

친환경 산악철도 매립형 궤도의 선로전환기 및 히팅장치 개발

서승일

한국철도기술연구원 차세대철도차량본부

Development of Switching and Heating Devices in Embedded Rack Track for Environmental-friendly Mountain Railway

Sung-il Seo

Division of Advanced Railroad Vehicle, Korea Railroad Research Institute

요약 친환경 산악철도는 산악지역 환경보전을 위해 기존 급곡선·급경사 도로 위에 매립된 콘크리트 톱니 궤도에서 운행하게 된다. 폭이 좁은 도로 특성상 단선 구간이 많아지고, 교행에 따른 분기부가 많이 존재한다. 분기부에서 기존 선로전환기와 히팅장치는 중앙 톱니 궤도의 이동 공간 확보, 두터운 결빙의 신속히 제거 등이 불가하여 산악철도에 적용하기 곤란하다. 이런 문제 해결을 위해 궤도 블록 이동 선로전환기와 고주파유도 히팅장치를 개발하였다. 개발 선로전환기는 콘크리트 톱니궤도 블록을 유압 액츄에이터를 이용하여 이동시킴으로 선로를 전환할 수 있고, 크로싱의 결선부가 없어져서 탈선의 위험이 감소되며, 쇄정도 간편해진다. 히팅장치는 고주파 유도가열을 이용하여 발열 효율을 높임으로 톱니궤도의 두터운 결빙을 신속히 제거할 수 있다. 선로전환기와 히팅장치의 시제품을 제작하여 동작시험을 실시함으로써 성능을 입증하였다. 히팅장치는 기존 방식에 비해 10배 이상 발열 효율이 있음을 확인하였다. 개발된 선로전환기와 히팅장치는 동절기 산악트램의 운영을 위한 필수 핵심기술로서, 산악철도의 안전성 및 효율을 높임으로 국내외 산악관광지의 산악철도 도입 확산에 기여할 수 있다. 또한 산악철도는 동절기 교통이 두절되는 지역주민들에게 교통기본권을 제공하고, 관광 활성화와 지역경제 발전 효과를 가져올 수 있다.

Abstract Eco-friendly mountain railways operate on concrete rack tracks embedded on existing sharp curved and steep roads to preserve the environment in mountainous areas. Owing to the narrow roads, single lines are inevitable, and many branches are required. In branches, previous switchers and heating devices cannot be applied, because of the limited spacing for the rack and the slow removal of thick ice. To solve these problems, a switch and a heating device have been developed. The switcher changes the line by moving the block of concrete track with hydraulic actuators. The lack of discontinuity reduces the derailment risk and makes locking simple. The heating device uses high frequency induction coils to increase the efficiency and melt the thick ice rapidly. The prototype switcher and heating device were produced and operated to prove their performance. The heating device yielded a 10 times greater efficiency than the previous one. The switcher and heating device are the essential core technologies for the operation of mountain trams in winter and contribute to the spread of mountain railways to domestic or foreign resort areas by enhancing safety and efficiency. In addition, they can provide transportation rights to local residents in poor winter traffic, and bring about tourism and local economic growth.

Keywords : Embedded Concrete Rack Track, Induction Heating, Mountain Tram, Switching Block, Hydraulic Actuator

본 논문은 한국철도기술연구원 주요사업 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Sung-il Seo(Korea Railroad Research Institute)

email: siseo@krrri.re.kr

Received October 23, 2019

Revised January 15, 2020

Accepted February 7, 2020

Published February 29, 2020

1. 서론

친환경 산악철도는 급경사 급곡선 도로 위에서 폭설과 결빙 등 기후조건에 구애될 없이 무가선으로 운행하는 대중교통 수단을 말한다. 자동차와 겸용하면서 도로 위에 설치된 콘크리트 매립형 톱니궤도 상에서 주행하고 있으므로 기존 철도와는 다른 방식으로 운행된다. 특히, 산악 지역 도로는 폭이 좁은 2차선 도로가 대부분이므로, 궤도는 주로 단선으로 설치된다. 단선 구간의 효율적 운영을 위해 정거장 등에서 교행을 시키기 위해 필연적으로 분기 구간이 많아지므로 적합한 선로전환 기술이 필요하다. 또한, 겨울철 산악지역 도로는 결빙구간이 많으므로, 결빙에 대비한 선로전환기 작동의 가용성을 확보하는 것도 필요하다.

기존 궤도의 선로전환은 Fig. 1.과 같이 첨단 텅레일(tongue rail)이 좌우로 접촉하여 차륜의 가이드 역할을 하면서 분기를 유도하여 선로를 바꾸는 방식이다[1]. 궤간에는 텅레일의 작동을 위한 링크(link of switcher)가 있어서 구동력을 전달한다. 그런데 이 방식은 레일이 돌출되어서 텅레일과 링크의 가동이 자유로운 자갈 궤도에서는 적용할 수 있지만, Fig. 2.에서 보는 바와 같이 레일이 매립된 매립형 콘크리트 궤도에서는 텅레일과 구동 링크의 공간 확보가 곤란하기 때문에 적용하기 어렵다. 특히, 산악철도의 궤도에서는 Fig. 3.과 같이 중앙 톱니레일도 선로 전환을 위해 가동해야 하므로 공간 확보가 필요한데, 매립형 콘크리트 궤도에서 이는 극히 곤란하다. 따라서, 기존 선로전환 방식을 매립형 콘크리트 톱니궤도에서 적용하는 것은 불가능하다.

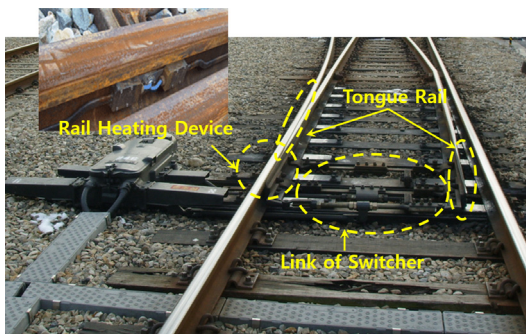


Fig. 1. Conventional track branches



Fig. 2. Concrete embedded rack track



Fig. 3. Conventional branches of rack track

또한 선로전환기는 겨울철 결빙에 의해 작동이 멈추는 사례가 많이 발생하여 히팅장치가 부착되어 있다. 기존의 히팅장치는 Fig. 1.과 같이 열선을 레일에 붙이고 전기를 흘려주어 저항 발열을 시켜서 결빙을 녹이는 방식이다 [2]. 그런데 이 방식은 발열 용량이 작고, 온도 상승 속도가 느리다는 제한이 있다. Fig. 4.와 같이 폭설과 결빙이 심한 산악철도의 궤도에서 두터운 결빙을 신속히 제거하고 선로전환기를 원활히 작동시키기 위해 기존 히팅장치는 적용하기가 곤란하다.

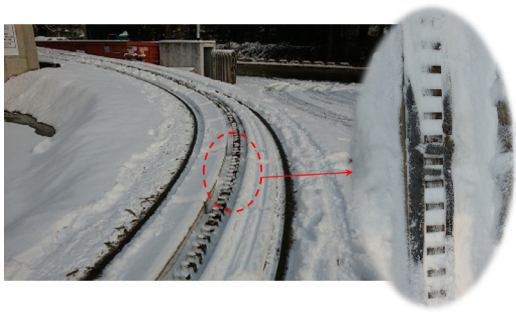


Fig. 4. Embedded concrete rack track covered with snow

본 연구에서는 Fig. 2.와 같이 친환경 산악철도에 적용되는 매립형 콘크리트 톱니궤도에서[3] 노선 분기를 위해 사용할 수 있는 선로전환기와 히팅장치를 개발하였다. 매립형 콘크리트 톱니궤도는 기존 산악지역 급곡선, 급경사 도로 상에서 전기열차가 운행할 수 있도록 사전 제작되는 궤도 패널이다. 중앙의 톱니궤도와 레일이 매립되어 있어서 산악지역 도로에서 신속하게 선로를 부설할 수 있고, 유지보수가 간편하다는 장점이 있다. 콘크리트 톱니궤도의 선로전환과 히팅을 위해 기존 텅레일 방식을 적용할 수 없어서, 궤도 블록을 이동하는 새로운 개념의 선로 전환 방식을 제안하였다. 또한, 동절기 폭설 시에 형성된 산악 궤도의 두터운 결빙 부분을 신속히 제거하기 위해 급속 가열이 가능한 유도가열 히팅장치를 개발하였다. 새로운 개념에 설계된 노반 이동 선로전환 장치와 히팅장치의 시작품을 제작하고, 시험 평가를 실시하여 성능을 검증하였다.

2. 노반 이동형 선로전환 기술

2.1 선로전환 기존 기술 분석 및 비교

급경사, 급곡선 산악도로에 건설되는 친환경 산악철도는 자동차와 함께 운행하므로, 타이어가 지나갈 수 있도록 레일은 궤도에 돌출될 없이 매립된다. 사전 제작형 콘크리트 패널을 이용하여 산악철도 시험선을 시공한 사례는 Fig. 2.와 같다[3]. 레일은 궤도에 매립되어 탄성충진재로 고정되고, 톱니레일은 콘크리트 패널 중앙의 홈 내에 브래킷을 이용하여 고정된다. 매립형 콘크리트 궤도의 분기부에서 기존 텅레일 방식으로 선로를 전환하려면 서론에서 언급하였듯이 텅레일과 가동 링크의 공간 확보가 어렵다. 그뿐만 아니라, Fig. 5.에서 보여지는 바와 같이

선로전환에 필수적인 톱니레일의 가동이 콘크리트 블록에 막혀서, 구현될 수가 없다. 톱니레일을 가동시키기 위해 콘크리트 블록 일부를 제거할 수 있으나, 이렇게 되면 노면에 빈 공간이 많이 생겨 자동차의 타이어가 지나가기가 곤란하게 되므로, 도로 겸용의 목적을 구현할 수 없게 된다. 이런 문제점을 해결하기 위해 기존 방식과는 근본적으로 다른, 노반 이동형 선로 전환 기술을 개발하게 되었다. 노반 이동형 선로 전환 기술은 레일이 이동하는 것이 아니라 Fig. 6.과 같이 궤도 블록 전체가 이동하게 되므로 레일의 가동에 따른 간섭 문제를 해소할 수 있다.

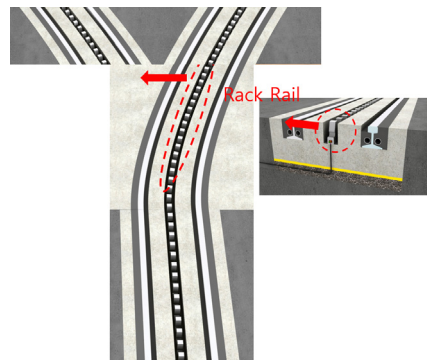


Fig. 5. Interruption to movement of rack rail in embedded concrete rack track

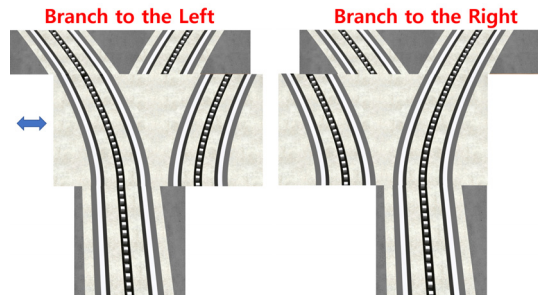


Fig. 6. Switching process of embedded concrete rack track

2.2 레일 히팅 관련 기존 기술 분석

기존 선로전환기는 동절기 결빙시에 텅레일의 가동이 이상을 일으키는 경우가 많기 때문에 이를 방지하기 위해 히팅장치를 포함하고 있다. 히팅장치는 Fig. 1. 및 Fig. 7.과 같이 레일에 열선을 붙이고 전기를 흘려서 저항 발열이 발생하면, 열이 레일로 전달(열선→레일→결빙)되어 결빙을 해동한다[2]. 그러나 Fig. 4.에서 보여지는 바와 같이 매립형 톱니 궤도의 중앙부 홈에 결빙이 가

득할 때에는 저항발열로 인한 신속한 결빙 제거는 한계가 있어 차량의 운행이 차질을 빚게 된다. 이런 문제를 해결하기 위해 Fig. 8.과 같이 고주파 유도가열을 이용하여 열의 집중도를 높여 신속히 결빙을 제거할 수 있는 히팅장치를 개발하게 되었다.

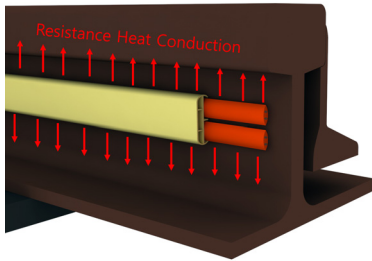


Fig. 7. Conventional heating device for tongue rail

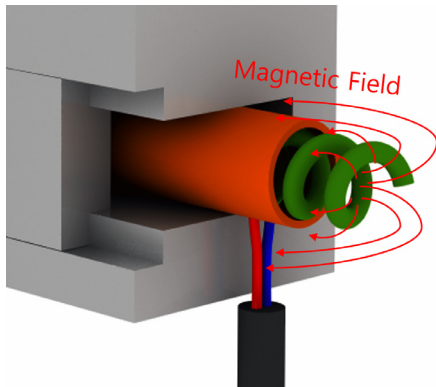


Fig. 8. Magnetic field in high frequency induction heating device for rack rail

2.3 선로전환 블록

본 연구에서 개발한 노반 이동형 선로전환 기술은 Fig. 9.와 같이 구성되어 있고, 개념도는 Fig. 10.과 같다. 노반 위에서 이동이 가능한 선로전환 블록은 유압 액츄에이터에 의해 가동되어서 선로를 분기시켜주는 역할을 담당한다. 선로전환 블록은 매립 레일과 톱니 레일, 콘크리트 궤도가 일체가 되어 있다.

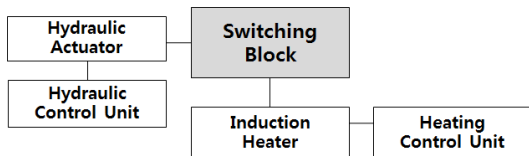


Fig. 9. Block diagram of developed switching technology

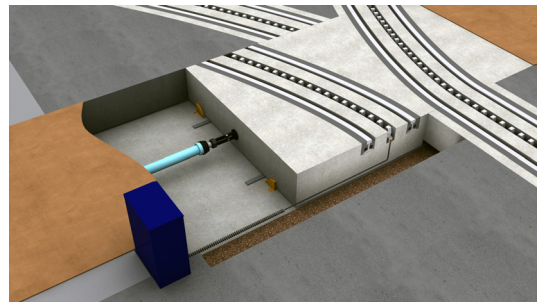


Fig. 10. Concept of switching technology for embedded concrete rack track

개발 선로전환 기술은 전기모터를 이용하여 텀레일을 미소 변위만 이동시키는 기존 기술과는 달리 유압액츄에이터를 이용하여 대변위를 이동시키는 방식이다. 기존 텀레일에서 쇄정(locking) 기술은 Fig. 11.와 같이 유압을 이용하여 강제로 밀착시키는 방식이었으나, 본 개발 기술에서는 Fig. 12.와 같이 노반 블록을 모터로 구동되는 부채꼴 회전판을 이용하여 쇄정시키는 방식이다. 쇄정이 필요할 때 홈 속에 있는 회전판이 올라와서 회전하면서 블록을 고정시키게 된다. 기존 기술과의 차이점을 정리해 보면 Table 1.과 같다.

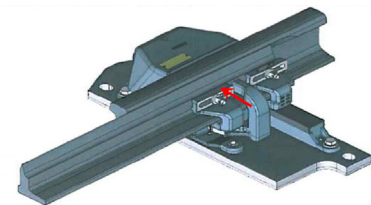


Fig. 11. Locking in conventional switching device

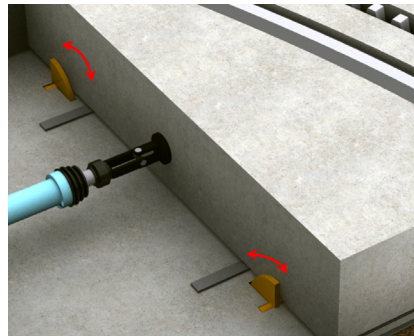


Fig. 12. Locking in switching device for embedded concrete rack track

Table 1. Comparison with conventional switching technology

Item	This technology	Conventional technology
Track	Concrete embedded rack rail	Ballast rail
Switching process	Track block transfer	Point tongue rail+Crossing
Moving source	Hydraulic actuator	Electric motor
Switching Capacity	28.8kN	3.9kN
Locking	Half-disk rotation	Close adherence
Moving displacement	1,500mm	30mm

2.4 유도가열 히팅장치

기존 열선 방식의 발열 한계로 신속한 레일 주위 결빙 제거가 불가하므로, 급속 발열이 가능한 유도가열 방법을 적용한 톱니 궤도 히팅장치를 개발하였다. 코일이 삽입된 히팅파이프가 Fig. 13.과 같이 톱니 레일에 삽입되고, 삽입된 코일의 유도 작용으로 열이 발생하게 된다.



Fig. 13. Induction heating pipe in embedded concrete rack track

Fig. 8.과 같이 코일 주위에 형성된 자장은 유도전기를 일으키고, 유도된 전기의 가열 작용에 의해 급속히 히팅 파이프가 집중 발열하면서 톱니 레일의 온도를 신속히 상승시켜 주변의 결빙을 제거한다. 히팅장치는 결빙에 의해 가동이 원활하지 않은 선로전환기 블록을 해동하여 작동할 수 있는 상태로 만들어 준다. 히팅 파이프 내의 코일에 흐르는 유도전류는 제어기를 통해 제어된다. 제어기는 출력반과 냉각장치가 일체화된 인버터로 구성되어 있고 자동 및 수동 냉각이 가능하며 냉각수 온도 및 압력도 제어된다. 기존 기술은 열선에 단순히 전류를 흘려서 발열하는 방식이므로 정전력 컨버터만으로 제어된다[5]. 기존 기술과 비교한 결과는 Table 2.와 같다. 기존 기술에서는 발열 자체가 한계가 있으므로 레일의 온도 상승이 완만하고 레일과 궤도 사이의 단단한 결빙을 녹이는

데에 많은 시간이 소요하게 된다. 해빙이 지연되어 선로 전환기의 동작이 원활하지 못하면 차량의 운행 스케줄이 지연되는 사태까지 발생하게 된다.

Table 2. Comparison with conventional heating system

Item	This technology	Conventional technology
Heating source	High frequency induction heating	Resistance heating
Heating material	Copper wire coil	Nickel-crome alloy wire
Location of heater	Inserted in rail	Attached to rail side
Power control	Inverter with cooling device united to power supply	Constant power converter
Temperature increase for ice removing	Rapid	Slow

3. 선로전환기 제작 및 시험

3.1 선로전환기 제작

개발 기술을 구현할 수 있는 선로전환기를 설계하고 시작품을 제작하였다. 시작품은 실제 단선에서 분기되는 과정과 히팅 효과를 확인하기 위해 선로와 선로전환블록, 히팅장치를 모두 포함하고 있다. 시작품의 평면도는 Fig. 14.와 같다. Fig. 10.의 개념에 따라 분기되는 선로와 선로전환블록을 Fig. 14.과 같이 설계하였고, 선로전환블록을 이동시키는 유압액츄에이터도 설계하였다.

선로전환블록을 가동을 막는 분기 구간의 결빙을 신속히 제거하기 위해 Fig. 13과 같이 분기부 톱니레일에 유도가열 히터가 삽입되어 있다.

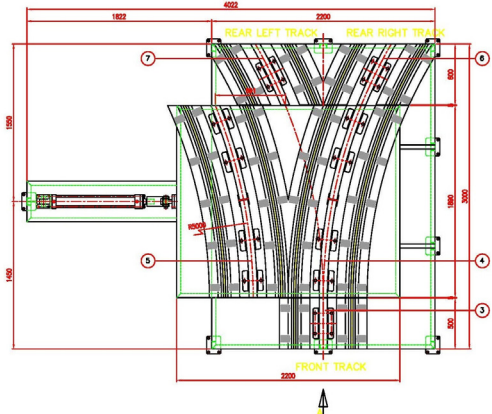


Fig. 14. Plan view of prototype switching device for embedded rack track

제작 완료된 선로전환기 시작품은 Fig. 15.와 같다. 실제 크기와 동일한 선로전환기는 Fig. 16.과 같이 유압 액츄에이터에 의해 구동되어 분기부에서 양쪽 선로를 신호에 따라 연결해준다. 톱니 레일에 삽입된 유도가열 히터는 순식간에 레일 온도를 상승시켜 주변의 결빙을 제거하게 된다.



Fig. 15. Prototype switching device with induction heating pipe in test



Fig. 16. Hydraulic actuator in operation

선로전환기의 성능을 검증하기 위해 시험을 실시하였다. 시험 항목과 결과는 다음의 Table 3.과 같다.

Table 3.을 보면 알 수 있듯이 선로전환기의 상태와 작동은 원활하였고, 히팅장치의 상태와 작동도 양호하였다. 온도는 분당 15℃/min 이상 상승되어 히팅효율이 양호함을 확인하였고, 설정된 온도인 80℃에 도달하여 두터운 결빙을 신속히 제거할 수 있음을 알 수 있었다. Fig. 17.은 본 연구에서 개발한 유도가열 히팅장치에 열전쌍(thermocouple)을 붙이고, 시간에 따라 온도 변화를 측정하는 결과를 보여준다. 시간에 따라 온도가 급격히 상승하고 있음을 보여준다. 저항발열에 의한 히팅장치의 온도 변화와 비교해보면 고주파유도가열에 의한 히팅장치가 10배 이상의 히팅효율이 있음을 알 수 있다. 본 개발 히팅장치는 자기장에 의해 형성된 유도전기가 레일 자체를 발열시키기 때문에 열의 집중도와 효율이 높아서 온도가 급격히 상승하게 된다. 그러나 기존의 열선 히팅장치는

열선이 발열하고 이 열이 레일에 전도되어 레일의 온도를 상승시킨다. 열선의 발열과 전도 과정에서 효율이 떨어지기 때문에 레일의 온도 상승은 늦어지게 된다. 10℃를 올리기 위해 5분이 걸리는 것으로 나타나는데, 레일 결빙을 제거하기 위해 필요한 80℃까지는 80분이나 소요된다. 이 결과에 따르면, 운행 시작과 함께 결빙이 제거되어야 하는 산악철도의 특성상, 80분의 지체는 허용할 수 없으므로, 기존 히팅장치는 산악철도에 적용이 불가하게 된다.

Table 3. Performance test of switching device

Test type	Inspection item	Approving criteria	Test Result	Decision
Operation	Switching function	No abnormal function	Good	Pass
	Installation of heating coil	Easy installation of heating induction coil in rack	Good	Pass
	Location of temperature sensor	Thermocouples being located in the center of rack with heating coil	Good	Pass
Performance	Heating efficiency	Temperature of rack over 45℃ within 3 min. (Over 15℃/min.)	Good	Pass
		No abnormal operation of switching during heating	Good	Pass
	Keeping temperature	Attaining the target temperature (80℃)	Good	Pass
		Temperature decreasing less than 5℃ at the preset temperature	Good	Pass
	Condition of device	No damage or deformation in rack with heating coil and fastening device	Good	Pass
Keeping good condition of inserted heating coil		Good	Pass	

Fig. 18.는 적외선 카메라를 이용하여 유도가열 히터에 의해 가열되는 시편의 표면 온도를 측정하는 결과이다. 3분 이내에 시편의 온도가 80℃까지 급속히 상승하였음을 재차 확인할 수 있었다. 시작품의 성능에 대해서는 공인기관의 인증을 받았다[6]. 산악철도와 관련된 궤도운송법 하위의 기술기준[7]에 따르면, 산악 궤도의 선로전환기와 히팅장치의 양식에 대해서는 특별한 요구기준이 없다. 따라서 공인기관의 인증서에 기초하여 극한 온도(-40℃)까지 하강하는 산악지역의 결빙 궤도에서 유도가열 히팅장치를 효과적으로 활용할 수 있다.

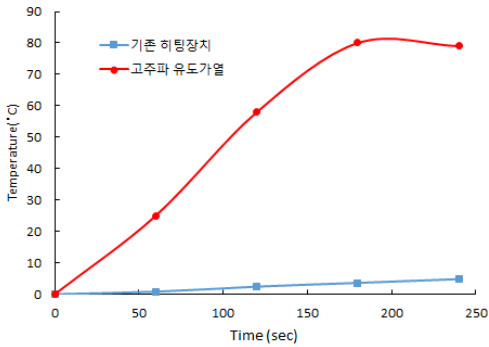


Fig. 17. Temperature increase of test specimens by heaters

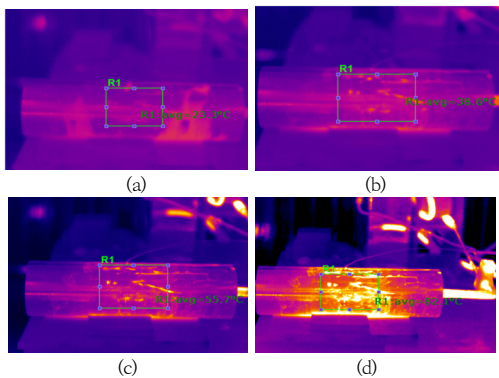


Fig. 18. Measuring temperatures by infrared camera for specimen heated by induction heaters (a) Start (b) After 1min. (c) After 2min. (d) After 3min.



Fig. 19. Steep and sharp mountain road



Fig. 20. Closing mountain roads in winter season

3.2 선로전환기의 활용

산악관광지에 발달된 도로는 Fig. 19.과 같이 급경사와 급곡선을 이루는 곳이 많다. 겨울철 폭설로 인해 빙판길이 되므로 해당 지자체에서는 안전 문제로 Fig. 20.과 같이 산악도로를 폐쇄한다. 그러나, 산악트램은 폭설로 결빙되는 급경사, 급곡선 산악도로를 주행할 수 있다. 산악트램이 톱니궤도를 이용하여 결빙 구간을 주행할 수 있다 하더라도, 분기부를 원활하게 통과하지 못한다면, 산악트램이 산악도로에서 운행하는 것은 불가능하게 된다. 본 연구에서 개발한 선로전환기는 산악도로의 매립형 콘크리트 궤도에 적용하여 효과적으로 활용될 수 있다. 단단한 얼음으로 선로전환이 곤란한 분기부에서 먼저 톱니 레일을 신속히 가열하면 레일 주변의 얼음이 녹게 된다. 이에 따라 톱니 레일과 선로전환 블록의 이동이 자유롭게 되고 유압액츄에이터를 이용하여 선로전환을 구현하게 된다.

4. 결론

산악지역 도로 상에서 운행하는 산악철도의 단선 구간 분기를 위해 선로전환기와 히팅장치를 개발하였다. 매립형 콘크리트 톱니궤도를 적용하는 산악철도에서 기존 선로전환기와 히팅장치를 적용하는 것은 불가능하므로, 노반 블록 이동형 선로전환 기술과 유도가열 히팅기술을 개발하고 성능을 검증하였다. 기술 개발 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 블록 이동형 선로전환기는 대변위 구동을 위해 유압 액츄에이터를 적용하였고, 성능시험을 통해 적용 가능성을 확인하였다.
- (2) 노반 블록을 고정할 수 있도록 부채꼴 원판의 회전을 이용한 간편한 쇄정장치를 개발하여 하였다.
- (3) 유도가열법을 적용한 톱니레일의 히팅기술을 개발하여 기존 방식에 비해 10배 이상 빠른 속도로 결빙의 제거가 가능해졌다.
- (4) 신속한 결빙 제거는 동절기 산악트램의 운행 안전

성 및 효율을 높여 산악철도 도입 확대에 기여할 수 있다.

References

- [1] MOLIT, MJ81 type point machine, Korean Railway Standards, KRS SG 0027-17R, Korea, pp. 1-8, 2006.
- [2] KR, Heating system for switch, Standards of Korea Rail Network Authority, KRSA-1011-R0, Korea, pp. 1-20, 2016.
- [3] S. I. Seo, H. S. Mun, "Development of technologies for mountain trams driven through sharp curves", *Journal of Mechanical Science and Technology*, Vol. 33, No.5, pp. 2019-2027, May 2019.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12206-019-0404-0>
- [4] J. S. Lee, S. I. Seo, Technology survey of oversea railway operation and maintenance, Report of oversea business trip, Trip2016426, Korea Railroad Research Institute, Korea, pp.11-13, 2016.
- [5] I. H. Min, B. Kim, K. W. Chung, S. C. Roh, "Development of a constant power AC/DC converter for point heat equipments", *Proceedings of Fall 2013 Conference of Korean Society for Railway*, KSR2013A189, pp. 753-759, 2013.
- [6] Y. S. Kim, Rack heating device of mountain railway, Certificate of Test, TIC 250 18100101, TÜV Rheinland, Korea, pp. 1-2, 2018.
- [7] MOLIT, Regulations for facilities in construction of track infrastructure, No. 2013-415, Ministry of land and Transport, Korea, pp. 35-36, 2013.

서 승 일(Sung-il Seo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 대학원
조선공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 대학원
조선해양공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 2002년 3월 : 한진
중공업 수석연구원

- 2002년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원
- 2004년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원 교통시스템공학 전임교원

〈관심분야〉

철도시스템, 용접구조역학