

# 라멘교에 적용 가능한 다기능 받침연결장치의 구조안전성

천진욱<sup>1</sup> · 이승후<sup>2</sup> · 김선희<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>대표이사, ㈜아이오콘스텍, 기술연구소 <sup>2</sup>과장, ㈜아이오콘스텍, 기술연구소,  
<sup>3</sup>조교수, 가천대학교, 건축공학과

## Structural Stability of Multi-Functional Support for Rahmen Bridge

Cheon, Jin Uk<sup>1</sup>, Lee, Seng Hoo<sup>2</sup>, Kim, Sun-Hee<sup>3\*</sup>

<sup>1</sup>CEO, R&D Institute, Aio Constech Corporation, Seoul, 03922, Korea

<sup>2</sup>Manager, R&D Institute, Aio Constech Corporation, Seoul, 03922, Korea

<sup>3</sup>Assistant Professor, Dept. of Architectural Engineering, Gachon University, Seongnam, 13120, Korea

**Abstract** - The construction of rahmen bridges are frequently plagued by errors in positioning and height of essential girders. To prevent the problems due to errors, a multi-functional support that capable of changing the height of girder was developed. The multi-functional support allows the user to easily change the planned height of the bridge and the vertical error of the wall during construction projects. In order to predict the structural behavior of the multi-functional support, the design analysis was carried out by the both design standards and finite element method. The results were compared with the experimental of multi-functional support.

**Keywords** - Rahmen bridge, Buckling, Finite element method, Design analysis, Experimental test

### 1. 서론

라멘교는 상부구조와 하부구조가 일체화된 교량 구조물로서, 상부구조에 작용하는 하중을 하부구조가 분담함에 따라 상부구조의 높이를 감소시킬 수 있고, 교량 받침이 없어 홍수 여유고를 확보하면서도 교량 계획고를 낮출 수 있으므로 하천 횡단교량으로 널리 사용되고 있는 교량 공법이다<sup>[1],[2],[11]</sup>. 라멘교는 부정정구조물로 내진저항성이 우수하고, 유지관리 비용이 저렴하다는 장점 등으로 인하여 종래의 RC라멘교에서 강판형 및 스틸박스 등 다양한 상부구조를 적용해 장경간 라멘교로 시장을 확대하고 있다<sup>[3],[12]</sup>.

장경간 라멘교의 시공은 일반적으로 선시공된 벽체 상면

에 교량받침강형을 설치하고 강판형 등의 상부구조를 가설한 뒤 잔여 벽체와 바닥판을 타설하여 교량을 완성한다. 때문에 선시공 벽체가 교량의 계획높이를 결정하게 된다<sup>[4]</sup>. 교량의 계획높이는 설계단계에서 관련 규정 및 현지 여건을 감안하여 결정되나 민원 및 시공오차 등으로 인하여 시공 중 변경되는 사례가 빈번히 발생하고 있다. 종래의 라멘교 공법은 계획높이가 변경되는 경우 받침강형을 다시 제작하거나 선시공 벽체에 추가적인 콘크리트 타설 및 절단 등의 방식이 불가피해, 이로 인한 구조적 손상과 함께 공사비 및 공기 증가 등의 문제점이 발생하고 있다<sup>[5],[6],[10]</sup>.

이 연구에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 높이 조절이 어려운 기존의 받침강형 대신 받침높이 이상의 노출길이를 가진 강봉을 사용하여 부재의 절단 및 용접 없이 현장에서 설치 높이 조절이 가능하도록 개발된 ‘다기능 받침연결장치’의 구조적 성능 및 설계 타당성을 검토하였다. 검토는 설계기준과 유한요소해석(finite element method, FEA)에 의한 설계강도 비교를 통해 다기능 받침연결장치의 하중저항성능을 분석하고, 실험을 통해 검증하였다. Fig. 1에 실제 적용된 다기능 받침연결장치를 나타내었다.

Note.-Discussion open until June 30, 2021. This manuscript for this paper was submitted for review and possible publication on October 26, 2020; revised November 24, 2020; approved on November 25, 2020.

Copyright © 2020 by Korean Society of Steel Construction

\*Corresponding author.

Tel. +82-31-750-4718 Fax. +82-31-757-5837

E-mail. shkim6145@gachon.ac.kr



Fig. 1. Multi-functional support

## 2. 다기능 받침연결장치

다기능 받침연결장치는 시공 중 발생하는 교량의 계획높이 변경에 유연하게 대처할 수 있도록 고안된 새로운 형식의 임시 받침장치이다. 이러한 다기능 받침연결장치는 선시공 벽체 상면에 설치되는 하부파트와 거더에 설치되는 상부파트로 구분된다. 하부파트는 선시공 벽체가 양생된 다음 설치되며 앵커볼트, 강봉이 용접된 밀판, 받침판, 너트로 구성되고 상부파트는 거더 제작과 가설단계에서 형성되며 트랙형홀, 수직반달판, 판와셔, 내마모성 고무판으로 구성된다. 시공 시 거더는 하부파트의 받침판에 가설되며, 하부파트의 강봉이 거더 하부플랜지에 형성된 트랙형홀에 삽입되어 너트로 체결해 하부파트가 강봉을 매개체로 거더와 결합되어 전도를 방지하고, 이후 추가 콘크리트 타설 시 매립되어 구조적 성능을 발휘하지 않는다. Fig. 2에 다기능 받침연결장치의 구성에 따른 명칭을 나타내었다.

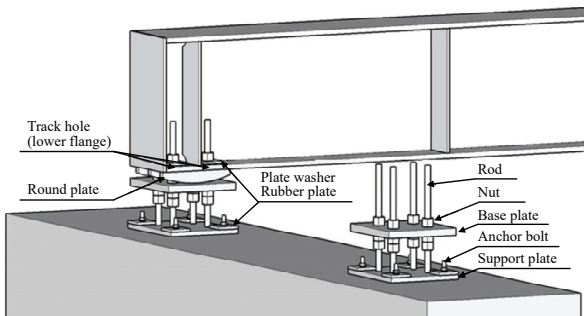


Fig. 2. Perspective view of multi-functional support<sup>[7]</sup>

이때, 다기능 받침연결장치의 강봉은 상·하부가 밀판과 플랜지 상부에 체결된 너트로 인해 양단이 구속되므로 설계 시 유효길이계수를 감소시킬 수 있어 좌굴성능이 향상된다<sup>[7]</sup>. 이러한 강봉의 양단구속으로 인한 강봉의 설계 타당성과 하중에 따른 거동 및 하중 저항성능을 검토하기 위하여 설계 기준에 의한 방식과 유한요소해석을 통한 방식으로 각각 설계압축강도를 산출하였다.

### 2.1 설계압축강도( $P_{rs}$ ) - 설계기준

설계기준에 따른 설계압축강도를 산정하기 위하여 다기능 받침연결장치의 구속조건에 따른 유효길이계수( $K$ )를 선정하였다. 강봉의 경계조건은 밀판에 용접되어 있는 강봉의 하단부를 회전구속-수평이동 구속, 너트와 체결되어 있는 강봉의 상단부를 회전 구속-수평이동 자유로 가정하였고, 실제 거동과 비교하기 위하여 ‘도로교설계기준 한계상태설계법(2016)’에서 제시하고 있는 유효길이계수의 이론치와 설계치를 모두 적용하였다. 도로교설계기준에서 제시하는 유효길이계수를 Table 1에 정리하였으며, 설계에 적용한 다기능 받침연결장치 강봉의 제원을 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Effective length factor,  $K$ <sup>[8]</sup>

Property	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Buckling mode shape						
Theoretical value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Design value	0.65	0.80	1.2	1.0	2.1	2.0

Table 2. Specification of rod

Property	Value
$L_b$ (mm)	300
$D$ (mm)	26.5
$A_s$ (mm <sup>2</sup> )	551.5
$F_{py}$ (MPa)	950
$I$ (mm <sup>4</sup> )	24,207.7
$r_p$ (mm)	6.625
Slenderness ratio	45.3
$E$ (MPa)	200,000

#### 2.1.1 유효길이계수 이론치 적용( $K = 1.0$ )

$$P_{es1} = \frac{\pi^2 E A_s}{\left(\frac{KL}{r_p}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 551.5}{\left(\frac{1.0 \times 300}{6.625}\right)^2} \quad (1)$$

$$= 530.9 \text{ kN/EA}$$

$$\lambda_{s1} = \left( \frac{KL_b}{r_p \pi} \right)^2 \frac{F_{py}}{E} = \left( \frac{1.0 \times 300}{6.625 \times \pi} \right)^2 \times \frac{950}{200000} = 0.987 \leq 2.25 \quad (2)$$

$$P_{ns1} = 0.66^{\lambda_{s1}} F_{py} A_s = 0.66^{0.987} \times 950 \times 551.5 = 347.7 \text{ kN/EA} \quad (3)$$

$$P_{rss1} = \phi_c P_{ns1} = 0.9 \times 347.7 = 312.9 \text{ kN/EA} \quad (4)$$

$$P_{rs1} = P_{rss1} \times 4 \text{ EA} = 312.9 \times 4 = 1,251.6 \text{ kN} \quad (5)$$

여기서,  $P_{es1}$  = 강봉의 탄성좌굴하중( $K = 1.0$ )  
 $P_{ns1}$  = 강봉의 공칭압축강도( $K = 1.0$ )  
 $P_{rss1}$  = 강봉의 설계압축강도( $K = 1.0$ )  
 $P_{rs1}$  = 다기능 받침연결장치 설계압축강도( $K = 1.0$ )  
 $\lambda_{s1}$  = 강봉의 항복강도와 탄성좌굴강도의 비

2.1.2 유효길이계수 설계치 적용( $K = 1.2$ )

$$P_{es2} = \frac{\pi^2 EA_s}{\left( \frac{KL}{r_p} \right)^2} = \frac{\pi^2 \times 200000 \times 551.5}{\left( \frac{1.2 \times 300}{6.625} \right)^2} = 368.7 \text{ kN/EA} \quad (6)$$

$$\lambda_{s2} = \left( \frac{KL_b}{r_p \pi} \right)^2 \frac{F_{py}}{E} = \left( \frac{1.2 \times 300}{6.625 \times \pi} \right)^2 \times \frac{950}{200000} = 1.421 \leq 2.25 \quad (7)$$

$$P_{ns2} = 0.66^{\lambda_{s2}} F_{py} A_s = 0.66^{1.421} \times 950 \times 551.5 = 290.3 \text{ kN/EA} \quad (8)$$

$$P_{rss2} = \phi_c P_{ns2} = 0.9 \times 290.3 = 261.3 \text{ kN/EA} \quad (9)$$

$$P_{rs2} = P_{rss2} \times 4 \text{ EA} = 261.3 \times 4 = 1,045.1 \text{ kN} \quad (10)$$

여기서,  $P_{es2}$  = 강봉의 탄성좌굴하중( $K = 1.2$ )  
 $P_{ns2}$  = 강봉의 공칭압축강도( $K = 1.2$ )  
 $P_{rss2}$  = 강봉의 설계압축강도( $K = 1.2$ )  
 $P_{rs2}$  = 다기능 받침연결장치 설계압축강도( $K = 1.2$ )  
 $\lambda_{s2}$  = 강봉의 항복강도와 탄성좌굴강도의 비

2.2 설계압축강도( $P_{ri}$ ) - 유한요소해석

다기능 받침연결장치의 설계기준에 의한 설계검토결과를 검증하고, 하중에 따른 거동을 확인하기 위하여 3차원 유한요소해석을 수행하였다. 해석은 범용유한요소해석 프로그램인 ANSYS Workbench Ver.19.2<sup>[9]</sup>를 사용하였고, 해석의 모델링에는 solid 요소가 사용되었다. 모델링에 사용된 강봉의 재료특성은 앞서 설계기준에 의한 검토와 동일한 물성을 사용하였다(Table 2). 또한, 실제와 유사한 거동을 위하여 다기능 받침연결장치의 구성요소인 3개의 수직반달판을 통하여 받침판 중앙에 하중을 재하하였다.

2.2.1 모델링

해석에 사용된 다기능 받침연결장치의 제원은 실제 설계시 적용되는 규격과 동일하게 적용하되, 이후 실시한 실험에 적합하도록 밀판과 받침판의 크기 및 두께를 조정하였다. 유한요소해석 모델링 상세를 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Specification of modeling for FEA

Modeling part	Size (mm)
Support plate	PL-500×500×40
Rod	Φ26.5×400 (4 EA)
Base plate	PL-500×500×40
Round plate	PL-400×60×30
Loading plate	PL-400×400×40

2.2.2 결과

3차원 유한요소해석 수행 결과, 적용하중 1,000 kN에 대한 탄성좌굴하중의 하중승수(load multiplier)는 1.966으로 나타났다. 따라서 유한요소해석에 의한 다기능 받침연결장치의 탄성좌굴하중은 1,966 kN으로 산정하고 이에 따른 설계압축강도를 산출하였다. 해석에 사용된 모델과 해석결과를 각각 Fig. 3 및 Fig. 4에 나타내었다.

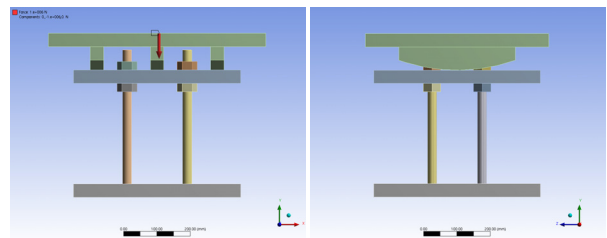


Fig. 3. Modeling

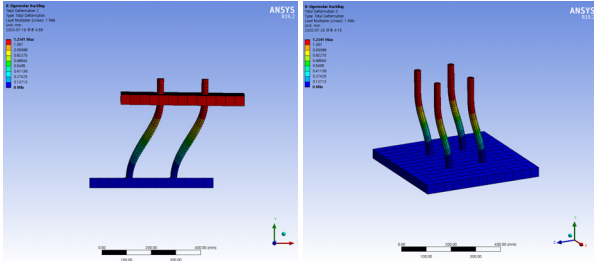


Fig. 4. Analysis result

$$P_i = 1,966.0 \text{ kN} \quad (11)$$

$$P_{ei} = P_i \div 4 = 1966.0 \div 4 = 491.5 \text{ kN/EA} \quad (12)$$

$$\lambda_i = \frac{F_{py} \cdot A_s}{P_{ei}} = \frac{950 \times 551.5 \times 10^{-3}}{491.50} = 1.066 \leq 2.25 \quad (13)$$

$$P_{ni} = 0.66^{\lambda_i} F_{py} A_s = 0.66^{1.066} \times 950 \times 551.5 = 336.4 \text{ kN/EA} \quad (14)$$

$$P_{rsi} = \phi_c P_{ni} = 0.9 \times 336.4 = 302.8 \text{ kN/EA} \quad (15)$$

$$P_{ri} = P_{rsi} \times 4 \text{ EA} = 302.8 \times 4 = 1,211.2 \text{ kN} \quad (16)$$

여기서,  $P_i$  = 다기능 받침연결장치의 탄성좌굴하중

$P_{ei}$  = 강봉의 탄성좌굴하중

$P_{ni}$  = 강봉의 공칭압축강도

$P_{rsi}$  = 강봉의 설계압축강도

$P_{ri}$  = 다기능 받침연결장치 설계압축강도

$\lambda_i$  = 강봉의 항복강도와 탄성좌굴강도의 비

### 2.3 설계압축강도 산정 결과

이 장에서는 설계기준과 유한요소해석에 의한 다기능 받침연결장치에 대한 설계압축강도를 산출하였으며, 그 결과는 다음과 같다. 산정 결과를 Table 4에 정리하였다.

- (1) 다기능 받침연결장치의 설계압축강도는 구속조건을 고려, [1단구속-1단 수평이동 자유]로 가정하였다.
- (2) 설계기준에 의한 설계압축강도는 유효길이계수가 이론치 1.0과 설계치 1.2에 대해 각각 1,251.6 kN, 1,045.1 kN인 것으로 나타났다.

(3) 유한요소해석에 의한 설계압축강도는 1,211.2 kN으로 산출되었으며, 이는 설계기준에 의한 설계압축강도 중 유효길이계수 이론치( $K = 1.0$ )를 적용한 값과 유사한 것으로 확인되었다. 또한, 유한요소해석에 의한 탄성좌굴하중은 495.1 kN/EA로 산출되었으며, 이는 유효길이계수 이론치( $K = 1.0$ )를 적용하여 산출된 탄성좌굴하중과 유사한 것으로 확인되었다.

(4) 따라서, 4개의 강봉 양단이 판재로 구속되어 균집행태를 이루는 다기능 받침연결장치의 거동은 이상화된 [1단 구속-1단 수평이동 자유]로 가정할 수 있다.

Table 4. Results of design

$P_{rs}$	$K = 1.0$	1,251.6 kN (312.9 kN/EA)
	$K = 1.2$	1,045.1 kN (261.3 kN/EA)
$P_{ri}$		1,211.2 kN (302.8 kN/EA)
$P_{es}$	$K = 1.0$	530.9 kN/EA
	$K = 1.2$	368.7 kN/EA
$P_{ei}$		491.5 kN/EA

### 3. 실물재하실험

산정된 설계압축강도의 검증과 실제 하중에 따른 다기능 받침연결장치의 거동 및 하중성능을 확인하기 위하여 실물재하실험을 실시하였다.

#### 3.1 실험개요

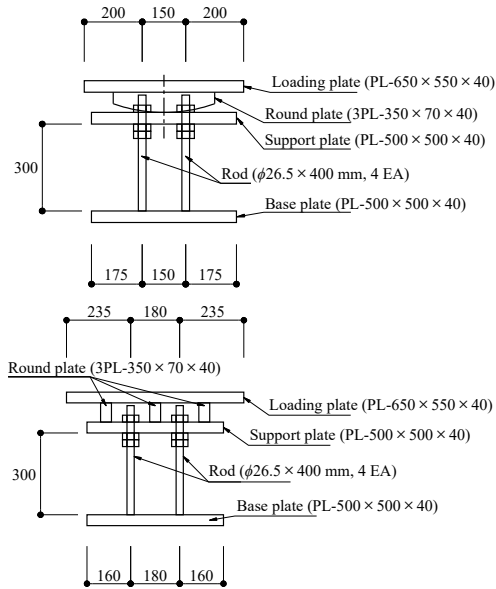
실험은 명지대학교 하이브리드구조실험센터에서 실시하였으며, 5MN Dynamic UTM에서 1 mm/min의 변위제어 방식으로 진행되었다. 하중은 가력판을 통해 전달되도록 하였고, 실제 시공시와 마찬가지로 3개의 수직반달판을 배치하여 받침판에 선접촉하도록 하였다. 또한, 시공오차 등으로 인하여 상부거더의 하중을 강봉에 전달하는 수직반달판이 받침판의 중앙에 위치하지 않을 경우를 고려해, 받침판의 중앙부에 하중이 재하되는 중앙재하 실험체(#1-1, #1-2)와 함께 받침판 중앙부로부터 편심거리 30 mm 위치에 재하되는 편심재하 실험체(#2-1, #2-2) 총 두 가지 경우에 대하여



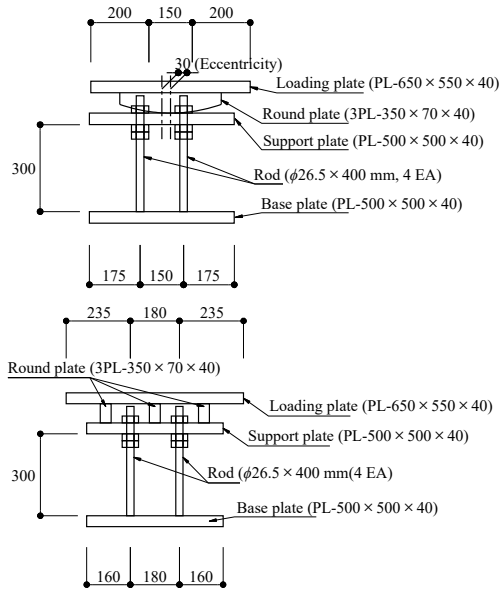
실험을 진행하였다. 타입별 실험체의 구성을 Table 5에 나타내었으며, 실험체 상세를 Fig. 5에 나타내었다. 또한, 실제 제작된 실험체를 Fig. 6에 나타내었다.

**Table 5.** Specimen type

Specimen #1		Specimen #2	
#1-1	#1-2	#2-1	#2-2
Load to center of base plate		Load to eccentric of base plate (30 mm)	

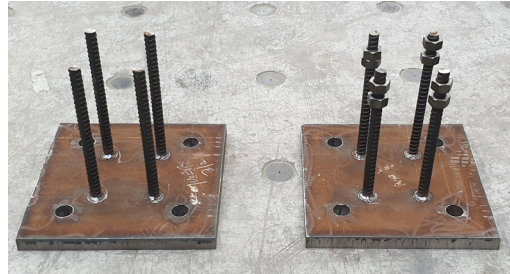


(a) Specimen #1



(b) Specimen #2

**Fig. 5.** Details of specimens



(a) Bottom parts of specimen



(b) Assembled specimens

**Fig. 6.** Specimens

또한, 하중 재하에 따른 다기능 받침연결장치의 상부구속(받침판)의 거동을 파악하기 위하여 받침판의 전면과 측면에 LVDT를 설치하였고, 강봉이 극한한계상태에 도달하기 이전에 받침판의 항복여부를 확인하기 위하여 받침판 하면에 변형률게이지를 부착하였다. LVDT 설치 및 변형률게이지 부착을 완료한 실험체를 Fig. 7에 나타내었고, 각 실험체별 실험 전경을 Fig. 8에 나타내었다.



(a) LVDT

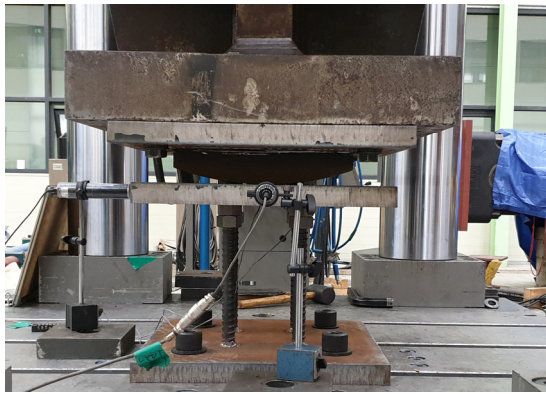


(b) Strain gage

**Fig. 7.** Displacement measuring instrument



(a) Specimen #1



(b) Specimen #2

Fig. 8. Experiment

구간 내에서 강봉에 하중을 전달한 것으로 확인되었다. 실험이 완료된 #1 실험체의 좌굴이 발생한 강봉과 받침판의 기울기를 각각 Fig. 9와 Fig. 10에 나타내었으며, #1 실험체의  $P-\delta$  그래프와 받침판의 횡변위를 각각 Fig. 11와 Fig. 12에 나타내었다.



(a) #1-1



(b) #1-2

Fig. 9. Buckling of rod (specimen #1)

### 3.2 실험결과

#### 3.2.1 중앙재하 실험체

실험 결과, 중앙재하 실험체의 탄성구간 최대하중은 각각 1,200 kN과 1,220 kN으로 나타났다. 실험체의 탄성구간은 0.2% 오프셋을 통해 강봉의 탄성구간을 산정하고 검토하였다. 또한, 하중이 100 kN에 도달하기 이전인 실험 초기에 너트의 슬립으로 인한 비선형 거동을 나타내었으나, 이후 안정적인 선형 거동을 나타냈다.

탄성구간 이후 강봉의 좌굴이 육안으로 관찰되었으며, 안전상의 이유로 각각 1,651.7 kN과 1,698.3 kN에서 실험을 종료하였다.

실험초기 받침판의 거동은 수평방향의 변위가 거의 발생하지 않았으며, 실험이 진행됨에 따라 점차 수평방향 변위가 발생하였으나 실험 종료까지 최대변위는 1 mm를 초과하지 않고 실험 종료 후에도 수평을 유지하였다. 또한 하중의 재하에 따른 받침판 하면의 응력-변형률 그래프를 분석한 결과, 실험의 종료까지 받침판은 항복하지 않고 탄성



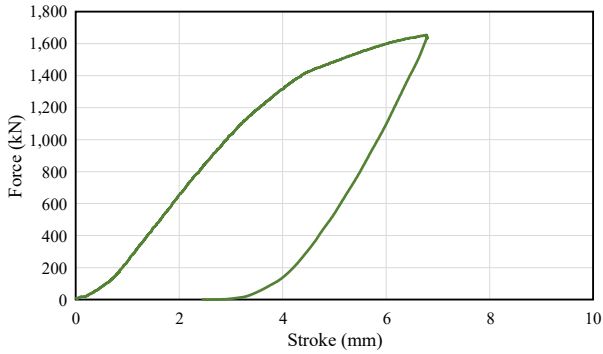
(a) #1-1



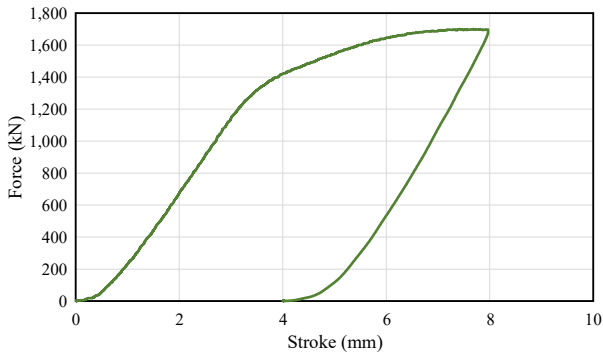
(b) #1-2

Fig. 10. Check the slope of the support plate (specimen #1)



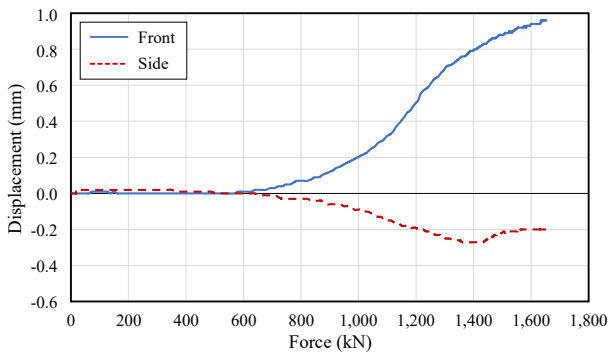


(a) #1-1

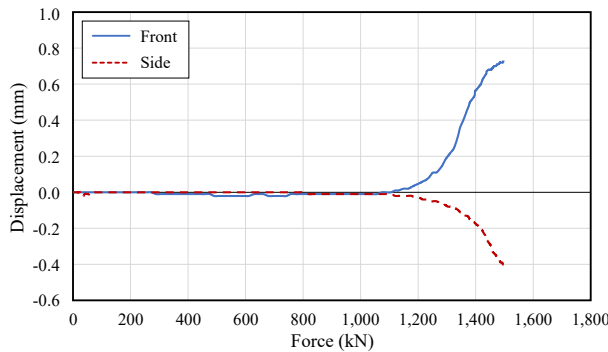


(b) #1-2

Fig. 11.  $P - \delta$  graph (specimen #1)



(a) #1-1



(b) #1-2

Fig. 12. Lateral displacement of support plate (specimen #1)

### 3.2.2 편심재하 실험체

실험 결과, 편심재하 실험체의 탄성구간 최대하중은 각각 1,070 kN과 950 kN으로 나타났다. 이 중 #2-2 실험체는 제작 오류로 인하여 가력판의 수직반달판이 받침판에 선접촉하지 않고 한쪽 모서리 부분으로 편기되어 하중이 재하되는 현상이 발생하여 분석에서 제외하였다. 실험체의 탄성구간은 #1 실험체와 동일하게 0.2% 오프셋을 통하여 탄성구간을 산정하고 검토하였으며, 하중이 80 kN에 도달하기 이전인 실험 초기에 너트의 슬립으로 인한 비선형 거동을 나타내었으나, 이후 안정적인 선형 거동을 나타냈다.

#2-1 실험체는 탄성구간 이후 강봉의 좌굴이 육안으로 관찰되었으며, 안전상의 이유로 1,532.7 kN에서 실험을 종료하였다.

실험초기 받침판의 거동은 수평방향의 변위가 거의 발생하지 않았으며, 실험이 진행됨에 따라 점차 수평방향 변위가 발생하였으나 실험 종료까지 최대변위는 0.5 mm를 초과하지 않고 실험 종료 후에도 수평을 유지하였다. 또한 하중의 재하에 따른 받침판 하면의 응력-변형률 그래프를 분석한 결과, 실험의 종료까지 받침판은 항복하지 않고 탄성구간 내에서 강봉에 하중을 전달한 것으로 확인되었다. 실험이 완료된 #2 실험체의 좌굴이 발생한 강봉과 받침판의 기울기를 각각 Figs. 13-14에 나타내었으며, #2-1 실험체의  $P - \delta$  그래프와 받침판의 횡변위를 각각 Figs. 15-16에 나타내었다.

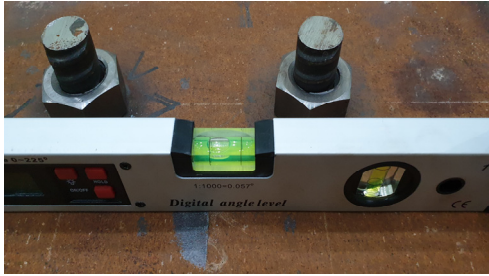


(a) #2-1

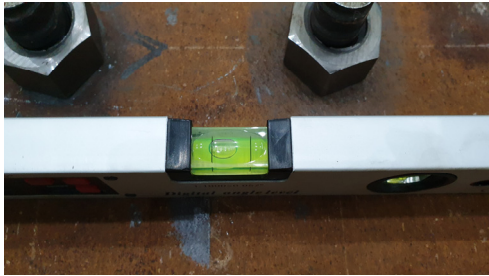


(b) #2-2

Fig. 13. Buckling of rod (specimen #2)

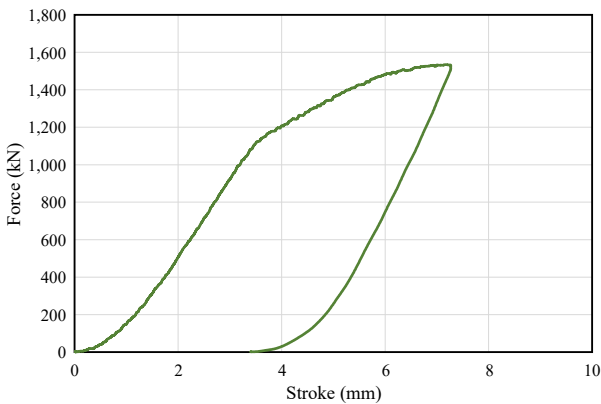


(a) #2-1

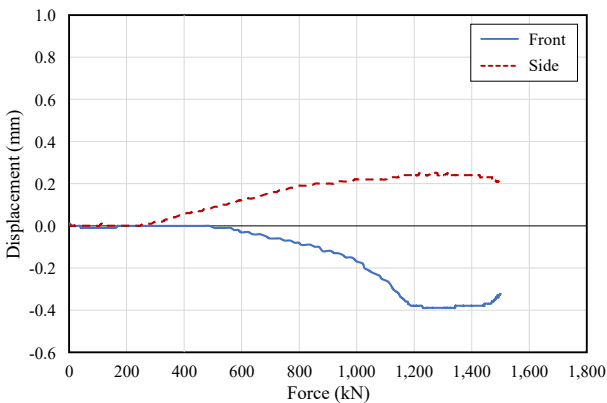


(b) #2-2

**Fig. 14.** Check the slope of the support plate (specimen #2)



**Fig. 15.**  $P - \delta$  graph (specimen #2-1)



**Fig. 16.** Lateral displacement of support plate (Specimen #2-1)

#### 4. 결론

이 연구에서는 다기능 받침연결장치의 구조적 성능 및 하중에 따른 거동 형태를 분석하고 설계 타당성을 검증하기 위하여 설계기준과 유한요소해석에 따른 설계압축강도를 산출하고, 실물재하실험을 통해 확인하였다. 그 결과, 다기능 받침연결장치는 탄성구간 내에서 설계압축강도 이상의 안전율을 확보하고 있으며, 이후 소성구간 내에서 충분한 저항성능을 보유하고 있는 것으로 나타났다.

- (1) 다기능 받침연결장치의 유한요소해석에 의한 설계 압축강도(1,211.2 kN)는 중앙재하 실험체의 탄성구간 최대하중(1,200 kN, 1,220 kN)과 약 99.1 % 동일하게 나타나 실제 다기능 받침연결장치의 하중에 따른 거동 및 하중저항 성능은 유한요소해석과 매우 유사한 것으로 나타났다.
- (2) 또한, 유한요소해석에 의한 설계압축강도(1,211.2 kN)는 설계기준에 의해 산정된 설계압축강도 중 유효길이계수 1.0을 적용하여 산정한 값(1,251.6 kN)과 유사(약 96.7 %)하게 나타났다. 따라서, 4개의 강봉 양단이 판재로 구속되어 균집형태를 이루는 다기능 받침연결장치의 거동은 이상화된 [1단 구속-1단 수평 이동 자유]로 거동하는 것으로 확인되었다.
- (3) 설계기준에서 제시하고 있는 [1단 구속-1단 수평 이동 자유]에 의한 유효길이계수 설계치인  $K=1.2$ 를 적용한 설계압축강도는 실험체의 탄성구간 최대하중과 비교하여 약 1.15 - 1.17의 안전율을 확보하고 있는 것으로 나타났다.
- (4) 또한, 설계기준에 의한 설계압축강도( $P_c$ )는 부재의 소성구간에 해당하는 휨좌굴 및 비틀림좌굴 등이 고려된 한계상태 값이기 때문에, 0.2 % 오프셋을 통해 산정한 실험체의 탄성구간내 최대하중과 비교한 안전율(1.15 - 1.17)은 최소한의 값이라 판단된다.
- (5) 편심재하 실험체(#2-1)의 탄성구간 최대하중(1,070.0 kN)은 중앙재하 실험체의 탄성구간 최대하중과 비교하여 평균 11.6 % 감소하는 것으로 나타났으며, 실험 최대하중(1,532.7 kN)의 경우 평균 8.4 % 감소하는 것으로 나타났다.
- (6) 다기능 받침연결장치의 설계 시, 30 mm 편심으로 인한 강봉에 전달되는 하중의 불균등을 고려하기 위해 강봉을 지점으로 하는 지간 150 mm - 180 mm의 단순



보로 가정하여 강봉에 작용하는 하중을 산출하고 있다. 때문에 편심재하시 강봉에 작용하는 하중은 중앙재하시 강봉에 작용하는 하중과 비교하여 약 33% - 40% 증가하게 된다. 즉, 편심으로 인해 강봉의 강도가 감소되는 것을 고려하기 위하여 작용하중을 증가시켜 안전성을 확보하기 위한 방안으로, 편심재하로 인하여 11.6% 감소하는 강봉의 강도를 감안하기 위하여, 작용하중을 약 33% - 40% 증가시켜 대응하고 있기 때문에 편심재하에 대한 다기능 받침연결장치의 안전성은 충분히 확보되고 있는 것으로 나타났다.

- (7) 중앙재하 실험체의 받침판의 수평방향 변위는 탄성 구간 내에서 0.5 mm를 초과하지 않는 것으로 나타났으며(#1-1: 0.48 mm, #1-2: 0.06 mm), 편심재하 실험체의 받침판의 수평방향 변위는 탄성구간 내에서 0.3 mm를 초과하지 않는 것으로 나타났다(#2-1: 0.25 mm). 또한, 실험 종료시까지 항복 상태에 도달하지 않고 선형탄성적인 거동을 보이며 강봉에 하중을 전달한 것으로 확인되었다.

### 감사의 글

이 연구는 ㈜아이오컨스텍의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 이에 감사드립니다.

### 참고문헌(References)

- [1] Choi, J.W., Jang, M.J., Cheon, J.W., and Yoon, S.J. (2015) An Experimental Study on the Structural Behavior of Steel-Concrete Composite Rahmen Bridge with Hinged End Support, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.2, pp.195-205 (in Korean).
- [2] Yoon, S.J. (2010) *Evaluation and Analysis of Structural Behavior for Composite Rahmen Bridge with Hinged End Supports*, Research Report, Korean Society for Advanced Composite Structures, Korea (in Korean).
- [3] Choi, J.-W., Joo, H.-J., Cheon, J.-W., and Yoon, S.-J. (2010) A Study on the Enhancement of Structural Performance of the Steel-Concrete Composite Rahmen Bridge, *Proceedings of the Annual Conference of Korean Society of Civil Engineers (Civil Expo 2010)*, KSCE, pp.92-95 (in Korean).
- [4] Choi, H., Park, J.S., Ok, D.M., Kim, C.W., Cho, S.K., and Yoon, S.J. (2011) A Study on the Construction Method of Steel-Concrete Composite Girder Used on the Steel-Concrete Composite Rahmen Bridge, *Proceedings of the Annual Conference of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, pp.17-18 (in Korean).
- [5] Oh, J.-H., and Son, M.-G. (2015) Adjustable Bearing in Vertical Direction Using Oil Pressure System, *Magazine of the Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.27, No.1, pp.68-73 (in Korean).
- [6] Choi, H., Choi, J.-W., Ok, D.-M., Kim, C.-W., Cho, S.-K., and Yoon, S.J. (2011) Structural Behavior of New-Type Steel-Concrete Composite Rahmen Bridge, *Proceedings of the 11th Japan-Korea Joint Symposium on Steel Bridges*, KSSC, pp.245-250.
- [7] Jeong, Y.J., Kim, S.H., and Chun, J.U. (2019) Buckling Stability of Rahmen Bridge Combined with Girder Lower Flange and Bearing, *Journal of the Korean Society for Advanced Composite Structure*, KOSACS, Vol.10, No.4, pp.61-66 (in Korean).
- [8] Korean Institute of Bridge and Structural Engineers, and Korea Bridge Design & Engineering Research Center (2015) *Highway Bridge Design Code (Limit State Design) and Commentary*, Gunsulbook, Korea (in Korean).
- [9] ANSYS (2019) *Ansys Analysis User's Manual, Ver. 19.2*, ANSYS, Inc., USA.
- [10] Lee, S.S., Park, K.S., Bae, K.W., and Choi, Y.C. (2017) Structural Performance Evaluation for Composite Beam Member of Hybrid Modules Frame with Steel-Precast Concrete, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.5, pp.331-340 (in Korean).
- [11] Kim, B.J., Park, Y.M., Kovalenko, M., and Cho, K.I. (2017) A Study for an Evaluation of Flexural Strength of Plate Girders Reinforced with One Line of Longitudinal Stiffeners, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol.29, No.4, pp.281-289 (in Korean).
- [12] Jun, S.C., Han, K.H., Lee, C.H., and Kim, J.W. (2017) Flexural Testing of Asymmetric Hybrid Composite Beams Fabricated from High-Strength Steels, *Journal of Korean Society of Steel Construction*, KSSC, Vol. 29, No.3, pp.217-228 (in Korean).

---

**요 약**: 라멘교 시공 중 빈번히 발생하는 시공오차로 인한 공기 증가 등의 문제를 해결하기 위하여, 시공 중 거더 설치높이 조절이 가능하고 전도방지가 가능한 ‘다기능 받침연결장치’가 개발되었다. 다기능 받침연결장치는 받침판과 강봉을 이용해 계획고 변경시 거더의 설치 높이를 수정할 수 있는 새로운 형식의 받침장치이다. 다기능 받침연결장치의 구조적 성능을 검토하기 위하여 설계기준과 유한요소해석에 따른 설계압축강도를 산출하고, 실물재하 실험을 통해 그 결과를 비교하였다. 실험 결과, 다기능 받침연결장치의 강봉은 상단부를 너트 체결하여 거더와 일체화됨에 따라 좌굴성능이 증가하는 것으로 확인되었다. 또한 탄성구간 최대하중과 비교하여 약 1.15 이상의 안전율을 보유함에 따라 보수적 설계로 합리적인 설계가 이루어진 것으로 나타났다.

**핵심용어**: 라멘교, 좌굴, 유한요소해석, 구조해석, 실물재하실험

---