

부산도시철도 2호선 전동차 HSCB 보조접점 FINGER 파단 방지 연구

Study on preventing finger breakage in HSCB auxiliary contacts on Busan Metro Line 2

김주한*, 최석훈*, 남태근**, 조정봉***

J. Kim*, Seok Hoon Choi*, Tae Keun Nam**, Jeong Bong Jo***

초 록 부산도시철도 2호선 전동차는 철제차륜형식 중량전철 차량으로 6칸 1편성으로 운행된다. 각 동력차(총 3칸)에는 대용량직류차단기인 고속도차단기(HSCB)가 1대씩 설치되어 있으며, 이는 과전류 발생 시 전동차 기기 손상을 방지하는 역할을 한다. 운용 중 발생하는 대표적인 이상 고장은 차단기 투입·개방 상태를 열차정보장치로 전달하는 보조스위치 접점 FINGER 파단에 의한 HSCB 개방 고장으로 이로 인해 검수 과정에서 보조스위치를 교체해야 하는 경우가 빈번히 발생하고 있어 이에 대한 원인 분석과 대책 마련이 시급한 상황이다. 본 연구에서는 고속도차단기의 이상 고장에 대해 부품의 신뢰성과 기능 확보를 목표로 특성을 관리하고, 파단 원인 및 개선 방안을 제시한다. 이를 통해 향후 철도차량의 유지보수에 실질적인 참고 자료로 활용되기를 기대한다.

주요어 : HSCB, High Speed Circuit Breaker, FINGER, 고속도차단기, 고속도차단기 개방고장

1. 서 론

부산도시철도 2호선 전동차는 6칸 1편성으로 총 56편성이 운행 중이며, 고속도차단기(HSCB)는 동력차(3칸)에 각 1대 설치되어 전동차의 안정적인 전력 공급과 기기보호를 위해 핵심적인 역할을 수행한다.

HSCB에서 발생하는 주요 이상 고장은 보조스위치 FINGER의 파단으로, 이로 인한 HSCB 개방은 본선 장애와 승객 불편 및 민원으로 이어질 수 있다. 또한 검수 과정에서 FINGER 파단으로 보조스위치를 교체하는 경우가 잦아지면서 유지보수 효율성 저하와 비용 증가 등의 문제가 발생하고 있다.

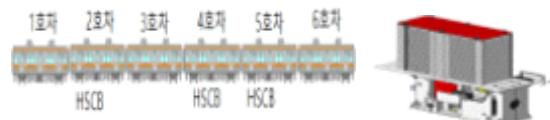
따라서 HSCB 보조스위치 FINGER 파단 현상의 원인을 면밀히 분석하고, 이를 개선하기 위한 기술적 대책을 마련하여 HSCB 기능에 대한 신뢰성을 확보할 필요성이 있다.

2. 본 론

2.1 고속도차단기

2.1.1 설치 위치 및 형상

HSCB는 2호선 전동차의 동력차(M Car)인 2, 4, 5호차 하부에 각 1대씩 설치되어 있다.



(a)고속도차단기 설치 위치 (b)고속도차단기 형상

Fig. 1 고속도차단기 위치 및 형상

HSCB의 보조스위치는 2a1b 이중 접점구조로 구성되어 있으며, FINGER를 통해 전기적 접속 및 차단 기능을 수행한다.



(a)보조스위치 구조(2a1b) (b)보조스위치 구조(이중접점)

Fig. 2 보조스위치 형상

* 부산교통공사 호포차량사업소 정비부

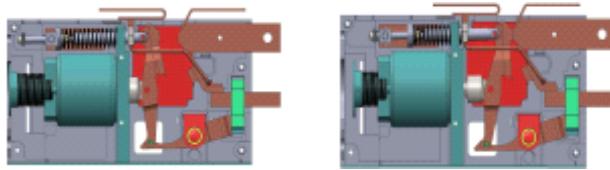
** 부산교통공사 호포차량사업소 정비부장

*** 부산교통공사 호포차량사업소장

2.1.2 동작 원리

전자 코일이 여자되면 전자코일 내부의 코어가 전진하고, 이와 연동된 가동 암이 하부를 지점으로 회전하여 주접점이 고정접점에 접촉한다. 동시에 보조 스위치 동작용 오퍼레이팅 레버가 연동되어 주회로와 보조회로가 함께 투입된다.

전자 코일이 소자되면 전자코일 내부의 코어에 자력이 없어지면서 주 스프링 및 전자석 내부의 스프링 복원력에 의해 접점이 분리되어 주회로와 보조회로의 차단 동작이 이루어진다.



(a)고속도차단기 투입 동작 (b)고속도차단기 차단 동작

Fig. 3 고속도차단기 동작

2.2 고속도차단기 이상 고장

2.2.1 발생현황

고속도차단기 이상 고장은 보조스위치 FINGER 파단에 의한 HSCB 개방 고장이 있으며, 최근 3년간 검수 과정에서 보조스위치 교체는 총 68건 발생하였다. 그러나 2025년 1월 대책 적용 이후 현재까지 추가 사례는 발생하지 않았다.

Table 1 연도별 교체 조치 건수

구 분	계	2022년	2023년	2024년	2025년
건 수	68	22	26	20	0

2.2.2 문제점

보조스위치가 동작할 때 PUSH ROD에 가해진 초기 충격이 b접점에 집중되어 'A' 위치에서 파단이 주로 발생하였다.

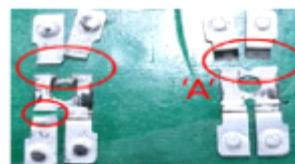


Fig. 4 FINGER 파단 위치

2.2.3 원인 분석

FINGER부 재질 및 치수는 설계와 큰 차이가 없었으며, 경도는 HV418로 정상범위(HV360~440) 내에 들었다. 구조해석 결과 FINGER를 지지하는 서포트의 표면과 형상이 불량하여 최고 51[MPa]의 응력 집중이 발생하였다.



(a)치수검사 (b)경도시험 (c)구조해석

Fig. 5 원인 분석 시험

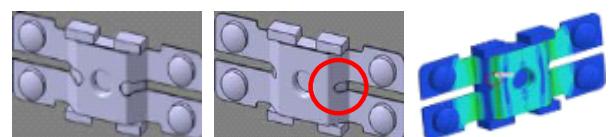
2.2.4 분석 결과

시험 분석을 종합하면, FINGER를 지지하는 서포트 형상이 불량하여 국부 응력이 증가하면서 FINGER 파단이 발생한 것으로 추정된다. 따라서 응력 분산이 가능한 서포트 형상 재설계 및 구조 개선이 필요하다.

2.2.5 개선 대책

응력분산을 위해 서포트의 형상을 개선하였다. 구조해석 결과 최고응력이 31.7[MPa]로 감소하였고, 자체 시험기를 통한 추가 개선 검증(목표 수명 11년 이상)을 거친 후 '24년 11월, 전동차 47개 편성 136개소에 개선품을 적용하였다.

'25년 10월 현재까지 파단에 의한 본선 장애 및 보조스위치 교체 없이 정상 운행 중이다.



(a)서포트형상(개선전) (b)서포트형상(개선후) (c)구조해석(개선후)

Fig. 6 서포트 구조 개선

3. 결 론

본 연구는 부산도시철도 2호선 전동차의 고속도차단기(HSCB) 보조스위치에서 발생한 FINGER 파단 고장을 대상으로 원인을 규명하고 대선 대책을 마련하였다. 분석 결과, 서포트 성형 불량에 따른 응력집중이 주요 원인이었으며, 이를 보완한 개선품 적용을 통해 신뢰성을 확보할 수 있었다.

향후 지속적인 모니터링과 데이터 축적을 통해 개선 효과를 장기적으로 검증하고, 유지보수 전략 수립 및 설계 개선의 근거 자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.