

환형 무전극 형광램프의 권선수 변화에 따른 코일의 전기적 특성

(Electric Characteristics of Ring-shaped Electrodeless Fluorescent Lamps by Coil Turns)

이영환 · 김광수 · 조주웅 · 최용성 · 박대희

(Young-Hwan Lee, Kwang-Soo Kim, Ju-Ung Jo, Yong-Sung Choi and Dae-Hee Park)

Abstract

무전극 형광 램프에서 플라즈마 생성이 용이한 유도 결합형 플라즈마가 많이 사용되는데, 코일의 권선수나 주파수에 의해 전기적 특성의 변화가 크다. 따라서, 기존의 환형 무전극 형광 램프에 사용되는 ferrite core나 coil을 새롭게 적용하기 위하여 투자율이 2000인 Mn-Zn ferrite를 사용하여 주파수와 coil의 권선수를 변화시켜 전기적 특성을 측정하여 기존의 환형 무전극 형광램프와 비교·검토하였다.

1. 서론

무전극 형광 램프는 수명에 커다란 영향을 끼치는 필라멘트나 전극이 없으므로 장수명을 실현하고 있다[1]. 그래서, 최근에 장수명과 고효율의 특징을 갖는 무전극 램프에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다.

무전극 램프 발광에 많이 적용되고 있는 유도 결합형 플라즈마 (Inductively coupled plasma, ICP)는 수[mTorr]의 낮은 기체 압력에서도 높은 밀도의 플라즈마를 얻을 수 있다[2, 3].

한편, 유도 결합형 플라즈마는 고주파 발생원과 플라즈마가 안테나 코일을 통해 전자적으로 결합하여 발광된다. 여기서 램프 특성에 큰 영향을 주는 코일의 전기적 특성에 대한 연구가 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 환형 무전극 형광램프의 coil 권선수와 주파수 변화에 따른 전기적 특성을 조사하여 최적의 설계조건을 조사·검토하였다.

2. 실험 장치 및 방법

2.1. 등가 회로

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

2.2. 시료 및 실험방법

실험에 사용한 ferrite core는 재질이 Mn-Zn이고, 투자율이 2,000인 것을 선정하여 사용하였다. 기존 환형 무전극 형광 램프는 ferrite core에 코일이 17회 감겨있으며, 실험에서는 기존의 권선수와 동일한 것과, 14회에서 21회까지 권선수를 변화시킨 램프에 대하여, 주파수 변화에 따른 전기적 특성을 측정하였다. 사용된 코일의 외경은 1.2[mm]이며, 고온에서도 견딜 수 있는 테프론 코팅된 절연 전선을 사용하였다.

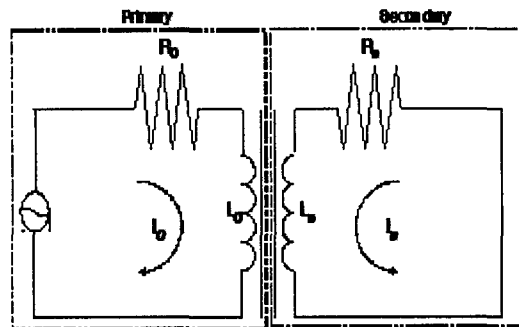


그림 1. 무전극 형광램프의 전기적 등가 회로

Figure 1. Equivalent circuit of experimental circuit

그림 2는 실험에 사용된 Impedance/Gain-phase analyzer인 HP4194A와 ENDURA 150[W] 환형 무전극 형광램프를 나타낸다. 기존의 환형 무전극 형광 램프와 코일의 권선수를 변화시킨 램프 시스템에 대하여, 50[kHz]부터 500[kHz]의 범위로

25[kHz] 간격으로 주파수를 변화시키면서 저항, Q-factor, impedance, inductance 등의 전기적 특성을 측정하였다.

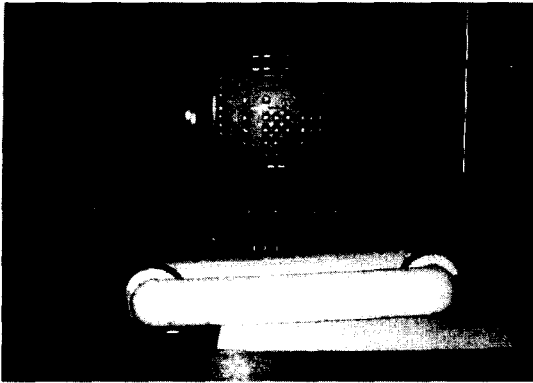


그림 2. 실험 장치도
Figure 2. Experimental apparatus

3. 결과 및 고찰

3.1. Q-factor 특성

그림 3은 기존의 환형 램프와 코일의 권선수를 바꾼 램프에서의 주파수 변화에 따른 Quality factor 특성을 비교하여 나타내고 있다. 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.

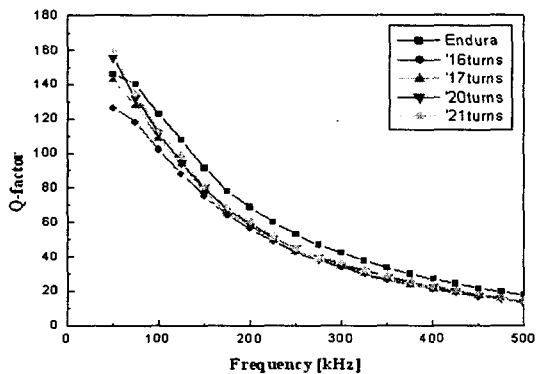


그림 3. 주파수 및 코일 권선수에 따른 Q-factor 특성
Figure 3. The Q-factor characteristics

3.2. 임피던스 특성

그림 4는 기존의 무전극 환형 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.

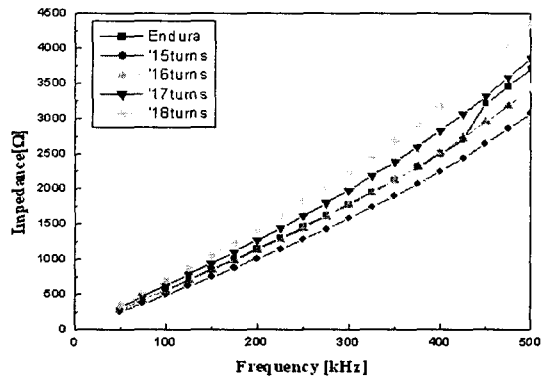


그림 4. 주파수 및 코일 권선수에 따른 임피던스 특성
Figure 4. The Impedance characteristics as a function of frequency and coil turns

3.3. 저항 특성

그림 5는 기존의 환형 무전극 램프와 코일의 권선수를 변화시킨 램프의 저항 특성을 주파수 별로 나타내고 있다. 코일의 권선수가 14회와 15회가 기존의 무전극 형광 램프와 유사한 특성이 나타났다. 그리고, 주파수가 증가함에 따라 저항도 5~250[Ω]까지 지수 함수적으로 증가하였다.

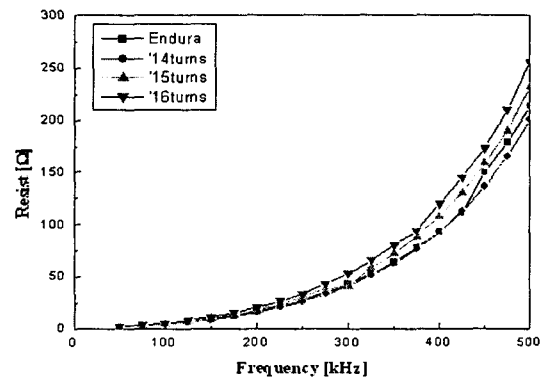


그림 5. 주파수 및 코일 권선수에 따른 저항 특성
Figure 5. The Resistance characteristics as a function of frequency and coil turns

3.4. 인덕턴스 특성

그림 6은 주파수 변화에 따른 인덕턴스 특성을 기존의 환형 무전극 형광 램프와 코일의 권선수를 변화시킨 램프와 비교하여 나타낸 것이다. 코일을 16회 감은 램프의 인덕턴스 특성이 250[kHz]의 주파수를 사용하는 기존 램프와 유사하였다. 또한, 50~500[kHz]의 전체 주파수 범위에서도 유사한 인덕턴스를 나타내었다. 그러나, 15회와 17회의 권선수를 감은 램프에서는 인덕턴스 차이가 많이 나타났다.

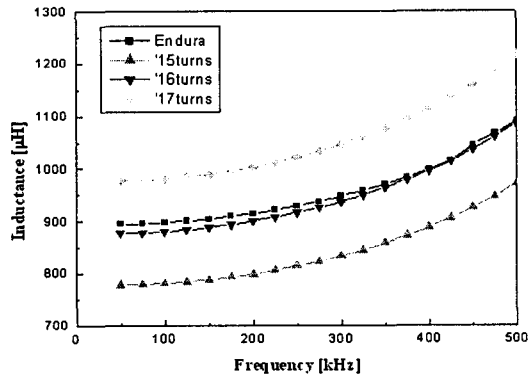


그림 6. 주파수 및 코일 권선수에 따른 Inductance 특성
Figure 6. The Inductance characteristics as a function of frequency and coil turns

4. 결론

본 논문에서는 환형 무전극 형광 램프의 코일 권선수 및 주파수를 변화시켜 전기적 특성을 조사한 결과, 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 직경을 변화하면서 적절한 값을 얻을 수 있으리라 판단된다.
- 2) 임피던스는 250[kHz]라는 고주파를 사용하는 관계로 저항은 거의 무시되고 유도성 리액턴스에 의해 크게 좌우됨을 확인하였다.
- 3) 저항은 주파수 변화에 따라 300[kHz] 부근에서 급격히 상승하는 것이 나타났고 전체적으로 모든 시료가 지수 함수적으로 증가함을 확인하였다.

감사의 글

본 논문은 에너지 관리 공단에서 시행한 “직관 및 환형 무전극 형광램프의 구조 설계기술” 사업의 지원을 받아 수행하였습니다.

참고 문헌

- [1] 추장희 외, “무전극 황방전등에서 고압 이원자 황의 자체 역전 효과”, 대한 전기학회지, 49권 11호, pp.609-615, 2000.
- [2] Mutumi Tuda et al., “Large-diameter microwave plasma source excited by azimuthally symmetric surface waves”, J. Vac. Sci. Technol. A 18(3), pp.840-848, 2000.
- [3] J.H. Keller et al., “Novel radio-frequency induction plasma processing technics”, J. Vac. Sci. Tech. A11, pp.2487-2491, 1993.
- [4] R B Piejak et al., “A simple analysis of an inductive RF discharge”, Plasma Sources Sci. Tech. 1, pp.179-186, 1992.