

## 입력 주파수에 따른 형광램프의 효율변화

### A Variation of Fluorescent Lamp Efficiency by Input Frequency

金鎮煥\*  
張澤洙  
張禹鎭

중앙디자인  
체육과학연구원  
서울산업대학교

#### 요 약

형광램프의 점등에 필요한 안정기를 전자화하여, 안정기의 소형경량화 및 안정기의 효율을 높일 수 있다. 또한, 동작주파수를 높임으로써 램프의 효율도 향상시킬 수 있다.

본 논문에서는 직관 형광램프(10W)와 콤팩트 형광램프(13W)에 대하여, 입력 주파수에 대한 형광램프의 발광효율의 변화를 실험하였다.

입력 주파수의 증가에 의하여 두 가지 램프의 효율이 증가하였고, 80[kHz] 이상에서는 효율의 변화가 둔화되었다.

#### ABSTRACT

By making a electronic ballast, which is needed to operate a fluorescent lamp, it is possible to make a small and light weight ballast with high efficiency. And more, by increasing an operating frequency, the efficacy of a lamp is increasing.

In this paper, the variations of efficacy of a fluorescent lamp versus input frequency are studied with two kinds of fluorescent lamp, i.e., straight type(10W) and compact type(13W).

The results show that the efficacy of lamps are increasing as input frequency is higher, and over 80[kHz], the slope of the variations of efficacy are slowdowned.

#### 1. 서 론

사무실이나 학교의 조명으로 널리 사용되며, 오늘날에 있어서는 다양한 형태와 모양, 그리고 색상으로 가정에서도 사용되고 있는 형광램프는 1930년에 개발되었으며, 1939년 New York World Fair에서 처음으로 사용되었다. 그 당시, 이 램프의 효율은 약 40[lm/W]정도로 이는 현재 램프 효율의 절반에 이른다.<sup>1)</sup> 70년대에 두차계의 세계 에너지 파동 이후에 나타난 극심한 에너지 수급환경 변화에 대응키 위해 미국, 일본 등을 중심으로 80년대로부터 에너지 절약이 크게 부각되면서 광효율이 높고 수명이 긴 형광램프가 각광을 많이 받게 되었다. 그 간, 소비전력이 큰 자기식 안정기를 대체하여 사용할 수 있는 소비전력이 적고 램프의 효율이 좋은 전자식 안정기가 1960년대에 등장하였으나 실용화 되지 못하고, 1980년대에 소자의 발달로 사용이 증가하고 있다. 형광램프는 백열전구에 비하여 높은 발광효율을 가지고 있다. 같은 밝기에서 백열전구에 비하여 1/5 ~ 1/3 정도의 전력을 사용하며 수명도 약 10배 정도 길다.

에너지 절약이라는 관점에서, 광원의 발광효율과 등기구의 종합효율을 높이는 여러 가지 방법이 제시되고 있다. 그 중에서 기존의 형광램프를 사용하면서 입력 전원의 주파수를 고주파로 입력하여 램프의 발광효율을 향상시키는 방법이 제시되고 있다. 이와 같은 방법으로 램프 자체의 발광효율을

향상시키고, 안정기 자체의 소비전력을 줄여서 등기구의 종합효율을 향상시킬 수 있다. 전자식 안정기의 사용이 바로 이와 같은 목적으로 개발되었다.

본 연구에서는 입력 주파수의 변화에 따른 형광램프의 효율변화를 실험하여 전자식 안정기 설계시 최적 주파수를 고찰하기로 한다.

## 2. 형광램프의 특성

### 2.1 형광램프의 발광원리

일반적으로 형광등은 수은과 불활성 기체인 알곤과 미량의 네온이 첨가된 혼합가스 방전관이며, 방전형식은 아크 방전에 속한다. 방전에 의한 수은원자의 천이스펙트럼 중 주로 253.7[nm]와 185[nm]선을 형광물질의 여기선으로 이용하고 있다.

알곤의 혼입은 여기상태의 수은원자나 수은이온의 유리관벽에의 확산소실을 방지하고, 제2종 충돌에 의해서 에너지를 수은원자에게 주어 이를 전리 또는 여기시켜 이로부터 방사하는 스펙트럼에 의하여 발광을 촉진하며, 전극의 전자방사물질이 가열 및 전자, 이온의 충격 등에 의해서 증발확산하는 것을 방지하는 등 중요한 임무를 띠고 있다.

유리관 내벽에 도포된 형광물질은 주로 253.7[nm], 185[nm]선에 의해서 여기되지만 여기 파장보다도 긴 파장의 빛 대부분은 가시광을 낸다.

방전에 의한 수은원자의 천이 스펙트럼 중 253.7[nm], 185[nm] 선의 일부는 형광물질층에 있어서의 253.7[nm], 185[nm]선 및 가시광의 상호반사, 투과 등을 모두 합해서 형광물질층의 두께에 대해 발광효율의 최량점이 존재한다.<sup>2)</sup> 그림 2-1에 입력전력의 에너지 변환 과정을 표시한다.<sup>3)</sup>

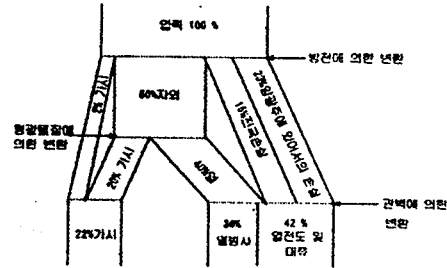


그림 2-1 형광램프에 있어서의 에너지 변환의 예

Fig. 2-1 An example of energy conversion for fluorescent lamp

### 2.2 형광등의 특성

#### (1) 방전

방전은 길고, 가는 관에서 발생한다. 방전관의 양 끝에는 방사물질이 도포된 텅스텐 전극이 연결된다. 봉입가스는 보통 작은 값(Torr)이고, 알곤이나 수 퍼센트의 네온을 포함한 알곤으로 이루어져 있다. 가스를 충전시키는 것은 적절한 전압에서 램프를 점화시키고 램프의 동작중에 전자들의 수명을 적당한 값으로 하기 위해 필요하다. 수은 증기압은 아주 낮아서 희유가스 없이는 전자는 관벽이나 전극과 충돌하여 그들의 에너지를 열로 변환시킬 것이다. 희유가스로 알곤이나 네온을 선택하는 것은, 헬륨과 같이 보다 가벼운 가스를 사용할 때 효율이 떨어지고, 네온과 같은 더 무거운 가스를 사용할 때 약간 증가한다는 사실과 관련이 있는데, 크립톤이나 제논과 같은 무거운 가스 등은 비싸기 때문에 이런 목적외에는 그리 많이 사용되지 않는다. 크립톤으로 충전된 램프는 실제로 사용되어져 왔지만, 단지 효율이 약간 높고, 알곤과 수은의 조합에서 일어나는 Penning 효과가 전혀 없기 때문에, 쉽게 점화되지 않고, 더 낮은 아크 전압을 갖기 때문에 그 개발은 계속되지 않았다.<sup>4)</sup>

#### (2) 발광효율

형광등의 발광효율은 형광등이 개발된 이래 눈부신 향상을 이루었으나 아직도 계속

해서 개량되어가고 있다. 현재의 형광등은 100[lm/W]의 값에 도달하고 있다. 일반적으로 발광효율은 램프관의 길이가 길고, 소비전력이 큰 것일 수록 양호하며, 다시 방전전류의 값에 대해서 가장 적당한 환경이 존재한다.<sup>5)</sup>

(3) 고주파 전력을 가할 경우의 효율특성  
주파수가 증가하면 효율이 증가하는 요인을 분석하면 다음과 같다.

1) 대부분의 형광램프는 고주파구동이 가능하며, 이때 발광효율이 증가한다. 이것은 전극에서의 손실이 줄어들기 때문이다(필라멘트 소비전력 감소). 이와 함께 플리커가 줄어든다. 주파수가 증가하면 램프전류가 감소하여 10[kHz]에서는 60[Hz]에 비해 90[%]가량이 되어 안정기 손실이 감소한다.

2) 양광주내의 전자에너지 증가 효과

주파수가 높을 수록 지수적으로 감소하는 전자의 평균에너지가 증가하고 (전자의 에너지 이완시간이 상대적으로 줄어든다.), 따라서 수은과 충돌하여 수은을 여기시킬 확률이 높다.

3) 고주파 일수록, 형광물질의 잔광특성에 의하여, 평균 광속이 많아지므로 효율이 상승하게 된다.

이와 같은 요인에 의하여 주파수의 증가에 따라서 발생광속이 증가한다. 기존에 실험된 예를 그림 2-2에 나타낸다.

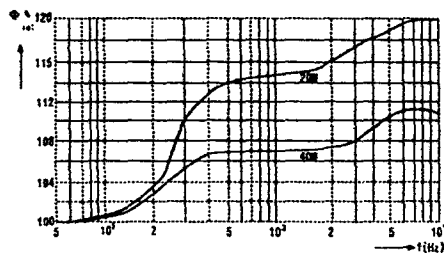


그림 2-2 주파수와 비광속과의 관계의 예 (직관 20, 40W 형광등)

Fig. 2-2 An example of relative luminous flux  $\phi_{rel}$  and frequency (Straight tube 20W, 40W fluorescent lamp)

### 3. 실험장치 및 측정방법

주파수에 따른 형광램프의 효율변화를 측정하기 위하여 출력 500[W], 주파수 사용범위가 1kHz에서부터 120kHz까지 낼 수 있는 고주파 전원장치(High Frequency Power System)로부터 한류소자를 통하여 부하인 10[W] 직관 램프에 상용주파수인 60Hz에서부터 6kHz, 8kHz ... 80kHz까지 15단계로, 13[W] 콤팩트 형광램프는 1[kHz] ~ 120[kHz]까지 변화시켜 측정하고, LeCroy 9370 Digital Storage Oscilloscope로 램프의 전압파형과 전압값( $V_{rms}$ )을, 그리고 1[ $\Omega$ ] 저항을 한류소자와 램프 사이에 직렬로 연결하여 형광램프의 정격전류가 되도록 전원과 한류소자의 저항을 가변하고, 전압과 전류의 순시치를 DSO에 내장된 디스켓에 저장하였다. 실험조건은 주위온도가 일정하게 유지하고 조도계의 수치가 안정되기 까지 약 20~25분가량 점등을 시킨 후, 램프관의 정격전류가 흐를 때, 소등을 한 다음 다시 재점등할 때의 기동전압을 다른 오실로스코프로 측정하였다. 이와 같이 얻어진 전압과 전류의 순시치를 컴퓨터에서 계산하여 램프의 소비전력을 계산하였다. Block diagram은 그림 3-1과 같다.

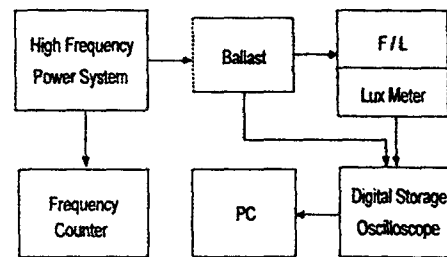


그림 3-1 실험장치의 블록선도

Fig. 3-1 Block diagram of experimental device

## 4. 실험결과 및 검토

주파수에 따른 램프의 조도, 부하전압, 소비전력을 3번씩 측정하여 60Hz에 대한 상대효율의 평균값을 계산하고, 계산된 평균 상대효율을 그래프로 나타내면 그림 4-1과 그림 4-2와 같다.

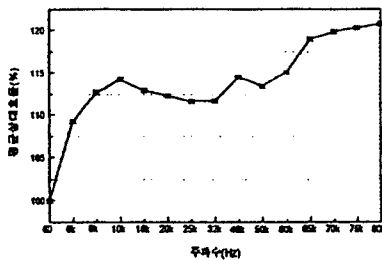


그림 4-1 주파수에 따른 효율변화(10W 직관)

Fig. 4-1 Efficiency variation for frequency(10W straight tube)

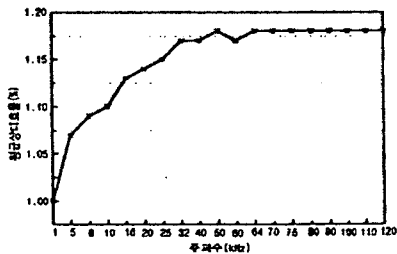


그림 4-2 주파수에 따른 효율변화(13W 콤팩트)

Fig. 4-2 Efficiency variation for frequency(13W compact)

입력주파수에 따른 10W 직관 형광램프와 13W 콤팩트 형광램프의 평균상대효율의 변화값이 각각 그림 4-1과 그림 4-2와 같은 결과를 얻었다. 10W 직관에서는 낮은 입력 주파수인 60Hz에서 6kHz까지는 평균상대효율이 급격히 증가하기 시작하였다. 6kHz~16kHz까지는 전원 불안정에 의해서 측정데이터가 너무 높게 나타난 것으로 사료된다.

따라서, 추후 실험에 의해서 이 영역은 재 확인을 할 필요가 있다. 다시 65kHz까지 효율이 크게 증가하기 시작하여 65kHz에서부터 80kHz까지는 증가의 변화가 둔하게 나타나고 있다.

13W 콤팩트에서는 효율의 변화가 큰 차이를 보이지 않고 대체적으로 고주파쪽으로 갈수록 약간씩 증가함을 보이고 있으나 50kHz이상부터는 실험측정 최고 주파수인 120kHz까지는 거의 일정하게 나타나고 있다.

## 5. 결 론

전원장치로부터 입력주파수를 변환시켜 형광램프의 효율변화를 조사하기 위하여 주위온도 28℃에서 측정한 결과

(1) 주파수가 올라가면 관전압이 떨어지고, 램프의 광속이 증가하며, 효율이 상승한다.

(2) 현재 사용하고 있는 전자식 안정기의 주파수가 25kHz 부근 또는 45kHz 부근인데 반하여, 실험결과는 10W 직관 형광램프에서는 65kHz에서부터 효율이 최대가 되기 시작하여, 실험측정 최고주파수인 80kHz까지는 미소하게 증가하는 것으로 나타나고 있고, 13W 콤팩트 형광램프는 32kHz~64kHz사이에서 약간의 변화가 있으나 64kHz이상부터는 거의 일정하게 나타나고 있다.

(3) 이상과 같은 결과에 의하면, 현재 사용중인 전자식 안정기의 주파수보다 높은 주파수 영역에서 평균상대효율이 더 높음을 볼 때, 현재 사용중인 전자식 안정기의 주파수를 더 높이는 것이 효율면에서 바람직한 것으로 사료된다. 그러나, 안정기 제작에 사용되는 소자의 가격을 고려하여 최적의 주파수를 결정하여야 할 것이다.

앞으로의 연구방향은 다음과 같다.

- (1) 측정하지 못한 주파수 대역
- (2) 다른 종류의 형광램프(예: 냉음극 형

광램프)

(3) 입력 파형에 따른 효율변화

위의 사항에 대한 연구의 미비점은 앞으로 계속 후속 연구가 이루어져야 할 부분이고 그에 따라 좀 더 혁신적인 결과가 나올 것이라는 기대를 해 본다.

### 참 고 문 헌

- 1) Inman, G. E., Trans Illum. Engng Soc. 43, 65, 1939.
- 2) R. Gains Young, E.G.F. Arnott : J. Electrochem. Soc. 112 (1965) 983
- 3) 照明學會 照明의 데이터북 (1962) 12
- 4) Kenty. C., J. appl. Phys. 21, 1309, 1950
- 5) 橋本, 染谷, 花田 : 東芝레뷰 18-10 (1963) 1116