

# 實驗値를 이용한 高周波 螢光램프의 非線形特性 모델링

(A Non-Linear Characteristics Modeling of High Frequency FL Lamp by Experimental Values)

咸仲杰\* · 白壽鉉\*\*

(Jung-Keol Ham · Soo-Yyun Baek)

## 요 약

고주파용 형광램프 시스템은 높은 발광효율 때문에 일반적으로 많이 사용되고 있다. 그러나, 이 고주파용 형광램프의 동작 특성은 동작주파수, 램프형상, 램프전압 및 전류값과 전자식안정기와 코아식안정기의 사용에 따라서 차이가 많이 난다. 그렇기 때문에 형광램프의 특성은 안정기의 특성을 고려한 형광램프 시스템의 동작특성 정합성에 매우 중요하다.

본 논문에서는 FHF32W(T8)형광램프의 고주파 특성을 가장 많이 사용되는 주파수 영역(12[kHz]~50[kHz])에서 측정, 분석하였다. 특히 램프전류의 변화에 따른 형광램프의 비선형 임피던스를 모델링해서, 램프전류 변화에 의한 형광램프의 부임피던스 동작특성을 파악하여 고주파 형광램프의 최적 특성치를 선택할 수 있는 방법을 제시하였다.

## Abstract

The high frequency fluorescent lighting systems are widely used because of their high luminous efficacy. However, the performance of the fluorescent lamp at high frequency reveals significant changes depending upon operating frequency, lamp shape, lamp voltage and current while adapting either an electronic or an magnetic ballast. Therefore the matching between the fluorescent lamp and the ballast is the major concern in designing a lighting system.

In this paper, high frequency characteristics of the FHF32W lamp is measured in a range of frequencies from 12kHz to 50kHz. And we presented a model of a fluorescent lamp with non-linear impedance depending on the lamp current. Finally, after identifying the operating condition under negative impedance behavior as lamp current changing, we proposed a method of choosing the optimal parameter of a high frequency fluorescent lamp and the result is analyzed.

\*正會員：生産技術研究院 先任研究員.

\*\*正會員：東國大 電氣工學科 教授

接受日字：1997年 9月 19日

## 1. 서 론

형광램프는 고효율 조명기기로서 대부분의 실내조명 시설에서 주광원으로 사용되고 있으며, 근래에는 전자식안정기와 결합하여 사용하는 경우가 많다. 형광램프에 전자식안정기를 사용하는 것은 형광램프에 고주파의 전력을 인가함으로써 발광효율을 증가시킬 수 있기 때문이다. 형광램프의 동작특성은 동작주파수, 램프형상, 램프전압, 램프전류 및 봉입되는 가스의 종류와 양에 따라서 다르게 나타난다. 특히, 형광램프에 고주파 전자식안정기를 사용하는 것은 고효율, 소형화의 장점이 있으나 고주파 동작에 의한 형광램프와의 정합 측면에서 많은 연구가 필요하다.

형광램프의 조광(Dimming)제어에 이용되는 주파수 제어식 고주파 전자식안정기에 의한 형광램프 시동 전압특성이 검토되었고,<sup>1)</sup> 또한, 형광램프를 고주파수로 동작시키면 고효율화를 달성할 수 있으며 시동과 동작 특성을 좋게 할 수 있다.<sup>3), 4), 5)</sup> 이와 같이 전자식안정기의 채택은 출력률 조광(Dimming)제어를 할 수 있는 이점과 효율 등이 좋기 때문에 많은 연구가 진행되어 왔다.<sup>2), 6), 7), 8)</sup>

본 연구에서는 형광램프의 고주파 비선형의 동작특성을 모델링 하기 위해, 절전형 형광램프로 사용되는 직경 26(mm)(T8) FHF32[W]용 고주파용 형광램프에 대해서 고주파 전자식안정기에 일반적으로 많이 사용되는 주파수대역(12[kHz]~50[kHz])에서의 형광램프의 특성을 파악하고, 비선형의 증가회로로 모델링 하였다.

## 2. 형광램프의 특성

형광램프는 저압수은램프의 일종으로 부저항 특성을 가지고 있기 때문에 그 특성을 파악하는 것이 매우 복잡하다. 즉 형광램프를 비롯한 모든 방전램프는 램프전류가 증가하면 램프 양단 전압은 오히려 감소하는 부임피던스 특성이 존재한다. 이러한 부임피던스 특성으로 인해 안정기가 없이 점등할 경우 점등이 불안정해지고 램프가 파손될 수 있다. 이와 같이 형광램프가 파손되는

것을 막기위한 보완장치로 안정기가 필요하다.

특히, 고주파 동작시의 형광램프의 증가회로에서의 저항특성과 캐패시턴스의 변화를 안다면 형광램프의 동작주파수와 고주파 형광램프용 안정기와의 정합성을 파악하는데 매우 유용하다.

본 연구에서는 그림 1 과 같은 고주파 형광램프의 측정 시험기준(IEC, JIS, 국내규격)에 따른 회로구성에 의해 동작주파수에 따른 형광램프의 특성을 램프전류의 함수로서 나타내고 비선형 특성을 분석하고 모델링하여, 최적의 조건으로 동작할 수 있는 안정기의 주파수 설정 및 조광(Dimming)제어를 할 수 있는 형광램프의 특성을 파악 하였다.

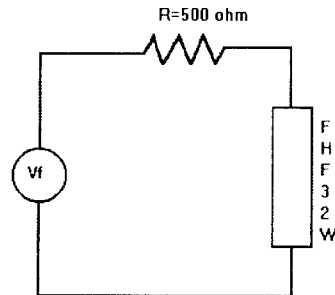


그림 1. 고주파 형광램프 시스템  
Fig. 1. High Frequency fluorescent Lamp System

## 3. 고주파 형광램프특성의 측정결과 및 고찰

형광램프에서 일반적으로 많이 사용되는 주파수 영역에서의 고주파 점등에 의한 특성을 분석하여 형광램프를 최적의 특성으로 동작시킬 수 있는 주파수를 찾아내기 위해 다음과 같이 측정하였다. 실험및 측정기구로는 고주파전원장치와 고주파측정용 전압, 전류 및 전력을 측정할 수 있는 실효치 측정장치를 사용하였다.

그림 2는 고주파 형광램프 시스템에서 고주파 형광램프를 시동시키기에 필요한 최소의 입력 전압을 동작주파수에 대하여 측정된 값을 나타낸 것으로, 동작주파수의 증가에 따라 낮은 입력전압으로 시동시킬 수 있는 특성을 나타내고 있다.

그림 3은 동작주파수의 증가에 비례해서 램프 전압이 상승함을 나타내고 있으며, 그림 4는 동

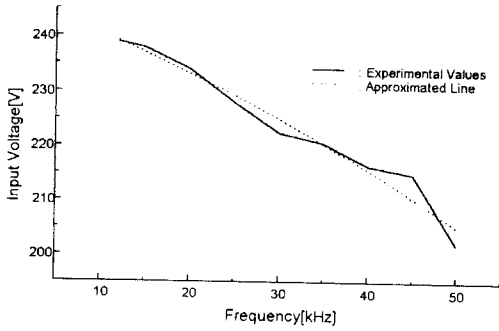


그림 2. 시동시 동작주파수에 따른 입력전압  
Fig. 2. Input Voltages vs. Frequencies at Start-up

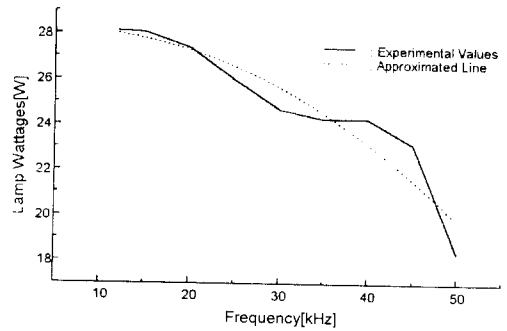


그림 5. 시동시 동작주파수에 따른 입력전압  
Fig. 5. Input Voltages vs. Frequencies at Start-up

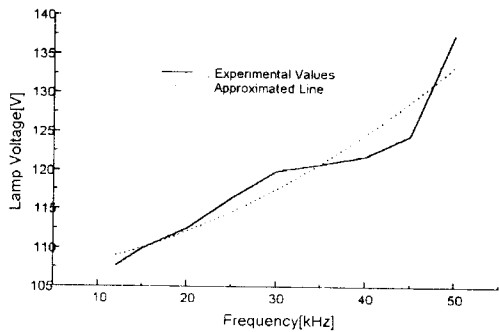


그림 3. 시동시 동작주파수에 따른 램프전압  
Fig. 3. Lamp Voltage vs. Frequencies at Start-up

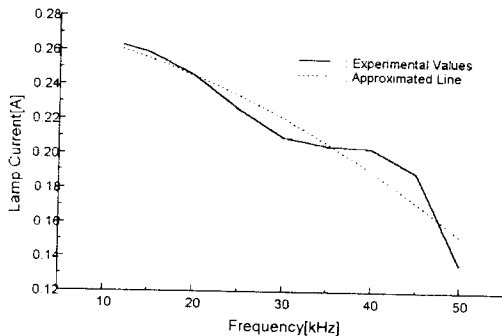


그림 4. 시동시 동작주파수에 따른 램프전압  
Fig. 4. Lamp Voltage vs. Frequencies at Start-up

작주파수의 증가에도 불구하고 램프전류가 줄어들면서 전체적으로 램프전력이 감소함을 나타내며, 그림 5와 같이 램프전력이 감소함을 알 수 있었다. 즉, 위의 실험에서 시동 순간의 입력전압, 램프전류 및 램프전력의 특성이 동작 주파수 증가에 따라 감소하는 것을 알 수 있다. 이와 같이 주파수가 올라 갈수록 램프전압이 상승하는

것을 나타내는 것은 설정된 주파수 대역에서 형광램프가 소등됨이 없이 점등을 유지할 수 있음을 알 수 있다. 이것을 이용해서 고주파동작시 형광램프에서 동작주파수의 변동과 램프전압의 설정에 의해서 램프전류를 최소치로 유지하면서 형광램프를 조광(Dimming) 제어 할 수 있음을 잘 나타내고 있다.

즉, 이것은 형광램프가 입력전원의 주파수에 따라서 임피던스가 변화하는 특성을 가지고 있음을 잘 나타내고 있다.

형광램프의 고주파 비선형 특성을 모델링하기 위해서 전원주파수를 고주파 형광램프의 시험기준 주파수인 25[kHz]인 상태에서 입력전압을 222[V](시동전압)부터 256[V](정격전압)까지 증가시키면서 고주파 형광램프의 특성을 측정하였다. 그 결과 그림 6과 같이 형광램프는 부임피던스의 특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

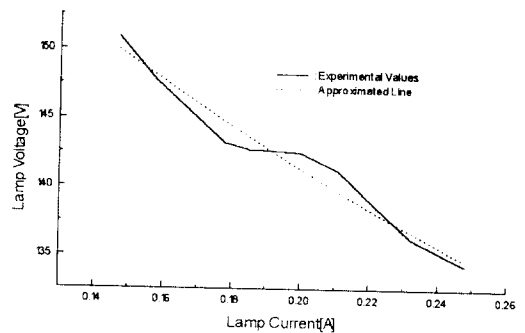


그림 6. 25[kHz]인가시 V-I 특성곡선  
Fig. 6. V-I Characteristic Curves at 25[kHz] Input Source

V : 램프전압, I : 램프전류

여기서 상수  $A_0=180.80$ ,  $A_1=244.16$ ,  $A_2=233.87$ 이다.

그림 6에서 그림 9의 실험결과를 분석해 보면 램프가 방전한 후 가질 수 있는 최대전압, 최소 전압을 램프전류의 함수로 표시할 수 있으며, 이것을 등가회로로 나타내면 그림 10과 같이 나타낼 수 있다. 또한, 그림 11에서와 같이 램프의 출력으로 나타나는 광속은 램프에 전달되는 전력에 비례해서 거의 선형적으로 나타남을 알 수 있었다.

역시, 그림 8에서 램프저항( $R_L$ )은 램프전류가 증가함에 따라 감소하는 특성을 가지며, 이것을 근사하여 2차다항식으로 표시하면 다음식 (2)와 같은 함수로서 표현된다.

$$R_L = B_0 - B_1 * I + B_2 * I^2 \quad (2)$$

여기서 상수  $B_0=2639.05$ ,  $B_1=15069.88$ ,  $B_2=26771.11$ 이다.

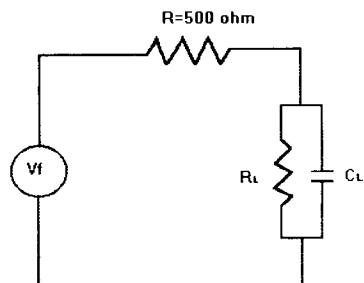


그림 10. 고주파형광램프의 등가회로  
Fig. 10. Equivalent Circuit of High Frequency Fluorescent Lamp

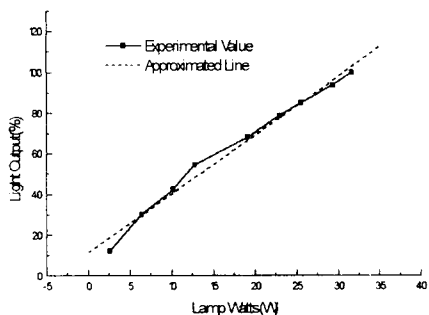


그림 11. 25(kHz)인가시 램프전력에 따른 상대광속  
Fig. 11. Light Output vs. Lamp Watts at 25kHz

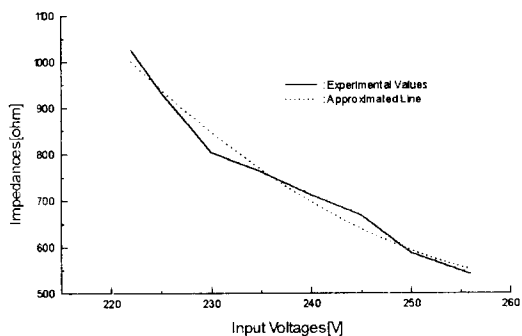


그림 7. 25(kHz)인가시 입력전압에 따른 램프임피던스  
Fig. 7. Lamp Impedance vs. Input Voltages at 25kHz.

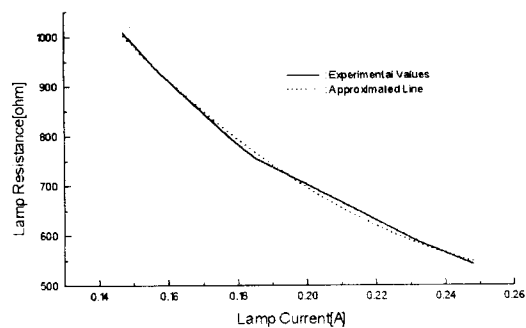


그림 8. 25(kHz)인가시 램프전류에 따른 저항  
Fig. 8. Lamp Resistance vs. Lamp Currents at 25(kHz)

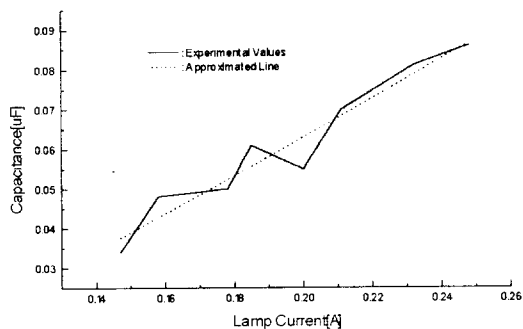


그림 9. 25(kHz)인가시 램프전류에 따른 커패시턴스  
Fig. 9. Capacitance vs. Lamp Currents at 25(kHz)

이때 램프전류와 램프전압의 특성식을 나타내면 식(1)과 같이 램프전압이 램프전류의 2차식의 다항식으로 표시된다.

$$V = f(I) \text{의 함수로서} \\ V = A_0 - A_1 * I + A_2 * I^2 \dots\dots\dots(1)$$

또한, 그림 9는 실효값으로 측정된 램프전압, 전류 및 전력에 의해 계산된 커패시턴스( $C_1$ )로 식(3)과 같은 특성의 2차 다항식으로 표시됨을 알 수 있으며 식(2)와 식(3)에서 고주파 형광램프는 전류의 증가에 의해서 임피던스가 비선형적으로 감소하는 관계를 갖는 것을 알 수 있다. 여기서  $C_1$ 값은 실제적으로 매우 작은 것으로 나타나고 있다.

$$C_1 = C_0 + C_1 * I + C_2 * I^2 \quad (3)$$

여기서 상수  $C_0 = -0.027$ ,  $C_1 = 0.413$ ,  $C_2 = 0.186$ 이다.

그러므로, 고주파로 동작되는 형광램프에 전자식안정기를 사용하는 것은 주파수 특성에 의한 램프의 특성을 파악해서 최적의 주파수 대역에서 램프를 동작시키는 것이 중요하다. 이것은 결국 형광램프에서 최적의 조광(Dimming)제어가 실현될 수 있을 뿐만 아니라 전체 시스템의 적용에 따라 에너지 절감 및 효율적인 조명설계를 할 수 있게 된다.

#### 4. 결 론

본 논문은 고주파(12[kHz]~50[kHz])로 동작되는 형광램프의 동작특성에 대한 실험치로 형광램프가 가진 비선형 임피던스 특성을 확인하고 비선형 특성을 모델링 하였다.

그 결과 형광램프의 동작특성을 고주파동작 영역에서 찾아내고 임피던스의 변화를 모델링 해서 전자식안정기의 설계시 형광램프의 형상, 전압 및 전류값에 의한 최적의 동작주파수 설정 및 조광(Dimming)제어를 용이하게 할 수 있다.

향후에는 콤팩트형광램프등과 같이 형상적으로 고주파에 의해 영향을 많이 받는 다양한 종류의 형광램프와 보다 높은 고주파 영역의 주파수 대역에서의 실험으로 특성을 모델링 해서 적용하면 넓은 범위에서 형광램프의 모델링이 가능할 것으로 사료된다.

#### 참 고 문 헌

1. E. E. Hammer, "High Frequency Characteristics of Fluorescent Lamps up to 500kHz", Journal of IES, pp. 52 - 61, Winter 1987.
2. E. E. Hammer, T. K. McGowan, "Characteristics of Various F40 Fluorescent systems at 60hz and High Frequency", IEEE Transactions on IAS, Vol. IA, No.1, pp 11 - 16, Jan/Feb. 1985.
3. J. H. Campbell, E. G. Downie, "Magnetic Frequency Multipliers for High Frequency Operation of Fluorescent Lamps", electric Construction Maintenance, Vol. 53, Nov. 1954.
4. C. M. Verweij, "New Steps in Development of compact Single-Ended Fluorescent Lamps", Journal of IES, pp. 85 - 94, Fall. 1985.
5. E. E. Hammer, "Fluorescent System Interactions with Electronic Ballast", Journal of IES, pp. 56 - 63, winter. 1991.
6. G. S. Evans, P. E. Snyder, "Performance of Fluorescent Lamps", Illuminating Engineering, pp. 51 - 57, January, 1966.
7. E. E. Hammer, "Fluorescent Lamp Starting Voltage Relationships at 60Hz and High Frequency", Journal of IES, pp. 36 - 46, October 1983.
8. S. A. Kalnowsky, J. J. Martello, "Electrical and Illumination Characteristics of Energy-Saving Fluorescent Lighting as a Function of Potential", IEEE Transactions on Industrial Applications, Vol. 25, No.2, pp. 208 - 215, March/April, 1989.

#### ◇ 著 者 紹 介 ◇



함 중 길(咸仲杰)

1956年 2月 19日生. 1981年 漢陽大學 工科學科 電氣工學科卒. 1987年 同大學院 電氣工學科 卒(석사). 現在 生産技術研究院 先任研究員. 電氣應用技術士



백 수 현(白壽鉉)

1949年 5月 20日生. 1972年 한양대 전기공학과 졸. 1974年 한양대 대학원 전기공학과 졸(석사). 1983年 한양대 대학원 전기공학과 졸(박사). 現在 東國大 電氣工學科 教授. 大韓電氣學會 總務理事.