

고무차륜용 경량전철 분기기 및 안내궤조에 대한 연구

Study on Turnout System(Rubber Wheel Type) & Guideway for AGT

박준택* 김순철** 김준식*** 이안호**** 성택용 *****
Park, June-Teak Kim, Soon-Chul Kim, Jun-Sik Lee, An-Ho Seong, Taek-Ryong

ABSTRACT

Traffic congestion caused by overpopulation has a major detrimental effect on bringing about social and economic problems in city area. Therefore in order to maintain and sustain smooth flow of railway system, we are willing to introduce Light Rail Transit System.

Rubber wheel type and guideway for AGT have been concentrated on our study. Especially, the prototype of LRT turnout system has been developed. Furthermore, the structural analysis for the guideway system has been completed to secure reliability for the LRT system.

In the near future, the turnout system of rubber wheel and guideway shall be applied in Korea. We hope reliability for the system shall be secured without any major difficulties. As a result, we expect to expedite the localization of rubber wheel type and guideway for AGT.

1. 서 론

최근 도심지의 인구 밀집으로 인한 교통 체증의 문제는 사회적, 경제적인 측면에서 많은 손실을 야기시키고 있다. 이에 따라 도심지 인구의 원활한 유동성을 확보하기 위한 여러 방안 중 경량전철 시스템을 국내에서 적극 도입코자 하고 있으며, 본 연구에서는 경량전철 시스템(Light Rail Transit System, LRT)중 고무차륜용 경량전철 분기기 및 안내궤조에 대하여 상세 설계 및 시제품 제작을 완료하였으며 고무차륜 분기기의 중요 제품인 안내궤조에 대한 구조해석을 실시하여 제품에 대한 신뢰성을 확보하였다. 향후 시험선로에 본 분기기를 적용하여 안정성을 확보하면 고무차륜 경량전철 분기기 및 안내궤조의 국산화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

2. 분기기의 기본 구조

2.1 수평가동안내판식 분기기의 구조

- 1) 분기기는 가동안내판, 고정안내판, 안내궤조, 전기전철기등으로 구성되어 있다
- 2) 가동안내판은 후단부에 부착된 회전형 베어링에 의하여 좌우로 이동하며, 첨단부 Stroke는 183mm로 설정되어 있다.

* (주) 강원레일테크 기술연구소 책임연구원, 정회원

** (주) 강원레일테크 기술연구소장, 정회원

*** (주) 강원레일테크 기술연구소 주임연구원

**** 포한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

***** 포항산업과학연구원 책임연구원

- 3) 가동안내판은 ㄱ형강(200x200x15t)을 절단 벤딩하여 제작한 것으로써, 가동안내판의 전단부는 미끄럼 상판에 의하여 지지되고 있다.
- 4) 가동안내판을 전환시키는 전철기는 국내에 사용하고 있는 NS-AM형 전기 전철기를 설치하였으며, 이에 대한 기본 사양은 도표1과 같다.

도표1. NS-AM형 전기전철기 사양

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

- 5) 전기 전철기 전환력 시험 결과 전환력은 170kg이하로 작용하였고, 전환시 소요시간은 5.5초로 전기전철기 기본 사양을 충분히 만족하였다.

3. 안내궤조의 기본 설계

- 1) 측방안내방식에 적합한 구조로 설계하되 경제성과 안전성을 고려하여 국내 압연업체에서 개발되어 강도 및 내구수명이 검증된 압연형강재를 사용한다.
- 2) 좌우안내면의 간격은 윤거, 주행륜의 폭, 분기용 안내판의 이동량 및 차량의 수평방향 변위량에 의하여 결정한다. 금번 시험선 구간에 적용하는 분기기의 기준은 윤거를 1,700mm로 하고, 안내면의 간격은 2,900mm로 설정한다.(그림1)

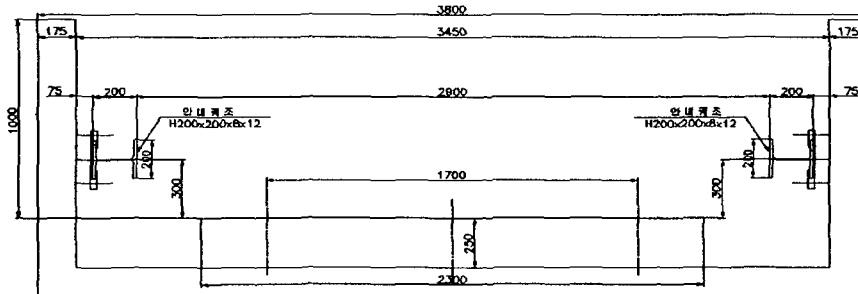


그림1. 측방안내방식 단면도

- 3) 안내면 상하방향의 폭 및 분기용 안내판의 높이를 안내륜(분기륜)의 상하방향 변위량에 의하여 결정되며, 이 변위량은 상승 25.2mm, 하강 64.5mm를 기준으로 한다. 이를 기준으로 안전성을 고려하여 안내면의 폭은 200mm로 채택하였다.(그림2)

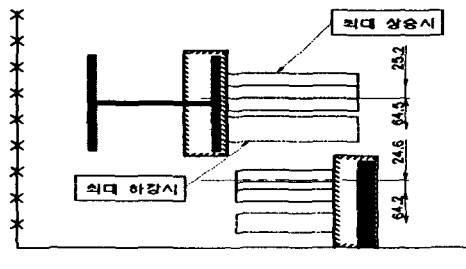


그림2. 분기륜/안내륜 상하 변위량

4) 안내케조의 기본 구조

- 안내케조의 단면은 H형강(200×200×8×12t)으로 하며, 기본 길이는 10m로 한다.
- 안내케조를 체결하는 방법은 콘크리트 안내벽에 심는 Bolting 방식을 채택하여 제작하였다.
(그림3)

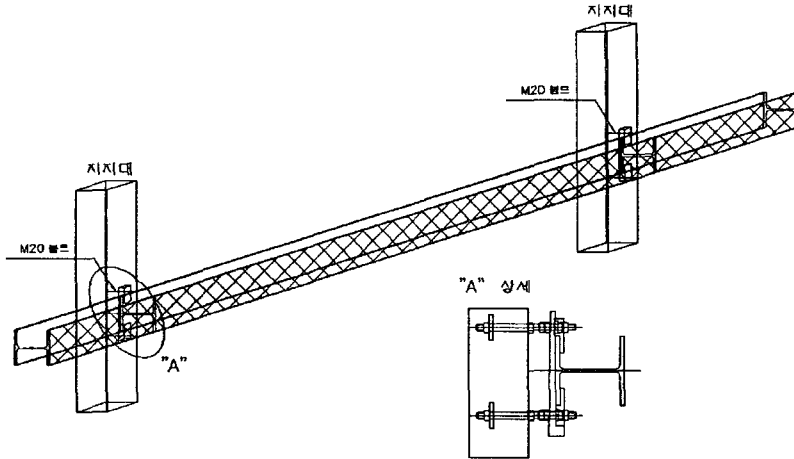


그림3. 안내케조 설치 상세

4. 분기기 및 안내케조 제작 및 안전도 검증

4.1 분기기 및 안내케조 제작

분기기 제작을 위하여 도표2와 같이 주요 검토항목을 선정하여 수평가동안내판식 분기기 상세 설계 및 시제품제작(그림4)을 완료하였으며, 안내케조에 대한 안전도 검증을 실시하였다.

도표2. 상세설계 주요 검토항목

구분	설계 검토항목	비고
설계 조건	- 축하중 : 9.5ton - 궤 간 : 1,700mm - 설계 최고속도 : 70km/h	
Layout	- 분기방식 : 수평가동안내판식 - Skeleton	
Switch part	- 침단부 벌림량 : 183mm - 가동안내판 type 및 길이, 두께, 구조 - 가동안내판 후단부 연결구조 - 전철기 전환력 : Max.400kgf	
안내케조	- 좌우안내면 간격 : 2,900mm - 주행면-안내면 중심까지의 거리 - 안내케조 이음부 체결상태 : 이음매판 체결	



그림4. 분기기 시제제작품 전경

4.2 안내케조 안전도 검증

1) 응력해석의 목적 및 범위

고무차륜용 경량전철의 안내케조는 측방안내방식에서 가장 중요한 부품으로 H형강 구조로 설계되어 비틀림에 약한 구조로 되어 있다. 또한, 안내케조의 휨-비틀림 좌굴은 일반적인 H형강의 좌굴 강성에 비해 약한 구조로 되어 있어 본 응력 해석의 범위로서 안내륜에 의한 횡압의 위치 조건에 따라 안내케조의 굽힘과 비틀림에 대한 응력해석 및 횡압의 위치 효과를 고려한 좌굴 해석을 통해 안내케조가 안전한지 검증코자 한다.

2) 안내케조의 제원 및 허용응력

안내케조는 H 200×200×8×12 형강을 사용하며, 단면 상수 및 국부 좌굴을 고려한 안내케조 강재의 허용응력은 도표3과 같다.

도표3. 안내케조의 단면상수 및 허용응력

안내케조 단면상수		안내케조 허용응력	
단면적(A)	63.53cm ²	인장응력	1,900kgf/cm ²
단면2차모멘트-강축(I _x)	4,720cm ⁴		
단면2차모멘트-약축(I _y)	1,620cm ⁴	압축응력	1,900kgf/cm ²
St. Venant 비틀림 상수(J)	26.044cm ⁴		
뒹(Warping) 상수(I _ω)	141,380cm ⁶	전단응력	1,100kgf/cm ²

3) 안내륜의 횡압

본 응력 검토에서는 그림 5와 같이 두 량으로 구성된 경전철에 차량 한량에 4개의 안내륜이 있고, 안내륜당 2ton의 횡압이 작용하며 그 작용위치는 고무차륜과 노면 상태에 따라 그림6과 같이 3가지 경우로 분류될 수 있다.

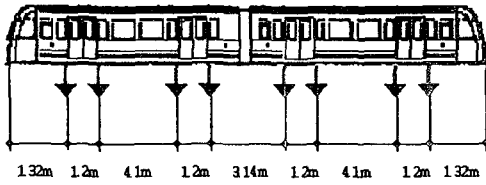


그림5. 고무차륜형 경전철의 안내륜 위치

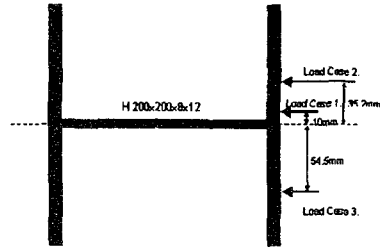


그림6. 안내구조에 작용가능한 하중의 위치

4) 최대모멘트, 최대토오크 발생시 응력 검토

① 안내구조의 작용 가능한 안내륜 위치는 그림6과 같이 3가지가 가능하고, 그중에서 가장 크게 비틀림을 유발하는 하중경우-3을 적용하여 응력을 검토한다. 안내구조는 10m 길이의 H형강을 3m 간격마다 지지대를 설치하고 있으며 인접한 안내구조와는 이음대판을 사용하여 연결하고 있다. 이러한 지지조건들을 고려하여 그림7과 같은 해석 모델을 사용하고 안내구조의 끝단은 휨과 비틀에 대해 불연속 되었다고 평가하였다.

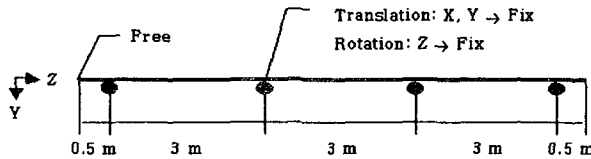


그림7. 안내레일의 해석 모델

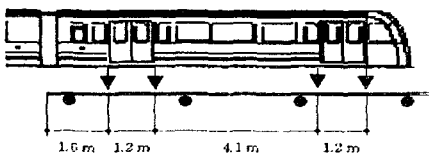


그림8. 최대모멘트 발생시의 경전철 위치

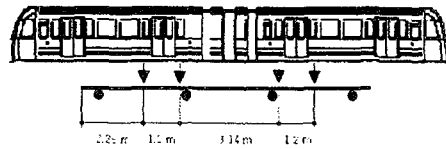


그림9. 최대토오크 발생시의 경전철 위치

② 최대모멘트, 최대토오크 발생시 응력 검토 해석 결과는 도표4와 같다.

도표4. 최대모멘트, 최대토오크 발생시 응력 검토 결과

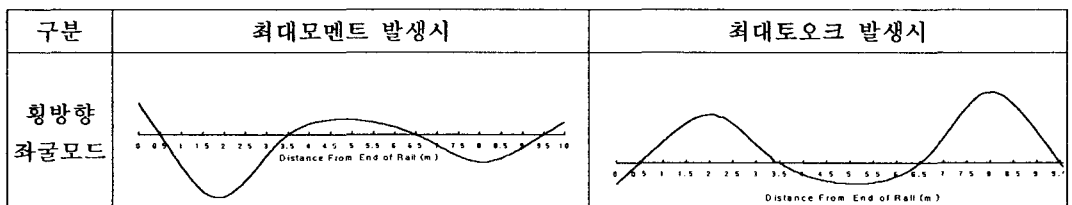
구 분		최대모멘트 발생시		최대토오크 발생시		단면내 분포
		발생지점	값(kgf/cm ²)	발생지점	값(kgf/cm ²)	
법선 응력	휨-법선응력	안내레일 좌측 끝단에서 1.6M 지점	$f_{b-max}=343.22$	안내레일 좌측 끝단에서 3.5M 지점	$f_{b-max}=101.27$	

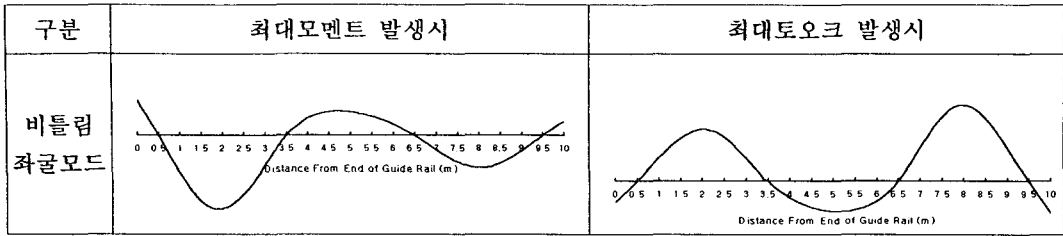
구 분		최대모멘트 발생시		최대토크 발생시		단면내 분포
		발생지점	값(kgf/cm ²)	발생지점	값(kgf/cm ²)	
범선 응력	뒀-범선응력		$f_{\theta-max}=368.34$		$f_{\theta-max}=146.94$	
	휨-전단응력		$\tau_b-max=101.58$		$\tau_b-max=228.74$	
전단 응력	Saint-Venant 전단응력	안내레일 좌측 끝단에서 1.6M 지점	$\tau_{s1}=58.42$ $\tau_{s2}=38.95$	안내레일 좌측 끝단에서 3.5M 지점	$\tau_{s1}=76.30$ $\tau_{s2}=50.87$	
	뒀-전단응력		$\tau_{\theta-max}=24.78$		$\tau_{\theta-max}=53.14$	

5) 최대모멘트, 최대토크 발생시 횡압 검토

안내레조에 작용하는 안내륜에 의한 횡압은 그림2와 같이 플랜지에 작용한다. 그러므로 정확한 전체좌굴에 대해 검토하기 위해서는 횡압 발생 위치를 정확하게 고려하여 하중고 효과를 고려한 좌굴 해석을 실시하여야 하며, 최대모멘트 및 최대토크를 유발하는 경우의 안내륜 위치는 그림8, 그림9와 같고 이러한 경우의 좌굴횡압을 60.68 ton으로 산정하여 해석한 결과 도표5와 같은 연구 결과를 도출하였다.

도표5. 최대모멘트 및 최대토크 발생시 좌굴모드





5. 결론

국내에 처음으로 도입되는 한국형 경량전철용 분기기를 개발함에 있어 경제성과 안정성을 고려한 분기기를 개발하였으며, 안내궤조에 대하여 위치별로 응력/횡압 분석을 통하여 도표6, 도표7과 같이 안내궤조의 안정성 검증을 완료하였다.

도표6. 안내궤조의 허용응력

구분		허용응력	실작용응력	발생위치	비고
최대모멘트 발생시	법선응력	1,900kgf/cm ²	711.76kgf/cm ²	1.6m 플랜지 상부 끝단	허용응력 만족함
	전단응력	1,100kgf/cm ²	280.21kgf/cm ²	6.7m 플랜지 단면 도심	“
최대토오크 발생시	법선응력	1,900kgf/cm ²	590.25kgf/cm ²	7.8m 플랜지 상부 끝단	“
	전단응력	1,100kgf/cm ²	282.72kgf/cm ²	6.6m 플랜지 단면 도심	“

도표 7 안내궤조의 횡압

구분	안내궤조당 실작용횡압	안내궤조당 가능 좌굴횡압	비고
최대모멘트발생시	2 ton	60.68 ton	실좌굴횡압에 충분히 견딤
최대토오크발생시	2 ton	80.86 ton	“

위와 같이 정적 응력 및 좌굴에 대해 연구한 결과 안내궤조는 안정적이라고 판단할 수 있으며, 실제 시험선 구간의 곡선부나 동적 응력을 고려하지 않았으나, 그에 따르는 안전율을 고려한다 하더라도 횡압에 의한 안내궤조는 매우 안정적이라고 판단할 수 있으며, 차량의 최대 상승 하강시 탈선등을 고려하여 안내궤조 사양을 H200x200x8x12t로 선정하게 되었다.

감사의 글

본 연구는 건설교통부 "경량전철시스템 기술개발사업(선로구축물분야)"의 일부로서 수행되었으며 총괄주관기관인 한국철도기술연구원의 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"