

급경사 운행 산악트램용 대차 기술 개발



서승일
한국철도기술연구원
신교통연구본부 수석연구원
T.031.460.5623
siseo@krii.re.kr



사공명
한국철도기술연구원
신교통연구본부 책임연구원
T.031.460.5363
rockcore@krii.re.kr



이창영
한국철도기술연구원
신교통연구본부 선임연구원
T.031.460.5525
cylee@krii.re.kr



남 학 기
(주)현우
대표이사
T.031.342.0110
hgnam@hw-system.co.kr



이종성
서울메트로 인재개발원
단장
T.02.6110.5823
ssfmd@naver.com



문형석
한국철도기술연구원
신교통연구본부 책임연구원
T.031.460.5682
hsmun@krii.re.kr

1. 머리말

산악지형이 많은 우리나라에서 산악 교통시스템은 필수적인 운송수단이다. 지금까지 도로교통 위주로 인프라 투자가 이루어져 산악지역에도 도로가 곳곳에 건설되어 있으나, 여기에서 운행하는 자동차는 온실가스 배출과 에너지 효율 저하라는 문제를 야기 시키고 있다. 동계올림픽이 개최될 예정인 평창이나 유명 관광지인 지리산, 설악산과 같은 청정지역에서는 자동차보다 친환경 수단인 철도가 환경보호와 에너지 절감 차원에서 적합하다. 특히, 자동차는 폭설이나 결빙이 된 급경사의 도로를 올라갈 수 없으므로 기능적으로도 한계가 있다.

산악트램은 우리나라와 같이 산이 많은 지역에서 급경사 도로를 주행할 수 있는 효과적인 친환경 교통수단이다. 기존 도로와 겸용할 수 있고, 급경사도 상승할 수 있으므로 기후조건과 지형조건에 구애됨 없이 운행할 수 있는 장점이 있다. 본 연구에서는 우리나라 지형에 적합한 산악트램의 운영을 위해 산악트램의 개요를 설명하고 급경사와 급곡선을 주행할 수 있는 대차의 설계 방안을 제시하고자 한다.

2. 산악트램 설계

2.1 설계 개요

산악지형에서 급경사를 상승할 수 있는 궤도형 교통수단은 다양하다. 케이블카로 알려진 가공삭도(aerial ropeway), 궤도상의 열차를 로프로 견인하는 강삭철도(funicular), 지그재그 상의 궤도를 올라가는 스위치백(witch back) 열차, 랙앤피니언(Rack & pinion) 산악열차 등이 있으며, 놀이기구와 자기부상열차를 시작으로 점차 확대되고 있는 선형동기전동기 추진 차량도 있다[1]. 이러한 교통수단은 여러 장단점이 있으므로, 그 중에 적합한 교통수단의 선정이 중요하다. 우리나라의 여건상 환경보호 측면에서 개발이 제한된 관광지에서 추가로 궤도나 구조물을 설치하는 것은 현실적으로 불가능하기 때문에 기존 도로나 시설물을 활용하면서 산악 교통수단을 적용하는 것이 중요하다. 이런 상황에서 산악트램은 기존 도로와 겸용하면서 산악 지역에서 운행할 수 있는 유연성이 있는 교통수단이므로 최근 많은 주목을 받고 있다.

본 연구에서 개발하고자 하는 무가선 산악트램은 우리나라 산악지형 도로는 어느 곳이나 적용할 수 있도록 최대 구배 180%를 목표로 하였다. 도로와 겸용하여 자동차들

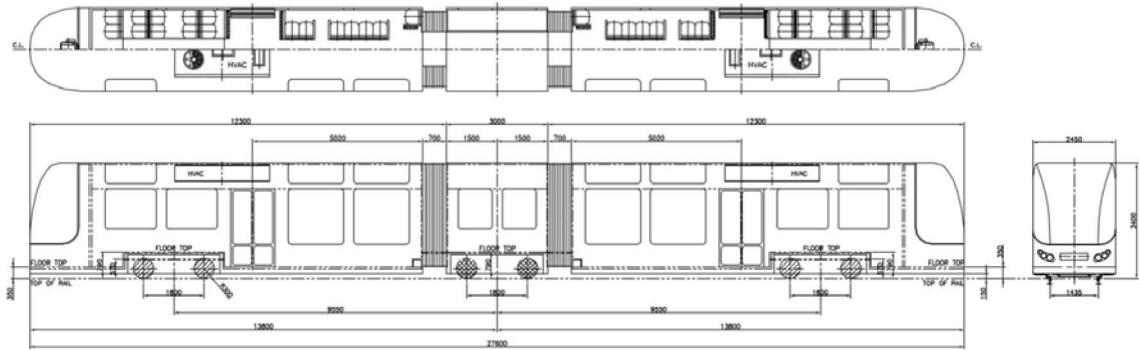


Fig. 1 General arrangement of mountain tram

도 불편 없이 주행할 수 있도록 매립형 궤도를 적용하고, 속도는 일반도로에서 자동차와 같이 주행할 수 있도록 최대 70km/h로 정하였다. 승객들이 노면에서 바로 승차할 수 있도록 저상(low floor)을 구현하고자 한다. 급구배를 상승하게 하는 랙엔피니언 차축은 기어의 접촉에 의해 진동과 소음이 많이 발생하게 되는데 이를 저감하기 위해 탄성 차축을 적용하고자 한다.

2.2 차량 설계

개발되는 산악트램은 급구배 및 급곡선 운행을 위한 시험차량임을 감안하여 Fig. 1과 같이 3모듈 1편성으로 설계하였다. 차체는 경량화를 위해 알루미늄 압출재를 적용하여 설계하였고, 승객의 승차 편의성 향상을 위해 MC 차량은 저상 바닥(floor, 350mm)를 적용하였다. M 차량은 출입문이 없으며, 급구배 등반을 위한 랙엔피니언 대차 설치를 위해 790mm의 바닥을 적용하였다. 실내에서 외부 경관의 전망을 극대화하기 위하여, 실내 좌석은 차체 측 창문을 향하도록 설계되었으며, 차체 측 창문을 상부 지붕(roof)까지 적용하였다. 겨울스포츠나 등반을 즐기는 관광객을 위하여, MC 차량의 좌석을 중앙으로 배치하여 차량 측면과 출입문 좌우 공간을 활용하였으며, 스키 장비나 등산 장비를 거치할 수 있도록 거치대를 설계하였다.

Table 1 Major specification of mountain tram

항 목		사 양
차 종		저상 전지 구동 LRT
차 량 형 태		3모듈 1편성(MC-M-MC)
운 전 형 태		1인 운전
전 기 방 식		750V DC
궤 간		1,435mm(표준궤간)
차량 중량 (편성)	자 중	약 42ton
	하 중	약 11ton
	만 차	약 53ton
차량정원(좌석)		약 158명(좌석 68석)
차량 제원	길이	27,600mm (MC 12,300mm / M 3,000mm)
	폭	2,450mm
	높이	3,400mm
Floor 높이		MC 350mm(저상 Floor) / M 790mm
최 고 속 도		평지주행-70km/h, 등반주행(180%)-15km/h
최대 가속도		3.5km/h/s
비상 감속도		4.5km/h/s

Table 1에 산악트램의 주요 사양을 정리하였다[2].

3. 대차 설계

승객의 접근 및 편의성을 고려하여 저상 대차를 적용한다. 3모듈 1편성 열차에 적용되는 주행장치는 평지 주행용 대차 2set, 등반 주행용 대차 1set로 구성된다. 평지 주행에 적용되는 MC 차량의 대차는 기 개발된 무가선 저상트램의 대차를 적용한다. 경사 주행에 적용되는 M 차량의 등반용 대차는 180% 구배에서 등반이 가능하도록 랙엔피니언 시스템을 적용한다. 등반 대차에 적용될 랙엔피니언 방식 중 전 세계적으로 75% 이상 적용된 Abt 방식을 적용하였다.

Abt 방식의 피니언 기어는 승차감 향상 및 소음 감소를 위하여 탄성 기어를 적용한다.

Table 2 Major specification of bogie on mountain tram

항 목		사 양
대차중량	MC	약 5,500kg/set
	M	약 5,800kg/set
최 대 축 중		약 10ton
견인전동기	MC	180kW(45kW×4대)
	M	180kW(90kW×2대)
차륜경		600mm
고 정 축 거		1,800mm
대차간 거리		MC-M : 9,550mm
최대 구배		180%
Pinion 직경		내경-455mm, 외경-555mm
V _{MAX} Rack	Uphill	10km/h
	Downhill	15km/h
기어비	등반장치	12.56:1
	평지주행	6.28:1

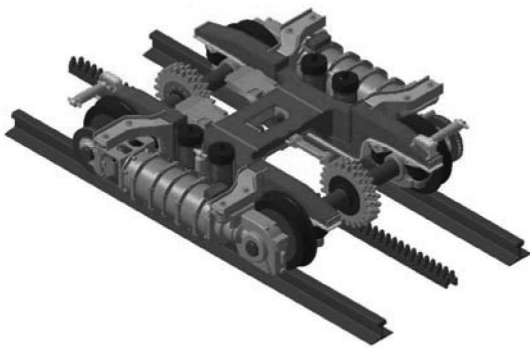


Fig. 2 Rack&pinion climbing bogie

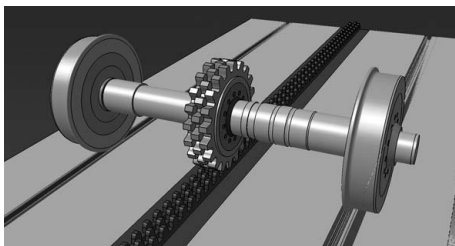


Fig. 3 Assembly of wheel and resilient gear

4. 견인전동기 용량

평지 주행시에 최대 70km/h 주행을 위해서 견인전동기 용량은 45kW급 8대인 총 360kW로 선정하였다. 180% 경사 지 주행을 위해서는 등반대차의 랙앤피니언 구동용으로 180kW 이상의 견인전동기가 추가로 소요된다. 경사지 저속구간에서 견인력을 향상하기 위해서 랙앤피니언 구동을 위한 등반대차의 기어비는 12.56으로 하였고, 저상대차의 기어비는 6.28로 하였다. Fig. 4는 견인전동기 용량과 기어비별로 견인력과 주행속도를 나타내는 그림이다. 각 구배별로 저항곡선을 함께 표시하였고, 등반대차의 출력 증

Table 3 Maximum operation speed changing with gradients

구배 (%)	최대운행속도(km/h)	견인전동기 구동조건
20 이하	70	평지주행용 대차 구동
25	66	
30	60	
40	52	
50	47	
60	41	
80	40	평지주행용 대차 + 등반주행용 대차 구동
85	38	
120	29	
125	28	
180	15	

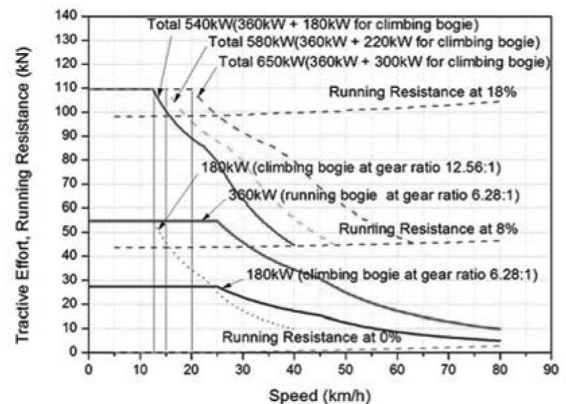


Fig. 4 Maximum speed and traction power of climbing bogie(maximum gradient 180%)

가에 따라 최대 주행 속도를 구할 수 있게 하였다. 등반대차의 견인전동기 출력은 180kW(90kW 2EA), 220kW(110kW 2EA), 300kW(150kW 2EA) 3가지 경우로 변경하면서 속도 증가도 살펴 보았다. Fig. 4에 따라 구배별로 최대 주행속도를 구하면 Table 3와 같다.

5. 맺음말

우리나라 산악지형에 적합한 교통수단의 보급과 운영을 위해 산악트램과 급경사 등판을 위한 대차시스템을 설계하였다. 산악트램의 설계 조건과 배치도를 제안하고, 랙앤피니언 추진장치를 부착한 대차시스템의 주요사양을 선정하고 이에 따른 기본설계를 수행하였다. 구배 상황에 따른 주행저항과 견인전동기의 추진력 곡선을 작성하고 구동조건

및 속도별로 추진력과 소요 마력을 추정하였다. 특히 랙앤피니언 추진장치의 문제점인 진동·소음에 따른 승차감 저하를 개선하기 위해 탄성기어를 적용한 윤축 조립도를 제안하였다. 개발된 대차시스템을 적용한 산악트램이 180%까지 등판할 수 있음을 확인하였다. 본 연구에서 제안한 산악트램은 평창, 설악산, 지리산 등 주요 관광지의 대중 교통 시스템으로 유용하게 활용될 수 있으리라 전망된다. ☺

♣ 참고 문헌

1. 서승일 외 (2012) 산악철도 기술 현황 및 개념 설계안, 철도저널, 제15권, 제6호, pp. 53-58.
2. 서승일 외 (2012), "급구배 상승 기술 개발 기획 연구," 자체사업보고서, No. 2011-057, 한국철도기술연구원, pp.31-38.