

# 산악철도 기술 현황 및 개념설계안

## Survey of state-of-arts of technologies and proposal of concept design for mountain railway



이 서 승 일 |  
한국철도기술연구원  
신교통연구본부  
수석연구원



이 박 정 준 |  
한국철도기술연구원  
신교통연구본부  
선임연구원



이 사 공 명 |  
한국철도기술연구원  
신교통연구본부  
책임연구원



이 나 희 승 |  
한국철도기술연구원  
신교통연구본부  
책임연구원



이 이 창 영 |  
한국철도기술연구원  
신교통연구본부  
선임연구원



이 이 종 성 |  
서울메트로  
인재개발원  
책임교수

### 1. 머리말

2018년 개최되는 평창 동계올림픽은 국가적인 현안이면서 성공적인 개최를 통해 우리나라가 진정으로 선진국에 진입했음을 알릴 수 있는 절호의 기회가 된다. 동계올림픽 참가 선수진은 물론 취재진과 관람객들의 편안하고 안전한 이동을 위해 편리한 교통서비스를 제공하는 것은 올림픽의 성공적 개최를 위한 필수조건이다. 현재 진행되는 원주-강릉 구간 120km의 복선 철도 건설이 완료되면 서울에서 강릉까지 시속 250km/h급 고속열차로 1시간대에 도달할 수 있게 된다. 현재 자동차로 2시간 20분이 걸리던 거리를 고속철도를 이용하여 1시간대에 연결할 수 있게 되어 동계올림픽에 참가하는 선수진과 관람객들에게 만족할 만한 장거리 교통서비스를 제공해 줄 수 있게 된다. 특히 외국관광객들은 인천공항에서부터 환승 없이 서울을 거쳐 1시간반 이내에 평창까지 갈 수 있으므로 친환경 교통수단인 철도가 친환경 동계올림픽의 성공을 위해 크게 기여할 수 있으리라 기대된다[1,2].

그런데, 장거리 대중교통망 구축은 미리부터 체계적인 준비가 진행되고 있으나, 평창 지역의 근거리 대중교통망

에 대해서는 승용차와 버스 이외에는 다른 대책이 마련되지 않고 있는 상황이다. 경기 시설과 숙박 시설 등을 고려한 각종 통계자료에 따르면[3] 동계올림픽 기간 중에 일일 평균 10만명 정도의 취재진과 관람객이 평창 지역에 체재할 것으로 예상되고 있어, 승용차의 이용을 최대한 억제한다고 해도 셔틀버스의 이동 시간은 평균 15~20km/h로 극심한 정체가 예상된다[4]. 또한 2002년~2011년의 기상청 관측 자료에 따르면[5] 평창올림픽 대회 기간인 2월9일~2월25일 동안 강설 확률은 46%에 달하고 있어, 산악지형에 따른 급경사가 많은 평창 지역에서 도로의 폭설과 결빙 시 교통 대책이 시급한 실정이다.

### 2. 산악철도 기술 현황

#### 2.1 해외 산악지역 대중교통망 구축 사례

오스트리아 인스부르크는 인구 12만 명의 작은 도시이나 동계올림픽을 2회, 2012년 동계 청소년 올림픽을 개최한 동계 레저 관광 도시이다. 인스부르크는 Fig. 1과 Fig. 2와 같이 평지는 트램, 급경사지는 로프를 이용한 철도시스템을



Fig. 1 Tram in service on Innsbruck



Fig. 2 Funicular on high gradient

활용하여 자연경관을 살리면서 동시에 대중교통 문제를 해결하였다.

트램은 노면전차로서 도심지와 주요 관광지를 연결하고 있으며, 급경사지는 궤도 위의 차량을 로프로 끌어서 이동하는 강삭철도(funicular)가 활용되고 있다. 완전한 산악 지대에서는 케이블카로 알려진 가공삭도(aerial ropeway)가 운행되고 있다.

스위스 융프라우에서는 톱니바퀴의 랙앤피니언(Rack & Pinion)방식의 산악철도가 운행되고 있다(Fig. 3). 인터라켄역을 시발로 해발 3,454m의 융프라우까지 12.5km/h의 속력으로 250%(=14.3°)의 급경사를 운행하고 있다.

## 2.2 운행되는 산악철도의 종류

현재까지 운행되고 있는 산악철도는 크게 랙앤피니언 방식의 철도와 로프웨이를 이용한 방식으로 분류해 볼 수 있다. 랙앤피니언 방식의 철도는 급경사에서 점착력의 한계로 슬립이 일어날 수 밖에 없는 상황을 차량의 피니언과 궤도의 랙 톱니바퀴 사이 접촉력으로 극복하는 시스템으로서 100년 이상의 역사를 가진 전통적인 급경사 운행 방식이다.

로프웨이를 이용한 철도는 삭도라고도 불리우는데, 궤도상의 열차를 로프로 끄는 강삭철도와 공중에서 로프에 매달려서 운행하는 가공삭도(Fig. 4)로 나누어 볼 수 있다[6]. 강삭철도는 외부의 동력으로 풀리(fully)를 돌려서 로프를 끄



Fig. 3 Mountain train in Jungfrau driven by rack & pinion



Fig. 4 Aerial ropeway

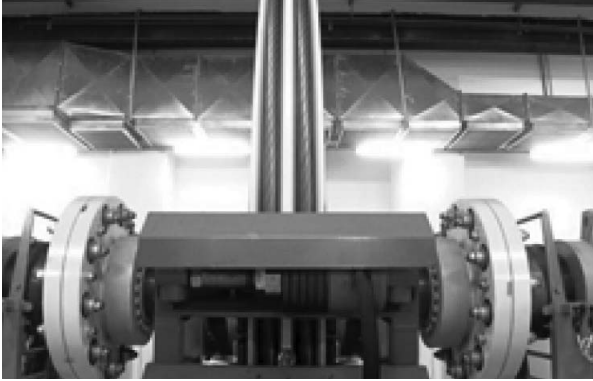


Fig. 5 Fully to drive whole ropeway system



Fig. 6 Winch to drive a car by winding a rope

Table 1 Comparison of high gradient limbing technologies

방식	장점	단점
Ropeway	-적용 구배 무제한	-단거리 노선 적용 -Rope 견인 설비비
톱니 바퀴	-설비 간편	-승차감 저하 -적용 구배 한계(200%)
선형동기전동기	-승차감 우수 -고속 이동	-고가의 건설 및 유지 보수비 -추진 효율 변동

는 방식(Fig. 5)과 차량 하부의 자체 동력 윈치를 이용하여 로프를 감으면서 차량을 상승시키는 방식(Fig. 6)이 있다[7].

가공삭도는 궤도와 추진을 하나의 로프가 담당하는 단선식(Fig. 4)과 궤도와 추진의 역할을 담당하는 로프가 별개인 복선식(Fig. 7)이 있다.



Fig. 7 Bicable ropeway system

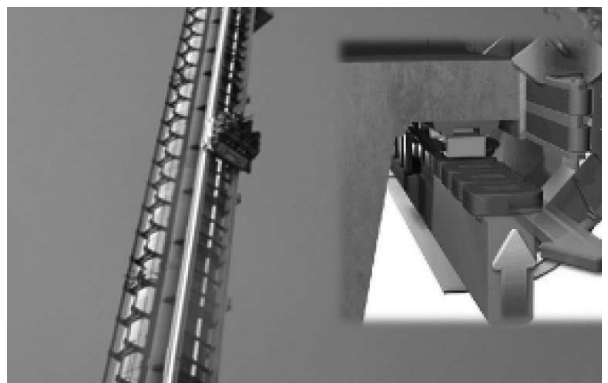


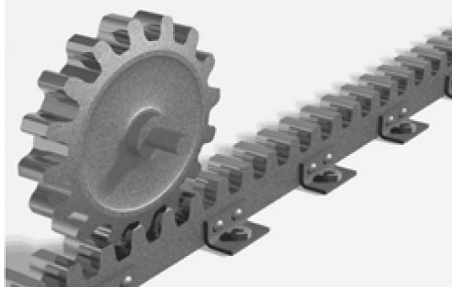
Fig. 8 Vertical roller coaster driven by linear synchronous motor

### 2.3 급경사상승 신기술

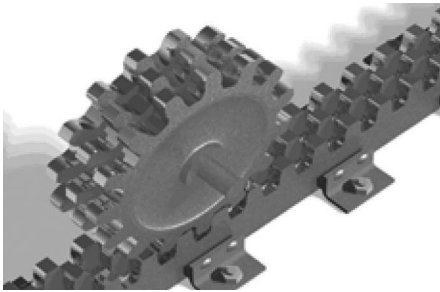
급경사를 이동해야 하는 산악철도에 선형동기전동기 (Linear Synchronous Motor, LSM) 추진시스템을 적용할 수 있다. 차량에 부착된 영구자석과 궤도 코일의 이동 자장에 의한 전자력으로 선형 추진되는 LSM 기술은 기존 차륜식 추진시스템의 점착력 한계를 뛰어 넘을 수 있으므로 급경사 상승에 유용하다[8]. 선형동기전동기 방식은 초고속자기부상열차나 수직 상승을 위한 놀이기구(Fig. 8)에 현재 적용되고 있다. 급경사를 오르는 방식의 장단점을 간략히 아래 Table 1에 정리하였다.

### 2.4 랙앤피니언의 종류

랙앤피니언 구동방식은 19세기부터 산악철도에서 사용



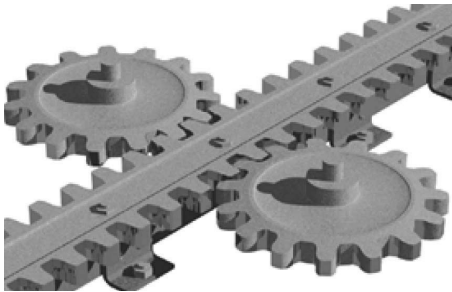
(a) Strub



(b) Abt



(c) Riggerbach



(d) Locher

Fig. 9 Various kinds of rack & pinion system

되어 왔는데, 현재까지 적용되고 있는 랙앤피니언 구동 톱니의 종류는 Fig. 9와 같다. Strub 방식은 좌우 레일의 중앙에 폭 넓은 랙 레일을 부설하고 차량측의 피니언을 랙 레일

에 맞물려 구동하여 주행하는 구조로서 가장 일반적인 랙 앤피니언 방식이다. Abt 방식은 좌우 레일 중앙에 치형(齒形)을 조금씩 어긋나게 한 2~3개의 랙 레일을 부설하여, 차량 쪽의 피니언을 맞물리게 하고 구동하여 주행하는 구조로서 랙의 추종성이 우수하다. Riggerbach 방식은 금속재 판이나 일정한 간격을 갖는 원형 및 사각형 바(bar)로 구성된 채널 형식의 사다리꼴 랙레일에 피니언이 이동하는 구조이다. 피니언의 접촉이 확실한 이점이 있으나 타 시스템에 비해 형상이 복잡하고 건설비가 고가이다. Locher 방식은 Abt 시스템의 등판능력을 향상한 모델로서 수평대칭의 랙시스템의 효과로 최대 구배 500%까지 이동할 수 있다. 산악지대의 소형 모노레일 시스템에 효과적으로 활용되고 있다.

### 3. 평창 대중교통망 구축을 위한 산악철도 기술

#### 3.1 산악트램 개념설계안

평창지역 도로는 전체적으로 200%이하의 경사를 보이고 있다. Table 1에서 알 수 있듯이 200%이하의 경사 지역에서는 랙앤피니언 방식의 대차가 설비도 간편하고 경제적으로 운영될 수 있어 적합하다. 평창 지역에 올림픽 개최 기간 중에 1일 10만명의 관광객이 몰릴 것으로 예상되고 있으므로 시간당 3,000명 이상을 수송할 수 있는 경전철이 적합하고, 도심지역이 아닌 산악지형을 고려하여 노면에서 운행이 가능하고 건설비가 적게 소요되는 트램이 적합한 교통수단이 된다. 따라서, 평창지역 대중 교통수단으로서 친환경성과 관광지의 경관을 고려하여 Fig. 10과 같이 무가선 저상트램으로 선정하였다. 도로와 겸용이 가능하도록 매립형 궤도를 도로 중앙에 설치하여 트램이 우선적으로 운행할 수 있도록 설계하였다[2, 8, 9].

Fig. 11과 같이 제안된 산악트램은 탑승인원 200명(최대 300명)의 5모듈 1편성으로 구성되어 있다. 산악트램의 추진시스템은 최고 70km/h 속도로 주행이 가능하도록 대용량 고효율 배터리 추진방식을 적용하고 있다. 전후의 대차는 차축이 없는 독립구동 차륜을 적용하여 급곡선 운행이 가능할 뿐만 아니라 바닥높이가 350mm 이하로 평면



Fig. 10 Mountain tram for Pyeongchang



Fig. 13 Cabin interior



Fig. 11 Layout of mountain tram

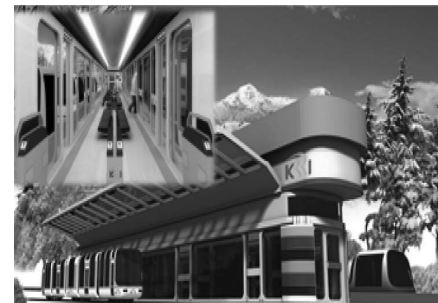


Fig. 14 Smart station

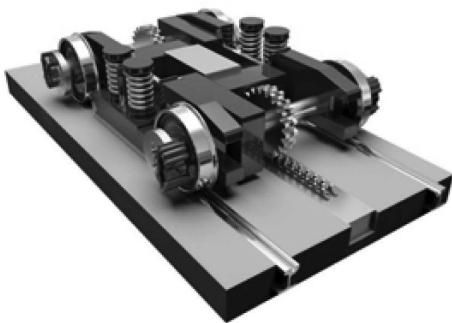


Fig. 12 Rack & pinion bogie

승하차를 가능하게 하여 승객 환승시간을 최소화할 수 있다. 중간의 대차는 급경사 상승을 위해 Fig. 12와 같이 랙앤피니언 차축을 적용하고 있는데, 객실의 저진동·저소음을 위해 탄성 차륜 및 피니언 기어를 적용하였다. 동계올림픽 이후 산악트램의 활용도를 높이고자 겨울철 스키장 방문객의 편의를 고려하여 Fig. 13과 같이 파노라마 유리 차

체를 적용함으로써 외부조망을 극대화하였다. 스마트 정거장(Fig. 14)에서 관광객들이 편리하게 평면 승하차를 하고 다른 교통수단과도 편리하게 연계할 수 있다.

#### 4. 맺음말

평창 동계올림픽의 성공적인 개최를 위해서는 폭설, 결빙, 급경사에 관계없이 대규모의 승객을 수송할 수 있는 근거리 대중교통망이 필수적이다. 본 연구에서는 해외 유명관광지에 활용되고 있는 산악철도 시스템의 현황을 살펴보고, 급경사를 이동할 수 있는 로프웨이, 랙앤피니언 및 선형동기전동기 기술을 조사·분석하였다. 평창지역에 적용할 수 있는 산악철도시스템으로서 랙앤피니언 대차를 적용한 무가선 저상트램으로 선정하여 배치도, 차체, 대차 등의 개념설계를 수행하였다. 200% 이상의 경사를 상승할 수 있는 랙앤피니언 대차는 평창지역 도로를 모두 운행할 수 있으며, 파노라마 차체는 승객 조망을 극대화하여 산

약지역의 경치를 승객들이 감상할 수 있게 함으로, 향후 관광객 유치에 큰 효과가 있을 것으로 예상된다. 승객의 승하차와 환승 편의를 고려한 스마트 정거장은 향후 타 교통수단과의 연계를 통해 교통 네트워크 구축에 기여할 수 있을 것이다. 산악트램은 원주-강릉간 고속철도와 연계한 근거리 대중교통수단으로서, 관람객들을 안전하고 효율적으로 수송함으로써 동계올림픽 성공에 기여할 수 있고, 향후 관광용으로 활용되어 지역 경제 활성화에도 기여할 수 있으리라 전망된다. ☺

♣ 참고 문헌

1. 서승일(2012), "평창 동계올림픽 성공을 위한 녹색교통 네트워크 구축 방안," 미래녹색 교통기술 국제세미나, 한국철도기술연구원, pp.199-219.
2. 서승일(2012), "평창 동계올림픽의 성공을 위한 산악철도 활용법," KICTEP Webzine, No. 60, 한국건설교통평가원, pp.9-10.
3. 연구기획조정실(2011), "2018 평창 동계올림픽 개최기간 외래 관광객 지출 파급효과," 웹진 문화관광, No. 8, 한국문화관광연구원, pp.7-26.
4. 문영준(2011), "평창동계올림픽 수송분야 종합 계획," 월간교통, No. 162, 한국교통연구원, pp.6-11.
5. 기상청(2012), 관측자료, www.kma.go.kr
6. K. Hoffmann(2006), "Recent developments in cable drawn urban transport systems," FME Transactions, Vol. 34, No. 2, pp.205-212.
7. 서승일 et al.(2012), "급구배 상승 기술 개발 기획 연구," 자체사업보고서, No. 2011-057, 한국철도기술연구원, pp.31-38.
8. 박정준, 서승일, 사공명, 나희승, 이종성(2012), "평창올림픽을 대비한 산악철도 시스템 개발", 2012한국철도학회추계학술발표대회논문집, p.89.
9. 서승일, 박정준(2012), "평창 동계올림픽 성공을 위한 산악철도 시스템 개발", 한국철도, Vol. 42, pp. 25-29.