

도시철도 전력 급전시스템에 대한 안전성 연구

A study on the Safety of metro-railroad electric power feed system

이재봉*

박원찬**

김우섭***

정성영****

Bong-Jae Lee Weon-Chan Park woo-Seob Kim Seong-Yeong Jeong

ABSTRACT

While road traffic of sharp rise of an international oil price and capital Seoul reaches to critical point, and a use passenger drives recklessly on the subway which is a cradle of public transportation, the depths analyzes an electric power feed system regarding a ground wealth electric car line of the subway Line 2 East Section which is a long distance (Seongsu ~ Gangbyeon), and future, electric power supply Feeder Distribution Center prepares to Operational Headway shortening along an ATO signal method change by feeder increase supplement, and ensure safety to an electric power supply system, and will solve inconvenience of safe operation and use passenger.

1. 서 론

국제 유가의 폭등과 수도 서울의 도로교통이 한계점에 이르러 대중교통의 요람인 지하철에 이용 승객이 폭주하면서, 전력공급 급전점이 원거리인 지하철 2호선 동측구간(성수~강변)의 지상부 전차 선로에 대한 전력 급전시스템을 심층 분석하여 급전선 증설 등의 보완으로 향후, ATO 신호방식변경에 따른 운행시격 단축에 대비하며, 전력공급체계에 안전성을 확보하여 안전운행 및 이용 승객의 불편을 해소하고자 한다.

* 정희원, 서울메트로 기술본부 차장

E-mail : catenarysm@paran.com

TEL : (02)6110-5470 FAX : (02)6110-5469

** 서울메트로 기술본부 주임

E-mail : doldandan@hanmail.net

TEL : (02)6110-5472 FAX : (02)6110-5469

*** 서울메트로 기술본부 주임

E-mail : kws0722@naver.com

TEL : (02)6110-5468 FAX : (02)6110-5469

****서울메트로 기술본부 주임

2. 전력공급 급전용량 검토

선로특성에 따라 전력공급 급전점이 원거리인 지하철 2호선 동측구간(성수~강변)의 지상부 전차선로에 대한 전력 급전시스템을 심층 분석을 하고자 한다.

급전점이 원거리인 관계로 전압강하 발생과 저항손으로 열화 용융손상현상이 발생하였으며, 이러한 원인이 급전선 용량에 영향을 미치는지 판단하기 위하여 급전선, 조가선, 전차선 등의 허용전류를 검토하고, 시뮬레이션 결과와 비교, 검토하여 급전선 용량의 적정성을 판단하고자 한다.

2.1 허용전류 검토

지상부 직류 전차선로의 등가회로는 아래 그림1과 같이 조가선, 전차선의 급전선이 병렬로 설치되어 있어 부하전류는 이 3개 선로로 나뉘어 흐르게 된다. 따라서 급전선로의 용량을 검토하기 위해서는 각각의 회로 선로정수를 계산하여야 한다.

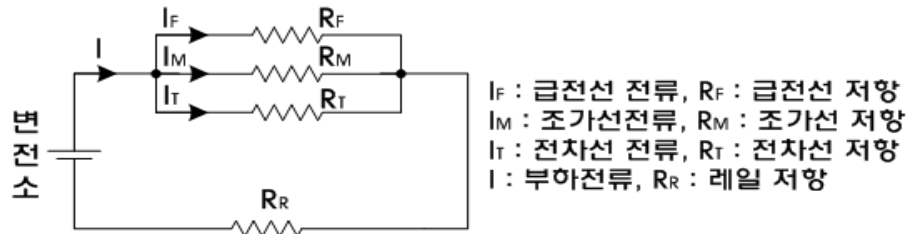


그림 1. 지상부 전차선로 등가회로

표 1. 사용 전선 특성표

항 목	규 격	전기저항 (20℃, Ω/km)	비 고
급전선	AL 510mm ² ×2	$(0.0563 \times \frac{1}{2}) = 0.02815$	
조가선	ST 135mm ²	1.43	
전차선	원형 170mm ²	0.1040	마모한도 87.45mm ²
레일	60kg	0.0098(누설30%)	

그리고 3개 선로에 흐르는 전류는 각각의 저항에 반비례해서 흐르게 되며 그 전류들의 계산식은 다음과 같다.

$$I_F = \frac{R_M R_T}{R_M R_T + R_T R_F + R_F R_M} \times I_0$$

$$I_M = \frac{R_T R_F}{R_M R_T + R_T R_F + R_F R_M} \times I_0$$

$$I_T = \frac{R_F R_M}{R_M R_T + R_T R_F + R_F R_M} \times I_0$$

I_F : 급전선에 흐르는 전류[A], I_M : 조가선에 흐르는 전류[A]

I_T : 전차선에 흐르는 전류[A], I_0 : 전부하전류

R_F : 급전선의 저항[Ω/km], R_M : 조가선의 저항[Ω/km]

R_T : 전차선의 저항[Ω/km]

여기서, 급전선 HAl 510[mm²]× 2조, 조가선 St 135[mm²], 전차선 Cu 170[mm²], 전 부하전류가 100[A] 흘렀다고 가정하면 각각의 전류는 다음과 같다.

$$I_F = \frac{1.43 \times 0.1040}{(1.43 \times 0.1040) + (0.1040 \times 0.02815) + (0.02815 \times 1.43)} \times 100 \\ = 77.5[A]$$

$$I_M = \frac{0.1040 \times 0.02815}{(1.43 \times 0.1040) + (0.1040 \times 0.02815) + (0.02815 \times 1.43)} \times 100 \\ = 1.5[A]$$

$$I_T = \frac{0.02815 \times 1.43}{(1.43 \times 0.1040) + (0.1040 \times 0.02815) + (0.02815 \times 1.43)} \times 100 \\ = 21[A]$$

따라서 급전선회로에서 부하전류에 대한 급전선, 조가선, 전차선의 부하전류 분담비율은 77.5 : 1.5 : 21 이 됨을 알 수 있다.

2.2 허용전류 계산

2.2.1 전차선의 허용전류

전차선(Cu 170mm²) 허용전류는 신선의 경우와 마모한계까지 도달했을 때의 허용전류를 각각 구한다.

(1) 신선의 경우

$$K = 1.5878 \times 10^{-3} + (8.805674 \times 10^{-4} - 0.1/\pi \times 50) \times 0.9 \\ = 1.8954 \times 10^{-3} [w/^{\circ}C \cdot cm^2]$$

$$I = [(1.8954 \times 10^{-3} \times \pi \times 1.549 \times 50) / (1 \times 0.13261 \times 10^{-5})]^{1/2} \\ = 589.57 \\ \approx 590[A]$$

(2) 마모후의 경우

$$K = 2.143 \times 10^{-3} + (8.805674 \times 10^{-4} - 0.1/\pi \times 50) \times 0.9 \\ = 2.450 \times 10^{-3} [w/^{\circ}C \cdot cm^2]$$

$$I = [(2.450 \times 10^{-3} \times \pi \times 0.85 \times 50) / (1 \times 0.25779 \times 10^{-5})]^{1/2} \\ = 356.13 \\ \approx 356[A]$$

이와 같이 전차선의 경우 마모한계치에 도달한 전차선의 허용전류는 신선에 비하여 약 60%대로 감소함을 알 수 있다.

2.2.2 조가선의 허용전류

아연도강연선(st 135mm²)으로 구성된 조가선의 허용전류를 계산하면 다음과 같다.

$$K = 1.614 \times 10^{-3} + (8.805674 \times 10^{-4} - 0.1/\pi \times 50) \times 0.9$$

$$= 1.83356 \times 10^{-3} [w/^{\circ}C \cdot cm^2]$$

$$I = [(1.83356 \times 10^{-3} \times \pi \times 1.5 \times 50) / (1 \times 1.9305 \times 10^{-5})]^{1/2}$$

$$= 149.5575$$

$$\approx 150 [A]$$

2.2.3 급전선의 허용전류

HAl 510[mm²] 2회선을 사용하고 있는 급전선의 허용전류를 계산하면 다음과 같다.

$$K = 1.1525 \times 10^{-3} + (8.805674 \times 10^{-4} - 0.1/\pi \times 50) \times 0.9$$

$$= 1.3721 \times 10^{-3} [w/^{\circ}C \cdot cm^2]$$

$$I = [(1.3721 \times 10^{-3} \times \pi \times 2.94 \times 50) / (1 \times 0.0698 \times 10^{-5})]^{1/2}$$

$$= 952.793$$

$$\approx 952 [A]$$

지상구간에서는 급전선을 2회선 시공하기에 2조의 허용전류 I는

$$I = 952.793 \times 2 \times 0.9$$

$$= 1.713.6$$

$$\approx 1.714 [A]$$

가 된다.

여기서, 2조의 병행 감쇄율은 0.9로 계산하였다.

2.2.4 가공 전차선의 허용전류

지금까지 계산식에 의해 구해진 급전선, 조가선, 전차선의 총 허용전류는 다음과 같다.

- 급전선 HAl 510[mm²] 2회선 : 1,714[A]
- 조가선 St 135[mm²] : 150[A]
- 전차선 Ccu 170[mm²] : 590[A](마모 후 356[A])

따라서 지상부 전차선로의 허용전류는 2,454[A]가 된다. 그러나 전차선로의 한계치를 고려하기 위해서는 전차선이 마모한계치가 도달 했을 때를 고려하여야 하기 때문에 이것을 고려한다면 전차선 마모 후 356[A]을 적용하여 2,220[A]가 된다.

2.3 전력시뮬레이션

급전용량에 대한 전차선로의 허용전류에 적정여부를 판단하기 위하여 강변~성수구간에 대하여 전력시뮬레이션을 실시하였다.

차량의 운행조건 및 부하공급조건을 고려하여 실시한 결과 다음과 같은 부하전류치가 계산되었다.

○ 내, 외선 부하전류

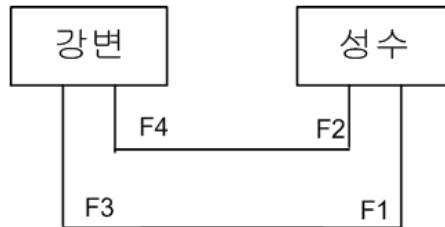


그림 2. 급전 계통도

표 2. 구간 별 부하전류 표

구분	강변 변전소	성수변전소	허용전류	차
내선	F4 : 3,398[A]	F2 : 3,211[A]	2,454[A]	-944[A]
외선	F3 : 1,772[A]	F1 : 1,951[A]	2,454[A]	503[A]

시뮬레이션 결과를 보면 내선측 선로와 외선측 선로의 부하전류 불균형이 심함을 알 수 있다. 특히 내선의 경우 강변변전소 F4에서 급전되는 부하전류가 3,398A로 앞서 계산하였던 전차선 허용전류인 2,220[A]를 크게 초과함을 알 수 있다.

이와 같은 용량부족으로 실제 현장 점검결과 외선에 비하여 내선측 급전선이 부하전류의 과다로 아-크 손상 부위가 많이 발생함을 알 수가 있다.

따라서 차량의 안전운행 확보 및 전차선로의 안정성 확보를 위하여 대책이 요구된다.

3. 급전시스템 보강대책

전차선로 허용전류의 적정성 여부를 판정하기 위하여 선로 구성요소의 허용전류와 전력시뮬레이션 등을 실시하였다.

현 상태로 전차선로 용량이 안전운행을 위한 용량이 크게 부족하므로 이에 대하여 아래와 같이 검토하여 대책을 강구하였다.

3.1 급전선 1회선 추가 증설(5.03km)

현재 경알루미늄연선(510mm²) 2회선으로 시공하여 운용중인 급전선을 내선측에 1회선을 추가 시공하여 허용전류 용량을 증설하였다.

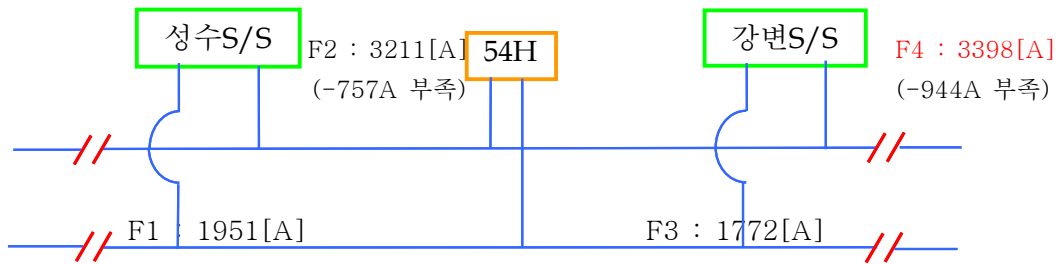
급전선(AL 510mm²) 1가닥의 허용전류가 857A(병행감쇄계수 적용)이므로 3회선 방식으로 시공하였을 때의 허용전류는 3,311[A]가 확보된다.

○ 성수~강변(내선) 3,398A, 87A 부족

3.2 타이포스트 설치(건대입구)

성수~강변구간의 전차선로 시뮬레이션 결과를 보면 내, 외선의 부하의 불균형이 큼을 알 수 있다. 따라서 내선과 외선간을 타이포스트를 설치함으로써 부하를 분배하게 되면 충분한 전차선 용량을 확보할 수 있다.

- 타이포스트만 설치 시 급전선 허용전류(내,외선) 4,908A,
- 부하 분담전류 5,166A, 258A 부족



$$I = \frac{1,951 + 3,211 + 1,772 + 3,398}{2} = 5,166[A]$$

그림 3. 구간별 전차선로 부하 분담전류 분포도

3.3 급전선 1회선 증설과 타이포스트 병행설치

- 급전선 허용전류 : 5,765[A]
- 타이포스트 부하 분담전류 : 5166[A]
- 여유량 : 599[A](여유율 10%)

4. 운행부하 측정

4.1 개요

성수~강변 간 전차선로의 중앙에 전압강하 방지 및 허용전류 보상을 위하여 타이포스트(T/P)를 설치하고 운용(투입)전, 후에 성수~강변 간 전차선로의 전압강하 및 부하전류 변화상태를 분석하여 전력계통 운용에 활용하고자 한다.

4.2 측정내용

구분	측정일	장소	측정기기	항목	비고
T/P 개방	2008.1.31 17:00 ~ 2.1 16:00	강변 (54F3,54F4)	LR4110	전류	
	2008.1.31 17:00 ~ 2.1 16:00	성수 (54F1,54F2)	테베트론	전류,전압	
	2008.2.28 17:00~ 2.29 16:00~	건대T/P	테베트론	전류,전압	
T/P 투입	2008.2.4 17:00 ~ 2.5 16:00	강변 (54F3,54F4)	LR4110	전류	
	2008.2.4 17:00 ~ 2.5 16:00	성수 (54F1,54F2)	테베트론	전류,전압	
	2008.2.27 17:00~ 2.28 16:00~	건대T/P	테베트론	전류,전압	

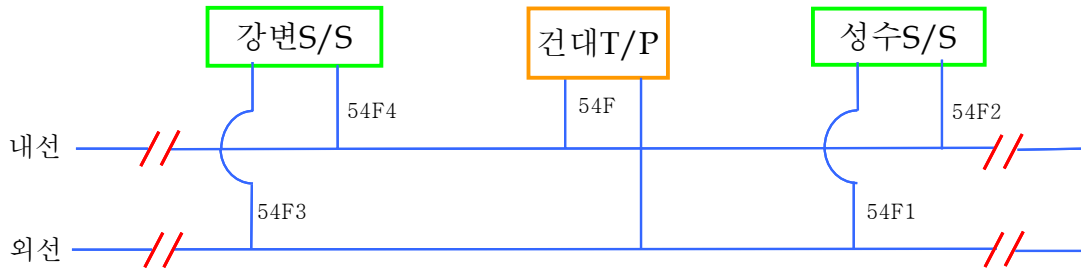


그림 6. 전력공급계통(성수~강변)

4.3 부하측정

건대역 타이포스트(T/P)를 투입 또는 개방 후에 각 1일씩 전력분석기를 이용하여 성수~강변 간 전압 및 전류를 측정하였으며, 분석은 측정된 데이터를 시간대별로 비교하여 분석하였다.



그림 7. 전력분석기(데베트론)



그림 8. 전력분석기(LR4110)

4.4 분석

4.4.1 전압강하

측정기간 동안 최저 전압은 건대입구역 T/P 개방시 내선은 2008.02.29 09:00분경 1366[V]로 나타났으며, 외선은 2008.02.29 08:40분경 1386[V]로 측정되었다.

건대입구역 T/P 투입 후는 2008.02.28 9:10분경 1416[V]로 T/P 개방시 보다 높게 측정되었다.

전압강하는 주로 러쉬아워 시간대(07:00~09:00, 18:30~20:30)에 집중적으로 발생되었고, 건대T/P 투입 후 소폭의 전압강하가 보상된 것으로 나타났으며, 전체적으로 전압 변동율이 줄어들어 급전계통의 안정성이 향상된 것으로 측정되었다.

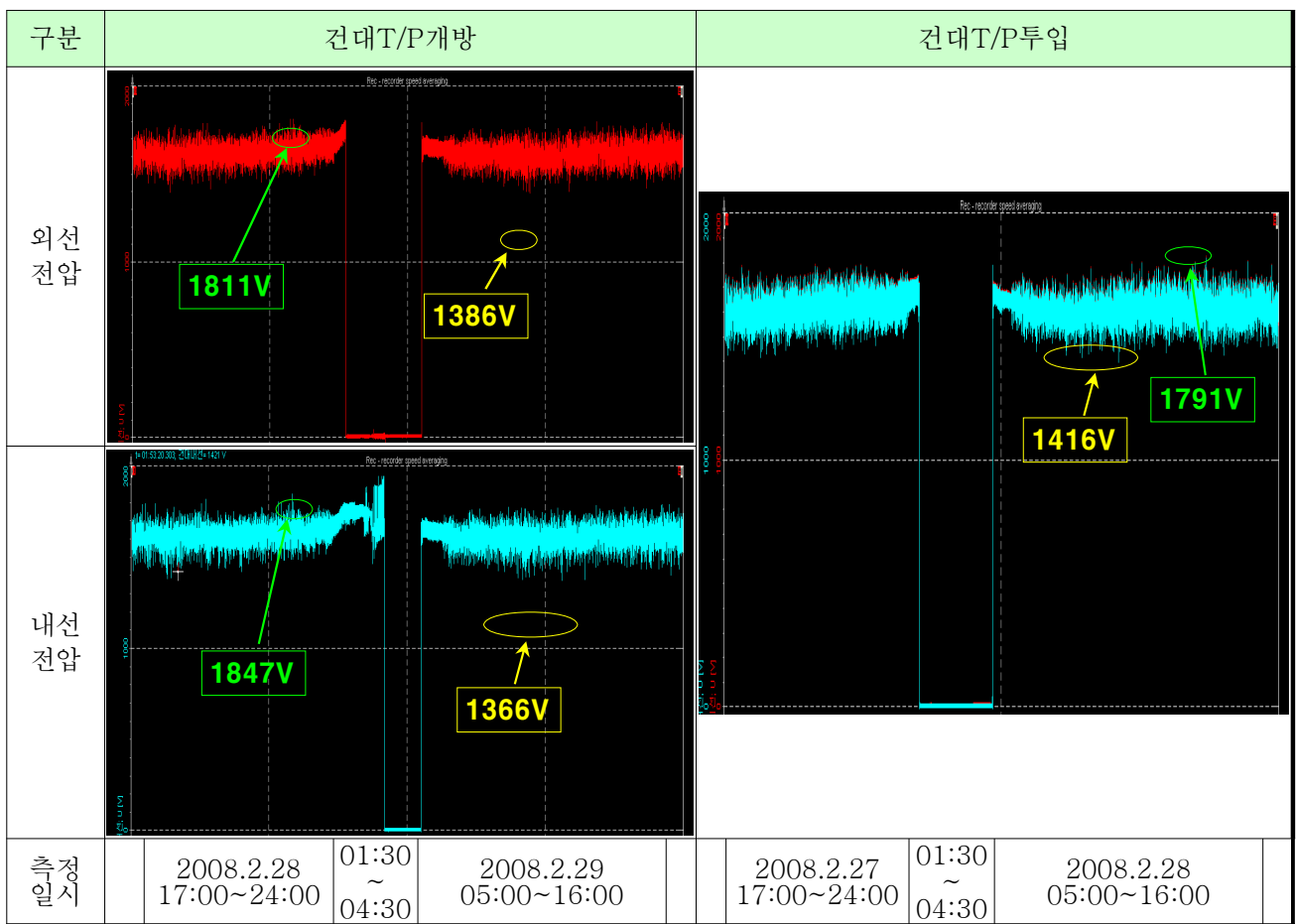


그림 9. 구간별 전압강하

4.4.2 부하전류

최대 부하전류는 건대T/P 개방시 내선은 2008.01.31 19:40분경 3,670[A], 외선은 2008.02.01 08:50분경 4,671[A]로 나타났으며, 건대T/P 투입 후 내선은 2008.02.04 20:00분경 3,090[A], 외선은 2008.02.05 9:00분경 3.264[A]로 측정되었다.

최대 부하전류도 러쉬아워 시간대에 주로 발생하였고, 건대T/P 투입후 부하전류가 내, 외선으로 분담된 것으로 알 수가 있었다.

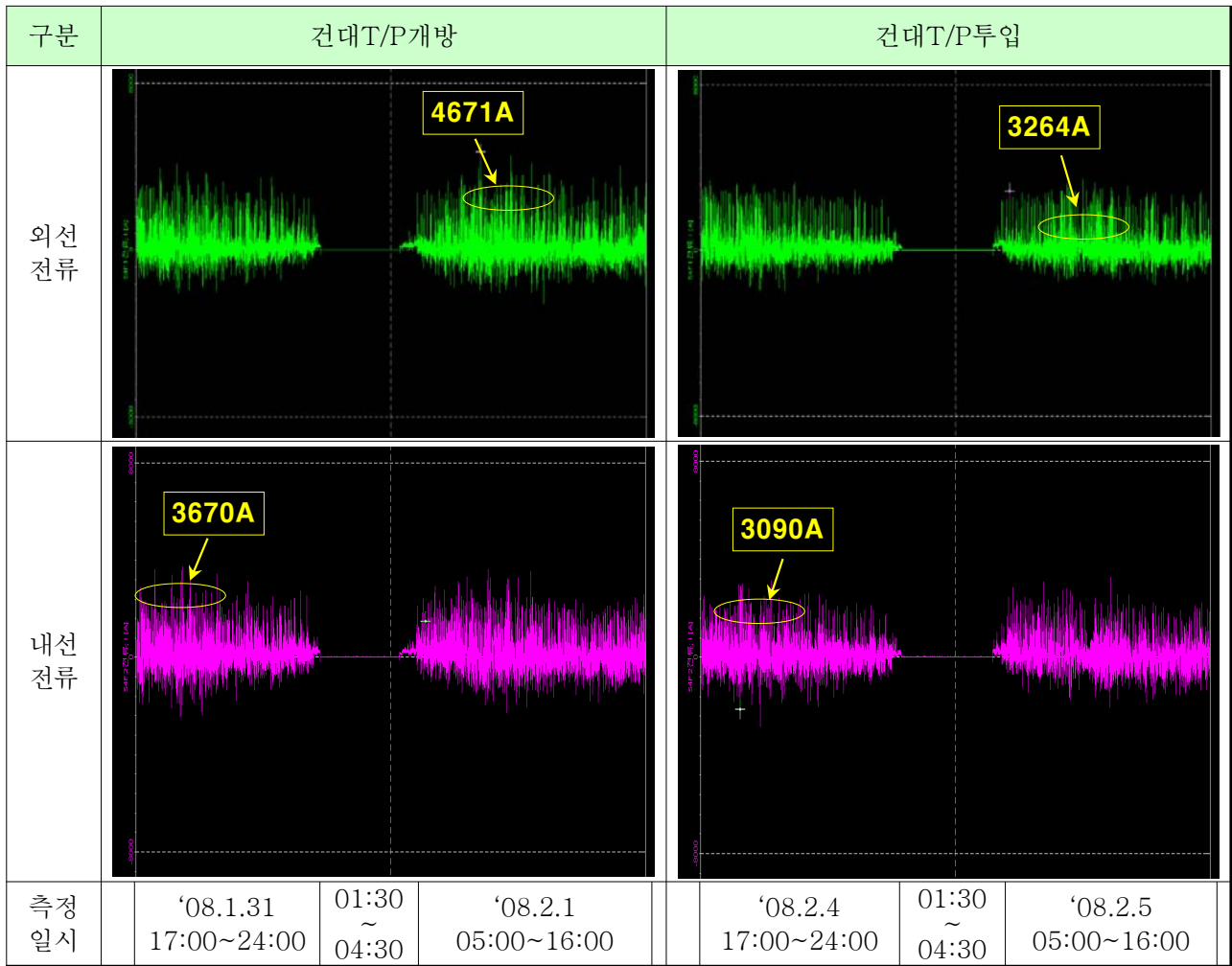


그림 10. 구간별 부하전류 현황

5. 결 론

이용 승객의 증가 및 향후 ATO 신호방식변경에 따른 운행시각 단축에 대비하여 전력공급시스템의 적정성을 검토하였는바, 부하과밀지역에 대하여 부하전류의 증가분에 대한 전차선로 허용전류 부족분의 해결방안으로 급전선 1회선 증설과 전압강하 방지 및 운전전류 분담을 위하여 타이포스트(T/P)를 설치하여 이용 승객이 폭주하는 러시아워 시간대에 타이포스트를 운용함으로써 안정적인 전력공급을 확보하였다.