

전기철도 급전시스템의 안정화를 위한 전압강하 측정 결과 분석

김주락*, 이영흠**
 한국철도기술연구원*, 한국철도시설공단**

Measurement and Analysis of Voltage Drop in Traction Power Supply System

Joorak Kim*, Young-Heum Lee**
 Korea Railroad Research Institute*, Korea Railroad Network Authority**

Abstract - Load capacity varies according to a day of the week in traction power supply system, because time schedule in railway is changed as demand for passengers and freights. Therefore, Voltage drop also varies as load capacity. In Korea railway, Voltage collected from catenary in train is decreased, as load supplied traction power supply system is increased. Therefore, investigation about voltage drop should be performed, before development of countermeasure against voltage drop. The investigation can be performed by simulation or field test. Naturally, field test is more precise than simulation. In addition, field test should be carried out at peak load. This paper presents test and analysis about voltage drop in railway. The test is performed in both a day of the week and weekend. The analysis is figured out comparison load capacity between two days and voltage drop across terminal.

1. 서 론

교류 전기철도에서 전기차에 전력을 공급하는 급전시스템의 용량 설계의 중심에는 주변압기(스코트 변압기)의 용량이 있다. 이 주변압기의 용량은 대개 30년 후에 공급해야 할 부하를 예측하여 그 값의 1시간 평균값에 근거하여 설계하고 있다. 또한 이 1시간 평균 부하에 전력을 공급했을 때 차량에서 집전한 전압의 한계도 검토하고 있다. 즉, 차량에서 집전하는 전차선 전압이 19kV 이상으로 유지되는지를 검토하는 것이다. 물론, 부하의 크기에 따라 전차선 전압의 크기가 연동하는 것이지만 설계 측면에서 두 요소는 다소 차이가 있다. 즉, 주변압기의 용량이 부하의 크기에 비하여 충분한 상태이지만 약 20~30km 떨어진 선로의 말단에서는 전압강하가 발생하여 진입한 열차의 전압이 19kV 이하로 떨어질 수 있는 것이다.

그러나 모든 설계가 미래를 예측한 것이기 때문에 현재 운영중인 설비의 현황과는 차이가 있을 수 있다. 그 차이는 대부분 열차 운행 계획의 차이에서 발생한다. 즉, 설계 당시에 예측한 열차 운행 횟수가 반드시 개통후의 횟수와 동일하지 않기 때문에 변전소에서 공급하는 부하량이 달라지며, 그에 따라 전압강하도 예측과 달라질 수 있다. 따라서 현재 운영 설비의 변전 용량 및 전압강하의 적정성을 판단하기 위해서는 현장 측정이 가장 좋은 방법이다.

이에 따라 본 논문에서는 국내 전기철도의 대표적인 경부고속철도 급전시스템을 대상으로 부하크기와 전압강하 특성을 측정하여 전력공급 능력을 분석한다.

2. 경부고속철도 급전시스템

2.1 급전시스템 구성

경부고속철도는 선로 최고 속도 300km/h의 고속 전용선로이다. 이 선로에서 운행하는 KTX는 정격 부하가 약 15MVA로서 국내 운행중인 차량 중 단위 부하 용량이 가장 크다. 따라서 KTX에 전력을 공급하는 경부 고속철도의 급전시스템도 설비 용량면에서 국내 최대이다. 따라서 다른 선로와 전력공급시스템의 설비에서는 큰 차이가 없지만 용량면에서는 당연히 차이가 있다.

급전시스템의 전력공급 용량은 한국전력으로부터 3상 전력을 수전받아 차량에 공급하는 국내 철도의 특성상 주변압기 용량이 전체 시스템의 전력공급 용량을 대변하게 된다. 따라서 경부고속철도와 일반 철도와 주변압기 용량은 차이가 있으며, 본 논문에서는 경부고속철도를 대상으로 주변압기의 용량에 대한 적정성을 검토하기 때문에 일반 철도는 논외로 한다.

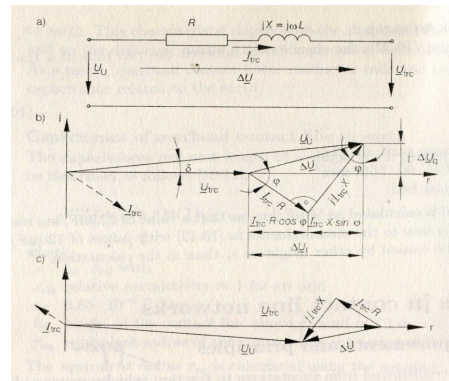
표 1은 경부고속철도의 견인전력을 공급하는 변전소를 서울을 기점으로 거리 순서로 나타낸 것이다.

〈표 1〉 경부고속철도 변전소

변전소명	용량	kmp
안산	90 MVA	34km818
평택	90 MVA	76km272
신청주	90 MVA	130km236
옥천	90 MVA	182km023
김천	90 MVA	233km751
대구	60×2 MVA	282km395
울산	90 MVA	354km984
부산	90 MVA	387km141

2.2 급전시스템의 전압강하

급전시스템은 그림 1에서 보듯이 주변압기와 함께 약 8~10km 마다 위치한 단권변압기 그리고 전차선로로 구성되어 있기 때문에 각 설비들이 가진 임피던스로 인하여 각 선로 위치에 따라 전압강하가 발생하게 된다. 그림 1은 전압강하를 계산하기 위한 간략한 등가 회로이다.



〈그림 1〉 급전시스템의 전압강하 계산

그림 1에서 전압강하는 식 (1)과 같다.

$$\Delta U_l = I (R I_{trc} \cos \phi + X' I_{trc} \sin \phi) \tag{1}$$

$$\Delta U_q = I (X' I_{trc} \cos \phi - R I_{trc} \sin \phi)$$

$$\Delta U = (U_u - U_{trc}) = I I_{trc} (R + jX')$$

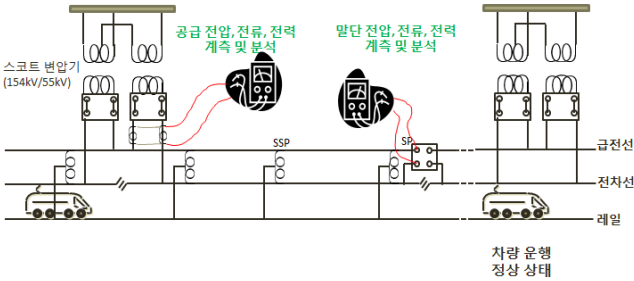
식(1)에서 보듯이 급전시스템의 전압강하는 변압기 등의 내부 임피던스와 전차선로의 임피던스에 의해 나타난다. 그러나 전차선로의 임피던스에 의한 전압강하가 매우 크기 때문에 전체 전압강하는 전차선로에서 나타난다고 볼 수 있다. 이러한 전압강하는 차량 부하의 크기와 반비례한 특성을 가진다. 그러나 때로 주변압기의 용량이 부족하지 않아도 심각한 전압강하가 발생할 때도 있다. 이것은 20~30km의 수평적(horizontal)으로 공급되는 철도의 특징으로 볼 수 있다. 현재 전압강하는 한국철도시설공단의 전철전력 설계지침으로 제한되고 있으며, 국제적으로는 IEC60850, EN50860 등이 있다[1].

3. 전압강하 측정

본 논문에서는 경부고속철도의 전력공급 상태를 검토하기 위해 실측을 통한 공급부하와 함께 전압강하 특성을 검토하였다.

3.1 측정 방법

그림 2는 전압강하 실측을 위한 측정 방법을 보여준다. 본 시험이 주목적이 부하 크기와 전압강하에 있으므로 전원 공급점인 변전소와 말단인 구분소를 동시에 측정한다. 두 지점의 시간 동기는 GPS를 이용한다.



〈그림 2〉 급전시스템의 전압강하 측정

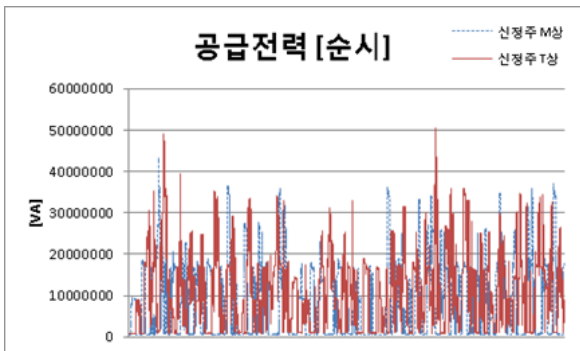
그림 2와 같은 측정 환경에서 가장 중요한 부하 조건은 표 2와 같다. 표와 같이 요일에 따라서 열차 운행 회수가 달라 측정 일시가 전압강하의 중요한 요소가 되기 때문에 본 연구에서는 평일 중 운행회수가 가장 많은 금요일에 측정을 하였다.

〈표 2〉 경부고속철도 열차 운행회수

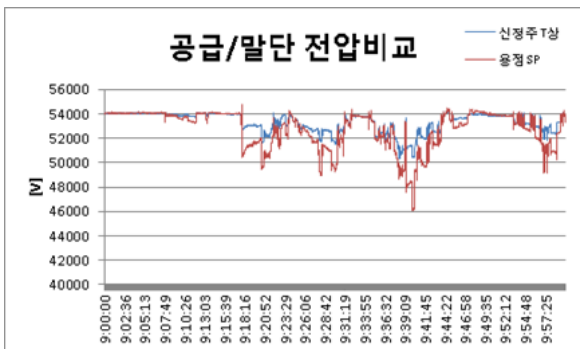
요일	열차회수
월요일	176회
화, 수, 목요일	172회
금요일	215회
토, 일요일	222회, 221회

3.2 측정 결과

그림 3 및 4는 신청주 변전소의 측정 결과를 보인 것이다. 경부고속철도 급전시스템의 측정 결과 신청주 변전소가 가장 부하가 높게 나타나 그 결과를 보인 것이다. 신청주 변전소의 부하가 높은 이유는 경부 및 호남선의 모든 열차가 신청주 변전소 구간을 통과하기 때문이다.



〈그림 3〉 신청주 S/S 공급 전력(부하)



〈그림 4〉 신청주 S/S 전압강하

〈표 3〉 신청주 변전소 부하 측정 결과

신청주 S/S	1시간 평균최대	15분 평균최대	순시최대
M상	11.93MVA	15.72MVA	43.23MVA
T상	14.52MVA	20.01MVA	58.85MVA

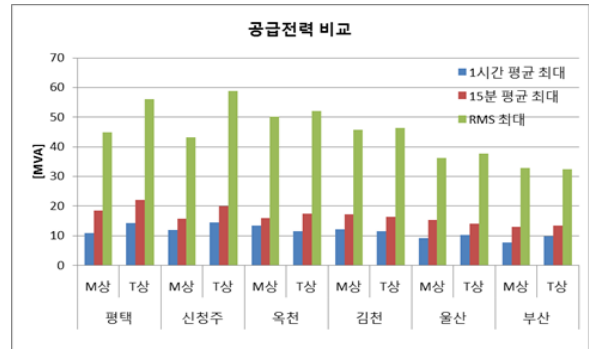
〈표 4〉 신청주 변전소 전압강하 측정 결과

항 목	T상 전압		M상 전압	
	신청주 [V]	용정 [V]	신청주 [V]	회덕 [V]
최 소	50,172	47,923	47,410	41,645
최 대	54,742	55,049	55,163	55,499

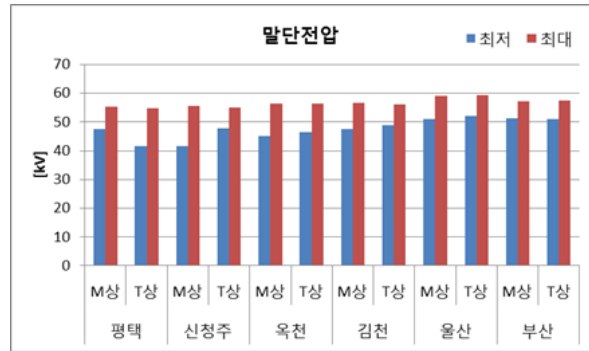
표 3과 4는 각각 신청주 변전소의 부하크기와 전압의 최대, 최소값들을 보인 것이다. 부하의 경우 1시간 평균 기준으로 용량 대비 약 30%가 사용되고 있으며, 전압은 구분소 기준으로 최대 14kV 강하한 것으로 나타났다.

3.3 측정 결과 비교

그림 2는 전압강하 실측을 위한 측정 방법을 보여준다. 본 시험이 주목적이 부하 크기와 전압강하에 있으므로 전원 공급점인 변전소와 말단



〈그림 4〉 신청주 S/S 전압강하



〈그림 4〉 신청주 S/S 전압강하

3. 결 론

본 논문에서는 경부고속철도의 전력공급 상태를 검토하기 위해 실측을 통한 공급부하와 함께 전압강하 특성을 검토하였다. 측정 결과 통과 열차 회수가 높은 신청주 변전소 부하가 가장 높게 나타났으며, 전압강하 또한 유사하였다. 또한 부하 대비 주변압기의 용량은 충분하며, 이것은 설계시 30년 후의 부하와 연장급전을 고려하였기 때문이다. 따라서 현재 부하 상태를 기준으로 경부고속철도의 전력공급은 매우 양호하며, 전압강하 또한 양호하다는 것을 알 수 있다. 다만, 연장급전시에 대비한 검토는 별도로 필요할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] 김주락, "전기철도 일형식 부하 크기에 따른 전압강하 측정 및 분석", 한국철도학회 춘계학술대회논문집, 2011
- [2] 김정철, '전기철도의 급전시스템과 보고', 2004
- [3] 이상무, '경부고속철도 서울-대구구간 전력품질 안정화대책연구', 2003