

도시형 자기부상열차 분기기 구간의 제3궤조 전차선 시스템 개발

The Development of Third-Rail System Applied to Turn-out Section for Urban Maglev

민병찬† 허영태* 홍두영* 이원주* 조수연* 정남철**
Byong-Chan Min Young-Tae Heo Du-Young Hong Won-Joo Lee Su-Yeon Jo Nam-Cheol Jeong

ABSTRACT

The third-rail system is an important device supplying power directly to the Maglev train through physical contact with the collecting shoe. It is directly related to safety and reliability for the running of Maglev. However, most the third-rail system used in Korea depend on foreign product or technologies, Korea Urban Maglev in the development of appropriate power feeding is urgent. In particular, the turnout section is the weakness point in the system because bending force by turnout section movement and fatigue caused by repetitive motion as well as the expansion by temperature, the forces by Maglev collecting shoe is added th the third-rail.

Therefore, this paper proposes the third-rail system appropriate for Korean Urban Maglev of turnout section. To verify the structural stability of POSCO ICT third-rail system, the finite element analysis and physical testing was performed.

The third-rail is fixed on each side of the turn-out section steel structure by epoxy insulation supporter and the integral behaviors are occurred. Therefore, the maximum horizontal displacements of each support are investigated and then, it is applied to finite element model of the third-rail to investigate the moments and stress. Also, the bending test about one million times and Expansion Joint for the third-rail was performed. The third-rail system safety and reliability was identified by test line on Korea Institute of Machinery & Materials in Deajeon for under the actual usage environment such as the Maglev and turn-out operation.

1. 서론

제3궤조 전차선 시스템은 자기부상열차의 집전장치와 기계적인 접촉을 통하여 전력을 직접 공급하는 중요한 장치로 자기부상열차의 운행의 안전성에 직접적 관련이 있다. 그러나 현재까지 국내에서 적용되는 대부분의 제3궤조 전차선 시스템은 수입에 의존하고 있으며 국내 생산 제품 또한 외국 기술에 의존하고 있어 자기부상열차에 적합한 제3궤조 전차선 시스템의 개발이 필수적이다. 특히 분기기 구간은 온도에 의한 신축 팽창 및 차량 집전장치의 압상력, 분기기 이동에 의한 굽힘의 반복운동에 의한 피로하중이 작용하게 되어 제3궤조 전차선 시스템에서 가장 취약한 부분이 된다.

따라서 본 논문에서는 실용화사업에 적용할 도시형 자기부상열차에 적합한 분기기용 제3

† 교신저자, 정회원, 포스코 ICT, 철도교통사업부 E&M기술팀, 전기철도기술사
E-mail : bcmin@poscoict.com

* 정회원, 포스코 ICT, 철도교통사업부 E&M기술팀

** 한국철도시설공단 KR연구원/신교통 사업처

레조 전차선의 개발에 대하여 작성하였으며, 전차선로 시스템의 구조적 안전성을 검증하기 위해 유한 요소해석 및 사용 동일 조건의 공장 시험을 수행하였다.

제3레조 전차선은 분기기 스틸 구조물 측면의 지지금구에 의해 고정되어 있으며, 분기기와 같이 움직이므로 각 지지금구의 최대 수평변위를 확인 한 후 제3레조 전차선 유한 요소 해석 모델을 적용하여 모멘트 및 응력을 검토하였다. 또한 시뮬레이션 해석 후 100만회 좌우 굽힘 시험 및 신축흡수장치(Expansion Joint) 수축 팽창 시험을 수행하였다.

2. 본론

자기부상 열차에 설치된 굴절식 분기기는 이동 구조물 거더 3개로 구성되어 있으며 모터 구동 방식을 사용하고 있다. 이 방식은 2방향 방식, 3방향 방식, 시저스 형태의 방식이 적용되고 있다. 이 분기기 거더는 무게를 감소시키기 위하여 강재를 사용하였으며 자기부상 열차의 전력을 공급하기 위하여 좌우 정극 및 부극의 제3레조 전차선이 설치되어 있다

2.1 자기부상열차 분기기 구조

한국 기계연구원 자기부상 시험선 굴절식 분기기는 3관절식 분기기로 그림1과 같으며 각 관절마다 2.3도씩 이동하며 전체 6.9도를 이동하는 구조로 되어 있다.



그림1. 한국기계연구원 3방향 분기기

2.2 분기기용 제3레조 전차선 설치기준

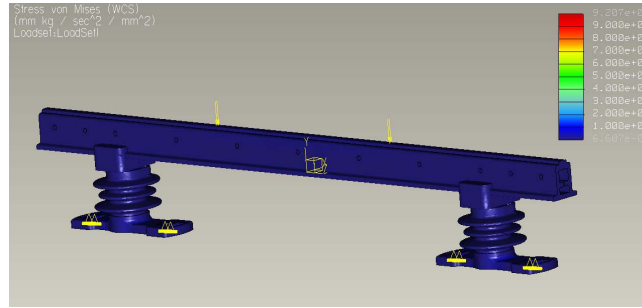
분기기의 좌우에 설치되는 DC 1,500V 전력 공급용 제3레조 전차선로 설치하는 일반 토목구조물과 동일 위치에 설치되어야 하므로 표1과 같이 집전장치 설치 폭 1,952[mm], 궤도 부상 레일면 기준 767[mm] 설치기준에 일치 되도록 하여야 한다.

직선 및 곡선구간 표준 단면도	분기기 표준 단면도

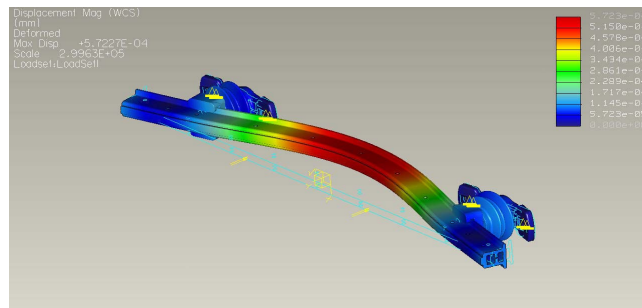
표1. 자기부상용 제3레조 전차선 설치기준

2.3 분기기용 지지금구

분기기에 설치되는 지지금구는 거더 측면에 직접 취부하며 지지점간 2.1m 간격으로 설치한다. 지지점간 설치 간격은 전차선로 자체하중, 단시간 전류 100kA/1sec 및 집전장치 압상력을 고려하여 중앙 최대 하중 900kgf 힘이 가하졌을 경우 응력 분석 및 분석을 통하여 설치 간격을 결정하였다. 그림2 분기기 제3궤조 전차선 지지점간 해석결과 a)지지점 중심 최대 발생응력 : $9.207 \times 10^2 \text{ N/mm}^2$ 이며 b)최대 변위량은 0.0005723mm 발생 한다.



a) 지지점 중심 최대 응력



b) 지지점 중심 최대 변형

그림2. 분기기 제3궤조 전차선 지지점간 거리 해석

2.4 분기기 제3궤조 전차선 굽힘 모멘트 모델링

한국 기계연구원 자기부상 시험선의 굴절식 분기기는 4.2M 2개, 18M 1개의 강구조물로 구성되어 있으며 그림3과 같이 각 구조물 거더에 지지금구 및 신축흡수장치를 설치한다. 또한 분기기 끝부분은 절연물을 설치하여 분기기의 이동시 + 및 - 전차선로의 단락사고를 방지하기 위하여 설치된다.

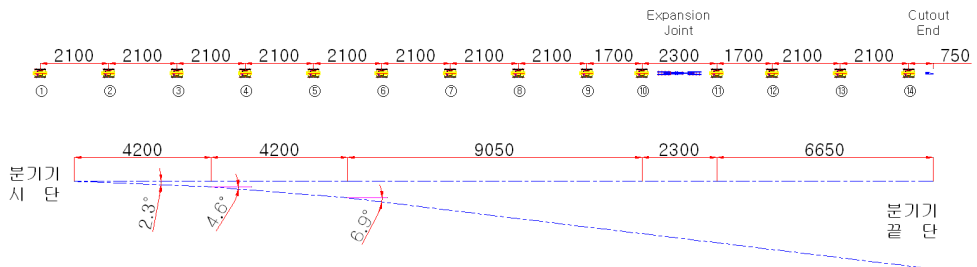


그림3. 분기기 제3궤조 전차선 개요도

분기기에 설치되는 제3궤조 전차선로는 분기기 측벽에 고정되어 분기기와 같이 이동하게 되며 각 지지금구 위치에서 강제 변위를 받는 외팔보와 같은 움직임이 발생한다. 그림3과 같이 각 관절에서 2.3도를 회전시킨 결과 그림4와 같은 변형이 발생하였으며 이를 제3궤조 전차선에 강제변위로 제한하여 그림5의 휨모멘트도와 그림6의 수평 반력도를 산정하였다.

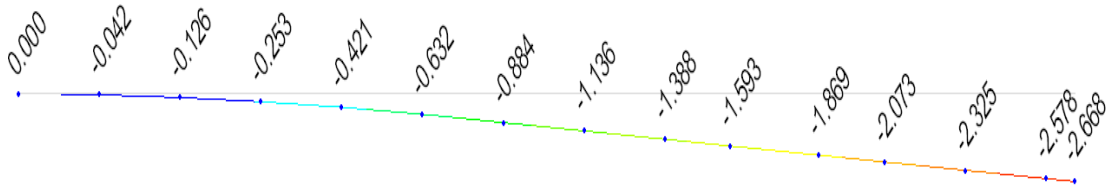


그림4. 제3궤조 전차선의 수평변위

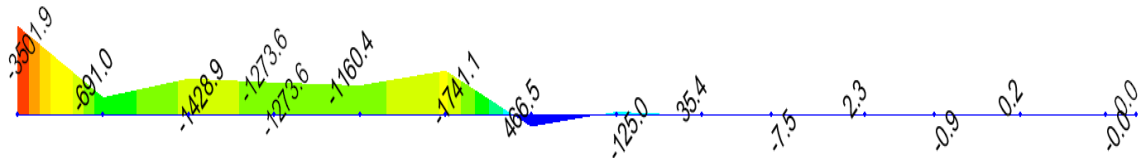


그림5. 제3궤조 전차선의 휨 모멘트도[N·m]

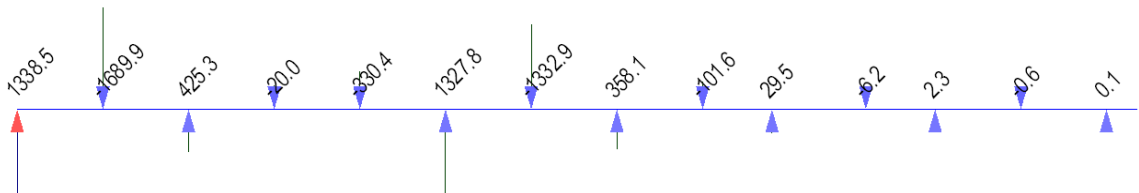


그림6. 지지금구에 작용하는 수평력[N]

3. 신뢰성 확보를 위한 굽힘 시험

이 연구에서는 분기기에 설치되는 제3궤조 전차선로 파워레일 및 지지금구의 지지애자의 안전성 및 신뢰성을 검증하기 위하여 분기기와 동일조건의 시험기를 제작하여 2009년 6월부터 2010년 6월까지 그림7과 같이 굽힘 시험 장치를 제작하여 100만회 굽힘 시험을 실시하였다. 이 시험을 통하여 파워레일, 지지금구 등의 기계적 결합 및 지지애자의 굽힘 모멘트에 의한 파괴가 발생하는지 확인을 하기 위하여 100만회 굽힘 시험 이후 X-Ray 투과 시험을 실시하여 검증하였다.

분기기 좌우 이동과 동일 각도의 굽힘 시험 결과 2M 지점의 합성저항이 다른 부분에 비하여 저항값이 크게 나타났으며 연결 부위가 굽힘 시험시 가장 큰 변위가 발생하는 것으로 확인되었다. 이 부분의 전기적 특성을 보완하기 위하여 파워레일을 12M로 제작하여 한국기계연구원 분기기용 제3궤조 전차선을 설치하였다. 또한 파워레일의 전기적 특성은 100만회 동작 시험 전과 후 차이가 없었다.



그림7. 분기기용 전차선 굽힘 시험장치

분기기의 전차선로를 지지하는 에폭시 지지애자 또한 분기기의 굽힘 시험에 의한 내부 균열 발생 여부를 방사선 투과 시험을 실시하였다. 시험결과는 표2와 같다.

도시형 자기부상에 적용한 지지애자는 굽힘 내하중, 인장 내하중, 인장파괴 하중의 특성조건이 표3.과 같이 적용하여 기계적 특성을 일반 애자보다 가혹한 조건에서도 견딜 수 있는 특성을 적용하였다. 이 결과 도시형 자기부상열차의 직선, 곡선구간 및 분기기 구간에 동일한 에폭시 애자를 적용하여도 굽힘 모멘트에 의한 내부 균열이 발생되지 않음을 확인 하였다. 다른 종류의 지지애자 보다 우수한 특성을 가지고 있어 안전성 및 신뢰성이 확보된 것을 확인하였다.

과워레일 시험결과	지지애자 시험결과

표2. X-RAY 투과 시험결과

특 성		단 위
신뢰성 검증	방사선 투과시험	합격
기계적 성능	굽힘 내하중시험	1,500kgf이상
	인장 내하중시험	2,000kgf이상
	인장 파괴하중시험	2,500kgf이상
전기적 성능	상용주파 건조내전압	30kV
	상용주파 건조섬락전압	40kV
	뇌충격 섬락전압	75kV

표3. 에폭시 지지애자 특성

3. 결론

이 연구에서는 자기부상열차 분기기에 설치되는 제3궤조 전차선로의 안전성 및 신뢰성 확보를 위한 구조 해석 및 현장 굽힘 시험에 대하여 소개하였다. 현재 국내에 실용화 사업을 진행 중에 있으며 인천 시범노선에 적용하기 위한 100만회 굽힘 공장시험을 완료 후 한국 기계연구원에 설치되어 차량과 인터페이스 시험 운행 중에 있다.

국내 최초로 적용되는 자기부상열차 시스템의 분기기에 적용되는 제3궤조 전차선로의 기본 성능을 만족하나 국내 설치 사례가 없어 많은 시행착오를 통하여 시험을 진행하고 있다. 향후 본 연구의 결과를 토대로 체계적 시스템의 성능 검증을 수행하기 위하여 한국기계연구원등 연구기관과 제작 기관의 협조를 통하여 보다 나은 시스템을 공급 할 수 있을 것으로 사료 된다.

감사의 글

본 논문은 국토해양부 국가 연구개발실용화사업의 “도시형 자기부상열차 실용화 사업”에 따른 3핵심 과제인 “도시형 자기부상열차 제3궤조 전차선로 안전성 및 신뢰성 확보연구” 결과를 기반으로 작성하였으며, 분기기에 설치된 제3궤조 전차선로의 성능 검증을 위하여 도움을 주신 한국철도 시설공단 및 한국 기계연구원 관계자 분들께 감사의 인사를 드립니다.

참고문헌

1. “도시형 자기부상열차 분기기 개발 2단계 실적보고서”, 국토해양부 한국건설교통기술평가원, pp.7-11, pp.77-82, 2011.04
2. 조홍제, 이종민, 김동성 “상전도 흡인식 자기부상열차 궤도 분기기 개발현황”, 한국철도학회 추계 논문집, pp.76-82, 2005.11
3. 조홍제, 이종민, 임세빈, 김석수, “도시형 자기부상열차 분기기 개발” 한국철도학회 춘계 논문집, pp.549-556, 2010.07
4. “자기부상 제3궤조 전차선로 안전성 및 신뢰성 확보연구 5차년도 연구결과 보고서”, 포스코 ICT, 2011.06
5. 이형우, 권삼영, 박현준 “자기부상열차의 급전시스템 검토” 한국철도학회 추계 특별 세미나, pp.209-218, 2006.11
6. 민병찬, 조상훈, 허영태, 홍두영, 김창환, 정남철, “도시형 자기부상열차 제3궤조 전차선로의 안전성 및 신뢰성 확보를 위한 인터페이스 정립” 한국철도학회논문집, pp.1189-1194, 2011.05
7. 민병찬, 조상훈, 홍두영, 허영태, 이원주, 조수연, 이동진, “A Study of the Safety and Reliability Improvement for the Supporter and Epoxy insulator of Urban MAGLEV Third Rail Systems” Korea Maglev 2011, 2011.10