

영업운행 전동차 객실형광등의 플리커(Flicker) 현상에 관한 분석 연구

An analysis on Flicker Phenomenon of a Fluorescent lights for the commercial operating EMU

* 이대원 ** 하중은 ** 한성호 **박재홍
* LEE DAE WON, **HA JONG EUN, **HAN SEONG HO, **PARK JAE HONG

ABSTRACT

Generally, there are two types of main factors to affect output power quality of a auxiliary power supply an EMU(electric multiple unit). One is a voltage flicker by amplitude modulation of short time and air compressors. The other is repetitive motion of large capacity motor such as air compressors, HVAC unit etc. in main factors.

This paper compared two kinds of fluorescent lamp, 32W (after remodeling interior) and 40W(before remodeling interior) and measured the light output varying input power(AC220V) for a flicker phenomenon related power supply of lamps in EMU.

Also, we analyzed a flicker considering EMU operating time and density in order to grasp main factors of a load change to cause a voltage change.

As a results of test, a 40W fluorescent lamp was more insensitive with 20.26% degree an eye recognition degree sides about changes of the input power and lower with 19.9% voltage side generating flicker compare with fluorescent lamp 32W.

Also, we confirmed the fact which the fluorescent lamp flicker was generated by varying fluorescent lamp output voltage when the commercial EMU was in high driving density and at the busy time. Additionally, we confirmed the frequency band which an EMU passenger could feel sensitively blinking of a fluorescent lamp was visually 8Hz ~ 15Hz.

일반적으로 전동차 보조전원장치의 출력전원 품질에 영향을 주는 주된 요인으로는 짧은 시간동안의 진폭변조로 인한 전압플리커 현상과 전동차 내부의 공기압축기 및 냉난방 환기장치 등 대용량 전동기의 반복적인 구동 등을 들 수 있다.

본 연구는 전동차내의 형광등의 전원과 관련된 플리커 현상에 대해 내장재 개조 후 형광등 32W와 개조 전 40W를 입력전원(AC220V)의 변동에 따른 광 출력(밝기) 로서 측정 비교하였다.

또한, 전압변동을 유발하는 부하변동의 주된 요인을 파악하기 위해 전동차 운행시간과 운행밀도를 고려하여 플리커 현상을 분석하였다.

연구결과, 개조 후 형광등 32W에 비해 40W 형광등이 입력전원의 변화에 대해 육안인식정도 측면에서는 20.26% 정도 덜 민감하게 반응함을 알 수 있었으며, 심한 플리커가 일어나는 전압의 경

우도 19.9%로 더 낮게 측정되었다.

또한, 운행차량의 부하변동 영향에 있어서는 주로 영업차량의 운행밀도가 높고, 이용승객이 많은 혼잡시간대에 보조전원장치(SIV)의 출력전압 변동으로 인한 객실형광등 플리커가 발생된다는 사실을 확인할 수 있었다.

더불어, 전동차 이용승객이 육안으로 형광등의 깜박임을 민감하게 느낄 수 있는 가능 주파수대역으로서 8Hz ~15Hz 임을 확인하였다.

1. 서 론

인구증가와 에너지 소비의 급증 및 고유가로 인해 세계 각국은 미래 에너지에 관심이 고조되고 있고 화석연료 감소를 위해 대체연료 확보를 위한 방안 마련에 국가의 우선 정책과제로 채택하고 있는 이즈음 우리나라에서도 에너지 절약 및 환경보호의 일환으로 신속성, 정시성, 편리성으로 인해 대중교통수단 중 전동차 이용을 적극 권장하여 이용승객이 급증하고 있으며 전동차 보조전원장치 출력전원의 품질을 야기하는 여러 가지 요인 중에서 짧은 시간동안의 진폭변조로 인한 전압플리커 현상, 전동차 내부의 공기 압축기 및 냉난방 환기장치 등 대용량 전동기의 반복적인 구동 등에 의해서 전력의 품질이 저해될 수 있다.

고효율의 조명기기나 전력반도체를 이용한 유도기기 사용으로 에너지 소비를 줄이는 방안이 구미를 포함하여 세계 각국의 기술 추세이며, IEC(International Electrotechnical Commission)에서는 저주파 전원계통의 PQ(Power Quality)에 대한 기준으로 1982년에 IEC555.2(Harmonics : 고조파), IEC555.3(Voltage Fluctuation : 플리커)등의 표준이 제정되었으며, 다시 IEC1000-3-2와 1000-3-3로 개정되어 이어서 다시 IEC 61000-3-2와 IEC61000-3-3으로 수정 변경되었으며, 1996년부터 EU에서 판매되는 대부분의 전기기기는 EMC Directives 지배를 받는 이들 표준에 만족해야 하는 실정에 있다. 국내에서는 이 기준이 법적구속력은 없으나 EU에서는 법적으로 구속되는 EN(Euro Norm) 61000-3-2와 61000-3-3을 발표하여 EMC 정책에 반영하고 있는 실정이고 미국, 일본 등은 이와 유사한 표준을 채택하는 과정에 있으며, EU에 속하지 않는 한국을 비롯한 미국, 일본의 제작사와 판매자는 관련 IEC Norm 을 부합시켜야 한다. 이와 관련, 고효율의 전기기기 및 전기계통 안정화를 위해서는 고조파 전류를 발생시키는 전력반도체가 필요하나 전력용 반도체를 사용하는 형광등의 전자식 안정기나 컴퓨터, TV, FAX, 프린터와 같이 SMPS를 사용하는 사무용 기기 및 PWM 제어기를 사용하는 모터 구동장치는 전기계통을 구성하는 공동 전원의 품질(power quality :고조파, 플리커 등)에 영향을 끼침으로 이에 대한 평가분석이 요구되고 있다.[1,2,3,4]

본 연구에서는 전동차내의 형광등의 전원과 관련된 플리커 현상에 대해 현재 사용 중인 형광등과 기존 형광등의 상관관계를 비교 분석하고 및 영업운행 중인 전동차의 보조전원장치의 출력전압변동이 플리커 발생에 영향을 미치는지 실측 및 분석하여 전동차용으로서 적합여부를 연구하고자 한다.

2. 본 론

2.1 전력품질 요인 및 램프모델

일반적으로 전력품질에 영향을 주는 문제점들은 크게 두 가지로 구분할 수 있다. 첫 번째는 전력의 공급신뢰성에 영향을 주는 요인으로서 전력공급이 일시적으로 완전히 중단되거나 사고 등으로 인해 전압 공급이 순간적인 중단 후 다시 공급되는 것과 같은 것들이 있다. 두 번째는 전력의 품질저하 요인으로 고조파(harmonics)문제, 전압불평형(unbalance), 순간전압상승(voltage swell) 및 순간전압강하(voltage sag) 그리고 전압노치(voltage notch)등을 들 수 있다.

정현파 입력에 대한 램프의 응답은 다음의 식 (1)로 주어지며, 램프의 인가전압은 식 (2)로 주어진다.

$$\text{램프 응답 모델 } \Delta J/J_R = k \cdot \Delta V/V_R \cdot (I/\sqrt{(1 + \omega^2 \tau^2)}) \quad \dots \dots \dots \text{ 식 (1)}$$

램프 인가 전압

$$V_o = (V \cos \omega t (1 + m \cos \omega_f t))^2 \quad \dots \dots \dots \text{ 식 (2)}$$

2.2. 플리커의 모델링

2.2.1. 모델링 시스템 구성

정상상태에서 얻어진 결과로 램프모델 시뮬레이션에 적용하였다. 즉 32W 형광등에서 밝기의 변화가 느껴지는 전압의 변동으로 나타나는 전력변화량과 깜박임이 나타나는 광출력 변화량을 시뮬레이션을 통해 확인하였다. 시뮬레이션은 MatLab7.01버전으로 하였다.

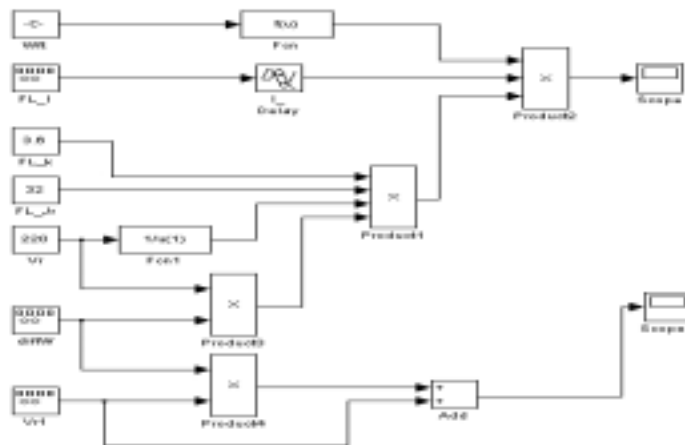


그림 1. 시뮬레이션블록다이어그램.

2.2.2. 플리커 모델링

그림2,3,4에서 보듯이 입력전압 변동에 대한 광출력의 변화를 그래프로 볼 수 있었다. 플리커를 육안으로 볼 수 있는 경우는 깜박임 뿐 만 아니고 밝기의 변화도 육안으로 관측될 수 있다. 따라서 밝기의 변화가 느껴지는 입력전압 변동 22%에서의 결과를 보면 광출력 수치는 최대 16을 가리키고 있다.

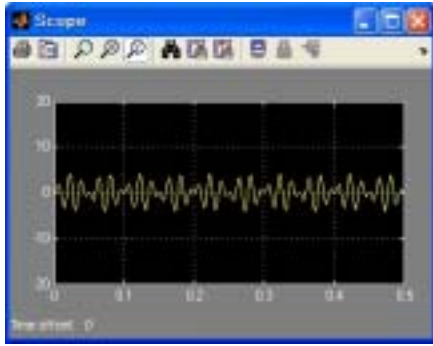


그림 2. 광출력 변화량 (5%)
(220V,60Hz 정현파 + 10Hz 5% 변동)

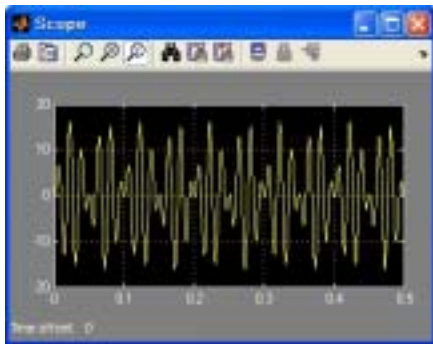


그림 3. 광출력 변화량 (22%)
(220V,60Hz 정현파 + 10Hz 22% 변동)

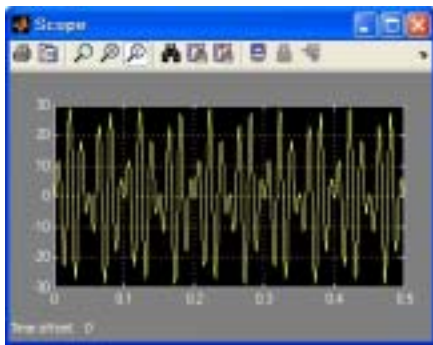


그림 4. 광출력 변화량 (36%)
(220V,60Hz 정현파 + 10Hz 36% 변동)

2.2.3. 모델의 플리커 평가

형광등의 플리커 현상을 분석하기 위해 우선 시중의 형광등 회로를 검토하였다.

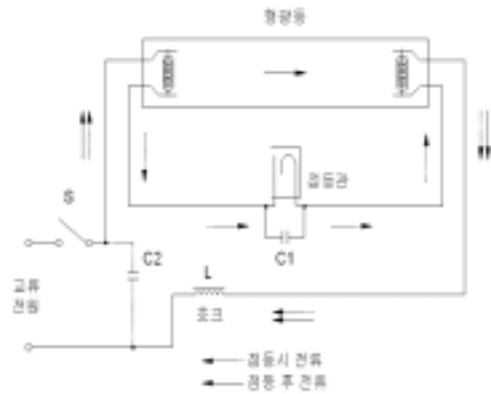


그림 5. 형광등 회로

2.2 형광등의 측정 및 분석

시료는 일반형(40W)과 절전형(32W)을 사용하여 두 형광등의 측정결과를 확인함으로써 일반 형광등에 인가되는 입력 전압의 변화에 따른 정적 변화상태 확인을 추정할 수 있을 것으로 판단되며, 전압/전류파형의 측정 외에 육안에 의한 광 밝기의 변화가 발생하는 전압과 형광등이 깜박이기 시작하는 전압을 확인할 수 있었다.

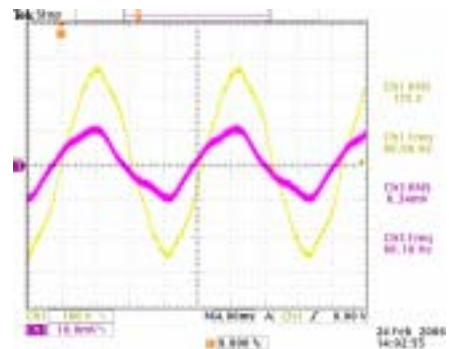


그림 6. 40W 180V 입력 (정상상태)

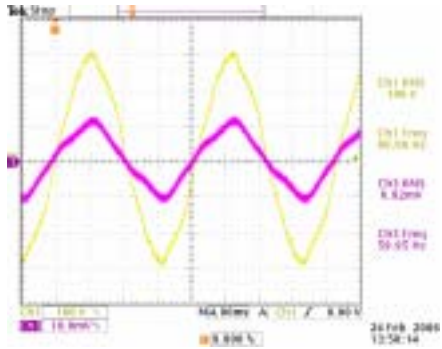


그림 7. 40W 200 V 입력 (정상상태)

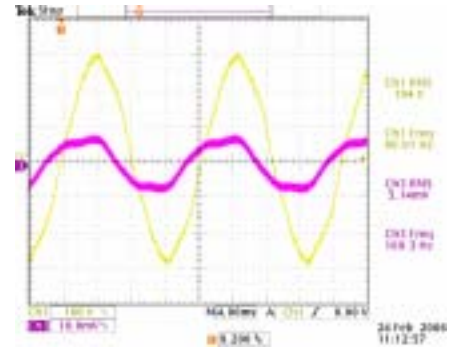


그림 10. 32W 200V 입력 (정상상태)

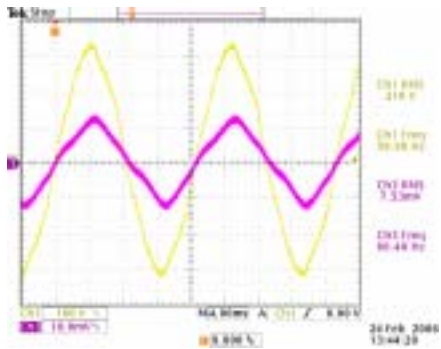


그림 8. 40W 220V 입력 (정상상태)

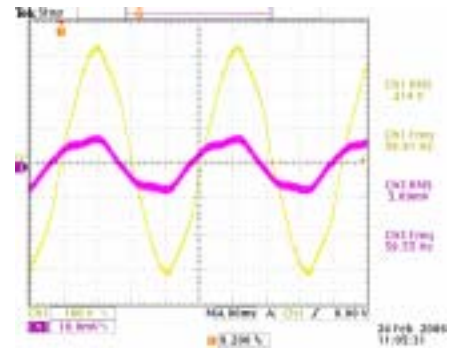


그림 11. 32W 220V 입력 (정상상태)

40W 형광등의 정현파 입력파형은 상기 그림 6,7,8와 같다. 160V 입력의 경우는 점등이 되지 않아 파형을 측정할 수 없었다. 그림과 같이 정현파 입력상태에서의 전류파형은 정현파에서 왜곡이 있지만 크지 않고 비교적 깨끗한 파형을 보이고 있다.

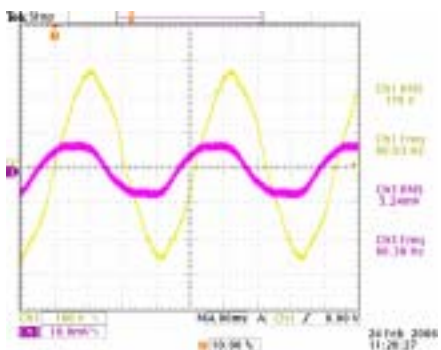


그림 9. 32W 180 V 입력 (정상상태)

32W 형광등의 정현파 입력에 대한 전압 및 전류 파형은 그림 9,10,11과 같다. 40W 에서의 경우처럼 160V에서 점등되지 않는 경우는 없으며, 전압 및 전류 파형은 40W 형광등과 유사하고 전류 RMS 값의 차이가 있었다. 전동차에 사용되는 두 종류(기존형/절전형)의 형광등에 대해 시험실에서 정상상태의 입력전압과 입력전압변동에 따른 저주파수(10Hz) 발생시의 형광등 광량변화에 의한 깜박임 발생을 육안으로 확인할 수 있었으며, 광량변화는 32W 형광등이 40W 형광등 보다 10V 가량 높은 전압에서 발생되어 입력전압 변동에 민감히 반응함을 알 수 있었으며, 프리커(깜박임) 발생시의 전압도 유사하게 40W 형광등에 비해 약 25V 가량 높다는 것을 확인할 수 있었다. 이 실험결과로서 전동차 내장재 개조시 기준

형광등(40W)을 절전형 형광등(32W) 변경한 객실형광등이 사람의 육안으로 감지되는 플리커(깜박임)가 발생이 많이 발생할 수 있음을 확인하였다.

2.3 영업차량의 객실형광등 플리커 현상 실측

2.3.1. 영업차량 측정조건

이용승객이 탑승한 영업 중인 차량에서 형광등의 플리커 발생시 광출력 변화량을 측정하기는 현실적으로 제약조건이 많아 매우 어려운 실정으로 형광등의 깜박임이 가선전압의 급 변동에 따른 전원공급 장치인 보조전원장치(SIV) 출력전압에 영향을 미쳐 전압변동 주파수가 육안에 의한 감지 가능한 플리커 주파수대인지 고찰하였다.

측정구간은 서울메트로 4호선 전 영업구간에서 비러시 시간대(AM 11:30~12:30)에는 DC구간(당고개역~사당역)를, 러시시간대(PM 5:30~7:00)는 AC구간까지 포함(금정역~노원역)하여 측정하였으며, 외기온도는 30℃로서 차량 내 온도가 냉방가동 조건(25℃이상)을 만족하였으며 냉방기는 전 냉방(42000kcal/량)으로 가동하고, 공기압축기(CM)는 출입문 취급시 반드시 구동중임을 확인하고 보조전원장치(SIV)의 출력전압인 상-중성점 전압의 변화(형광등 입력전원 : 2Φ AC 220V 60Hz, 선번호 : AC881선, 880N선)을 측정하였다.

서울메트로 4호선 영업구간 중 형광등 플리커 발생은 영업운영 차량이 많은 러시 시간대(PM 18:00~18:30) 부터 발생됨을 확인하였고 가선이 AC인 구간보다 DC구간에서 많이 발생되었으며 이때 확인된 파형 및 변동 전압 주파수는 그림18부터 그림21에 나타낸 바와 같이 육안에 의한 확인 가능한 30Hz 미만의 플리커 주파수임이 확인되었다.

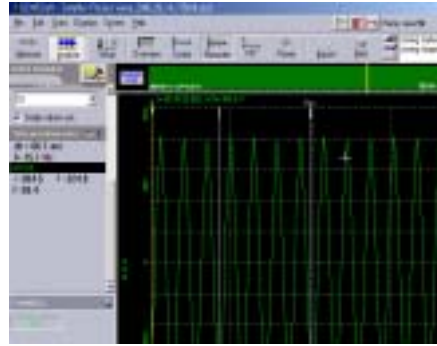


그림 12. 4호선 상행선(혜화 - 한성대역), 플리커 주파수 15Hz,

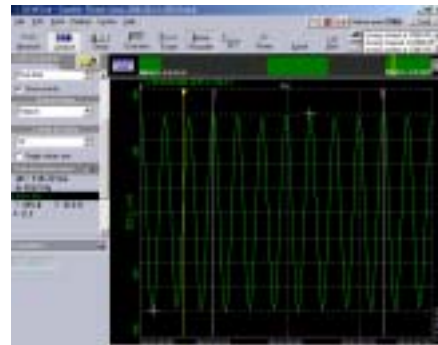


그림 15. 4호선 상행선(길음역 -미아삼거리역) 플리커 주파수 8.57Hz.

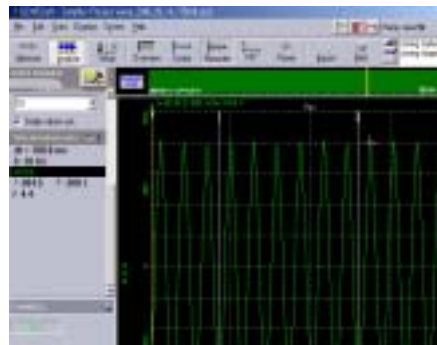


그림 13. 4호선 상행선(한성대 - 성신여대) 플리커 주파수 10Hz

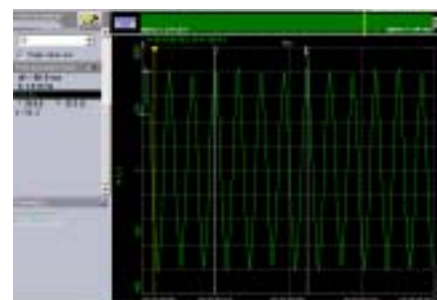


그림 14. 4호선 상행선(성신여대 - 길음역) 플리커 주파수 14.9Hz

3. 결 론

본 연구는 입력전원(AC 220V)이 변화 할 경우 RMS(평균치) 값은 유사하였으나 내장재 개조 후에 적용한 형광등(32W)이 내장재 개조 이전 전동차에 사용한 형광등(40W)보다 민감하게 반응함을 확인할 수 있었다. 즉, 32W 형광등의 광출력(밝기) 변화는 입력전원이 AC180V(정격의 -18.1%) 정도에서 육안으로 변화를 확인되었으며 AC 140V(63.6%)범위에서는 심한 플리커 현상을 확인하였으나, 40W 형광등은 이보다 훨씬 낮은 입력전압 AC 170V(정격의 -22.7%)에서 광 출력(밝기)변화가 있었으며 심한 플리커 현상도 AC 115V(52.2%) 정도에서 육안으로 확인됨에 따라 절전형 형광등(32W)이 기존의 형광등(40W) 보다 보조전원장치의 출력전압 변동에 민감하게 작용한다는 사실을 확인할 수 있었다.

서울메트로 4호선은 영업운행의 차량밀도가 적은 비러시 시간대(AM 11:46 ~ 13:05)는 육안에 의한 형광등 플리커 발생을 확인할 수 없었고, 영업차량의 자체 유도부하인 승객의 하중에 의한 냉방기 및 공기압축기 가동시 보조전원장치의 출력전압 변동으로 인한 객실형광등 플리커가 발생보다는 주로 영업차량의 운행밀도가 높고 이용승객이 많은 혼잡 시간대에 객실형광등 플리커가 발생한다는 사실을 확인할 수 있었으며 플리커 주파수는 일정하지는 않으나 승객이 형광등 깜박임을 민감하게 느낄 수 있는 주파수대역임(8Hz ~ 15Hz)이 확인되었다.

참 고 문 헌

- [1]IEC 1000-3-2, 3-3, 61000-3-2, 61000-3-3
- [2]R.E.Brown et al, "Distribution System Reliability Assessment Momentary Interruptions

and Storms," IEEE PES Proceedings 96 SM, pp.1-6, 1996.

[3]R.C.Dugan et al., "Indices for Assessing Utility distribution System RMS Variation Performance," IEEE Transaction on Power Delivery, Vol.13, No.1, pp.254-259, January 1998.

[4]R.C.Dugan, Mark F.Mc Granaghan and H.Wayne Beaty, "Electrical Power Systems Quality", McGraw-Hill, pp.9-80, 1996.

* 책임저자 : 이대원, 일반회원, 서울산업대학교철도 전문대학원(서울메트로 과장), 철도차량시스템공과(창동 차량사무소 겸수팀)

E-mail : subldw@yahoo.co.kr,

TEL : (02)934-3651, HP) 019-307-1952

FAX : (02)939-4847

* 저자2의 저자소속 : 하종은, 미가입, 서울산업대학교(교수), 자동차공학과,

E-mail : jeha@snut.ac.kr,

TEL : (02)934-3651, HP) 019-9170-2895

FAX : (02)979-7032

* 저자3의 저자소속 : 한성호, 정회원(박사), 한국철도기술연구원(책임연구원),

E-mail : shhan@krri.re.kr,

TEL : (02)017-581-3516, HP) 017-581-3516

FAX :

* 저자4의 저자소속 : 박재홍, 춘해대학(교수), 컴퓨터정보과(교수),

E-mail : parkjh@choonhae.ac.kr

TEL : 016-583-8450

FAX : (052)270-0491