

고속철도 레일 체결장치 성능 평가방법 및 기준검토

Efficiency Review for the Evaluation Method and standard for High speed Railway Rail Fastening System

김인재* 강기동** 한상철*** 양신주****
Kim, In-Jae Kang, Kee-Dong Han, Sang-Chul Yang, Shin-Choo

ABSTRACT

In case of the Korea Railroad, when we would decide the track structure, it has been introduced the whole track structure system based on only the foreign application cases and data offered by manufacturers without the process of the objective performance verification. The value of property for track materials, derived from the calculation of track structure, was hard to perform the objective performance evaluation among track structure systems because each manufacturer adopted the different test method and standard.

To solve the above-mentioned problem, it should suggest the technical and objective evaluation method about the performance of track materials and meet with the standard of High Speed railroad and international railroad through the establishment and revision of performance standard. In the objective and technical respects, it will be a major role to decide the track structure.

In this paper, I would like to summarize the case which was improved the problem of test method and standard exposed from the performance verification of Rail Fastening System among the track structure systems of High speed railroad.

1. 서론

국내 철도의 경우 궤도구조를 결정함에 있어 객관적인 성능검증 절차 없이 외국 적용사례 및 제작사가 제공한 자료를 근거로 하여 궤도구조시스템 전체를 도입하는 실정이다. 궤도구조 계산 시 적용하는 궤도 재료의 물성치는 각 제작사에서 각기 다른 시험방법 및 기준에 의거 도출된 데이터를 적용하므로 궤도구조시스템간의 객관적인 성능평가가 곤란하다.

이러한 문제점을 해결하기 위해서는 궤도재료의 성능에 대하여 기술적이고 객관적인 평가 방법이 제시되어야 하며 성능기준 제·개정을 통해 고속철도 및 국제 기준에 적합한 성능기준을 확보함으로써 객관적이고 기술적인 측면에서 궤도구조를 선정하는데 큰 역할을 할 것으로 본다.

본 논문에서는 고속철도 궤도 구조 시스템 중 레일 체결장치에 대하여 성능검증을 수행하면서 도출된 시험방법 및 기준에 대한 해석상의 이견 및 문제점을 개선한 사례에 대하여 정리하였다.

* 한국철도시설공단 부장, 서울산업대학교 철도전문대학원 박사과정

** 삼성물산 건설본부 고문, 정회원

*** 서울산업대학교 교수

**** 철도기술연구원 책임연구원, 정회원

2. 성능기준작성 경위

- 레일 체결장치 성능과 관련하여 UIC의 연구기관인 ORE에 특별위원회가 구성되었으며 1990년에 연구보고서(ORE-D170)가 작성되었음
- 레일체결장치 관련 유럽표준 작성을 위한 실무위원회(CEN WG17)가 구성되었으며 1994.4월에 CEN초안이 작성됨
- 한국고속철도의 레일체결장치 성능기준은 프랑스 고속철도 운행 경험(동남선, 대서양선 등 당시 10년 이상의 운행실적)과 CEN최초 안을 토대로 작성(1994.12)
- 제정된 성능 기준을 토대로 성능 검증을 시행하는 과정에서 일부내용에 대한 해석상의 이견이 있어 보다 분명하게 정할 필요가 있고 발전을 거듭한 CEN의 기준(PreEN 13481, 2001. 10) 등을 국내 레일체결장치 성능기준에 일부 반영이 필요함에 따라 보완

3. 레일체결장치 성능기준

당초 성능기준을 정할 시에는 고속철도용(설계속도 350km/h, 캔트부족량 100mm, 축중 170kN)으로 하였으나 실제 고속철도 운행시에는 기존선과 연결선을 운행하게 되므로 열차 최고운행속도에 따라 캔트 부족량과 축중을 고려하여 세분화(350km/h인 경우 축중 170kN 및 캔트부족량 100mm, 200km/h인 경우 축중 230kN 및 캔트부족량 180mm, 140km/h인 경우 축중 260kN)함으로써 적용할 수 있는 범위를 넓혔다.

레일체결장치는 작용하는 작용하중에 대하여 항상 일정한 체결상태를 유지하여야 하며 특히 장대레일의 경우 충분한 복진저항과 수평 비틀림저항을 보장해야 한다. 또한 작용하중을 감쇠하여 레일 밑의 하부구조로 전달함으로써 궤도침하나 재료노화 및 소음진동을 감소시키는 역할을 하여야 하며 차량의 운행 안전성을 위하여 레일 두부의 횡방향 변위는 일정범위 내에 있어야 한다.

표 1 레일체결장치 성능기준

구분	기준	비고
레일패드 스프링계수	피로시험전 : 80~120kN/mm 피로시험후 변화량 : 25%이하	20kN~95kN 사이의 수직력으로 측정
체결력 시험	피로시험전 : 2×8kN 피로시험후 변화량: 피로시험전의 20%이하	
충방향 저항력	피로시험전 : 9kN이상 피로시험후 변화량 : 25%이하	
피로시험	단계별 레일두부 측면 상대처짐 4mm이하	4Hz의 주기로 300만회 가진
부식저항	외관상 변화 및 해체·체결 가능여부 확인	
충격감쇠	충격감쇠계수 30%이상	50~60kN으로 낙하
인서트 시험	균열이나 파손이 없어야 함	
전기저항 시험	3Ωkm	
비틀림 시험	장대레일 안전검토시 활용	

궤도 선형의 정밀성을 확보하기 위하여 체결장치의 각 구성품은 마모 등을 포함하여 허용 범위내에서 조정 가능하여야 하며 신호시스템의 신뢰성을 확보하기 위하여 충분한 절연기능을 갖고 있고 경제적이여야 한다. 이러한 성능요건을 고려하여 표1과 같이 기준을 정하였다.

4. 시험방법 고찰

4.1 고찰 범위

레일체결장치의 성능검증을 위한 시험은 표1과 같이 레일스프링계수 시험의 8종목으로 본 연구에서는 그 중 시험방법 및 기준을 보완한 레일스프링계수시험, 피로시험, 부식저항시험, 중방향 저항력시험에 대하여 고찰하였다.

4.2 레일패드 스프링계수 시험

- 시험실온도

레일패드의 스프링계수는 그림1과 같이 온도의 영향이 크기 때문에 시험실온도를 규정할 필요가 있으며 국제기준 및 국내평균기온을 고려하여 $23\pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 하였다.

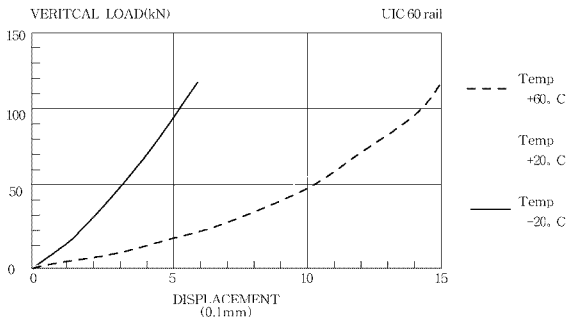


그림 1 온도변화에 따른 레일패드강도변화

- 시험장치

만능재료시험기를 이용하여 하중을 레일 상면에 재하 하면서 시험을 시행하였으나 측정방법에 따라 스프링계수값이 차이가 크고 하중작용시 비끄러지거나 원심하중으로 인한 측정값의 편차를 최소화할 장치의 개선이 필요하였다.

그래서 균일한 하중을 재하하기 위하여 그림2와 같이 정밀한 강판 상면에 시험용 철을 깔고 하중재하판과 패드가 교차하는 상부모서리 4개소에 transducer 또는 다이알게이지로 측정하며 5분 간격으로 4회 연속하여 시험을 시행하고 마지막 3회 결과를 평균하여 계산한다.

- 기준치

시험방법과 시험장치가 달라 지므로 기준에 요구한 기준치(피로시험전 $65\sim 95\text{kN/mm}$)가 새로운 방법에서 동등한 성능의 기준치로 변환이 필요하며 시험을 통해 적정한 기준치로 피로시험

전에는 80~120kN/mm, 피로시험 후에는 시험편의 25%이하로 조정하였다.

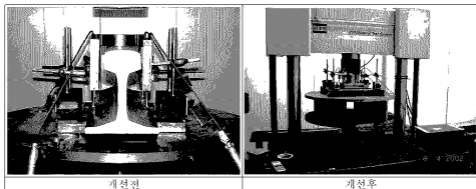


그림 2 레일패드 스프링계수 시험장치

4.3 피로시험

- 적용하중

동직스프링계수의 크기에 따라 적용하중은 변화를 주며 시험기준에는 하중작용점을 레일두부 상면 코너부분에 주었으나 실제로 차륜과 레일간의 하중작용점은 레일 수직축으로 레일두부로서 리 곡선 중심점에서 하방 15mm 떨어진 지점을 통과하므로 하중작용점에 정확히 통과될 수 있도록 시험용 레일의 두부를 연마하여 사용한다.

표 2 동직스프링계수에 따른 적용하중의 변화

시험기준			조정				비고
동직스프링계수 (kN/mm)	하중(kN)	각도	동직스프링계수 (kN/mm)	하중(kN)	각도	하중위치 (mm)	
150	85	31°	$S_d > 200$	83	33°	15	
120	80	31°	$200 \geq S_d \geq 100$	75	33°	15	
100	75	31°	$100 > S_d$	70	26°	15	
80	70	31°					

- 측정주기

첫회는 5천회 재하하고 그후 50만회 마다 300만회 까지 변위를 측정하였으나 5천회 재하 후에는 노 레일패드의 표면처리상태의 영향이 있으므로 첫회의 측정용 5만회 재하 후로 조정하였다.

- 동직스프링계수 시험

피로시험시 적용하중을 정하기 위해 시행하는 시험으로 하중재하 주기 및 크기 등이 불명확하였으나 하중을 3~5Hz의 주기로 하고 하중의 크기를 25~95kN로 반복하여 재하하면서 시험을 시행하고 힘과 변위는 100회 중 마지막10회의 평균값으로 계산한다.

- 기준치

레일두부의 최대상대치점을 4mm이하로 하고 영구상대칭변위를 레일두부인 경우 1mm이하, 레일패드 0.5mm이하로 정하였으나 최대 상대치점에 대하여 해석상 이견이 있었다.

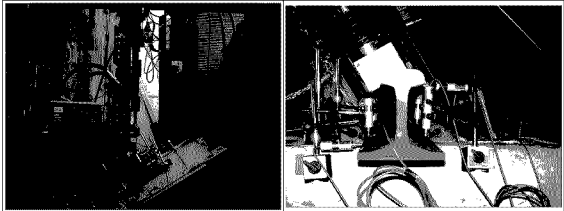


그림3 피로시험 장치

한국기계연구원에서 시험한 결과인 표 3을 보면 고찰1의 최대상대처짐은 3.99mm로 기준치 이내이나 고찰2의 최대상대처짐은 5.34mm로 기준치를 벗어난다. 따라서 명확한 용어의 정의가 필요하였다.

표3 피로시험결과 고찰비교

CYCLES	0kN	5kN	75kN	고찰1		고찰2	
				최대상대처짐	영구상대변위	최대상대처짐	영구상대변위
0	0.00	0.27	3.99	3.99	-	3.99	0.00
5000	0.88	1.03	4.02	3.14	0.88	4.02	0.88
500000	1.68	1.97	4.63	2.95	0.80	4.63	1.68
1000000	1.86	2.08	4.69	2.83	0.18	4.69	1.86
1500000	2.05	2.26	5.04	2.98	0.19	5.04	2.05
2000000	2.26	2.48	5.13	2.87	0.21	5.13	2.26
2500000	2.50	2.70	5.31	2.81	0.24	5.31	2.50
3000000	2.54	2.77	5.34	2.80	0.04	5.34	2.54

영구상대변위는 각 시험단계별로 하중을 가하지 않은 상태에서 전 단계의 측정치와 다음단계의 측정치 차로 계산되어야 하며 표3의 고찰1(영구상대변위)에 해당된다. 또한 영구변위는 고찰2의 영구상대변위 항목에 해당되며 이는 실제계도에서 체간검측으로 확인이 가능하다. 최대상대처짐은 각 단계별 시험이 끝난 후 하중을 재하하지 않은 상태와 해당하중을 측정된 차로 계산되며 고찰1의 최대 상대처짐 항목에 해당된다.

표4 피로시험기준

시방기준	조정	비고
<ul style="list-style-type: none"> · 레일두부 최대상대처짐 4mm이하 · 영구상대처짐변위 · 레일두부 1mm이하 · 레일패드 0.5mm이하 	<ul style="list-style-type: none"> · 레일두부 최대상대처짐 4mm이하 · 상대처짐 산정식 추가 $L_R(i) = L_R(R) - L_R(O)$ · 피로시험전후의 변화량 <ul style="list-style-type: none"> - 수직스트링계수 25%이하 - 종방향저항력 20%이하 - 체결력 20%이하 	

이는 체결시스템의 마모 및 피로에 의해 차륜과 레일간 접촉시 횡방향 강성의 특성들이 과도하게 변하지 않도록 관리하기 위함이다. 위와 같이 시험결과에 대한 고찰을 통해 기준치를 표4와 같이 조정하였다.

4.4 부식저항시험

온도와 습도를 조정하여 25~36시간의 싸이클로 시험을 시행하며 총 시험시간이 900시간이 소요되었으나 ISO9227 시험방법에 의한 중성염 살포시험으로 강화하여 변경(300시간소요)하였고 성능 기준은 조립 및 해체가 가능하고 기능을 유지하고 있어야 한다.

4.5 중방향저항력시험

하중을 2분간격으로 2.5kN씩 증가시키면서 레일이 침묵에서 뒤틀릴 때 2분 동안 중방향 변위를 측정하도록 되어 있는 것을 초기에 시험오차를 줄이기 위해 하중 2.5kN을 레일저부에 30초동안 유지시킨 후 분당 10±5kN로 하중을 증가 시킨다. 다만 레일이 침묵에서 0.5mm 미만 움직일 경우 재시험을 실시하여야 하며 기준치는 피로시험전의 경우 9kN이상, 피로시험후인 경우에는 피로시험전의 20%이하이어야 한다.

5. 결론

그동안 국내 철도에서는 궤도구조 선정시 외국의 자료 및 제작사에서 제공한 자료를 토대로 기술검토가 이루어졌으며 경험에 의거 판단하여 왔다. 제공된 자료가 동일한 성능검증방법에 의해 만들어지지 않았기 때문에 서로 다른 체결장치에 대하여 객관적인 비교검토가 곤란하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 경부고속철도 궤도공사 준비 단계에서부터 궤도재료 성능기준을 마련하여 객관적인 궤도구조검토가 가능하여졌으며 부설 후 경험에 의해 판단하던 것을 부설하기 전 실시절차과정에서 성능을 확인 후 부설함에 따라 안전성을 확보할 수 있게 되었다. 고속철도에서 시행한 레일체결장치 성능검증을 통해 성능검증시험 전 항목에 대하여 국내에서도 시행가능토록 시험체계를 구축함으로써 새로운 체결장치 도입 및 개발 시 국내 기술진에 의해 성능을 검증할 수 있는 토대를 마련하였다.

이러한 기반을 토대로 궤도구조 및 재료에 대한 연구가 활성화되었으면 하는 바람이며 현재의 성능기준도 지속적으로 개선되었으면 한다.

참고문헌

1. 한국고속철도건설공단, "고속철도궤도공사 궤도재료제작시방서", 1996
2. CEN 기준(PreEN 13481), Railway applications-Track-Performance requirements for fastening systems, 2001. 10
3. ASTM, "Standard Test Methods for D-C Resistance or Conductance of insulating Materials"
4. 高原滂介, "新軌道材料" 鐵道現業社, 1985
5. C. Esveld, "Modern Railway Track", MRT-Production, 1989
6. J. Alias, "Le Rail", Eyrolles, 1987