수평가동-수직구속 부재의 하부 볼트체결부를 고정단으로 정의하였다.

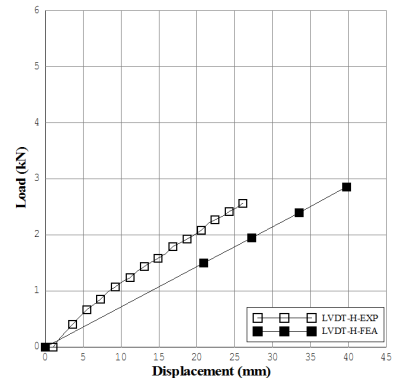
## 4.2 실험결과 분석

### 4.2.1 수평하중 재하에 따른 거동특성

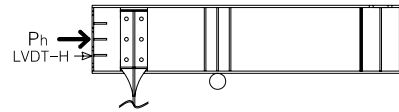
Fig. 16은 수평하중 재하 시 계측한 하중과 주거더 단부에서의 수평변위(LVDT-H) 관계를 나타내고, 해석결과와 비교한 것이다. 실험결과를 살펴보면 한 장의 판을 설치한 경우(T-A1)에는 5mm 변위 발생 시 약 3.5kN의 하중이 나타났다. 세 장의 분리된 판을 적용한 경우(T-A3)에는 5mm 변위 발생 시 약 0.6kN의 하중이 나타났다. T-A1과 T-A3 모두 작은 하중에서도 수평방향 변위가 발생하여, 주거더 단부의 수



(a) T-A1



(b) T-A3



(c) Measurement Locations

Fig. 16 Relationship of Horizontal Load and Horizontal Deformation of Main Girder

평가동성이 확보되고 있음을 확인할 수 있었다. T-A3의 경우 동일하중에서 T-A1 보다 더 큰 수평가동성이 확보되고 있음을 알 수 있다. 따라서 실구조물 적용 시, 동일한 단면적의 단부 수평가동-수직구속 부재를 제작할 때 한 장의 판을 사용하는 경우 보다, T-A3의 경우와 같이 여러 장의 분리된 판을 사용하는 것이 주거더 교축방향 신축을 허용하기에 유리함을 알 수 있었다.

Fig. 17은 수평하중이 재하된 T-A1과 T-A3에서 주거더 단부 수평방향 변위(LVDT-H)가 증가함에 따라 나타나는 단부 수평가동-수직구속 부재에서의 변형률(STR-T1, T2, T3)을 나타낸 것이다. 계측결과 T-A3의 경우가 T-A1에 비해서 동일한 수평변위 발생 시 더 작은 변형률이 발생하였다. 따라서 한 장의 판보다 동일한 단면적을 갖는 여러 장의 분리된 판을 실구조물에 적용할 경우 주거더 단부의 수평가동성을 확보하는데 유리할 뿐만 아니라, 동일한 수평변위에 대해서 더 작은 변형률이 발생함을 알 수 있었다.

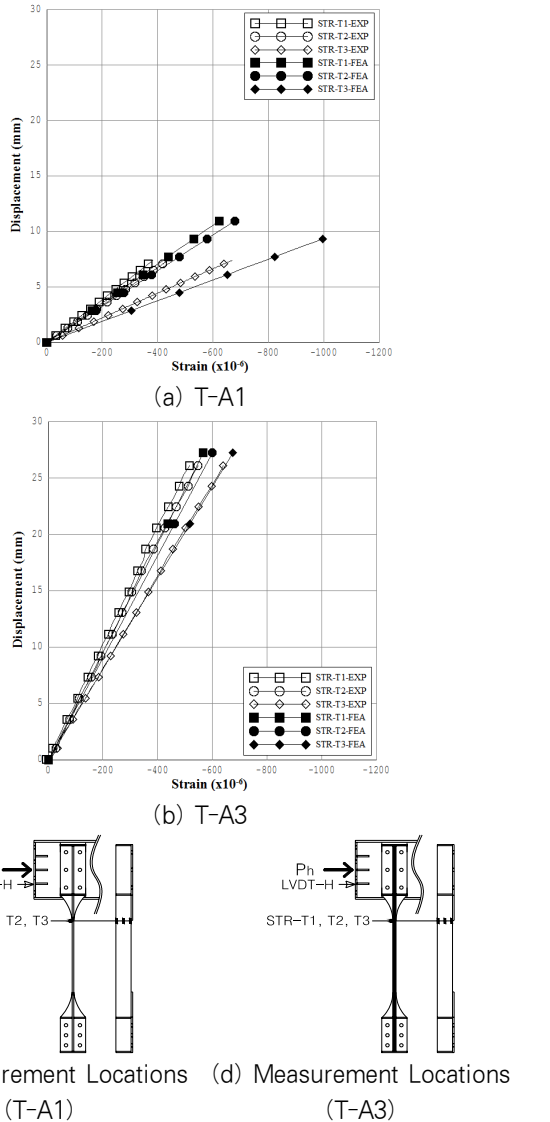


Fig. 17 Relationship of Horizontal Deformation and Strain

4.2.2 수직하중 재하에 따른 거동특성

Fig. 18은 수직하중이 재하된 T-A1 실험체와 T-A3 실험체의 하중증가에 따른 단부 수평가동-수직구속 부재에서의 상향변위(LVDT-V1-EXP)를 나타낸 것이고, 이를 해석결과(LVDT-V1-FEA)와 비교한 것이다. 실험 및 해석결과를 통하여, T-A1과 T-A3의 단부 수평가동-수직구속 부재의 단면적이 동일함에 따라 수직방향 구속력 또한 유사함을 확인할 수 있었다. 그러나 실험결과가 해석결과보다 상향변위가 크게 나타났는데, 이는 해석의 경우 단부 수평가동-수직구속 부재의 하부를 고정단으로 정의하여 구조해석을 수행하였으나, 실험에서는 하부벤트부의 탄성거동 및 볼트체결부의 슬립 등의 변수에 의하여 단부 수평가동-수직구속 부재의 하부가 상향변위를 나타냈기 때문인 것으로 판단된다.

Fig. 19는 롤러지점부 위치에서 주거더 상부플랜지 상면

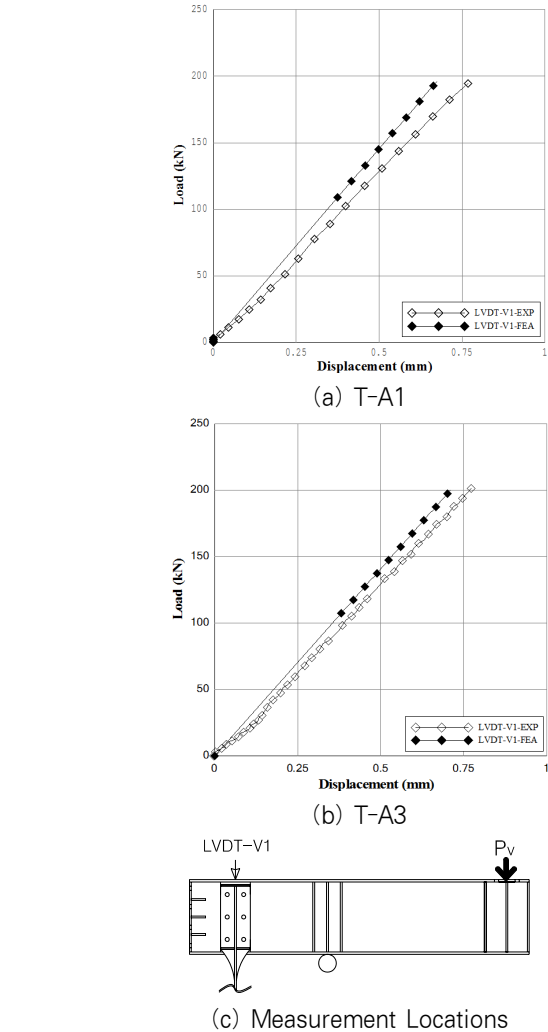
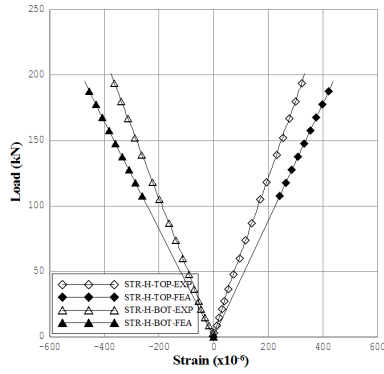


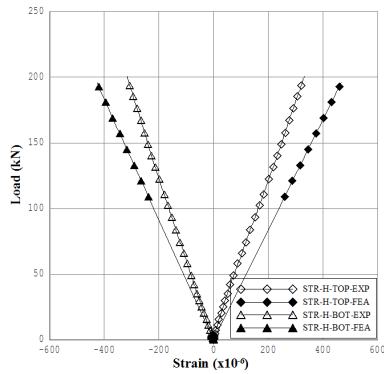
Fig. 18 Relationship of Vertical Load and Vertical Deformation

(STR-H-TOP)과 하부플랜지 상면(STR-H-BOT)에서 나타나는 변형률에 대해서 실험결과와 해석결과를 비교하여 나타낸 것이다. 계측결과에서 확인할 수 있는 바와 같이 주거더 상부에서는 인장 변형이 나타나고, 하부에서는 압축변형이 나타났다. 이는 주거더 계측지점에서 부모멘트가 나타나고 있음을 의미하므로, 이를 통하여 수평가동-수직구속 부재를 적용함에 따라 주거더에 라멘효과가 나타남을 확인할 수 있었다. T-A1과 T-A3의 단부 수평가동-수직구속 부재 단면적이 같음에 따라, 두 부재의 수직방향 구속력이 동일하여 주거더에 나타나는 부모멘트에 의한 변형을 역시 유사한 결과를 나타냈다. 그러나 실험결과가 해석결과에 비해서 낮게 나타났는데, 이는 단부 수평가동-수직구속 부재의 하중-수직변위 관계에서 확인한 바와 같이, 단부 수평가동-수직구속 부재 하부에서 수직변위가 발생함에 따라 단부 수평가동-수직구속 부재의 수직변위가 크게 나타났기 때문인 것으로 판단된다.

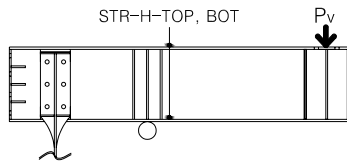
Fig. 20은 수직하중이 증가함에 따라 나타나는 단부 수평



(a) T-A1

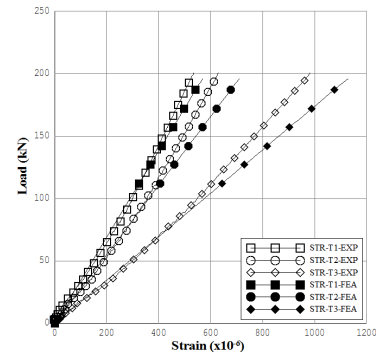


(b) T-A3

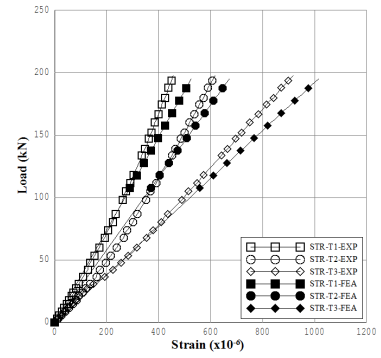


(c) Measurement Locations

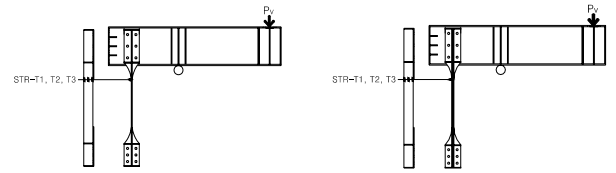
Fig. 19 Relationship of Vertical Load and Strain of the Support in Main Girder



(a) T-A1



(b) T-A3



(c) Measurement Locations (T-A1) (d) Measurement Locations (T-A3)

Fig. 20 Relationship of Vertical Load and Strain

가동-수직구속 부재에서의 변형률을 나타낸 것이다. 변형률을 측정된 결과, 하중재하 초기에는 실험결과가 해석결과보다 다소 크게 나타났으나, 하중이 증가함에 따라 실험결과가 해석결과 보다 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 하중재하 초기에는 수직변위가 실험에서 더 크게 나타나기 때문에 단부 수평가동-수직구속 부재의 변형률도 크게 나타났으나, 단부 수평가동-수직구속 부재 하부 볼트체결부에서 볼트의 슬립이 일어남에 따라 변형률의 증가율이 감소한 것으로 추론된다.

실험 및 해석결과를 통하여, T-A1과 T-A3의 단부 수평가동-수직구속 부재의 단면적이 동일함에 따라 수직방향 구속력 또한 유사함을 확인할 수 있었다. 실험결과가 해석결과보다 상향변위가 크게 나타났는데, 이는 해석의 경우 단부 수평가동-수직구속 부재의 하부를 고정단으로 정의하여 구조해석을 수행하였으나, 실험에서는 하부벤트부의 탄성거동 및 볼트

체결부의 슬립 등의 변수에 의하여 단부 수평가동-수직구속 부재의 하부가 상향변위를 나타냈기 때문인 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 단부 수평가동-수직구속 부재를 이용한 라멘화 공법을 제안하고, 이에 대한 거동특성을 평가하기 위해서, 기존 라멘형 단부를 가진 가설교량과 단부 수평가동-수직구속 부재가 적용된 가설교량을 대상으로 구조해석을 수행하였다. 제안된 단부 수평가동-수직구속 부재에 대한 거동실험을 통해 수평하중과 수직하중에 대한 단부 수평가동-수직구속 부재에 대한 거동을 검증하였고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 일반 라멘형 가설교량과 단부 수평가동-수직구속 부재를 적용한 가설교량의 구조해석결과, 주거더에서 발생하는

최대 축력과 최대 수평변위가 크게 감소하였다. 또한 휨 모멘트도와 수직방향 처짐에 대한 결과를 통하여, 수직방향에 대한 구속효과가 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 본 공법이 목표로 하는 수평가동성과 수직구속성이 확보되고 있음을 알 수 있었다.

- (2) 단부 수평가동-수직구속 부재에 대한 축소모형 실험을 통하여, 단부 수평가동-수직구속 부재가 주거터 단부의 수직구속성과 수평가동성을 확보하고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 동일한 단면적을 갖는 경우 여러 장의 분리된 판을 적용한 경우가 한 장의 판을 적용한 경우 보다 더 큰 수평가동성이 확보되고 있음을 확인할 수 있었다. 실 구조물에서 수평하중과 수직하중이 동시에 재하 되어 단부 수평가동-수직구속 부재에 과도한 응력이 발생할 경우, 여러 장의 분리된 판을 적용한 단부 수평가동-수직구속 부재를 사용하여, 동일한 강재량으로 효율적인 단면을 구성할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 단부 수평가동-수직구속 부재가 적용된 거더 단부의 허용변위 및 상부 복공판의 지지길이 변화에 따른 내하성능 변화에 대한 연구가 수행되어야 할 것이며, 또한 주거터와 벤트부 간의 마찰력 최소화를 위한 재료측면에서의 연구가 추가로 수행되어야 할 것으로 판단된다.

### 감사의 글

본 논문은 교육과학기술부 BK21사업의 일환인 연세대학교 사회환경시스템공학부 미래사회기반시설 산학연구공동사업단과 (주)승화명품건설(구(주)승하이엔씨)의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 깊이 감사드립니다.

### 참고 문헌(References)

[1] 김종열(2004) 온도에 의한 강박스교의 거동 분석, 석사 학위논문, 충북대학교.  
Kim, J.Y. (2004) *The Behavior Analysis of a Steel Box Girder Bridge Subjected to the Thermal Load*, M.S. Dissertation, Chungbuk University, Korea (in Korean).

[2] 박영훈, 이승용, 변윤주, 장동일(1998) 가교량의 온도응력 평가, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제10권, 제1호, pp.1-10.  
Park, Y.H., Lee, S.Y., Byun, Y.J., and Chang, D.I. (1998) Assessment of Thermal Stress in Temporary Bridge, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.

10, No. 1, pp.1-10 (in Korean).

[3] 장승필, 임창균(1997) 합성 박스형 교량의 온도에 의한 응력 및 변형, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제9권, 제4호, pp.659-672.  
Chang, S.P. and Im, C.K. (1997) Temperature Induced Stresses and Deformation in Composite Box Girder Bridges, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 9, No. 4, pp.659-672 (in Korean).

[4] 장승필, 임창균(1998) 합성형교량의 설계온도하중, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제10권, 제3호, pp.537-551.  
Chang, S.P. and Im, C.K. (1998) Design Thermal loads in Composite Box Girder Bridges, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 10, No. 3, pp.537-551 (in Korean).

[5] Reynolds, J.C. (1972) *Thermal Stresses and Movement in Bridges*, M.S. Dissertation, University of Missouri, Rolla, USA.

[6] Reynolds, J.C. and Emanuel, J.H. (1974) Thermal Stresses and Movement in Bridges, *Journal of the Structural Division*, Proceedings of the ASCE, Vol. 100, No. ST1, pp.63-78.

[7] 디지털건설(주), (주)도화종합기술공사 경남기업(주) (2009) 신기술 제585호 소개서 - 다단계 온도프리스트레싱을 적용한 장시간 가설교량 (HEAT 가설교량) 공법, 한국건설신기술협회.  
Digital Construction, Dohwa Engineering, Keangnam Enterprises (2009) *Long Span Temporary Bridge using Multi-Stepwise Thermal Prestressing Method (HEAT Temporary Bridge)*, New-Technology No.585, The Korea Construction New-Technology Association (in Korean).

[8] 신동욱, 김경남, 정경섭, 이성행(2012) 교량설계시 온도하중에 대한 설계기준 연구, 2012년 한국강구조학회 학술발표대회 발표집, 한국강구조학회, pp.107-108.  
Shin, D.W., Kim, K.N., Jung, K.S., and Lee, S.H. (2012) An Study on Design Specification for Temperature Load in Bridge Design, *Proceedings of Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.107-108 (in Korean).

[9] 이성행, 정진환, 김경남, 함형길, 정경섭(2011) 계측에 의한 강거더교의 온도분포 특성, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제23권, 제3호, pp.283-294.  
Lee, S.H., Cheung, J.H., Kim, K.N., Hahm, H.G., and Jung, K.S. (2011) Characteristics on the Temperature Distribution in Steel Girder Bridge by using Gauge Measurement, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 23, No. 3, pp.283-294 (in Korean).

[10] 권인규(2010) 하중비에 따른 강재 보의 한계온도에 관한

실험적 연구, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제6호, pp.581-588.

Kwon, I.K. (2010) Experimental Study on Limiting Temperatures of Structural Beams made with Structural Steel According to Load Ratios, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 22, No. 6, pp.581-588 (in Korean).

- [11] 김상호, 정치영, 최규태, 안진희(2010) 편심 브라켓 설치 온도프리스트레싱 강재보의 하중저항 성능, 한국강구조학회논문집, 한국강구조학회, 제22권, 제6호, pp.563-572.

Kim, S.H., Jung, C.Y., Choi, K.T., and Ahn, J.H. (2010) Load-carrying Capacity of Thermal Prestressed Steel Beam with Eccentric Bracket, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 22, No. 6, pp.563-572 (in Korean).

- [12] 국토해양부(2010) 도로교설계기준, 한국도로교통협회.  
MLTM (2010) *Design standard of highway bridge*, Korea Road & Transportation Association (in Korean).

---

**요 약:** 기존 라멘형 가설교량은 주거더의 온도신축에 따라 벤트부에 과도한 수평력이 유발되는 것을 방지하기 위하여, 연장을 짧게 분할하여 가설되고 있다. 이 때 분할되는 구간에서 중복 설치되는 벤트부가 생기게 되어, 교량의 통수단면 감소와 형하공간 감소에 따른 문제와 중복 설치된 벤트부에 의한 경제성 감소 문제가 발생한다. 따라서 본 연구에서는 라멘형 가설교량 벤트부의 수평력 문제를 해결하고, 중복 설치되는 벤트부를 절감시키기 위한 단부 수평가동-수직구속 부재를 이용한 라멘화 공법을 제안하고, 이에 대한 거동특성분석을 수행하였다.

**핵심 용어:** 단부 수평가동-수직구속 부재, 라멘형 가설교량, 온도신축

---