

# 철도교량 단부 상향력 해석을 위한 체결장치의 실험적 연구

## An Experimental Study of Fastening System for Analysis of Rail Uplifting on Railway Bridge Ends

김정훈\* · 임남형\*\* · 최상현\*\*\* · 강영종\*\*\*\*

Kim, Jung Hun · Lim, Nam Hyoung · Choi, Sang Hyun · Kang, Young Jong

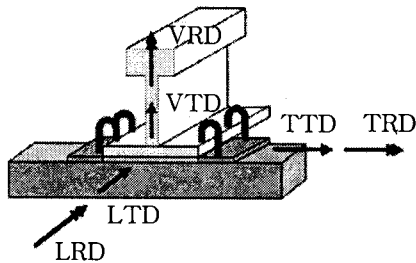
### Abstract

In the case of the railway bridges, uplift forces were occurred at the edge of the segments when vehicular loads were applied. These forces made the compressive and tensile forces occur in the fastening system. Therefore, the structural analysis was performed to investigate the safety of fastening system which was modeled as one directional spring element. In this case, the stiffness of the spring element was obtained from experimental study which was conducted by compressive load. For that reason, to perform rational and exact structural analysis, the translational stiffness of the fastening system obtained from the experimental study applied the tensile load and the rotational stiffness should be considered because it was occurred the tensile force as well as the compressive force in fastening system. In this study, an elastic and inelastic experimental study was performed for six specimens. The translational stiffness along the vertical axis of rail and the rotational stiffness along the strong axis of rail were investigated. Also structural behavior of the fastening system was analyzed.

**key words** : fastening system, safety, stiffness.

### 1. 서 론

궤도는 열차를 정해진 길로 유도하는 역할을 할 뿐만 아니라 하부로 전달되는 열차 하중을 완화하여 하부 구조물을 보호하는 역할을 하며, 노반 위에 부설된 도상, 침목, 체결장치 및 레일로 구성되어 있다. 체결장치 (fastening, fastener, fastening system)란 레일을 침목이나 슬래브 등의 지지물에 고정하여 궤간을 유지함과 동시에 차량 주행 시에 차량이 궤도에 주는 여러 방향의 하중이나 진동에 저항하고, 이들을 하부구조인 침목, 도상, 노반으로 분산 혹은 완충하여 전달하는 기능을 가진 것으로 철도 궤도시스템의 중요한 구성요소이다. 체결장치는 그림 1과 같이 3개의 병진방향과 3개의 회전방향에 대한 자유도를 가진다.



LTD : Longitudinal Translational Direction  
 TTD : Transversal Translational Direction  
 VTD : Vertical Translational Direction  
 LRD : Longitudinal Rotational Direction  
 TRD : Transversal Rotational Direction  
 VRD : Vertical Rotational Direction

그림 1. 체결장치의 6자유도

\* 비회원 · 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학과 박사과정 · E-mail: zamsin97@korea.ac.kr  
 \*\* 비회원 · 충남대학교 공과대학 토목공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: nhrim@cnu.ac.kr  
 \*\*\* 비회원 · 한국철도대학 철도시설토목과 교수 · 공학박사 · E-mail: schoi@krc.ac.kr  
 \*\*\*\* 정회원 · 고려대학교 공과대학 건축사회환경공학과 교수 · 공학박사 · E-mail: yjkang@korea.ac.kr

체결장치 각 방향에 대한 특성이 궤도 시스템에 미치는 영향은 첫 번째, 2004년 안홍환의 고려대학교 석사 학위 논문인 '궤도 구성 인자들이 장대레일 궤도 안정성에 미치는 영향'의 연구에 따르면 LTD, TTD, VRD의 강성은 장대레일 궤도의 안정성에 영향을 미친다[1]. 두 번째로 철도교량의 경우, 교량의 연결부나 교각의 기초에서 교량의 처짐이 발생할 때 특히 콘크리트 슬래브 궤도의 경우 레일의 들림이 발생하여 체결장치(VTD, TRD)에 직접적으로 영향을 미치게 된다. 따라서 체결장치는 레일의 들림에 의한 변형 및 파손의 우려가 높아 대형사고를 초래할 수 있다. 마지막으로, 곡선 장대레일 궤도에서 원심력으로 인해 궤도(LRD)의 안정성에 영향을 미친다. 본 연구에서는 VTD, TRD의 경우에 대하여 실험적 연구를 하였다. 현재 국철 및 고속철도에 사용 중인 체결장치의 종류에 따라 실험을 수행하여 각 종류별 체결장치의 강성을 산정하여 콘크리트도상 궤도구조를 사용한 철도교의 구조해석 시 레일과 교량을 연결하는 스프링 강성을 산정하는데 중요한 근거자료를 제시하였다. 또한, 가장 많이 사용되고 있는 체결장치의 구조적 거동을 분석하였다.

국내·외 연구동향으로 2006년 한국철도학회 학술발표에서 이주현의 '콘크리트도상 궤도 교량단부 상향력 해석 및 적용'에 대한 연구가 수행되었다[2]. 1982년 AAR(Association of American Railroads) 'Report NO. R-479'에서 비틀림 저항력 실험(VRD, LRD, TRD)을 수행하였다[3]. 체결장치 실험은 CEN (European Committee for Sandardization, 2002) 규정(LTD, VRD)에 기준되어 있다[4]. 본 실험은 규정에 없지만 CEN 규정(The European Standard EN 13146-1,2)을 참조하여 수행하였다.

레일의 들림에 의해 승차감 및 선로의 내구성이 저하되므로 궤도의 안전성 확보를 위한 체결장치의 연구가 필요하다. 또한, 콘크리트도상 궤도구조의 경우 궤도구조의 특성상 자갈도상 궤도구조 보다 크게 영향을 미치게 된다. 앞으로 콘크리트 슬래브 도상으로 많이 건설됨에 따라 중요성은 더욱 더 증대될 것이다.

## 2. 시험체의 종류(구성품의 조합)

Specimen 1의 경우 FS-1은 일반 국철에 실제 사용되는 체결장치이며, FS-2, 3은 고속철도에 사용되었다. Specimen 2의 경우 FS-4, 5는 자갈궤도용 체결장치이며, FS-6은 고속철도 터널구간에 사용되었다. FS-1은 도시철도 및 국철용으로 현재 가장 많이 쓰이는 시험체이며, 극한거동을 분석하기 위하여 비탄성 실험을 수행하였다.

표 1. Specimen 1

	FS-1	FS-2	FS-3
Clip	Type A	Type A	Type B
Rail	KS60	UIC60	UIC60
Rail Pad	EVA	Studded Rubber	Studded Rubber
Tie	KS60	UIC60	Type B

※ FS: Fastening System

표 2. Specimen 2

	FS-4	FS-5	FS-6
System	A	B	C
Rail	KS50	KS50	UIC60
Rail Pad	EVA	EVA	EVA
Tie	System A	System B	System C

### 3. 체결장치 실험 및 결과분석

#### 3.1 하중 재하 방법 및 LVDT(Linear Variable Displacement Transducer) 측정 위치

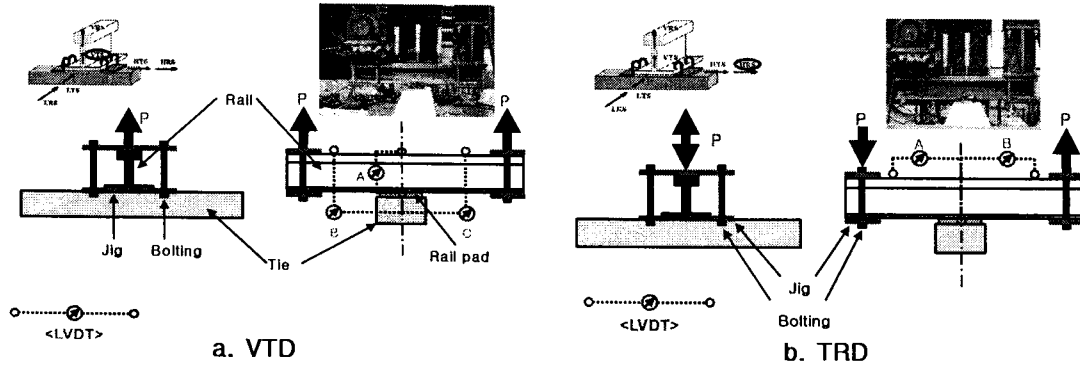
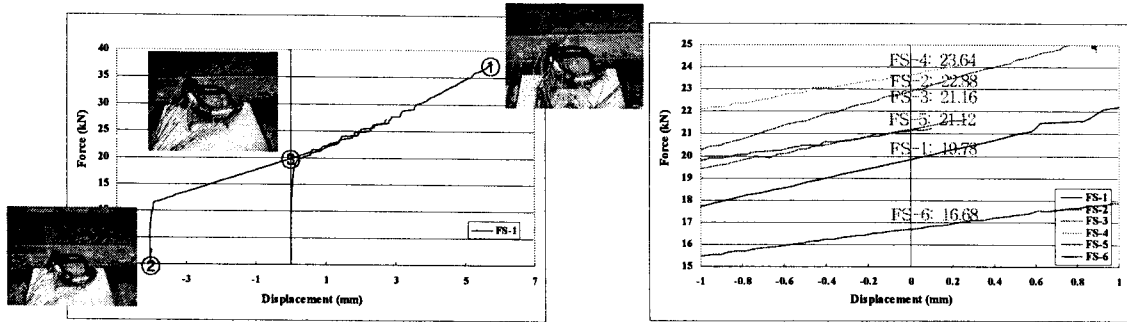


그림 2. 체결장치 실험의 하중 재하 방법 및 LVDT 측정위치

#### 3.2 체결력

체결장치의 각 방향에 대한 저항력과 강성은 침목과 레일이 체결되었을 때의 지압력 즉 체결력에 의해 많은 영향을 있다. 그러므로 시험체 종류별로 CEN 규정에 준하여 체결력 실험을 수행하였다. 그림 3-a의 그래프와 같이 초기변위(0)을 측정후 하중을 증가한다①. 레일패드를 제거 후 하중을 감소한다②. 다시 하중을 증가하여 초기변위(0)일 때의 하중이 초기 체결력이다③. 그래프에서 강성(기울기)은 하중이 증가함에 따라 작아짐을 보이고 있다. 이는 비선형 탄성거동으로 체결재의 체결력 때문이며, 비탄성 실험 시 체결력을 상실함에 따라 강성(기울기)이 일정하게 됨을 확인할 수 있다.



a. 체결력 실험 방법

b. 시험체들의 체결력

그림 3. 체결력 실험의 Load - Displacement Diagram

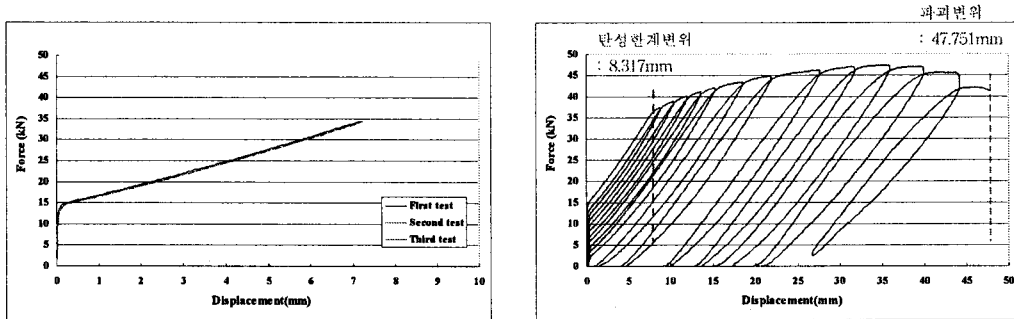
각각 시험체의 체결력을 실험한 결과는 그림 3-b와 같다. 표 3은 현재 사용 중인 체결재의 기준 체결력과 실험한 시험체의 체결력을 비교한 것이다. 모두 기준 체결력에 근접하고 있으며 체결력은 체결재, 절연블록의 상태, 체결 정도에 따라 조금씩 다를 수 있다.

표 3. 시험체의 체결력과 기준 체결력의 비교

구분	기준 체결력	시험체 체결력
FS-1	11~14kN x 2EA	9.89kN x 2EA
FS-2	11~14kN x 2EA	11.44kN x 2EA
FS-3	9~10kN x 2EA	10.58kN x 2EA
FS-4	9~10kN x 2EA	11.82kN x 2EA
FS-5	9~10kN x 2EA	10.56kN x 2EA
FS-6	9~10kN x 2EA	8.34kN x 2EA

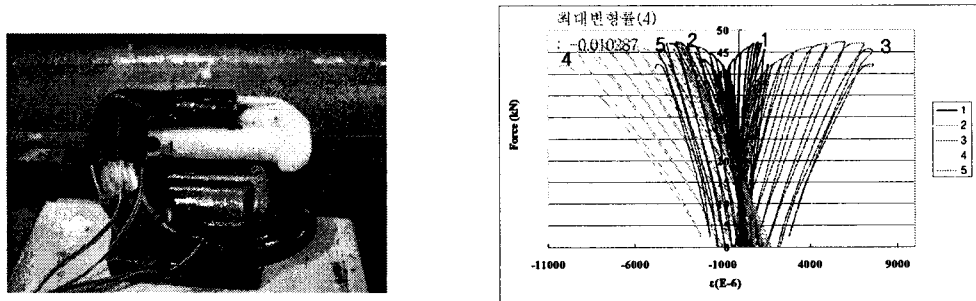
### 3.3 체결장치의 VTD의 강성 및 변형

실험은 CEN 규정에 준하여 3회 수행한 실험 데이터의 평균값으로 강성을 산정하였다. 그림 4-a와 같이 3번의 실험 결과가 거의 일치하므로 탄성임을 알 수 있다. 체결장치의 극한 거동을 알아보기 위하여 Loading과 Unloading을 반복하여 비탄성 실험을 수행하였다. 실험 결과는 그림 4-b와 같다. 그래프에서 알 수 있듯이 체결력을 상실함에 따라서 비선형 탄성거동이 점점 줄어들어 사라짐을 볼 수 있다.



a. Elastic  
b. Plastic  
그림 4. FS-1의 Elastic & Plastic Load - Displacement Diagram

Strain Gage 부착은 5-a와 같다. FS-1의 비탄성 실험 결과에 대한 Load-Strain Diagram은 그림 5-b와 같으며, 실험 결과는 4에서 가장 많은 압축 변형을 3에서 가장 많은 인장 변형이 발생하였다.



a. Strain Gage 부착위치  
b. Load - Strain Diagram

그림 5. FS-1의 비탄성 실험

FS-1, 2, 3, 4, 5, 6의 VTD 강성은 표 4와 같다.

표 4. 시험체의 VTD 강성

구분	FS-1 (Type A)	FS-2 (Type A)	FS-3 (Type B)	FS-4 (A)	FS-5 (B)	FS-6 (C)
Stiffness (kN/mm)	102.72	41.637	22.714	99.63	38.699	19.324

### 3.4 체결장치의 TRD의 강성

FS-1, 2, 3, 4, 5, 6의 TRD 강성은 표 5와 같다.

표 5. 시험체의 TRD 강성

구분	FS-1 (Type A)	FS-2 (Type A)	FS-3 (Type B)	FS-4 (A)	FS-5 (B)	FS-6 (C)
Stiffness (kN-mm /radian)	24026	59903	56443	107983	48316	49248

#### 4. 결 론

현재 국철 및 고속철도에 사용 중인 체결장치의 종류에 따라 체결력을 실험해 본 결과 기준 체결력과 근접한 결과를 나타내었다. VTD 실험 시 하중-변위 관계가 비선형 탄성거동을 보임을 알 수 있었다. 이러한 메커니즘이 CEN 규정의 체결력 실험 기준에 나타나 있지만 이에 대한 이유와 설명이 없기 때문에 체결력이 원인이라고 규명한 본 실험적 연구는 그 의의를 가진다. 또한, FS-1에 사용한 EVA 패드는 얇고 고무패드에 비해 단단하다. 반면에 FS-2에 사용한 고무패드는 EVA 패드에 비해 두껍고 부드러운 편이다. 비선형 탄성 거동에서 FS-1의 경우 그래프 기울기(강성)가 급격하게 변함을 알 수 있으며, FS-2의 경우 FS-1보다 완만하게 변함을 알 수 있었다. 따라서, 레일 패드의 종류에 따라 체결장치의 강성에 밀접한 관계가 있다. VTD 및 TRD의 강성은 슬라브 궤도를 사용한 철도교의 구조해석 시 레일과 교량을 연결하는 스프링의 강성을 산정하는데 중요한 근거자료가 될 수 있다. 체결재(Clip)의 변형률 측정을 통한 거동 분석에 의해 가장 critical한 변형 및 응력이 발생하는 부분을 알 수 있었다. 이러한 부분을 더욱 더 연구하여 보완한다면 Clip의 변위가 크더라도 결국 탄성인 더욱 우수한 체결장치를 고안할 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

이 논문은 2005년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 국가지정연구실사업으로 수행된 연구임(No. M10500000119-06J0000-11910).

#### 참고문헌

1. 안홍환 (2004) 궤도 구성 인자들이 장대레일 궤도 안정성에 미치는 영향, *고려대학교 석사학위논문*
2. 이주현 (2006) 콘크리트도상 궤도 교량단부 상향력 해석 및 적용, *한국철도학회 학술발표*
3. J. Choros and I. Gitlin. Track component property tests, *AAR(Association of American Railroads) Report No. R-479, 1982*
4. The European Standard EN 13146-1,2,7. (2002) Railway applications-Track-Test methods for fastening systems, *CEN(European Committee for Standardization)*