

한국형 고속전철 성능검증을 위한 입력전류 계측

백광선*, 한영재*, 김진환*, 이장무*, 정은성**

*한국철도기술연구원, **(주)로템

Measurement of Input Current for Korea High Speed Train Performance Verification.

Baik kwangsun*, Han Youngjae*, Kim JinWan*, Lee Jangmoo*, Jung Eungseong**

*KRRI, **Rotem

Abstract - 350km/h의 주행속도를 목표로 개발, 시험 중인 한국형 고속전철의 안전한 주행과 발생 전자파의 영향 저감을 통한 주변장치의 영향 최소화를 위하여 저속 운행부터 입력전류를 측정한다. 이때 LabVIEW Program을 이용하며, 계측되고 분석된 결과를 토대로 차량의 설계 대비 성능의 확인 및 향후 고속주행을 위한 기본 자료로 활용하고자 한다.

1. 서 론

현재 한국철도기술연구원을 총괄주관기관으로 국내의 많은 연구소, 학교 그리고 기업에서 참여하여 한국형 고속전철을 개발하고 있다. 그동안 한국에서의 철도역사는 100년을 기록하고 있으나 국내 철도차량의 수준은 최근 까지 도시저철의 생산을 해본 경험과 부분적인 국산화가 이루어져온 현실이다. 그런데 그런 상황에서 철도기술의 수준을 세계적인 수준으로 끌어올리고자 진행된 G7 고속철도개발사업은 2002년 10월 31일 이면 6년 간의 차량개발에 걸지 않은 기간의 과제가 종료하게 된다. 국내의 많은 연구기관이 참여하여 개발품의 설계와 제작이 이루어졌고 개발된 단품의 조립과 시험이 각 해당 과제별로 진행되어 왔고 그 부품들이 모여 로템의 의왕공장과 창원공장에서 조립, 완성되어 본선에서의 시험이 이루어지고는 있으나 보완할 부분도 많고 국내의 철도차량의 기술수준이 선진국과 많이 차이가 있는 관계로 필요한 Factor 들을 계측하여 이를 제품개선에 적극 개선하는 것이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 많은 계측 요소중 추진시스템과 관련하여 계측을 한 data를 정리, 분석하도록 한다. 물론 계측을 하는데 있어 집전장치 동작의 안정성, 모터블록, 제어전원의 안정성 등 많은 부분의 안정화가 필요하다. 아직 개발차량인 관계로 측정 중 일정하지 않은 데이터를 측정할 수밖에 없는 경우가 발생을 하게 된다. 따라서 필요한 부분만 선정을 하여 정리를 함으로 혼돈을 피할 수 있도록 하였다. 보다 확실한 결과는 많은 시험을 통해 추후에 보완하는 것으로 한다. 현재 고속철도차량의 시험이 진행중인 상황이므로 본 논문에는 150km/h로 주행한 시험결과를 측정하여 분석하도록 한다. 이렇듯 측정된 결과는 각 전장품 개발 기관에 feedback되어 성능을 개선하고 안정적인 제품을 개발하는데 사용될 수 있도록 할 예정이다.

2. 본 론

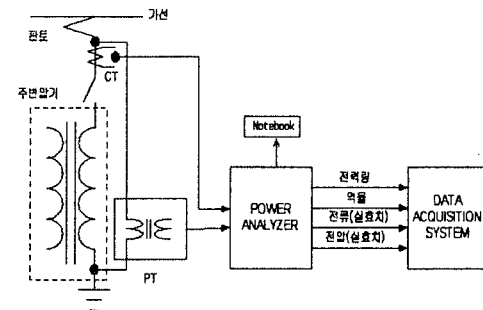
2.1 계측 구성

계측을 위하여 시스템을 어떻게 구성하느냐에 따라 결과의 신뢰성 및 그 응용정도가 영향을 받게 된다. 금번 계측을 위해서는 NI사에서 개발된 LabVIEW Program을 이용하도록 한다. 계측을 위한 시스템은 보다 많은 측정 point를 계측하도록 구성되어 있으나 본 논문에서는 목적과 관련된 부분만을 소개한다. 집전장치에서 차

량으로 유입되는 차량 전체의 전류를 측정하므로 정확한 계측을 할 수 있지만 집전장치에 고압이 인가되고 이로 인한 안전상의 문제가 야기될 수 있는 관계로 본 논문에서는 변압기 1대의 전류만 고압이 인가되지 않는 1차 측에서 전류를 측정한다. 계측시스템을 구축하는 부분으로 입력전류 및 전압 측정과 역률 및 소비전력을 계산하기 위하여 전력분석기를 사용하였고, 전력분석기에서 계산된 전압과 전류의 실효치, 역률, 입력을 Data Acquisition System에 입력하여 현재의 위치까지 계산하도록 함으로 측정된 결과에 차량의 주행속도와 전류, 전압, 역률 그리고 소비전력을 검토할 수 있도록 하였다. 전류를 측정하여 계산되는 고조파는 측정시 실시간으로 분석할 수 없는 관계로 Data Acquisition System에서 동시에 처리를 할 수 없었으나 현재 시간을 확인하여 추후 분석, 확인하는 과정으로 진행한다. 전력분석기에서는 데이터를 실시간으로 입력받아 Notebook에 저장하는 구성으로 시스템을 구축하는 관계로 저장 및 Sampling에 Notebook의 처리 속도에 영향을 받아 특별한 문제는 없다. 전류를 순시치로 받아 계산을 하는 경우 높은 Sampling 속도가 필요하지만 실효치를 입력받는 관계로 Data Acquisition System은 500Hz의 측정 주기를 갖도록 하였고 정확도에는 문제가 없을 것으로 판단한다.

사용된 CT는 Coil type이며, PT는 차량에 설치된 것으로 사용하였다. 주변압기의 전압과 전류는 Power Analyzer로 입력되고 여기에서 전압과 전류 순시치를 실시간으로 연산하였으며 사용 전력량과 역률도 계산하는 구조를 갖도록 하였다. 또한 Power Analyzer에서 계측한 값은 Notebook에 입력하여 후처리를 할 수 있도록 하였다.

계측시스템의 구성은 다음과 같다.

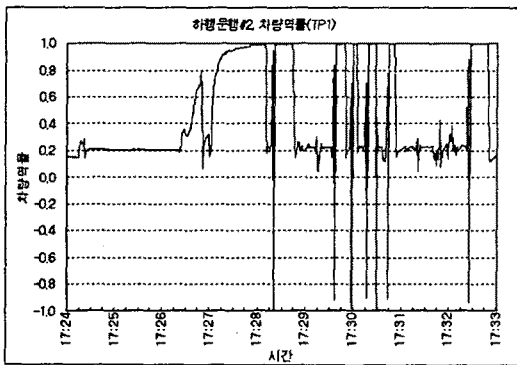


(그림 1) 계측시스템 구성

그러나 CT를 변압기 집전장치에 연결하는 것은 위험하므로 변전소에서 측정하도록 하였으며, 변압기 1대의 1차 접지측에도 별도로 CT를 설치하여 입력전류를 확인하였다.

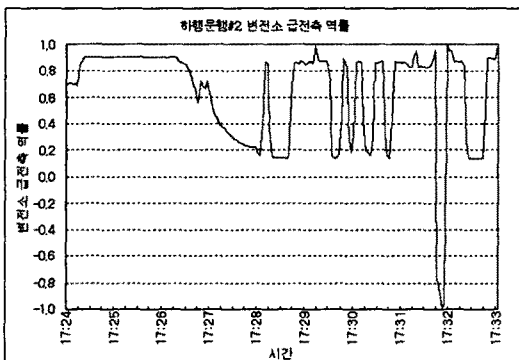
2.2 측정결과

측정시 가선의 전압은 약 26000V로 차량 동작의 기준인 19KV와 27.5KV사이에 있었다. 차량의 측정 결과는 상행과 하행시에 모두 달랐다. 그러나 하행시에 결과치가 더 좋지 않은 관계로 하행 데이터를 검토자료로 사용한다. 철도차량부하의 대부분은 유도부하이다. 따라서 역률이 1이 되지 못하고 이는 급전계통에 영향을 주고 효율적인 급전시스템 설계에 문제를 야기한다. 따라서 역률을 측정한다. 고속철도차량에서 역률은 0.95이상을 만족하여야 한다. 따라서 주행중의 변압기 1개의 전류와 변전소에서 전류를 측정하였다. 다음 그림은 변전소에서 측정된 전류의 파형으로 주행중 차량전체로 유입되는 또는 회생되어 가선에 귀환되는 전류의 변화 곡선이다. 동력차의 변압기 1차측 중의 하나를 측정할 결과 주행과 제동을 하는 동안 역률이 거의 1에 근접함을 알 수 있었고 제어가 잘 되고 있음을 확인할 수 있었다. 물론 전체 전류와 전압을 가지고 확인한 것이 아니므로 정확한 것은 아니나, 3대의 변압기를 모두 합쳐도 거의 1에 유사할 것으로 유추할 수 있다.



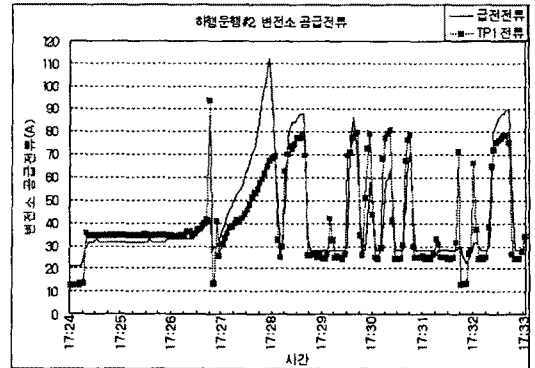
(그림 2) 차량에서 측정된 역률(변압기 1개)

그러나 변전소에서 측정된 역률은 약간 다른 형태를 가지고 있음을 알 수 있다. 이것은 변압기 3대가 동작할 때 동작 시점과 각기 다른 고조파를 발생시킴에 따라 역률에 차이가 있음을 보여주는 것으로 생각할 수 있다. 또한 계통시스템에서 임피던스의 영향으로도 보인다. 정확한 결과는 계속 측측을 실시함으로써 정확한 분석을 할 수 있을 것이다. 한가지 확실한 것은 현 상태는 MB의 일부만 동작하는 상태이며, 만약 모든 MB가 중지 않고 동작을 하다면 역률은 크게 개선될 수 있을 것으로 생각된다. 역률의 변화시 순간적인 값의 변화는 노이즈에 의한 영향으로 보인다.



(그림 3) 급전소에서 측정된 역률

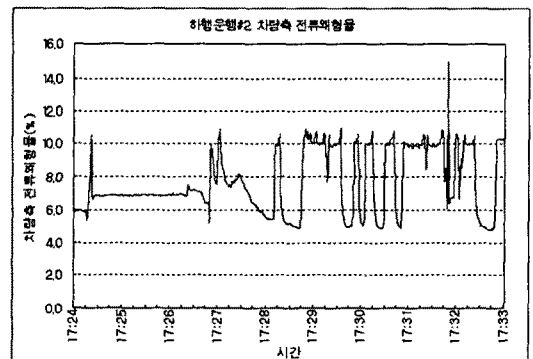
역률이 좋지 않은 부분은 전동기를 제어하지 않은 부분으로 보인다.



(그림 4) 변전소와 변압기에서 측정된 전류

차량으로 유입되는 최대 전류는 112A로 측정되었다. 변압기의 1차측 전류 정격의 합이 812A 이므로 이상 현상이 발생하지 않은 것으로 전류로만 보아서는 안정적인 상태인 것으로 판단된다. 또한 흐르는 전류의 모양은 초기에 차량에 VCB가 투입되어 최소한의 동작전류 즉 충전기를 동작시키는 등 기본적인 소요 전류가 흐르는 모양과 CVCF, VVVF 등이 동작을 하여 차의 냉각시스템 등이 동작하는 단계 그리고 추진에 따른 MB 전류의 동작과 전류의 증가를 보여주고 있다. 초기에는 약 18A의 전류가 흐르고 각 장치의 동작에 따라 약 30A의 전류가 흐름을 알 수 있었다. 그리고 동력차에 장착된 변압기에 흐르는 전류도 최대 93A 정독 흘렀으며, 이는 차량의 추진시에 반대쪽의 동력차와 동력객차는 추진에 전 MB가 동작하지 않고 측정 동력차의 변압기가 동작하여 차량이 추진됨을 알 수 있다. 그런데 변압기에 유입되는 전류의 형태와 변전소에서 측정된 전류의 형태가 대부분 동일한 추이와 크기를 갖고 있으나 부분적으로는 다른 형태를 갖고 있음을 알 수 있다. 이는 순간적인 노이즈에 의한 것으로 보이며, 계속 측정을 통하여 이에 대한 분석을 하고, 노이즈를 차단하는 방안을 강구하도록 한다.

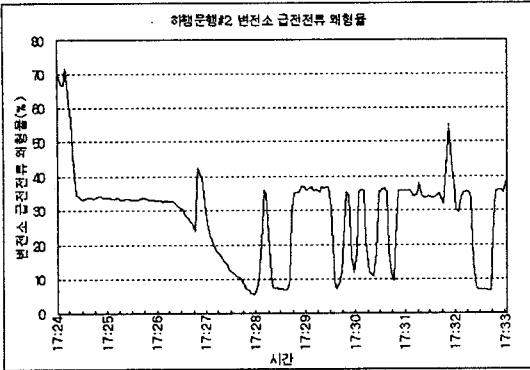
다음은 주행과 계동시 변압기의 1차측 전류의 왜형율을 보인다. 약 10% 수준으로 상당히 양호한 형태를 보이고 있다.



(그림 5) 변압기 1차측의 전류 왜형율

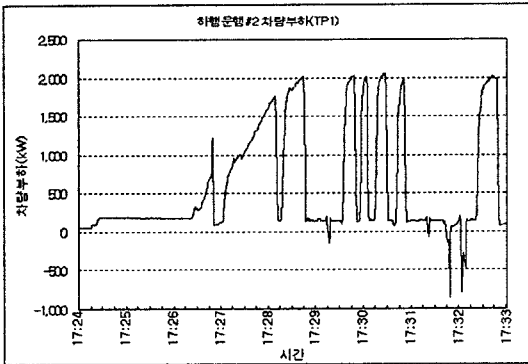
그러나 차량 전체로 보았을 때 왜형율은 최대 70% 수준으로 급격히 나빠짐을 보인다. 속도가 증가하면서 왜형율은 개선되어 감을 보인다. 이는 측정하지 않은 변압기 측의 MB가 동작을 하는 상태로 저속에서 좋지 않은

고주파 특성을 보임을 알 수 있다. 따라서 실용화를 위해서는 이에 대한 검토가 필요할 것이다.



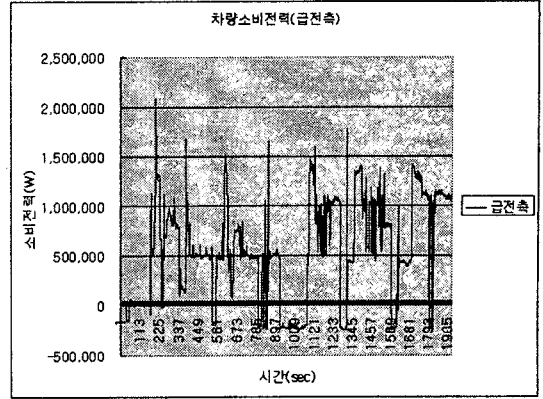
(그림 6) 차량 전체의 전류 왜형률

그와 같은 운전상태에서 변압기 1대의 최대 소비전력은 약 2MW로 변압기 1대의 정격이 8.9MW이므로 아직 충분한 여유가 있음을 알 수 있었다. VCB 투입시 그리고 기타 장치의 동작과 MB의 동작에 따른 소비전력의 변화가 명확하게 나타남을 알 수 있고, 주행상태에서 변압기의 입력전력은 다음과 같다. 변압기의 입력을 보면 차량의 속도가 증가함에 따라 소비전력이 임의의 기울기를 갖고 있음을 볼 수 있다.



(그림 7) 변압기 소비 전력

그림 8은 차량 전체의 소비전력을 보여준다. -으로 떨어지는 부분은 속도에 대한 데이터를 확인하여 분석할 사항으로 Data Acquisition 장비의 구성이 좀 더 완전한 상태가 된 후 이에 대한 분석이 필요할 것이다. 그림 7과는 다르게 속도 변화에 대하여 선형적인 변화는 별로 확인할 수 없다. 이에 대하여는 데이터를 계속 확보하여 분석을 할 필요가 있다.



(그림 8) 차량 전체 소비전력

이상의 결과에 따라 그 변화를 정리하면 다음과 같다.

(표 1) 결과 정리

	역률	전류치	왜형률	소비전력
기준	0.95이상	812A이하		20.44MW
차량	0.95-1	92.8	12.4	1.87MW
변전소	0.2-1	112.5	72	2.09MW

3. 결 론

현재 국내에서 개발중인 한국형 고속전철의 전압과 전류를 측정하여 역률, 소비전력을 확인할 수 있었다. 150km/h로 하행방향으로 주행중인 차량에 대하여 측정을 하였으며, 측정 결과 측정시의 속도가 150km/h인 관계로 아직 최고속도에 도달하지 않아 차량dpt 측정하는 경우, 차량 운전 기준에 어느 정도 만족하는 것으로 보이나, 증속을 하면서 그 값은 변화할 것이며 설계 기준을 위협할 수도 있을 것이다. 따라서 속도 변화시는 물론이고 동일 속도에서도 여러 번 측정을 하여, 그 추이를 잘 관찰하므로 보다 개선된 성능을 갖는 고속철도 차량을 개발하도록 해야 할 것이다. 본 논문에서는 변전소에서 전류를 측정하였으나, 추후 차량에서 차량 전체 전류를 측정할 수 있는 계측시스템을 구축하여 보다 정확하고 개선된 측정을 하도록 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] 한국철도기술연구원, "고속전철 열차시험 및 성능평가 기술개발" 2단계 2차년도 연차보고서, 2001.10
- [2] 현대중공업, "추진력변환장치개발", 2단계 2차년도 연차보고서, 2001.10