

# 콘크리트 매립형 궤도를 운행하는 트램의 주행안전성 향상 기술

서승일<sup>\*</sup>, 문형석<sup>1</sup>, 김선천<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국철도기술연구원 신교통연구본부, <sup>2</sup>과학기술연합대학원대학교 철도시스템공학과

## Technologies for improving the running safety of a tram operating on the concrete embedded track

Sung-il Seo<sup>\*</sup>, Hyung-Suk Mun<sup>1</sup>, Sun-Chun Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>New Transportation Systems Research Center, Korea Railroad Research Institute

<sup>2</sup>Dept. of Railway System Engineering, University of Science&Technology

**요약** 콘크리트 매립형 궤도를 운행하는 트램의 주행 안전성을 향상시키기 위해 핵심 구성품인 대차를 개발하고 제작하여 시험 차체와 조립한 후, 단거리 급곡선 급경사 궤도를 건설하고 시험운행을 실시하였다. 대차의 급곡선 주행 중 차륜 플랜지와 매립형 궤도의 간섭을 검토할 수 있는 산식을 제시하였고, 산식 결과에 따라 궤도를 설계하였다. 간략화된 계산식을 도출하여 곡선에서 탈선계수와 윤중감소율을 추정하였다. 단거리 급경사 급곡선 매립형 궤도에서 대차와 차체가 주행할 때에 차체의 가속도를 계측하였고, 영상 시스템을 통해 차륜과 궤도의 인터페이스 상태를 점검하였다. 계산 추정 결과에 따르면 차륜의 탈선계수와 윤중감소율은 안전기준 이하였는데, 실제 주행 시험 중에도 탈선은 발생하지 않았고, 가속도 계측 결과도 주행 안전기준을 만족하였다. 또한, 차륜과 궤도의 간섭은 발생하지 않았고, 영상 모니터링 결과도 차륜의 올라타기 등 탈선 조짐은 발견되지 않았으며, 중앙의 피니언과 랙이 원활히 접촉하면서 양호한 주행안전성을 보여주고 있었다. 외부 소음 계측을 통해서 소음 기준을 만족하고 있음을 확인하였다.

**Abstract** To improve the running safety of a tram operating on a concrete embedded track, a bogie, the core system of the tram, was developed and fabricated. After it was integrated with the prototype carbody, a short distance track with a sharp curve and steep gradient was constructed for the test operation. A formula to check the interference of the wheel flange with the track during running was proposed. Based on the results provided by the formula, the track was designed. Another simple formula was derived to estimate the derailment quotient and the wheel unloading ratio. During running on the track, the acceleration of the carbody was measured and the interface status between the wheel and the track was monitored by a video system. According to the results calculated by these simple formulas, the derailment quotient and wheel unloading ratio were estimated to be within the safety criteria. In the actual test, no derailment occurred and the measured acceleration satisfied the criteria. Also, there was no interference between the wheel and track. The video monitoring results showed no signs of derailment, such as the climbing of the wheel. The pinion in the center showed good running safety, contacting smoothly with the rack. The measurements of environmental noise proved that the criteria were satisfied.

**Keywords** : Bogie, Concrete embedded track, Running safety, Rack and pinion, Steep gradient, Sharp curve, Tram

### 1. 서론

자동차나 기타 운송장비가 지나갈 수 있도록 도로 표

면에 매립형 궤도를 설치하는 사례가 많다. 특히, 트램의  
운행을 위한 선로는 대부분 콘크리트 매립형 궤도를 적  
용하여 도로와 겸용하도록 되어 있다. 해외에서는 도로

본 논문은 한국철도기술연구원 연구과제로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Sung-il Seo(Korea Railroad Research Institute)

Tel: +82-31-460-5623 email: siseo@krii.re.kr

Received July 6, 2017

Accepted October 13, 2017

Revised (1st August 31, 2017, 2nd September 13, 2017)

Published October 31, 2017

와 같이 운용되는 부유식 교량에도 경전철의 운행을 검토하고 있는데[1], 부유식 교량에 경전철이 운행하기 위해서는 진출입시 경사와 곡선이 심한 선로에서 콘크리트 매립형 톱니궤도가 필요하다. 매립형 궤도가 직선인 경우에는 주행상 문제가 없으나, 급곡선인 경우에는 차체 원심력에 의한 횡하중의 증가로 탈선이 우려될 뿐만 아니라, 차륜 플랜지의 공격각이 커져서 콘크리트궤도와 간섭이 생길 수도 있다.

기존 연구에서 급경사와 급곡선 운행을 위한 대차시스템이 개발되어 주행시험대에서 주행시험을 수행하였고 성능을 검증하였다[2]. 그런데, 주행시험대 시험은 대차가 주행하면서 이동하는 것이 아니라 Fig. 1과 같이 대차는 고정되어 있고 레일이 회전하면서 대차의 이동 효과를 내는 것이기 때문에 곡선과 홈이 있는 궤도의 주행성능을 검증하기에는 한계가 있다. 특히, 급곡선 급경사 매립형 콘크리트궤도와 같이 경사와 곡선, 중앙 톱니궤도가 추가된 경우의 주행안전성 검증은 주행시험대에서 불가능하고, 실제와 유사한, 대차가 이동할 수 있는 시험궤도상에서만 가능하다.



Fig. 1. Roller rig test facility

도로상 매립형 궤도에서 운행하는 무가선 저장트램이 개발되어 시험선에서 시험운행 중에 있다[3]. 그러나, 무가선 저장트램이 운행할 수 있는 최소 곡선반경은 25m이므로, U턴과 같은 급곡선이 있는 도로에서 함께 운행하기에는 한계가 있다. 자갈궤도를 주행하는 열차의 주행안전성에 대한 연구는 시험계측 및 평가, 해석 분야에서 상당히 축적되어 있으나[4], 콘크리트 매립형 궤도의 급곡선 주행안전성에 대한 연구는 미흡한 실정이다.

본 연구에서는 트램이 급경사 급곡선 매립형 콘크리트궤도 위에서 장애 없이 안정적으로 운행할 수 있도록 설계 변수를 검토하고, 주행안전성을 사전에 점검하였

다. 또한, 검토 결과를 바탕으로 콘크리트궤도를 제작하여 소형 시험선로를 건설하고, 급경사 트램 1편성을 이루는 차체 1량과 대차시스템을 제작하여 시험선로 상에서 운행하고 성능을 계측함으로써, 차륜과 궤도의 호환성 및 주행안전성을 평가하였다.

주행안전성 평가를 위해서 함 등[5]은 횡압과 운중을 계측하여 탈선계수를 구하였고, 박 등[6]은 가속도를 계측하여 단순화된 방법으로 주행안전성을 평가하였다. UIC에서는 단순화된 방법을 이용하여 주행안전성을 평가하는 방법도 규정하고 있다[7]. 본 연구에서는 실제 궤도에서 시험운행을 통해 계측된 결과를 이용하여 단순화된 방법으로 주행안전성을 평가하고자 한다.

## 2. 도로 겸용 추진시스템의 주요 성능

### 2.1 대차시스템의 주요 사양

급경사 급곡선 도로상에서 트램이 운행하기 위해서 매립형 콘크리트 톱니궤도(rack rail)가 필요하다. 또한, 도로 겸용이므로 도로 면적 점유를 최소화하기 위해 협궤를 적용할 필요가 있다. 급경사 트램에 요구되는 주요 사양을 정리하면 다음의 Table 1과 같다[2]. 요구되는 주요 사양을 충족하기 위해 대차시스템에는 톱니바퀴(pinion) 추진장치가 필요하다. 급곡선 주행을 위해 차륜에 베어링이 삽입되어 좌우 차륜이 독립적으로 회전할 수 있다. Fig. 2는 차체와 조립되기 전에 완성된 대차를 보여준다.



Fig. 2. Bogie system before assembly

차량은 3량 1편성으로 구성되며, 급곡선에서 원활하게 회전하기 위해 대차시스템 위에는 차체 1량만 놓이게 되고 차체는 회전과 비틀림이 가능한 연결기에 의해 연

결된다. 시험 개발된 차체1량과 대차시스템의 주요 기기 배치는 Fig. 3와 같다.

Table 1. Major specifications of the prototype tram

Contents		Specification
Vehicle Type		LRT (Wireless Low Floor Tram)
Vehicle Arrangement		3module 3 driving bogie, (Mc1-M-Mc2)
Operation Type		Manual operation by 1person
Supply Voltage		750 V, DC
Gauge		1,000 mm
Minimum Curve Radius		10 m
Weight [kg]	Tare	46,000
	Load	8,000
	Full	54,000
Capacity		82(Seats34, Standing48, 3person/m <sup>2</sup> )
Dimension	L	19,300 mm
	W	2,300 mm
	H	3,400 mm
Floor Height		MC1, MC2, M Car 790 mm (Entrance 350 mm)
Max. Speed		Flat 50 km/h Uphill (120 %) 15 km/h, (180 %) 5 km/h
Max. Acceleration		Adhesion 3.5 km/h/s Uphill (120 %) 1.0 km/h/s, (180 %) 0.5 km/h/s
Deceleration		Service 3.5 km/h/s (Adhesion) Emergency 4.5 km/h/s

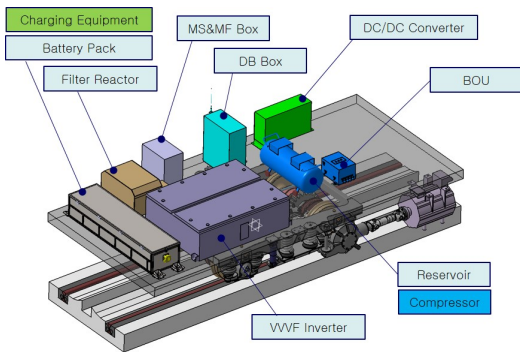


Fig. 3. Test car body on bogie

트램 1편성을 이루는 3량의 차체는 각각의 대차시스템 위에 놓이게 되며 회전이 자유로운 연결기로 연결되므로 전후 견인력 전달을 제외하고는 독립적인 거동을 보이게 된다. 따라서 1량의 차체에 대해 주행안전성을 검증함으로써 전체 트램의 주행안전성을 평가할 수 있다.

### 2.2 시험궤도 및 시험차체

급경사와 급곡선이 많은 도로에서 자동차 검용으로

사용하기 위해 매립형 콘크리트 톱니궤도 기술을 개발하였다. 개발된 기술을 적용하여 Fig. 4와 같이 시험궤도를 부설하였다. 시험궤도는 전체 길이가 40m로서 경사는 100%이고, 곡선반경은 국내 도로에 나타나는 최소 반경인 10m로 하였다. 곡선에서 차륜이 공격각이 커지면서 궤도 사이에 끼일 수가 있어서 슬랙을 규정에서 허용하는 최대치인 30mm로 하였다[8]. Fig. 3과 같은 디자인에 따라 제작된 시험차체 1량이 시험궤도에서 Fig. 5와 같이 주행하게 된다. 차체 언더프레임 상에 추진에 필요한 추진제어장치와 압축기, 배터리 등을 탑재하였다. 시험차체는 배터리에 의한 전원공급으로 차체 하부에 부착된 견인전동기를 구동하여 추진하게 된다.



Fig. 4. Curved test track



Fig. 5. Carbody running on the test track

### 3. 기하학적 간섭 검토

급곡선을 주행하면서 원심력에 의해 차륜은 바깥으로 쏠리면서 외측 차륜의 플랜지는 레일과 접촉하고, 내측 차륜의 플랜지는 콘크리트궤도와 접촉하는 일이 발생한다. 차륜이 궤도와 접촉하게 되면 플랜지가 레일과 궤도

사이 틈새에 끼여서 더 이상 추진이 안 되고, 차량이 멈추게 된다. 즉, Fig. 6에서 보는 바와 같이 곡선을 회전할 때 플랜지가 콘크리트궤도에 접촉할 수 있다. 따라서, 궤도와 레일 사이의 홈은 충분한 거리를 확보하여야 한다. Fig. 6를 참고로 플랜지가 콘크리트궤도 홈에서 접촉하는 조건은 다음 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

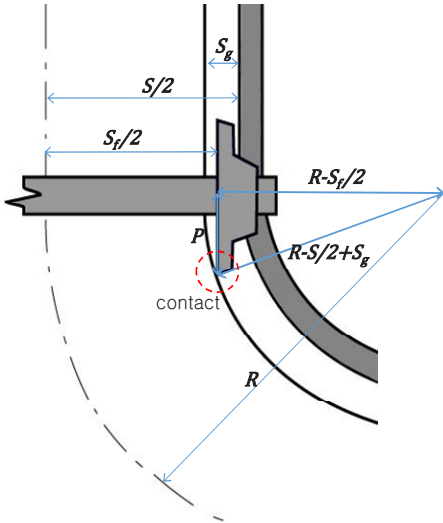


Fig. 6. Contact of flange with sleeper

$$\left(R - \frac{S_f}{2}\right)^2 + P^2 = \left(R - \frac{S}{2} + S_g\right)^2 \quad (1)$$

여기서,  $R$  = 선로 곡선반경  
 $S_f$  = 좌우 차륜 플랜지간 거리  
 $P$  = 레일상면에서 플랜지 디스크 현의 길이의

$$1/2 = \frac{1}{2} \sqrt{D_f^2 - D_t^2}$$

$S$  = 레일 궤간

$S_g$  = 콘크리트궤도 홈의 폭

식(1)에 따라 플랜지 접촉을 피하기 위해 소요되는 홈의 폭은 다음 식으로 계산될 수 있다.

$$S_g = \frac{S}{2} - R + \sqrt{\left(R - \frac{S_f}{2}\right)^2 + \frac{1}{4}(D_f^2 - D_t^2)} \quad (2)$$

콘크리트궤도를 설계할 시에 홈의 폭이 식(2)로 계산된

값 이상이 되어야 한다. Fig. 7의 치수와 주어진 자료를 식(1)에 대입하여 차륜과 궤도가 접촉하지 않을 홈의 폭을 계산해 보면 Table 2와 같은 결과가 얻어진다. Table 2의 결과에 따르면 플랜지 접촉을 피하기 위한 홈의 폭은 51.5m 이상이 되어야 하는데, 실제 설계 시에는 70mm로 반영하였다. Fig. 8은 설계 결과를 반영한 콘크리트궤도의 단면이다.

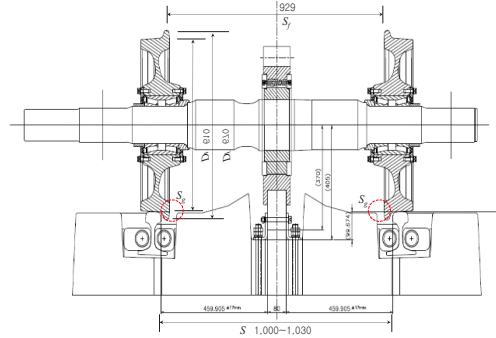


Fig. 7. Section details of axle and track

Table 2. Calculation of required width of groove

Variables	Digits	Remarks
Radius of curve, $R$	10m	
Distance between right and left wheel flanges, $S_f$	929mm	Given in section drawing
Diameter of flange, $D_f$	670mm	Given in section drawing
Diameter of wheel, $D_t$	610mm	Given in section drawing
Track gauge, $S$	1030mm	Maximum slack considered
Width of groove in concrete track, $S_g$	51.5mm	Required width to avoid contact

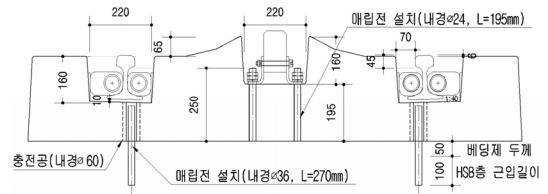


Fig. 8. Final section drawing of concrete track

## 4. 주행안전성 시험

### 4.1 주행안전성 검토

곡선을 주행하는 차륜에는 원심력과 축중이 작용한다. 대차의 주행중 운동에 따라 상하 및 전후 동하중도 작용하고 있으나 급곡선에서 저속으로 주행하기 때문에 그 비중이 크지는 않다. 차체와 대차의 원심력은 식(3)와 같이 계산되고 좌우 차륜의 축중과 횡압은 Fig. 9를 참고로 하여 힘의 평형에 따라 식(4) 및 식(5)와 같이 표현된다. 대차의 차축은 2세트이므로 개별 차륜의 횡압은 식(4)와 식(5)에서 계산된 값의 1/2이 된다.

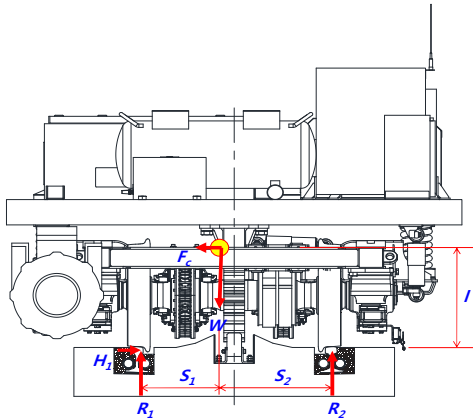


Fig. 9. Section of bogie and concrete track

$$H_1 = F_c = m \frac{v^2}{R} = W \frac{v^2}{gR} \quad (3)$$

여기서,  $H_1$  = 차륜의 횡압

$F_c$  = 차체와 대차의 원심력

$m$  = 차체와 대차의 질량

$W$  = 차체와 대차의 중량

$v$  = 대차의 속도

$$R_1 = \frac{S_2}{S_1 + S_2} W + \frac{l}{S_1 + S_2} F_c \quad (4)$$

여기서,  $R_1$  = 좌측 레일의 반력

$l$  = 레일 상면과 대차-차체 무게중심까지 거리

$S_1$  = 좌측 차륜 접촉점에서 무게중심까지 수평 거리

$S_2$  = 우측 차륜 접촉점에서 무게중심까지 수평 거리

$$R_2 = \frac{S_1}{S_1 + S_2} W - \frac{l}{S_1 + S_2} F_c \quad (5)$$

여기서,  $R_2$  = 우측 레일의 반력

식(4) 및 식(5)를 이용하여 대차의 주행안전성을 나타낼 수 있는 탈선계수를 정의에 따라[9] 식(6)과 같이 구할 수 있다.

$$Q_d = \frac{H_1}{R_1} \quad (6)$$

여기서,  $Q_d$  = 탈선계수(quotient of derailment)

직선에서 곡선부에 진입하면서 원심력이 작용할 때 차륜의 윤중감소율은 다음 식(7)과 같이 계산된다.

$$\Delta r = \frac{\Delta R_2}{R_{2(F_c=0)}} = \frac{l F_c}{S_1 W} \quad (7)$$

여기서,  $\Delta r$  = 윤중감소율(ratio of wheel unloading)

$\Delta R_2$  = 윤중감소량

$R_{2(F_c=0)}$  = 곡선 진입전의 윤중

Table 3. Calculation process for running stability

Description	Figure	Remark
Total Weight of carbody and bogie, $W$	73,304 N	
Height of Center of Gravity, $l$	621mm	
Running Velocity, $v$	5km/h (=1.39m/s)	
Lateral Force, $F_c$	1,445 N	
Distance, $S_1$	328mm	
Distance, $S_2$	702mm	
Left Wheels Load, $R_1$	50,832 N	One bogie has two wheel sets
Right Wheels Load, $R_2$	22,472 N	One bogie has two wheel sets
Quotient of Derailment, $Q_d$	0.028	Allowable Limit 0.8
Ratio of Wheel Unloading, $\Delta r$	0.037	Allowable Limit 0.6



제작 완료된 대차와 차체의 중량, 무게중심, 차륜 간격 등의 자료를 대입하고, 식(3)~(7)를 이용하여 횡압과 윤증을 계산하면 다음 Table 3와 같은 결과가 얻어진다. 철도안전 규정에 따르면 곡선반경에 따라 원심력에 의한 탈선 우려 때문에 열차 주행속도의 제한이 있으나, 주행속도가 70km/h 이상인 경우를 대상으로 하고 있다[8]. Table 3을 살펴보면 차량은 곡선에서 저속(5km/h)으로 운행하므로 원심력이 크지 않아 탈선계수와 윤증감소율이 작게 되어 기준치[9]에 크게 미달된다. 따라서 탈선 가능성은 없고, 주행안전성도 확보된 것으로 판단된다.

#### 4.2 주행시험을 통한 주행안전성 평가

대차와 추진시스템의 기본적인 안전성을 검증하고 궤도와의 인터페이스 성능을 확인하기 위해 시험궤도상에서 주행시험을 실시하였다. 차체에 가속도계를 설치하여 주행 중 차량의 동요를 계측하였고, 영상 카메라를 대차 하부에 설치하여 주행 중에 차륜의 동작 상태를 모니터링 하였다. 차량 주행 중에서 발생한 소음의 방사 정도를 알기 위해 마이크로폰을 설치하여 외부 소음을 계측하였다. 또한 차륜과 피니언이 궤도의 레일과 랙에 맞물려 주행하는 과정의 궤적을 추적하였다. 주행시험 중에 계측 항목을 정리하면 Table 4와 같고, 각 계측기의 위치는 Fig. 10 및 11에 표시하였고, 계측기 및 센서의 주요 성능 사양은 Table 5에 제시하였다.

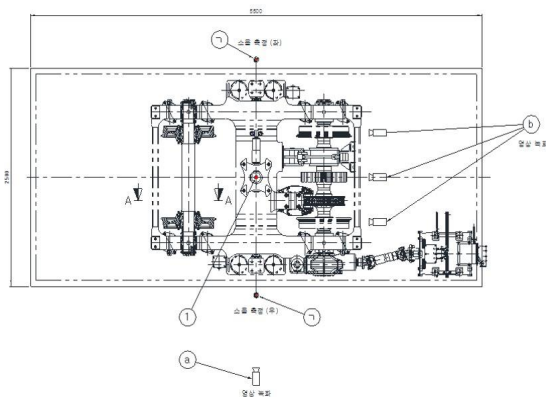


Fig. 10. Plan view of measuring locations

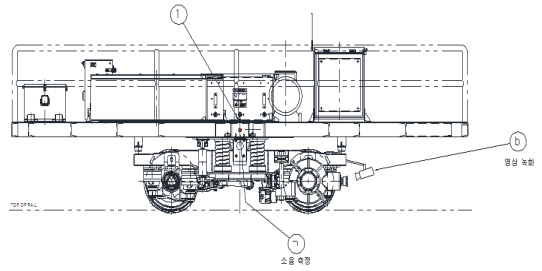


Fig. 11. Side view of measuring locations



Fig. 12. Sensors and camera for measurement

Table 4. Measuring parameters and locations

Designation	Parameter	Recording		Measuring location
		Data	Vision	
①	Acceleration of car body	O		Under frame of car body above the bogie
a	Operation of driving gear		O	Side frame of the bogie
b	Contact of pinion with rack rail		O	Before the cross frame of the bogie
㉠	Noise level	O		Side the car body for measuring the outdoor environment noise

Table 5. Specifications of measuring models

Model	Specification	Quantity	Purpose
DAQ(E-DAQ H/W)	32 Channel	1 Set	Data acquisition
① Accelerometer (356A15)	50G	1 EA	Measurement of acceleration
㉠ Microphone (GRAS/40AE & 26CA)	20~16,000 Hz	2 EA	Measurement of noise
a, b) Camera (Sony & Lifecam)	1080P	3 EA	Video monitoring of operating process

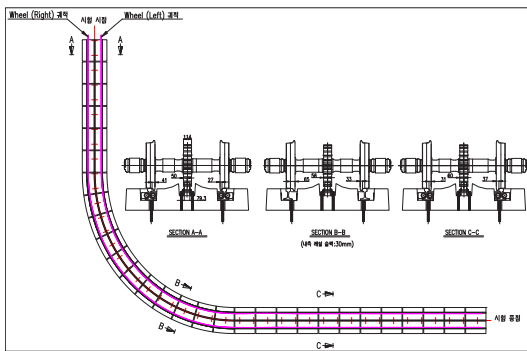


Fig. 13. Contours of wheels and pinion on the track



Fig. 14. Video monitoring of wheel contact

Table 6. Test results after car body's running

Parameter	Target Criteria	Test result	
		1st	2nd
Vertical acceleration on vehicle body	-Less than 1.5m/s <sup>2</sup> for ride comfort -Less than 3m/s <sup>2</sup> for running safety	0.56m/s <sup>2</sup>	velocity 5.1km/h
		0.73m/s <sup>2</sup>	velocity 5.0km/h
		0.90m/s <sup>2</sup>	velocity 4.8km/h
Lateral acceleration on vehicle body	-Less than 1.5m/s <sup>2</sup> for ride comfort -Less than 2.6m/s <sup>2</sup> for running safety*	1.48m/s <sup>2</sup>	velocity 5.1km/h
		1.32m/s <sup>2</sup>	velocity 5.0km/h
		1.22m/s <sup>2</sup>	velocity 4.8km/h
Interface performance of bogie traction system	-No interference or contact between suspensions & components	No interence	
Operating stability of driving gear and propulsion shaft	-Stable operation of driving gear, no leakage of oil and no abnormal noise	Good operation	
Environment noise level	-Less than 100dB(A)	Maximum Leq: 90dB(A)	

\*Reference criteria in small radius of curve

시험궤도에서 Fig. 12와 같이 차체의 주행시험을 실시하고, 대차의 차륜과 궤도의 접촉 궤적을 표시하면 Fig. 13와 같다. Fig. 14는 차륜-레일 접촉의 영상 모니터링 장면을 나타낸다. Fig. 13 및 14에 따르면 차륜 및 피니언은 레일 및 중앙 랙과 원활하게 접촉하면서 움직이고 있고, 궤적도 초기 위치에서 크게 벗어나지 않으며, 과도한 플랜지 접촉에 의한 탈선의 조짐은 보이지 않는다. 계측된 결과를 종합하면 Table 6와 같다. Table 6에 따르면 주행시험 중에 계측한 차체의 수직 가속도는 목표치 이내에 들어가서 승차감이 확보될 수 있음을 알 수 있다. 대차가 시험궤도를 주행 중에 견인전동기 등 추진 시스템의 주요 구성품이 궤도와 간섭을 일으키지 않아 대차와 궤도의 호환성은 확보된 것으로 판정되었다. 드라이빙 기어 등 동력 전달장치도 주행 중에 이상 거동을 보이지 않았다. 곡선 구간에서 스킵 소음이 발생하였으나 기준치 이내였고, 윤활제 도포 후에 감소되었으므로 외부 소음도 문제가 없으리라 판단된다.

## 5. 결론

본 연구에서는 콘크리트 매립형 궤도를 운행하는 대차의 주행안전성을 검토하고, 단거리 궤도상에서 시험운행을 통해 검증하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 급곡선과 급경사가 많은 도로에 설치된 매립형 궤도를 대차가 주행하는 경우 곡선에서 차륜 플랜지가 공격각을 이룰 때, 궤도와 간섭을 일으키지 않는 최소 간격을 계산하는 산식을 제안하여 매립형 궤도 설계 시에 반영하고, 시험궤도를 건설하여 대차 주행시험을 통해 계산식의 타당성을 입증하였다.
- (2) 간략화된 계산식을 이용하여 곡선에서 탈선계수와 윤증감소율을 계산하여 기준치 이내가 되는 것을 확인하였다.
- (3) 대차 주행시험을 통해 탈선이나 차륜 간섭 등이 없이 곡선을 원활하게 통과함을 확인하였고, 계측된 가속도를 통해 주행안전성이 확보됨을 확인하였다.
- (4) 주행과정의 영상 모니터링을 통해서도 피니언과 랙궤도의 원활한 접촉을 확인하였고, 외부 소음

계측을 통해서 소음 기준을 만족하고 있음을 확인하였다.

- (5) 본 연구에서 개발한 콘크리트 매립형 궤도와 급경사 급곡선 추진 대차는 주행안전성을 확보하고 있음을 확인하였다.

### 후 기

본 논문은 한국철도기술연구원 주요 연구 사업 과제로 수행되었습니다.

### References

- [1] E. T. Thonstad, *Specialized Track Bridge Structure for Light Rail Construction on Floating Bridges*, MSE Thesis, pp. 2-13, University of Washington, 2003.
- [2] S. I. Seo, H. S. Mun, J. H. Mun, M. E. Suk, "Development and Performance Evaluation of Traction System for Steep Gradient and Sharp Curve Track", *Jour. of the Korea Academia-Industrial cooperation Soc.*, Vol. 17, No. 9, pp. 493-501, Sep. 2016. DOI: <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.9.493>
- [3] S. H. Lee, Y. S. Kang, J. H. Kwak, H. C. Hyeong, S. W. Han, Y. H. Oh, "Development of Wireless Tram and Embedded Rail Track System in Korea", *Korean Soc. of Civil Eng.*, Vol. 6, No. 60, pp. 57-61, June 2012.
- [4] K. Y. Eum, S. S. Kim, Y. H. Kim, M. S. Lee, H. C. Jeong, "Comparison and Analysis of the Running Safety Followed by Derailment Coefficient and Wheel off-loading at the Curves", *Proc. of Korean Soc. for Railway Fall Conference*, pp. 347-358, Oct. 2009.
- [5] Y. S. Ham, T. Y. Oh, "Estimation of Curving Performance and Running Safety of Gwangju Electric Multiple Unit for City Subway", *Proc. of Korean Soc. of Mechanical Engineers Spring Conference symposium*, pp. 384-387, May 2004.
- [6] C. K. Park, K. W. Ki, Y. G. Young, S. W. Kim, J. Y. Mok, "Estimation of the Dynamic Behavior for Korean High Speed Train at 350km/h using the Accelerations according to the UIC Code 518 OR", *Jour. of Korean Soc. for Railway*, Vol. 9, No. 5, pp.1-6, Nov. 2006.
- [7] UIC, *Testing and Approval of Railway Vehicles from the Point of View of Their Dynamic Behavior-Safety-Track Fatigue-Running Behavior*, Code 518 OR, pp. 41-47, International Union of Railways, Sep. 2009.
- [8] MLIT, *Regulation on the Construction Standards of Railway*, Enforcement No. 2014-607, pp. 13-14, Ministry of Land and Transport, Oct. 2014.
- [9] MLIT, *Technical Standards for Metro Railway Vehicle-Trams*, KRIS-VE-Part52-2016, pp. 4-5, Ministry of Land and Transport, Mar. 2016.

### 서 승 일(Sung-il Seo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 대학원 조선공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 2002년 3월 : 한진중공업기술연구소 수석연구원
- 2002년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원

<관심분야>

철도차량시스템, 용접구조 강도, 시스템 신뢰성 평가

### 문 형 석(Hyung-suk Mun)

[정회원]



- 1994년 2월 : 조지워싱턴 대학교 (공학석사)
- 2008년 8월 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (공학박사)
- 1998년 1월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 책임연구원

<관심분야>

철도차량다물체 동특성 해석, 용접변형, 차량설계, 신호통신시스템 개발

### 김 선 천(Sun-Chun Kim)

[정회원]



- 2015년 8월 : 서울과학기술 대학교 기계시스템 디자인공학(공학박사)
- 2016년 9월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 UST석사과정

<관심분야>

철도공학, 자동화시스템, 차량설계