

# 개발형 레일체결장치의 현장적용성 평가를 위한 실험적 연구

## Experiment research on Field Applicability Evaluation of rail fastening system

김 은\*      강윤석\*\*      이일화\*\*      양신추\*\*\*  
Kim, Eun    Kang, Yun-Suk    Lee, Il-Wha    Yang, Shin-Chu

---

### ABSTRACT

Step-by-step laboratory performance test and repetitive improvement of KRRI rail fastening system show that it has the similar capability as other fastening systems that have been globally used. In this study, for the evaluation of field applicability, construction and rolling-stock operation test of KRRI rail fastening system are performed. Through this approach, comparison against the service criteria of foreign countries are made.

---

#### 1. 서론

체결장치는 성능에 따라 차량의 주행안전성 및 승차감, 열차충격하중에 대한 궤도의 구조안전성, 그리고 열차 구동소음 등에 큰 영향을 주는 철도궤도에 있어 중요한 구성품으로, 철도시스템 성능향상 및 철도현장에서 발생하는 많은 기술적 문제를 해결하기 위해서는 레일체결장치에 대한 원천기술의 확보는 매우 중요하다. 현재 레일체결장치에 있어 철도선진국들은 각 나라마다 독자적인 체결장치를 개발하여 사용하고 있을 뿐 아니라 외국에 수출하여 경제적 이익을 창출할 수 있을 정도의 기술력을 확보하고 있다. 그러나 현재 국내의 레일체결장치에 대한 기술수준은 독자적인 모델 없이 철도선진국의 기술을 전량 수입하여 사용하고 있다. 이에 고속철도 선로구축물 시스템엔지니어링 기술개발 과제 연구에서 고속철도 레일체결장치 개발연구를 수행하게 되었으며, 형상설계 및 시제품제작 및 실험을 거쳐 KRRI 레일체결장치가 개발되었다. 개발되어진 KRRI 레일체결장치는 단계적인 실내성능시험을 통해 제품의 성능을 개선하고 검증하였으며, 그 결과 현재 상용되고 있는 국외레일체결장치의 성능과 유사한 성능을 나타내었다.

본 연구에서는 현장에서의 적용성과 문제점들을 파악하기 위하여 KRRI 레일체결장치의 현장부설 및 현장 실차시험을 수행하고, 실차실험을 통하여 국외의 주행판정기준을 만족하고 있는지의 여부를 검토하였다.

- 
- \* 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원
  - \*\* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원
  - \*\*\* 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원

## 2. 현장부설

G7 과제로 연구된 개발품들의 현장적용성 및 부설 후 현장계측을 통한 개발품의 성능평가를 위해 고속철도 공단 오송케도기지 내 일부구간에 그림 1과 같이 부설하였다. 그림 1에서 중계구간을 제외한 총 50m에 걸쳐서 부설하였으며, 슬래브레도구간 25m, 체결구구간 12.5m, 방진침목구간 12.5m로 부설되었다.

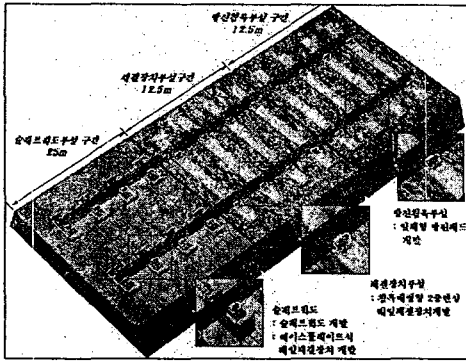


그림 1 현장부설 개요도

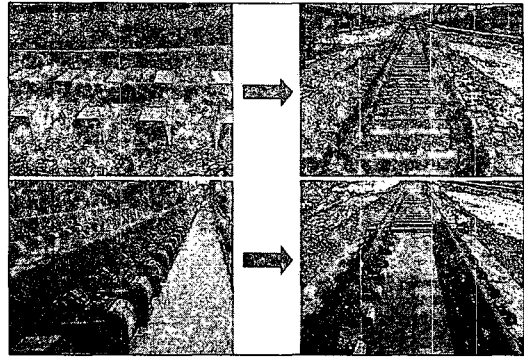


그림 2 현장부설모습

2가지 형태로 개발된 체결장치는 슬래브레도구간과 체결장치구간, 방진침목구간으로 나누어 설치되었다. 우선 슬래브레도구간에는 베이스플레이트를 사용한 체결장치를 부설하였고, 구성품으로는 이전의 연구로 개발되어진 SUP9 재질의 체결스프링과 Nylon 66 재질의 절연블럭, 정적스프링계수 66.6kN/mm를 갖는 Natural rubber 재질의 레일패드와 GCD500 재질의 베이스플레이트, Polyurethane 재질로 정적스프링계수 22.5kN/mm를 갖는 베이스플레이트 패드로 구성되어있다. 체결장치구간과 방진침목구간에는 침목매립식 솔더를 사용한 체결장치를 부설하였으며, 구성품으로는 체결스프링, 절연블럭, 레일패드, GCD500 재질의 솔더로 구성되어있다. 그림 2는 현장부설 중, 방진침목부설구간과 슬래브레도 부설구간에서의 레일체결장치의 모습이다.

## 3. 현장계측

### 3.1 계측항목과 방법

레일체결장치에 대한 현장계측 항목은 표 1에서와 같이 변위와 응력을 측정하였다. 열차의 주행시 레일수직변위와 레일의 회전으로 인한 레일두부횡변위를 측정하고, 국내의 기준을 만족하는지 여부를 확인한다. 그림 3은 레일수직변위와 레일두부횡변위를 측정하기 위한 변위계 부착모습이다.

구분	계측항목	센서
변위	레일수직변위	5mm L.V.D.T
	레일두부횡변위	5mm L.V.D.T
응력	체결스프링 응력	2mm 3축 Strain Gauge

표 1 계측항목

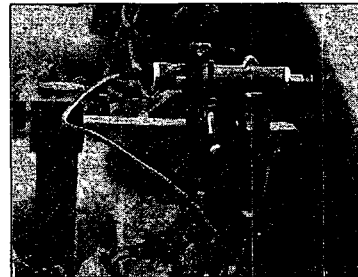


그림 3 레일변위계 설치

레일두부횡변위를 측정하는 변위계는 그림 3과 같이 레일 두부의 곡면이 끝나는 지점에서 3mm 아래 위치에 설치하였고, 레일수직변위를 측정하는 변위계는 침목과 침목사이에 변위계를 설치하여

계측한다. 열차주행으로 인해 레일이 회전하게되면 체결스프링과 레일과의 접촉점이 상하로 변위 되면서 변위량에 비례하여 스프링 체결력에 변동이 생겨, 스프링 각 부분의 응력이 변동하고, 횡압을 받는 구조 스프링의 경우, 횡압에 의해서도 당연히 스프링 각부 응력이 변화한다. 이들 변동 응력의 총계와 초기 체결에 의해 발생한 응력에서 평균 응력과 변동 응력을 구하여 이것이 항시 스프링 강의 피로한도가 있는 일정한 기준 내에 들어가는지를 확인한다. 그림 4는 체결스프링 응력을 계측하기 위한 체결스프링에 스트레인게이지를 부착한 모습이다.

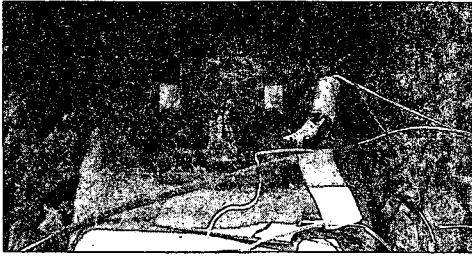


그림 4 체결스프링응력

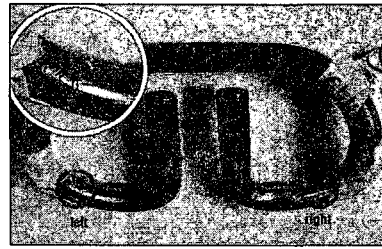


그림 5 스트레인게이지 부착

그림 5는 실내성능시험 시 체결구의 응력을 측정하기 위해 스트레인게이지를 부착한 모습으로 구조해석 결과, 응력이 가장 높게 발생하는 위치에 스트레인게이지를 부착하였다.

### 3.2 계측장비

계측에 이용된 계측장비들의 채널은 모두 16개 채널이며, 스트레인게이지, 변위계를 조합하여 측정할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 특히, Data Acquisition 장비는 계측 직후에 저장한 신호들을 현장에서 바로 확인 할 수 있으며, Sampling Rate를 자유롭게 설정할 수 있다. 또한 Dynamic strain amp.에서 출력되는 신호가 10V 정도로 매우 크고, 증폭비율을 자유롭게 조절할 수 있으므로 측정대상물 스트레인 계측범위를 미리 예측하여 설정하면 노이즈가 적은 양질의 신호를 획득할 수 있다.

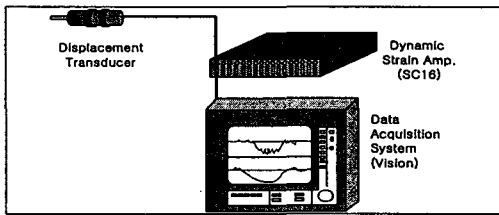


그림 6 변위계 측정 시스템

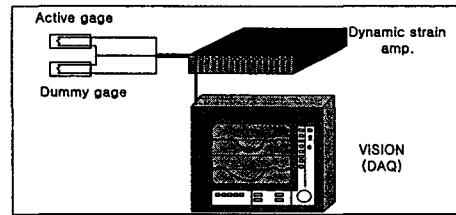


그림 7 응력 측정 시스템

### 3.3 열차하중

그림 8은 현장시험 시 측정에 사용된 차량으로 4200호대 기관차와 화차가 사용되었으며, 차량편성은 기관차 1량과 화차 5량을 연결하였다. 4200호대 기관차는 다른 디젤전기기관차와 달리 1대차에 2바퀴로 구성이 되기 때문에 3바퀴 1대차인 차량보다 총중량이 가볍지만, 축중은 22ton으로 개발차량 축중인 17ton을 확보할 수 있다. 4200호대 기관차는 BO-BO 대차형식이며, 축당중량 22ton이고, 총 차체길이는 14.710m이며, 대차간 중심거리 7,620mm, 고정축거는 2,438mm이다.



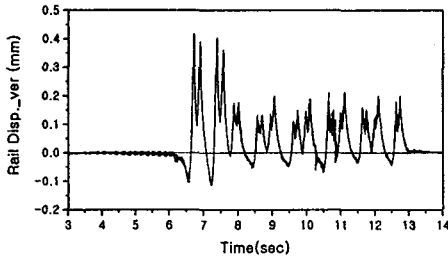
그림 8 4200호대 기관차와 화차

### 3.3 계측결과

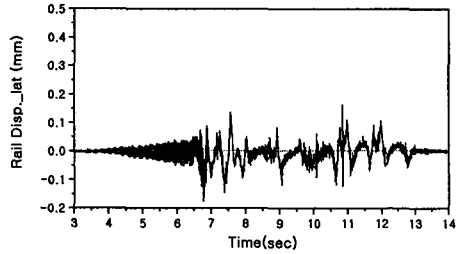
현장계측은 부설구간에서 현장부설 후 45일 이후 측정하였으며, 부설구간에서 열차속도를 10km/h 씩 45km/h까지 증속하면서 각각의 항목을 계측하였다.

#### 3.3.1 레일변위

그림 9와 그림 10은 유도상궤도와 슬래브궤도구간에서 측정한 45km/h 속도에서 각각의 레일수직 변위와 레일수평변위 시간이력곡선의 일례이다.

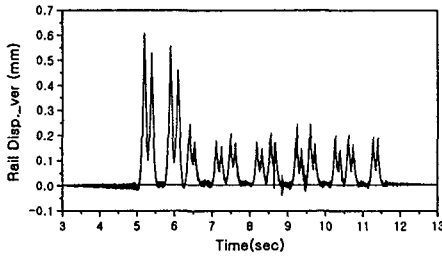


(a) 45km/h에서의 레일수직변위

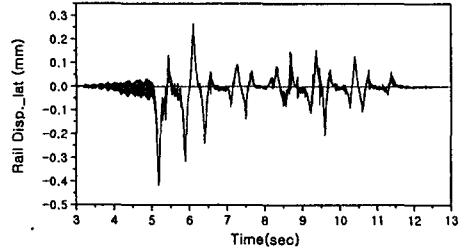


(b) 45km/h에서의 레일두부 횡변위

그림 9 유도상구간에서의 레일변위



(a) 45km/h에서의 레일수직변위



(b) 45km/h에서의 레일수평변위

그림 10 슬래브궤도구간에서의 레일변위

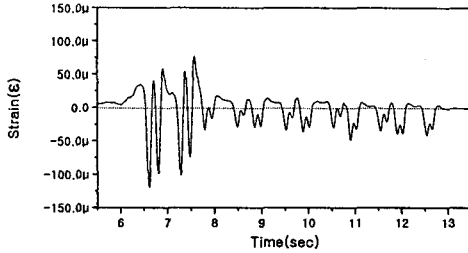
각 측정위치에서의 속도별 최대변위량을 나타내면 표 2 와 같다. 표 2에서 레일수직 및 수평변위량은 열차의 속도에 따라 증가하는 경향을 나타내고 있으나 저속에서의 실험이므로 속도에 영향이 그리 크진 않았다. 측정값이 경향을 벗어나는 것은 속도의 영향이라기보다는 대차 및 바퀴의 불규칙한 형상이 기인한다고 판단된다. 계측결과, 각 속도별 최대변위량의 값은 모두 기준치를 만족하고 있지만 고속주행시의 성능평가를 위한 추가적인 증속시험이 요구된다.

구분	유도상궤도구간		슬래브궤도구간		
	속도(km/h)	레일수직변위(mm)	레일두부수평변위(mm)	레일수직변위(mm)	레일두부수평변위(mm)
	14	0.405	0.109	0.517	0.216
	23	0.413	0.120	0.526	0.265
	30	0.419	0.139	0.527	0.304
	38	0.397	0.149	0.648	0.608
	45	0.417	0.176	0.609	0.417
고속철도설계기준		1.500	3.000	1.500	3.000

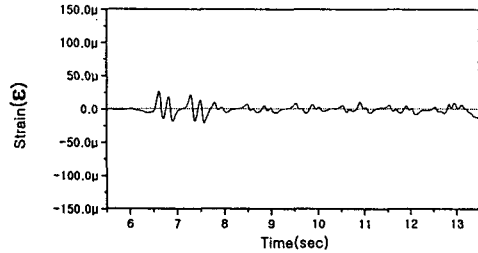
표 2 각 속도별 최대변위량

### 3.3.2 체결스프링 응력

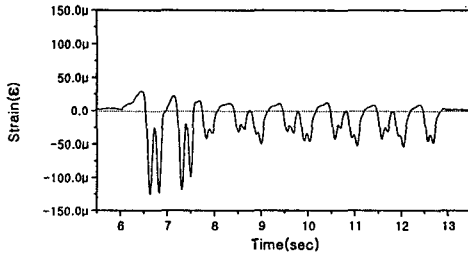
그림 11은 유도상궤도에서 측정된 45km/h 속도에서 체결스프링 변형률의 시간이력곡선의 일례이다.



(a) 45km/h에서의 변형율(ε<sub>a</sub>)



(b) 45km/h에서의 변형율(ε<sub>b</sub>)



(c) 45km/h에서의 변형율(ε<sub>c</sub>)

구분	ε <sub>1</sub>	ε <sub>2</sub>	ε <sub>3</sub>
max. strain	-1.194E-4	2.596E-5	-1.256E-4

그림 11 레일체결스프링 변형률

## 4. 결론

본 연구에서는 현장에서의 적용성과 문제점등을 파악하기 위하여 KRRI 레일체결장치의 현장부설 및 현장 실차시험을 수행하고, 이를 통하여 KRRI 레일체결장치가 국외의 주행판정기준을 만족하고 있는지의 여부를 검토하였다. 그 결과, 유도상궤도와 슬래브궤도구간에 부설한 KRRI 레일체결장치는 50km/h까지의 실차시험에서는 국내의 고속철도 설계기준을 만족함을 확인하였고, 추후 고속주행시의 성능평가를 위한 추가적인 증속시험이 요구된다.

## 참고문헌

1. "고속철도 선로구축물시스템 엔지니어링 기술개발". 한국철도기술연구원(2000.)
2. "절연성능을 지닌 레일체결장치용 신형 경량화솔더의 개발", 한국철도기술연구원(2000.)
3. "Fastening system performance specification", SNCF
4. "AREA Manual for Railway Engineering", American Railway Engineering Association (1996)
5. "레일체결장치류사양서(안) : 표준시공·보수요령(안)" 平成4年9月 일본철도총합기술연구소
6. "체결장치편람", 昭和59年 일본철도시설협회
7. "레일체결용 Pandrol Clip에 관한 연구", 서울대학교 부설 생산기술연구소(1981.)
8. "DY형 레일체결구에 관한 연구", 서울대학교 부설 생산기술연구소(1981.)