

전기철도환경하에서 부하변동에 따른 플리커지수의 변화양상에 대한 연구

Study about varying aspects of flicker indices by load fluctuating in electric railway system.

이강원*

김명룡**

백광선**

김원경***

Lee, Kang-Won* Kim, Myung-Yong** Baik, Kwang-Sun** Kim, Won-Kyung***

ABSTRACT

The environment of electric railway has included both fast and slow load variation, which may occur in the office or maintenance factory or running electric train. This paper investigated flicker indices according to voltage fluctuations on three different situations; The base office in new subway in the daytime and night time, inside of electric train running in conventional subway. And also the variations of harmonic frequencies(2nd, 3rd, 5th) with time were measured at the same time. Flicker index is a good tool for evaluating the volage fluctuation quantitatively and show some relationship with even harmonic frequencies produced by the voltage fluctuation when the electric train is running on the railway.

1. 서론

전압변동은 0.01s에서 수십초정도의 시간에 걸쳐 반복적으로 변화하거나 과도전압을 발생시키는 부하(모터기동등)에 의하여 발생하며, 주로 전압변동이 일어나는 원인으로서는 강철제조 및 처리에서 사용되는 산업 부하들 즉, arc furnace, rolling mill, 대용량 가변 속도 전동기, 반복적인 대용량 전동기 기동, 반복적인 전원 스위칭등을 들수 있다. 대부분의 전압변동은 광 flicker 문제를 발생시키지 않으나, 전압변동의 크기가 크고 빈번하게 발생하며, 특히 고장 level이 낮은 때 많이 발생한다. 전기철도환경은 전동차의 기동과 제동이 빈번하므로 전동기의 부하변동이 다른 환경에 비해 극히 심하다. 그러므로 이에 따른 전압변동도 심해지므로 관련 기기의 이상동작 및 광플리커링 등의 문제가 발생될 수 있다.[1] 광플리커링은 전동차를 이용하는 승객의 안정성 및 형광등의 수명을 급격히 감소시키는 결과를 초래할 수 있다. 본 논문에서는 실제 전기철도환경하에서 전압변동에 따른 플리커지수의 변화를 측정하고 전압변동과 연관된 고조파성분의 변화양상을 확인하여 전기철도환경하에서의 전압변동과 플리커지수의 연관성과 그 영향의 심각성 및 변동원인을 살펴보고자 한다.

* 한국철도기술연구원, 주임연구원

** 한국철도기술연구원, 선임연구원

*** 한국철도기술연구원, 책임연구원

2. 본론

2.1 전력변동과 flicker

전압변동(Voltage Fluctuation)이란 일련의 랜덤한 전압변화로서 그 크기는 ANSI C84.1-1982에서 규정된 변동범위인 0.9 p.u. ~ 1.1 p.u.를 벗어나지 않는 현상을 말한다. IEC 61000-3-3에서는 전압변동을 “series of changes of r.m.s voltage, evaluated as a single value for each successive half period between zero-crossings of the source voltage”로서 정의하고 있듯이 일련의 랜덤 또는 연속적인 전압변화가 이에 해당한다고 할 수 있다. 기술적으로 정확히 말하자면 전압변동은 전자계현상으로 부하에 있어서 바람직하지 않은 전압변동의 결과이다. 그러나, 전압변동과 플리커는 표준규격에서 자주연결되어 사용되고 있어, 이러한 전압변동을 전압플리커(Voltage flicker)라는 어휘로 표현하고 있다. 부하전류의 크기가 연속적으로 빠르게 변화하는 부하는 종종 flicker라고 불리는 전압변화현상을 유발시킬수 있다. 여기서 flicker라는 말은 전압변동에 의해 램프의 깜박거림이 인간의 눈에 의해 감지되는 데서 유래되었으며, IEC 61000-3-3에서는 “impression of unsteadiness of visual sensation induced by a light stimulus whose luminance or spectral distribution fluctuates with time”라고 정의하고 있다. 또한 flicker란 조명의 변화에 대한 개인들의 주관적인 평가이며, 전압변동에 의한 램프에서의 조도의 변화가 결국 빛의 flickering으로서 인지되는 현상으로 설명된다. 그림 1은 두가지 전원파형에 대한 변조주파수의 전압변동에 사람의 인지정도를 나타내고, 10Hz 정도에서 피크를 보여주며, 1~25Hz의 범위를 가진 전압변동하에서의 flicker에 대하여 사람이 가장 민감하게 반응한다는 것을 보여주고 있다. 인간의 눈은 flickering되는 빛의 차이에 따라 다르게 반응하며, 느린 flickering은 빠른 flickering보다 더 적게 어지러움을 유발하지만, 매우 빠른 flickering은 전혀 인지되지 않는다. 예를 들어, 60Hz에서 동작하는 정상적인 형광등이 깨끗이 보이는 것이 그 한예이다. 60(50)Hz 교류전압에서 동작하는 형광등은 전압의 0점을 지나는 시점에서 꺼지므로 정확히 초당 120(100)번의 on/off를 하게 된다. 우리의 눈은 이러한 빠른 flickering을 안정된 빛으로서 인식한다. 인간의 눈이 가장 민감하게 반응하는 것은 초당 18번이며 분당 1080번의 변화이다. flicker는 전압의 빠른 변화로 부터 발생하므로, flickering light로서 등을 점멸시키는 것과 같은 것으로 이해될 수 있다. Flicker는 배전망 임피던스의 전류부하에 대한 반응으로부터 고조파를 발생시키는 것과 유사하게 발생한다. 고조파와는 대조적으로 비선형전류주변에서 일어나는 것이 아니고, 반복적으로 변화하는 부하에서 발생한 대전류의 흐름때문에 일어난다. 즉 고기동전류, 보다 큰 부하, 저항용접, 압축기와 같은 펄스성 전원의 강한 엔진을 on/off 할 때이다. 덧붙여, flicker는 발전기와 Uninterruptible power supplies(UPS)에서 전압안정화에 문제를 일으킬수 있으며, 부하로부터의 반응뿐만이 아니라 제어전압변화도 포함한다. 최근에 flicker는 ripple 제어신호에 의하여 일어날 수 있다.

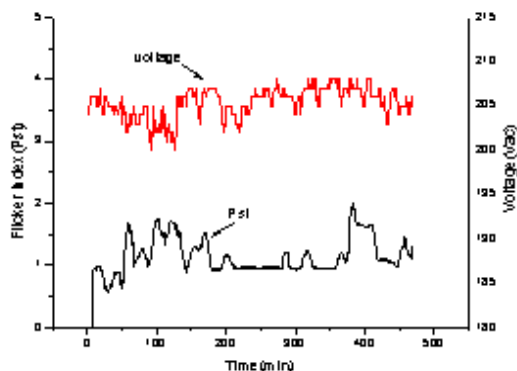
2.2 실험방법

플리커지수를 측정하기위하여 DEWETRON사의 DEWE2010과 전력품질측정용 소프트웨어인 PNA(power network analyzer)를 이용하였다. DEWE2010은 범용 데이터획득장비로서 전압을 측정할 수 있는 보드(0~1000V, 0~50V)와 각종 센서에 연결하여 쓸 수 있는 Signal conditioning 보드를 장착할 수 있게 되어 있다. 또한 PNA 프로그램은 플리커지수 뿐만 아니라 전력품질을 단상부터 3상까지 평가할 수 있도록 다양한 기능을 제공하고 있는 프로그램으로서 본

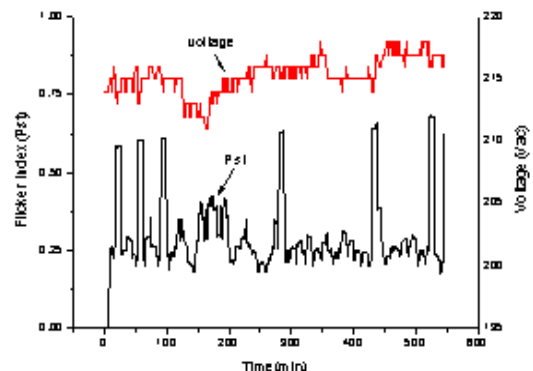
실험에서는 전기철도용 단상부하에서의 전압변동에 의한 플리커지수의 측정을 주목적으로 하였다. 측정을 위한 전압단자의 선택은 가능한 부분부하의 영향을 덜 받는 곳으로 하여 측정대상이 되는 시스템의 전체적인 전압변동에 대한 시간에 따른 플리커지수의 변화를 확인하였다.

2.3 결과 및 고찰

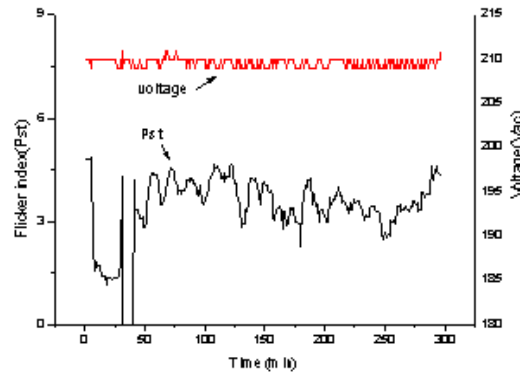
본 논문에서는 새로이 개통예정인 지하철구간에서 전동차가 운행되는 주간(운행시격 7분)과 전동차가 운행되지 않는 야간에 기지내 일반 사무실에서의 전압변동과 전동차가 선로를 주행하는 도중에 전동차내에서의 전압변동을 측정대상으로 하였고 각각에 대해 시간에 따른 전압변동과 플리커지수(P_{st})의 변화를 비교하였다. 그림 1은 전압변동에 따른 플리커지수의 변화를 시간의 추이에 따라 관찰한 결과이다. 이때 플리커 지수 P_{st} 는 1분간 전압변동의 누적분포를 이용하여 추정한 값으로 일반적으로 $P_{st}=1$ 을 기준으로 하며 P_{st} 가 1보다 큰 경우 전력시스템에서의 전압변동이 광플리커링 또는 주변기기에 영향을 줄 수 있는 정도로 판단 할 수 있다. 그림 1(a)의 기지내 사무실에서의 주간대 측정은 오전 10시경부터 오후 18시까지 행해졌으며, 그림 1(b)의 야간대 측정은 오후 21시경부터 오전 6시경까지 행해졌다. 그리고 그림 1(c)의 전동차내에서의 측정은 전동차의 운행이 상대적으로 많은(운행시격 약 3~5분) 기존노선에서 주간인 11시경부터 9시경까지 행해졌다. 그림 1(a)와 (b)의 경우 전압변동이 발생하는 시점에서 플리커지수의 변화도 발생을 하며 플리커지수의 크기는전압변동의 크기에 의해 결정됨을 확인할 수있었다. 단, 그림 1(c)의 경우, 측정시 측정전압폭의 잘못된 조정으로 정확한 전압변동이 측정되지 못하였으나 노선 상황하에서 플리커지수변화를 잘 나타내고 있음을 알수 있다. 그림 2는 기지내사무실 야간(a)/주간(b), 지하철 노선상의 운행전동차내(c)에 대한 플리커지수값의 발생빈도를 비교한 결과를 보여주고 있으며, 각각의 플리커지수 평균값은 0.3, 1.15, 3.5으로 구해졌다. 그림 2에서도 알수 있듯이 노선주행시 전동차내에서 측정된 플리커지수의 값이 기지내 사무실에서 측정된 결과보다 훨씬 더 큰 값을 나타내고 있다. 기지내 사무실의 경우 기지에서 주행중인 전동차에 의한 부하변동을 받고는 있으나 전동차의 속도가 기지내에서는 25km/h의 낮은 속도로 제한되어 그 부하변동이 80km/h까지의 속도로 주행이 가능한 노선의 부하변동크기에 비해 작아지게 된다. 실제 노선에서 전동차가 가속도 감속을 하는 경우, 가속시 부하와 회생시 회생전압에 의하여 가선전압이 약 $\pm 200\sim 300V$ 정도로 변화하게 된다. 다음으로 전압변동에 따른 고조파전압의 변화를 살펴보고자 한다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 1 Voltage fluctuation and Flicker indices in three different situations

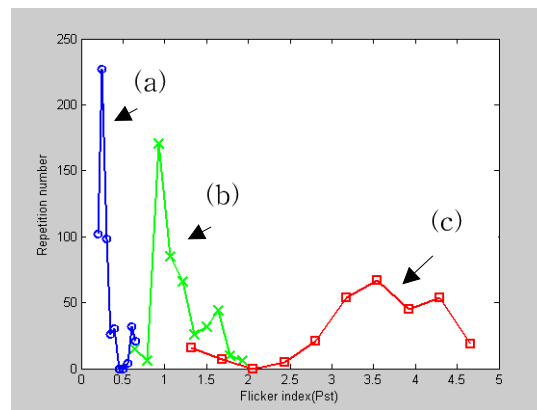
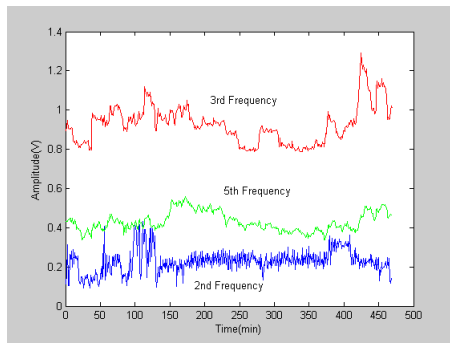
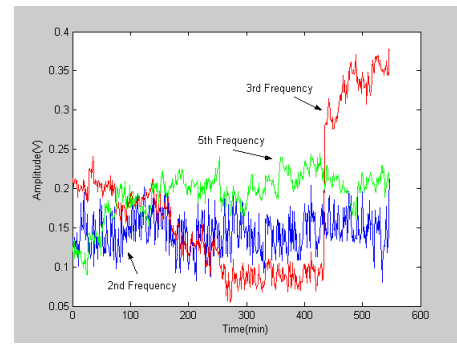


Fig. 2 Distributions of flicker indices in three different situations

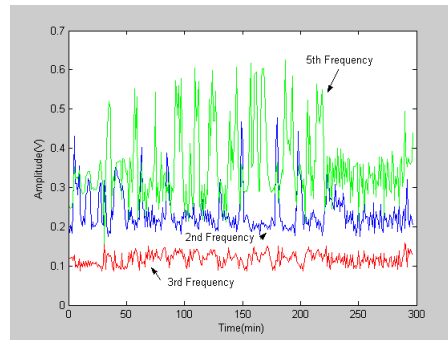
고조파전압은 변압기의 과열 및 이상소음을 증대시키고, 콘덴서회로에 이상전류를 발생시켜 콘덴서의 운전에 저장을 주기도 하고 고조파 전류에 의한 계전기류의 오동작을 일으키게 하는 수도 있다.[2] 여기서는 정류시 주로 발생하는 3고조파와 일반적인 전력설비에서 주로 존재하는 5고조파의 시간에 따른 크기변화를 관찰하였다. 그림 3은 그림 1의 전압변동이 관찰되어진 시점에서의 2고조파(120Hz), 3고조파(180Hz) 및 5고조파(300Hz)의 발생추이를 나타내고 있다. 그림 3(a)에서 2고조파의 경우 3고조파 및 5고조파에 비해 크기는 작으나 플리커지수의 시간에 따른 변화와 비교할 때 초기와 말기에서의 플리커지수의 변화와 매우 유사한 패턴을 보여주고 있는 것을 알 수 있다. 기지내에서의 전동차의 운행은 전동차가 기지에서 노선으로 나가는 시기와 노선에서 기지로 전동차들이 들어오는 시기에 가장 빈번하므로 2고조파가 전동차운행시 플리커지수의 변화와 어느정도 관계가 있을 것으로 추정할 수 있다. 3고조파와 5고조파의 경우 전동차의 운행빈도가 적은 낮시간대에 플리커지수의 변화와 관계가 있는 것으로 생각되며, 이는 기지내에서의 전력기기 사용에 따른 결과로 생각할 수 있다. 그림 3(b)의 전동차운행이 이루어지지 않는 야간시간대 기지 사무실에서의 고조파 측정결과는 부하사용이 매우 적은 시간대에 측정되었으므로 주간대 측정된 결과에 비해 그 크기가 작으며, 단지 3고조파의 크기변화가 다른 두 개의 고조파성분에 비해 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 변전소에서 가선으로 전압을 공급하고 차단하는 시점과 관계가 있는 것으로 보여진다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 3 Harmonic frequencies(2nd, 3rd, 5th) in three different situations

그림 3(c)에서 5고조파의 크기가 그림4(a)와 (b)의 결과와 비교하여 2고조파 또는 3고조파의 성분보다 크기가 크고 변화의 폭이 크다는 것을 알 수 있다. 이러한 특징은 차량내 인버터의 구동에 따른 고조파성분의 전원내 유입과 관계가 있을 것으로 추정되며 이러한 간섭이 플리커지수의 변동에 영향을 주는 것으로 생각할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 전기철도환경에서 전동차의 부하변동에 따른 전압변동의 크기를 플리커지수로서 정량적으로 비교검토하고자 하였다. 전동차의 본격적 운행이 이루어지지 않았으나 주간내 노선운행이 이루어지는 신규 지하철내 기지사무실에서 주간과 야간에서의 플리커지수의 변화와 현재 영업운전이 진행중인 기존노선의 운행중 전동차내에서 플리커지수의 변화등 세가지의 경우에 대하여 살펴보았고 전동차의 운행에 따른 전압변동이 심하다는 것을 플리커지수의 평균값(3.5)으로서 확인하였다. 또한 전압변동에 대한 2고조파, 3고조파 및 5고조파의 영향을 비교분석하였으며, 그 결과 2고조파의 경우, 전동차의 운행에 의한 전압변동요인으로서 작용하며, 전동차내에서는 5고조파의 영향이 매우 크다는 것을 확인 할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 최영하, 이강원, 김명룡, 윤정근, 송종호(2004년), “전동차의 전력품질저하에 따른 광플리커 현상에 관한 연구”, 한국철도학회 04 춘계학술대회논문집, pp.382-382
- [2] 최흥규(2000년), “전력사용시설물 설비 및 설계”, 성안당