

접착절연레일 성능 향상

권호진*, 이남수*, 김동연*[†], 김만철**

Ho-jin Kwon*, Nam-soo Lee*, Dong-yeon Kim*[†], Man-cheol Kim**

접착절연레일은 열에 의한 장대레일에 발생하는 축력과 열차하중에 의한 충격에 저항할 수 있는 구조적 안전성 및 신호시스템과의 인터페이스에서 궤도가 갖추어야 할 전기절연성을 확보하는 것이 중요하다. 국내 접착절연레일은 체결장치 간섭, 절연편 변형 및 이탈, 접착면 균열 및 박리 등의 문제로 인해 본연의 기능을 수행하지 못하여 유지보수가 필요한 사례가 발생하고 있으며, 신호 시스템에 영향을 주어 열차의 운행이 중지되는 사례까지 발생된 경우가 있다. 이에 기존 접착절연레일의 성능을 향상한 제품을 해석적 검증과 시제품 제작 및 시험적 검증에 대한 연구를 제시하고자 한다.

본 연구는 한국철도기술연구원과의 기술이전 및 실용화 촉진을 위한 산업계 연계기술개발(과제번호 PK1806C7)에 의해 수행되었습니다.

주요어 : 접착절연레일, 구조적 안전성, 전기절연성

1. 서 론

접착절연레일은 철도 선로에서 신호장치의 궤도회로를 구성하기 위하여 인접한 궤도회로와의 전기적인 경계를 두기 위한 전기적 단락을 유도하는 레일이면서 레일의 불연속 구간을 보강하는 역할을 한다. 접착절연레일은 기능적으로 매우 중요한 궤도 구성품임과 동시에 파손사례가 빈번하게 발생하고 있기 때문에 성능향상 및 연구개발 필요성이 증가하고 있다. 이에 접착절연레일의 성능 향상을 위한 연구를 실시하여 해석적 검증 및 시제품으로 시험적 검증을 완료하였고 시험 부설을 통해 철도형식승인 절차를 진행 중이다.

2. 연구개발 배경 및 필요성

국내에서는 50kgN 레일용, 60kg 레일용(60kgK, 60kgKR)으로 각각 1종류의 접착절연레일을 사용하고 있다. 고속철도가 도입되면서

Vossloh Cogifer의 60E1 레일용 접착절연레일을 사용하고 있으나 형상과 구조, 재질 등을 개선하기 위한 연구개발이 진행되지 않고 있다. 주요 구성품인 이음매판과 접착체가 불량할 경우에는 도상 이완 촉진을 비롯하여 절연성 저하 및 파손에 이르기까지 다양한 문제가 발생 할 수 있다. 따라서 주요 궤도 구성품인 접착절연레일의 개선을 위한 연구개발이 필요한 실정이다.

3. 연구개발 수행 내용

3.1 성능향상 요구조건 도출

국내 철도현장에서 발생되고 있는 접착절연레일의 결함 사례는 Fig 1과 같다. 결함 사례를 분석하고, 국내·외 규격 요구사항을 고려하여 이음매판 형상 변경 및 절연편 각도 변경 등 개량방안을 정립했다. 개선전·후 접착절연레일의 형상은 Table 1과 같다.



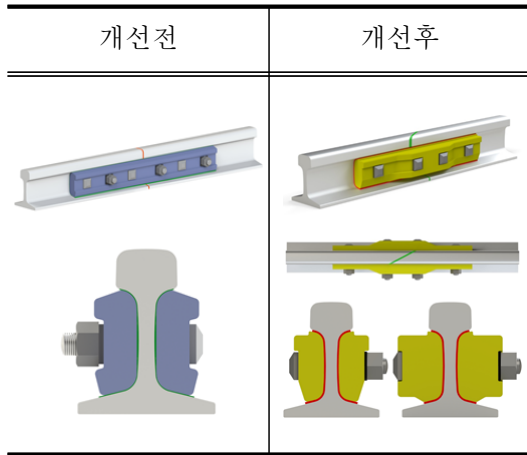
Fig 1. 접착절연레일 결함 사례

*[†] (주)세안 기술연구소 (cer2da@seaninc.co.kr)

* (주)세안 기술연구소

** 한국철도기술연구원 궤도노반연구팀

Table 1 접촉절연레일 개선전·후 비교



3.2 ADAMS 를 이용한 해석적 검증

3.2.1 해석 모델링

해석에 사용한 모델인 60E1 레일(6m) 및 부품류는 유연체로 모델링 하였으며, 1개의 휠은 강체로 모델링 하였다. 절연편과 절연체의 재질은 Plastic 재질을 사용하였고, 레일과 이음매판에는 Steel 재질을 사용하였다.

3.2.2 준정적 해석적 검증 및 결과

개량형 접촉절연레일에 의한 레일 구조 강성 불연속성을 90° (개선전), 45° 및 30° (개선후) 모델을 사용하여 분석하였다. 준정적 해석 방법은 Fig 2처럼 5개의 지점에서 차륜을 위치 한 후 충격에 의해 자연스럽게 레일이 처지도록 하여 레일 상단 처짐을 측정하였다.

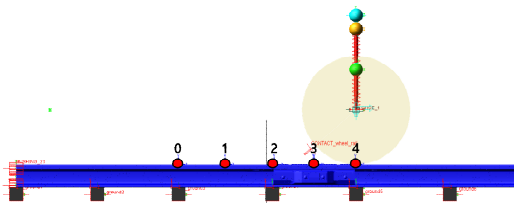


Fig 2. 준정적 해석 측정 위치

준정적 해석 결과는 위치별 레일 상단 높이를 나타내는 Fig 3의 그래프와 같다. 레일의 처짐량이 0.01mm 일 때 강성 변화량을 0.5% 라고 하면 일반레일 구간(위치 0~1)의 경우 4.5%(0.09mm)가 발생하고, 접촉절연레일 구간(위치 2~4)의 경우 3.5%(0.07mm)가 발생한다. 절연편이 없는 침목(위치 0)과 절연편이 있는 침목(위치 2) 위치에서의 강성 변화는

최대 1% 차이가 발생한다. 이는 앞의 경우 (4.5%)보다 훨씬 작으므로 접촉절연레일에 의한 강성 변화는 무시 할 수 있다.

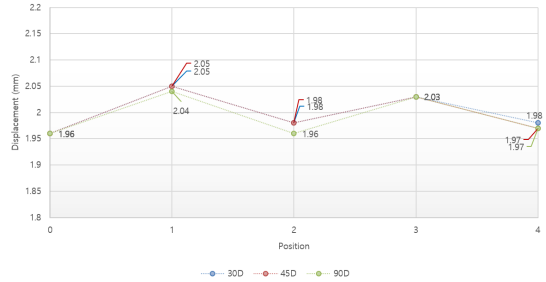
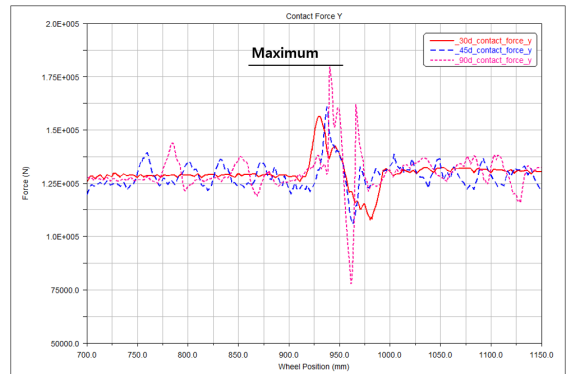


Fig 3. 위치별 레일 상단 높이

3.3.3 동역학 해석적 검증 및 결과

접촉절연레일에 1개의 차륜을 120km/hr로 통과하도록 하고, 동일한 조건에서 90° (개선전), 45° 및 30° (개선후) 모델에서 발생한 충격력을 비교하였다. 아래의 그래프에서 수평축은 차륜 중심 위치를, 수직축은 차륜-레일 간 접촉력의 크기를 의미한다.

Table 2. 충격력 비교



Model	90°	45°	30°
충격력	180	161	156

최대 충격력은 3가지 모델 모두 절연편 위치에서 발생하였다. 그 값들을 비교 했을 때 90° 모델에 비해 30°, 45° 모델에서 충격력 크기가 약 50% 감소했고, 근소하지만 30° 모델이 45° 모델에 비해 약 5% 작게 나타나 3가지 모델중 가장 우수한 결과로 확인되었다.

3.3 SOLIDWORKS SIMULATION 을 이용한 해석적 검증

3.3.1 해석 모델링

해석에 사용한 모델은 ADAMS와 동일한 60E1

레일을 사용하였고, 각 부품에는 실물과 동일한 재질을 적용하였다. 인장, 압축하중은 레일 양 끝단에 1,766kN을 적용하였고 횡하중은 레일 두부 측면에 83.3kN을 적용하였으며, 열차하중은 두부 상면에 261.2kN을 적용하였다.

3.3.2 정적 해석적 검증 및 결과

ADAMS 동역학 해석 결과를 토대로 가장 우수한 30° 모델을 사용하여 인장하중, 압축하중, 횡하중, 열차하중을 작용했을 때 각 구성품의 구조적 안전성을 입증하고자 한다. 열차하중을 작용한 면적은 ADAMS 준정적 해석적 검증과 동일한 방법인 1개의 차륜을 레일에 위치했을 때 중력에 의해 발생하는 응력 분포를 하중 작용 면적으로 사용하였다. 각 하중을 접착절연레일에 작용했을 때 레일에서 가장 큰 응력이 발생하였고, 모든 구성품에서 항복응력 이하의 응력이 발생하여 구조적으로 안전함을 확인 할 수 있었다. 정적 해석 결과는 아래와 같다.

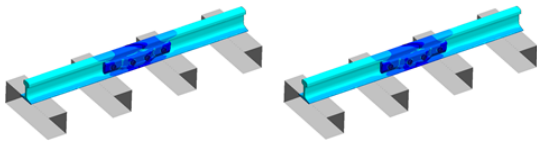


Fig 4. 인장하중

Fig 5. 압축하중

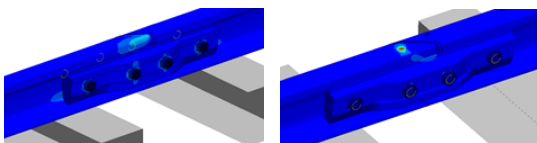


Fig 6. 횡하중

Fig 7. 열차하중

Table 3. 응력값 확인

	인장하중	압축하중	횡하중	열차하중
응력 (MPa)	588.9	561.8	176.3	470

3.4 시험적 검증

3.4.1 시험 내용

개량한 접착절연레일의 성능을 검증하기 위해 60kg 접착절연레일(30°), 60E1 접착절연레일(30°) 시제품으로 인장시험, 피로시험을 Fig 8, Fig 9와 같이 진행하였다.



Fig 8. 인장시험



Fig 9. 피로시험

3.4.2 시험 결과

인장시험 결과 KRS TR 0004(접착절연레일) 기준 '1,766kN 이상' 보다 41% 높은 2504.9kN으로 확인되었다. 피로시험은 국내 최초로 시행되었으며, 국내 기준이 없는 관계로 prEN 16843에 의거하여 하중계산 및 시험체를 세팅하였다. 피로시험 하중은 5~155kN을 300만회 재하하였고, 시험 결과 접착제 및 구성품에서 균열 및 파손은 발생하지 않았다. 추가로 절연저항과 접착제 강도 시험을 시행하였고 결과는 모두 기준치 이상으로 확인되었다.

3.5 시험부설 검증

해석적 검증과 시험적 검증을 완료한 개량형 접착절연레일은 철도형식승인 형식시험 단계중에 있다. 2020년 12월 오송종합시험선로에 시험 부설을 하였고, 매일 모니터링을 실시하고 있다. 모니터링 결과 접착절연레일 구성품에서 균열이나 파손은 발생되지 않았다. 시험 부설된 접착절연레일은 Fig 10, Fig 11과 같다.



Fig 10. 60kgKR



Fig 11. 60E1

4. 결론

접착절연레일은 구조상 취약 구조임과 동시에 다양한 기능적 문제점들이 발생하고 있다. 이에 기존 접착절연레일의 구조적 안전성과 전기 절연성의 성능을 향상 시킬 수 있는 연구를 진행하였다. 해석적 검증과 시제품을 활용한 시험적 검증을 통해 기존품과 비교했을 때 구조적, 기능적으로 개선품의 우수함을 확인 할 수 있었다. 다양한 방법을 통

해 우수함이 검증된 개량품에 대한 철도형식 승인 자격 취득 후 개량품 사용으로 보다 안전한 운영을 비롯하여 유지비용 절감등이 기대된다.

참고문헌

- [1] Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2014), KRS TR 0004-14(R) *Insulated rails*, Sejong, Korea
- [2] Korean Standards Association (2014), KS R 9169 *Glued insulated rails*, Seoul, Korea
- [3] Standards Australia (2002), AS 1085.12-2002 *Railway track material Part12 : Insulated joint assemblies*, Canberra, Australia
- [4] AREMA (2009), Manual for Railway Engineering Chapter 4-Part 3 *Joining of Rail*, Lanham, USA
- [5] Zong. N, Wexler. D, Dhanasekar. M (2013), Structural and material characterisation of insulated rail joints, *Electronic Journal of Structural Engineering*, 13(1), pp. 75-87
- [6] A Guide to Insulated Rail Joint (2013), *An Australian Government Initiative*
- [7] Y.H. Bae, M.C. Kim, J.H. Lee, S.H. Park (2015), Consideration on the test standards for performance assessment of insulated joint rails(IJR), *Korean Society for Urban Railway*, pp. 369-371