

국내 산악철도 건설사례 - Funicular 시스템



김 희 권
포스코엔지니어링 대리
T.010.6284.5889
heekwon@poscoen.com



인 성 윤
포스코엔지니어링 차장
T.010.3555.5066
joinsy@poscoen.com



안 상 용
포스코엔지니어링 상무
T.010.5216.8835
koen@poscoen.com

1. 서론

2014년 10월 급경사지를 운행하는 산악철도가 국내 최초로 개통되었다(그림 1). 일반 철도 차량으로는 운행이 불가능한 15.6°의 경사지를 Funicular 시스템을 이용하여 운행한다.

국토 면적의 약 70%가 산악지인 우리나라에는 아름다운 산과 골짜기가 어우러진 관광지가 많고 해마다 많은 관광객들이 방문한다. 산악 관광 지역은 타교통수단으로 접근이 어려워 자동차 중심의 교통망을 가지고 있으나, 이러한 교통망은 폭설과 결빙으로 인한 교통 마비, 자동차의 매연으로 인한 환경 훼손 등 여러 가지 문제점을 노출하고 있다. 최근 산악 관광지의 이러한 문제를 근원적으로 해결하기 위한 방안으로 산악철도가 주목을 받고 있다.

본 고에서는 산악철도 시스템을 소개하고, 시스템 제작부터 차량 시운전에 이르는 전반적인 산악철도 시스템 구축 사례를 소개하고자 한다.

2. 산악철도 건설 사례 소개

2.1 사업개요

산악철도 건설사업은 폐광지역을 국민 여가공간으로 개발하기 위한 철도테마공원 조성사업의 일환으로 진행되었다. 해당 노선은 강원도 삼척시 도계읍 소재 000리조트 내에 설치되는 노선으로, 총 공사기간은 30개월(2012년 5월~2014년 10월)이 소요되었으며, 포스코엔지니어링이 산악철도 시스템 설계, 제작, 시공을 수행하였다. 총연장은 930m이고, 종단경사는 15.6°이며, 하부정거장과 상부정거장의 표고차는 205m이다.

건설된 산악철도는 1963년 철거된 강삭철도를 복원하여 공원내 메인스테이션(심포정거장)에서 스카이스테이션(통리정거장)까지 연결하는 철도 체험시설이다(그림 2). 시설물은 철도 체험 제공뿐만 아니라, 레일바이크 승차장까지 탑승객 및 레일바이크를 견인하는 역할을 담당하고 있다.



〈그림 1〉 최근 건설된 산악철도



〈그림 2〉 철도테마공원 조성 계획

2.2 산악철도의 이해

산악철도는 험난한 산악의 경사를 오르고 내리는 철도의 통칭이다. 일반철도의 경우 국내에서는 30%~35%을 한계로 하고 있으므로, 그 이상의 경사를 운행하는 철도로 볼 수 있다.

산악철도의 종류에는 케이블 철도, 스파이럴식 철도, 스위치백 철도, 랙앤피니언 철도 등이 있다. 어느 경우나 전기를 동력으로 사용하는 것이 보통이며, 현재 스위스 알프스를 중심으로 관광용 산악철도가 많이 부설되어 있다.

본 사업에 적용된 산악철도는 케이블 철도로써 고도차 극복을 위해 로프를 이용하여 차량을 이동시키는 매커니즘을 가진 장치구조물이다. 동력식의 권양기로 차량에 연결된 케이블을 감아올리거나 내려 레일 위를 운행하며, 현재 세계 각국의 유명 관광지에 보급되어 있는 산악철도 시스템이다(그림 3).

케이블 철도는 동력을 점착에 의존하지 않기 때문에 급격한 경사면에 사용할 수 있으며, 케이블카에 비해 흔들림이 적고, 하중을 궤도가 부담하기 때문에 취급용량 면에서 유리하고, 승차감이 양호하며 강풍 등과 같은 기후조건의 영향을 적게 받는다. 그러나, 케이블의 절손시 심각한 사고가 발생하기 때문에 이에 대한 철저한 시설관리가 필요하고, 제동장치 등 안전설비가 필수적이다.



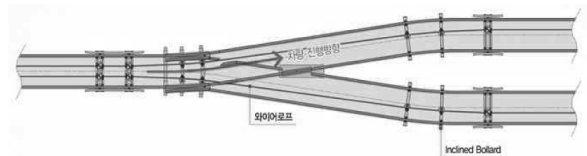
〈그림 3〉 Duquensne Incline

2.3 산악철도 노선현황 및 시스템 특성

2.3.1 노선현황

본 노선의 목적은 승객 수송뿐만 아니라 승객이 탑승할 레일바이크 견인에 있다. 이러한 목적을 만족하기 위하여 산악철도와 레일바이크간 연결과 해체를 단계별로 고려하고, 단계별 소요시간을 산정하여 철도운영계획을 수립하였다.

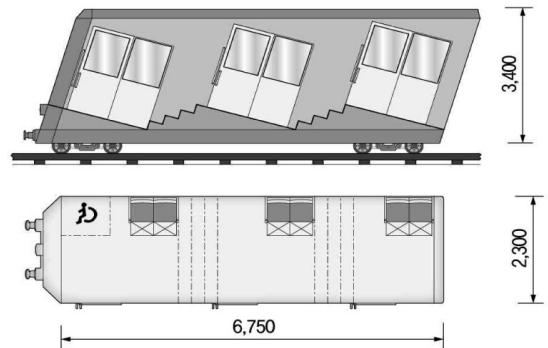
전체 노선은 경제성을 감안하여 단선과 복선을 혼합하여 구성되어 있으며, 열차 교행이 가능한 복선 구간은 차량 및 레일바이크 통과시간, 선로전환기 작동시간을 고려한 최소요구길이를 적용하여 경제성을 확보하였다. 또한 승차감 확보를 위하여 곡선 구간을 최소화 하였으며, 분기 구간 양쪽에는 동력을 전달하는 와이어로프와의 간섭을 고려하여 특수 분기기를 제작 설치하였다(그림 4).



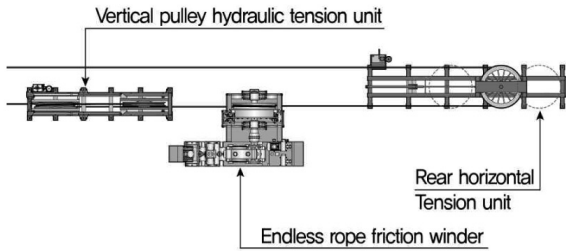
〈그림 4〉 특수 분기기 계획

2.3.2 산악철도 시스템 특성

산악철도 차량은 2량 1편성이며, 최대 70명의 승객이 탑승할 수 있다. 차량 규격은 길이 7.9m, 폭 2.3m, 높이



〈그림 5〉 차량 규격



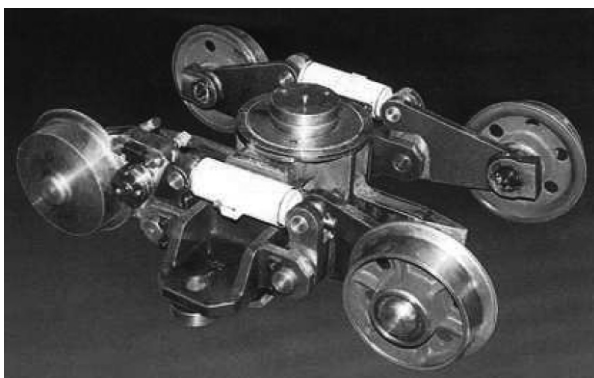
〈그림 6〉 운전시스템의 구성

2.95m로 공차기준으로 무게는 12ton이다(그림 5). 설계최고 속도는 5m/s이며 최소곡선반경 30m 통과가 가능하다. 또한, 경사지에서 운행되는 특성을 고려하여 승객이 객차 내에서 이동 가능한 계단식 구조를 적용하였다.

운전시스템의 사양은 열차의 운행계획, 레일바이크 운영조건, 운행속도, 구배, 차량 하중 등을 고려하여 적용되었으며, 시스템 구성은 와인더, 메인모터, 기어박스, 유압팩, 수직, 수평 텐서너 등으로 이루어진다(그림 6).

산악철도의 급경사지 운행으로 운전원은 승객 승·하차 및 운행상황의 육안 확인이 불가능하며, 비상시 신속대응에 어려움이 따른다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 설비 상태, 차량의 운행 상태 등 모든 상황을 확인 가능한 모니터링 시스템을 설치하여 운전자가 안전하게 조작할 수 있도록 하였다.

또한, 자동 제어 제동장치를 적용하여 차량의 안전상태, 선로전환기 개폐 상태, 차량과의 무선 통신 상태 등을 지속적으로 확인하고 이상 시 비상브레이크를 자동으로 작



〈그림 7〉 산악철도 대차

동하게 하여 차량 운행 안전성을 확보하였다.

안전성 향상을 위하여 차량의 대차에도 별도의 제동 장치를 탑재하고, 설계 속도 20% 초과시 자동으로 작동되도록하여 운전시스템을 계획하였다(그림 7).

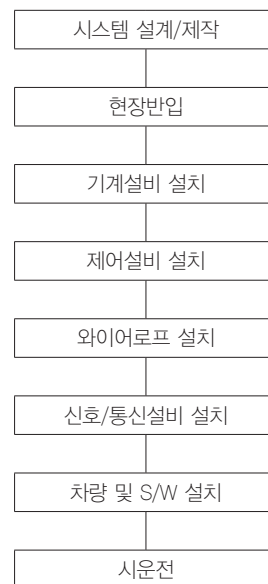
2.4 시스템 설치

2.4.1 시스템설치 절차

대부분의 설비는 해외에서 제작하여 현장으로 반입하였다. 제작공장에서는 와인더, 모터, 텐서너, 차량 등이 순차적으로 제작 되었으며, 현장 반입전 공장에서 시스템을 가조립하여 시험 운전을 실행하였다. 설비 제작 시 제작사, 시공사, 발주사 책임자들의 입회하에 육안검사, 조립검사, 가공 및 도장상태 검사 등을 통하여 품질 확보에 만전을 기하였다. 또한, 선형공정인 구조물 공사시 지속적인 인터페이스 관리를 통하여 간섭 사항을 확인하였다.

시스템 설치공사는 제작장에서 시험이 완료된 각 설비를 현장에 반입한 후 기계설비 설치▶제어설비 설치▶와이어로프 설치▶신호/통신설비 설치▶차량 설치▶소프트웨어 설치▶시운전의 단계로 진행되었다(표 1).

〈표 1〉 설치절차



산악철도의 특성상 본선은 급경사지로 이루어져 기계 및 제어설비 설치시 작업자들의 안전 확보를 위하여 안전시설물을 설치하고 작업중 안전상태 점검에 특히 유의하였다.

2.4.2 기계설비설치

기계 설비 설치의 공장에서 제작된 설비를 반입하여 와인더 설치 ▶ 동력설비 설치 ▶ 제동설비 설치 ▶ 텐서너 설치 ▶ 풀리 설치의 단계로 진행되었으며, 해외 제작사에서 기술자를 파견하여 한국 기술자와 협력하여 기계 설비를 설치하였다.

자재의 하차, 이동, 설치 등은 설치공사를 사전에 고려하여 설치한 호이스트크레인을 이용하였으며, 기계설비의 수평지지력 확보를 위하여 앵커를 설치하고 무수축 모르타르를 타설하였다. 기계 설비의 정밀한 위치를 확보하기 위하여 정밀 측량으로 위치를 확인한 후 설치하였으며, ±1mm의 오차한계를 적용하여 설비의 안정성을 확보

하였다.

시공중 기계 설비의 중량으로 인한 낙하 사고 방지를 위하여 크레인 운전상태, 인양 로프 등 사용 장비 및 공구를 상시 점검하여 안전사고를 예방하였다.

2.4.3 신호/통신/제어설비 설치

산악철도 시스템은 운전실의 운전자가 열차 운행 및 설비 작동 등 모든 상황에 대한 정보를 가지고 열차를 조작하는 원격제어 시스템이 적용되었다. 원격제어시스템 구축을 위하여 PLC 판넬과 초고속 신호설비, 무선 통신설비 등을 설치하였다.

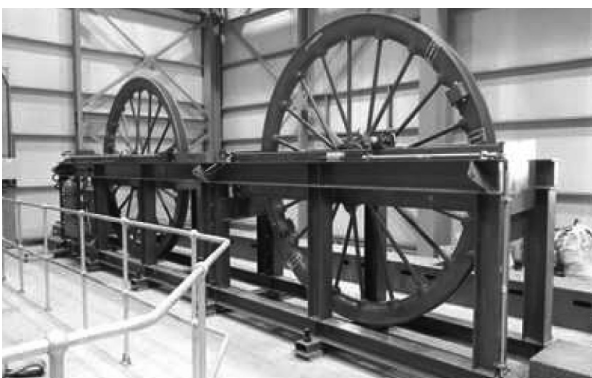
운전자의 조작오류에 의한 사고 방지를 위하여 본선에 자기신호장치를 설치하여 선로전환기의 자동 개폐 및 열차의 자동 가감속을 제어하는 시스템을 구축하였다. 또한, 비상시 시스템 자동정지 장치 및 운영요원 간 사용 가능한 무선 통신 설비를 설치하여 열차 운행의 안전성을



〈그림 8〉 권양시스템 설치



〈그림 10〉 분기기 제어판넬 설치



〈그림 9〉 수직텐서너 설치



〈그림 11〉 PLC 제어판넬 설치

확보하였다.

제어 설비 설치는 PLC 제어판넬 ▶ 운전데스크 설치 ▶ 본선제어설비 설치 ▶ 신호/통신 설비 설치 ▶ 케이블 설치의 단계로 진행하였다. 본선 제어 설비 설치시 선행공정과의 간섭을 배제하기 위하여 인터페이스를 고려한 공정계획을 수립하여 관리하였다.

2.4.4 와이어로프 및 부속설비 설치

권양기의 동력을 전달하는 와이어로프는 안전율을 고려하여 32mm 로프를 설치하였고, 차량과의 안전한 연결을 위하여 차량 1편성당 2개소의 클램프로 와이어로프에 체결 하였다.

와이어로프 설치는 자재 반입 ▶ 가이드로프 설치 ▶ 로프 드럼 설치 ▶ 가이드로프와 와이어로프 연결 ▶ 와이어로프 설치 ▶ 스플라이싱의 단계로 진행하였다.

로프 설치시 로프 자중으로 인한 운반상의 문제를 극복

하기 위해 가이드로프(φ 10mm)를 먼저 설치한 후 가이드로프와 메인로프를 연결하고 운전시스템을 저속 가동하여 와이어로프를 포설하였다. 와이어로프 설치 전 구조물과의 간섭 사항을 사전 확인하였으며, 차량 운행중 발생 가능한 로프 변형 등을 감지할 수 있는 센서를 설치하여 로프 안전성을 확보하였다.

와이어로프 절단면 연결을 위한 스플라이싱은 해외 스플라이싱 전문기술자가 파견되어 직접 수행하였고, 로프 연결부 안전성 확보를 위하여 38m 이상을 중첩하여 연결 하였다(그림 12).

2.4.5 차량반입 및 시운전

차량 파손 방지를 위해 별도의 인양 장비를 제작하고, 하중 및 운반거리 등을 고려하여 100t급 크레인을 이용하여 궤도에 인입하였다.

차량 인입 후 와이어로프를 체결하고 시운전을 수행하였



〈그림 12〉 스플라이싱



〈그림 14〉 수동 저속 시운전



〈그림 13〉 차량과 와이어로프 체결



〈그림 15〉 레일바이크 견인 시운전

으며, 저속 수동운전▶차량 제어설비 점검▶로직 테스트▶차량 위치 조정▶하중테스트▶제동장치 시험▶레일바이크 견인▶상업시운전의 단계로 진행하였다. 최초 저속 수동운전을 통하여 차량과 구조물의 간섭사항, 제어설비 설치 상태, 운행 프로그램 등을 확인하였다.

시운전중 로프 신장으로 인한 차량의 위치 변동과 교통약자를 위한 정거장 정위치 정차를 고려하여 차량과 와이어로프 체결위치를 결정하였다. 이후 충분한 시운전을 통하여 열차 운행의 안정성을 확보하였으며, 2014년 10월 교통안전공단의 승인을 득하였다. 열차 시운전 기간 중 분야별, 직급별 운전자 교육을 실시하였으며, 원격접속서비스 시스템을 구축하여 현장에서 문제가 발생할 경우 상시 점검이 가능도록 하였다.

3. 결론

산악철도는 폭설, 결빙 및 바람 등 기후에 큰 영향을 받지 않고 운행이 가능하고, 건설비와 운영비가 기존 경전철 시스템에 비해 적으며, 관광지의 랜드마크 기능도 수행할 수 있는 장점이 있다. 따라서 관광산업의 중요도가 증가하고 있고 국토의 70%가 산지로 구성된 우리나라의 특성상 향후 활발하게 도입될 것으로 예상된다.

국내에 처음으로 도입되는 철도시스템을 성공적으로 구축하기 위해서는 기반시설과 시스템의 계획단계부터 설계, 제작, 시공 및 시운전까지 각 단계별로 적절하게 인터페이스를 관리하여야 한다.

포스코엔지니어링은 본 산악철도의 계획단계부터 참여하여 PRT, 자기부상열차, 모노레일 등 국내 최초 시스템 도입 경험과 노하우를 바탕으로 국내 최초의 산악철도를 성공적으로 구축할 수 있었다.

다만, 산악철도 시스템의 국산화 초기단계로서 상세설계를 위해서는 해외기술자의 협력이 필요하므로 시스템을 이해하기 위한 노력과 더불어 우리나라와는 정서가 다른 해외기술자들과의 협업을 고려하여 공정계획을 수립하고 계약관리 등에도 만전을 기하여야 할 것으로 판단된다.

본 고가 산악철도 시스템을 이해하고 사업을 수행하는데 도움이 되길 바란다. ☺

♣ 참고문헌

- [1] 서승일(2014), "산악철도 도입 및 운영을 위한 현안 및 대책", 한국철도학회 철도저널, 제 17권, 제 4호, pp.30-33.
- [2] 인성윤(2012), "국내 도입 가능한 산악철도 시스템의 종류와 이해", 포스코엔지니어링 기술자료집
- [3] 000리조트 산악철도 차량운행 시스템 구축사업 기술제안서, 03장 시스템 구축계획, pp.13-27.