

교류 급전시스템 성능검증을 위한 시험방안에 관한 연구

정호성* 이기원* 김주락* 한문섭* 김진희*
한국철도기술연구원*

A Study on tests process for verification of AC Traction system performance

Hosung Jung* Kiwon Lee* Joorak Kim* Moonseob Han* Jinhee Kim*
Korea Railroad Research Institute*

Abstract - AC substation of urban transit supplies a suitable AC power on electricity vehicles. AC substation is verified electrical safety of system through pre-operation inspection on electrical installations to be supplied power from KEPCO. However, because test items and method for AC traction system are unprepared on pre-operation inspection, the general safety and performance verification of AC traction system are very insufficient. Therefore this paper analyze the test examples such as factory equipment tests, factory combined tests and railway tests for the safety and performance verification of AC traction system and present a suitable test items and test standard in domestic.

1. 서 론

국내 도시는 운행하는 도시철도 시스템의 경우 전력공급방식에 따라 직류 급전시스템과 교류 급전시스템으로 크게 나누어진다. 직류 급전시스템의 경우 도시철도법에서 시스템에 대한 표준규격을 제시하고 성능검증을 위한 성능시험기준을 마련하고 있다. 교류 급전시스템의 경우 철도안전법에 의한 종합시운전시행지침에 따라 성능검증을 위한 시험항목을 제시하고 있다. 하지만 최근 들어 다양한 사업 방식이 추진되고 있으며, 종합시운전시행지침에서도 도시철도에 적합한 시험방법이 명확하게 제시되어 있지 않아 시스템의 전반적인 안전성 및 성능 검증이 부족한 실정이다[1].

따라서 본 논문에서는 도시철도 교류 급전시스템에 대한 안전성 및 성능 검증을 위해 시스템에 대해 기본적인 요구사항을 제시하고 국내외에서 수행되고 있는 시험에 대한 사례 분석을 통해 국내에 적합한 성능 시험 방안을 제시한다.

2. 본 론

2.1 요구사항

변전소의 전력기기는 공칭, 과도 및 서지전압에 대한 견딜 수 있어야 하며 정격부하 및 단시간 과부하에 대해서도 전류를 공급할 수 있는 성능을 갖춰야 한다. 또한 차량에 전력을 공급하는 전차선의 공칭 공급전압의 경우에는 IEC 60850에 규정된 범위의 전압을 유지해야 한다[2].

<표 1> 교류 25kV 공급전압

전압	Vmin2	Vmin1	Vn	Vmax1	Vmax2
AC (평균값) [kV]	17.5	19	25	27.5	29
Vn (공칭 전압): 시스템의 설계값 Vmax1 (지속성 최고 전압): 무한정 지속될 것으로 예상되는 전압의 최고값 Vmax2 (비지속성 최고 전압): 지속시간이 5min 이하로 예상되는 전압의 최고값 Vmin1 (지속성 최저 전압): 무한정 지속될 것으로 예상되는 전압의 최저값 Vmin2 (비지속성 최저 전압): 지속시간이 10min 이하로 예상되는 전압의 최저값					

고장전류의 최대값은 변전소 및 급전회로의 설비 구성에 따라 결정되고, 차단기는 최대 고장전류를 차단할 수 있는 성능을 갖추어야 한다. 급전회로의 보호는 설비 자체보호 및 타 보호설비의 오, 부동작으로 인한 고장확대를 방지하기 위한 후비보호 대책을 가지고 있어야 하며, 특히 급전회로 고장의 위치를 추정하기 위한 고장점 표정기능을 갖추어야 한다.

또한 철도전력계통은 전력공급사업자로부터 전력을 공급받고 있기 때문에 전압불평형, 역률, 고조파 등의 전력공급사업자에서 제시한 기준 및 철도 자체의 규정된 값 이내를 유지할 수 있도록 해야 한다.

전차선의 전기적 특성은 전압강하를 최소화하여야 하며, 대기온도 이

상에서 설정된 최대 허용온도에서 견딜 수 있어야 한다. 또한 전차선과 팬터그래프간의 이선으로 인한 방전은 운행 중에 각 방전된 부분과 각 방전의 누적 시간을 종합적으로 측정해야 한다. 이는 전차선의 위치와 인장 등에 대한 허용오차, 팬터그래프의 동적인 움직임 및 대기조건 등과 같은 방전을 생성할 수 있는 약조건을 고려하는 것이다.

또한 전차선과 팬터그래프 간에 접촉 불량은 방전을 유발하고 그에 따라 복사되는 RFI를 생성한다. 이에 대한 국제표준으로 EN50121-2에 정의되어 있으며, 방사되는 RFI의 측정방법과 9kHz ~ 1GHz의 주파수 범위에서 전자기장에 대한 한계를 설정하고 있다.

귀선레일의 경우 변전소로 회귀하는 회로로 사용하며, 레일을 연결하여 공용으로 사용하는 경우에는 차량으로부터 귀로되는 전류가 모든 병렬 선로로 흐르게 되어 있어 귀선 임피던스를 감소하고 전압 강하를 감소시킬 수 있다. 하지만 고장전류가 모든 인접선로로 분산되는 문제와 귀선 레일의 회로가 단선되는 경우 선로 신호회로 영향을 미칠 수 있어 차량 및 신호시스템과의 영향을 고려해야만 한다.

귀선레일의 공유는 IEC 62128-1에서 제시한 전압크기에 대한 인체에 허용되는 전류의 노출을 기준으로 접근 및 접촉 전위의 한계값 이내로 설계 되어야 한다. 이 기준에서는 차량 자체의 전위가 레일전위보다 높을 수 있다는 것을 의미하며 이는 인체가 차량이나 인접한 접지 물체에 접촉하는 지를 반드시 고려해야 한다. 이 기준에서는 운행조건에서의 접촉전압과 고장상태에서의 접촉전압을 지속시간에 따라 제시하고 있으며, 교류 급전시스템의 경우 작업장 또는 이와 유사한 장소에서는 25V를 초과해서는 안 되도록 되어 있다[3].

2.2 성능시험 방안

교류 급전시스템의 성능을 검증하기 위해서는 전철전력설비 자체의 성능과 안전성이 확보되어야 하며, 현장에 설치된 후 자체 기능 검증과 함께 타 설비와의 연계 시의 성능이 검증되어야 한다. 그리고 최종적으로는 가압 후 차량이 운행되었을 때 각 설비 및 시스템에서 요구하는 성능 및 안전성을 만족해야만 한다. 따라서 교류 급전시스템의 성능검증을 위해서는 전철전력설비 자체 성능시험과 전력가압 전과 후 및 차량 운행 시의 시험이 요구된다. 이를 위해 교류 급전설비 자체의 성능 및 안전성을 확인하는 구성품 시험과 차량 운행 전에 구성품이 현장에 설치된 후 설비 상호간의 인터페이스의 성능 및 안정성을 확인하는 구성품 연계시험 그리고 최종적으로 차량 운행에 따른 교류 급전시스템 전반의 성능 및 안정성을 확인하는 차량부하시험으로 구분하여 성능검증 시험이 요구된다.

2.2.1 구성품 시험

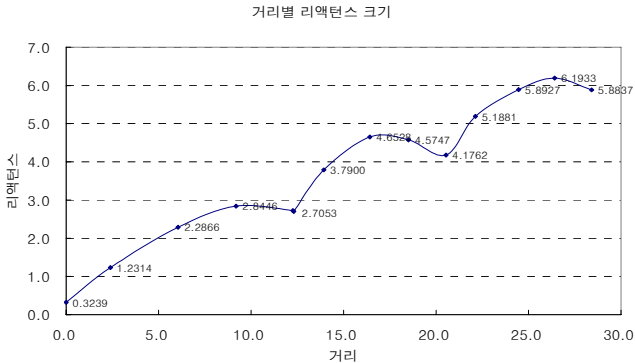
교류 급전시스템에 사용되는 각 기기들은 크게 변압기, GIS(차단기), 전철제어반(보호계전기반, 고장점표정반), 원격감시제어설비, 전차선로 설비 및 상태진단설비 등으로 구성된다. 각 설비는 설비에 요구되는 정격전압, 공칭전류, 단락전류, EMC 시험 등에 적합해야 한다. 이를 위해 최초 제작시 인정시험(공인시험)과 공장시험(입회시험)을 수행해야 하며, 현장에 설치된 후 구성품 자체의 성능을 검증하기 위한 현장시험을 수행해야 한다.

국내의 전력설비 경우에는 파괴시험항목은 공인인증기관의 시험성적서로서 인정시험을 시행하고 있으며, 공장시험 및 현장시험의 경우 발주 기관, 시행사 및 감리사에서 확인하고 있다. 특히 전차선로 설비의 현장 설치 시험은 전문기관에 의뢰하여 설치의 적정성을 검증하고 있다.

2.2.2 구성품 연계시험

구성품 연계시험은 현장에 설치된 전력설비 상호간의 인터페이스 동작이 원활하게 이뤄지는 지를 검증하는 시험으로 원격감시제어설비와 현장의 전력설비간의 연동시험, 전철용 제어반과 GIS의 동작시험, 보호계전기 동작시험 등을 시행하고 있으며, 이러한 시험은 발주기관, 시행사 및 감리사에서 확인하고 있다.

최근에는 보호계전기 및 고장점 표정장치 정정을 위해 교류회로의 임피던스를 측정하기 위한 교류회로 특성시험이 수행되고 있으며, 정정된 보호계전기 및 차단기의 동작 검증 및 고장점 표정장치의 정확도를 확인하기 위해 강제지락고장 시험을 일부 수행하고 있다. 그림 1은 고장점 표정장치 정정을 위해 거리별 리액턴스의 크기를 측정한 시험사례이다.



〈그림 1〉 거리별 리액턴스 측정사례

2.2.3 차량부하시험

차량부하시험은 차량의 운행에 따른 교류 급전시스템의 성능 및 안정성을 검증하는 시험으로 전차선로의 동적성능 평가시험, 전철변전소 특성시험, SCADA 실증시험, 연장급전회로 시험 및 EMI 시험 등이 있다. 전차선로 동적성능 평가시험에서는 전차선로의 설치상태와 팬터그래프 전차선로간의 동적 인터페이스 성능을 확인하기 위하여 차량의 최고 운행 조건에서 전차선의 동적 편위 및 습동상태와 곡선당김급구 압상량, 아크 발생량을 측정하는 시험이다.

전철변전소 특성시험은 도시철도차량이 운행될 때 전구간의 변전소 및 도시철도차량의 전압, 전류를 측정, 분석하여 전압불평형, 고조파 크기를 확인하고, 운행 패턴에 따른 최대 소비전력 및 회생전력발생시의 전압변동율을 측정, 분석하는 시험이다. 그림 2는 차량 운행에 따른 고조파 크기를 측정, 분석한 시험사례이다[4].

○ 전압불평형 기준(T상)

$$- \frac{R상, S상, T상의 평균전압 - T상 10분 평균전압}{R상, S상, T상의 평균전압} \times 100 < 1\%$$

$$- R상, S상, T상의 평균전압 = (R상 10분 평균전압 + S상 10분 평균전압 + T상 10분 평균전압) \div 3$$

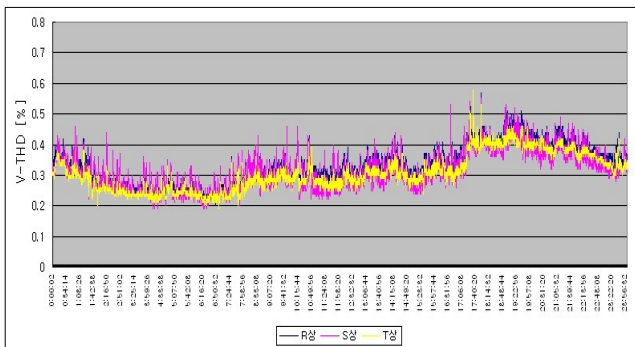
○ 고조파 기준

$$- V-THD = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \times 100\%$$

계통전압	지중선로가 있는 변전소에서 공급하는 수용		가공선로만 있는 변전소에서 공급하는 수용	
	전압왜형률(%)	등가방해전류(A)	전압왜형률(%)	등가방해전류(A)
66kV	3	-	3	-
154kV	1.5	3.8	1.5	-

○ 전압변동률 기준

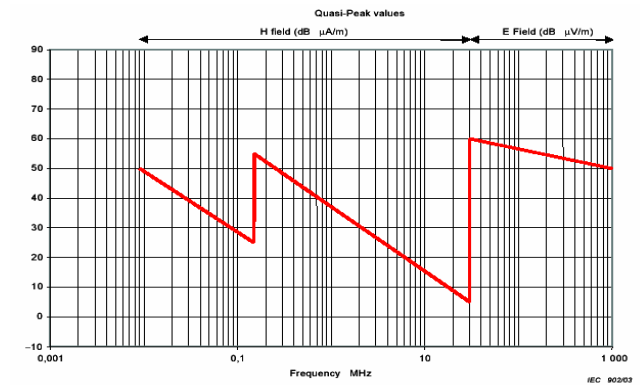
- 최대 소비전력 및 회생전력 발생시 전압변동률이 10% 이내



〈그림 2〉 고조파 크기 측정사례

SCADA 실증시험은 교류 급전시스템의 정상동작중에 SCADA 시스템과 변전소 피감시 및 제어설비 간의 정상적인 동작을 확인하는 시험이며, 연장급전 회로시험은 연장급전을 위해 급전계통의 회로절체가 SCADA에서 안정적으로 수행되는 가를 확인하고 연장급전조건에서 변전소 및 도시철도차량의 전압을 측정, 분석하고 보호계전기의 동작 특성 및 오동작 여부를 확인하는 시험이다.

전철변전소 EMI시험은 철도 구역이나 외부에서 들어올 수 있는 자기장과 RFI 방출을 측정하는 시험으로 전자파로 영향을 받기 쉬운 장치와의 적합성을 입증해야 하고 인체에 대한 노출 정도를 최소화하기 위한 시험이다. 방사 수준은 철도용 설비 및 외부 소유장비에 대해 구분해야 하는데 경계펜스로부터 3m 거리에서 노출정도는 인체에 대하여 권고하는 노출수준을 초과하지 않아야 한다. 표준규격 EN50121-2에서는 변전소 펜스 3m 거리에서 자기장은 정격하중의 50A/m을 초과하지 않고 과부하나 단락에서 500A/m을 초과하지 않도록 규정하고 있으며, 단락조건에서 10배의 증가도 가능하다고 말하고 있다. 그림 3은 EN50121-2에서 제시한 방사성 잡음 제한값을 나타낸 것이다.



〈그림 3〉 방사성 잡음 제한값

이와 같은 차량부하시험은 발주기관, 시행사 및 감리사에서 일부 시행되고 있었으며, 보다 체계적인 시험을 위해 철도안전법의 종합시운전시험지침에서 시험항목을 제시하고 있다. 하지만 종합시운전시험지침에서도 시험항목에 대해서는 제시되어 있으나 시험항목별 시험방법 및 절차 등이 명확하지 않고 시험을 수행하는 기관 및 장비에 대한 검증 절차도 제시되어 있지 않고 있어 향후 이에 대한 대책이 요구된다.

3. 결 론

본 논문에서는 도시철도 교류 급전시스템에 대한 안전성 및 성능 검증을 위해 시스템에 대해 기본적인 요구사항을 제시하고 국내외에서 수행되고 있는 시험에 대한 사례 분석을 통해 국내에 적합한 성능시험 방안을 제시하였다. 이를 위해 교류 급전시스템에서의 급전 및 차량에서의 전압기준, 보호시스템의 동작조건과 전차선로 설비의 설비 요구사항 및 전압강하 및 EMI 성능과 귀선회로에서의 기본적인 요구사항을 제시하였다. 또한 성능시험 방안으로는 크게 전력설비 자체의 성능검증을 위한 구성품 시험과 설비 상호간의 인터페이스를 위한 구성품 연계시험, 그리고 차량운행에 따른 차량부하시험으로 나누어 각 시험항목 및 기준 그리고 국내 시험사례를 제시하였다.

향후 이러한 시험항목에 따른 성능검증을 위해 보다 구체적인 시험방법 및 절차 등이 제시되어야 하며, 또한 시험을 수행하는 기관 및 장비에 대해서도 검증도 요구된다.

감사의 글

본 연구는 국토해양부 도시철도표준화2단계연구개발사업의 연구비 지원(07도시철도표준화A01)에 의해 수행되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국철도기술연구원, “도시철도 전력시스템 표준화 연구”, 2007
- [2] 기술표준원, “KS C IEC60850, 철도용 견인시스템의 공급전압”, 2002
- [3] 기술표준원, “KS C IEC 62128-1 철도용 고정설비-제1부 : 전기안전 및 접지에 관련된 보호 조치”, 2006
- [4] 한국철도시설공단, “경부고속철도2단계 대구-부산간 시설물검증시험 용역”, 2010