

실측데이터를 이용한 VVVF 전동차 주행 중 직류전기철도 가선전압의 변동패턴 분석

Analysis of variation pattern of the trolley voltage associated by running of the VVVF electric trains in DC electric railway using measurement data

정현기*†

Hyun Ki Jung*†

Abstract VVVF control electric train in DC electric railway generates a regenerative braking energy during operation, greatly change the trolley voltage. As a result, the train service quality is also bad. In the present study, to confirm the cause of changing the trolley voltage, it was measured 477 times of 12 rounds during the day in Seoul Metro Line 2. Analysis of the measured data, the running-current and trolley voltage at each section indicates a different variation pattern. Running-current looks like there is a generally consistent compared to trolley voltage. It is mainly determined that internal factors. Trolley voltage is also affected by the own car, there is also the effect of external. This consumes power at other train, appears to result variation of regenerative braking energy is reflected.

Keywords : DC electric railway, Trolley voltage, Regenerative braking energy

초 록 직류전기철도의 전동차는 최근에 VVVF 인버터제어 교류유도전동기를 사용하면서 회생제동을 적극 활용한다. 이에 회생에너지로 인해 전차선의 가선전압이 크게 변동되고, 전동차의 운행품질에도 악영향을 미치게 된다. 따라서 본 연구에서는 전동차 주행에 따른 가선전압의 변동요인 및 패턴 분석을 위하여 국내에서 가장 운행빈도 수와 승객이 많은 서울지하철 2호선을 대상노선으로 선정, 총 477회 계측하였다. 실측데이터 분석결과, 각 구간은 상이한 전동차 주행전류와 가선전압의 변동패턴을 보이고 있으며, 주행전류의 변동은 가선전압의 변동에 비해 보다 일관성이 있어 보인다.

주요어 : 직류전기철도, 가선전압, 회생제동에너지

1. 서 론

직류전기철도의 전동차는 직류직권 견인전동기를 저항 제어하던 과거에 비해, 최근에는 교류유도 견인전동기를 VVVF인버터 제어하여 회생제동을 적극 활용함으로써 회생제동에너지로 인해 전차선 가선전압의 변동이 훨씬 크게 되고, 이에 따라 전동차의 운행품질에도 악영향을 끼치게 된다[1-3]. 따라서 1차적으로 전차선 가선전압이 변동되는 패턴을 분석하기 위한 실질적인 데이터를 확보하고자 국내 도시철도 운행구간에서 운영 중인 전동차 VVVF인버터 제어차량 1개 편성을 대상으로 선정하였다[4].

*† 교신저자: 서울메트로(hyunki@seoulmetro.co.kr)

이에 전동차의 주행에 따른 전차선 집전전압(Collecting voltage)과 회생제동에 따른 회생에너지 등 변동요인(Cause of change) 파악을 위하여 국내에서 가장 운행 빈도수와 승객이 많은 서울지하철 2호선을 계측대상 노선으로 선정하여 측정하였다[5].

실제 측정대상인 서울지하철 2호선에서 운행 중인 전동차의 정격 및 특성 등 제원은 다음 Table 1과 같으며, 측정대상 전동차는 VVVF제어 사양을 갖추고 있는 차량으로 기존의 저항 제어 차량이나 초퍼(Chopper)제어 차량에 비해, 많은 회생제동 사용으로 회생에너지 생산이 증가하고 있으며, 전기방식은 전차선 공칭전압 DC 1,500V, 전압변동범위는 DC 900V~1,800V 이다[6,7].

2. 본 론

2.1 측정시스템의 구성 및 계측횟수

모니터링시스템(Monitoring-system)의 구동을 위한 DC 100V 전원은 장애 등의 발생 시

Table 1 Characteristics and specifications of the electric train

Classification	Control method	Ride personnel	Traction motor			Starting current
			Rating capacity	Rating voltage	Rating current	
Specification	VVVF	160	210kW	AC3 1,100V	136A	3,067A

회로 분리를 위하여 MCCB 를 통하여 공급하도록 시스템을 구성하고, 전압 및 인버터와 보조전원장치 전류는 손실에 따른 오차를 줄이기 위하여 집전장치에서 가까운 지점을 선택하여 측정하도록 구성하였으며, 정보를 세분화하여 기록할 수 있도록 측정시스템을 Fig. 1 과 같이 구성하여 설치하였다[8].

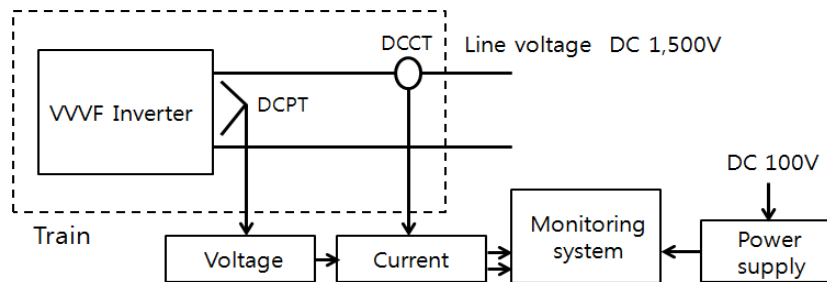


Fig. 1 Configuration of the measurement system

실시간 데이터 수집을 위한 모니터링시스템은 자체제작과 시험을 통해 장착하였으며, 주연산용 디지털신호처리는 1~5ms의 견본추출을 통해서 데이터 값을 수집하였다. 견본 추출된 데이터는 CF Card에 기록하였고, 기록 데이터는 PC분석용 프로그램을 이용해 분석, 표출하였다.

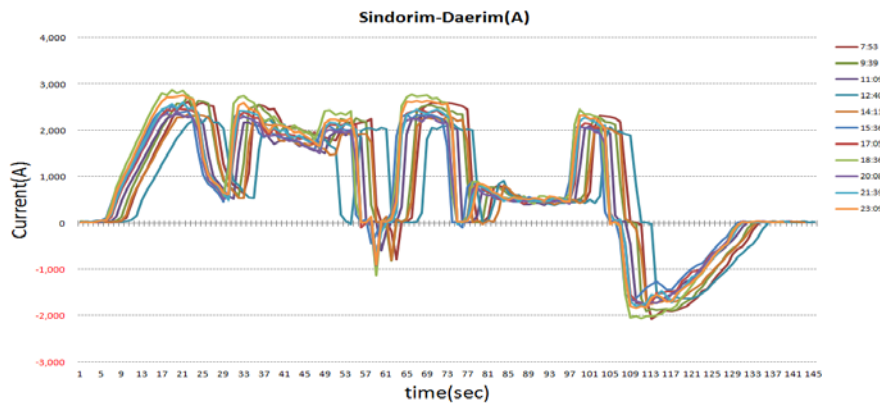
정차역간 운행 중 소비되는 주행에너지 분석은 출입문 개폐신호를 이용하여 역간 구분이 가능하므로, 출입문 개폐신호에서 인출하거나 출입문 열림을 위한 전원인가 신호를 이용하였다. 출입문 개폐신호에서 인출하는 것은 출입문 동작에 영향을 미칠 우려가 있으므로 전동차 운행에 영향이 없도록 좌우측 출입문 열림을 위한 전원회로에서 인출하였다.

측정구간은 서울지하철 2호선의 신도림역에서 신도림역까지 본선의 외측(신도림역 → 대림역방면) 구간을 첫차부터 막차시간까지 하루 종일 12번(Round), 총 477회 계측하였다.

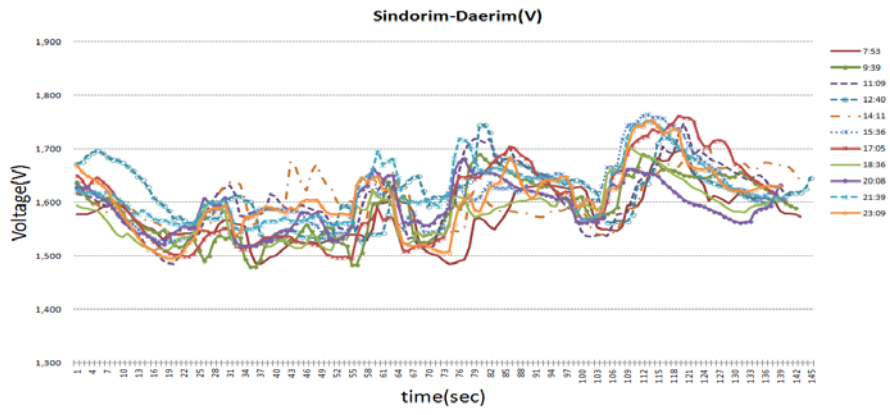
2.2 실측데이터의 분석

다음 Case A~D[Fig. 2~5]는 신도림역과 대림역간[Fig. 2], 신림역과 봉천역간[Fig. 3], 서울대입구역과 낙성대역간[Fig. 4], 낙성대역과 사당역간[Fig. 5]의 구간을 총 12번 운행하면서 단위 전동차의 주행전류와 전차선 가선전압의 변동을 나타낸 것이다.

각 구간은 상이한 전류와 전압의 변동패턴을 보이고 있다. 이는 구간별로 길이, 구배, 곡선구간 유무 등의 선로조건에 따라서 크게 좌우된 것으로서 특히, 신림역과 봉천역간[Fig. 3]이나 서울대입구역과 낙성대역간[Fig. 4]와 같이 역행-타행-회생 주행의 간단한 패턴을 보인 구간들도 있는 반면, 신도림역과 대림역간[Fig. 2]와 같이 역행-타행-회생제동이 여러 번 반복되거나, 낙성대역과 사당역간[Fig. 5]와 같이 선로의 구배 특성상, 짧은 회생주행이 연속적으로 진행되는 등 다양한 패턴으로 나타났다.

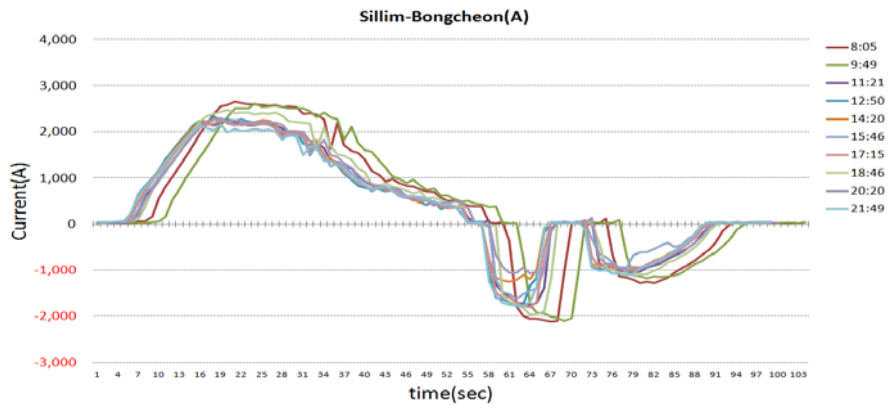


(a) Fluctuation of the running-current of the unit train

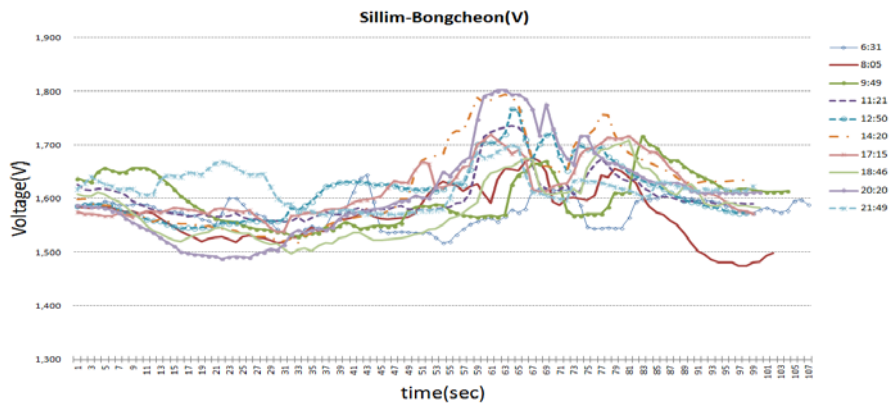


(b) Fluctuations in the trolley voltage

Fig. 2 Variation graph of the running-current and trolley voltage (Case A)

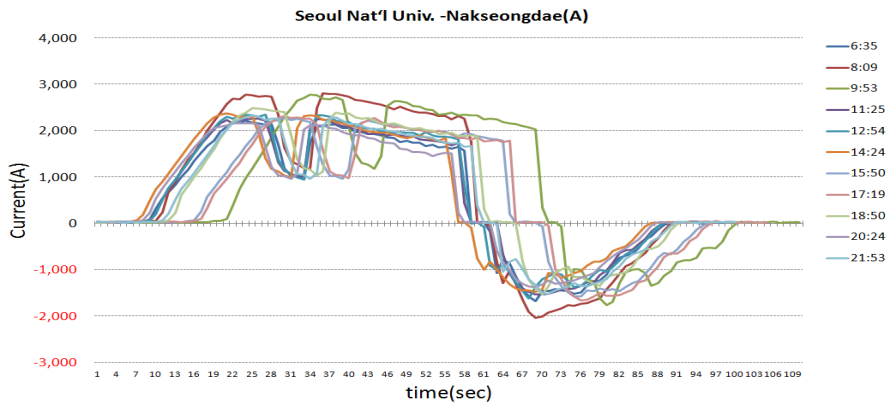


(a) Fluctuation of the running-current of the unit train

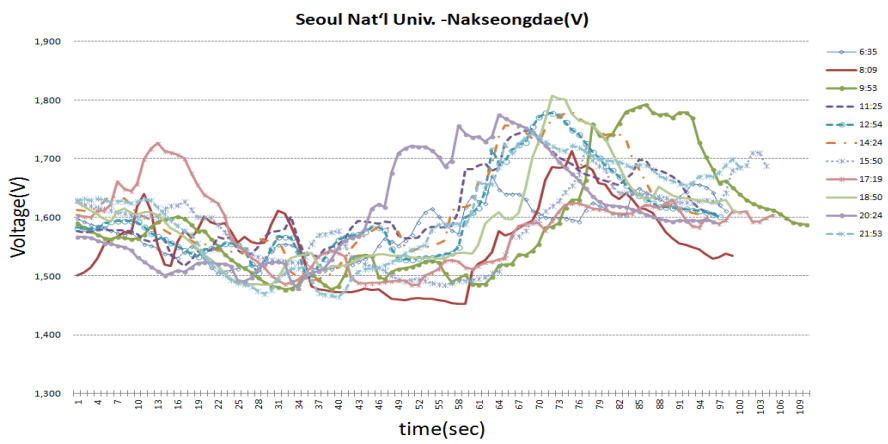


(b) Fluctuations in the trolley voltage

Fig. 3 Variation graph of the running-current and trolley voltage (Case B)

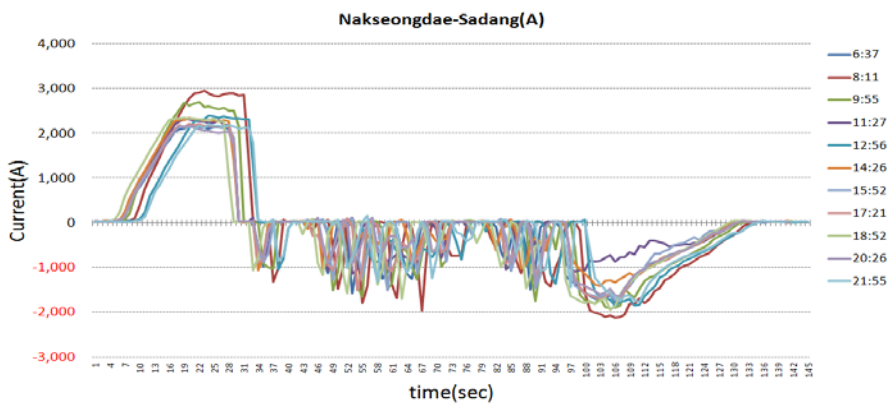


(a) Fluctuation of the running-current of the unit train

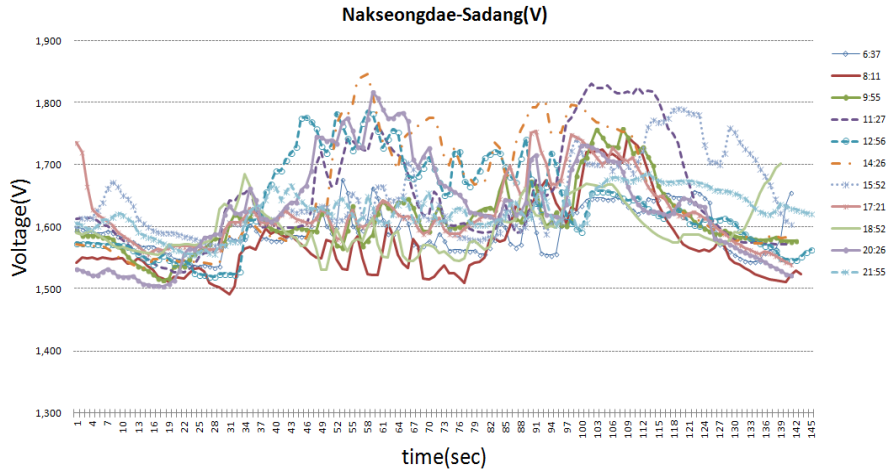


(b) Fluctuations in the trolley voltage

Fig. 4 Variation graph of the running-current and trolley voltage (Case C)



(a) Fluctuation of the running-current of the unit train



(b) Fluctuations in the trolley voltage

Fig. 5 Variation graph of the running-current and trolley voltage (Case D)

구간별로 주행전류와 가선전압의 변동패턴은 상이하더라도 패턴과 상관없이 주행전류의 변동은 가선전압의 변동에 비해 보다 일관성이 있어 보인다. 이는 주행전류가 자기 전동차의 운행에 따른 전력소비 및 회생에너지에 전적으로 결정된 반면, 전차선의 가선전압은 전동차 자차의 주행전류 변동과 외부영향인 것이다. 이는 다른 전동차에서 전력이 소비되거나 회생 제동으로 발전된 회생에너지의 변동이 반영된 결과이기 때문이다.

3. 결론

실측데이터를 분석한 결과, 각 구간별로 단위 전동차의 주행전류와 전차선 가선전압의 변동 패턴은 상이하더라도 패턴과 상관없이, 주행전류의 변동은 가선전압의 변동에 비하여 보다 일관성이 있어 보인다. 이는 주행전류가 단위 전동차의 운행에 따라 전력소모와 회생제동으로 인한 발전에 전적으로 결정된 반면, 가선전압은 자차의 주행전류의 변동과 외부영향, 즉 다른 차량에서 소모되거나 회생으로 인해 발전된 전압의 변동이 반영된 결과이다.

본 연구에서는 전동차의 주행전류를 기준으로 전차선 가선전압의 변동패턴을 1차적으로 분석하였고, 설명되지 않는 부분은 향후 과제로서 외부의 영향 즉, 다른 차량에 의한 전압변동을 심층 연구할 필요가 있다.

참고문헌

- [1] H.G. Baek (2007) A Study on the Improvement of Regenerative Brake System of Urban Railway Vehicle, Master's thesis, University of Seoul.
- [2] C.H. No (2008) A study for using method of regenerative power under electric brake of electric rail car, Master's thesis, Kyung Book National University.
- [3] J.H. Lee (2007) An experimental study on the factors affects EMU's precision stop characteristics, Master's thesis, Seoul National University of Technology.
- [4] C.H. Bae (2015) Modeling Voltage Variation at DC Railway Traction Substation using Recursive Least Square Estimation, *Journal of power electronics*, 20(6), pp.534-539.
- [5] C.H. An (2010) A Study on the Analysis of Energy Saving Effects of ESS in Urban Railway Operation, PhD Thesis, Seoul National University of Technology.
- [6] Ministry of Land, Transport and Maritime (2012) Standards of urban rail vehicle.
- [7] IEC 60850 (2014) Railway applications - Supply voltages of traction systems.
- [8] C.H. Bae, D.U. Jang, J.R. Kim, M.S. Han, Y.K. Kim (2007) Measurement and Analysis of Regenerative Energy in DC 1500V Electric Traction Substation, *Journal of the Korean Society for Railway*, 10(6), pp.717-722.