

새로운 레일체결장치 개발에 관한 연구

A Development of New Rail Fastening System

권태수 * 김 은 * 임영락 **
Kwon, Taesoo Kim, Eun Yim, Younglark

ABSTRACT

본 연구는 국내 독자기술의 절대적 빈곤속에서 외국기술에만 의지하는 레일체결장치의 국내 현실을 탈피하기 위하여 독자적인 한국형 레일체결장치 개발을 시도하는 것이다. 본 연구에서는 판스프링은 제외하고 봉 스프링(coil spring)에 대해서만 우선적으로 시제품을 개발하였다. 세계적으로 유명한 체결장치의 장·단점을 분석하여 장점만을 취하고자 하는 설계 목적을 가지고 새로운 레일체결장치의 개발에 착수하였다. 본 장치의 개념설계를 통하여 유지보수성과 안전성을 동시에 확보할 수 있도록 하였다. 현재 장치의 모형제작을 통하여 조립성 및 가능성을 타진하였으며 전산유력해석을 통하여 체결 스프링 및 슐더의 적정치수를 산정하였다. 본 연구는 국내에서 본격적인 체결장치개발의 시초가 되기를 희망한다.

1. 서론

현재 국내의 레일 체결장치에 대한 기술수준은 국내 독자적인 모델없이 철도선진국의 기술을 전량 의존하여 사용하고 있는 실정이다. 국내독자모델의 빈곤에 따른 경험부족은 궤도의 체결장치의 문제점이 발생했을 때 기술적 대처에 난점을 갖도록 하고 있다. 또한, 국토에 혈맥처럼 이어진 철도에 대부분 외국 체결장치를 사용하는 것은 하루빨리 철도기술 선진국으로 나아가야 할 국내 형편에 비추어 볼 때 기술의 자존심 회복의 면에 있어서도 시급한 문제라고 할 수 있다. 또한, 철도선진국 기술 수준은 각 나라마다 독자적인 체결장치를 개발 독자적으로 사용할 뿐만 아니라, 외국에 수출하여 경제적 이익을 창출하고 있는 실정이므로, 이에 대한 기술 개발이 시급하다 할 수 있다.

본 체결장치 개발 연구에서는 세계적인 체결장치와 견주어 볼 때 기능이 더욱 뛰어난 제품개발에 초점을 맞추었으며, 이를 통하여 향후 관련 기반기술의 개발에 총력을 기울이고자 한다. 우선, 본 연구에서는 시제품개발에 초점을 맞추었다.

* 한국철도기술연구원, 정회원

** (주)강원레일테크, 정회원

2. 유명 체결장치들의 특징

가. 영국의 Pandrol 社

영국은 철도발상지이며 쌍두 레일 레일좌 가운데 목재 심을 이용한 체결이 오랫동안 사용되어 왔으며 현재도 이는 남아있다. 그러나 근년 들어서는 팬드롤사의 레일 체결장치가 범용화되었다.

(1) PR 클립, e 클립

이 레일 체결장치는 1957년 노르웨이 국철의 Per Pande-Rolfson씨가 발명한 것인데 이를 Pandrol사의 전신인 Elastic Rail Spike사의 자회사인 Lockspike사의 Stewart Sanson씨가 효과적이라고 판단하여 1958년 5월6일 이 회사의 특허 사용이 확정되었으며 그 직후 시험제작이 이루어졌다. 현재는 세계 레일 체결장치의 40%가 이를 사용하고 있다.

이 레일 체결장치는 선 스프링의 독특한 형상 갖춘 누름 스프링(「팬드롤 클립」이라 한다)을 침목 또는 궤도 슬라브에 직접 또는 타이플레이트 상에 설치한 받침대와 레일 바닥부 끝과의 사이에 밀어 넣어 누름 스프링 끝에서 레일을 궤도 패드 위에 체결하는 것이다.

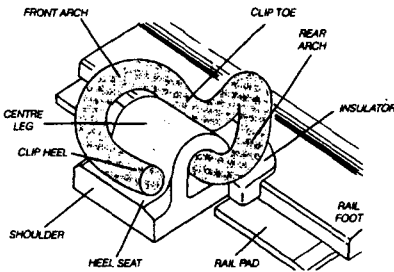


그림 1 Pandrol type PR series clip

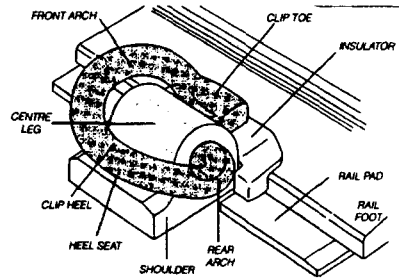


그림 2 Pandrol type 'e' series clip

이 체결 시, 팬드롤 클립은 근소하게 항복점을 넘도록 설계되어 있어 항상 일정한 체결력을 얻을 수 있으며 이 후 헐거워져서 다시 조여야 할 필요가 없는 무보수방식으로 하여 현저하게 에너지를 절약할 수 있다는 점이 특징이다. 반면, 레일 체결장치에서 궤도틀림, 부재의 마모·노후화로 인한 보정, 레일종별 변경에 대한 조절, 호환성 등에 곤란이 따른다는 문제도 있었으나 최근에는 이를 보완 할 수 있는 방법도 제안되고 있으나, 유도상 궤도는 체결 후 곡선에서 통과 틀림 정정이 곤란하다는 의견도 있다.

콘크리트 침목용 팬드롤형 레일체결장치는 주철제 앵커에 선스프링을 고정하는 심플한 구조로 패드와 인슐레이터를 포함하여 1개 레일 체결당 부품수는 7개로 세계에서 부품수가 가장 적다. 당초의 앵커는 빠져나가는 경우가 있어 몇번의 개량을 통해 현재의 앵커로 만들어 졌으며, 체결스프링도 당초에는 PR형만 사용되다가 e클립도 채용되어 사용되고 있다.

(2) FastClip

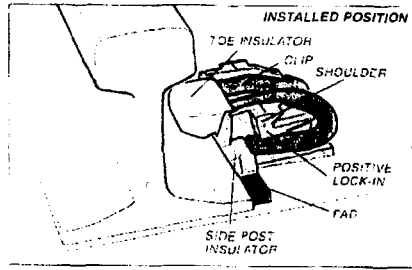


그림 3 Pandrol Fastclip

PR크립, e-크립에 이어 제품제작 및 부설, 갱환 단가를 낮추고 사용이 간편하며 유지보수비가 적게 드는 체결구를 개발하여 1992년 운행선 궤도에 부설성능시험을 마치고, 1994년부터 유럽과 미국에서 사용이 시작되었다. 그림에서 보는 바와 같이 W 형태의 스프링을 사용하였으며, 부품의 피로 수명을 높였으며, 제작비용을 낮추고 궤도부설 및 유지보수비용을 절감하고자 하는 시도이다. 특히, 완전기계화 시공이 가능하다는 것이 장점이다. 장점으로 부각되는 점을 요약하면,

- 각 부품이 침목에 예비 조립되어 현장수송
- 장대레일 재설정시 각 부품의 해체 재조립이 필요 없음
(예비 조립상태로 해체되고 재 체결가능)

나. 독일

독일에서는 오랫동안 K형 레일 체결장치가 사용되어 왔다. 이 레일 체결장치는 침목 상에 타이플레이트를 체결하고 누름 금속구를 거쳐서 레일을 체결하는 레일 체결장치이다. 탄성체결이 이루어진다는 점이 특징적이다. 콘크리트 침목 또는 철침목에 타이플레이트를 개재하고, 또는 직접 체결할 경우, 두께10mm의 방부재를 주입한 포틀러 나무를 5mm로 압축한 패드를 레일과 타이플레이트 사이, 또는 레일과 침목 사이에 삽입한다. 이 패드에는 2~10mm의 것이 있으며 패킹재로도 사용되어 왔다.

1980년대까지는 이 패드가 고무제 궤도 패드보다 특성이 좋다고 여겨졌으나 현재는 고무제 패드가 사용되고 있다. 그 후 본격적인 2중 탄성 레일 체결장치로서, 당시 뮌헨 공과대학 육상교통설비시험소 교수였던 Hermann Meier박사의 발명인 레일 체결장치가, 독일 연방철도에서 W형으로서 채택이 되었으며, 그 특허가 Vosloh사에 양도되면서, 제조와 개량개발이 이루어지고 있다. 누름 스프링으로는 선 스프링을 사용하고 있다. 최근 형식은 중앙부가 레일 바닥부까지 늘려지며, 이를 바깥쪽으로 당기면 레일에서 떨어지므로 레일 교체가 가능하며, 체결 시에는 이를 조여서 2점을 닿게 하여 2단 탄성을 실현할 수 있도록 되어 있다. 보슬러형 레일체결장치는 상기와 같이 헬만-마이아 박사의 설계가 원조이며, 당초에는 HM형 레일체결장치로 소개되어 왔다. 선스프링-나사식의 전형으로 레일의 변칙경사에 저항하는 선스프링 형상, 레일횡압력을 받는 방법, 매립부의 삽입각도, 교환전체의 매립부 삽입방법, 전기적 절연방법 등 각 부분에 대하여 치밀하게 설계

된 레일체결장치라 할 수 있다. 특징으로는 영속적이고 탄성적인 체결력을 가지고 있으며, 높은 크리프(creep)저항력을 가지고 있고, 유지보수비가 적게 드는 것과 구성부품의 수가 적어 조립과 해체가 쉽다는 특징을 가지고 있다.

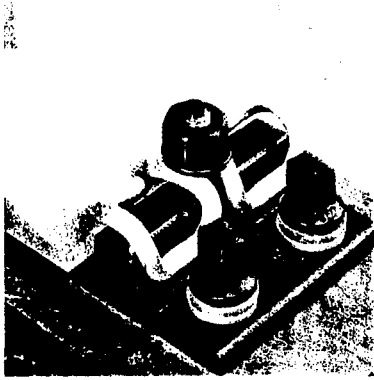


그림 4. Ski 12

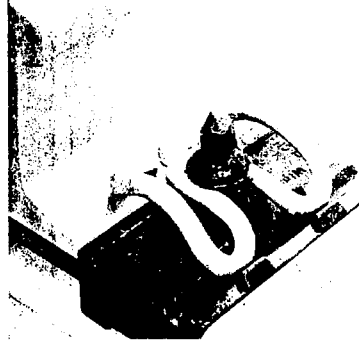


그림 5. Ski 13

3. 개발품의 목표설정

앞서, 살펴본 바에 의하면 해외의 체결장치들은 나름대로의 강한 장점을 갖고 있음을 확인할 수 있다. 향후 개발할 체결장치들은 해외의 체결장치들의 핵심적 장점들을 복합적으로 포함하도록 하는 것이 바람직하다. 따라서, 각 장치별 장점을 비교하면서, 향후 개발할 체결장치가 갖추어야 할 목표점을 분명히 하고자 한다.

선 스프링 레일체결장치의 경우는 크게 팬드롤과 보슬로로 양분되는 것으로 판단되는데, 두 방식이 나머지 부분은 대략 비슷하나, 팬드롤이 부품수가 적고, 나사를 사용하지 않는 것이 국내 운영처에 어필되는 부분이다. 이에 반해 보슬로는 팬드롤의 취약한 점으로 지적되는 틸팅이나 침목의 침하 등에 대비한 2중 안전장치를 갖고 있으므로써 장점이 부각된다. 따라서, 한국형 체결장치 봉 스프링에서는 양자의 장점을 동시에 지니도록 할 것이다.

	장점	단점
Pandrol	<ul style="list-style-type: none"> · 적은 부품수 · 시공이 용이 · 나사를 사용하지 않음 	<ul style="list-style-type: none"> · 조절성 곤란
Vossloh	<ul style="list-style-type: none"> · 2단계 틸팅 방지 장치 	

결론적으로 체결장치의 개발 목표를 아래와 같이 요약하였다.

(1) 체결작업의 용이성

- 시공성
- 장대레일 제 설정시 각 부품의 해체 제조립이 필요 없음
(예비 조립상태로 해체되고 재 체결가능)
- 적은 부품수 (팬드롤의 부품수 이하)

(2) 유지보수성

- 나사를 사용하지 않도록 하여 나사의 조임상태를 검사할 필요 없도록
- 빗물이나 이물질에 의한 파손이 없도록

(3) 안전성

- 탈링 방지를 위한 2중 체결모드
- 지반 침하에 대응하는 2중 체결모드

(4) 경제성

- 스프링의 형상이 단순하여 제작비가 저렴하도록
- 부품수를 줄여서 제작비 절감

(5) 적절한 탄성

- 2중 탄성체결장치로서 갖추어야 할 스프링계수 값
- 1000 kgf/mm 이하
- 두부 수평변위 4 mm 이하

4. 개발품의 상세설계

현재 시제품 제작중에 있는 선 스프링 방식 레일체결장치의 모델에 대해서 구체적으로 소개하고자 한다. 체결장치의 형상은 아래 그림과 같다.

가. Simple Beam



그림 6 Simple beam 3D 형상

모델은 스프링 붐을 이용하여 설계되었고 체결방식은 거꾸로 삽입하여 스프링을 잡아당기는 역방향 체결방식으로 기존방식의 여러 부작용을 해소하였다.

- 체결작업의 공간을 작게 차지한다.
- 장대레일 재설정 작업시 편리하다.
- 체결작업시 스프링이 튕기는 비상시에도 안전성이 높다.
- 잡아 당기는 작업으로써, 스프링에 걸리는 용력이 작다.
- 체결높이가 상대적으로 낮다.
- 부품수가 적다.
- 나사를 사용하지 않아 유지보수성에 유리하다.

나. Simple beam의 체결순서

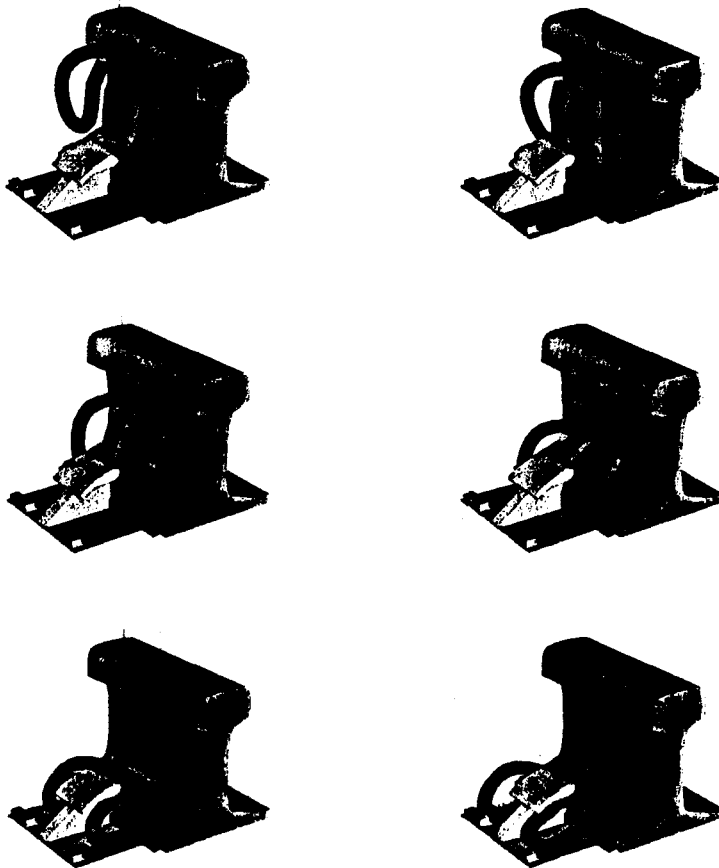


그림 7. 레일체결장치 역방향 체결방식의 설머

전술한 바와 같이 영국식 Pandrol Fastclip의 간편성과 유지보수성을 수용하고 독일식 Vossloh K14의 2중 안전장치의 장점을 혼합하여 나사를 채택하지 않는 방식으로 비상시 2중 틸팅 방지가 되도록 설계되었다.

5. 개발품의 구조해석

또한, 금년도의 연구과정 중에서 스프링의 강도 및 강성을 검토하고 그에 맞게 솔더의 치수를 결정하기 위해서 필요한 구조해석에 대해서 소개하고자 한다. 체결장치 스프링의 구조해석은 전술한 바와 같이 3차원 접촉 대변형 문제로 해석을 하여야 하지만 시제품 개발을 목적으로 하는 금년도에서 해석과정의 반복을 수행하여야 하므로 우선, 간단한 구조해석을 통하여 체결력의 산출 및 솔더의 치수결정을 행하고 시제품 스프링의 성능시험을 통하여 설계를 보정하는 방식을 취하였다. 따라서, 스프링의 강도 및 강성해석은 탄성 선형문제로 가정하여 해석하였다. 여기에서의 구조해석의 의미는 아래와 같다.

- 응력집중부 평가 (고른 응력분포 설계)
- 초기 체결력 평가
- 체결을 위한 스프링의 초기 변위량 결정 (솔더부 상세설계)

가. 스프링 재질

체결구에 사용되는 재료는 특수한 스프링 강으로 대변형에서도 고강도 특성을 유지할 수 있어야 한다. 현재 철도청에서 주로 사용되는 코일 스프링형 침목 체결구에는 KSD 3701로 SPS4와 SPS9를 사용한다. 본 연구에서는 해석 모델의 재료를 우선, SPS4으로 정하였다. 여러 가지 스프링 재료의 세로 탄성계수는 대부분 $21 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2$ 이며 다루는 재질의 탄성계수도 이에 해당한다. 또한, 대부분의 가로 탄성계수를 살펴보면, $8 \times 10^3 \text{ kgf/mm}^2$ 이나, 강재인 경우에는 소선의 지름에 따라 아래 표의 값을 취해도 좋다.

표 4.6 스프링용 강재의 가로탄성계수

소재의 지름 d [mm]	G [kgf/mm ²]
d ≥ 13	7500
5.5 < d < 13	8000
2 < d ≤ 5.5	8400
d ≤ 2	8800

표 6을 참조하여 소재의 지름에 따른 가로탄성계수를 설정하였다.

이 모델의 스프링의 구조해석은 보 요소와 연속체 요소를 사용하여 동시에 진행되었다. 두 요소 간의 구조해석 결과는 일정정도 상이한 결과를 보였으며 보 요소 보다 연속체요소를 사용하였을 때가 더 위험한 값을 주므로 안전설계(conservative design)을 위하여 연속체 요소의 결과를 채택하고 실험을 통한 더욱 정확한 결과를 이용 제품의 수정·보완을 행하기로 하였다.

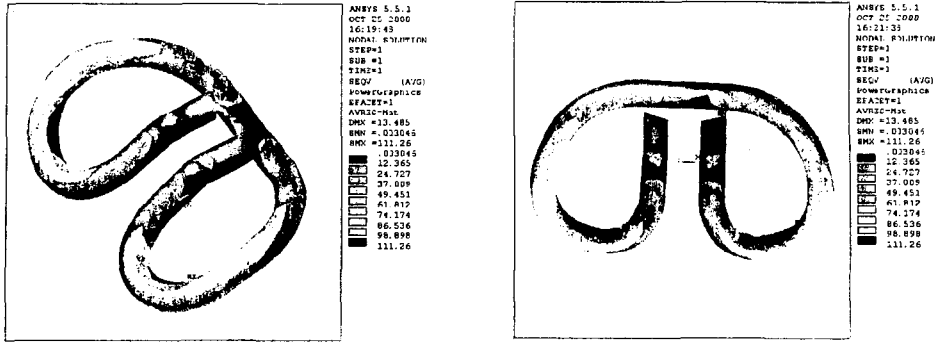


그림 9. Simple beam의 응력도

사용된 요소는 10-node tetrahedral structural solid 요소를 사용하였고, 균일한 단면이므로 mesh를 균일하게 나누었다. 스프링의 재질은 전술한 바대로 하였고, 최대 응력이 111.174 [kgf/mm²] (Von Mises Stress)가 되며, 초기 체결력은 736.58[kgf]이 되도록 설계 되어 있다.

4. 결론

본 연구에서는 국토에 꿰뚫어처럼 얽혀있는 철도 선로에 수없이 많이 사용되는 레일 체결장치 국내 기술없이 외국기술에만 의지하는 현실에서 기술종속에서 탈피하여 독자적인 새로운 체결장치 모델을 개발하는 것이다. 특히, 본 논문에서는 체결장치의 아이디어 모델을 개발하는 것을 목표로 하였다. 이를 위하여 현재 세계적으로 유명한 체결장치를 조사·분석하였으며, 특징적 장점만을 취한 새로운 체결장치 개발을 위한 지표를 설정하였다. 이러한 체결장치는 영국식 Pandrol의 FastClip의 장점과 독일식 Vossloh의 장점을 동시에 추구하도록 설계 되었다. 나사를 채택하지 않는 독특하고 간편한 체결방식을 취하였으며 비상시 2중으로 체결되도록 안전장치를 갖추고 있다. 체결장치의 상세설계를 위해 간단한 구조해석을 수행하여 체결스프링 및 체결 솔더의 적정 치수를 산정하였으며 응력 집중을 완화하였다.

체결장치의 시제품 제작을 위해 현장에서의 애로사항이 제작에 반영될 수 있도록 수정·보완 작업의 반복수행을 행하고 있으며, 실내성능시험 및 현장부설시험을 통해 체결크립의 국내 제작 기술을 확보할 것이다.

향후, 수행할 연구로서는 레도시스템전체에서 해석한 체결장치 및 패드의 요구되는 물성조건 계산/체결스프링의 3차원 대변형 마찰 접촉 해석/체결 스프링 및 솔더의 구조 최적설계/체결장치의 성능시험 기준 정립 및 시험 수행/체결장치 시제품 수정·보완/체결장치 현장부설시험/특수체결구 개발 등이 있다. 본 연구를 통하여 독자적이고 우수한 체결장치들이 개발될 것이며 기존의 기술로알타를 지拂하고 제작하던 체결장치에서 탈피하고 유지보수성, 안전성, 경제성, 기능성에 대해 세계적인 기술 수준을 확보하기 위한 기초를 마련할 것이다.

본 연구를 통해서 찾을 수 있는 의의는, 철도선진국에서는 각 나라마다 독자적인 체결구를 개발하여 사용하고 수출하는 반면, 국내에서 사용하는 체결장치의 전량을 기술 수입하는 국내 기술 상황에서 국내 독자적인 체결구 모델을 개발하여 기술자존심을 세우며, 로얄티 지불에 대한 경제적 불이익을 해소하고, 체결구 해외 수출의 발판을 마련하는 것이다.

참고문헌

1. “고속전철 궤도 및 노반개발”, 1999.10, 건설교통부, 산업자원부, 과학기술부
2. “절연성능을 지닌 레일체결장치용 신형 경량화솔더의 개발”, 2000.4, 한국철도기술연구원
3. “레일체결용 Pandrol Clip에 관한 연구”, 1981.1, 서울대학교 부설 생산기술연구소
4. “DY형 레일 체결구에 관한 연구”, 1981.11, 서울대학교 부설 생산기술연구소
5. “레일체결장치류사양서(안) : 표준시공·보수요령(안)”, 平成4年9月, 일본철도총합기술연구소
6. “체결장치편람”, 昭和59年, 일본철도시설협회