

# 레일체결장치 다축피로시험장비 구축

## The Establishment of Multi Axial Fatigue Testing System for Rail Fastening Component/System

김 은\*                      김 태 옥\*\*                      박 옥 정\*\*\*  
Kim, Eun                      Kim, Tae Wook                      Park, Ok Jung

### ABSTRACT

This paper describes overall background and current status of the establishment of multi axial fatigue testing system for rail fastening component/system. With above viewpoint, general features of rail fastening system, domestic/international testing standards, main features of testing system, application plan, etc. are summarized.

### 1. 서 론

현재 국내 철도환경은 경부고속철도 개통, 도시철도의 확장 및 경량전철의 적용, 자기부상철도와 같은 신개념 철도시스템 도입과 기존선의 전철화, 남북철도 연계, 대륙철도망과의 연계와 같은 국가적인 차원에서 작업들이 지속적으로 계획 및 수행되고 있다. 그러나 현재까지 이뤄온 기술적 발전에도 불구하고, 국내의 경우, 철도기술개발 및 적용의 최우선적 근간이라고 말할 수 있는 전용 시험시설 및 시험장비는 국외 철도선진국에 비해 절대적으로 부족한 상황으로 판단된다. 이러한 측면에서 정부에서는 1996년, 경부고속철도 도입과 맞물려 고속철도 시스템 - 차량, 신호, 전력, 궤도, 노반, 구조 등 - 의 종합적인 실내성능검증, 선진국에 비해 상대적으로 낙후된 철도산업의 발전과 선진 철도기술의 수용 등을 위해 철도청 산하 철도기술 연구시험시설과 고속철도건설공단 산하 고속철도 차량성능시험시설의 통합을 결정한 후, 1997년 “철도종합연구시설 건설 기본계획”을 수립하고 선진국 규모의 대형 시험시설과 시험장비를 구축하려는 노력을 시작한 바 있으며, 그 결과 2004년을 기준으로 의왕시 월암동 철도교육단지 인근 부지에 차량, 전력 관련 대형 시험동을 구축하고, 2006년 현재 차량, 전력 관련 대형 시험장비 7종의 구축과 함께 궤도, 노반, 구조, 환경, 전철 관련 대형 시험동의 건설을 진행 중에 있다. 그러나 이러한 성과에도 불구하고 IMF 이후 “철도종합연구시설 건설 기본계획” 계획예산의 삭감 등으로 인해 원래 계획되었던 부분에서 전체 철도시스템 기술의 핵심이라고 말할 수 있는 궤도/노반/구조/환경/전철 관련 시험장비 부분이 누락된 상태로 전체 사업이 진행되어 온 바, 이 부분에 대한 해결을 위해 “철도기술 선진화연구기반조성사업”이 건설교통부 신규 연구개발사업으로서 기획 및 수행되기에 이르렀다.

2005년도부터 시작된 철도기술 선진화 연구기반 조성사업은 전술한 바와 같이 궤도/노반/구조/환경/전철 관련 전용 연구시험장비(총 10종, 그림 1 및 표 1 참조)의 구축을 목표로 하고 있으며, 2007년 현재 2차년도 사업이 진행중에 있다.

\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 eunkim@krri.re.kr 031-460-5328  
\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 karisma2k@krri.re.kr 031-460-5331  
\*\*\* 한국철도기술연구원 궤도토목연구본부 ojpark@krri.re.kr 031-460-5774

본 논문은 철도기술 선진화 연구기반 조성사업의 수행을 통해 구축 예정인 “레일체결장치 4축 피로시험기(레일체결장치 다축피로시험 시스템)”의 구축배경과 구축현황 등을 소개하고자 하는 차원에서 작성되었다. 이러한 측면에서 본 논문에서는 철도 궤도의 핵심 구성품인 레일체결장치의 일반적 특징, 관련 시험규격 등과 함께, 구축예정인 “레일체결장치 4축 피로시험기(레일체결장치 다축피로시험 시스템)”의 주요 특징, 향후 활용분야 등에 대해 서술하고 있다.

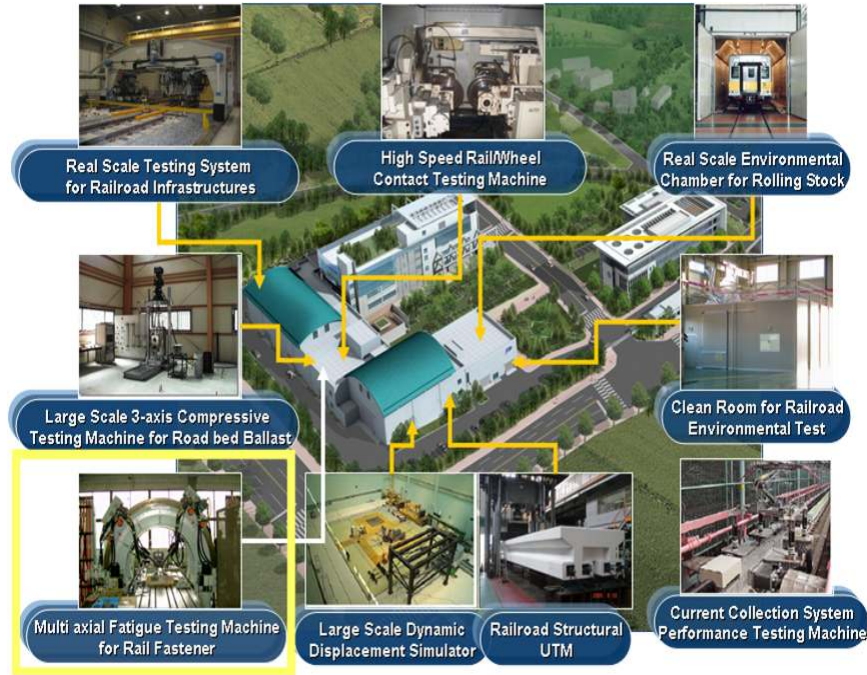


그림 1. 철도기술선진화연구기반조성사업 구축시험장비 및 시험시설 개요도

표 1. 철도기술선진화연구기반조성사업 구축장비 목록 및 우선순위

시험장비 명	구축순위	용도
레일체결장치용 4축(다축)피로시험기	1	레일체결장치 구성품/시스템의 종합성능 평가
궤도/노반/구조 종합성능시험기	2	궤도/노반/구조 시스템의 종합성능 평가
고속 레일/차륜 접촉시험기	3	차륜/레일 접촉에 따른 레일 손상특성 평가
대형 진동 삼축압축 시험기	4	열차하중 재하시 도상골재의 변형특성 평가
다자유도 가진 진동대	5	철도구조물 및 부재의 지진거동특성 평가
철도 구조 성능평가 시험기	6	철도구조물 및 부재의 재료특성 평가
환경실험용 범용 클린룸	7	환경실험 수행을 위한 클린환경 조성
전차선로 집전계 주행시험기	8	전차선로 및 금구류, 시스템의 종합성능 평가
철도차량 실험용 환경챔버	9	극한환경 하에서의 철도차량 성능 평가
오염토양조사용 Geo-Probe	10	철도연변부지의 오염환경 정밀조사

## 2. 레일체결장치 및 관련시험

### 2.1 레일체결장치

레일체결장치는 레일과 침목(지지체)을 이어주는 역할을 하는 궤도의 핵심 구성품으로서, 특히 전체 궤도시스템을 기준으로, 열차주행에 따라 레일에 전달되는 정/동적 하중을 하부구조체로 전달하는 1차적 매개체로서 작용한다는 데 중요한 의미를 갖는다. 최근 들어 콘크리트 도상궤도의 수요가 증가하면서 차량의 주행안전성 및 승차감 확보, 열차의 충격하중에 대한 궤도의 구조안전성 확보, 궤도의 진동/소음 저감, 궤도선형의 조정 등과 같은 다양한 측면에서 레일체결장치의 자체적인 구조적 안전성과 합

계 기능적 사용성의 확보가 요구되고 있다. 현재 국내의 경우, 국가연구개발사업의 수행을 통해 최근 철도기술연구원에서 자체적으로 개발한 레일체결장치가 있으나 아직 상용화되지는 못한 상태이며, 일반철도/도시철도/고속철도 공히 국외에서 도입해 온 레일체결장치(대표적인 국외 도입 레일체결장치로는 영국의 Pandrol System, 독일의 Vossloh System 등이 있다)들이 부설/적용되어 있는 상황이다.

## 2.2 레일체결장치 관련 시험

모든 철도용품/시스템과 동일하게, 현장에서의 적용을 위해서는 현장상황과 유사한 상태에서의 객관적인 성능인증이 절대적으로 요구된다. 현재 국내/외를 기준으로 레일체결장치의 성능인증과 관련된 시험 규격은 다음과 같다.

- 국내 규격
  - 고속철도 공사 전문시방서(궤도편)
  - 레일체결장치 성능시방서(고속철도공단)
- 국외 규격
  - EN13481, Railway Applications - Performance Requirements for Fastening Systems Part I~VII
  - EN13146, Railway Applications - Test Methods for Fastening Systems Part I~VIII

국내/외 규격에서 규정하고 있는 레일체결장치 관련 시험은 총 9가지이며, 아래 그림들은 각 시험의 개요도를 보여주고 있으며, 각 시험의 특징은 다음과 같다.

### 가. 수직스프링계수시험

수직스프링계수시험은 체결시스템의 정적 및 동적 스프링계수를 측정하는 시험으로 여기서 측정된 동적스프링계수를 이용하여 반복하중시험에서의 하중재하각도 및 하중위치, 하중크기를 결정한다.

### 나. 체결력시험

체결력시험은 체결스프링의 초기체결력, 즉 하중이 재하되지 않은 상태에서의 체결스프링의 체결력을 측정하는 시험으로서, 여기서 초기 체결력은 지지된 표면에서 레일을 분리하는데 필요한 하중을 측정함으로써 구한다. 일반적으로 체결장치의 체결력은 제작사의 제작사양에 따라 규정되며, 각각의 궤도조건 및 하중조건에 따라 결정되어지는데, 국내 기존 철도에서 통용되는 철도용품표준규격과 고속철도전문시방서에서도 각 제품별 제작사양에 따라 체결력 기준이 규정되고 있다.

### 다. 종방향저항력시험

종방향저항력시험은 궤도의 좌굴이나 축력검토에 사용되는 종방향저항력을 측정하는 시험으로 침목이 구속되어 있는 상태에서 침목에 고정되어 있는 레일을 당겨서 종방향 하중을 가하고, 침목에 대한 레일의 상대적인 움직임을 기록하여 탄성범위 내에서 재하할 수 있는 최대하중을 측정한다. 이 때 기록된 하중과 변위에 대한 하중곡선으로 체결장치의 종방향저항력을 판단한다.

체결장치의 종방향저항력은 체결력과 마찬가지로 각각의 궤도조건 및 하중조건에 따라 결정된다. 특히 축력이 많이 발생하는 교량구간에서는 발생하는 축력에 따라 종방향저항력을 갖지 않는 활동체결장치를 사용하기도 한다. 하지만, 유럽표준규격인 EN 규격의 경우, 곡선반경 150m 이상의 구간에서 260kN의 최대축하중이 작용하는 콘크리트 궤도의 체결장치에서는 열차주행속도가 250km/h 이상에서는 9kN 이상, 250km/h이하일 때는 7kN이상으로 규정하고 있다.

### 라. 비틀림저항력시험

비틀림저항력시험은 레일의 횡방향으로 하중을 재하하여 하중에 따른 레일의 각도와 변위를 측정하는 시험으로 침목사이의 레일에 횡방향 하중이 작용될 때 체결장치 1조당 레일의 비틀림에 대한 저항력을

측정하는 시험이다. 이 시험에서 측정된 비틀림저항력은 궤도의 좌굴검토에 사용된다.

**마. 반복하중시험**

반복하중시험은 체결장치가 주기적 진폭의 하중 재하시 체결장치 구성품의 파손이나 이상의 발생유무를 판단하고, 반복하중시험 전후의 체결장치의 성능변화를 알아보기 위한 시험이다. 일반적으로 반복하중시험 후 종방향저항력의 변화량은 20% 이하, 수직탄성계수 변화량은 25% 이하, 체결력은 20% 이하의 변화량을 가져야 한다고 규정되어있다.

이 시험에서 주기적인 진폭은 하나의 액추에이터에 의해 적용된 주기적인 힘으로서, 하중 재하시 사용되는 적용위치는 체결장치의 동적 수직탄성계수로부터 결정된다.

**사. 전기저항시험**

궤도에서의 전기절연은 신호 및 전기 분야에서 중요한 부분으로 보안시스템이 궤도회로에 의존하고 있는 경우에 이른바 신호전류를 위해 좌우레일간의 절연이 되어야 하고, 교류구간에 있어서 통신유도장해 대책, 변전소에의 귀신 전류를 누설하지 않게 하기 위한 절연, 즉 레일과 대지와의 절연이 필요하다. 또한 레일절손을 파악하기 위해서도 절연은 필요하다. 이러한 이유로 체결장치 성능시험에서 전기저항 시험을 수행한다. 콘크리트 침목에 체결된 두 개 레일 사이의 전기저항은 모든 침목과 체결장치에 적정 비율로 수분을 머금었을 때 측정되며, 유럽표준규격인 EN규격에서는 5kΩ 이상의 성능을 규정하고 있다.

수직스프링계수시험	체결력시험	종방향저항력시험
비틀림저항력시험	반복하중시험	전기저항시험
부식저항시험	충격감쇠시험	인발저항시험

그림 2. 레일체결장치 성능인증 관련 시험 개요도

#### 아. 부식저항시험

현장에서 사용될 레일체결장치는 부식에 대한 저항력이 있어야 한다. 부식에 의한 마모 및 파손, 또는 부식으로 인하여 해체 및 조립이 불가능한 체결장치는 현장에서 사용될 수 없다. 이러한 이유에서 극한 환경조건에서 부식저항시험을 수행하고 해체, 조립의 용이성 및 각 부품의 상태를 기록하여 부식에 대한 저항성능을 파악한다. 시험은 ISO 9227 Salt spray test 규정을 따르며, 완전조립 체결장치가 염분에 노출되어 시험된다.

#### 자. 충격감쇠시험

이 시험은 패드의 충격감쇠효과를 평가하는 시험으로 궤도에 발생하는 충격하중에 대한 체결장치의 성능을 평가한다. 충격감쇠시험은 콘크리트 침목에 체결된 레일의 상부에 질량을 떨어뜨려 하중을 가하고, 충격의 영향은 콘크리트 침목에서의 스트레인으로 측정한다. 체결장치의 충격 흡수효과는 낮은 감쇠효과를 가지는 시험패드를 사용하였을 때 발생하는 스트레인을 비교하여 평가한다. 시스템에서 기준패드를 사용하여 충격하중에 의하여 발생한 스트레인은 측정위치에서의 침목의 균열스트레인의 80%로 한정된다. 낙하 질량, 낙하 높이와 가격 머리부위의 탄성은 스트레인 한계를 넘지 않도록 조정된다. 낙하 하중, 낙하 높이와 가격 머리부위는 고정시킨 상태에서 시험패드를 교체시켜 가며 시험을 수행한다.

#### 차. 인발저항시험

이 시험의 목적은 콘크리트 침목 또는 지지체 안에 매립된 부분(솔더, 매립진, 앵커볼트 등)이 체결시스템 또는 유지보수 장비에 의한 하중을 견딜 수 있는가를 측정하는 시험으로 하중프레임을 통해 지지체에 수직방향으로 정적하중을 재하하여 시험한다.

### 3. 레일체결장치 전용 시험장비 구축

#### 3.1 필요성

국내의 경우, 핵심 궤도 구성품인 레일체결장치에 대해 객관적 성능 인증이 가능한 전용 시험장비가 없는 상태이다. 현재까지의 모든 시험은 일반 범용 구조시험 장비(재료시험기 등)를 이용하여 수행되어 왔으며, 이 경우 하중재하를 위한 jig류 등을 별도 제작해야 하는 불편함과 함께, 하중/변위 측정대상 Range와 실제 재하범위와의 차이 등으로 인해 시편 및 시험장비 자체에 손상을 가져온 경우도 있으며 결과적으로는 다음과 같은 상황을 유발시켜왔다.

- ⇒ 국내에서 자체 개발된 레일체결장치의 경우, 전용 시험장비의 부재로 인해 연구결과의 신속한 수정/보완, 조기 실용화를 위한 성능검증의 지연
- ⇒ 국산 레일체결장치의 부재로 인한 국외용품의 수입, 즉 기술적 종속이 지속 (기존, 도시, 고속철도 모두 국외용품 사용, 1,700개/km 소요)
- ⇒ 특히 국외 용품 도입시, 객관적인 시험인증 작업이 수행되지 못하는 상태에서 납품업체의 자체적인 시험성적서에 의존하는 상황

반면, 철도선진국인 일본 RTRI(철도총합기술연구소)의 경우에는 1970년대 이래로, 전용 시험장비의 개발 및 지속적인 수정/보완 작업을 통해 레일체결장치 전용 시험장비를 현 수준까지 발전시켜 왔으며, 시험장비를 이용한 지속적인 시험을 통해 독자적인 레일체결장치를 개발, 적용해 왔다. 이러한 상황을 종합적으로 고려해 볼 때, 선진국에 대한 기술적 종속의 타파 및 국내 철도기술의 혁신적 발전기반 구축의 일환으로 철도 궤도의 핵심구성품인 레일체결장치에 대한 전용 시험장비의 구축이 요구되어 온바, “철도기술 선진화 연구기반 조성사업”의 일환으로 “레일체결장치 전용 다축피로시험 시스템”의 구축이 계획되었다.

### 3.2 제원 및 개념도

구축대상인 “레일체결장치 전용 다축피로시험 시스템”의 개념도는 그림 3과 같고, 동적시험을 위한 전용프레임인 U-Frame의 상세도는 그림 4와 같다.

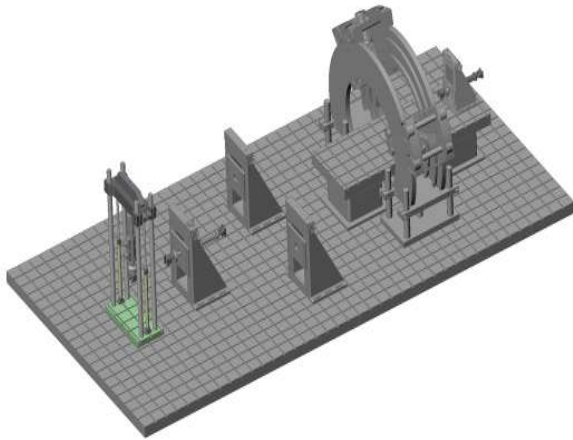


그림 3. 레일체결장치 다축피로시험기 개념도

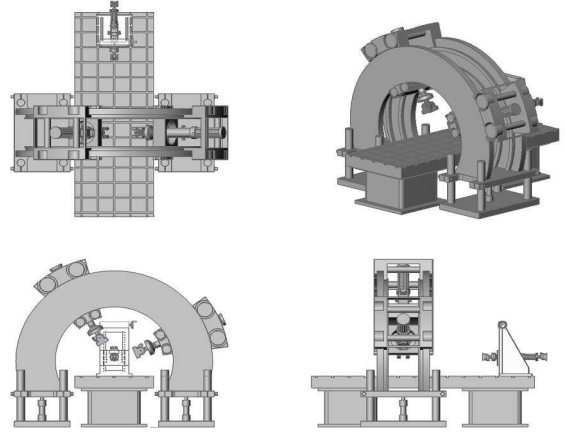


그림 4. 동적시험 전용 U-Frame

### 3.3 주요 구성품

- U Frame 1대(side frame 1대 포함)
- Side Frame 3대
- 데이터 처리장치 1대
- Control System 2식
- Actuator 6대
- Portal Frame 1대
- 유압/냉각장치 각 1식

### 3.4 성능

- 하중 크기 : 정하중 20/10/5/2.5ton, 동하중 16/8/4/2.0ton
- 유압 성능 : 각 액추에이터의 최대 동적하중 작용 시 20Hz/±1.5mm 이상

### 3.5 국내의 유사장비 보유현황

국내의 경우, 전술했던 바와 같이 일반 구조관련 범용 시험장비를 제외하고는 레일체결장치의 성능시험을 위한 전용시험장비가 없는 상태이며, 국외의 경우에는 철도선진국인 일본과 중국에 레일체결장치 전용 시험장비가 유사한 형태로 구축/운영되고 있는 상황이다. 현재 철도기술연구원에서 구축하고자 하는 시험장비와 국외 장비와의 상대적 차별성은 다음과 같다.

- 국외의 시험장비와는 달리 TEST BED를 넓게 배치하여 셋팅의 편의성 및 시험공간의 활용도를 증대시킴. 즉 동시/분할 시험/셋팅이 가능하도록 구성.
- U-Frame으로 이루어진 주 장비 외에 체결장치에서 핵심적인 역할을 하는 레일패드의 정밀시험을 위해 저하중의 Actuator를 구성하도록 한 동시에, 체결장치 구성품들의 동시 시험이 가능하도록 전체 시험기를 설계.
- 다축 연동 시 iteration과 adapted control 기법을 이용하여 사용자가 지정한 임의의 파형을 구현할 수 있도록 함.
- 관련 국내/외 규격에 의거한 체결장치 관련 시험(9가지 중 핵심시험 6가지에 대한 동시 시험 가능) 구현 가능

### 3.6 활용도

“레일체결장치 전용 다축피로시험 시스템”의 구축 이후 활용도는 크게 철도기술 연구개발사업 내 세

부과제들과의 연계, 국내/외 레일체결장치 구성품/시스템에 대한 성능검증으로 구분될 수 있으며, 현재 활용계획은 다음과 같다.

- 기존 및 추후 철도기술 연구개발 과제와의 연계
  - ⇒ 고속철도 선로구축물 시스템 안정화 기술개발 (건설교통부, 2005~2008)
  - ⇒ 콘크리트레도 인터페이스 성능향상 연구 (철도시설공단, 2005~2008)
  - ⇒ 레도분야 소음 진동 설계기준 개발연구용역(철도시설공단, 2006~2008)
  - ⇒ 차량레도 상호작용을 고려한 연직레도틀림 추정기법개발(과학기술부, 2007~2008)
  - ⇒ 차세대 고속철도 기술개발 사업 (건설교통부, 2007~2011)
- 기존 상용 및 신규 개발 국내·외 레일체결장치의 객관적 성능 검증
- 신규 개발 국내 레일체결장치의 성능 개선 및 보완
  - 고속철도 자갈도상레도용 레일체결장치의 성능 시험, 연 50일
  - 고속철도 콘크리트레도용 레일체결장치의 성능 시험, 연 50일
  - 도시철도 자갈도상레도용 레일체결장치의 성능 시험, 연 50일
  - 도시철도 콘크리트레도용 레일체결장치의 성능 시험, 연 50일

#### 4. 결론

본 논문은 철도기술선진화연구기반조성사업의 수행을 통해 구축 예정인 “레일체결장치 4축 피로시험기(레일체결장치 다축피로시험 시스템)”의 구축배경과 구축현황 등을 소개하고자 하는 차원에서 작성되었다. 철도 레도의 핵심 구성품인 레일체결장치의 일반적 특징, 관련 시험규격 등과 함께, 구축예정인 “레일체결장치 4축 피로시험기(레일체결장치 다축피로시험 시스템)”의 주요 특징, 향후 활용분야 등이 정리되어 있으며, 구축예정인 시험장비는 국내 최초, 세계 3번째의 레일체결장치 전용 시험시스템이라는 데 주요 의의가 있고, 국내 철도기술의 발전기반인 동시에 연구개발의 근간으로서 향후 상당한 활용효과를 가져올 것으로 판단된다.

#### 5. 참고문헌

- 1) 도시철도 선로시스템 표준화 연구보고서, 2004, 한국철도기술연구원
- 2) 철도기술 선진화 연구기반 조성 1차년도 연구보고서, 2006, 한국철도기술연구원
- 3) 철도기술 선진화 연구기반 조성 2차년도 연구보고서, 2007, 한국철도기술연구원
- 4) EN13481, Railway Applications - Performance Requirements for Fastening Systems Part I~VII
- 5) EN13146, Railway Applications - Test Methods for Fastening Systems Part I~VIII