

## 환형 무전극 형광램프 구동을 위한 전기적, 자기적 특성 분석

조주웅, 이영환, 남중희\*, 최용성, 김용갑, 박대희  
원광대학교, 요업기술원\*

### A study on Electrical and Electromagnetic Properties for Driving the Ring-shaped electrodeless fluorescent lamp

Ju-Ung Jo, Young-Hwan Lee, Joong-Hee Nam\*, Yong-Sung Choi, Yong-Kab Kim, Dae-Hee Park  
Wonkwang University, Korea Institute of Ceramic ENG. & TECH\*

#### Abstract

In recent, there have been several developments in lamp technology that promise savings in electrical power consumption and improved quality of the lighting space. Above all, the advantage of ring-shaped electrodeless fluorescent lamp is the removal of internal electrodes and heating filaments that are a light-limiting factor of conventional fluorescent lamps. The ring-shaped electrodeless lamp is intended as a high efficacy replacement for the incandescent reflector lamp in many applications. Therefore, the life time of ring-shaped electrodeless fluorescent lamps is substantially higher than that of conventional fluorescent lamps and last up to 60,000 hours.

In this paper, we present measurement results of electrical characteristics of a ring-shaped electrodeless fluorescent lamp as a function of frequency and number of coil turns using a highly permeable Mn-Zn ferrite. It is found that the impedance are increased while the quality factor decreases as frequency increases.

**Key Words** : Mn-Zn Ferrite Core Coil, Q-factor, Mn-Zn Ferrite Core, Core Loss

#### 1. 서론

환형 무전극 형광램프의 장점은 광원 램프 자체의 수명이 길고, 수명 기간 동안 광속유지율이 거의 일정하고, 광변환 효율의 변화가 적으며, 무수은 및 폐기물의 최소화로 높은 환경 친화성 등 많은 장점을 갖고 있다. 그러나, 전자파 발진기 자체의 효율, 전자파의 방전 플라즈마 결합 효율, 발광가스의 부적합성, 그리고, 재래식 전극 광원의 단기적이지만 더 좋은 경제성 때문에 광원의 실용화는 쉽게 일어나지 않았다 [1].

일반적인 무전극 램프의 봉입 가스의 방전은 2가지 형태를 이루고 있는데, 첫 번째 형태는 E방전으로 전계 결합형이라고 부른다. 방전관의 외벽

에 대전극은 박막으로 설치하고, 교류를 인가하면 관 내부에서 방전이 형성된다. 이것은 외면의 전극과의 사이에 전기용량을 통하여 전류가 흐른다고 생각할 수 있다. 두 번째 형태는 H방전이다. 전형적으로 구형 방전관의 외주에 권선을 감고, 교류를 통과시키면 전자유도에 의한 자계가 발생하고, 관 내부에 방전이 형성된다. 관 내부의 방전형식은 환형이며, 외부의 권선과는 유도결합에 의한 전력이 공급되어 진다. 외부의 권선을 1차 권선으로 하고, 관 내부의 환형 방전을 2차권선이라 하는 변압기 모델로 생각할 수 있다 [2].

이러한 H방전의 경우에, 전자계를 발생시키는 전원장치와 자성체의 결합방식에 의한 자성체의 선택이 중요하다. 환형 무전극 형광램프의 경우에

는 Mn-Zn 페라이트를 자성체로 사용하는데, 고주파영역에서 수십 [W]의 전력으로 사용할 수 있는 자성체 특성과, 고온 하에서의 포화자속밀도가 높으며, 자기적 열화 및 코어 손실이 적고, 자기적 안정성이 뛰어난 소프트 페라이트의 특성이 요구되어 진다 [3].

본 논문은 효율적이고 최적의 환형 무전극 형광 램프를 설계하기 위하여, 변압기 모델을 사용한 유도 코일부에 있는 Mn-Zn 페라이트의 전기적 특성과 자기적 특성을 고찰하였다. 전기적 특성은 Impedance/Gain-phase analyzer인 HP4194A를 사용하여, coil의 권선수와 주파수 변화에 따른 Q-factor와 임피던스를 측정하였고, 자기적 특성은 B-H analyzer를 사용하여 주파수를 변화시키면서 투자율, 코어손실의 변화를 측정하여 최적의 설계 조건을 조사하였다.

## 2. 실험

그림 1은 페라이트 코일에 코일이 감겨진 환형 무전극 형광 램프의 등가 회로이다. 환형 무전극 형광 램프의 점등 회로는 유도 결합형 플라즈마를 이용한다. 실험에서 코일이 ferrite core에 감겨진 상태는 변압기의 원리와 같다. 변압기의 원리를 이용한 등가 회로는 유도 코일에 RF 전압을 인가하는 1차 측과 방전관인 2차 측으로 구분하여 나타내었다 [4].

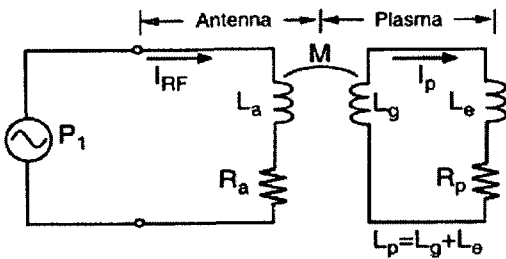


그림 1. 실험 회로의 등가회로

기존의 환형 무전극 형광 램프는 ferrite core에 코일이 17회 감겨있으며, 실험에서는 기존의 권선수와 동일한 것과, 14회에서 21회까지 권선수를 변화시켜서 전기적 특성을 측정하였다. 사용된 코일의 외경은 1.2 [mm]이며, 고온에서도 견딜 수 있는 테프론 코팅된 절연 전선을 사용하였다. 전기적

특성 측정에는 Impedance/Gain-phase analyzer인 HP4194A를 사용하였다. 기존의 환형 무전극 형광 램프와 코일의 권선수를 변화시킨 램프 시스템에 대하여 램프의 사용 주파수인 250 [kHz]를 기준으로 50[kHz]부터 500[kHz]까지 25[kHz]의 간격으로 주파수를 변화시키면서 Q-factor, impedance 등의 전기적 특성을 측정하였다.

연자성재료의 고주파 자기특성을 측정하는 장비인 B-H Analyzer (IWATSU SY-8232)를 사용하여, 고주파 전원에 의해 구동되는 Mn-Zn 페라이트의 투자율과 코어손실 측정하였다. 여자조건에 최대자속밀도 (18mT)와 주파수 (460KHz)를 지정하여 시료의 B-H 곡선에 의한 자성체 특성을 측정하였다. 그리고 코어손실도 여자조건에 최대자속밀도 (18mT)와 주파수 (460KHz)를 지정하여 측정하였으며, hysteresis 손실과 와전류손 그리고 잔류손실을 총 손실로 표현하였다 [5].

## 3. 결과 및 고찰

그림 2는 기존의 환형 무전극 램프와 코일의 권선수를 바꾼 램프에서의 주파수 변화에 따른 quality factor 특성을 비교하여 나타낸 결과이다. Q-factor는 주파수가 증가함에 따라 160에서 20 정도까지 전체적으로 감소하는 경향이 나타났다. 여기에서 Q-factor는 inductance와 공진 주파수에 비례하고 저항에 반비례하지만, 코일의 권선수가 증가하게 되면 inductance와 저항이 동시에 증가하게 되므로 기존의 Q-factor에 근접하기가 어려웠다. 모든 시료에서 기존 램프에 비하여 적은 값을 나타냈으나, 코일 권선수가 21회이면 기존 램프와 가장 근접한 값이 나타났다. 코일의 종류나 직경도 함께 변경하면서 적절한 값을 찾아야 할 것이다.

그림 3은 기존의 환형 무전극 램프와 코일 권선수 변화에 의한 시료의 impedance 특성을 비교한 것이다. 회로의 impedance는 주파수 증가에 따라 250[Ω]~3800[Ω]까지 선형적으로 증가하였다. 그림 4에서 알 수 있듯이 권선수가 16회인 코일의 임피던스 특성이 기존 무전극 형광램프의 동작 주파수인 250[kHz]를 포함하여 전반적으로 기존 환형 무전극 램프와 유사하게 나타났다.

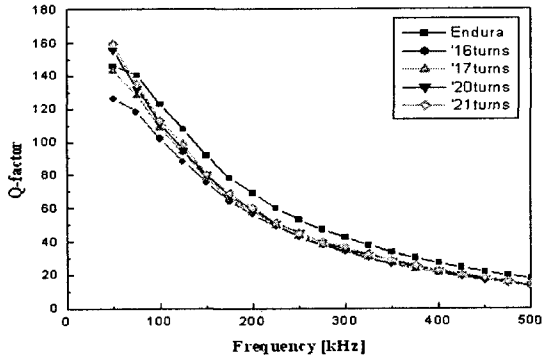


그림 2. Q-factor 특성

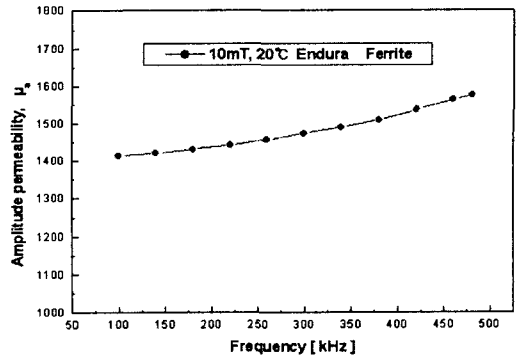


그림 4. 주파수 변화에 의한 투자율의 변화

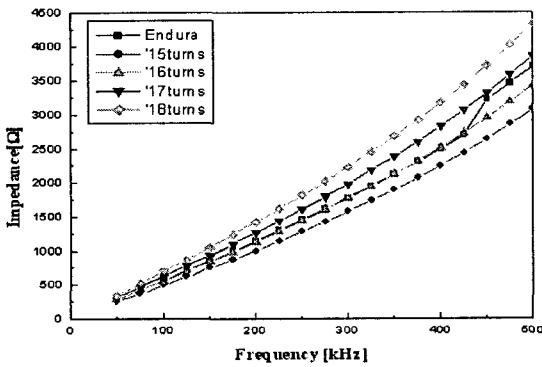


그림 3. 주파수 증가에 의한 임피던스 특성

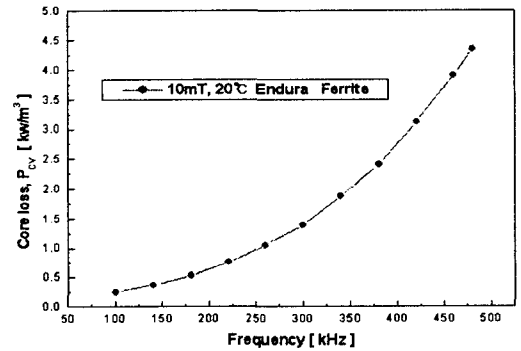


그림 5. 주파수 변화에 의한 코어 손실의 변화

그림 4는 Mn-Zn 페라이트의 주파수 변화에 의한 투자율 측정이다. 상온에서 주파수 변화에 의한 투자율의 증가는 1400에서 1600까지 완만한 증가를 보이고 있다. 연자성 재료의 특징은 높은 투자율과, 낮은 보자력 그리고 작은 이력손실이다. 이러한 특성조건에 부합하는 환형 무전극 형광램프 구동을 위한 페라이트의 투자율 값을 주파수 대역을 고려하여 사용하는 것이 전력 효율을 개선할 수 있다.

그림 5는 Mn-Zn 페라이트의 주파수 변화에 의한 코어 손실을 측정된 것이다. 상온에서 코어손실은 주파수증가에 따라 지수함수로 증가하고 있다. 환형 무전극 형광램프의 입력 주파수 250 [KHz]가 그림 4에서 주파수 증가에 의한 투자율 값과 코어 손실을 고려하여 환형 무전극 형광램프의 효율의 관점에서 사용되었음을 실험을 통해 알 수 있다.

그림 6은 주파수 변화에 의한 투자율의 변화를 온도에 따라 측정된 것이다. 투자율 값이 상온에서와는 달리 100배 차이가 나는 것은 B-H Analyzer 측정 시 권선에 입력된 신호가 온도에 의해 왜곡되어 나타났기 때문이다. 그러므로 그림 8의 투자율 값은 경향성만 의미가 있다. 그림 8은 그림 6과는 달리 주파수에 따른 투자율의 변화가 감소하는 경향을 보이고 있다. 투자율 변화의 감소는 온도에 기인한다고 생각한다. 환형 무전극 형광램프의 경우 램프 외부에 배광기구를 설치하므로, 조명 기구의 온도는 상승하게 된다. 이러한 온도 상승이 그림 6과 같이 투자율에 영향을 미치면, 유리관 내부의 플라즈마와의 결합이 불안해지고, 그로인해 광속유지율과 광원의 수명이 저하되게 된다. 그러므로 온도 변화 폭이 좀 더 좁은 Mn-Zn 페라이트가 사용되어야 된다고 생각한다.

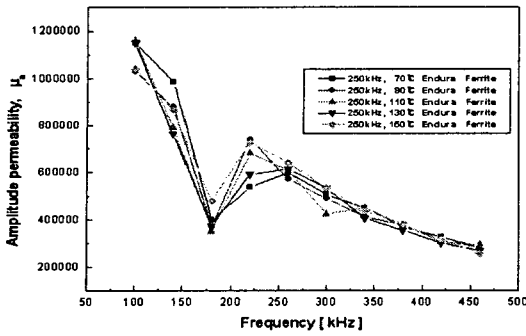


그림 6. 주파수 변화에 의한 투자율의 변화

그림 7의 주파수 변화에 의한 코어손실의 값은 그림 5와 비슷한 경향성을 보이고 있다. 다만 코어 손실 값이 상온에서의 값보다  $10^2$ 배 차이가 나고 있다. 이러한 온도변화에 의한 코어손실의 값이 상온과 100배 차이가 난다는 것은 온도에 대한 의존성이 크다는 것이다. 온도 변화에 의해 코어손실은 증가하는 경향성을 보이고 있고, 주파수에 의한 코어손실은 지수함수 적으로 증가하는 경향성을 보이고 있다.

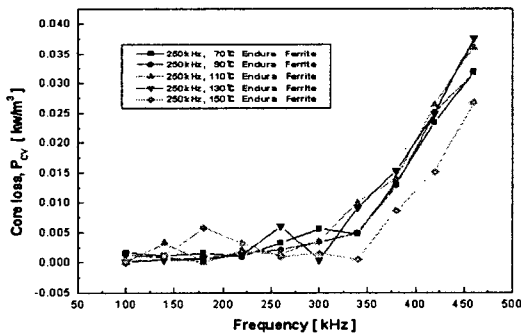


그림 7. 주파수 변화에 의한 코어 손실의 변화

#### 4. 결론

본 논문은 환경 무전극 형광램프의 최적 설계를 위한 Mn-Zn 페라이트 코어 코일의 전기적 특성과 페라이트의 자기적 특성을 측정하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 코일의 Q-factor를 제외한 다른 전기적 특성은 기존의 램프와 근접할 수 있었으나, Q-factor는 유사한 값을 찾지 못했다. Q-factor는 저항과 인덕턴스와 관계되는 값이므로 코일의 종류와 직

경을 변화하면서 적절한 값을 얻을 수 있으리라 판단된다.

- 2) 임피던스는 250[kHz]의 고주파를 사용하는 관계로 저항은 거의 무시되고, 유도성 리액턴스에 의해 크게 좌우됨을 확인하였다.
- 3) 환경 유도결합형 플라즈마 램프 구동을 위한 Mn-Zn 페라이트는 상온에서와 램프 구동에 의한 온도변화와 비교한 결과 100의 큰 차이를 보이고 있다. 이것은 B-H analyzer가 온도에 의해 신호 왜곡 현상일 수도 있고, 자기손실과 코어손실이 온도변화에 민감하다는 것을 알 수 있었다.
- 4) 주파수 변화에 의한 Mn-Zn 페라이트 투자율의 변화는 상온과 구동온도가 서로 반비례 관계임을 알 수 있고, 코어 손실의 변화는 유사한 경향성을 갖고 있음을 알 수 있다.

#### 감사의 글

본 논문은 에너지 관리 공단에서 시행한 “직관 및 환경 무전극 형광램프의 구조 설계기술” 사업의 지원을 받아 이루어진 논문입니다. 이번 연구를 지원해 주신 분들에게 감사의 말씀을 드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] B.P. Turner, M.G. Ury and D.A. McLennan, "Microwave excited sulfurlamp", Paper QA2. 47th Annual Gaseous Electronics Conference (Gaithersburg, MD, USA), 1994.
- [2] IM El-Fayoumi, IR Jones, "The electromagnetic basis of the transformer model for an inductively coupled RF plasma source", Plasma Sources Sci. Technol., Vol.7, p.179, 1998
- [3] 이시다시게토시, 와타나베 마사히코, 야스하라 가즈시, "페라이트코어 및 그 제조방법", 특 2003-0016171
- [4] R B Piejak et al., "A simple analysis of an inductive RF discharge", Plasma Sources Sci. Tech. 1, pp. 179-186, 1992.
- [5] J. J. Suh, B. M. Song, and Y. H. Han, "Temperature Dependence of Power Loss of Mn-Zn Ferrites at High Frequency", IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 36, No. 5, September 2000