

고무차륜형식 경량전철 차량 집전장치 집전슈 성능 연구 A Study on The Power Collector Shoe for The Rubber Tired AGT

권태*†, 조현*, 박희철**
Tae Kwon*†, Hyun Jo*, Hee Chul Park**

Abstract In this paper, we deals with the occurred mismatch interface problems between power collector and third rail during commercial service of the Busan metro Line 4. In order to prevent the interface problems, we improved the light rail vehicle's performance by redefining the power collector performance and the related standards through the results of the power collector shoe test, changes of the contact force and permanent linear current. Also, this study will contribute to the operations of Busan metro Line 4 by increasing the efficiency of train's maintenance and ensuring the safety of automated transit operation.

Keywords : LRT, Rubber tired AGT, Power Collector, Power Collector Shoe

초 록 본 연구는 부산도시철도 4 호선 고무차륜형식 경량전철 차량 개통 이후 약 2 년간의 영업 운행시 발생한 집전장치와 전차선 인터페이스와 관련한 부조화 문제를 고찰하고, 인터페이스 부조화 예방을 위하여 전차선과 집전장치에 대한 해외 사례를 고찰하고, 영구 설치 구조물에 해당하는 전차선 및 집전장치에 대해서는 기존 설비를 그대로 유지하면서, 소모품인 전동차 집전장치 집전슈에 대한 최적의 운행조건을 정립하고자 하며, 특히 집전장치 압상력과 통전율을 변경에 따른 기계적 및 전기적 마모 변화를 현차시험을 통하여 고찰하고, 시험 결과를 토대로 집전장치 성능과 관련된 표준을 제정립하여 경량전철 차량 성능개선으로 전동차 유지관리 효율 증대와 무인운전 안전성 확보로 도시철도 운영에 이바지하고자 한다.

주요어 : 경량전철, 고무차륜형식 경량전철, 집전장치, 집전슈

1. 서 론

국내 최초 적용된 고무차륜형식 경량전철 차량인 부산 도시철도 4 호선 전동차는 측면급전 방식(제 3 궤조)으로 기존 전동차와는 달리 DC750V 전원을 적용하여 사용전류가 상대적으로 높으며, 전동차 주행 시 전차선과 집전 Shoe 접촉 부에서 Arc 가 발생하여 영구 구조물 개념의 전차선 표면이 손상되고 있으며, 또한 소모품인 집전 Shoe 의 빈번한 교체로 원활한 전동차 유지관리가 힘든 실정이다.

본 연구에서는 집전장치와 전차선 인터페이스와 관련한 부조화 문제를 해결하고자 집전장치 압상력과 통전율을 조정하여 현차시험을 시행하고 그 결과를 고찰하고자 한다.

† 교신저자: 부산교통공사 경전철운영사업소 차량부(kt7201@humetro.busan.kr)

* 부산교통공사 경전철운영사업소 차량부

** 부산교통공사 호포차량영사업소 정비부

2. 본 론

2.1 현 황

4 호선 전동차는 Fig 1 과 같이 측면 급전방식으로 차량한계 등을 감안하여 Shoe 의 크기 및 전차선의 폭이 기존 전동차 보다는 상대적으로 작아 역행(Powering)시 최대 전류가 흐르는 30km/h 구간에서 전기적 Arc 가 발생하며, Fig 2 과 같이 전동차 주행 시 발생한 Arc 의 영향으로 집전 Shoe 는 물론 전차선 표면 손상이 계속 발생하게 되면 전차선과 집전 Shoe 의 불완전 접촉으로 전기적 Arc 가 더욱 심해지는 악순환을 반복하여 전차선 및 집전 Shoe 의 마모 량이 점점 증대하는 추세이며, 집전 Shoe 는 카본함침 소재로 국내에서는 소요량이 적어 국산화 개발이 불가능한 실정으로 전량 외자(프랑스, 영국, 독일) 부품을 적용하고 있어 경제적 손실 및 전동차 유지관리에 애로가 많은 형편이다.

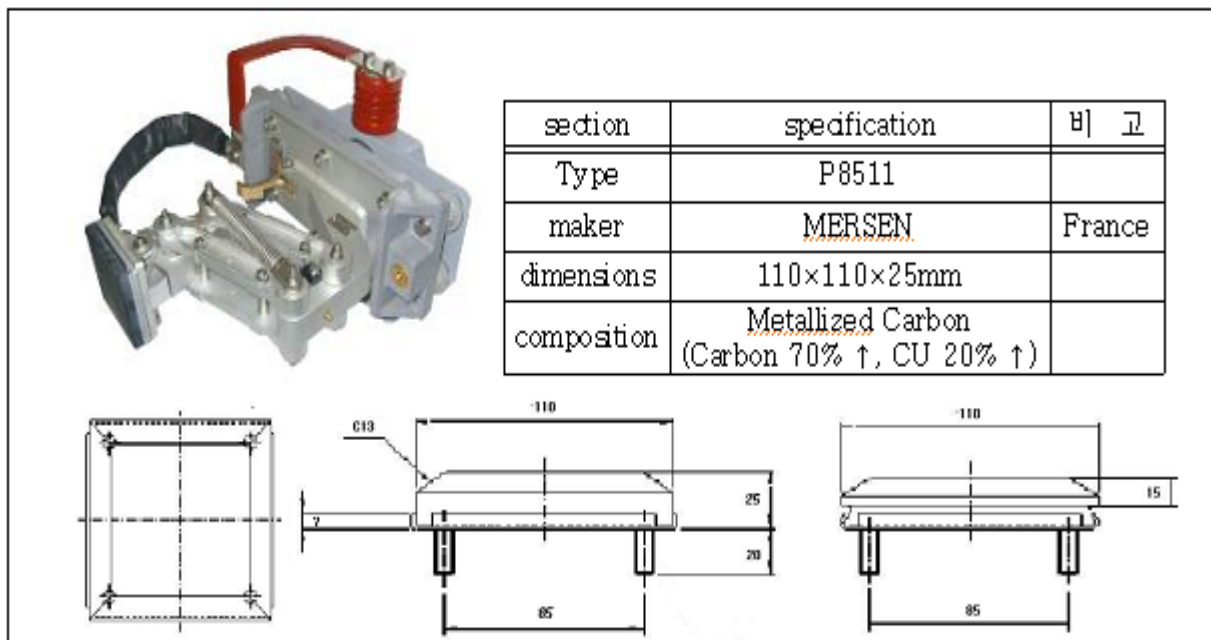


Fig 1 Power Collector and Shoe



Fig 2 Power Collector Shoe and third rail

2.2 집전 Shoe 소모량 조사

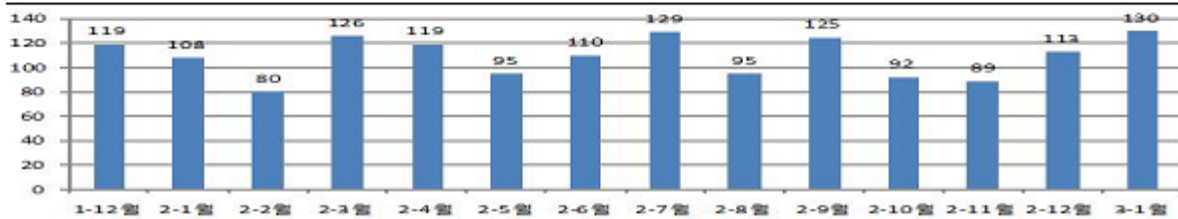
Table 1 에서와 같이 집전 Shoe 교환수량 조사를 약 25 개월간 조사한 결과 전체 교환수량은 2,132 개이며, 최근 14 개월간의 교환수량은 월평균 109 개 이다.

Table 1 The quantity of exchanged Power Collector Shoe

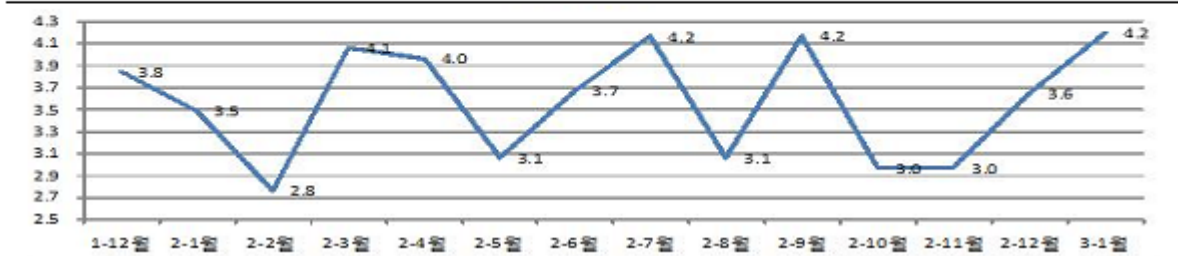
○ The quantity of exchanged a month

year/month	total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
quantity	2,132	244	165	230	241	118	172	219	176	217	171	168	232
2011	721	6	15	27	58	23	62	90	81	92	79	69	119
2012	1,281	108	80	126	119	95	110	129	95	125	92	89	113
2013	341	130	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

○ The changing curve



○ The quantity of exchanged a day(average 3.6 EA)



2.3 집전 Shoe 용량 조사

2.3.1 집전 Shoe 용량 계산

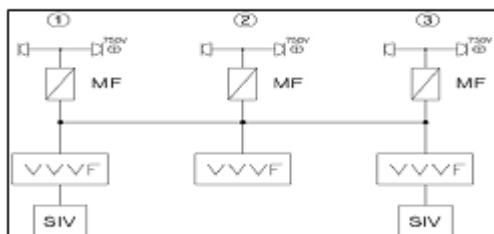
- 정격전류 : 160A/cm , 단시간(30 분이내) 정격 : 220A/cm
- 집전 Shoe 최대 수용 용량 : 1,344[A] (8.4 cm(집전슈 폭) × 160A/cm = 1,344[A])

2.3.2 전동차 부하 용량 계산

- 추진제어장치(VVVF) 정격전류 : 270[A](주회로 직류 입력부)
- 보조전원장치(SIV) 정격전류 : 98.2[A]

Table 2 Permanent linear current

position	Max.	Total	비 고
①	368.2[A]	1006.4[A]	Main Fuse (800A)
②	270 [A]		
③	368.2[A]		



2.3.3 용량조사결과

전동차 편성 부하용량은 Table 2 와 같이 1,006.4[A]로 집전 Shoe 3 개가 병렬로 연결되어 1 개당 약 335[A] 정도임으로 집전 Shoe 용량 1,344[A] 대비 약 4 배의 여유를 갖고 있으며,

Fig 3 과 같이 본선 운행열차 집전장치 수전 전류 측정 결과 전차선 위치 변환구간 통과 시 집전장치별 전류 집중현상이 발생하고 있으나 최대 500[A]를 초과하는 구간은 없었다.

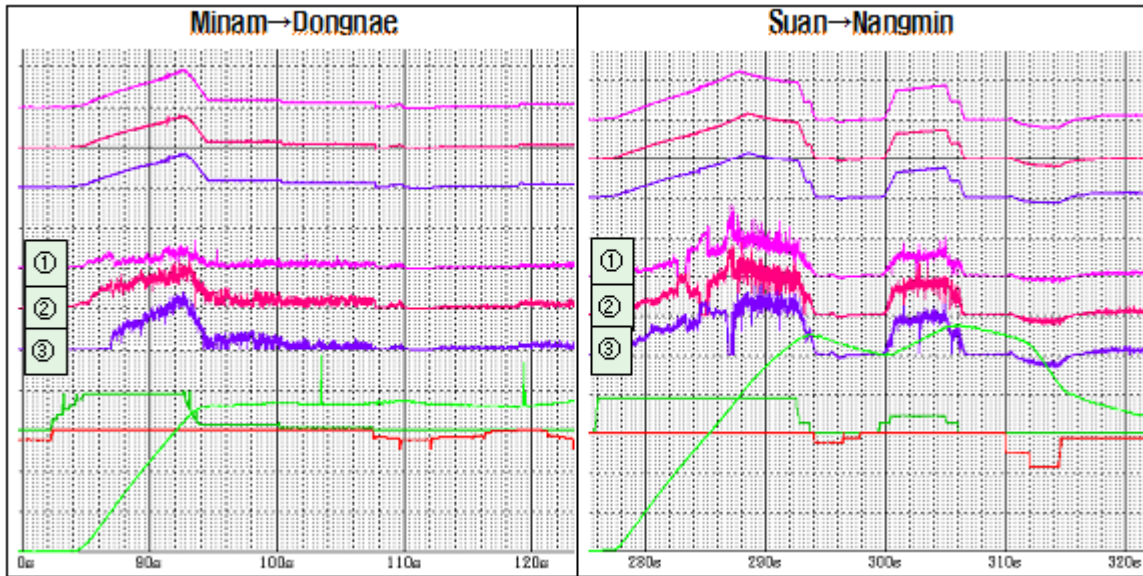


Fig 3 Permanent linear current graph

2.4 측면집전방식 해외사례 조사

Table 3 The foreign case of Power Collector Shoe

section	dimensions (W×H×T mm)	composition	limit (T mm)	cycle (month)	V
Sea Side Line	91.5×94	Metallized Carbon (Carbon 70%, CU 30%)	7~8mm	3M	DC 750V
Rokko Liner	110×100×10	Metallized Carbon	4mm	5M	AC 600V
Port Liner	110×140×10	Metallized Carbon	4mm	4M	AC 600V
Yurikamome	100×50×20(F) 86×94×15(T)	Metallized Carbon (Carbon 60%, CU 40%)	4mm(F) 7mm(T)	3M	AC 600V
Nippori Toneri Liner	101×100×15	Metallized Carbon	6mm	-	AC 600V
Hiroshima Astram	97×101×15	Metallized Carbon	4mm		DC 750V

Table 3 에서와 같이 직류전원 DC750V 를 사용하고 있는 요코하마 씨사이드 및 히로시마 아스트람의 경우 집전슈의 크기는 4 호선 전동차와 유사하며, 특히 카본 집전 Shoe 의 동 함유율이 30% 이상인 것으로 보아 집전 Shoe 통전율은 동 함유율과 관계가 있어 보이며, 특히 유리카모메 라인에서는 동 함유율이 40% 인 점을 주목할 필요가 있음.

Table 4 The foreign case of third rail

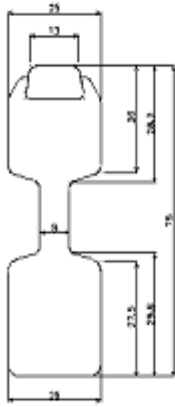
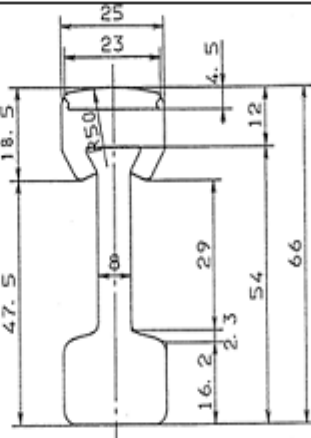
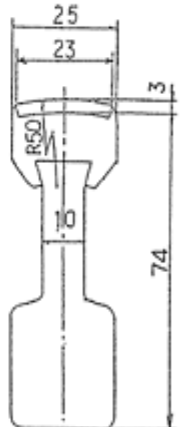
section	Busan Metro Line 4	Yurikamome	Sea Side Line
dimensions			
contact length	13mm	23mm	23mm
contact state	linear	semicircular	semicircular

Table 4 에서와 같이 전차선 직류전원 DC750V 를 사용하고 있는 요코하마 씨사이드 라인은 전차선과 집전 Shoe 접촉부 형상이 반원형이며 폭은 23mm 이며, 4 호선 전차선은 13mm 직선형으로 접촉효율 측면에서는 불리한 조건으로 보이며 삼상 AC600V 를 사용하고 있는 유리카모메 라인에서도 접촉부 형상이 반원형으로 폭은 23mm 인 점으로 미루어 보아 부산 4 호선 집전장치는 접촉효율 증대를 위해 압상력을 높일 필요가 있다.



2.5 개선 방안 연구

4 호선 전동차는 고무차륜형식 경량전철 표준형식에 의해 제작되어 경산시험선에서 운영실적이 증명된 시스템으로 철도기술연구원 연구자료⁽¹⁾에 의하면 집전장치 동특성 연구결과 집전 Shoe 압상력은 90N ~120N 정도가 타당할 것으로 분석하고 있으며, 특히 압상력 100N 이상에서는 이선현상 감소율이 감소하여 접촉효율이 저하 할 수 있음을 표명하고 있다. 이에 집전슈 전기용량은 부하용량 대비 약 2 ~ 4 배 이상 여유가 있음에도 아크가 심하게 발생하므로 압상력을 현행 6kgf 에서 9kgf 으로 증대하는 방안과 집전 Shoe 통전율을 증대하는 방안을 강구하여 현차시험 시 아크 발생 정도와 마모도 관계를 고찰하고자 한다.

2.5.1 집전장치 압상력 증대 시험

Table 5 와 같이 압상력을 증대하여 시험한 결과 집전슈 마모량은 기계적 마모량은 증대하나 전기적 마모 즉 아크에 의한 마모는 현저히 감소함을 확인 하였다.

Table 5 a comparative table of contact force

contact force	mechanical abrasion	electronic abrasion	abrasion limit	arc
6kgf	2.7 mm	12.3 mm	15 mm	large
9kgf	6.7 mm	8.3 mm	15 mm	small
contact force 6kgf		contact force 9kgf		
				

2.5.2 집전 Shoe 집전용량 증대 시험

4 호선 전동차 집전장치 집전 Shoe 의 통유율은 Table 6 과 같이 160A 에서 180A 로 증대하여 시험을 시행하였으며, Table 7, 8 과 같이 현차시험 결과 시험품의 마모성능이 매우 우수한 것으로 나타났으며, 시험품의 크기별 내마모 성능은 집전 Shoe 의 크기를 기존 대비 20mm 증대한 시험품 2(130mm×130mm)가 내마모성이 약간 우수(3%)한 것으로 나타났다.

Table 6 comparative table of test Samples

section	primarily shoe	Sample 1	Sample 1
형 식	P8511	MY258P	MY258P
제 조 사	M(France)	M(England)	M(England)
composition	Metallized Carbon (Carbon 70%, CU 20%)	Metallized Carbon (Carbon 60%, CU 35%)	
dimensions	110×110×25mm	110×110×25mm	130×130×25mm
current	160A/cm	180A/cm	180A/cm

Table 7 comparative table of test result








○ Average abrasion						
section	average abrasion depth	cycle				
		km	month			
primarily	1.90mm /1,000km	7,895 km	1.1M			
Sample 1	1.02mm /1,000km	14,706 km	2.1M(86% ↑)			
Sample 2	1.02mm /1,000km	14,706 km/	2.1M(86% ↑)			
○ Max. abrasion						
section	primarily (110×110mm)		Sample 1 (110×110mm)		Sample 2 (130×130mm)	
	no turned	turned	no turned	turned	no turned	turned
fig. of abrasion						
abrasion depth	3.42mm	4.72mm	1.84mm	3.27mm	2.15mm	2.77mm
average	4.07mm		2.56mm(37% ↑)		2.46(40% ↑)	

Table 8 comparative table of Arc occurrence

section	Dongnae→Suan		Dept → Anyon)
	End approach	section position	
primarily	large arc	large arc	large arc
Sample 1	large arc	arc zero	large arc
Sample 2	large arc	arc zero	middle arc
primarily	Sample 1		Sample 2
			
Dongnae→Suan third rail Arc occurrence			

2.6 연구결과 적용

집전장치 압상력 및 집전 Shoe 통유율을 증대한 제품으로 현차적용하여 운영해본 결과 Table 9 와 같이 초기 2 개월 이후 안정화되었으며 집전 Shoe 수명이 약 50% 이상 연장되었으며, 특히 Fig 4 에서와 같이 전차선 표면조도 개선효과가 탁월하였다.

Table 9 The quantity of exchanged Power Collector Shoe

year/month	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2013	130	70	77	64	48	67	44	67	-	-	-	-

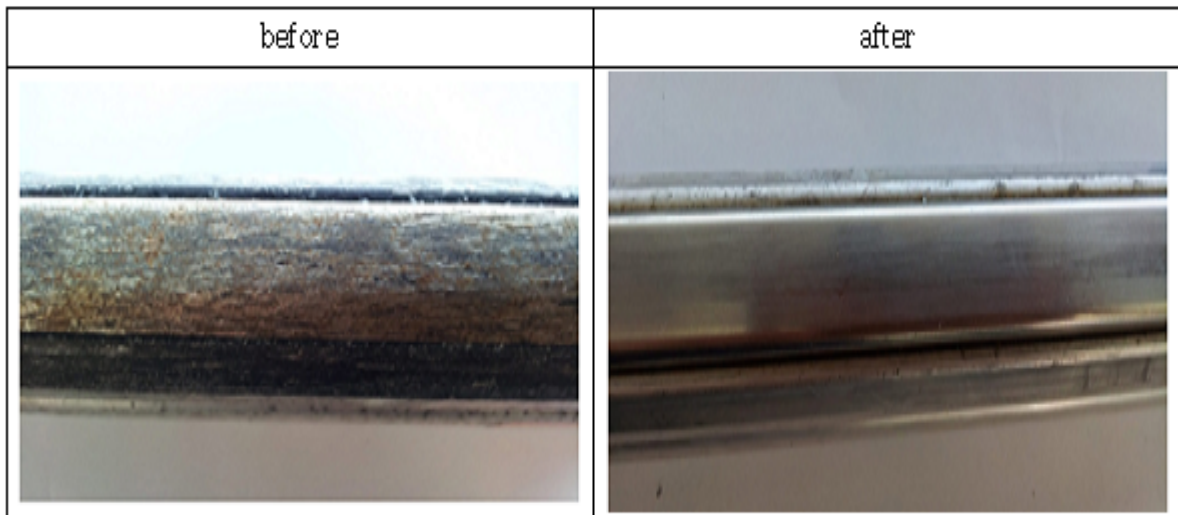


Fig 4 The state of third rail surface

3. 결 론

도시철도차량 표준규격(3.3.4.2 집전기)에는 집전장치 형식은 수평 측방향 집전방식으로 하며, 운행 중 발생할 수 있는 변위에 대하여 정상적으로 집전하여 차량에 필요한 전원이 연속 집전되도록 중복하여 설치되어야 한다.⁽²⁾ 고 되어 있거나 집전 Shoe 크기와 통전율 및 압상력에 대한 표준은 규정하고 있지 않다.

본 연구에서는 집전 Shoe 압상력이 6kgf 에서 9kgf 으로 상승 시 전기적 마모가 감소됨을 확인하였으며, 집전 Shoe 통전율 상승은 동 함유량을 25%에서 35%로 높여 달성하였으며, 통전율 상승이 아크 발생을 억제하여 전차선 표면조도 개선 효과와 더불어 집전 Shoe 소모량 저하에도 현저한 영향이 있음을 확인하였다.

부산도시철도 4 호선에 적용된 고무차륜형식 경량전철 차량용 집전장치는 압상력이 9kgf, 집전 Shoe 의 통전율은 180A/cm(동함유량 35% 이상)로 표준화하여 관리하여 전동차 유지관리 효율 증대와 무인운전 안전성 확보로 도시철도 차량 안전운행에 최선을 다하고자 한다.

참고 문헌

- [1] Characteristics of 3rd Rail Type Power Collector for the Rubber- Tired AGT Light Rail Vehicle, pp 4-5
- [2] Korea Ministry of Construction and Transportation, "Korea Standardized Specifications for Urban rail Vehicle (Governmental Announcement 2012-516)pp 144-145