

급구배 산악철도 선로설계기준에 대한 연구

A Study on the Design Application of Track Design Criteria for High Gradient Mountain Railway

박성현[†], 문지호^{*}, 천진녕^{**}, 이창진^{***}

Sung-Hyun Park[†], Ji-Ho Moon^{*}, Jin-Nyeong Cheon^{**}, Chang-Jin Lee^{***}

Abstract Development of mountain railway system is leverage existing mountain road are planned to be used with railway vehicle and car. For this reason, able to operate at mountain railway on steep slope 180% and sharp curve R=10m, developing wireless tram and precast embedded rail track system.

But, mountain rail system development is, leveraging existing mountain road and rail vehicles are operated by rack & pinion. Therefore, in this paper, based on the performance and specifications of the mountain railway vehicle, we propose the design criteria of mountain railway tracks satisfying the existing road design criteria and railway design criteria

Keywords : Mountain Railway, Embedded Rail System, Rack & Pinion, Wireless low floor tram, Track Design Criteria

초 록 현재 추진 중에 있는 한국형 산악철도 시스템 개발은 자연환경 훼손 최소화를 고려하여 철도전용 선로가 아닌 기존 산악도로를 활용하는 방식으로 철도와 자동차를 공용 운행토록 계획하고 있다. 이에 따른 산악도로의 급경사(180%), 급곡선(R=10m)구간에서도 운행이 가능한 Rack&Pinion 추진시스템이 도입된 무가선 트램(Tram)차량과 도로에 매립하는 콘크리트 궤도구조 시스템을 개발 중에 있다. 하지만 한국형 산악철도의 개발에 있어서 산악철도가 전용 선로가 아닌 기존의 산악 도로를 활용하고 철도차량이 Rack&Pinion에 의하여 추진되므로 이를 고려한 설계기준 정립이 필요하였다. 따라서 본 논문에서는 산악철도 개발차량의 성능 및 제원을 근간으로 기존의 도로설계기준과 철도설계기준을 만족하는 산악철도 선로설계기준을 제안하고자 한다.

주요어 : 산악철도, 매립형궤도, 랙&피니언 추진시스템, 무가선 트램, 선로설계기준

1. 서 론

해외에서 운행되고 있는 기존 산악철도는 철도전용선으로 도상형식의 경우 산악지형의 현장 시공성 및 유지보수성을 고려하여 대부분 침목 중앙부에 랙(Rack)을 설치한 자갈도상 궤도를 적용하고 있으며, 열차의 전력 공급을 위한 전차선 등의 전력설비 시스템을 갖추고 있다.

현재 국내에서 추진 중에 있는 산악철도 시스템은 자연환경 훼손 최소화를 위하여 Rack&Pinion 추진시스템이 도입된 무가선 트램(Tram)과 더불어 기존 자동차 도로 위에 궤도부설이 가능한 프리

† 교신저자: (주)서현기술단 궤도사업부 상무 박성현(psh@seohyuneng.co.kr)

* 한국철도기술연구원 미래수송시스템 연구단 선임연구원

** (주)서현기술단 이사

*** (주)서현기술단 과장

캐스트 매립궤도를 개발하여 자동차와 열차가 공용으로 운행이 가능하도록 계획하고 있다. 이에 따른 자동차 도로의 한정된 공간에서의 산악열차와 자동차가 안전하게 주행이 가능하도록 도로설계기준과 철도설계기준을 동시에 만족하는 산악철도 선로설계기준 정립이 반드시 필요하다.

2. 국내외 산악철도 차량운행 조건

2.1 해외 산악철도

해외산악철도의 경우 열차운영 및 탑승인원 등을 고려하여 고지대 급곡선 구간에 대하여 Fig 1 ~ Fig3과 같이 산악철도 추진시스템을 시설규모에 따라 다양하게 적용하고 있다. 일반적으로 경전철 규모의 열차운영계획이 필요한 노선에 대해서는 열차운행 횟수, 유지보수 등을 고려하여 랙과 피니언(Rack&Pinion) 추진시스템을 계획하고 있다. 그 외 소·중규모 노선에 대해서 가공삭도(Aerial Ropeway) 및 강삭철도(Funicular)의 추진시스템을 적용하고 있다.



Fig. 1 Aerial Ropeway System



Fig. 2 Funicular System



Fig. 3 Rack & Pinion System

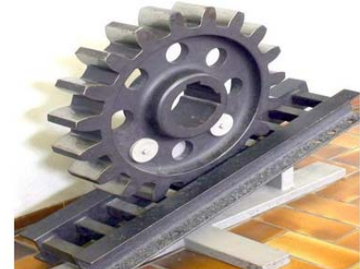
대부분 해외 산악철도는 열차전용선으로 Fig 4의 (a)와 같이 현장 시공성 및 유지보수성을 고려하여 자갈궤도를 적용하고 있으며, Fig 4의 (b)와 같이 PCT 침목 중앙부에 랙(Rack)을 설치하여 차량의 피니언(Pinion)과 랙(Rack)이 맞물려 추진하는 시스템을 적용하고 있다.



(a) Mountain railway track Structure



(b) Ballast Bed Track and Rack



(c) Rack & Pinion

Fig. 4 Mountain railway track Construction of foreign

또한 Table 1에 보이는 것과 같이 산악철도의 궤간설정은 급구배, 급곡선 등의 급격한 선형변동 조건에서 운행이 상대적으로 용이하고 노반 구조물의 비용 축소를 위하여 협궤(1,000mm)를 적용하고 있다.

Table 1 Mountain railway Gauge

	Gauge(mm)	Country
Narrow Gauge	750/800/950	9
	1,000	32
	1,050/1,067	3
	1,200/1,431	3
Standard Gauge	1,435	10
Wide Gauge	1,445/1,524/1,600	3

2.2 국내 산악철도

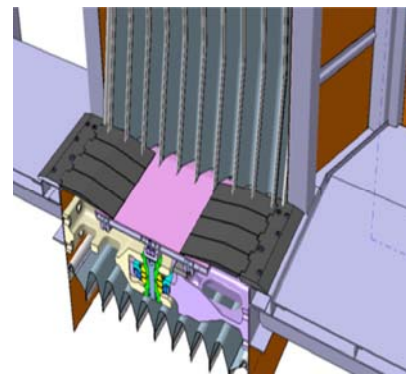
현재 급구배 산악철도 추진시스템은 국내 산악지형의 특성을 반영하여 최급기울기 180% 구배 조건에서 주행이 가능한 저진동 랙 & 피니언(Rack & Pinion) 추진시스템 개발과 최소곡선반경 R=10m의 곡선부 주행 가능한 대차(Bogie) 개발 및 곡선부 차량간 연결장치 등의 한국형 산악철도 차량개발이 활발하게 진행 중에 있다.



(a) Low vibration of Pinion



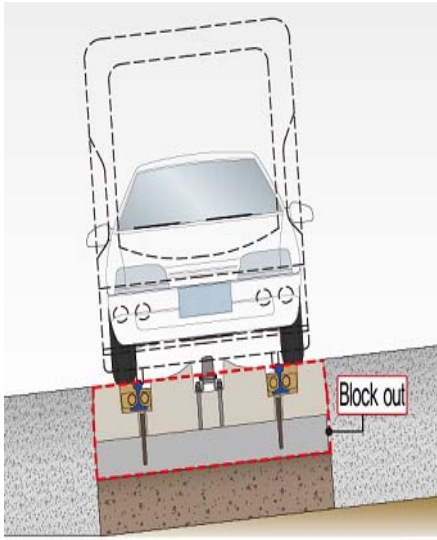
(b) Bogie of vehicle



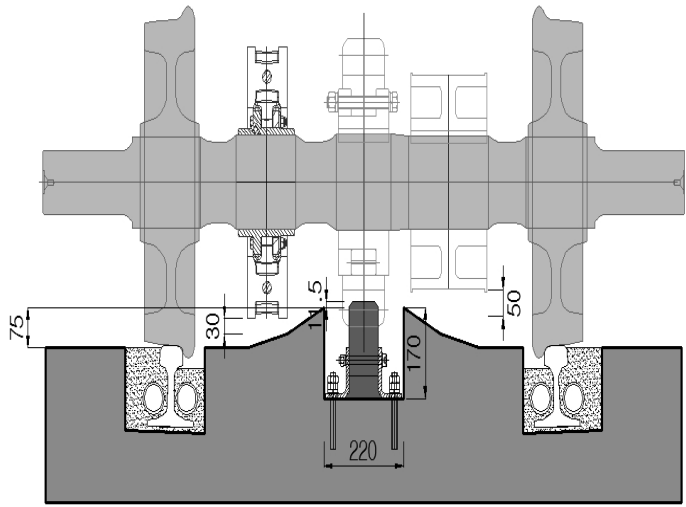
(c) Coupler device

Fig. 5 Mountain Railways of vehicle development.

더불어 최급기울기(180%) 및 최소곡선반경(R=10m)의 선구조건에서 개발차량의 주행안정성 확보와 기존 자동차도로의 선형조건에서 궤도부설이 가능한 매립형 프리캐스트 궤도패널을 개발 중에 있다. 이러한 궤도구조는 열차가 산악지형의 급경사 지역을 운행 할 수 있도록 궤도패널 중앙부에 랙(Rack)이 설치되며, 기존 자동차 도로에 Block-Out을 통하여 패널이 부설되어지기 때문에 자연환경 훼손의 최소화가 가능하다.



(a) Block out Section of Automobile Road



(b) Interface requirements of Bogie and Embedded Track Panel

Fig. 6 Standard Section of Embedded Track and Interface requirements

해외 산악철도는 철도전용선으로 철도설계기준에 대한 열차주행의 안전성 검토가 요구되지만, 국내에서 추진 중에 있는 급구배 산악철도 시스템은 Fig 6의 (a)에서 보이는 것과 같이 자동차와 열차가 공용으로 운행되는 시스템으로 일반 자동차 주행안전성이 확보가 되어야 한다.

이와 같이 국내에서 추진 중에 있는 급구배 산악철도는 자동차와 산악열차가 공용으로 운행되는 철도시스템으로 산악지형에서의 자동차와 열차의 주행안정성이 확보가 되도록 도로설계기준 및 철도설계기준을 만족하는 산악철도 선로설계기준 정립이 필요하다.

3. 차량시스템 사양 및 설계반영사항

3.1 개발 차량제원

현재 개발하고 있는 차량은 3량 1편성(Mc-M-Mc)으로 3개의 구동대차에 피니언(Pinion)이 차축에 설치되어 최급기울기 180% 구간에서 주행이 가능하도록 계획하고 있다. 또한 급경사 구간에서 제동력을 확보하기 위하여 제동브레이크와 디스크브레이크를 반영하고 있으며, 최소곡선반경 $R=10m$ 에서의 주행이 가능하도록 축간거리 1,650mm, 궤간 1,000mm의 협궤를 적용하고 있다.

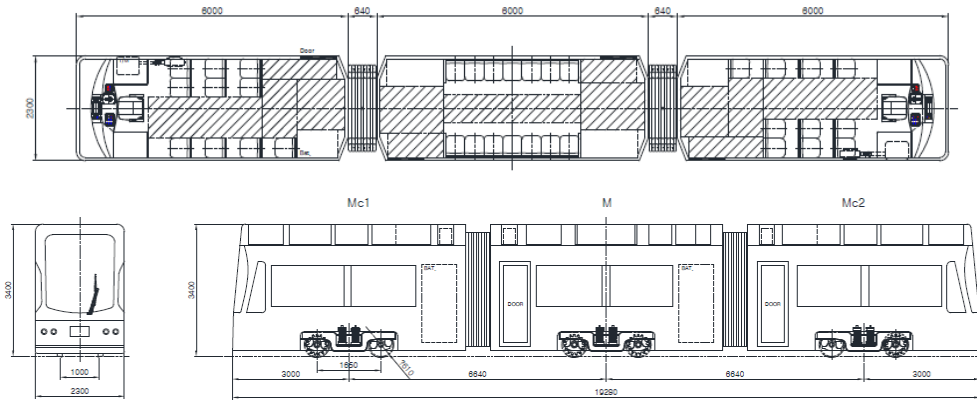


Fig. 7 Organization of Mountain Railways Vehicles

차량분야에서 제시한 차량의 제원은 차량중량 및 축중 감소, 배터리 충전시간, 운영비 절감, 차량제작비를 종합적으로 검토하여 Fig 7 과 같이 계획하였다. 이에 따른 축중(Axle Load)은 9ton 이 발생하였으며 승객승차 계획에 따른 중량은 Table 2 와 같다.

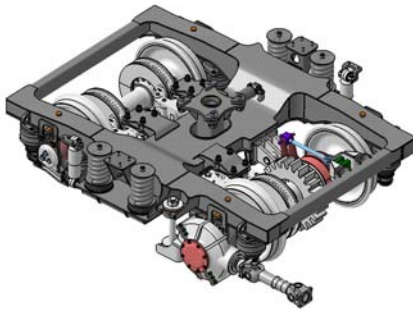


Fig. 8 Bogie Shape and Assembly

Table 2 Mountain railway Weight of 3 Module

Passenger of Condition	Mc1	M	Mc2	Total
Empty	16,000 kg	15,000 kg	15,000 kg	46,000 kg
Fixed Number (100%)	17,550 kg	16,984 kg	16,550 kg	51,684 kg
Full(200%)	18,480 kg	18,100 kg	17,420 kg	54,000 kg

3.2 개발 차량성능

개발차량의 성능 및 제원은 Table 3 과 같이 정리할 수 있으며, 이는 최급기울기 180‰, 최소 곡선반경 R=10m 의 선형조건에서 열차의 주행 안전성 확보가 가능하도록 계획하고 있다.

Table 3 Mountain railway of Specifications and Performance

Classification		Country
Vehicle type		3module 3 driving bogie, (MC1-M-MC2)
Operation type		Manual operation by 1person
Supply voltage		750V DC
Gauge		1,000mm
Weight(kg)	Tare	46,000
	Load	8,000
	Full	54,000
Capacity		82 (Seats 34, Standing 48, 3person/m ²)
Dimension	L	19,300mm
	W	2,300mm
	H	3,400mm
Floor height		MC1, MC2, M Car 790mm, Entrance 350mm
Max. speed		Adhesion 50km/h, Uphill (120‰) 15km/h, (180‰) 5km/h
Max. acceleration		Adhesion 3.5km/h/s, Uphill (120‰) 1.0km/h/s, (180‰) 0.5km/h/s
Deceleration		Service 3.5km/h/s (Adhesion), Emergency 4.5km/h/s (Adhesion)
Bogie design weight		about 4,850kg/set (driving bogie)
Maximum shaft load		9 ton
Traction motor		85 kW x 4
Wheel		610 - 580mm
Wheel base		1,650mm
Distance of bogie		MC1-M-MC2 : 6,640mm
Primary spring		Conical rubber spring (8set / bogie)
Lateral distance of primary spring		1,550mm
Secondary spring		Coil spring (4set / bogie)
Lateral distance of secondary spring		1,775mm
Minimum curve radius		10m
Max. Gradient		180‰
Pinion P.C.D		477mm
Vmax Rack	Uphill	15km/h (120‰)
	Downhill	15km/h
Gear Ratio		5.833:1

4. 급구배 산악철도 선로설계기준 적용방안

4.1 기본방향

일반철도에서의 선로설계기준은 선구의 특성, 교통수요 등을 고려하여 설계속도를 정하고 이 설계속도에 맞추어 설계기준을 적용토록 하고 있다. 만약 설계속도가 줄어든다면 곡선반경 및 완화곡선 길이 등을 축소 할 수 있듯이, 급구배 산악철도에서도 개발차량의 성능을 고려한 계획선형 및 교통수요에 따른 설계기준이 정립이 반드시 필요하다.

또한 국내에서 추진 중에 있는 산악철도는 열차 전용선로가 아닌 자동차와 공용운영 되어짐에 따라 도로의 선구특성을 만족하는 철도설계기준 정립이 반드시 필요하며, 향후 산악철도 Test Bed 구축을 통한 도로설계기준을 만족하는 철도설계기준 검증이 요구된다.

4.2 도로설계기준

4.2.1 평면곡선반지름 및 길이

평면곡선부를 주행하는 자동차는 원심력에 의한 전도보다는 횡방향 미끄럼의 영향을 먼저 받게 되므로 이에 대하여 안전주행이 가능한 설계속도별 최소평면곡선 반지름 산정이 중요하며, 산정방법은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$R = \frac{V^2}{127 \times (f + i)} \quad (1)$$

여기서, V: 설계속도, f: 횡방향미끄럼마찰계수

i: 편경사 (%/100), R: 평면곡선반지름(m)

Table 4 minimum Radius Curve of Super-Elevation

Design Speed	minimum Radius Curve(m)		
	super-elevation(6%)	super-elevation(7%)	super-elevation(8%)
120	710	670	630
100	460	440	420
80	280	265	250
60	140	135	130
40	60	55	50
20	15	15	15

평면곡선길이는 운전자가 핸들조작에 곤란을 느끼지 않고 그 구간을 통과하기 위해서는 최소 평면곡선 길이를 계획된 설계속도로 4초간 주행할 수 있는 길이 이상으로 확보해야 하며, 그 기준은 Table 5에 의한다.

또한 도로의 교각이 매우 작은 경우 평면곡선 길이가 실제보다 작게 보여 도로가 급하게 꺾어져 있는 착각을 일으키므로 교각이 작을수록 긴 평면곡선을 설치해야 한다.

Table 5 minimum Radius Curve of Length

Design Speed	minimum Radius Curve of Length(m)	
	If crossing angle is less than 5°	If crossing angle is more than 5°
120	700/θ	140
100	550/θ	110
80	450/θ	90
60	350/θ	70
40	250/θ	50
20	150/θ	30

4.2.2 최대편경사

도로의 평면곡선부를 주행하는 자동차는 Fig 9와 같이 원심력을 받게 되는데, 노면에 편경사를 붙임으로서 노면과 타이어 간의 마찰력에 의해서 안정된 주행을 유지할 수 있다.

평면곡선부의 최대경사는 Table 6과 같이 도로가 위치하는 지역, 적설정도, 설계속도, 평면곡선반지름 및 지형상황에 따라 편경사를 다르게 적용하고 있다.

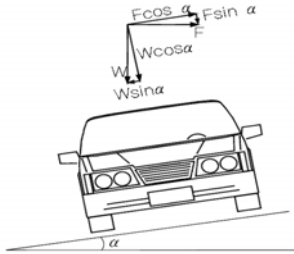


Fig. 9 Centrifugal and External Force on Curve

Table 6 Maximum Super-Elevation

Classification		Maximum Super-Elevation
Local Area	Snowfall and Cold Regions	6%
	Etc.	8%
Urban Area		6%
Ramps		8%

4.2.3 완화곡선 및 완화구간

자동차가 평면선형의 직선부에서 곡선부로, 곡선부에서 직선부로 또는 다른 곡선부로 원활하게 주행하도록 하기 위하여 주행궤적의 변화에 따라 운전자가 쉽게 적응할 수 있도록 완화구간을 설치해야 한다. 이러한 완화곡선은 편경사의 변화 또는 확폭량을 설치하기 위하여 취하게 되는 변이구간이다.

$$L = vt = \frac{V}{3.6} t = \frac{V}{1.8} (m) \quad (2)$$

여기서, V: 주행속도(km/h), v: 주행속도(m/sec)

t: 주행시간(2sec), L: 완화곡선 및 완화구간의 길이(m)

설계속도가 60km/h 이상인 도로의 평면곡선부에는 직선부와 곡선부의 원활한 주행궤적 변화를 위하여 완화곡선을 설치해야 하며, 설계속도가 60km/h 미만인 도로의 평면곡선부에서는 편경사 및 확폭의 원활한 접속설치를 위하여 완화구간을 설치한다. 완화곡선 및 완화구간의 최소길이는 다음 식(2)와 같이 산정할 수 있으며, 최소길이는 설계속도별 Table 7과 같이 정리할 수 있다.

Table 7 Transition Curve and Part of Length

Design Speed	Transition Curve and Part of Length	Note
120	70m	Transition Curve
100	60m	
80	50m	
60	35m	
40	25m	Transition Part
20	15m	

4.2.4 종단선형, 경사 및 길이

종단선형은 직선과 곡선으로 구성되며, 종단선형을 직선으로 설계할 때에는 종단경사 기준과 종단경사 길이에 대한 기준을 적용한다. 종단선형이 곡선인 경우 2차포물선으로 설계하며, 종단 곡선 변화비율에 대한 기준과 종단곡선의 최소 길이 기준을 적용하여야 한다.

Table 8 Maximum Longitudinal Gradient

Design Speed	Expressway		Arterial highway		Collector Road		Local Road	
	Flatland	Wold	Flatland	Wold	Flatland	Wold	Flatland	Wold
120	3%	4%						
100	3%	5%	3%	6%				
80	4%	6%	4%	7%	6%	9%		
60			5%	8%	7%	10%	7%	13%
40			6%	9%	7%	11%	7%	15%
20							8%	16%

차도의 종단경사는 그 도로의 구분 및 지형, 설계속도에 따라 Table 8과 같이 정하고 있으며, 지형 상황, 주변 지장물 및 경제성을 고려하여 필요하다고 인정되는 경우 Table 8의 비율에 1%를 더한 값 이하로 적용할 수 있다. 두개 이상의 다른 종단경사가 접속될 때는 접속지점을 통과하는 자동차의 충격완화, 정지시거를 확보할 수 있도록 서로 다른 두 종단경사를 적당한 변화율로 접속시켜야 하며, 이러한 종단곡선은 볼록형과 오목형으로 구분된다.

종단곡선 변화비율은 접속되는 두 종단경사의 대수차가 1% 변화하는데 확보하여야 하는 수평거리이며, Table 9와 같이 종단곡선 최소변화비율을 설계속도에 따라 정의하고 있다.

Table 9 The minimum Ratio of Change in Longitudinal Curve

Design Speed	Change ratio(m/%)	
	Type of Convex	Type of Concave
120	120	55
100	60	35
80	30	25
60	15	15
40	4.0	6.0
20	1.0	2.0

Table 10 The minimum Length of the Longitudinal Curve

Design Speed	The minimum Length
120	100
100	85
80	70
60	50
40	35
20	20

종단곡선의 길이는 설계속도 및 종단곡선 형태에 따라 산정한 종단곡선 변화비율 길이와 시각상 필요한 종단곡선의 길이 중 큰 값의 길이 이상으로 반영한다. 종단곡선의 최소길이 기준은 Table 10과 같다.

4.3 산악철도 선로설계기준(안)

4.3.1 캔트

곡선구간에서 열차가 서행 또는 정지 시 열차주행 안전성확보를 위하여 Fig 10과 같이 곡선부에서 발생하는 하중조건에 대하여 최대캔트 및 부족캔트를 Table 11과 같이 산정하였다.

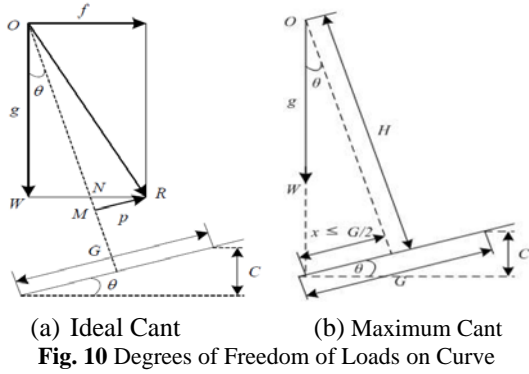


Table 11 Application of Cant for Curve

Maximum Cant	Deficiency of Cant
$\frac{F}{W} = \frac{C}{G}, C = F \frac{G}{W}$	$a_q = \frac{V^2}{12.96R} - \frac{C}{102}$
$\therefore C = \frac{GV^2}{gR} = \frac{GV^2}{127R}$	$C_d = 7.874 \frac{V^2}{R} - C$
$\therefore C = \frac{GV^2}{gR} = \frac{1,000V^2}{127R} = 7.874 \frac{V^2}{R}$	$\therefore a_q = \frac{C_d}{102} \leq a_q, \text{lim}$

4.3.2 완화곡선

산악철도의 완화곡선은 도로선형조건을 고려하여 Clothoid 곡선을 적용하였으며, 완화곡선 길이는 차량의 탈선방지, 캔트의 시간변화율 및 부족캔트에 의한 초과 원심력의 시간변화율을 고려한 승차감 한도를 고려하여 Table 12와 같이 산정하여 이중 큰 값을 적용하였다.

Table 12 Method to Calculate Transition Curve

Classification	Calculation of Transition Curve Length
Change rate of Cant	$L_1 = \frac{V_{Max}}{3.6} \frac{\Delta C}{(dC/dt)_{lim}} = \frac{1}{\tan 1.45^\circ \left[\frac{3,600}{h} \right]} \times V[1,000m/h] \times \tan \theta = 10.97 \times V \times \tan \theta [m]$
Change rate of Cant deficiency	$L_2 = \frac{V_{Max}}{3.6} \frac{\Delta C_d}{(dC_d/dt)_{lim}} = \frac{1}{\tan 1.72^\circ \left[\frac{3,600}{h} \right]} \times V[1,000m/h] \times \tan \theta = 9.25 \times V \times \tan \theta [m]$
Bogie Shape and Assembly	$L_3 = \frac{A}{d_d} \Delta C = \frac{1.650}{0.014} \times 2 \approx 225C$

4.3.3 종곡선

산악철도는 지형특성상 최급기울기가 크며, 궤도패널의 랙(Rack)과 차량의 피니언(Pinion)의 동적특성을 고려하여 모든 기울기 변화개소에 종곡선을 설치하는 것으로 하였다. 현재 종곡선 반경은 ENV 13803-1에서 규정하고 있는 상·하 방향 가속도 추천값 0.22m/sec²을 적용하였으며, 향후 산악철도 소규모 시험선 운영을 통한 차량 가속도 계측을 통하여 보완할 계획이다.

$$R_v = \frac{V_{\max}^2}{12.96a_v} = \frac{V_{\max}^2}{12.96 \times 0.22} = 0.35V_{\max}^2 \quad (3)$$

여기서, R_v : 종곡선 반경(m), V_{\max} : 최대운행속도(km/h)

a_v : 차체의 상·하방향 가속도(m/sec²)

4.4.4 슬랙

슬랙의 최대값은 개발차량의 대차(Bogie) 제원을 근간으로 Fig 11과 같이 차륜과 레일이 접촉하고 있는 상태에서 차륜두께, 차륜간 거리, 플랜지 두께 등의 기하학적 관계를 고려하여 열차의 차륜이 레일에서 탈선되지 않는 범위를 검토하였다.

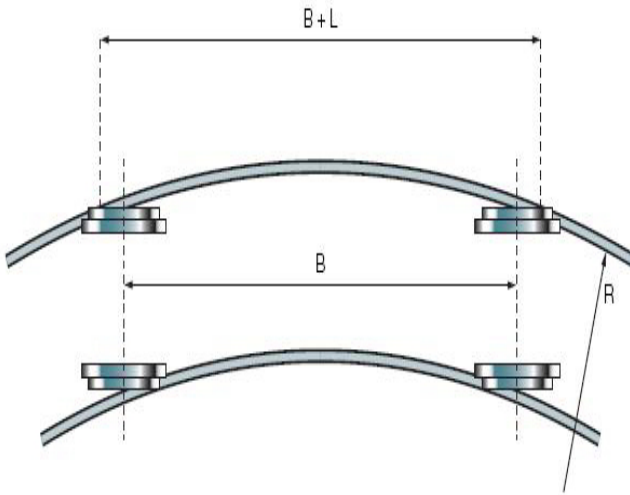


Fig. 11 The Concept of Slack on Curve

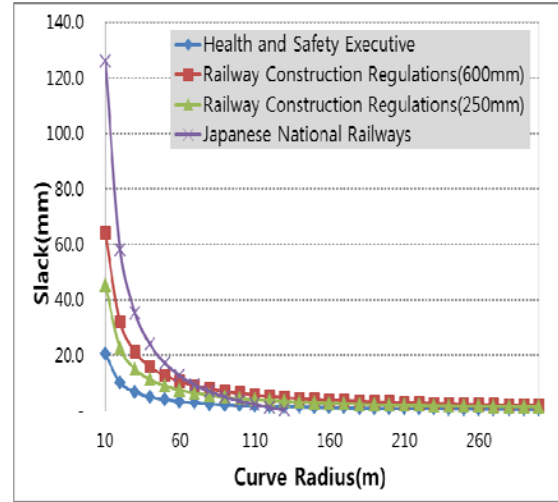


Fig. 12 Calculation results of Slack in Domestic and foreign

현재 산악철도 차량은 산악지형 특성을 고려하여 대차(Bogie)의 고정축거 1,650mm, 휠직경 610mm를 계획하고 있으며, Fig 12에서 보이는 것과 같이 국내외 설계기준과 개발차량의 제원을 준용하여 식(4)와 같이 곡선부 궤간 확폭량을 산정하였다.

$$S_1 = \frac{L^2}{8R} = \frac{1,900^2}{8R} \approx \frac{460}{R} - S' \quad (4)$$

여기서, S_1 : 슬랙(mm), R : 곡선반경(m), S' : 조종치(0~4mm)

급구배 산악철도 열차주행 안전성 확보를 위해 개발차량의 성능 및 제원을 바탕으로 급구배 산악철도 선로설계기준(안)을 Table 13과 같이 분석하였다.

Table 13 Track Design Criteria for Mountain railway

Classification		Track Design Criteria	Note	
Design speed		15km/h		
Gauge		1,000mm		
Cant	Application of Cant	$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{1}{127} \times \frac{v^2}{R} - \theta' \right), C = 7.874 \times \frac{V^2}{R} - C'$		
	Maximum Cant	$\theta = 4.8^\circ, C = 84mm$		
	Deficiency of Cant	$\theta = 0 \sim 3.0^\circ, C = 54mm$		
	Gradual-Decrease Distance or Diminishing Distance	If Transition Curve : Full-length of Transition Curve If transition curve is not exist : - $Lc = 10.97 \times V \times \tan\theta$, - $Lc = 9.25 \times V \times \tan\theta_d$ - $Lc = 225C$		
Curve	minimum Radius of Curve	10m or more		
	Specified straight lengths, between two curves	$L = V \times \frac{T}{3.6}$ or overall length of vehicle		
	Transition Curve	Installation	$R = \frac{V^2}{127 \times \Delta \tan \theta_d}$	
		Type	Clothoid	
		Length	Of the three values is greater : - $Lc = 10.97 \times V \times \tan\theta$, - $Lc = 9.25 \times V \times \tan\theta_d$ - $Lc = 225C$	
Gradient	Track Slope	180‰ or less		
	Station Yard.	Level		
	Installation of Longitudinal Curve	The length of the slope variation		
	Radius of Longitudinal Curve	$0.35V^2 \max$		
Slack		$S = 460/R - S'$		

5. 결론

현재 추진 중에 있는 국내 산악철도 시스템은 자연환경 훼손 최소화를 고려하여 무가선 트램(Tram)과 더불어 기존 자동차 도로 위에 궤도부설이 가능한 프리캐스트 매립궤도(Precast Embedded Track)를 개발하여 산악도로의 한정된 공간에서 산악열차와 자동차가 공용으로 운행이 가능하도록 계획하고 있다.

본 연구는 급경사(180‰), 급곡선(R=10m)의 산악지형에서 자동차와 산악열차의 주행안전성 확보가 가능하도록 개발차량의 성능 및 제원을 기준으로 도로설계기준과 철도설계기준을 동시에 만족하는 산악철도 선로설계기준(안)을 제시하고자 한다.

- 1) 해외 산악철도는 철도전용노선으로 현장 시공성 및 유지보수성을 고려하여 대부분 자갈 궤도를 적용하고 있으며, 열차운영 및 탑승인원을 고려한 시설규모에 따른 Rack&Pinion 등의 다양한 추진시스템을 적용하고 있다.
- 2) 국내에서 추진 중에 있는 급구배 산악철도시스템은 자연환경 훼손 최소화 방안으로 Rack & Pinion 추진시스템이 도입된 무가선 트램(Tram)과 기존 자동차 도로 위에 궤도부설이 가능한 프리캐스트 매립궤도(Precast Embedded Track)를 개발하고 있다.

- 3) 이와 같이 산악철도 선로설계기준(안)은 일반 자동차 및 산악열차의 주행안전성 확보를 위하여 도로설계기준 및 철도설계기준을 동시에 만족하는 산악철도 선로설계기준 정립이 반드시 필요하다.
- 4) 현재까지 개발된 차량의 성능 및 제원과 급경사(180‰), 급곡선(R=10m)의 산악도로 특성을 고려하여, 국내 도로설계기준과 국외 산악철도 설계기준을 비교 분석하여 산악철도 선로설계기준(안)을 제안하였다.
- 5) 향후 산악철도 소규모 시험노선 시공완료 후 개발차량 대차(Bogie) 시험운행을 통한 선로설계기준 검증과 개선(안)을 도출할 계획이다.

후 기

본 논문은 국토교통부 철도기술개발사업 중 “급구배 추진시스템 핵심기술개발” 과제의 일환으로 수행되었으며, 본 연구에 도움을 주신 한국철도기술연구원 연구진에 감사 드립니다.

참고문헌

- [1] 철도건설규칙 (2014.10), 국토교통부
- [2] 도로설계기준 (2016.10), 국토교통부
- [3] 급구배추진시스템 핵심기술개발 궤도패널 설계 및 Testbed 시공방안 (2015.12), 국토교통부
- [4] 박성현, 문지호, 천진녕, 이창진(2015), 급구배 산악철도 지형특성을 고려한 궤도패널 설계 적용성에 대한 연구, 한국철도학회, 춘계학술대회 논문집
- [5] 급구배추진시스템 핵심기술개발 궤도패널 및 거푸집 상세설계 (2015.04), 국토교통부
- [6] 서승일 외 (2012) 산악철도 기술 현황 및 개념 설계안, 철도저널, 제 15 권, 제 6 호, pp. 53-58.
- [7] Hoffmann, “Recent Developments in Cable-Drawn Urban Transport Systems”, FME Transactions, Vol.34, No 4, 2006.
- [8] EN 13146-9 *Railway applications, Track Test methods for fastening systems(Determination of stiffness)*, Brussels, Belgium, 2012
- [9] Korea Railroad Research Institute (2011), Development of Energy-Infrastructure For Wireless Low floor Tram, 3rd year Interim Report, Ministry of Land, Transportation and Maritime Affairs