

무가선 산악트램 급전을 위한 지상 집중식 급전장치 개발

서승일
한국철도기술연구원

Development of Local Ground Pantograph for Power Supply to Wireless Mountain Trams

Sung-il Seo
Korea Railroad Research Institute

요약 국내 산악 지역 자연공원에서는 자연 환경과 주변 조망을 보존하기 위해 전차선의 설치가 불가하다. 따라서 산악 트램은 무가선으로 운행되어야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 차량의 추진 배터리에 전기를 공급할 수 있는 지상 집중식 급전장치를 개발하고 동작 및 기능 시험을 실시하여 성능을 검증하였다. 개발한 지상 집중식 급전장치는 검수고 또는 정거장의 한 지점에 고정 설치되어 있으며, 차량의 대차가 진입하여 정차하면 스프링 장력으로 암과 집전 슈를 올려 대차 하부에 있는 차량측 집전 바와 접촉하고, 전기를 흘려 배터리에 전력을 공급한다. 지상 집중식이므로 차량 지붕 위의 집전장치와 전차선이 필요 없게 되고, 산악트램은 무가선 상태로 운행할 수 있다. 정거장이나 검수고에서 움직이지 않고 정지한 상태에서 집전하므로, 이선이나 아크 발생이 없다. 집전 슈의 마모나 손상을 초래할 수 있는 가동 접촉면이 사라지게 되므로 집전장치 수명이 연장되는 장점이 있다. 시험 결과에 따르면, 절연저항은 기준치인 10M Ω 이상이었고, 전류 335A를 1시간 동안 일정하게 공급하여도 이상 발열이 없음을 확인하였다.

Abstract In domestic mountain resort areas, a catenary system cannot be installed for the protection of the natural environment and view. Therefore, mountain trams must be operated wireless. In this study, a local ground pantograph, which supplies electricity to the battery on board, was developed for this purpose, and its performance was verified by tests. The system is installed on ground at stops or repair shops. While a bogie goes to the pantograph, the arms and collection shoes are raised by a spring force to make contact with the collection bar under the bogie so electric power can be supplied to the battery. Because it is a local ground type, it does not require a roof pantograph and catenary system. The system enables the mountain tram to run wireless. In addition, there is no separation and arc because it collects current while standing at stops or shops. The system has a long life because moving contact, which generates wear and damage to shoes, is avoided. The insulation resistance was above the criteria of 10 M Ω , and there was no abnormal temperature increase when a current of 335A was supplied for one hour.

Keywords : Environmental Friendly, Local Ground Pantograph, Mountain Tram, Power Supply, Wireless Current Collection

본 논문은 한국철도기술연구원 연구과제로 수행되었음.

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

email: siseo@krrri.re.kr

Received January 20, 2020

Revised February 17, 2020

Accepted April 3, 2020

Published April 30, 2020

1. 서론

산악지역의 급곡선·급경사 도로 위를 운행하는 산악트램은 환경훼손 없이 궤도를 건설할 수 있고, 전기에너지로 운행할 수 있기 때문에 친환경적인 교통수단으로 인정되고 있다[1]. Fig. 1의 산악트램은 관광객에게 이동 편의성을 제공할 뿐만 아니라, 겨울철 폭설과 결빙으로 도로교통이 두절되는 지역주민들에게 교통기본권을 제공할 수 있다[2]. 국내 산악관광지는 대부분 자연보전지구로 지정되어 있으므로, 자연 환경과 조망을 보존하기 위해 전차선의 설치가 불가하다. 따라서 산악트램은 무가선으로 운행되어야 한다.

스위스 융프라우와 독일의 축스피체 등 해외 유명관광지에서 운행하는 산악철도는 가공전차선을 이용하여 전력을 공급받아 운행하는 전기철도이다[3]. 그러나 환경성이 강조되는 국내 실정상, 기존 산악철도의 전력 공급 방식은 적합하지 않는다.

본 연구에서는 무가선 산악트램이 운행하기 위해, 지상에서 차량의 추진 배터리에 전기를 공급할 수 있는 지상 집중식 급전장치를 개발하였다. 급전장치 시제품을 제작한 후에 동작 및 기능 시험을 실시하여 양호한 성능을 확인하였다. 검수고 또는 정거장의 한 지점에 고정 설치되고, 차량이 정차한 상태에서 급전하므로 이선과 아크가 없어 집전장치 수명이 연장되는 효과가 있다.



Fig. 1. Mountain tram on roads

2. 지상 집중식 급전장치의 개발

2.1 기존 집전장치에 대한 분석

기존 전기철도의 집전장치는 Fig. 2(a)와 같이 차량 지붕에 위치하여 집전판을 압상하고 전차선과 접촉하여 전력을 공급받는 형태를 띠고 있다[4]. 무가선 트램도 배터리에 충전하기 위해 Fig. 2(b)와 같이 정차한 상태에서

지붕위의 집전장치를 이용하여 급전판과 접촉하여 전력을 공급 받는다[5]. 그러나 산악철도에서 전차선을 설치하는 것은 불가하기 때문에 지붕 집전장치를 적용할 수 없다. 또다른 방법으로 무선급전 방법을 고려할 수 있으나, 무선급전 방법은 집전효율 저하, 픽업장치를 대차 하부에 설치하기 위한 공간 확보 애로, 급전 설비 구축을 위한 과도한 비용 소요 등의 문제가 내재해 있다[6]. 제3궤조 방식의 전력공급 방법도 고려할 수 있으나, 차량과 사람이 지나가는 일반 도로상에 급전선을 설치하는 것은 안전상 불가하다[7].

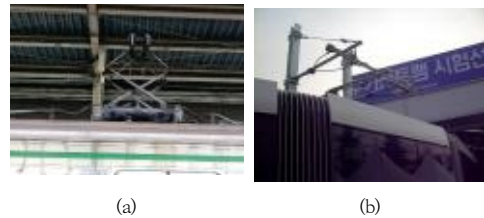


Fig. 2. Conventional aerial pantograph
(a) Pantograph of electric multiple unit
(b) Pantograph of tram

2.2 지상 집중식 급전장치의 개요

산악철도를 무가선으로 운영하기 위해서는 새로운 방식의 급전장치가 필요하다. 개발되고 있는 산악트램이 대용량 배터리를 이용하여 추진하는 방식을 적용하고 있으므로[1] 배터리에 신속하게 전력을 공급할 수 있는 급전장치가 되어야 한다. 산악지역의 환경과 조망을 보호하여야 한다는 전제 조건이 있으므로 공중에 급전장치를 설치하는 것도 곤란하다. 따라서 급전장치는 땅속에 있으면서, 급전 과정을 신속하게 처리할 수 있고, 안전해야 한다. 이러한 요구조건을 충족하기 위해 지상 집중식 급전장치를 개발하였다. 땅속에 효율적으로 매설하기 위해 소형 구조로 설계하였고, 고습도 환경에서 견딜 수 있도록 내부식성이 강한 알루미늄합금 재질을 활용하였다. 신속한 급전을 위해 대차가 진행하면서 별도의 수동 작업 없이 바로 급전할 수 있도록 슬라이딩 접촉 방식을 적용하였다. 지면에서 감전 등의 사고를 방지하기 위해 집전판에 덮개를 설치하여 대차가 진입하여 급전 중에만 개폐가 되도록 상호 안전장치를 적용하였다. 지상 급전장치는 개념은 다르지만, 형태는 경전철 제3궤조 급전장치와 유사하다. 따라서, 설계를 위해 고무바퀴형 한국형 경전철 급전장치를 참고로 하였다[8]. Fig. 3은 요구조건과 설계 개념을 반영하여 개발한 지상 집중식 급전장치의 도면이다.

2.3 급전장치의 구조

개발 급전장치는 Fig. 4와 같이 지상에 설치되어 있고 차량에는 단순한 집전 바(collector bar)만 있어서 차량이 이동하여 집전장치와 접촉하게 된다. 암(arm)과 상부 집전 슈는 주스프링(main spring) 장력으로 지지되어 압상력을 형성한다. 집전 바는 대차 하부에 붙어 있으며, 집전장치의 압상력으로 접촉을 유지한다. 집전 슈와 접촉하면서 차량은 정지한다. 집전 슈와 집전 바의 접촉 동작 시 좌우 유동을 주어 각 관절부에서 발생할 수 있는 충격 최소화하였다. 집전 ON/OFF 스위치를 설치하고 상부 개폐식 절연판을 설치하여 감전 등의 위험을 차단할 수 있게 하였다. 급전장치는 배터리 충전을 위해 시종착 검수고에 설치되며, 운행 도중 배터리 방전을 보충하기 위해 정거장에 설치되어 비상시 활용할 수 있다.

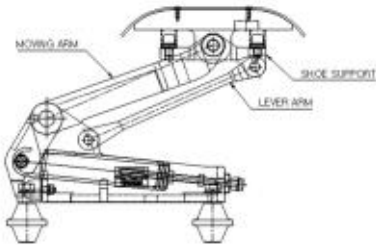


Fig. 3. Local ground pantograph

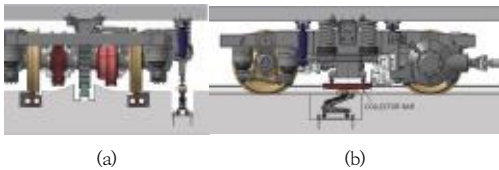


Fig. 4. Current collection of local ground pantograph
(a) Front view (b) Side view

2.4 급전장치의 재질

본체의 구성 재질은 기본적으로 경량 알루미늄합금재(A6061)이며, 집전 슈는 전도성과 내마모성이 양호한 재질 황동합금(C3602-P)을 활용하였다. 기초판(mounting base)과 가동 암(moving arm), 레버 암(lever arm)의 관절 부위는 합성 수지계 부싱(bushing)을 적용하여 동작 저항을 최소화하였다. 집전 슈와 집전 받침대(collector shoe support) 사이에 완충고무(cushion rubber)를 삽입하여 집전 슈와 집전 바 사이 접촉 시 발생하는 충격 및 진동을 최소화하였다.

2.5 급전장치의 동작 기구

대차가 급전장치에 다가오면 먼저 집전슈와 접촉하고 집전슈는 하부 지지구조(shoe support)와 링크의 동작에 의해 부드럽게 회전하면서 집전바와 접촉한다. 집전바와 접촉하면서 급전장치의 이동암(moving arm)은 아래쪽으로 움직이면서 회전하고, 연결된 코일스프링을 인장하게 된다. 압상력은 인장된 스프링의 장력에 의해 유발된다. 급전장치의 동작 기구(mechanism)를 그림으로 표시하면 다음 Fig. 5와 같다. 레버암(lever arm)은 집전바와 충분히 접촉할 수 있도록 집전슈의 위치를 집전바와 평행하게 유지시켜 준다.

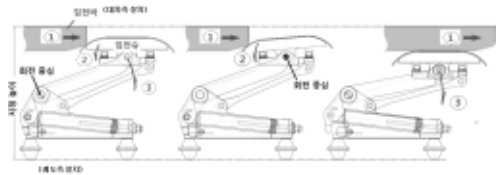


Fig. 5. Moving mechanism of local ground pantograph

2.6 급전장치의 강도 검토

급전장치와 집전바가 접촉하면서 발생하는 압상력은 하부 스프링에 의해 발생한다. Fig. 6과 같이 압상력이 주어졌을 때, 회전중심(center of rotation) 주위의 평형 상태를 고려하여 스프링 인장력을 구하면 다음 식(1)과 같다.

$$F_s = \frac{l_d}{l_s} F_d \quad (1)$$

Where, F_s denotes spring force, F_d denotes upward force including dynamic effect, l_d denotes arm to F_d , l_s denotes arm to F_s .

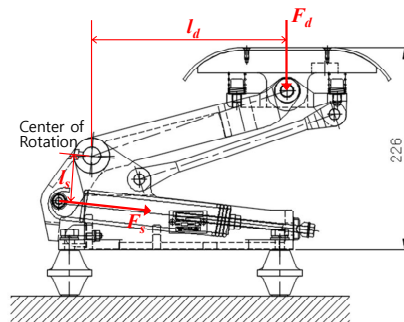


Fig. 6. Forces acting on moving arm

가동 압에 작용하는 최대 굽힘모멘트와 굽힘응력은 보 이론에 따라 다음 식(2)와 같이 계산된다.

$$\sigma_b = \frac{M_b}{Z_b} = \frac{F_s l_s}{Z_b} \quad (2)$$

Where, σ_b denotes bending stress, M_b denotes bending moment, Z_b denotes section modulus of moving arm.

전단응력은 다음 식(3)과 같이 계산된다.

$$\tau_s = \frac{F_s}{A_s} \quad (3)$$

Where, τ_s denotes shear stress, A_s denotes shear area.

압상력 요구값은 117N(± 15 N)은 기존 경전철 급전장치에서 적용되는 적정 접촉력 범위를 참고로 결정되었다 [8]. 요구값에서 동하중 계수 1.5를 고려하면 동적 압상력(dynamic upward force) $F_d = 176$ N 이 된다. Fig. 6의 세부 도면과 동적 압상력을 이용하여 스프링 하중 (spring force)을 계산하면, $F_s = 748$ N 이 된다. 세부 도면에 따라 계산된 단면 특성값($Z_b = 9.254$ mm³, $A_s = 512$ mm², $l_s = 54$ mm)을 식(2)와 식(3)에 대입하여 응력을 계산하면, $\sigma_s = 4.4$ N/mm², $\tau_s = 1.5$ N/mm² 이 된다. 굽힘응력과 전단응력은 각각 이동암 재료(A6061-T6)의 허용응력(210N/mm²)과 허용전단응력(120N/mm²) 이 하가 되어 강도적으로도 안전함을 확인할 수 있다.

인장 스프링과 연결된 핀의 전단응력도 다음 식(4)와 같이 계산된다.

$$\tau_{sp} = \frac{F_s}{2A_{sp}} \quad (4)$$

Where, τ_{sp} denotes shear stress of pin, A_{sp} denotes shear area of pin

세부 도면에 따라 계산된 핀의 전단면적(shear area) $A_{sp} = 37.7$ mm²를 식(4)에 대입하면, $\tau_{sp} = 10.2$ N/mm² 이 된다. 핀 재료(STS304)의 허용전단응력 (120N/mm²) 이 하가 되어 강도적으로도 안전함을 확인할 수 있다.

급전장치의 구조는 정적 구조 안전성 측면뿐 만 아니라, 공진 및 진동 내구성 측면도 고려되어 설계되었으므로 작용응력이 허용응력보다 상당히 작게 나타났다.

2.7 급전장치의 특징

지상 집중식 급전장치는 기존 전차선 추종 방식의 차상 집전장치와는 달리 지상 고정 팬터그래프에 의해 집전하는 신개념의 급전 기술이다. 스프링 장력으로 압상하는 급전장치는 대차가 접근하여 정차하면 대차 하부의 집전바와 접촉하여 전기를 차량으로 공급한다. 지상 급전 장치의 주요 사양은 다음의 Table 1에 정리되어 있다. 급전장치의 압상력(upward force)은 접촉력(contact force)이 되는데, 그 기준은 기존 경전철 집전성능 시뮬레이션 결과에 기초하여, 급전장치와 집전바 사이에서 이선이 발생하지 않을, 적정 접촉력 제한값을 이용하여 결정하였다[8].

Table 1. Specification of ground pantograph

| Item | Specification |
|--|--|
| Collecting Displacement | 33mm |
| Rising force | Tension of spring connected to end plate |
| Maximum rising height of collecting shoe | 246.5 \pm 3mm |
| Embedded depth of collecting shoe | 180mm below rail top |
| Supplying power | DC 750 V (DC 500V~900V) |
| Load current | 1C, 670A (1 hour continuous) |
| Contact force | 117 \pm 15N |

본 연구에서 개발한 지상 집중식 급전장치를 기존 차상 급전장치와 비교해 보면 Table 2와 같다.

Table 2. Differences of ground pantograph from conventional pantograph

| Function | Ground Pantograph | Overhead Pantograph |
|------------------------|-------------------------|---------------------------------------|
| Current Path | Concentrated collection | Continuous collection |
| On board component | Collection bar | Pantograph |
| Location | Ground | Roof of carbody |
| Infra-structure | Wireless | Catenary |
| Source of Upward Force | Spring force (120N) | Compressed air and spring force (60N) |
| Structure | Simple | Complicated |
| Weight | 6.5kg | 120kg |
| Separation | No | Yes |
| Collection efficiency | 100% | 98% |

기존 기술은 차량 지붕 위에 설치된 집전장치를 통해 가공 전차선으로부터 연속적으로 급전 받는 방식임에 비하여, 본 연구에서 개발한 지상 급전 기술은 산악트램과 연계하여 세계 최초로 검수고 또는 정거장에 설치된 그라운드 팬터그래프를 통해 집중적으로 급전 받는 방식이다. 기존 기술에 비해 집전장치의 구조가 단순화되고, 대폭 경량화되어 있어 급전 시설이 슬림화 된다. 차량에는 집전바만 설치하면 되므로 대차구조가 단순화될 수 있고, 차량 제작 및 유지보수비 절감에 기여할 수 있다. 기존 기술에서는 전차선이 반드시 존재해야 하나, 지상 급전장치는 전차선이 제거될 수 있어 인프라 건설비가 절감되고, 시설 유지보수비도 대폭 감소된다. 기존 기술은 집전장치 이동으로 이선과 아크가 빈번하게 발생하고 집전 효율이 떨어지나, 지상 급전장치를 적용하게 되면 정지 상태에서 이선발생 없이 집전할 수 있어 아크가 발생하지 않고 집전 효율도 향상된다.

3. 급전장치의 성능시험 및 평가

3.1 급전장치의 동작 및 성능시험

Table 1의 사양을 만족하도록 설계된 지상 집중식 급전장치에 대해 Fig. 7과 같이 시작품을 제작하고, 성능시험을 수행하여 결과를 기준에 따라 평가하였다.



Fig. 7. Prototype of ground pantograph

성능 평가를 위해 기본적인 동작과 관련한 시험과, 집전 도중 이상 여부를 확인할 수 있는 시험을 수행하였다. Fig. 8은 각 시험을 수행하는 장면이다. Table 3은 급전장치의 동작에 대한 성능시험 절차와 결과를 정리한 것이고, Table 4는 급전 과정에서 과도한 발열에 의한 성능 이상이 발생하는지 확인하기 위해 수행한 시험 결과이다.



Fig. 8. Operation and performance tests

Table 3의 시험결과를 보면, 시작품의 기본적인 동작 상태는 양호한 것을 확인할 수 있다. 육안으로 외관을 검사하여 각 부품의 균열, 흠 또는 이물질 부착 등의 유해한 결함이 없는지를 확인하였다. 급전장치 조립 상태에서의 외형 치수 및 취부 치수를 측정하고, 최대 상승 상태의 높이를 측정하여 제작 도면의 제시 기준에 적합한지를 확인하였다. 또한 급전장치 조립체의 중량을 측정하여 설계 중량($6\text{kg} \pm 1\text{kg}$)에 부합되는 지를 확인하였다.

급전장치의 집전슈 판(shoe plate)과 절연애자 간에 1,000V 메가 테스터기를 사용하여 절연저항을 측정하고, 그 측정치가 $10\text{M}\Omega$ 이상으로 나타나 양호함을 확인하였다. 내전압 성능 확인을 위해 급전장치의 슈판(shoe plate)과 절연애자 간에 내전압시험기를 사용하여 AC 3,000V를 1분간 인가하였다. 이후 절연파괴가 없음을 확인하였고, 1,000V 메가 테스터기를 사용하여 절연저항을 측정하고 그 측정치가 $10\text{M}\Omega$ 이상이 되어 양호한 상태를 확인하였다.

동작 성능시험을 위해 급전장치가 현차 취부 조건과 동일한 상태에서 차량의 만차시의 높이에 위치한 집전바(collector bar)와의 슬라이드 왕복운동을 10회 실시하였다. 이후, 충격에 의한 동작 이상이 없음을 확인하였고, 집전바가 지나간 후에도 원형으로 복귀함을 확인하였다. 집전슈의 동작 시 거리인 226mm에서 접촉력을 측정하여 기준($117 \pm 15\text{N}$) 이내가 됨을 확인하고, 집전 상태가 양호함을 확인하였다.

Table 4의 집전 시험 결과를 보면, 지속적인 전류 공급과 최대 전류 공급 시에도 과도한 온도 상승 없이 원활하게 전류가 흘러, 집전이 양호하게 됨을 확인할 수 있었다. 온도 정격전류의 50%인 335A를 1시간 동안 일정하게 공급하고, 최대전류 804A를 5분 동안 공급하여 온도

를 측정하였는데, 각 위치 마다 제한 온도 이하임을 확인하였다. 지상 급전장치 위에서 대차가 정지하고 있는 상태에서 급전이 이루어지므로, 동적 거동에 의한 이션 등이 발생하지 않아 집전효율은 증가하게 된다.

Table 3. Test results for basic operation

| Inspection Item | Procedure and Criteria | Results | |
|----------------------------|---|-----------------------|----------|
| | | Measured value | Decision |
| Insulation resistance test | <ul style="list-style-type: none"> To test the insulation resistance between the shoe plate of ground pantograph and the insulator using a mega tester of 1,000V Good in case the measured value is over 10MΩ | ∞ | PASS |
| High potential test | <ul style="list-style-type: none"> To confirm no failure of insulation after supplying the electricity of AC3000V to the shoe plate of ground pantograph and the insulator To test the insulation resistance failure using a mega tester of 1,000V Good in case the measured value is over 10MΩ | ∞ | PASS |
| Operation test | <ul style="list-style-type: none"> To confirm no abnormal operation of the ground pantograph due to impact after the collector bar contacts the collection 10 times repeatedly at the level of full load condition To confirm restoration of the original shape of ground pantograph after the collector bar passes | No abnormal operation | PASS |
| Contact force test | <ul style="list-style-type: none"> To test the contact force of shoe plate at the acting height of 226mm from the mounting base Good in case the measured value is within 117 ± 15N | 118 | PASS |

Table 4. Test results for temperature limit

| Inspection Item | Location | Limit | Results | |
|---------------------------------------|--|-------|----------------|----------|
| | | | Measured Value | Decision |
| Testing procedure | <ul style="list-style-type: none"> To supply constantly the electricity 335A, 50% of the rated current for 1 hour To supply the electricity 804A, the maximum current for 5 minute To measure the temperature Good in case the measured temperature is below the limit temperature | | | |
| | Neighboring air | 40℃ | 22.6℃ | PASS |
| | Cable(-) | 150℃ | 27.8℃ | PASS |
| | Copper plate | 200℃ | 31℃ | PASS |
| Measuring Temperature (Heating check) | Shoe plate | 200℃ | 31.9℃ | PASS |
| | Shoe body | 200℃ | 32.5℃ | PASS |
| | Shunt | 200℃ | 42.6℃ | PASS |
| | Cable(+) | 150℃ | 29.5℃ | PASS |

Table 3, 4의 결과는 공인인증기관으로부터 확인하여 증증을 받은 것이다[9].

3.7 급전장치의 가진 및 공진 시험

급전장치는 구조적으로 강도를 확보하였으나, 사용 중 외부 환경에 의한 진동에 의해 공진이 나 기능상에 이상이 발생하지 않아야 한다. KS 규격에 따라[10] 진동대에서 30Hz까지 주파수를 올리면서, 9.8m/s²의 가속도로 3축 방향으로 각각 10분씩 가진하면서 진동시험을 실시하였다. Fig. 9는 진동대 위의 지그에 설치된 급전장치를 수직 방향으로 가진하면서 진동 시험하는 장면이고, Table 5는 시험 결과를 보여준다. 시험 결과에 따르면 KS 규격에서 요구하는 바와 같이 급전장치는 진동 가진 이후에도 외관상 검사에서 나사 풀림이나 균열 등 이상이 나타나지 않았다. 또한 30Hz까지 주파수를 증가하면서 가진하였는데, 요구 조건과 같이 공진이 발생하지 않아 구조적으로 안정되어 있음을 알 수 있었다.

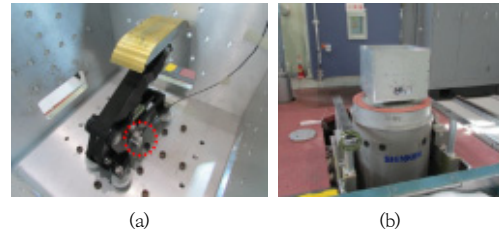


Fig. 9. Resonance and vibration test on the exiting facility
(a) Prototype ground pantograph in vertical direction
(b) Side view

Table 5. Test results for endurance of ground pantograph

| Inspection Item | Results | |
|--|--------------|--------------|
| Visual Inspection of components | Screw loose | Not found |
| | Crack | Not found |
| | Distortion | Not found |
| Vibration resonance test in the frequency range less than 30Hz | Vertical | No resonance |
| | Transverse | No resonance |
| | Longitudinal | No resonance |

3.7 급전장치의 내구성 시험

급전장치는 기능과 동작 성능의 확보뿐만 아니라 철도 부품에 요구되는 기준에 따라 진동 내구성이 확보되어야 한다. 진동 내구성 시험에서는 급전장치 시작품을 진동대 위에 고정시키고, 시험축 방향으로 일정한 주파수로, 일정 시간 동안 반복시킨 후, 시작품의 상태를 확인하여 결

과를 평가하게 된다. 시험 조건은 KS 규격[10]에 따라 Table 6와 같이 설정하였다. Fig. 10은 횡방향과 종방향으로 내구성 시험을 수행하는 장면이다.

Table 6. Endurance test method for ground pantograph

| Direction | Frequency | Acceleration | Duration Time |
|--------------|-----------|----------------------|---------------|
| Vertical | 10Hz | 13.7m/s ² | 4h |
| Transverse | 10Hz | 13.7m/s ² | 2h |
| Longitudinal | 10Hz | 13.7m/s ² | 2h |



Fig. 10. Vibration endurance tests
(a) Transverse (b) Longitudinal

내구성 시험을 수행한 결과는 Table 7과 같다. 지상 급전장치 시제품은 규정된 가속도로 규정된 시간 동안 진동을 받아도 충분한 내구성이 있음을 확인하였다.

Table 7. Test results for endurance of ground pantograph

| Inspection Item | Results | |
|---------------------------------|-------------|-----------|
| Visual Inspection of components | Screw loose | Not found |
| | Crack | Not found |
| | Distortion | Not found |

4. 결론

본 연구에서 개발한 친환경 산악철도의 지상 집중식 급전장치는 기존 가공 전차선 급전 방식에 비해 차량구조가 단순화되어 차량 제작 및 유지보수비용이 절감된다. 전차선 제거로 인프라 건설비 절감 및 시설 유지보수비용도 대폭 감소가 가능한 효과적인 장치이다. 본 연구를 통해 다음의 결론이 얻어졌다.

- (1) 지상 집중식 급전장치는 지상에서 대차 하부 집전바에 접촉하여 전기를 공급하는 장치로서, 공중의 집전 설비나 전차선이 필요로 하지 않아, 산악철도

가 자연 환경 훼손이나 조망을 해치지 않는 데에 기여할 수 있다.

- (2) 지상 집중식 급전장치는 차량 지붕에 설치된 집전장치와는 개념이 다른 급전 시설로서, 공중 연속 급전 방식이 지상 집중 방식으로 혁신되었다. 본 기술은 플러그인(plug-in) 타입의 충전장치를 적용하는 전기자동차 등 타분야에도 적용될 수 있다.
- (3) 개발된 급전장치에 대해서 시험을 실시하여 성능을 입증하였다. 급전장치는 구조적 안전성, 동작 성능, 진동 성능, 내구성 등을 충분히 확보하고 있음을 확인하였고 공인기관의 인증을 받았다. 정지 상태에서 집전판의 압상에 의한 급전으로 이선이 발생하지 않아 집전효율이 향상된다.
- (4) 본 급전장치는 검수고 또는 정거장에 설치되어, 급곡선·급경사 산악 도로에서 운행하는 산악철도의 차량인 트랩에 전력을 공급할 수 있으므로, 동절기 지역주민에게 교통기본권을 제공할 수 있고, 관광객 증가에 따른 지역경제 활성화에도 기여할 수 있다.

References

- [1] S. I. Seo, H. S. Mun, J. H. Moon, M. E. Suk, "Development of Bogie for Running on Steep Gradient and Sharp Curve Track", *Journal of Rail and Rapid Transit*, Vol.232, No.4, pp. 1121-1134, Dec. 2017. DOI: <https://doi.org/10.1177/0954409717709108>
- [2] S. I. Seo, J. J. Park, M. Sagong, H. S. Na, C. Y. Lee, J. S. Lee, "Survey of state-of-arts of technologies on mountain railway and proposal of concept design of mountain tram", *Railway Journal*, Vol.15, No.6, pp. 53-58, Dec. 2012.
- [3] Stadler. Three part rack-and-pinion articulated multiple unit, Available From: <http://www.staler.com> (accessed Aug. 19, 2019)
- [4] Review Board of Railway Technology, "Pantograph of electric car", Korea Railway Standards, KRS AP 0001-07(R), pp. 2-5, 2006.
- [5] S. H. Lee, Y. S. Kang, H. C. Hwang, S. W. Han, Y. G. Oh, "Development of Wireless Tram and Embedded Rail Track System in Korea", *KSCE Magazine*, Vol.60, No.6, pp. 57-61, June 2012.
- [6] J. H. Lee, J. H. Kim, C. B. Park, S. M. Jeong, S. G. Lee, S. H. Lee, B. S. Lee, "Application of wireless power supply system to actual wireless tram", *Korean Railway Technology*, Vol.50, pp. 23-26, Nove. 2013.
- [7] R. G. Jeong, Y.S. Kim, S. H. Park, B. S. Lee, K. H. Choi,

- "A development of the third rail current collecting shoe gear for the light rail transit", *Journal of the Korea Society for Railway*, Vol.3, No.4, pp.185-193, December, 2000.
- [8] Y.S. Kim, R. G. Jeong, S. H. Park, N. U. Baeg, "Characteristics of 3rd rail type power collector for the rubber-tired AGT light rail vehicle", *Proceedings of 2004 Spring Conference of Korean Society for Railway*, Korean Society for Railway, pp.832-836, June 2004.
- [9] SGS. Test certificate of ground pantograph, SGS-R18-1933 -KR00, SGS Korea Co. Ltd., pp. 1-27, Oct. 2018.
- [10] T. Y. Jeong, Test method for vibration of parts of railway rolling stocks, Korea Standards KS R 9144, Korean Agency for technology and standards, Korea, pp. 3-10, 2014.

서 승 일(Sung-il Seo)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울대학교 대학원 조선공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 서울대학교 대학원 조선해양공학과 (공학박사)
- 1986년 2월 ~ 2002년 3월 : 한진중공업 수석연구원
- 2002년 4월 ~ 현재 : 한국철도기술연구원 수석연구원
- 2004년 9월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원 교통시스템공학 전임교원

<관심분야>

철도시스템, 용접구조역학