

틸팅열차 주행에 따른 전력시스템 특성분석

장동욱, 정상기, 이수길, 송용수
한국철도기술연구원

A characteristic analysis of power system of tilting train running

Donguk Jang, Sanggi Chung, Sugil Lee, Yongsu Song
Korea Railroad Research Institute

Abstract - 전기철도차량에서 사용하는 전력변환장치에 의해서 부하전류에 다양한 고조파가 포함되고 이러한 고조파는 전력품질에 영향을 미치게 된다. 틸팅열차는 현재 6량 1편성의 시제차량이 개발되어 호남선에서 시험을 실시하고 있다. 본 논문에서는 틸팅열차가 운행되는 동안 차량의 전력시스템을 평가하기 위해서 차량의 전압, 부하전류, 전력, 고조파를 측정 한 결과에 대해서 서술하였다.

1. 서론

전기철도차량의 전력시스템은 견인전동기를 제어하여 차량의 추진 및 전기제동을 수행하는 주전력변환장치, 차량내의 조명, 냉난방설비, 객차서비스 등의 전원을 공급하는 보조전원장치로 구성된다. 전력변환시스템은 전력전자기술, 고속 대용량 반도체소자 및 마이크로프로세서의 기술발달에 의해서 고성능과 승차감, 효율, 안전성, 에너지소비측면에서 좋은 성능을 발휘하게 되지만, 고속 스위칭소자에 의해서 발생하는 고조파 인해 전기차량은 물론 변전소, 신호시스템, 데이터 전송 및 감시시스템에 영향을 주게 된다. 따라서 새로운 차량이 개발되어 영업노선에 사용되기 전에 다양한 열차성능 평가가 이루어져야 한다.

틸팅열차는 현재 6량 1편성의 시제차량이 개발되어 호남선에서 시험을 실시하고 있다. 본 논문에서는 틸팅열차가 운행되는 동안 차량의 전력시스템을 평가하기 위해서 차량의 전압, 부하전류, 전력, 고조파를 측정 한 결과에 대해서 서술하였다.

2. 본론

2.1 틸팅차량 주회로 시스템

주회로는 전차선으로부터 25 kV, 60 Hz의 전압을 열차진행 방향으로 선두차, Mcp차 (역방향으로 진행시 후부차 Mcp차)의 팬터그래프, 주회로 차단기(VCB)를 거쳐 편성열차의 Mcp차의 주변압기(MTr) 1차 권선에 공급된다. 추진장치의 제어를 위해 1차 변성기(HVT)와 변류기(PCT)가 1차 전압과 전류를 측정한다. 각각의 주변압기 2차 권선에서 강압된 전압은 구동차 유닛 Mcp, M차의 주변환장치로 공급된다.

주변압기 2차 권선의 교류전압은 주변환장치의 2조 PWM 컨버터(CONV1, CONV2)에 의해 정전압으로 변환되고, 정류된 직류전압은 각각의 VVVF 인버터(INV1, INV2)에 공급된다. 전위 및 후위 대차에 장착된 2대의 견인전동기(TM)는 VVVF 인버터에 의해 제어된다. (1조 VVVF 인버터 → 2대 견인전동기 제어) 따라서 각 구동차의 주변환장치는 각 2조의 PWM 컨버터와 VVVF 인버터로 구성이 되며, 주 전력소자는 IGBT를 사용한다. 그림2는 TTX차량 주회로 시스템 구성을 나타낸 것이다.

2.2 추진제어장치 주요 사양

TTX에서는 추진제어장치는 2M1C 방식으로 구성되어 있으며, 다음 표 1은 추진제어장치의 주요 사양을 요약한 것이다.

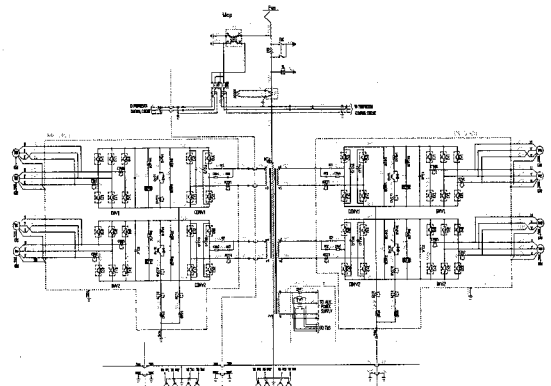


그림 1. TTX 차량 주회로 시스템 구성도

표 1. 추진제어장치 주요사양

구분	주요 사양
가선전압	AC 25 kV, 60 Hz(20.0~27.5 kV)
입력전압	AC 1040 V, 60 Hz 2회로
정격출력	1000 kW/ Mcar(250 kW × 4 T/M)
최대속도	설계속도:200 km/h, 운행속도:180 km/h
가속도	1.8 km/h/s (가선 25 kV에서 80 km/h 속도까지)
감속도	평균감속도 3.6 km/h/s(180 km/h의 속도에서서 1400 m이내 정차 상감속도)
주회로	PWM CONVERTER + VVVF INVERTER for 2T/M CONTROL x 2 그룹
전기방식	- CONVERTER부:단상전압형 PWM CONVERTER(Dual Converter 사용) - INVERTER부 : 3상전압형 PWM INVERTER
주회로소자	CONVERTER부 : IGBT 3300V-1200A (2병렬, 4 arms, 2 groups) INVERTER부 : IGBT 3300V-1200A (6 arms, 2 groups)
냉각방식	CONVERTER부/INVERTER부 : 자연냉각 방식

2.3 측정시스템

틸팅열차가 호남선 구간(일로→익산)에서 주행하는 동안 부하전류, 차량입력전압을 측정하기 위한 계측시스템은 그림 2와 같이 구성하였다. 전압은 차량에 설치되어 있는 PT에서 측정하였으며, 부하전류는 VCB 후단에 로고스키코일을 연결하여 측정하였다. 부하전류의 경우, 현재 틸팅열차에는 주변압기가 2대 있기 때문에, 동시에 두 곳에서 측정이 이루어지지 않아 측정결과에 2배하여 틸팅열차 전체 부하전류를 계산하였다.

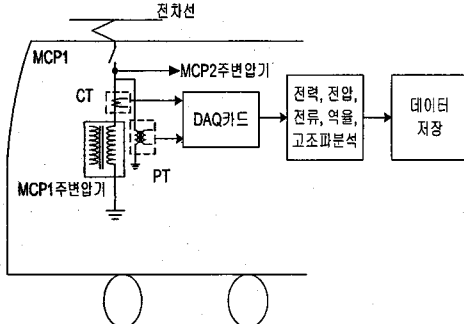


그림 2. 계측시스템 구성도

2.4 측정결과

그림 3 및 4는 틸팅열차가 일로에서 익산으로 운행하면서 측정한 차량 입력전압 및 부하전류의 RMS 값을 나타내고 있다. 차량의 입력전압이 순간적으로 떨어지는 이유는 열차가 사구간을 통과할 때 VCB가 개방되어 전차선으로부터 전압을 급전 받지 못하기 때문이다.

차량전압은 변전소에서 27.5 kV를 급전 받아 운행되고 있기 때문에 거의 입력전압은 27.5 kV를 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다. 운행 중 차량입력전압의 최고값은 28.182 kV이며, 최저값은 25.198 kV이다.

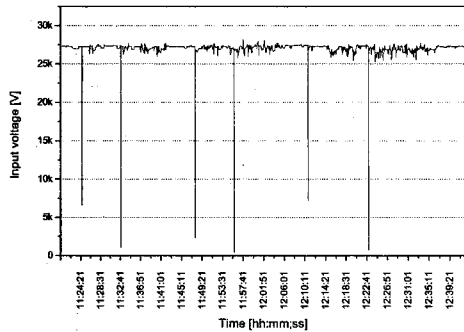


그림 3. 입력전압(일로 → 익산)

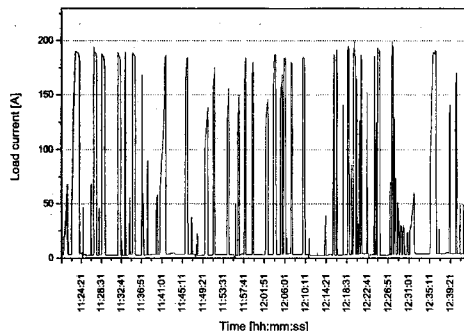


그림 4. 차량부하전류(일로 → 익산)

그림 4는 부하전류 측정결과를 나타내고 있으며, 최대 부하전류는 199.26 A로 측정되었다. 그림 5는 차량역율을 나타내고 있으며, 최대로 역행 운전할 경우는 거의 역율이 1에 가깝게 나오고 있으며, 역율이 (-)인 것은 차량이 회생하고 있는 것을 나타낸다. 그림 6은 차량 전력으로 역행시에 최대 사용 전력은 5,135 kW이며, 회생시 최대로 발생하는 전력은 -4,512 kW인 것으로 측정되었다. 그림 7은 일로에서 익산으로 운행하면서 측정한 차량속도 그래프이며, 최고속도는 약 155 km/h로 측정되었다.

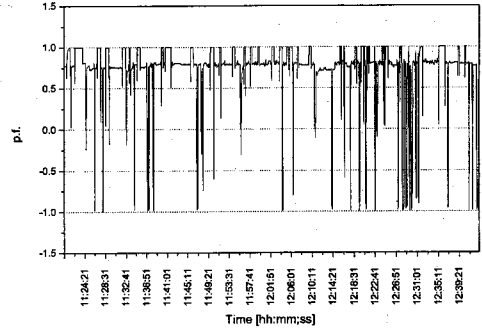


그림 5. 차량 역율(일로 → 익산)

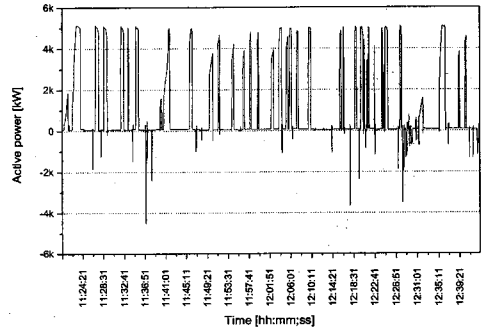


그림 6. 차량 전력(일로 → 익산)

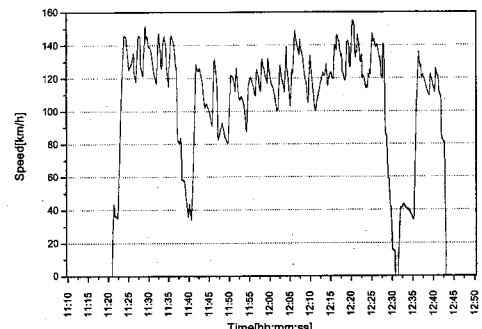
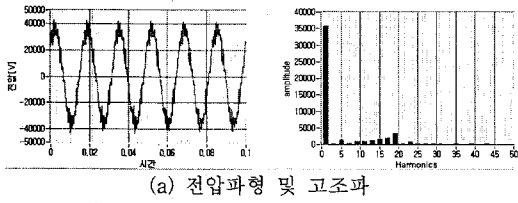


그림 7. 운행속도(일로→익산)

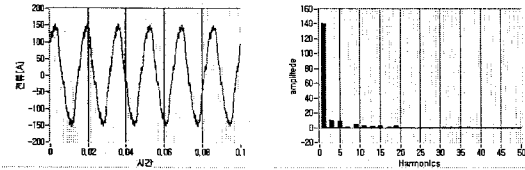
그림 8은 틸팅열차에 최대 부하전류가 흘렀을 경우의 전류 및 전압 파형과 각 파형에 대한 고조파 분석결과를 나타내고 있다. 전압고조파의 경우는 19차수가 가장 크게 나오고 있었으며, 전류고조파의 경우는 3고조파가 가장 크게 나오고 있음을 확인할 수 있다.

그림 9는 틸팅열차가 회생제동 시에 최대로 회생전력이 발생할 때의 전압 및 전류파형과 각 파형에 대한 고조파분석결과를 나타내었다. 그림에서 보면 회생시에는 전압과 전류가 180°의 위상차가 있는 것을 확인할 수 있다. 전압고조파는 거의 3차가 다른 고조파에 비해서

크게 나왔으며, 전류고조파의 경우는 3차 및 5차 고조파가 많이 나오고 있음을 알 수 있다.

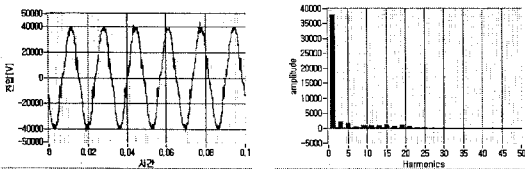


(a) 전압파형 및 고조파

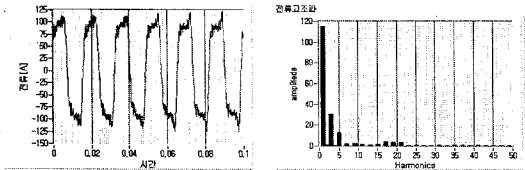


(b) 전류파형 및 고조파(MCP1)

그림 8. 최대 부하전류시 전압, 전류, 고조파



(a) 전압파형 및 고조파



(b) 전류파형 및 고조파(MCP1)

그림 9. 최대 회생전력 발생시 전압, 전류, 고조파

3. 결 론

본 논문에서는 국내에서 개발한 틸팅열차를 대상으로 호남선 일로~익산 구간 운행에 따른 전력시스템에 대한 분석을 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 차량 전압측정 결과 차량입력전압의 최고값은 28.182 kV이며, 최저값은 25.198 kV이다.
2. 부하전류 측정결과 최대 부하전류는 199.26 A로 측정되었다.
3. 차량 전력은 역행시에 최대 사용 전력은 5,135 kW이며, 회생시 최대 발생하는 전력은 -4,512 kW인 것으로 측정되었다.
4. 최대 부하전류가 흘렀을 경우의 전압고조파의 경우는 19차수가 가장 크게 나오고 있었으며, 전류고조파의 경우는 3고조파가 가장 크게 나오고 있음을 확인할 수 있다.
5. 틸팅열차가 회생제동 시에 전압과 전류가 180°의 위상차가 있는 것을 확인할 수 있다. 전압고조파는 거의 3차가 다른 고조파에 비해서 크게 나왔으며, 전류고조파의 경우는 3차 및 5차 고조파가 많이 나오고 있음을 알 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이수길, "전기철도차량용 틸팅주회로시스템 설계에 관한 연구", 2006년 대한전기학회 전북지부 추계학술대회 논문집, 2006
- [2] 이태형, 김주락, 장동욱, 이상무, 박찬경, "전기철도차량 고조파 전류 시험", 2006년 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문 추계학술대회 논문집, 2006
- [3] P.H.Hsi, S.L.Chen, "Electric Load Estimation Technique for High-Speed Railway(HSR) Traction Power Systems", IEEE Transactions on vehicular technology, vol. 50, No. 5, September 2001