

전기철도 부하모델링을 위한 신형 전기기관차 측정 및 결과분석 Measurement and Analysis for Electric Locomotive Modeling

김주락* 한문섭* 장동욱* 이기원* 심건보# 김정훈#

Kim, Joorak Han, Moonseob Jang, Donguk Lee, Kiwon Shim, Keonbo Kim, Junghoon

ABSTRACT

This paper presents measurement to develop load model for electric locomotive. Load model is defined as polynomial form and each coefficient is solved by the least square method. Therefore, many data is required for using this method.

The measurement is performed on KNR line, from Chongryangri to Donghae. The subject of measurement is voltage, current, active power, reactive power an frequency for EL8100.

1. 서 론

전기철도는 차량의 제어방식이 다양하며, 운전설비, 레일, 전차선로 및 변전설비 등을 포함하는 복합적인 시스템으로 구성되어 있다. 이러한 복합적인 시스템에 전기에너지를 공급하는 시스템이 급전시스템이다. 급전시스템의 입장에서 보면 운행하고 있는 전기차량은 기동과 정지를 반복적으로 하는 집중부하로서, 전력 소비량의 변화가 매우 심하고 전기적인 특성도 수시로 변화하는 복잡한 양상을 가지고 있다. 철도급전시스템에서 전력의 품질은 주파수, 전압 및 정전 등으로 평가할 수 있으며, 전력 품질의 정밀한 평가를 위하여 철도 급전시스템에 대한 구성요소에 대하여 정밀한 수리적 모델링이 필요하다. 이러한 목적을 달성하기 위하여 철도 급전시스템에서 전원, 변압기 및 선로 등의 구성 요소에 대하여는 이미 상당한 수준의 연구가 진행되어 사용하고 있으나, 부하에 해당되는 전기차량에 대한 모델링은 아직 미흡한 상태이며, 전력 품질의 평가를 정밀하게 하기 위해서는 이에 대한 연구가 요청된다. 전기차량의 부하는 차량을 견인하기 위한 견인 동력부하와 차량 내의 조명, 제어기기 및 냉·난방기기를 동작시키기 위한 보조 전력부하로 구분할 수 있다. 특히 견인동력 부하는 기동, 운행 및 정지의 동작을 반복하는 집중부하이므로 전기적인 변화가 매우 심하고, 한 급전구간에 여러 편성의 차량이 운행될 때 차량간의 상호 작용으로 전기적 특성이 수시로 변하는 성질이 있으며, 이러한 부하 특성의 정확한 표현은 매우 어려운 문제이다.

본 논문에서는 전기 철도 급전시스템의 정밀한 해석을 위한 전기차량의 부하 모델링 수립을 목적으로 현재 산업선(청량리-동해 구간)에서 운전 중인 신형 전기기관차(EL8100호대)에 대하여 운전상황에서의 전압의 변화에 대한 유효 및 무효전력의 변화 특성을 측정하고 그 결과를 분석한 것이다.

* 한국철도기술연구원 철도전기연구팀

홍익대학교 전자전기공학부

2. 측정대상 차량부하의 개요

전기 철도 차량의 전기적인 부하는 차량을 견인하기 위한 견인 동력부하와 열차 내의 조명설비, 냉·난방기기 및 정보통신설비 등을 위한 보조 전력 부하로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 현재 우리 나라의 산업선(청량리-동해구간)에서 채택하여 운행되고 있는 신형전기기관차(EL8100호대)를 대상으로 하였으며, 이 전기기관차는 동력집중 방식으로서 전차선으로부터 공급받은 전력은 동력차량인 전기기관차에서만 사용하고 있다. 표 1에서는 현재 산업선에서 운행되고 있는 동력용 전기기관차인 신형전기기관차(EL8100호대)에 대한 전기적인 부하를 정리하였다.

표 1. EL8100호대 전기기관차의 전기부하

부 하 종 류		크 기	비 고
주 부하	세부 부하		
견인전동기	주전동기	1350 [kW]×4	
	송풍기	110 [kW]×4	
공기압축기	주공기 압축기	21 [kW]	
	보조공기 압축기	860 [kW]	
변압기	냉각송풍기	19.5 [kW]	
	유순환펌프	2.75 [kW]	
에어컨		6.5 [kW]	
기 타		1.8 [kW]	

그림 1은 측정대상인 신형기관차 EL 8100호대를 보인 것으로서, 현재 중앙선, 태백선 및 영동선에 이르는 청량리-동해간에서 운행중인 기관차이다. 이 전기기관차의 일반적인 사양은 다음 표 2와 같다.



그림 1. 측정대상 신형전기기관차 (EL8100호대)

표 4. EL 8100호대 기관차의 일반사양

번호	항 목	사 양
1	선로조건	
	1)궤간	1435mm
	2)최급구배	35‰ 이하
	3)최소곡선반경	100m 이상
2	전원	
	1)공칭전압/주파수	25kV/60Hz
	2)정출력 허용범위	24.5kV ~ 29.5kV
	3)사용범위	19.0kV ~ 29.5kV
3.	성능(출력)	5200kW (25kV ~ 27.5kV 범위에서)
	1)설계최고속도	150km/h
	2)연속운행최고속도	140km/h
	3)최대출발견인력	330N (인장력 : 300kN, 62.4km/h에서)
	4) 최대회생제동력	160kN(5km/h ~ 117km/h 범위내에서)
	5)제동거리	객차모드 : 1000m(150km/h) 화차모드 : 600m(110km/h)
4.	차량중량	88Ton
	1)차체	18.6Ton
	2)대차	34.4Ton
	3)전장품/기타	35.0Ton
5.	회로전압	
	1)제어회로	DC 110V
	2)보조회로	AC 440V
	3) 보온/냉난방	AC 200V, (AC220V)
	4) 전조등/미등회로	DC 12V
	5) 창담이 회로	DC 24V

3. 측정방법

부하 모델링을 위한 부하의 특성을 측정하기 위한 기본적인 측정시스템의 구성은 크게 측정대상 부하, 측정장비 및 데이터 저장장치 등으로 구성되어야 한다. 전압이나 주파수의 미소한 변동에 따른 부하의 응답을 측정하기 위해서는 높은 전압과 대전류를 측정장비에서 측정이 가능하도록 낮은 값으로 변환하기 위한 변성기가 필요하며, 입력 주파수의 변동도 측정하여야 하므로 주파수 변환장치도 필요하다. 측정장비는 부하에 인가된 전압과 주파수의 변동에 따른 부하의 응답인 유효 및 무효전력을 실시간으로 측정하여 데이터를 저장하는 데이터 취득장치(Data Acquisition System ; DAS)이다. 이 때, 아날로그 형태로 입력되는 데이터를 디지털 데이터 형태로 변환하는 A/D 변환장치가 있어야 하며, 측정되는 데이터의 양이 많으면 데이터 저장장치의 한계가 있을 수 있으므로 보조기록장치가 설치되어 있어야 한다. 이 외에도 보조적인 측정 장비로서 트랜스듀서(Transducer)나 멀티 테스터 등의 장비가 필요하다.

그림 3은 전기기관차에 대한 전압과 주파수 변동에 따른 부하의 특성인 유효 및 무효전력의 변화를 측정하기 위한 측정 회로도들 보인 것으로서, 판토타이프를 통하여 전기기관차에 공급되는 전압, 주파수, 유효 및 무효전력 등을 측정하게 된다. 그림 3에서 전력분석기(Power Analyzer)는 시험에서 데이터 취득장치 DAS로 사용되었으며, PT(Potential Transformer)와 CT(Current Transformer)의 2차 측으로부터 전압과 전류의 크기를 입력으로 받아서 상용주파수와 고조파 성

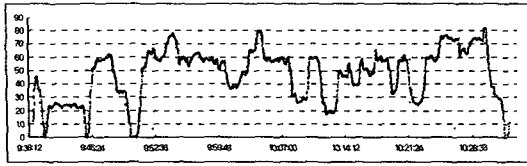


그림 5. 운행 속도의 측정결과

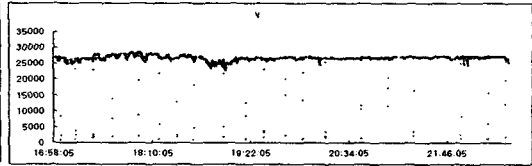


그림 6. 운행중 전압의 측정결과



그림 7. 운행중 전류의 측정결과

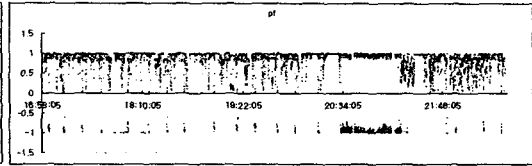


그림 8. 운행중 역률의 측정결과

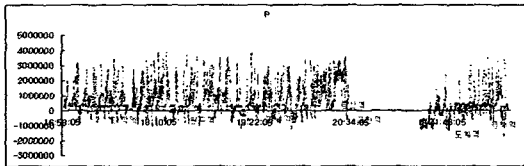


그림 9. 운행중 유효전력 측정결과

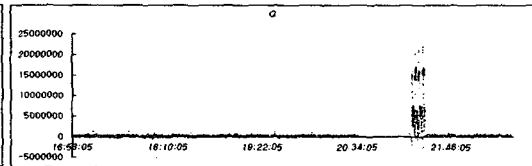


그림 10. 운행중 무효전력의 측정결과

전기 기관차의 부하모델링을 수립하기 위해서는 전기기관차의 운전 특성과 상관이 없는 일관된 부하모델을 수립하여야 하지만, 전기 기관차의 운전 특성상 역행과 제동 운전이 반복적으로 나타나며 각각의 운전 특성이 상당한 차이를 나타내므로 일관된 하나의 부하 모델을 수립하는 것은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 전기철도 차량의 운전 형태를 운행 속도 정보와 측정된 전류의 크기, 전력의 크기 및 역률 등의 정보를 이용하여 역행과 제동 운정으로 구분하여 각각의 운전 행태에 따른 부하모델을 제안하였으며, 표 3은 측정데이터로부터 운전 형태를 분류한 조건을 보인 것이다. 또한, 측정된 데이터에서 노이즈를 제거하기 위하여 이동 평균법을 이용하여 필터링을 수행하였다.

표 5. 운전형태의 분류

운전 모드	속도 정보	비 고
역행	$\frac{dv}{dt} > 0$	전류의 크기에 따라 세부적으로 분류 가능
제동	$\frac{dv}{dt} < 0$	

6. 부하모델링

본 논문에서는 신형 전기기관차의 측정 결과로부터 운행 형태에 따라 데이터를 분류하여 수립한 다항식 부하 모델을 제안하였으며, 그림 11과 12에서는 유효 및 무효 전력의 2차 다항식 부하 모델의 시뮬레이션 결과와 측정된 결과를 비교한 것이다.



그림 11. 유효전력의 변화(2차 다항식)

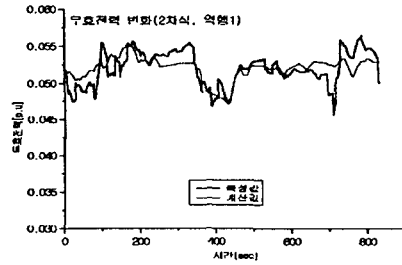


그림 12. 무효전력의 변화(2차 다항식)

그림에서 보는 바와 같이 현재 부하모델의 적용에는 측정값과 추정값과의 오차가 존재하여 다소간의 무리가 있음을 알 수 있다. 특히 유효전력 부분에서 오차가 발생하였다. 이에 따라 유효전력 모델의 접근 방안을 좀더 상세히 하여 현장에 적용할 수 있는 모델을 개발할 것이다.

7. 결 론

본 논문에서는 전기 철도 차량의 부하 모델링을 수립하기 위한 전기 기관차의 운전 특성 측정에 대한 내용을 다루었으며, 얻어진 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 상업 운전중인 신형 전기기관차에 대하여 전기적인 운전 특성인 전압, 전류, 주파수, 역률, 유효 및 무효전력의 변화를 현장에서 직접 측정하였다.
- 측정된 데이터에 대한 분석을 통하여 운전 형태를 제동과 역행 등으로 구분할 수 있는 기준을 수립하였으며, 데이터의 노이즈를 처리하기 위하여 이동 평균법을 적용하였다.
- 측정된 데이터를 이용하여 전기 차량에 대한 다항식 형태의 부하 모델링을 수립하였으며, 실측된 값과 시뮬레이션 값을 비교한 결과 무효전력의 경우 실측값의 추세를 잘 반영하고 있으나 유효전력의 경우 다소간의 오차를 포함하고 있어 이에 대한 향후 대책이 필요한 것으로 사료된다.

이와 같은 결과는 신형 전기기관차가 운행되는 구간에서는 본 논문의 부하 모델링 결과가 잘 맞을지 모르나 다른 구간에서의 적용을 위하여 좀 더 많은 구간에서의 측정과 분석이 필요할 것으로 사료된다.

참고 문헌

1. C. Concordia and S. Ihara, "Load Representation in Power System Stability Studies", IEEE Trans. on PAS, Vol.PAS-101, pp.969-977, April 1982
2. F. John Meyer and Kwang Y.Lee, "Improved Dynamic Load Model for Power System Stability Studies", IEEE Trans. on PAS, Vol. PAS - 101, pp.3303-3309, 1982
3. Institute de Recherche de L, Hydro-Quebec, Real-Time Digital Data Acquisition System for Determining Load Characteristics, Vol.1 EPRI Report EL-851, 1980
4. P. Ju, E.Handschin, D.Karlsson, "Nonlinear dynamic load modelling: Model and Parameter Estimation", IEEE Trans. on Power Systems, Vol.11, No.4, pp.1689-1697, Nov. 1996