

신형레일체결장치의 성능평가

A study of an efficiency test for new style rail fastening system

김은* 양신추** 이종득***
Kim, Eun Yang, Shin-Chu Lee, Jong-duk

ABSTRACT

This research carried out the experimental manufacture of the improved fastening device and its performance test as well as the structural improvement of the prototype of a new type of fastening device developed through G7 Project during the first year of the second phase. Firstly, a supplementary design for each part of the prototype was carried out in order to improve its performance and a structural analysis in order to review the stress on the fastening spring. Secondly, another prototype was manufactured and then a performance test was carried out with the criteria used for the same kind of test on the authorized ones, both at home and abroad. Finally, the usability of the device was reviewed by comparing above-mentioned test result with that of those already under commercial use.

1. 서 론

체결장치는 레일과 침목을 적절히 연결하는 기능이 가장 중요하지만 체결장치의 성능에 따라 차량의 주행안전성 및 승차감, 열차충격하중에 대한 궤도의 구조안전성, 그리고 열차 구동소음 등에 큰 영향을 주는 철도궤도에 있어 중요한 구성품이라 할 수 있다. 따라서 철도시스템 성능향상 및 철도현장에서 발생하는 많은 기술적 문제를 해결하기 위해서는 레일체결구에 대한 원천기술의 확보는 매우 중요하다고 할 수 있다.

본 연구는 G7 2단계 1차년도까지 사업[1]을 통하여 개발된 시제 체결구의 성능향상을 위한 구조개선과 개선체결구의 시험제작 및 그에 대한 성능검증을 수행하였다. 먼저 시제개발된 체결구의 성능을 향상시키기 위하여 체결구 각 부품에 대한 보완설계를 수행하였고, 체결스프링에 대해서는 응력 검토를 위하여 구조해석을 수행하였다. 또한 개선체결구를 시험제작한 후 국내외적으로 공인된 체결구의 성능시험기준을 적용하여 성능시험을 수행하였다. 시험을 통하여 얻어진 결과들을 외국에서 개발되어 상용화되고 있는 체결구들의 시험결과들과 비교함으로써 사용성을 검토하였다.

2. 설계 및 제작

그림 1은 신형레일체결장치의 3차원 모형을 나타낸다. 신형레일체결장치는 선 스프링을 이용한

* 한국철도기술연구원 주임연구원
** 한국철도기술연구원 책임연구원
*** 한국철도대학 교수

대표적인 체결장치들의 장점을 동시에 지니도록 설계되었다. 팬드롤사의 제품과 같이 부품수가 적고 나사를 사용하지 않는 체결방식과 보슬리사의 제품과 같이 톨딩이나 침목침하등에 대비한 2중안전장치를 갖추어 2단선형스프링상수를 나타내는 특징들을 갖도록 설계하였다. 그외에 신형레일체결장치의 장점은 다음과 같다.

①체결작업의 공간을 작게 차지한다. ②장대레일 재설정 작업시 편리하다. ③체결작업시 스프링이 뒹기는 비상시에도 안전성이 높다. ④잡아당기는 작업으로써, 스프링에 걸리는 응력이 작다. ⑤체결높이가 상대적으로 낮다.

설계시 체결클립의 상용화를 위해서는 개발된 체결클립의 크기가 크다고 판단하여 스프링강의 재질향상을 이룬다는 전제 하에 형상을 축소하여 설계·제작하였다. 체결클립은 10mm변위에서 1000kg이상의 체결력을 갖도록 설계하였고, 13mm에서 체결클립의 끝단이 절연블럭에 닿도록 하여 2단선형스프링상수를 갖도록 설계하였다. 그리고, 신형레일체결장치에서 체결클립이 체결되는 부분인 클립걸이부분을 솔더방식으로 제작하게되면 침목에 매립하여 시험을 하여야하기 때문에 제품을 수정하면서 시험하는 데에 어려움이 따르므로 베이스플레이트방식으로 제작하였다. 절연블럭의 경우 레일패드와 클립걸이 양쪽에 고정되게 설계하여 절연블럭과 레일패드의 움직임을 막도록 제작되었다. 그림 2는 신형레일체결장치의 시제품이다. 체결구에 사용되는 재료는 특수한 스프링 강으로 대변형에서도 고강도 특성을 유지할 수 있어야 한다. 현재 철도청에서 주로 사용되는 코일스프링형 침목 체결구는 KSD3701로 SPS4와 SPS9를 사용한다. 본 연구에서는 모델의 재료를 SPS9로하여 제작하였다. SPS9 재료의 물성치는 다음의 표1과 같다.

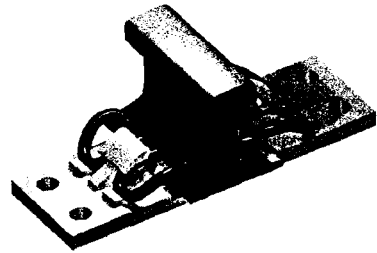


그림 1 시제품 제작모델 3D형상

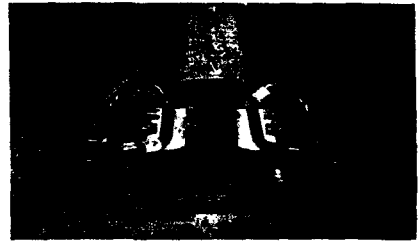


그림 2 개발체결장치

신형레일체결클립은 간단한 구조해석을 통하여 체결력의 산출 및 클립걸이의 치수결정을 행하고 제품의 시험을 통하여 설계를 보정하는 방식을 취하였기 때문에 체결클립의 강도 및 강성해석은 탄성선형문제로 가정하여 해석하였다. 해석은 상용유한요소프로그램인 MSC/NSTRAN으로 수행하였으며, 주로 HEXA8요소를 사용하여 4242개의 질점과 3300개의 요소로 모델링 하였다. 그림 3은 시제품의 수치해석결과를 나타낸다. 해석결과 체결클립에 걸리는 최대 Von-mises 응력은 170kgf/mm^2 이었으며, 이 때의 체결력은 1200kg 정도로 계산되었다.

표 1 재료의 물성치

기호	가로탄성계수 [kgf/mm ²]	세로탄성계수 [kgf/mm ²]	열처리		기계적 성질	
			담금질[℃]	뜨임질[℃]	내력 0.2% [kgf/mm ²]	인장강도 [kgf/mm ²]
SPS 9	21×10^5	8×10^5	830~860 유냉	490~540	110 이상	125 이상

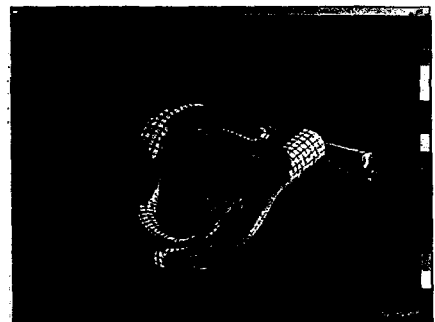


그림 3 시제품의 수치해석

3. 실내성능평가

3.1 성능시험방법 및 실내시험

가. 체결력 시험

체결력 시험은 체결클립이 레일과 클립걸이에 체결되었을 때 체결력을 측정하기 위한 실험이다. 이 시험은 단지 체결클립의 탄성력 측정시험이 아니기 때문에 체결클립만을 직접 측정하는 방법보다 SNCF와 AREA의 시험방법과 같이 전체시스템으로 측정하는 방법이 타당하다고 판단된다. 즉, 레일과 베이스플레이트를 체결클립으로 체결하고 초기 변위값을 0으로 한 후 체결된 레일을 실험장치에 고정시킨 후 베이스플레이트에 하중을 가하여 레일패드를 제거한다. 그리고, 레일패드를 제거한 후 하중을 제거하여 체결클립의 체결력만으로 베이스플레이트 이하부분의 중량을 지탱하고 있는 상태가 되도록한다. 베이스플레이트 이하부분의 중량보다 체결력이 크기 때문에 변위값은 레일패드가 있었던 초기값 이하로 될 것이다. 이 상태에서 변위가 초기값을 나타내도록 하중을 재하한다. 이 때 재하한 하중과 베이스플레이트 이하의 중량, 실험용 지그의 중량을 합한 것이 체결클립의 초기체결력이 된다. 실험은 침목을 부착시키지 않고 베이스플레이트로 체결클립을 고정하여 수행하였다. 레일은 60cm 레일을 사용하였으며, 180×500×30의 규격의 베이스플레이트를 사용하였다. 지그는 두께 30mm의 강판으로 제작되었다. 표 2에 체결클립이 하중을 재하지 않았을 때에 받는 부가중량을 나타내었다.

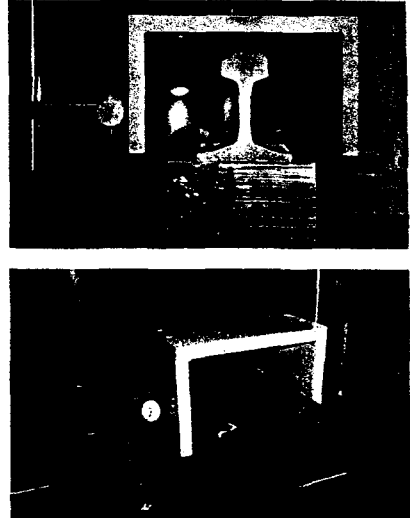


그림 4 체결력시험

표 2 부가중량

구 분	베이스플레이트	지그	합 계
중량 [kg]	24.5	33.5	58

표 3 신형체결장치의 초기체결력

구 분	초기 체결력
(#1 - #2)	1191.63 kgf
(#3 - #4)	1115.75 kgf
(#5 - #6)	1102.65 kgf

표 3은 3개조의 체결클립으로 체결력 시험을 한 결과이다. 초기체결력은 평균적으로 1050kgf~1200kgf 정도를 나타내어 설계한 값과 유사한 결과를 보였다.

나. 레일패드시험

레일패드시험은 피로시험시 반복하중의 크기를 결정하기 위해 레일패드의 스프링계수를 측정하는 시험이다. AREA 시험방법에서는 상당히 큰 값의 하중을 재하하고 이때의 하중의 차와 변위의 차로 스프링계수를 측정한다. 하지만 SNCF시험방법에서는 초기체결력과 초기체결력+윤증(75kN)의 값을 사용하여 스프링계수를 측정한다. 여기서 초기체결



그림 5 레일패드시험

력과 윤증으로 레일패드에 미치는 하중을 표현한 SNCF의 실험방법이 적절하다고 판단된다.

다. 삽입시험

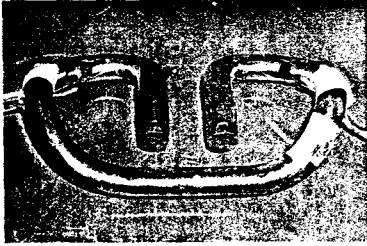


그림 6 스트레일게이지 부착

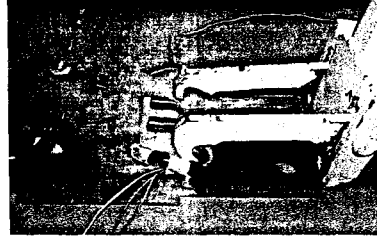


그림 7 체결클립 삽입시험

삽입시험은 레일체결장치의 조립시 레일체결장치에 걸리는 응력을 산정하여 탄성·항복강도 내에 있는지를 평가하는 시험으로 레일체결장치를 개발하는 데에 있어서 중요한 시험중 하나이다. 이 시험으로 시제품이 사용가능여부를 판단하고, 나아가서 재료의 물성치를 변화시키는 연구를 수행하여 체결클립의 성능을 향상시킬 수 있다. 그림 7과 같이 개발된 체결공구로 스트레인 로제트 게이지가 부착된 체결클립을 클립걸이에 삽입하여 체결후의 변형량을 계측하여 응력을 계산한다.

스트레인 로제트 게이지는 그림 6과 같이 체결클립의 구조해석을 통해 예측된 응력집중부에 부착하여 변형량을 측정한다. 측정된 변형량은 Von-mises 응력으로 변환하여 재료의 탄성·항복강도와 비교한다.

실제계측에서는 게이지를 부착시킨 위치가 대칭이 되지 않아 해석결과가 다르게 나타났다. 또한 그림과 같은 그래프 형상을 보이는 것은 한번에 체결이 되지 않았기 때문이다. 체결된 후 체결클립의 응력을 비교하는 것이므로 결과에서 보듯이 오른쪽에 부착한 게이지에서는 85kgf/mm² 정도의 응력을 왼쪽에 부착한 게이지는 55kgf/mm² 정도를 나타내었다.

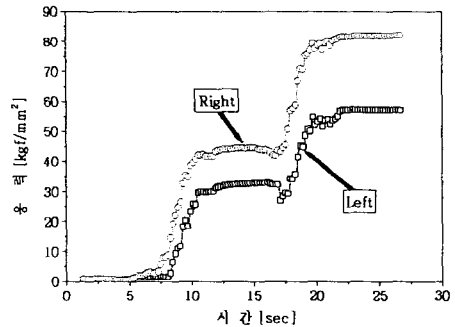


그림 8 체결시 응력변화

라. 파단시험

체결된 레일을 실험용 지그로 고정하고 베이스플레이트에 하중을 주어 체결클립이 파단될 때까지 하중을 주어 체결클립의 하중-변위 관계를 알아보는 시험이다. 하중-변위곡선을 나타내기 위해 파단시험은 체결클립에 초기변형량이 없도록 레일패드와 절연블럭을 제거하고 실험을 수행하여야 하지만 하중을 재하 후 변형이 발생하기 시작하여 어느정도의 변위를 가지게 되면 체결클립의 끝단이 절연블럭에 닿아 2단선형 스프링정수를 갖기 때문에 그 특성을 나타내기 위해서 절연블럭은 제거하지 않고 레일패드만을 제거하고 시험하였다.

체결클립은 절연블럭으로 인한 높이 만큼의 변형이 생긴 상태이므로 변위는 2mm부터 측정되었다. 그림 9에서는 레일 패드를 제거한 후의 상태와 파단시험시 체결클립의 끝단이 절연블럭에 닿게 되는 것을 나타낸다.



그림 9 파단시험(하중재하시)

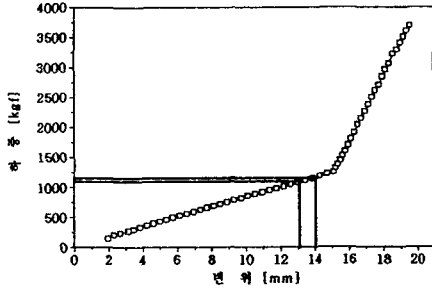


그림 10 시제품의 하중-변위 곡선

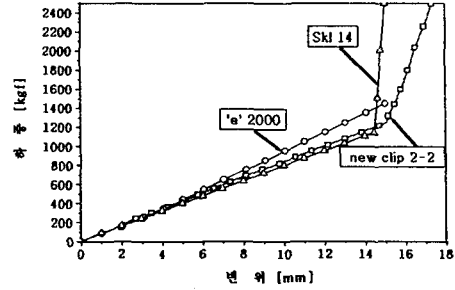


그림 11 국외체결클립과의 성능비교

그림 10에서 나타나듯이 신형레일체결장치의 하중-변위 곡선은 2단선형스프링상수를 갖는 형태로 나타났으며, 체결력체결클립은 15mm 변위를 가진 이후에는 체결클립의 끝단이 절연블럭에 닿아 비틀림에 의한 체결클립의 변화는 나타나지 않기 때문에 베이스플레이트에 70kN까지 하중을 재하하였으나 파단되지 않았다. 그림 11은 국외의 대표적인 체결클립의 하중변위 관계와 신형레일 체결장치의 하중변위 관계를 비교한 것으로 타체결장치와 유사한 성능을 가지는 것을 알 수 있다. 신형레일체결장치는 10mm에서 1000kgf의 체결력을 가지도록 설계되었으나 그림 10에 나타나듯이 변위 11mm에서 1000kgf에 가까운 하중을 나타내고 있다. 이것은 체결클립에서의 변위를 직접 측정하는 것이 아니라 베이스플레이트위에서 변위를 측정하기 때문에 약간의 오차가 있었다고 판단된다. 또한 제품의 제작과 설계가 정확하게 일치하지 않았다는 것도 이런 결과를 나타낸 원인이라고 판단된다.

마. 피로시험

피로시험은 앞의 시험들을 수행한 후에 피로시험을 하고 난뒤 다시 반복하여 시험하여 피로시험 전과 후의 성능을 비교하는 시험이다. 피로시험방법의 경우 AREA와 SNCF의 실험방법 중 두드러진 차이점은 하중을 받는 레일의 경사와 재하하중의 크기이다. 하중을 받는 레일에 경사를 주는 이유는 레일이 받는 축하중과 횡하중을 모두 고려하기 위함이다. 여기서 SNCF방법은 AREA방법에 비해 레일체결장치에 미치는 횡하중의 영향을 크다고 판단하여 경사를 30°로 하였다. 또한 레일패드의 스프링강성에 따라 반복하중의 진폭을 변화시켜준다. 한편, 국내 철도청의 품질시험기준에서는 반복하중을 변위 0.25mm로 제어하게 하고, 반복횟수를 5,000,000회로 하도록 되어있다. 이 값은 AREA나 SNCF의 실험방법과 비교할 때 반복횟수는 많지만 반복하중이 AREA나 SNCF의 실험방법에서 제시하는 반복하중의 크기보다 상당히 작은 값이다. 그러므로 본 연구에서는 SNCF의 피로시험방법을 따르도록 한다.



그림 12 피로시험

4. 결론

본 연구에서는 독자적인 모델의 신형레일체결장치를 개발하고 제작하였으며, 실내성능시험을 수

행하기 위해 여러 가지 시험방법들을 토대로하여 실내성능시험을 수행하였다. 시험결과 신형레일 체결장치는 피로시험전의 성능시험에서 국외의 대표적인 체결장치의 성능과 유사한 성능을 나타냈다.

본 연구를 통해 개발되어진 체결장치는 여러 가지 면에서 우수한 성능을 보이고 있지만, 아직까지 보완해야 할 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 보완하고, 여러 가지 성능을 개선하여 실용화 되도록 지속적인 연구가 되어져야 할 것이다. 향후 연구되어야 할 부분은 실용화를 위한 체결클립의 경제성을 고려하여 클립의 크기 및 두께를 최적화해야 할 것이며, 체결클립의 체결과 해체를 보다 쉽게 할 수 있는 간편한 체결공구의 개발도 수행되어야 할 것이다. 또한 실험을 위해 설계·제작된 베이스플레이트 형식의 지지방식을 침목에 매립할 수 있는 솔더식 지지방식으로 재설계되어야 할 것이다.

참고문헌

1. “선로구축물시스템 엔지니어링 기술개발 (2단계 1차년도 보고서)”. 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.)