

고무차륜용 경량전철 분기기 및 안내케조의 시험선 적용

Application for AGT Test Line with Light Rail Turnout System & Guideway

박준택* 이종수** 윤병현*** 박용걸**** 이안호***** 성태용*****
Park, June-Teak Lee, Joong-Su Yum, Byung-Hyun Park, Yong-Gul Lee, An-Ilo Seong, Taek-Ryong

ABSTRACT

LRT(Light Rail Transit System) is divided into steel-wheel train, LIM and rubber tired AGT(Automated Guide-way Transit System)

The main features of LRT are low construction cost, low space, low noise, Environment-friendly, fastly, low maintenance cost. it's a civil transit transfer system of new generation became popular advanced nation.

In this study, the beginning designed manufacturing rubber tired AGT turnout and guide-way system for the field application. We hope reliability for the system shall home production of turnout and guide-way

1. 서론

경전철은 철차륜과, LIM(linear Induction Motor), 고무차륜으로 대별되며 기존의 철도차량에 비해 낮은 건설비, 공간효율성 우수, 저소음, 저공해, 친환경성, 신속성, 낮은 유지보수비용의 장점을 지닌 차세대 도시교통운송시스템으로 주요 선진국에서는 이미 많이 보급되어 있는 상태이다.

국내보급을 위하여 한국철도기술연구원 주관으로 경북 경산에 2.26km의 시험선을 건설하였으며 현재 시운전에 있다. 본 연구는 국내 최초로 시험 부실한 고무차륜용 경량전철 분기기 및 안내케조에 대한 설계와 현장 적용에 대한 연구로서 이 제품에 대한 안정성이 확보되면 고무차륜 경량전철 분기기 및 안내케조의 설계, 제작, 시공에 대한 100% 국산기술력을 확보하는 계기가 될 것으로 기대된다.

- * 삼표케이앤티(주) 기술연구소 책임연구원, 정회원
** 서울산업대학교 철도전문대학원 공학박사, 삼표케이앤티(주) 상부, 정회원
*** 삼표케이앤티(주) 기술연구소 주임연구원, 정회원
**** 서울산업대학교 교수, 정회원
***** 한국철도기술연구원 책임연구원, 정회원
***** 포항산업과학연구원 책임연구원, 정회원

2. 고무차륜 분기기 및 안내레일의 설계

2.1 고무차륜용 수평가동안내반식 분기기의 설계

분기기의 기본 구조와 부설 전경을 그림1에 나타내었다.

- 1) 분기기는 가동안내반, 고정안내반, 안내레조, 전기전철기등으로 구성되어 있다
- 2) 수평가동안내반은 후단부에 부착된 회전형 헤어핀에 의하여 좌우로 회전운동하며, 전단부의 벌림량은 183mm로 설정되어 있다.
- 3) 수평가동안내반은 γ 형강(200x200x15t)을 가공하여 제작한 것으로서 미끄럼 상판에 의해 지지되고 슬라이딩된다.
- 4) 분기기 제작을 위하여 표 1과 같이 주요 검토항목을 선정하여 수평가동안내반식 분기기 상세 설계 및 시제품 제작(그림 1)을 완료하였다.
- 5) 수평가동안내반을 전환시키는 전철기는 국내철도에 사용하고 있는 NS-AM형 전기 전철기를 적용하였으며, 이에 대한 기본 사양은 표2와 같다.
- 6) 전기 전철기 전환력 시험 결과 전환력은 170kg이하로 작용하였고, 전환시 소요시간은 5.5초로 전기전철기 기본 사양을 충분히 만족하였다.

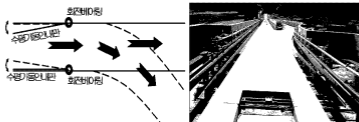


그림 1. 분기기의 기본 구조와 부설 전경

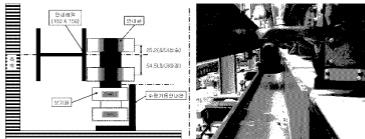


그림 2. 분기판/안내반 상하 변위량과 차방 안내륜의 모습

표 1. 설계 주요 검토항목

구분	설계 조건	분기거
설계 검토항목	- 축하중 : 9.0ton - 최대행암 : 안내관당 2.0ton - 설계 최고속도 : 70km/h - 지지대 간격 : 3m이하	- 접단부 밀림량 : 183mm - 가동안내관 type 및 길이, 두께, 구조 - 가동안내관 후단부 연결구조 - 전환리 기준: Max.250kgf

표 2. NS-AM형 전기전원기 사양

사용전압	STROKE	전환력	전환시간	운전전류
AC105V/220V 단상	220mm	Max. 400kg	7초이하	8.5/4.75A

2.2 안내케조의 기본 설계

- 1) 안내케조의 기본 구조는 H형강(150×150×7×10t)이며 기본 길이는 10m이다. 케조의 면적은 1분당 양단에 각각 2개씩의 장홀이 있어 이음관을 이용하여 볼트로 체결하여 열용비에 의한 축력을 흡수하는 구조이다.
- 2) 케간은 차량의 안내를 폭을 고려하여 2,900mm, 용거는 1,700mm로 하였고 케조 중심선과 노면과의 간격은 300mm이다.(그림 3)
- 3) 축방안내방식 구조로 경제성과 안전성을 고려하여 국내 압연업체에서 개발되어 강도 및 내구성이 검증된 입면 항강재를 사용한다.(표 3)
- 4) 안내면 상하방향의 폭 및 분기용 안내관의 높이는 안내륜(분기륜)의 상하 방향 변위량에 의해 결정되며, 이 변위량은 상승 25.2mm, 하강 54.5mm를 기준으로 한다. 이를 기준으로 안전성을 고려하여 안내면의 폭은 150mm로 하였다.

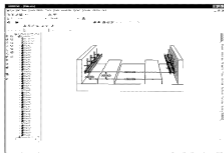


그림 3. 축방안내방식 단면도

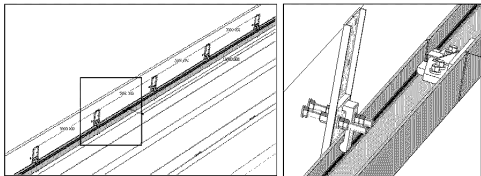


그림 4. 안내궤조의 지지와 안내레일의 연결 상세

- 5) 안내궤조를 고정하는 방법은 콘크리트 안내벽에 구멍을 뚫고 케미컬 충전재를 충전하여 케미컬 앵커볼트함 고정하는 방식이다. 구조적 안전성(인발과 압축에 대한 볼트와 콘크리트벽의 파괴)에 대한 해석과 실험을 실시하여 안전성을 검증하였다.
- 6) 곡선부와 완화곡선의 벤딩은 주행안정성에 가장 큰 영향을 주는 요인으로써 특수한 공정으로 매우 정교하게 제작하였다.



그림 5. 앵커볼트 홈의 천공과 인발시험, 콘크리트와 볼트 구조검토서

3. 안내궤조의 구조안전성 검토

3.1 구조해석의 검토 배경

3.1.1 응력해석의 목적 및 범위

안내궤가 안내궤조를 움직일 경우에 가장 가혹한 조건을 상정하여 해석을 수행하고자 한다. 해석 case는 ①최대모우먼트 ②최대도르그가 발생되는 위치를 설정하여 안내궤에 동시에 힘압이 작용할 때 궤조에 검토하는 응력과 변형의 해석을 수행하여 구조적 안전성을 검토하고자 한다.

3.1.2 안내궤조의 제한 및 허용응력

안내궤조의 단면 상수와 재료의 물리적 성질은 표3, 4에 나타내었다.

표 3. 궤조의 단면과 단면상수

안내궤조의 단면		안내궤조의 단면상수	
150	75	단면2차모멘트-강축(I_x)	1,600 cm^4
		단면2차모멘트-약축(I_y)	563 cm^4
		St. Venant 비틀림 상수(I) (Torsion constant)	11.39 cm^4
		뒤틀림 상수(I) (Warping constant)	2,750 cm^4

표 4. 빔의 물리적 성질 (단위:(MPa))

구분	E	u	항복응력			인장 응력	허용응력		
			인장	압축	전단		인장	압축	전단
SS400	205,800	0.3	220	220	140	400	137	137	109

3.2 안내궤의 횡압

차량은 그림 6과 같이 2량 1편성이다. 1량에 좌, 우 각각 4개씩의 안내궤가 위치하며 심할 경우 안내궤당 19.6kN의 횡압이 동시에 안내궤조를 충격한다. 지지대 간격이 3m이고 최고속도 80Km/h 인 직선구간에서 가장 가혹한 상황은 안내궤가 안내궤일의 중심에서 하방54.5mm 지점에 4개의 안내궤가 동시에 횡압을 작용할 경우이다.(그림 6)

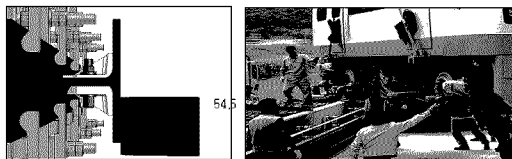


그림 6. 횡압이 작용하는 안내궤의 위치와 차량의 안내궤

3.3 3D 모델링 및 해석 조건

해석에 사용된 모델은 그림7과 같이 차량의 안내궤가 ①최대모우멘트 발생시 ②최대토오르 발생시(그림7)로 나누어 안내궤의 위치를 달리하여 2가지 모델링을 실시하였다.

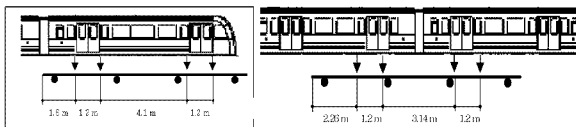


그림 7. 최대 모멘트, 최대 토오르 발생시의 안내궤 위치

정도 높은 해석을 수행하기 위해 모든 부품을 모델링하였고 부품들이 접촉되는 부분은 콘택 요소를 이용하여 마찰 조건과 경계조건에 최대한 실제조건을 반영하였으며 3D solid요소를 이용하였다. 경계조건에서는 지지대는 강체요소로 채부와 뒷면을 완전히 구속하여 변위가 없게 하였고 4개의 안내롤에는 각각 방향으로 19.6kN의 횡압이 작용하였다.

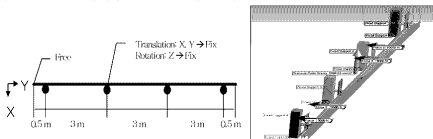


그림 8. 경계조건과 하중 조건

3.4 해석 결과

3.4.1 최대 모우멘트 발생 조건에서의 응력과 변위

최대모우멘트 발생 조건에서의 구조해석 결과 최대응력은 웨조 좌측 끝단에서 1.6m떨어진 지점으로 최대 71.6MPa(그림 9)이 작용하고 있음을 알 수 있다.

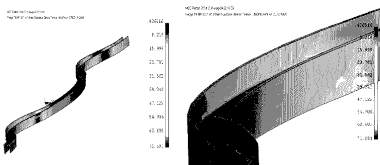


그림 9. 횡압과 자중에 의한 von_mises응력분포 - Max71.6MPa

이음매관이나 볼트에서는 20MPa이하로 아주 낮은 응력분포를 보이고 있어 땀임이나 토션에서도 양립한 것으로 판단된다.

SS400은 전단력이 인장력의 60%수준으로 전단에 약한 재료이다. 안내레일의 경우 가장 취약한 부분은 플랜지와 웨브의 연결 부분이라고 할 수 있다. 해석 결과 최대 전단응력은 XY에서 29.1MPa, YZ에서 18.8MPa, XZ에서 22.6MPa로 나타나 전단에 대해 매우 안전한 거동을 보일 것으로 판단된다.

웨조의 최대 변위는 1.7mm로 안내롤이 안내레일을 충격하는 지점인 웨조의 좌측에서 2.2m지점이다.(그림 10)

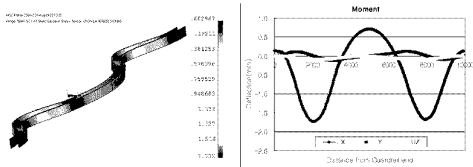


그림 10. 횡압과 자중에 의한 변위 분포 - Max1.7mm

3.4.2 최대 토오크 발생 조건에서의 응력과 변위

최대토오크 발생 조건에서의 구조해석 결과 최대응력은 캐조의 우주 끝단에서 3.5m지점에서 92.3MPa(그림 11)로 나타났다.

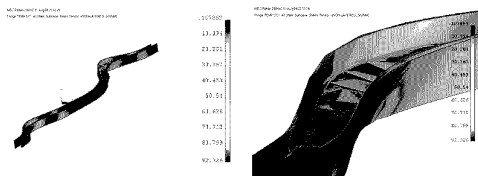


그림 11. 횡압과 자중에 의한 von_mises응력분포 - 발에서 Max92.3MPa

이음매관이나 볼트의 발생응력은 최대모우먼트에서의 값과 비슷한 수준으로 매우 안전한 것으로 나타났다. 최대 전단응력은 XY에서 19.0MPa, YZ에서 27.0MPa, XZ에서 36.9MPa로 나타나 전단에 대해 매우 안전한 거동을 보일 것으로 판단된다.

최대 변위는 1.5mm(그림 12)이며 캐조의 우주 끝단에서 약 2.2m지점이다.

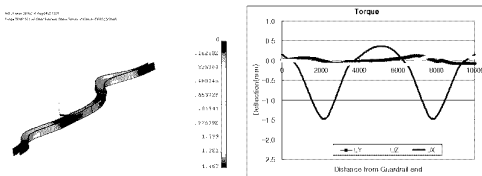


그림 12. 횡압과 자중에 의한 변위 분포 - Max 1.5mm

3.5 해석 결과 검토

해석 결과를 종합하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 최대모우멘트 발생시 응력분포

안내레일에서는 최대 71.6MPa의 응력분포를 나타냈으며 최대 처짐은 1.7mm로 나타났다. 이를 범의 허용응력(표 4)에 비교했을때 안전한 수준임을 알 수 있다.

(2) 최대토오르 발생시 응력분포

최대 응력은 범의 안내레일 승객부에서 최대 92.3MPa로 나타났으며 이는 범이 토선에 의한 비틀림 응력에 기인한 것으로 생각된다. 최대 처짐은 1.5mm로 우측끝단에서 2.2m 지점이다. 이를 범의 허용응력(표 4)에 비교 했을때 안전한 수준임을 알 수 있다.

이 해석 결과를 종합해볼 때 4개의 차륜에서 19.6kN(2톤)의 횡압이 작용하는 가혹한 상황에서도 안내레조의 구조는 안전한 것으로 판단된다.

표 5. 해석 결과의 종합

(단위:MPa)

구 분	허용응력	인장응력	허용변위	해석 결과			
				최대모우멘트 발생시		최대토오르 발생시	
				응력	변위	응력	변위
안내레조	137	400	3.8mm	71.6	1.7mm	92.3	1.5mm
결과				안전	안전	안전	안전

4. 결 론

고무차륜 경량전철용 분기기와 레조를 설계에서 제작, 시공까지의 전문분야에 대한 연구를 수행하여 국내 최초로 경북 경산에 약 2.3km의 시험노선을 부설하였으며 현재 차량이 원활하게 운행중에 있다. 설계에서 고려하지 못했던 시공상의 어려움과 기술 부족으로 제작이 난해한 부품이 다수 있었지만 해외 기술자문과 연구 개발로 원활히 시공할 수 있었으며 그 과정에서 많은 기술력을 확보하게 되었다. 현재 시험선 구간에서 주행성, 내구성, 안전성을 실시간 계속하고 있으며 만족할 만한 결과를 얻고 있다. 이로써 고무차륜형 분기기 및 안내레조의 설계에서 제작, 시공까지의 전 과정에 대한 100% 국산기술력을 확보하는 기틀을 마련하였다.

- 감사의 글

본 연구는 건설교통부 "경량전철시스템 기술개발사업(선로구축물분야)"의 일부로서 수행되었으며 주관기관인 포항산업과학연구원의 연구비 및 제반지원에 감사드립니다.

-참고문헌-

1. 한국철도기술연구원 경량전철연구팀(2001), "경량전철 기술", 도서출판 명진
2. National Academy Press(1992), "Light Rail Transit : Planning, Design, and Operating Experience"
3. National Academy Of Sciences(1978), "Light Rail Transit : Planning and Technology"
4. 사단법인 대한토목학회(1999), "철도청제정" 철도설계기준(철도교편)"
5. 한국기계연구원 신교통기술연구부, 송달호, 구정서, 한형석(2000.5), "고무차륜 경량전철의 구조강도 해석연구"