

전동차 판토품라프 주습판 마모현상 분석에 관한 연구

A Study on the Wearing Phenomenon Analysis of Phatograph Slider for the Subway Cars

김영규*
Kim, Young-Gyu

양용준**
Yang, Yong-J00n

원시대***
Won, Si-Tae

최경진****
Choi, Kyung-Jin

ABSTRACT

Pantograph is set on the roof of Subway. This plays the role of staying proper current on Subway when Subway is running or not. Pantograph includes Slider. Slider is most important part of Pantograph because this part is used to receive current from Contact Wire by dynamic interaction with Contact Wire. In general, material of Slider is steel, copper, or carbon alloy. Especially, SEOUL METRO uses Slider of sintered copper alloy, but there is problem. This Slider causes over wearing during rainy season. We should reduce wearing between Contact Wire and Slider. Reducing this wear is most valuable technology in Subway system. I performed experiments to find out the best way that reduces the wear. I can find the best way as I change the rate of the alloy.

1. 서론

전차선에서 전류 수전을 목적으로 사용 중인 판토품라프는 전동차 지붕위에 설치되어 있으며 이동하거나 정차 중일 때 항상 일정한 량의 전류를 차량에 공급하도록 하는 장치이다. 판토품라프는 여러 가지 부품으로 구성되고 그 중에서 주습판은 전차선의 전류를 전차선과 습동하여 전동차로 공급하는 중요한 부품으로 전동차 운행에 절대적인 역할을 하는 부품이다. 서울메트로에서 운용하는 전동차 판토품라프는 Lower frame crossing type이며 전동차 옥상에 설치될 때 차지하는 면적이 넓지 않아 판토품라프의 수가 많은 방식에 주로 사용된다. 1, 2호선에 적용된 판토품라프는 YT77 type으로 무게가 약 240kgf이고, 3, 4호선에 적용된 판토품라프는 YT88 type으로 무게가 약 187kgf으로 1,2호선에 적용된 type을 경량화 시킨 것이다.

판토품라프는 전류 공급이 중단되는 이선과 전차선과 주습판(집전판)의 마찰에 의한 상대적인 과마모 현상을 줄이는 것이 기술력의 척도가 되고 있다. 서울메트로에서 운용하는 전동차 판토품라프에 적용된 주습판은 동계와 철계를 사용하고 있으며 일부 타 운영기관과 한국형 고속전철에서 카본계를 도입하여 사용하고 있다. 서울메트로의 2, 3, 4호선 판토품라프 주습판은 동계소결재를 사용 중이나 기후변화(우기 시)에 따라 주습판이 급속 마모되는 현상으로 전동차의 안전운행 및 유지보수 비용이 과다하게 소요되는 문제점이 있다. 주습판의 마모는 복합성을 가진 여러 가지 원인에 의해 발생되어 전기차량 안전운행과 승차감을 저해하고 있다.¹

본 연구에서는 주습판 과마모, 편마모 현상을 측정하여 동계소결합금의 재질에 따른 마모분석을 통하여 재질 구성과 공정을 새롭게 함으로 동계소결합금 주습판을 구성하여 다이내모 시험과 실차 시험으로 사용 중인 주습판(이하 규격품)과 새로운 방식으로 구성한 주습판(이하 개선품)을 각

* 서울메트로 차량본부, 서울산업대학교 철도전문대학원 철도차량시스템공학과, 정회원

** 서울메트로 차량본부, 정회원

*** 서울산업대학교 금형설계학과 교수, 정회원

**** 철도기술연구원 철도시스템안전연구본부 책임연구원, 정회원

각 측정하여 주습판의 마모현상을 비교 분석함으로 도시철도에서 최적의 마모현상을 갖는 주습판을 도출함으로 실차에 적용하여 전동차 안전운행과 승차감 향상 및 유지보수 비용을 합리화하고자 한다.

2. 판토품라프 및 전차선 구성

2.1 판토품라프 개요

판토품라프는 DC 1,500V의 강제 전차선 구간(지하구간)과 카테너리 전차선 구간(지상구간)에서 전차선으로부터 집전의 목적으로 사용되어지고 압상력(Control Force)은 지하구간과 지상구간에서 동일하게 6.0kgf로 설정되어 판토품라프의 작용높이가 변화하여도 일정한 압력으로 전차선을 추종하여 접촉하여 집전을 원활하게 하여야 한다.⁴

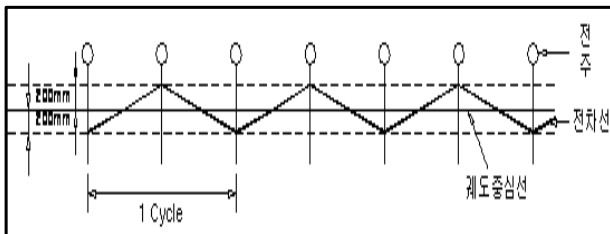
현재 서울메트로에 사용되는 판토품라프 규격은 표1과 같다.

(표1) 판토품라프 규격

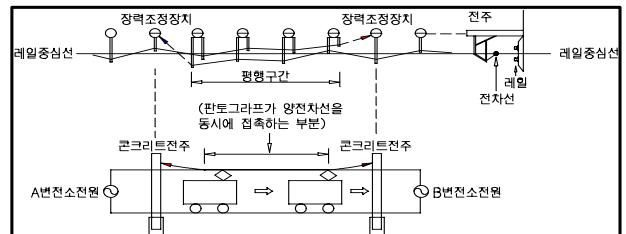
구분	적용	비고
전차선방식	지상 심플카테너리 전차선, 지하 강제 전차선	
동작방식	공기상승, 스프링하강	
압상력	6kgf	
주습판 재질	동계 소결합금	BE11

2.2 전차선 설치 위치

전차선은 주습판 편마모 발생을 방지하기 위하여 그림1과 같이 중심부를 기준으로 200mm의 편위를 가지는 지그재그 형식으로 설치되어 있다.⁴



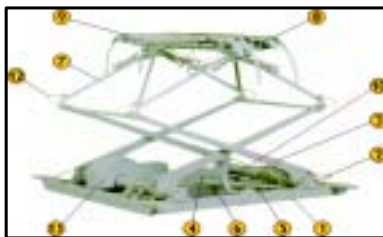
<그림1> 전차선 구성



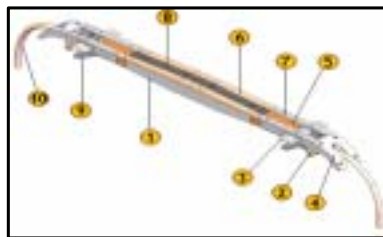
<그림2> 전차선 구성도

2.3 습판체의 구성

습판체(<그림3> 판토품라프의 ⑨)의 구성은 주습판(<그림4> 습판체의 ⑥), 보조습판(<그림4> 습판체의 ⑦), 고체윤활제(<그림4> 습판체의 ⑧)로 구성되고 전동차 판토품라프가 주행 중 발생할 수 있는 전차선의 편위 범위에서 벗어나고 원활한 추종을 위한 장치인 가이드 혼(<그림4> 습판체의 ⑩)이 있다.



<그림3> 판토품라프



<그림4> 습판체



<그림5> 주습판

3 주습판 이론

3.1 주습판 재료에 요구되는 성능

전기전도도와 집전능력이 좋아 접촉점에서 에너지 손실이 없어야 하며 상대 전차선에 대하여 우수한

윤활특성과 낮은 윤활특성과 낮은 마찰계수로 습판의 마모가 적을 것과 고속주행과 외력에 의한 구조적인 파단이 없도록 적절한 기계 강도를 갖추어야 하고 아크등에 의한 전력손실이 없는 것을 요구하고 있다.⁵

3.2 주습판의 마모 특성

주습판 마모의 원인은 전기적인 마모와 기구(기계)적인 마모로 구분되지만 복합적인 원인에 의해서 마모가 진행되고¹ 주행속도, 압상력, 가선전류의 영향, 전차선과 주습판의 이선에 주로 영향을 받으며 날씨조건에 따라 주습판의 마모량이 증가하는 것을 마모현상 분석을 통해 알 수 있었다.

마찰속도가 증가하면 마찰계수는 감소하며 마찰속도가 감소할수록 마찰계수는 증가하고 기계적 마모는 마찰속도에 비례하나 전기적 마모는 마찰속도에 비례하는 복합적인 마모현상을 나타내고 압상력이 증가하면 마모량도 증가하며 전류량이 커지거나 마찰열과 아크가 발생하여 열화가 진행되면 주습판 마모가 증가한다. 아크는 이선율과 관계되는 인자를 가지며 이선으로 인한 전류량이 같이 증대함을 알 수 있다.¹ 다른 인자인 날씨의 비가 오거나 습기가 많으면 주습판의 마모량이 증가하고, 기온의 하강으로 전차선에 서리가 맺혀 있을 경우 이선율이 증가하여 마모량이 증가한다.⁵

4 주습판 마모 측정

4.1 주습판 편마모 현상

주습판의 편마모 현상은 복합적인 원인에 의해 편마모 현상이 급속하게 진행하지만 그 중에서 기계적인 원인인 이선에 의한 아크열에 의한 편마모 현상과 재질문제인 우기에 집중적으로 나타나는 현상으로 제일 큰 편마모 인자인 지상구간에서 빗물에 의하여 윤활재가 유실되어 주습판 표면에 형성된 윤활피막 파괴로 인한 주습판의 마모가 급속히 진행되고 전차선의 편위가 있지만 주습판 중앙부위를 중심으로 진행하게 되어 주습판 중앙부위 편마모 현상이 나타나게 된다.



<그림6> 정상마모 주습판



<그림7> 편마모 현상

4.2 주습판 규격

주습판의 규격은 재료에 대한 사항과 기계적인 특성을 나타내는 사항으로 구성되고 각종 시험에 대한 기준을 제시하고 있다. 시험 대상품인 주습판 규격품과 개선품은 재료 기준과 기계적 특성 기준에 모두 적합한 것이다. 주습판 개선품은 규격품을 기준으로 재료 배합비율을 조정하고 첨가제 입자크기를 제한하여 성형 소결 처리 후 진공함침기를 이용 기계유에 함침하는 공정으로 마무리하여 윤활성, 내마모성, 내식성을 향상하였다.

<표3> 재료표

재 료	Cu	Sn	Graphite	기타
배합비율(wt/%)	84~92	5~10	2~6	4이하

<표4> 기계적 특성

구분	전기비저항 ($\mu\Omega\text{cm}$)	겉보기밀도 (g/cm^3)	경 도 HB(10/500)	인장강도 (kg/mm^2)	충격강도 ($\text{kg} \cdot \text{cm}/\text{cm}^2$)
성능	25이하	6.5~7.5	35~55	11.50~16.50	25이상

4.3 마모 시험

주습판 마모량은 현재 사용 중인 규격품 재질과 개선품 재질을 대상으로 다이나모 시험과 1호선, 2호선의 상업운전 전동차에 설치하여 측정 하였다.

4.3.1 다이나모 시험

다이나모 시험은 주행속도 80[km/h] 정속운전 조건, 전류치 500[A] 정 전류를 인가 조건, 1,000[km] 연속주행 조건으로 건기조건과 우기조건으로 구분하여 시험을 실시하였고 우기조건을 충족시키기 위하여 물을 살포(약10[cc/min])하면서 시험을 진행하였으며 건기조건과 우기조건 시험 후 각각 주습판 두께와 중량을 측정하였고 전차선의 두께를 측정하였다. <그림8>, <그림9>는 다이나모 시험장치에서의 주습판 구성도와 다이나모 시험장치 동작을 나타내고 있다.



<그림8> 습판체 구성



<그림9> 다이나모 시험

4.3.2 전동차 시험

상업운전 전동차는 계속적으로 변화하는 부하를 감당하기 위하여 전차선과 습동하는 판토품의 주습판에 대전류로 인한 주열이 발생하지만 접촉상태에서는 접촉저항이 극히 작으므로 무시할 수 있고 이선에 의한 아크 열화로 마모가 진행되어 건기, 우기 모든 조건에서 과마모 현상으로 진행되어 문제가 되지만 이 현상은 재질에 의한 우기 편마모 현상에 비해 진행속도가 상대적으로 느린 현상을 보이고 있고 규격품의 경우 우기 시 주습판 편마모 현상이 나타나는 것을 확인 하였다.

본 연구에서의 상업운전 전동차 시험은 군차량사무소 배속 전동차를 대상으로 마모현상을 측정하였고 주습판의 배열은 규격품 재질 편성구성(D106편성), 개선품 재질 편성구성(D256편성), 규격품 재질과 개선품 재질을 혼합하여 편성 구성(D257편성)한 후 마모현상을 측정하였다.



<그림10> 규격품 재질



<그림11> 개선품 재질



<그림12> 혼합편성의 규격품 재질



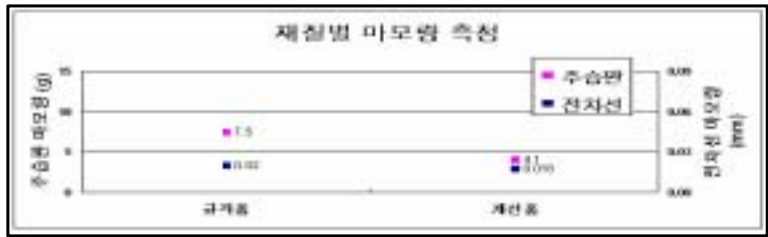
<그림13> 혼합편성의 개선품 재질

5 마모 측정

5.1 다이나모 시험 마모측정

다이나모 시험 결과 규격품 재질의 주습판보다 개선품 재질의 주습판의 마모량이 상대적으로 적은 것을 확인할 수 있었고 전차선의 마모도 미소하지만 개선품 재질의 주습판이 상대적으로 적게 마모되는 것을 확인할 수 있었다. <그림14>, <그림15> 재질별 마모량 측정그래프에서 전차선의 단위는 두

께 [mm]이고 주습판 마모량의 단위는 무게[g]이다



<그림14> 재질별 마모량 측정(건기 조건)



<그림15> 재질별 마모량 측정(우기 조건)

마모량 측정그래프에서 마모 측정치를 비교하면 우기조건에서 상대적으로 규격품 재질의 주습판의 마모가 많은 것을 알 수 있으며 전차선의 마모 측정결과 마모량이 미소하지만 규격품에서 상대적으로 많이 진행된 것을 알 수 있다.

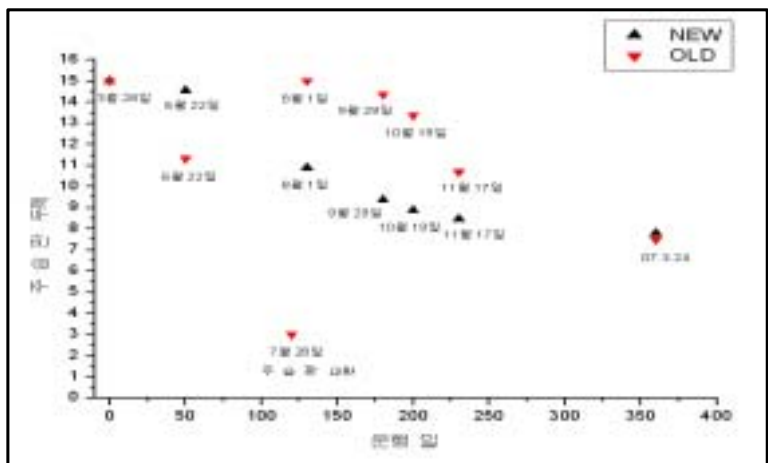
5.2 전동차 마모측정

전동차 주습판 마모는 규격품 재질과 개선품 재질을 혼합 편성한 2호선 D257편성을 대상으로 측정하였으며 측정결과 규격품의 주습판이 약120일 경과 후 사용한도까지 마모가 진행되어 교환하였으며 개선품의 주습판은 약220일 경과 후 사용한도까지 마모가 진행되어 교환하였다.

규격품의 주습판은 강수량과 밀접한 관계를 가지고 마모가 급속하게 진행되는 것을 알 수 있었고 개선품의 주습판은 강수량에 영향을 상대적으로 적게 받는 것을 알 수 있었다. <표5>는 시험기간 동안의 강수량을 나타낸 것이고 <그림16>은 주습판이 마모되는 양과 기간을 나타낸 그래프이다. 그래프에서 규격품 주습판의 마모량이 우기에 급속도로 진행되는 것을 확인할 수 있었고 개선품 주습판은 우기 시 건기에 비하여 상대적인 마모량이 미소하게 증가하였지만 대부분의 기간에서 일정하게 마모량이 제어되는 것을 알 수 있다.

<표5> 2006년 서울지역 월별 강수량

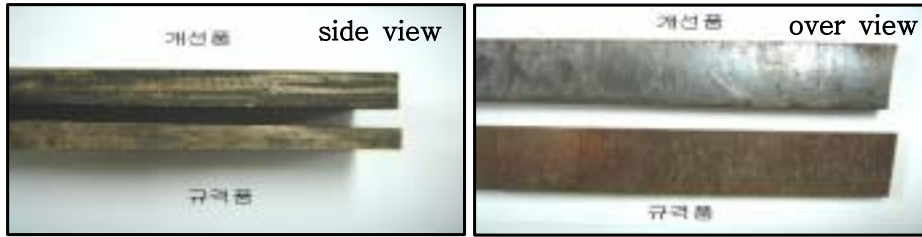
구 분	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월
강수량(mm)	14.0	51.8	156.2	168.5	101.4	121.2	11.1	30.2	47.1



<그림16> 전동차(D257편성) 시험 측정 결과

<그림17>의 사진에서는 주습판의 재질에 따라 마모 진행상태가 다르고 재질 구성성분의 차이에

따라 규격품 표면은 밝고 마모가 많으며 개선품 표면은 어둡고 마모상태가 양호한 것을 나타내고 있다. 특히 규격품은 6월22일 이후 우기에 급속한 마모를 나타내는 비윤활 접촉 마모현상 상태를 보이고 있다.



<그림17> 전동차(D257편성) 시험 후의 규격품과 개선품의 마모량 비교

6. 결론

판타그래프 주습판 마모 현상 분석에서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 주습판 재질 구성비율 조정과 공정을 새롭게 구성하여 도시철도에서 최적의 마모현상을 갖는 주습판을 도출함.
- 주습판 개선품의 내구성이 규격품보다 약140~200[%] 향상된 것을 확인함.
- 전차선의 마모량은 주습판이 개선품 일 때 전차선 마모가 규격품일 때 보다 비슷하거나 적음을 확인함.

참고문헌

1. 이종문, 2002, 신간선 판타그래프 습판의 개발과 변천, 철도차량기술
2. 정석주, Materials Technology for Technicians, 서울산업대학교
3. 최수천, 신편 기계재료, 대광서림
4. 전동차정비지침서, 1994, 서울특별시지하철공사
5. 오해원, 2002, 전동차 판타그래프 습판 마모의 측정분석에 관한 연구, 서울산업대학교