

호남선 EL8100 전기기관차시험 운행에 따른 급전시스템 전력품질 특성 검토

Analysis of Power Quality in the Substation of Honam Electrification Line according to Running Characteristic of Electric Locomotive

신창기*** 한문섭* 이장무* 장동욱** 이한민**
Shin, Chang-Ki Han, Moon-sub, Lee Jang-mu Jang, Dong-uk Lee, Han-min

This study is experimented results of running characteristics about electric locomotive. it executed to study a power quality in the substation of Honam electrification line and to promote knowledge, observation and management in electric rail-system. we measured to know the more exactly running characteristics that electric locomotive and electric substation at the same time.

1. 서론

2004년 4월1일. 건국 이래 최대의 국책사업인 한국고속철 KTX(Korea Train eXpress)의 개통으로 우리나라의 경제적, 사회적, 문화적 전반적인 이슈를 불러 일으켰다. 고속철도의 개통은 국가적인 대외 경쟁력을 증진시킬 뿐 아니라, 철도 선진국들과도 어깨를 나란히 견줄 수 있는 획기적인 일이 아닐 수 없다.

경부고속철도와 동시에 개통을 목표로 호남선전철화사업이 추진 중에 있었으며, 전기기관차와 호남선 전철설비의 기능 및 상호 동적 시험을 통하여 설비의 적합성과 기능상 적응성을 검증하기 위해 철도청에서 운용중인 신형전기기관차(EL8100대)를 활용하여 구간별, 단계별로 종합시운전을 추진하여 고속열차(KTX) 운행에 필요한 설비의 동적 안정성과 신뢰성을 사전에 확보하고 고속차량 시운전에 대비한 문제점을 사전에 도출하여 해소하고자 본 시험을 실시하였다.

본 논문은 호남선 전철화에 따른 새로 건설된 급전시스템의 전력품질을 검토하고자 수행된 시험·측정 결과를 전기기관차의 운전특성에 대하여 검토한 결과이다. 차량운전특성과 급전구간 전철변전소의 운전 특성을 비교 연구함으로써 각 구간별 담당자들의 이해를 돕고, 운영, 감시에서의 특성비교를 보다 쉽게 하기 위함이다. 또한 각 구간을 변전소와 차량에서 전력품질을 동시 비교함으로써 보다 정확한 운행특성을 알고 이에 동반되는 업무수행에도 도움이 될 것으로 생각된다. 이에 본 논문에서는 차량운전 특성에 따른 전력품질의 수준과 정도에 초점을 두고 검토를 하고자 한다. 전력계통에 있어 전력품질의 문제는 전력을 공급하는 측이나 사용하는 부하측 모두 민감한 문제임은 명확하다. 보통 계통간의 전력품질에 있어 연구가 되어지는 전압, 전력, 역률, 주파수 문제와 더불어 많은 고조파를 발생하는 반도체 소자와 스위칭작용을 하는 기기들의 사용이 많아짐에 따라 고조파의 문제도 간과해서는 안될 것이다. 거대 이동 부하인 전기철도에 있었어도, 위와 같은 전력품질의 문제가 적용이 되어야 함은 명확한 문제이다. 이러한 이유로 이번 호남선시험에 있어서, 한국전력에서 3상

* 한국철도기술연구원 선임연구원, 정회원

** 한국철도기술연구원 주임연구원, 정회원

*** 한국철도기술연구원 위촉연구원, 비회원

154kV를 공급받는 수전측과 다시 스코트변압기를 이용하여 변환된 단상 55kV를 급전하는 급전측을 나누어 시험을 했으며, 전기기관차 내에서의 전력품질을 동시에 측정하였다.

2. 시험의 개요

본 시험은 호남선 4개 변전소와 EL8100대 전기기관차에서 수행되어졌다. 호남선에는 5개의 전철 변전소가 있으나 목포방면 말단 변전소인 일로 변전소는 수전계통이 완성되지 않아, 부득이하게 가압중인 4개의 전철변전소(두계, 익산, 백양사, 일로)에서만 시험이 시행되었다.

2.1 시험장비 및 방법

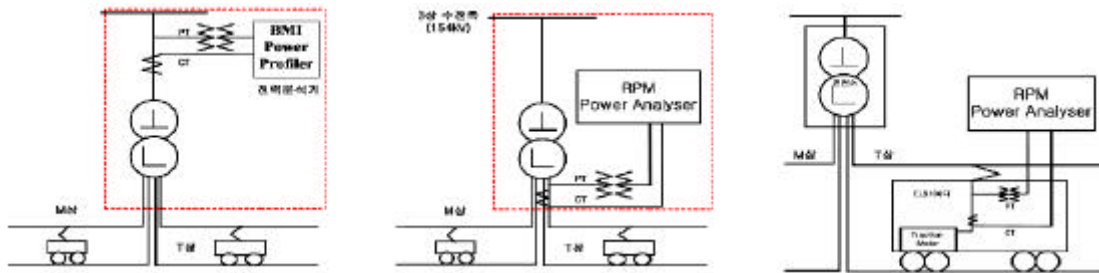


그림.1 시험측정 단선도 (수전측, 부하측, 차량측)

2.1.1 154kV 수전측

한국전력에서 154kV 전압으로 공급되어지는 수전단에서는 Basic Measuring Instrument 社의 BMI 3030 Power Profiler를 이용하여 측정을 하였다. 측정항목은 전압불평형, 전압왜형율(Voltage Total Harmonic Distortion)을 측정하였으며, 스코트 1차측에 설치된 PT(Potential Transformer)와 CT(Current Transformer)를 이용하여 그림.1과 같이 연결 측정하였다.

2.1.2 55kV 급전측

단상 55kV를 서울과 목포방면 전차선로에 각각 공급하는 급전측에서는 Reliable Power Meter 社의 RPM을 사용하여 전압, 전류, 역률, 고조파 전류를 측정하였다. 스코트 2차측에 설치된 PT(Potential Transformer)와 CT(Current Transformer)를 이용하여 그림.1과 같이 시험장비를 연결 측정하였다.

2.1.3 전기기관차

시험 운행한 신형기관차 EL8100는 현재 중앙선, 대백선 및 영동선에 이르는 청량리-동해간에서 운행중인 기관차이다. 전차선로로부터 27.5kV 전압을 공급받는 전기기관차에서도 55kV 급전측에서 사용한 측정기와 동일한 Reliable Power Meter 사의 RPM을 이용하여 급전측에서 측정한 동일 항목, 전압, 전류, 역률, 고조파 전류에 대해서 측정하였다. 차량의 판토품과 변압기에 사이에 설치된 PT(Potential Transformer)와 CT(Current Transformer)를 이용하여 그림.1과 같이 연결하여 측정하였다.

3. 시험결과

3.1 154kV 수전측

3.1.1 전압왜형율

BMI3030 장비로 측정되어진 전압왜형율은 표.3과 같이 볼 수 있다. 이번 시험에서는 1시간 단위로 측정이 되어 졌으며, 수전측 각 상별 전압왜형율의 최고값과 최저값을 나타내었다.

표.1 호남선 변전소 전압왜형율

호남선 전철변전소 전압왜형율					
	두계	익산	백양사	노안	일로
최대치	1.3	0.7	0.8	0.8	·
최소치	1.0	0.5	0.5	0.5	·

1) 두계변전소

두계변전소에서 측정되어진 전압왜형율은 표1에서도 볼 수 있듯이 최고 1.3%, 최저 1.0% 정도로 타 변전소보다 높음을 알 수 있다. 그러나 한국전력에서의 규제하고 있는 규제치 1.5 수준보다는 낮은 수준으로 양호한 상태로 보이고 있으나, 시험조건상 1대의 차량으로 시험을 하였으므로 향후 정상영업상태에서의 고조파 왜형율이 증가함을 감안하여야 할 것이다. 이는 기본과 전압에 대한 고조파전압의 비로써 구하는 전압왜형율을 감안할 때 고조파전압의 영향이 타 변전소 급전구간에 비해서 개선되어야 할 점이라고 보아진다. 실 운전상황에서는 이 보다 높은 고조파가 발생이 되어질 것이고 이에 따른 고조파를 저감시킬 수 있는 장치의 설비가 되어져야 하겠다.

2)익산변전소, 백양사 변전소, 노안변전소

두계변전소를 제외하고 이번 시험에서 측정된 전압왜형율은 익산변전소에서와 비슷한 결과를 볼 수 있다.

3.1.2 전압불평형

수전측 154kV에서 측정한 3상 전압을 기초로 하여, 영상, 정상, 역상분으로 식(1)과 같이 전압불평형 지수를 표현한다.

$$(d_v) = \frac{(V_2)}{(V_1)} \quad \text{식(1)}$$

규제치는 10분 평균 1% 이하를 기준으로 하고 있다.

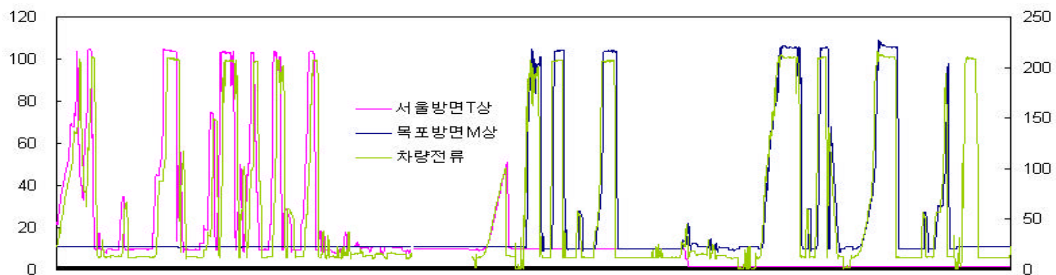
호남선 전철변전소 전압불평형 [%]					
	두계	익산	백양사	노안	일로
최대치	1.4	1.7	1.6	1.7	·
최소치	1.1	1.4	1.2	1.4	·

표 2 호남선 변전소 전압불평형

전압불평형을 측정한 결과, 익산변전소와 노안변전소에서 최고 1.7% 정도의 전압불평형지수가 측정되었다. 이는 한국전력에서 규제하는 3%내에서 측정이 되어지고는 있지만, 시험운전의 특성(전기기관차 1대운행)을 고려한다면, 향후 실제운행 시 불평형상의 문제가 발생되어 질 것이다.

3.2 55kV 급전측과 전기기관차

3.2.1 전압, 전류 및 역률



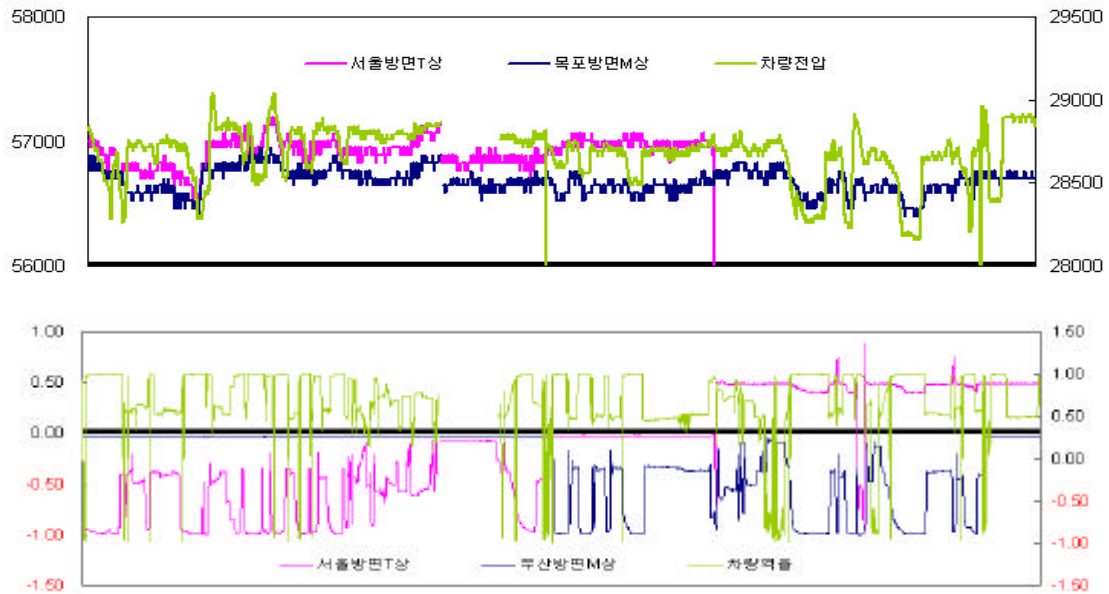


그림 2 익산변전소 및 차량 전류, 전압, 역률 비교

표.3 변전소별 측정 데이터

		55kV 변전소						EL8100		
		목포방면			서울방면			차량		
		전압	전류	역률	전압	전류	역률	전압	전류	역률
노안변전소	최대	55,766	15.1	0.100	56,583	42.4	0.987	28,434	84.8	0.998
	평균	56,569	14.0	0.100	56,400	10.4	0.779	28,319	20.7	0.724
백양사변전소	최대	57,743	104.9	0.998	57,987	105.9	0.990	29,095	134.6	1.000
	평균	57,436	16.4	0.280	57,706	19.0	0.346	28,796	42.1	0.743
익사정상급전	최대	56,827	108.7	0.998	57,193	105.1	0.998	29,044	216.4	0.999
	평균	56,400	34.6	0.602	57,741	26.5	0.656	28,642	54.1	0.744
두계-백양사 연장급전	최대	57,743	107.0	0.995	58,170	107.7	0.988	28,299	216.0	0.999
	평균	56,569	16.6	0.679	57,030	27.4	0.353	28,609	44.1	0.614
두계정상급전	최대	57,132	108.6	0.994	56,522	104.8	0.991	29,044	215.1	1.000
	평균	56,687	26.7	0.660	56,213	19.7	0.635	28,567	49.5	0.798

그림.2는 익산변전소의 정상급전시의 변전소와 차량의 전력품질 측정 결과를 보여주고 있다. 처음 그래프는 변전소 전류와 기관차전류를 이중 축으로 비교하였으며, 변전소와 차량의 전류의 형태가 잘 맞음을 확인 할 수 있다. 익산변전소에서 출발하여 서울방향으로 운행을 한 다음 다시 목포방향으로 내려갔음을 알 수 있다. 두 번째는 그래프는 변전소와 차량의 전압을 표시를 하였다. 차량이 익산변전소의 공급구간에서 운행 할 때 전압의 변동을 주시 하면 되겠다. 세 번째는 변전소와 차량의 역률을 비교하였다. 각 변전소에서 측정되어진 결과 값들은 표3에 정리를 하였으며, 그래프와 같이 비교하면 쉬울 것이다. 그 외 전철변전소에도 위와 같은 시험이 수행되어졌다.

3.2.2 고조파전류

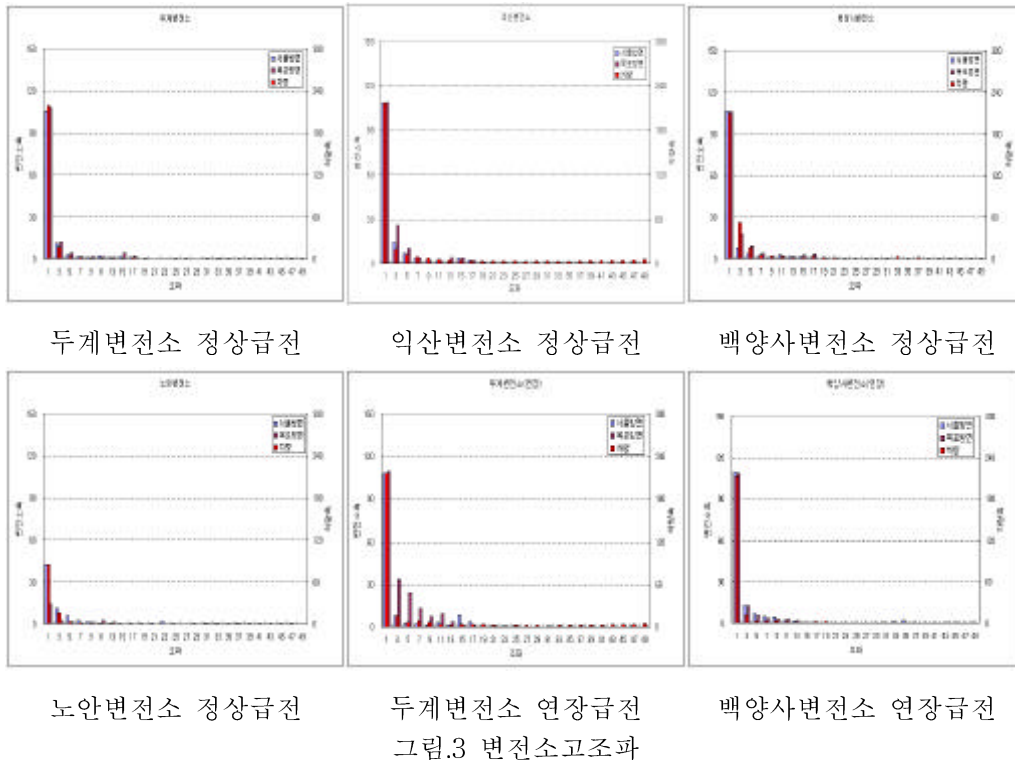


그림. 3은 두계, 익산, 백양사 및 노안 전철변전소가 각각 정상 급전운영 중에 차량이 전철변전소의 급전구간에서 운행할 때의 각 조파별 최대 고조과 전류를 나타내고 있고 또한 두계변전소와 백양사변전소가 연장급전운영 중의 조파별 최대 고조과 전류를 나타내고 있다. 측정위치는 크게 전철변전소 급전측을 서울과 목포방면으로 나누어 측정하고 전기기관차의 전원 입력측에서 측정하였다. 전기기관차가 해당 전철변전소를 운행하는 동안의 고조과 전류를 1에서 49조파 까지 측정하고 각 조파별 최대값을 추출하여 나타내었다.

4. 결론

호남선 전철화에 따른 새로 건설된 급전시스템의 전력품질을 시험·측정 결과를 전기기관차의 운전특성에 대하여 검토하였다.

- 변전소와 차량의 전압, 전류, 역률 및 고조과를 측정함으로써 향후 운행되어지는 호남선 전철 개통에 무리가 없을 것이다.
- 차량의 시험운행 특성상 많은 역행과 회생, 제동에 의해 변전소와 차량의 역률이 저하되는 원인이 있는데, 향후 일정한 스케줄에 의한 운행이 되어지면 역률 문제는 해결 될 것이다.
- 운행차량이 1대임에도 두계변전소에서의 높은 전압왜형율은 향후, 전력공급측과 문제를 야기시킬 수 있는 요인이기에 실 운행중에 정확한 시험을 통한 결과를 도출해야 할 것이다.

참고문헌

1. 김웅상, 김슬기 “전기품질이 전력기기에 미치는 영향분석”, 한국전기연구원(KERI)
2. 이장무, 한문섭외 “경부고속철도 서울-대구 구간 전력품질 안정화대책 연구”, 한국철도기술연구원
3. “고속전철용 서울-대전 구간 고조과, 전압불평형, 역률 예측계산 및 대책설계”, 2002.12, 한국고속철도건설공단
4. 오광해, 창상훈, 한문섭, 이장무, “전철부하에 기인된 계통 전압불평형 평가기법”, 전기학회 하계 학술대회 논문지, A권, 1997.7