

산악용 경전철의 계획 및 시스템 선정에 관한 고찰

Study for Planning and Guideline for Select the Reasonable Mountainous Light Rail Transit System

이 덕영*
Lee, Duck Young

이 안호**
Lee, An Ho

ABSTRACT

These days, in Korea, according to improving the standard living, people generally work 5 days a week and it results more leisure hours. On weekends or in specific season, travel to mountain region around the major city is much in demand, and, in case of public transportation, the demand exceeds the supply. So, people tend to go other places, even overseas, for their holidays. The situation in Korea reflects the needs for mountainous light rail transit system with the object of convenient and rapid transport of passengers. In this paper, the guideline for mountainous light rail transit planing is proposed, and the representative mountainous light rail transit system is analyzed to choose the proper mountainous light rail transit system which adapts the demand for transportation and the terrain in Korea.

1. 서 론

우리사회는 소득증대에 따라 계속적으로 여가수요가 늘어왔으며 특히 관광지에서 수요가 날로 늘고 있다. 1980년대 후반부터 설악산, 울릉도 등 주요관광지에 부분적으로 케이블카 등 산악용 경전철이 설치 운영되어져 왔으나, 2000년대에 들어서 전국에 있는 유명한 관광지를 중심으로 레저수요증가에 따라서 산악용 경전철의 수요가 계속 증가하고 있다. 이의 수요에 부응하여 최근에 개통한 통영시에 설치된 “한려수도 조망 케이블카”를 비롯하여 강원도 정선군, 삼척시, 해남군 등에 적은 규모의 “산악용 모노레일”이 설치되어져 운영되고 있으며, 이러한 산악 경전철은 통영시에 설치된 “한려수도 조망 케이블카”를 제외하고는 대부분 길이 1km 내외에 구배 40%이내인 소규모로서 다양한 지역의 산악용 경전철 수요를 모두 충족하지 못하고 있다. 본 논문에서는 산악용 경전철의 수송수요 측면, 기술적인 측면에서의 특성을 분석하고, 수요, 지형에 따른 산악용 경전철의 합리적인 계획 방향을 제시하고, 산악용 경전철 시스템의 종류를 분석하여 합리적인 산악용 경전철 시스템을 선정하는 가이드라인을 제시하고자 한다.

2. 산악용 경전철의 특성 분석

산악용 경전철은 시가지에서 도시교통을 처리하는 일반 경전철과는 상이하게 주로 관광지를 운행하므로 다음과 같은 특징이 있다.

- 통근형 보다는 대부분 관광지에서 운행하는 형식으로 계절별, 요일별, 기후에 따른 수송수요 변동이 심하다. 따라서 성수기와 비수기에 효과적으로 대비하기 위하여 가능한 차량수를 수요에 따라서 쉽게 조절 할 수 있는 형식이 채택되어야 한다.

* 이 덕영 (주)유신코퍼레이션, 철도부, 정회원 E-mail : dylee53@empal.com

TEL : (02)6202-0401 FAX : (02)6202-0469

** 이 안호 한국철도기술연구원 경량전철시스템 연구단, 정회원, ahlee@krii.re.kr

- 산악용 경전철은 운행속도를 빠르게 계획 할 경우, 운행속도가 제한되는 급곡선, 급구배 산재에 따른 선형관련 효율성문제, 사업 시행자 입장에서는 견인전동기의 용량을 증가시켜야 하고 전력공급 능력이 커져야 하는 과정에서 사업비의 효율성 문제가 있으며, 이용자 입장에서는 급격한 기압 변화로 노약자를 비롯하여 이용승객이 크게 불편하므로 속도조절 등을 통하여 사업시행자에는 사업비의 효율성 제고, 이용자에게는 기압변화에 적응하도록 해야하기 때문에 속도보다는 안전 및 경관이 더 비중 있게 다루어야 한다.



그림1. 산정상과 하부의 기압차에 의한 변형(예)

- 급구배구간을 운영하므로 동력의 한계 등으로 인하여 승차인원을 철저히 관리해야 한다.
- 케이블카 등 케이블로 당기는 시스템은 가능한 직선에 급구배에서도 적용이 가능하며, 2대의 차량이 서로 대중 (Counter Weight) 역할을 하도록 한다.
- 급구배를 운영하므로 하구배 주행시에는 만약의 경우 자중에 의하여 일주시 대형사고의 우려가 있기 때문에 특수기어로 일정속도이하로 제어되도록 하는 등 3중, 4중의 완벽한 안전장치를 설치해야한다.
- 급구배를 운영하므로 대차는 구배를 주행하지만 승객은 수평인 상태에서 이동시켜 안락함을 유지시키고 수평으로 설치된 승강장에서 승하차하기위하여 차량은 후부가 들린 상태에서 주로 운행한다.
- 출발지와 목적지 중간부에 정거장 설치가 거의 필요 없어 정거장 거리가 길어짐에 따라 급전거리가 길어지며, 강설시 제3궤조 방식은 급전이 어렵기 때문에 일반적으로 가공전차선 방식을 택한다. 연장이 길어 전압강하에 의한 원만한 운영이 어려움을 감안 연장이 일정치 이상일 경우에는 제3궤조 방식보다는 가공전차선 방식을 사용하는 고압인 급전 시스템을 적용한다.
- 구동대차가 있는 보통 철제차륜형 차량, 톱니바퀴(치차)형의 경우에는 복진에 대한 대비를 철저히 하여야한다.

3. 산악용 경전철시스템 계획

3.1 산악용 경량전철의 종류 및 적용사례 분석

산악용 경전철은 경사가 급한 산악지에서 운행하여야하는 특징 때문에 지형, 수송수요, 산악지역의 특성, 기후 등에 따라서 아래와 같이 다양한 종류의 경전철 시스템이 운영되고 있다.

- 전차량에 구동대차가 있는 일반 철제차륜형 차량 : 일본 동경 인근의 관광지 하코네
- 톱니바퀴(치차)형 : 스위스 융후라오, 브라질 리오데 자네이로 등
- 케이블을 당겨서 승객을 수송하는 방식 : 일본 동경 인근의 관광지 하코네, 프랑스 파리 몽마르뜨 언덕 접근 철도, 미국 필라델피아
- 케이블카 : 서울 남산, 울릉도, 경남 통영, 강원도 설악산 권금성, 일본 동경인근 관광지 하코네 등
- 산악용 모노레일 : 강원도 정선군 화암동굴, 강원도 삼척시 대금굴, 전남 해남군 땅끝관광지, 강원도 철원군 평화전망대 등

3.2 산악용 경전철의 시스템 선정 방향

산악용 경전철은 그 입지여건, 수송수요, 지형, 노선여건 등에 따라 다양한 형태의 경전철 시스템이 채택되어져야 한다. 여기서 대표적인 산악용 경전철시스템 선정방향을 살펴보면 아래와 같다.

- Cable Pulling형 시스템 : 구배가 급하고 연장이 짧으며, 직선으로 동일 구배로 계획이 가능한 경우 계획한다. 동력을 효과적으로 활용하기 위하여 2대가 서로 대중 기능을 갖도록 계획한다.
- 케이블카 : 이용승객수가 제한되며, 경간이 길며 구배가 급하고, 노선과 원지반간의 높이차가 클 경우에 계획한다. 본 시스템도 동력을 효과적으로 활용하기 위하여 연속으로

운영 또는 2대가 서로 대증 기능을 갖도록 계획하며, 운행중 고장이 발생할 경우 구조대책을 완벽하게 수립하여야 한다.

- 치차형 경량전철 시스템 : 구배가 400%이하로 비교적 급하며 노선이 길고 많은 곡선이 채택되는 경우 채택한다.
- 일반 철제차륜형 시스템 : 경전철 구배가 80%이하로 완만하며 길이가 길고 곡선이 많은 경우 채택한다.
- 산악용 모노레일 : 적용 연장이 짧으며 구배가 45% 이내로 급하고 많은 곡선이 있는 경우 채택하여야 하며, 비상시 승객의 대피여건을 감안 대체로 원지반에서 높지 않게 종단선형을 계획 할 수 있는 지역에 채택한다.
- 리프트 시스템 : 구배가 급하고 이용시간이 짧으며 이용객이 가족단위로 작은 경우 채택한다.

4. 주요 산악용 경전철시스템별 적용성 분석

4.1 일반철제 차륜형 산악용 경전철

주로 노선연장이 길며, 최소곡선 반경 R=30m까지의 급곡선, 80%이하의 구배구간을 운영하며 급곡선 주행성을 제고하기 위하여 보통 협궤 방식을 채택한다.

관광지의 지형, 수송수요, 관광지 기능배치 특성에 따라서 보통 주요 교통 결절점 까지 승객을 대량으로 수송하는데 적용한다. 산악철도의 특성 때문에 단선운전을 하며, 정거장을 중심으로 교행과 Switch Back 방식을 겸용으로 운행하도록 계획한다.

단선운전 때문에 교행여건, 신속성을 제고시에는 갑작스런 기압변화에 의한 불편, 하구배에서 제동거리를 감안한 속도제한 등 여러 여건 때문에 운행속도는 50km/h이하로 제한한다. 중량이 가볍고, 속도가 느린 점을 감안 레일을 중량화하여 유지보수량을 최소화하며, 급구배를 적용하므로 레일의 복진방지에 많은 주의를 기울여야 한다.

정거장간 거리가 길어 변전소 설치여건 때문에 급전은 가공전차선 방식인 고압 급전방식을 적용하며, 급구배구간은 회생제동에 의한 전력 소모를 최소화한다. 운영인원의 최소화를 위하여 원격제어 방식에 의한 열차 진로설정, 천이분기기 설치 등의 기법을 적용한다. 동절기 강설시를 대비한 피설지붕 등 각종 강설대비 시설, 피암터널 등을 검토해야 한다.



그림 2. 일본 동경부근 하코네에서 운영중인 일반철제차륜형 산악용 경량전철 (최소곡선반경 30m, 최대등판능력 80%)

4.2 치차형 경전철

주로 노선연장이 길며, 급곡선, 400%이하의 급구배를 채택하며, 산 정상에 위치한 관광지역이나 산 정상에 위치한 특별한 목적지로 접근하는데 이용되고 있다. 본 치차형 경전철도 급곡선 주행성을 제고하기 위하여 협궤 방식을 채택한다.

정거장간 거리가 길어 변전소 설치여건 때문에 전력은 가공전차선 인 고압 급전방식을 적용한다.

주로 관광목적으로 운영하며 출발지와 정상간의 기압차이에 의하여 신속한 도착시에는 노약자들에게는 이용에 어려움이 있기 때문에 운행 속도를 30km/h이내로 낮게 운행하며, 또한 급한 기압차를 보완하기 위하여 높이차에 따라 중간역에서 승객을 하차하게 한 다음 자연스럽게 기압변화에 적응하게 한다. 본 치차형 산악철도도 관광철도 특성상 계절별로 수송수요에 대한 변동이 심하다.

스위스의 관광지인 융후라오(JUNGFRAUJOCH) 접근용 치차형 산악철도의 경우 출발지인 인터라켄(INTERLAKEN OST)은 해발 567m이며, 목적지인 융후라오(해발 3,571m)까지는 오르는데 및 내려오는데 각각 2시간30분이 소요된다. 1시간 간격으로 운행하기 때문에 정상에서 1시간 머물게 되어 왕복에 약6시간이 소요된다. 이는 이용객의 기압변화를 감안하기 때문이다. (평균변화율 20m높이/분)

최급구배는 250%까지 채택하고 있으며, 산악철도이기 때문에 일부구간은 지형상 부득이하게 스위치백 형식으로 정거장을 설치하여 운영하며 이러한 정거장에서 승객에게 기압변화에 적응키 위하여 승객이 열차를 갈아타게 하고 일부구간 에서는 전망대를 설치 열차가 약 10분간 정차하며 이 과정에서 자연스럽게 기압 변화에 적응하게 하고 있다. 일부지역은 만년설을 이용하여 얼음 동굴을 뚫어 승객이동 통로로 이용하고 있다.

상구배에서는 제한 속도가 없이 최대 28km/h로 운행하며 하구배 구간에서는 구배별로 표 1. 과 같이 속도를 제한한다.

표 1. 구배별 운행속도 제한표

구 배	제한속도 (km/h)	비 고
100%	28.0km/h	상구배는 28km/h
120%	27.0km/h	
180%	21.5km/h	
250%	14.0km/h	

산 정상으로 올라 갈 때 보다 내려올 때의 속도가 낮기 때문에 내려 올 때는 중간에 정차 하여 기압 변동에 적응하도록 하지는 않는다. 즉 오를 때 및 내려올 때 모두 압력변화 적응성을 감안 20m 높이/분의 비율을 유지한다.

고지대에 있는 역에 소요 되는 식수를 아래부터 산악열차를 이용 물차로 공급한다. 그러나 일반 화장실 용수 등은 눈을 녹인물을 사용하고 있으며 환경보호를 위하여 하수는 별도의 연장 9.4km인 Pipe를 통하여 산 아래로 배수한다. 산악철도로서 필연적으로 많은 급곡선, 급구배를 통과하고 있으며 각기 높이가 높은 지역에서는 눈사태를 막기 위한 지붕(피설터널)을 채택하고 있다.



그림 2. 융후라오 산악철도에 설치한 눈사태 방지용 지붕



그림 3. 정거장에 용수를 공급 하기위한 물탱크 운반차량



그림 4. 치차(툽니형)형 경량전철

터널은 터널규격이 작고, 암질이 우수하기 때문에 라이닝콘크리트를 타설한 터널은 없으며, 굴착시의 모습 그대로 또는 슛크리트만 타설한 터널로 구성 한다. 선로는 단선으로서 중간 중간 정거장에서 교행을 하며 약 50%이상인 구간에서도 정거장을 설치하여 정차를 하기도 한다. 특히 급구배 구간은 등판, 하구배 운영시에는 속도제한에 의한 제동과정에서 종방향력이 집중되므로 치차레도 관리에 주의하여야 한다.

4.3 산악용 모노레일

승차정원 수송수요에 따라서 형식을 조절한다. 치차형으로 주행하기 때문에 급구배 등판능력이 우수하며, 안정 및 안내는 일반 모노레일과 같이 고무차륜을 적용한다. 수송수요에 따라 약6~100명/량 규모로 차량을 선정하며 수송용량은 최대 pphpd 2,000으로 비교적 작다. 주행륜이 치차형으로 구동되기 때문에 최급구배 45%까지 등판이 가능하고 안내륜 및 안정륜은 고무타이어형으로 장착되어져 있다. 최고속도 18km/h로서 느려서 짧은 구간에서 운영하며 주행 가능한 최소곡선반경이 30m로서 시설비가 작게 소요되어 경제적인 시스템으로 아래와 같은 용도로 사용한다.

- 고지대 주거단지 주민 수송/ • 산악지 레저시설 이용객 수송/ • 산악지 시설물·인력 수송
- 산악지에 위치한 관광지·유원지 입장객 수송/ • 고지대 사찰에 인원수송 등

우리나라의 경우에는 강원도 정선군 화암동굴, 강원도 삼척시 대금굴, 전남 해남군 땅끝 관광지, 강원도 철원군 평화전망대 등에서 주로 관광용으로 운영하고 있다.

① 산악용 모노레일 시스템 특징

- 소형화·경량화로 설치비 및 운영관리비 저렴/ •저소음·저진동의 쾌적한 운행
- 간단한 버튼 조작으로 손쉽게 운전가능/ •내리막 주행시 회생제동 채택으로 전기료 절감
- 트롤리선과 궤도에 열선을 설치하여 강설시에도 안전한 운행을 보장
- 에어서스펜션 장착으로 경사지에서도 차량의 수평을 유지
- GPS SYSTEM 등 첨단기술의 적용으로 사무실에서도 운행사항을 통제 및 관리 가능.



그림 5. 강원도 정선군 화암동굴에서 운영중인 산악용 모노레일



그림 6. 강원도 삼척시대금굴에서 운영중인 산악용 모노레일

② 안전장치

- 디스크 타입의 전자브레이크 장착/ •레일 캐치 방식의 비상 브레이크 장착
- 과하중·정원초과 경보 장치
- 모노레일 옆에 워크웨이(대피로)를 설치하여 차량 이상시 워크웨이(대피로)를 통한 탑승객 탈출 시스템
- 풍속이 15m/sec(54km/h)시 운행중단(현재 교통안전공단 운행 기준 20m/sec(72km/h)시 운행중단)
- 자동문 인터록 장치·과부하 릴레이·누전브렉카·낙뢰 흡수 장치 등이 있다.

4.4 케이블 카

이용객의 수송수요 특징에 맞추어 연속형, 또는 대형으로 설치 운영한다. 연속형은 스키장에서 리프트를 이용하는 형식으로 주로 이용승객이 케이블카를 이용 산 정상으로 이동한 다음 다른 수단으로 이동하는 경우 많이 채택하며, 대형의 경우에는 탑승정원이 약60~100명으로 거리에 따라 10분~20분 간격으로 운행한다. 이때는 상행과 하행을 동시에 운행하여 상하행 케이블카가 서로 대중(Counter Weight)역할을 하도록 계획 에너지의 소모를 최소화 한다.

바람이 강하게 부는 지역에서는 Dual Cable을 적용하는 케이블카가 계획되어야 하며, 대형 케이블카의 경우 승차정원을 정확하게 관리하기 위하여 AFC를 변형한 탑승인원 자동차단기를 적용토록 해야 한다.

주로 장경간, 지형에 기복이 심한 경우에 이용한다. 중간에 고장 발생시에는 구조에 어려움이 많으므로 특별한 대책이 수립되어야 한다.



그림 7. 케이블카가 서로 대중 역할위하여 동시에 출발 중간에서 서로 만나는 모습

4.5 Cable Pulling형

주로 직선이며 동일 구배, 연장이 1km 내외인 경우 적용하며, 동력소모를 최소화 하기위하여 2대가 서로 Counter Weight역할을 하도록 계획한다. 프랑스 파리 몽마르트 언덕, 일본 동경인근 하코네, 미국 필라델피아 등에서 운영하고 있다. 주로 일반 철도궤도와 유사한 시스템을 적용하며 궤도는 운행속도가 느리고 유지보수 업무량을 최소화 하기위하여 보통 생력화 궤도를 적용한다.

경사를 오르면서 이용승객에게는 승차감을 제고시키고, 승하차가 편리하도록 승객이 탑승하는 면은 수평을 유지하도록 한다. 즉 후부가 들린 상태에서 운행한다. 연장이 길 경우에는 단선으로 설치 중간에

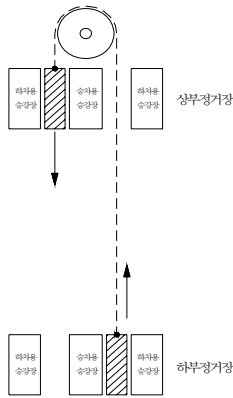


그림 9. 케이블 Pulling형 산악용 경량 전철의 운영시스템 개념도

교행설비를 설치하여 운영한다. 동일구배, 직선을 형성하는 과정에서 지형에 따라 공사비가 많이 소요되거나 동력비가 적게 소요되며, 장비가 간단하여 운영비가 적게 소요되는 장점이 있다.



그림 8. Cable Pulling형 산악 경량전철 (앞에 보이는 복선 선로는 교행설비임)

5. 결 언

이제까지 산악경전철의 계획, 산악 경전철의 시스템 종류, 산악 경량전철 시스템별로 특성과 적용성을 분석하였다. 산악 경량전철은 우리가 일반적으로 알고 있는 도시내 교통수요 처리를 위하여 도입되는 시스템이 아니고 대부분 관광용으로 사용하므로 합리적인 적용을 위하여는 아래와 같은 점에 유의하여야 한다.

- 계절별, 요일별, 기후별로 수요의 변동이 심한 관광지에서 사용하므로 Unit 단위로 쉽게 분리, 결합할 수 있는 시스템이 바람직하다.
- 설치위치가 산악지역이며 일반적으로 사용하지 않는 특수형식으로 수요가 작아 정비 및 부품조달에 특히 심도 있게 검토해야한다.
- 경전철 운행 중 높이차에 따른 기압변화를 고려 노약자 등 교통약자의 이용에 불편이 없도록 해야 한다. (장거리 : 최대 변화율 20m Height/ 분, 단거리 최대 변화율 120m Height/ 분)
- 운영인력의 최소화를 위하여 철제차륜형을 적용시에는 중간정거장에는 분기기 전환시 사람이 필요하지 않은 원격제어 또는 천이 분기기형태로 운영되어야 한다.
- 급구배이면서 연장이 짧은 경우에는 Cable Pulling형을 적용하는 것이 바람직하다.
- 급구배이면서 원지반과 많이 이격되고 경간이 길게 형성되는 지역으로 곡선이 없거나 적은 경우에는 케이블카를 적용하는 것이 바람직하다.
- 구배가 400%이하이며 노선연장이 길고 많은 곡선이 채택되는 경우에는 치차형을 적용하는 것이 바람직하다.
- 구배가 80%이하이며 노선연장이 길고 많은 곡선이 채택되는 경우에는 일반 철제차륜형을 적용하는 것이 바람직하다.
- 급구배이면서 연장이 짧은 경우에는 곡선이 많이 형성되고 종단이 원지반과 큰 차이가 없는 경우에는 산악용 모노레일의 적용이 바람직하다.
- 스키장 등에서와 같이 계절에 따라 운행이 중지되는 경량전철의 경우 시스템이 간단한 형식을 선정하여야한다.

참고문헌

1. 이덕영, 이안호, 송 달호 (2006년), “경량전철 개론” 9. 산악용 경량전철 장
2. 이덕영 (2008년), “유후라오 산악철도 및 유럽의 도시철도시스템 소개”
3. 한국모노레일 주식회사(2007년), “MONORAILCAR (모노레일카)”