螢光燈의 사용중에 발생되는 磁界波形의 測定과 解析

(Measurement and Analysis of Magnetic Field Waveform Generated by Operating Fluorescent Lamp)

李福熙* · 全德圭** · 吉曝碩***
(Bok-Hee Lee · Duk-Kyu Jeon · Gyung-Suk Kil)

요 약

본 논문에서는 時變磁界測定을 위한 센서와 형광등의 점등에 의하여 발생되는 자계의 특성에 대하여 기술하였다. 자계측정계는 동축케이블을 사용한 자기적분형 자계센서와 증폭기, 적분기로 구성하였으며 교정실험 결과, 周波數帶域은 약 40Hz~100kHz이었다. 수동점등식, 고주파점등식과 글로우점등식 등 여러가지 점등방식의 형광등에 의하여 발생되는 자계의 파형을 측정하고, 측정된 자계의 주파수성분을 고속푸리에변환(fast Fourier transformation : FFT)기법으로 해석하였다.

형광등의 점등중에 발생되는 자계성분은 주로 奇數高調波 성분이 많이 포함되어 있으며, 인덕션킥에 의하여 점등순간에는 급변성의 과도성분이 나타났다. 전자회로나 제어기기의 보호를 위한 磁界遮蔽裝置를 설계할 때에는 반드시 자계의 기수고조파성분을 고려하여야 됨이 확인되었다.

Abstract

This paper describes the developed sensor for measuring the time-varying magnetic fields and presents the characteristics of the magnetic field generated by lighting a fluorescent lamp. The magnetic field measurement system consists of integrator, amplifier and the self-integrating magnetic field sensor made of coaxial cable and its frequency bandwidth is known as 40 Hz~100 kHz by means of calibration experiment. The magnetic field waveform, which originates from the various lighting systems such as push button switch type, high frequency starter and glow starter for fluorescent lamp, was measured, and the frequency components were analyzed by fast Fourier transformation technique.

The magnetic field generated during the operation of the fluorescent lamp mainly includes the odd harmonics, and the fast transient components in an instant of lighting are occurred by an induction kick. As a consequence, it was found that the odd harmonics of the magnetic field generated by lighting the fluorescent lamp should be considered when the magnetic field shieldings are designed for protecting electronic circuit and control devices.

Keywords ; Fluorescent lamp(형광등), Calibration(교정), Harmonics(고조파), Self-integrating magnetic field sensor(자기적분형 자계센서)

* 正會員 : 仁荷大 工大 電氣工學科 副敎授
** 正會員 : 서울産業大 工大 自動車工學科 講師
*** 正會員 : 仁荷大 工大 大學院 電氣工學科 博士課程
接受日字 : 1994年 3月 2日

1. 서 론

최근 전자산업의 발달과 각종 전기전자제품의 사용이 일상화되어짐에 따라 전자파장해로 인한 사고발생률이 증가하고 있으며, 이러한 분야의 연구에 응용될 수 있는 계측기기의 개발이 선결과제로 대두되고 있다. 전자기기로부터 발생되는 잡음을 측정하는 장비로는 유사전원회로망, 안테나, 흡수클램프 등의 결합회로나 센서를 통해서 雜音電壓, 雜音電界強度, 雜音電力을 측정하는 무선잡음측정용의 수신기가 있지만 주파수선택특성 및 검파특성, 과부하특성이나 펄스응답특성 등의 고유특성을 해석하는 기술이 요구되고 있다. 계측장치와 측정회로에 미치는 잡음의 억제대책에 관하여는 써-지관측용 오실로스코우프를 사용하면서부터 연구되어 왔다.[1), 2)]

방사전자계의 침입과 유도장해방지법으로는 저항분압 대칭회로를 사용하는 방법과 감지신호를 크게 하여 신호 대 잡음비(S/N)를 개선하는 방법 등이 있지만 이는 일종의 계측기술이며, 電磁波障害의 근본원인에 대한 정량적인 분석과 해결방법은 아직 개발되지 못하였다. 전자파장해의 제거와 대책을 수립하기 위하여는 자계파형의 정확한 측정이 필수적이므로 전력기기 및 전기제품의 운전조작시 발생되는 시변성 과도자계파형측정이 가능하고 피측정 자계의 영향을 거의 받지 않는 자기적분형 자계센서를 개발하였다.[3)] 각종 전기기기의 사용시 발생되는 자계성분은 주로 誘導磁界와 방사자계이다. 이들 자계는 직접적으로 측정될 수 없으므로 센서로는 피측정자계에 대한 時導函數($d\phi/dt$)로서 유기되어지는 유도기전력을 구하고, 적분기를 통하여 미지의 자계의 세기에 대해 직접 비례하게 되는 출력을 얻을 수 있게 하여야 한다.

본 연구에서는 여러가지 점등방식에 대한 형광등의 점등시와 점등되어 있을 때 발생되는 자계의 파형을 측정하고 주파수성분을 분석할 목적으로 自己積分機能을 가지는 루우프센서를 제작하고, 이를 이용하여 대표적 조명기구인 형광등의 조작시 발생되는 시변성 과도자계의 파형을 측정하고, FFT기법을 적용하여 자계의 주파수성분과 특성을 조사하였다.

2. 실험계의 구성과 방법

본 연구에서 사용된 시변자계측정계는 루우프형 자계센서, 적분기 및 증폭기로 구성되어 있으며, 이의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 루우프형 자계센서는 전자유도법칙에 의하여 동작하며, 이의 동작원리와 특성에 대하여는 이미 보고된 바 있다.[4), 5)] 시변자계감지용 센서는 RG-58/U의 동축케이블로 제작하였으며, 루우프의 직경은 15㎝이고 이 때의 인덕턴스는 0.35μH이다. 또한, 동축케이블의 특성임피던스와 매칭되도록 自己積分抵抗을 50Ω으로 하였다.

루우프형 자계센서에 의하여 감지되는 신호는 자속의 변화에 대한 時導函數이므로 실신호로 출력시키기 위해서는 적분기가 필요하다. 센서에 의하여 감지된 신호를 적분시키게 되면, 출력신호가 대단히 미약하므로 센서에 의하여 감지된 신호를 증폭시킨 후 적분하는 회로를 구성하였다. 受動性積分器는 저항 400Ω과 저손실 캐패시터 11μF를 사용하여 제작하였으며, 연산증폭기는 고입력임피던스용 증폭기로서 다양한 급준성 신호에 대해서 고응답특성을 갖고 있는 LH0032를 사용하였다.

제작된 자계측정계의 응답도와 주파수대역 등 계측기로서의 기본성능을 파악하기 위하여 단위계단응답특성을 측정하였다. 변류기법을 적용하

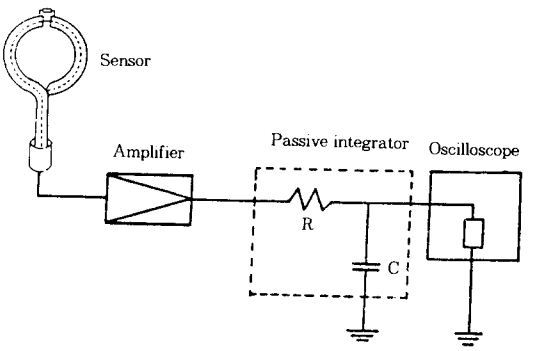


그림 1. 자계측정계의 개략도
Fig. 1. Schemetic diagram of the magnetic field measurement system

여 직각파응답파형의 상승시간과 감쇠시정수를 측정하였다. 제작된 자계측정계를 이용하여 형광등의 여러가지 점등방식에 대한 점등시와 점등되어 있는 상태에서 발생되는 자계파형을 측정하고, 측정된 각각의 신호들을 FFT를 통하여 자계의 주파수성분을 분석하였다. 電流源에 의하여 발생되는 자계의 세기는 발생원으로부터의 거리와 방향에 따라 변화하기 때문에 측정점을 정확하게 표기하기는 매우 곤란하다. 본 연구에서는 형광등의 점등조작 또는 점등되어 있는 상태에서 발생되는 자계성분을 조사할 목적으로 점등장치와 방전관의 근접거리(약 10~20㎝정도)에서 자계의 세기가 최대인 방향의 측정값을 제시한다.

3. 실험결과 및 고찰

주파수대역을 알아보기 위한 교정실험에서 정현파입력에 대하여 측정한 본 실험계의 응답특성을 그림 2에 나타내었다. 이 결과로부터 −3dB의 低域側 遮斷周波數는 약 40Hz정도이고, 高域側 遮斷周波數가 100kHz이상이 됨을 알 수 있다.

측정계의 응답감도를 알아보기 위해서 교정용 코일에 구형파 전류를 인가하여 측정한 응답파형의 예를 그림 3에 나타내었다. 이 때 인가된 자계의 세기는 24.04A/m이므로 자계측정계의 단위자계의 세기(1 A/m)에 대한 즉, 應答感度는 약 0.59mV/A/m가 된다. 이와 같이 제작된 자계측정계를 이용하여 형광등의 조작시 발생되는 자계를 측정하였으며, 측정대상으로는 수동점등식, 고주파점등식과 글로우점등식에 대한 형광등의 점등순간과 점등되어 있는 동안에 발생되는 자계로 하였다. 실험결과는 본 측정장치에 한정된 것이므로 임의의 單位(A.U)로 나타내었다.

3.1 수동점등식

본 연구에서는 15W용량의 탁상용 수동점등식의 형광등에 대하여 연구하였다. 수동점등식의 경우 점등용 스위치를 누르고 있는 동안 쵸크코일과 兩전극을 통하여 점등중의 약 1.5~2배 정도의 전류가 흘러 전극을 가열시키게 된다. 이 때 스위치를 개로하면 전류가 급속히 차단되어 이 순간에 쵸크코일에 의하여 전극간에는 과도적으로 수 백 V의 전압이 유기되어 점등된다. 그림 4에는 점등용 조작스위치를 누르고 있는 동안에 발생되는 자계를 측정하고 FFT한 결과의 대표적인 예를 나타내었다. FFT결과에서 보면 형광등의 전원주파수인 60Hz를 기본파로 하여 기수고조파성분이 두드러지게 나타나 있으며, 특히 第3高調波이상의 기수고조파성분이 비교적 큰 값을 가지고 있음을 알 수 있다.

그림 5는 수동점식 형광등의 점등순간에 발

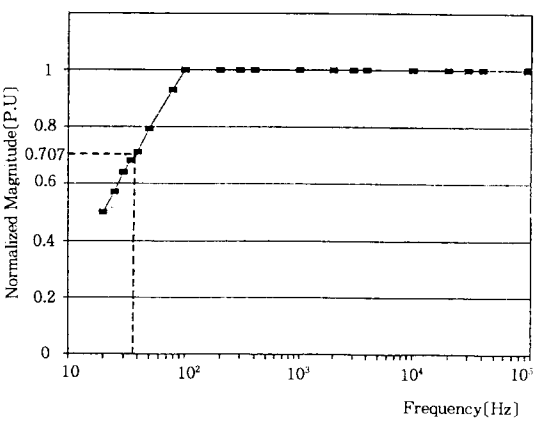
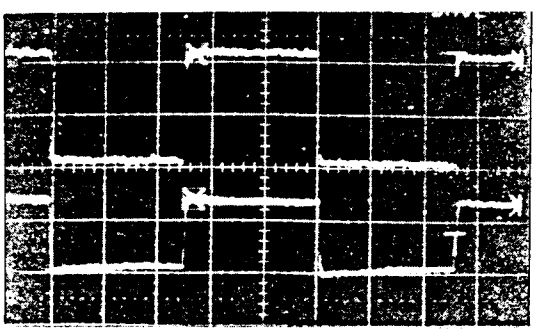


그림 2. 자계측정계의 주파수응답특성
Fig. 2. Frequency response characteristics of the magnetic field measurement system



위 : 입력파형[12A/m/div, 50㎲/div]
아래 : 출력파형[10mV/div, 50㎲/div]

그림 3. 자계측정계의 응답파형의 예
Fig. 3. Typical response waveform of the magnetic field measurement system

생되는 자계의 파형을 측정하고, 이의 FFT결과를 나타낸 것이다. 그림 5의 결과에서 알 수 있는 바와 같이 급변성의 과도상태를 나타내고 있으며, 이는 스위치의 개방시 발생되는 급격한 전류의 차단에 의한 것으로 사료된다. 또한 과도상태의 극성이 부의 값을 갖는 것은 전류의 차단에 의한 역기전력이 발생되어 센서로 감지됨을 나타내고 있다. 그림 5(b)는 자계파형에 대한 FFT의 결과이며, dBmA/m/Hz는 1mA/m/Hz 이상에 대하여 데시벨로 표시한 양을 나타낸다. 이 결과에서 60Hz와 180Hz성분이 두드러지며, 50Hz이하의 양은 컴퓨터에 의하여 FFT계산할 때 임의로 삽입되어진 DC성분의 영향으로 별다른 물리적 의미는 없다.[6]

그림 6은 점등된 후 정상점등상태에서 발생되는 자계를 측정하고 FFT한 결과의 예이다. 형광등의 전원으로 사용된 전압의 기본파 주파수인 60Hz가 고조파 성분에 비하여 현저히 크게 나타나고 있다. 그 밖에 180Hz, 300Hz, 420Hz 등 기수고조파성분이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있으며, 그 이상의 주파수영역에서는 기본파에 비하여 −20dB이하로 감쇠되고 있다. 또한, 고조파 성분들의 減衰정도가 점등중인 경우에 현저하였다.

3.2 고주파점등식

40W용량을 가지는 일반조명용 형광등을 대상으로 실험하였으며, 그림 7은 고주파점등식 형광

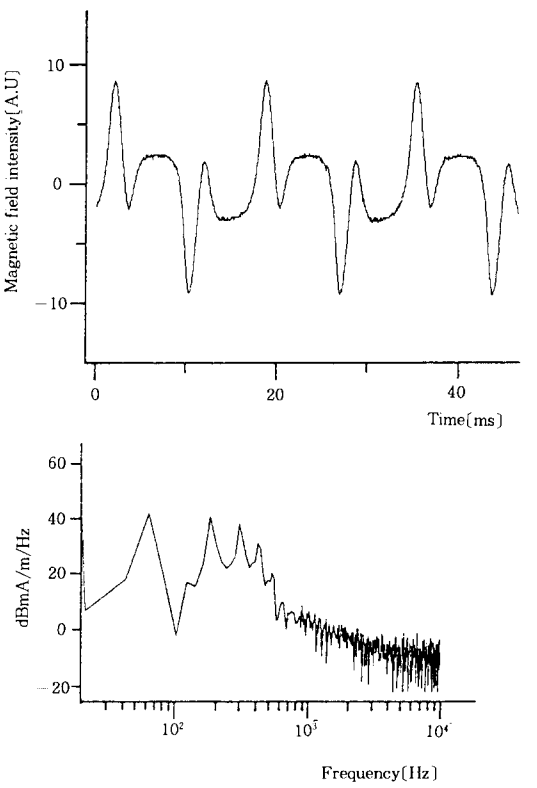


그림 4. 수동점등식 형광등에 있어서 예열전류에 의하여 발생되는 자계의 파형과 그의 FFT결과
Fig. 4. Magnetic field waveform generated by the pre-heating current and its FFt for a push button type fluorescent lamp

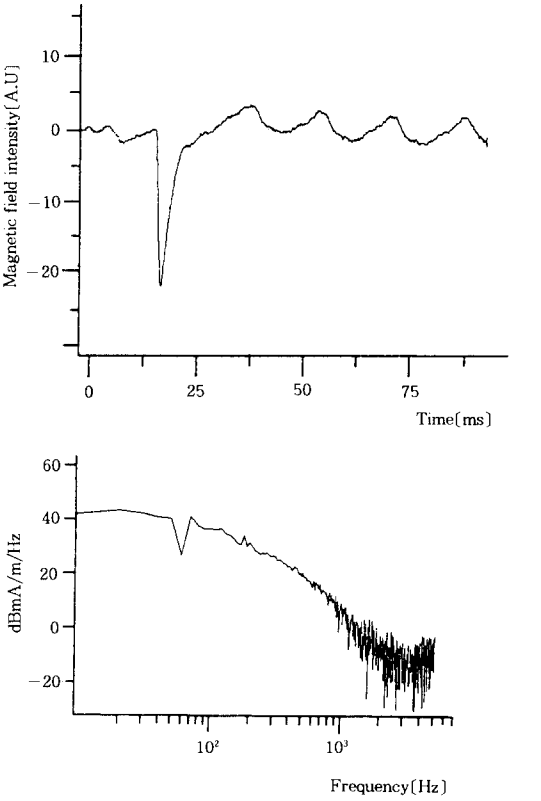


그림 5. 수동점등식 형광등의 점등순간에 발생되는 자계의 파형과 그의 FFT결과
Fig. 5. Magnetic field waveform generated in an instant of lighting a push button type fluorescent lamp and its FFT

등의 점등순간에 발생된 자계를 측정하고 FFT한 결과의 예를 나타내고 있다. 수동점등식의 형광등의 경우와 같이 점등순간에 급격히 변동하는 과도현상에 의하여 나타난 단일성 펄스에 약 25kHz의 진동성분이 중첩된 파형을 보이고 있다. 이러한 과도현상은 점등순간에 형광등의 방전특성에 의하여 흐르는 방전전류와 입력전류성분이 중첩되어 있기 때문이다.

그림 8은 형광등의 정상점등중에 측정한 자계의 파형과 FFT결과를 나타낸 것이다. FFT결과에서 보면 25kHz를 기본파로 하여 제2조파인 50kHz, 제3조파인 75kHz성분이 주로 나타나 있으며, 수동점등식과는 다르게 제2조파성분이 두드러지게 나타난 것이 특징이다. 전체적으로 정상상태의 경우에는 주파수만이 다를 뿐 수동점등식에서의 형태와 유사한 특성을 나타내고 있다. 또한 점등순간에는 점등중에 비하여 점등회로의 기본파 주파수인 25kHz성분은 작으나 高周波性分은 훨씬 더 많이 내포되어 있으므로 점등시에 전자파장해요인이 있음을 알 수 있다.

3.3 글로우점등식

글로우점등방식의 경우 글로우 點燈管의 放電持續時間이 대단히 길기 때문에 인덕션킥이 일어나는 순간을 포착하기는 범용의 축적형 오실로스코우프로는 매우 어렵다. 본 연구에서는 13W용량의 글로우점등식의 형광등에 대하여 실험하였으며, 글로우점등순간에 발생되는 자계파형의 관측은 불가능하였고, 그림 9에는 글로우점등식 형광등에 예열전류가 흐르고 있는 동안 즉, 인덕션

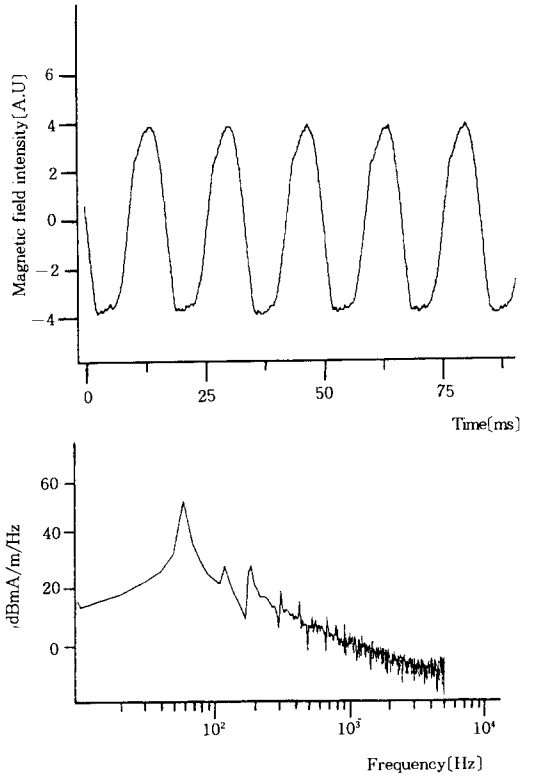


그림 6. 수동점등식 형광등의 점등중에 발생되는 자계의 파형과 그의 FFT결과

Fig. 6. Magnetic field waveform generated during the operation of a push button type fluorescent lamp and its FFT

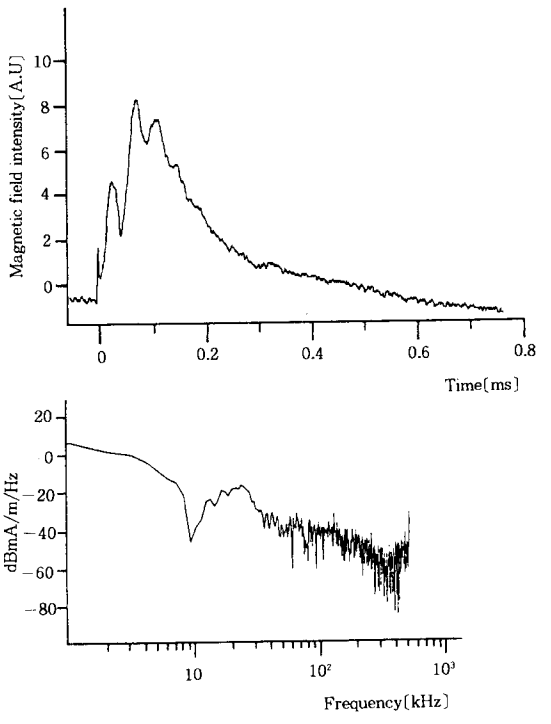


그림 7. 고주파점등식 형광등의 점등순간에 발생되는 자계의 파형과 그의 FFT결과

Fig. 7. Magnetic field waveform generated in an instant of lighting fluorescent lamp with high frequency starter and its FFT

킥이 일어나기 직전에 발생하는 자계의 파형과 FFT결과의 예를 나타내었다. 수동점등식에서 예열전류에 의하여 발생되는 자계파형과는 다른 양상을 보이고 있으며, 60Hz를 기본파로 하여 고조파성분을 많이 포함하는 비정현주기파로 나타나고 있다. FFT결과를 보면 기본파인 60Hz와 제2조파, 제3조파와 제5조파의 성분이 현저하게 나타나 있다. 점등된 정상상태에서 발생되는 자계파형의 측정결과와 이의 FFT결과를 그림 10에 나타내었다. 豫熱電流에 의하여 발생하는 자계파형과는 상당히 다르며, 제3조파, 제5조파 등 기수고조파성분은 상당량 포함되어 있으나 제2조파성분은 발생되지 않고 있다.

수동점등식 및 글로우점등방식의 형광등의 경우 점등전에 예열전류가 흐르고 있는 동안에 발생하는 자계에는 제2조파성분이 상당량 포함되어 있으나 정상점등중에는 제2조파성분이 약화되어 나타나고 있다. 이것은 예열전류 또는 점등순간의 과대전류에 의하여 쵸크코일용 철심이 포화되기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 정상운전전류에 의한 철심의 포화는 거의 없어져 비대칭성분도 미약하므로 제2조파성분이 약화되는 것으로 볼 수 있다.

또한 고주파점등방식의 형광등에서는 정상점등중에도 제2조파(약 50kHz)성분이 나타나고 있는데, 이것은 점등용 인버터회로의 영향 때문인 것으로 여겨진다. 일반적으로 인버터회로에서 正負의 불평형이 일어나는 경우가 많으며, 이 불평형에 의하여 제2조파성분이 발생하게 된다. 따라서 이들 고조파성분의 제거를 위하여는 수동점

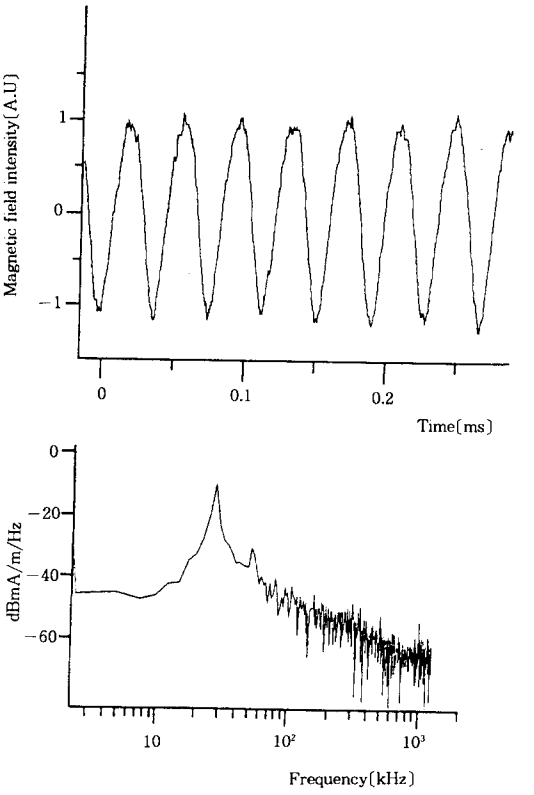


그림 8. 고주파점등식 형광등의 점등중 발생되는 자계의 파형과 그의 FFT결과

Fig. 8. Magnetic field waveform generated during the operation of fluorescent lamp with high frequency starter and its FFT

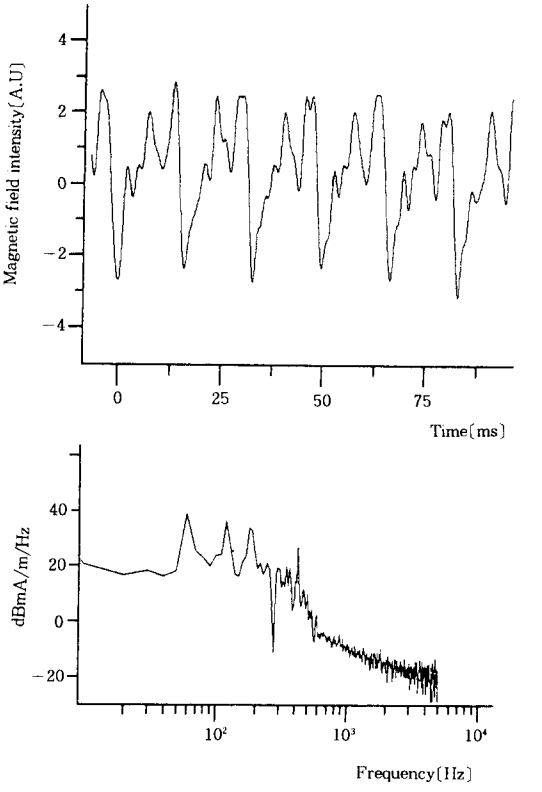


그림 9. 글로우점등식 형광등에 있어서 예열전류에 의하여 발생되는 자계의 파형과 그의 FFT결과

Fig. 9. Magnetic field waveform generated by the pre-heating current of the fluorescent lamp with glow starter and its FFt

등식 또는 글로우점등식의 경우는 쵸크코일용 철심이 포화되지 않도록 설계하면 효과적이고, 고주파점등방식에 대하여는 점등용 구동장치가 正負平衡이 유지되는 인버터회로를 적용하여 구성하면 상당히 감쇠시킬 수 있을 것이다.

형광등이 점등되어 있는 경우 방전관에 흐르는 전류는 관의 기하학적 치수 즉, 관의 직경과 길이, 형태 또는 인가전원의 주파수에 따라 파형이 변화하기 때문에 주변에서 발생되는 자계의 파형도 이들의 요인에 의하여 특성이 달라질 것으로 생각되며,[7] 여러가지 형상과 점등방식, 용량을 가지는 형광등에 대한 특성을 일률적으로 비교, 검토하기는 매우 어려우므로 각각의 개별적 특성을 조사해 볼 필요가 있다. 실험에 적용한 형광등은 점등방식을 비롯하여 관의 直徑과 길이, 形狀, 容量 등이 각각 다르기 때문에 절대비교는 별다른 의미가 없으므로 대체적으로 상대적인 특성의 차이에 대하여 검토하였다.

위의 3가지 점등방식의 형광등에 대한 실험결과를 종합하여 볼 때 점등후 정상상태에 있어서는 수동점등식이나 고주파점등식의 경우에는 고조파성분이 기본파성분에 비하여 상당히 작게 나타나며, 기본파이상의 주파수영역에서는 급격한 감쇠를 보이고 있다. 그러나 글로우점등식에서는 점등순간과 점등중의 결과가 비슷하며, 제3조파 이상의 기수고조파 성분이 매우 크게 나타나 있다. 고주파점등식의 경우에 발생되는 자계의 세기는 수동점등식과 글로우점등식에 비하여 상대적으로 낮으나 고주파성분이 많이 포함되어 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 시변자계의 측정이 가능한 측정계를 구성하고 점등방식이 서로 다른 형광등을 측정대상으로 하여 각각의 점등순간과 점등후 정상상태에서 발생되는 자계파형을 측정하고, FFT 분석을 수행한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 제작된 시변자계측정계는 주파수대역이 40Hz~100kHz로서 상용주파수의 자계는 물론 고주파성분을 갖는 자계의 측정도 가능하였으며, 여러가지 전기설비 및 기구의 운전조작에 의하여 발생되는 과도자계성분의 측정과 해석에도 적용될 수 있다.

2) 수동점등식 형광등의 경우 점등순간에는 쵸크코일의 역기전력에 의한 자계가 감지되었으며, 점등후에는 비교적 고조파성분이 적었다.

3) 고주파점등식의 형광등에서 발생되는 자계성분은 기동특성상 점등시에는 고주파성분을 포함한 過渡狀態의 자계가 발생됨을 알았다.

4) 형광등의 점등순간에 발생하는 자계중에는 제2조파성분도 포함되어 있으나 점등중에는 기수고조파성분만 두드러지게 나타났다.

5) 형광등의 幾何學的 치수와 點燈方式에 따라 점등순간 또는 점등후 정상상태에서 발생되는 자계의 파형과 주파수성분이 변화됨을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1) Frederic M. Tesche and Paul R. Barnes : "Transient response of a distribution circuit recloser and control unit to a high-altitude electromagnetic pulse and lightning", IEEE Trans., Vol. EMC-32, No. 2, pp. 113~124, 1990.

2) Charles K. Weidman and E. Philip Krider : "The Radiation Field Wave Forms Produced by Intracloud Lightning Discharge Process", Journal of Geophyical Research, Vol. 84, No. C6, pp. 3159~3164, 1979.

3) 전덕규 : "시변성 전계 및 자계 측정용 센서에 관한 연구", 박사학위논문, pp. 47~50, 1993.

4) 이복희 외 "시변성자계측정용 센서에 관한 연구", 한국전기전자재료학회지, Vol. 5, No. 4, pp. 430~438, 1992.

5) 이복희, 길경석, 박형기 "전기기구의 운전에 의하여 발생되는 자계의 측정", 대한전기학회 논문지, Vol. 43, No. 6, pp. 1001~1009, 1994.

6) A. Aron, et al : "Fourier Spectrum as a Means of Representation and Evaluation of Transient Voltage Surges in GIS", 5th ISH, No. 12~04, 1987.

7) W. Elenbaas : Fluorescent lamps. The macmillan Press LTD, 1971, pp. 105~109.

이 복 희 (李福熙)

1954年 6月 29日生. 1980年 仁荷大 工大 電氣工學科 卒業. 1987年 仁荷大 大學院 電氣工學科 卒業(博士). 1988－89年 日本 東京大學 生產技術 硏究所 客員硏究員. 現在 仁荷大 工大 電氣工學科 副敎授.

전 덕 규 (全德圭)

1962年 2月 9日生. 1985年 仁荷大 工大 電氣工學科 卒業. 1990年 仁荷大 大學院 電氣工學科 卒業(碩士). 1993年 仁荷大 大學院 電氣工學科 卒業(博士). 現在 서울産業大學校 工大 自動車工學科 講師.

길 경 석 (吉暻碩)

1962年 6月 30日生. 1984年 仁荷大 工大 電氣工學科 卒業. 1987年 仁荷大 大學院 電氣工學科 卒業(碩士). 現在 仁荷大 大學院 電氣工學科(博士課程).