2026 년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집 KSR2026S055

부산도시철도 2호선 전동차 팬터그래프 동작 신뢰성 유지관리 연구

Research on the Functional Maintenance of Pantographs on Busan Metro Line 2 Trains

오창엽*, 사공헌*, 남태근**, 조정봉***

Chang-Yeob Oh*, Gong Heon Sa*, Tea Keun Nam**, Jeong Bong Jo***

초 록 부산도시철도 2호선 전동차는 철제차륜형식 중량전철 차량으로 6칸 1개 편성으로 운영 중이며, 팬터그래프는 동력차(M1, 2칸)에 각 2대씩 설치되어 20년 이상 장기 사용 중으로, 최근 미·급상승되는 이상 동작 발생으로 원인 및 조치가 필요한 상황이었다. 유형별로 링크, 힌지 변형, 마모 등 기계적 요인, 전자밸브 등 전기적 요인, 적설 결빙에 의한 환경 요인을 분석한 결과, 스프링 bracket 변형(낮아짐)과 상부프레임의 상승각을 유지하지 못해 상승 불능을 잠재 고장으로 판단, 가장 먼저 안착 높이 및 필요시 균형 조정 관리와 하강 충격 및 주 스프링 복원 힘으로 주축의 위치 틀어짐 예방 관리가 필요하였다. 본 연구는 팬터그래프 장기 사용 고장에 대한 기능 및 신뢰성을 확보하도록 특성 관리를 통한 이상 상승 원인과 개선 대책 추진 사항을 공유하여 향후 철도차량의 유지보수에 참고 자료로 활용되기를 기대한다.

주요어 : 팬터그래프 미·급상승, 안착 높이 관리, 균형 조정 틀어짐 예방 관리

1. 서 론

부산도시철도 2호선 전동차는 6칸 1개 편성으로 구성되어 총 56개 편성을 운용 중이며, 팬터그래프는 동력차(M1, 2칸) 각 2대씩 설치되어 DC1,500(V) 강체(지하구간)와 카테너리(지상구간) 전차선으로부터 집전되는 장치이다.

20년 이상 장기 사용 중인 팬터그래프 이상 고장은 미·급상승이며, 원인은 동작 과정을 유추한 결과, 안착높이 기준 미달로 상부프레임 상승각과 균형조정장치의 비수평(틀어짐) 영향으로 판단되어 동작 신뢰성 관리를 위한 개선 연구가 필요하였다.

또한, 팬터그래프 기능 유지를 위한 정비 방법 및 부품 특성 관리를 통해 중점 관리할 필요가 있다.

본 연구에서는 부산도시철도 2호선 전동차 팬터그래프 이상 고장원인과 개선 대책을 공유하여 향후, 철도차량 유지보수에 참고 자료로 활용되기를 기대한다.

* 부산교통공사 호포차량사업소 정비부

** 부산교통공사 호포차량사업소 정비부장

*** 부산교통공사 호포차량사업소장

2. 본 론

2.1 팬터그래프

2.1.1 설치 위치 및 형상

동력차(M1 Car, 2,4,호차) 상부 각 2대씩 설치되어 있다.(그림1)

Fig. 1 팬터그래프 위치 및 형상

2.1.2 동작원리

전자밸브 여자(급기)→① 실린더(피스톤 동작) →② 하강 링크 우상방→ ③ 주축 회전→ ④주 스프링 힘(팽창 상태에서 복귀) → Panto 상승

전자밸브 소자(배기)→① 실린더(피스톤 복귀) →② 하강 링크 좌하방→③ 주축 회전→ ④주 스프링 힘(팽창) → Panto 하강(그림2)

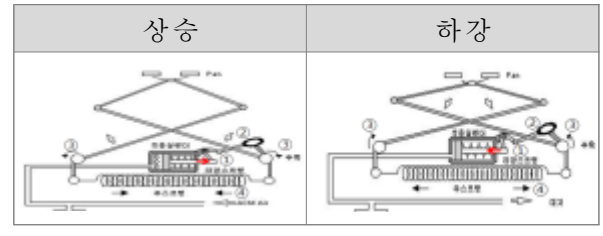

Fig. 2 팬터그래프 상승 및 하강

2.2 팬터그래프 이상 고장

2.2.1 발생현황

전동차 검수 중 팬터그래프 고장은 최근 3년 평균 6건이며, 열차운행에 영향은 없으나 부품 성능저하가 대부분이며 본선 고장 대비 조치 건수는 표1과 같다.

구분	계	'23 년	'24 년	'25 년
건수	18	2	10	6

Table. 1 연도별 부품 교체 조치 건수

부품별 Panto 상승하강에 직접적 영향을 미치는 실린더롤러 교체가 많았으며, 전자밸브류는 가장 낮아 전기적 요인 보다 동작과 관련한 기계적 부품 교체가 표2를 통해 많음을 알 수 있었다.

가이드혼	습판체	밸브류	**실린더롤러**	애자	절연관
4건(22%)	5건(28%)	2건(11%)	3 건(17%)	2건(11%)	2 건(11%)

Table. 2 부품별 교체 조치 건수

2.2.2 문제점(원인)

부품 이상(성능저하)으로 인한 전동차 고장영향은 미미한 수준이었으나, 장기 사용 팬터그래프 상승 이상(미·급 상승)의 경우 팬터그래프 동작과 관련한 기계적 구조를 집중분석 할 필요가 있었다.

2.2.3 동작(상승·하강) 중 구조분석

팬터그래프 접은높이(설계기준, 습판체. 베이스프레임 간: 270mm)가 기준보다 낮아지면 상부프레임(Upper Frame Ass'y) 상승각은 낮아지므로 정상 압력 공기를 공급하여도 이상 상승이 잠재되어 있었음을 시험을 통해 알 수 있었다. 시험 결과는 그림3과 같다.

* 접은 높이: 높이조정볼트로 접은 높이 임의의 값(표준 270mm)으로 조정한 Panto 높이임.

* $F=1/2mg*1/3mL*\cos\theta$ (m : 질량, g : 중력가속도, L : 프레임 길이, $\cos\theta$: 힌지 각도) 즉, 접은 높이가 기준 이하 낮으면(상승각이 낮을수록) 더 많은 상승 힘(F) 필요함.

Fig. 3 **접은높이(상승각)별 시험**

상승각과 관련하여 스프링 bracket(스토퍼)은 Panto 하강 충격 완화를 위해 Panto 헤드파이프가 bracket 위에 안착하며, 반복적인 하강 충격으로 bracket (설계 145mm) 변형(낮아짐)되어 접은 높이 이하로 가중, 상승각은 더욱 낮아짐을 알 수 있었다.

* 안착 높이: 스프링 bracket 위 헤드파이프 안착시 Panto 높이로서 접은 높이와 동일해야 정상임.

또한 균형 조정 장치 조정 불량시 Panto 프레임 무게 쏠림(치우침)으로 Panto 상승 중 이상 상승이 발생할 수 있음을 확인하였다.

2.3 구조분석결과

안착(접은) 높이가 스프링 bracket 변형(낮아짐)과 상부프레임의 상승각을 유지하지 못하면 상승 불능이 발생할 수 있으므로 가장 먼저 안착 높이 및 필요시 균형 조정 관리(조정 후 Panto 상·하강 수 회 반복 확인)가 필요하며, 그 외 하강 충격 및 주 스프링 복원 힘으로 주축의 위치 틀어짐이 일부 있으나, 검수 중에는 안착(접은) 높이 측정 관리가 우선으로 판단되었다.

2.4 개선 대책 추진

검수 중 안착높이 측정은 습판체 마모 및 습판체와 베이스 프레임 간 측정기의 접근성이 부족으로 왜곡의 우려가 있어, 그림4와 같이 측정위치를 변경하였다.

Fig. 4 안착높이측정 위치 변경

접은 높이 측정(아암 홀더 힌지, 2개소 측정) 후 높이 변동이 있는 경우 접은 높이조정볼트로 높이 조정 및 필요시 균형장치 균형 조정으로 수평 유지하였다.(그림5)

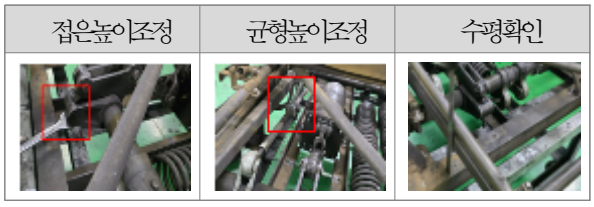

Fig. 5 안착높이측정 위치 변경

3. 결 론

본 연구는 전동차 장기사용 팬터그래프 기능 및 신뢰성 확보를 위해 특성을 개선 관리하여 팬터그래프 이상 고장 예방을 위한 전동차 유지관리 사례에 대해서 고찰하였다.

향후 지속적인 모니터링 데이터를 축적, 관리하여 팬터그래프 유지보수에 유용한 데이터로 활용되기를 기대한다.