

# 고효율 무전극 형광등 광원 기술개발

박성목·함 운<금오전기(주)>  
박대희·이종찬<원광대학교>

## 1 서 론

무전극 형광램프의 기본원리가 되는 고주파 무전극 방전은 약 100여년 전에 발견된 것이지만 조명용 광원으로는 1970년대부터 연구되어졌으며, 실제 실용화는 1990년대 들어와서부터이다. 무전극 형광램프의 장점은 6만 시간정도(연속 8년 동작)수명과, 80이상의 CRI(Color Rendering Index), 넓은 동작 온도(-30~80℃), 그리고 잦은 스위칭의 영향을 받지 않는 것이 큰 특징이다.

고주파 무전극 방전에는 E-방전, H-방전, 마이크로파 방전, 표면파 방전 등의 4가지로 구분되며 이 중에서 E-방전은 주파수가 수 100(MHz)이상으로 높지만 출력이 작고, 표면파 방전은 기술적 어려움 때문에, 마이크로파 방전은 실용성 면에서의 어려움 때문에 지금까지 선보인 대부분의 무전극 방전램프들은 H-방전을 이용한다. H방전은 코일로부터의 전자유도에 의하여 관내가스 자신이 2차코일로서 전자 결합해 페루프를 형성하는 것으로 1~100(MHz)의 주파수대의 방전으로도 전력을 충분히 공급하기가 쉬운 장점을 가지고 있다.

## 2 본 론

### 2.1 무전극 형광램프 개발의 필요성

#### 2.1.1 기술적 측면

에너지 생산원가의 상승으로 새로운 절전형 램프가 요구되어지고 있는 가운데 기존의 콤팩트 형광램프나 소형 HID의 단점을 개선한 무전극 방전램프가 새로운 광원으로 등장하고 있다. 방전램프의 전극은 상당한 에너지 손실원이며 제조하기가 까다로운 점이 실패의 결정적 원인이 되는 등 전극으로 인해 여러 가지 문제가 발생한다. 그러나 무전극 방전을 이용한 경우에는 이러한 점이 해소되므로, 수명의 측면에서 이것만큼 확실한 해결책은 없다. 다만 일반 조명용으로 사용하기에는 아직까지 효율이 낮고, 경제성이 떨어지는 점이 무전극 방전램프의 실용화를 막고 있는 실정이다. 물론 일부 상업용 제품이 개발되어 선을 보이고 있으나 보다 깊은 연구를 통해 고전력과 고효율을 달성하여 실용화를 촉진시키기 위한 방법들을 밝혀야 할 것이다. 따라서, 본 무전극 램프 개발을 통해 한단계 진보된 조명기술을 확보하게 될 것이다.

#### 2.1.2 경제적 측면

무전극 형광램프는 향후 백열전구, 콤팩트 형광램프, 그리고 콤팩트 HID 램프 등을 능가할 것으로 전

망된다. 또한 옥외 광고 조명분야에 있어서 현재의 네온사인 이상의 장점을 갖고 있으므로 이의 사용이 급증할 것이다. 우선은 수입대체 효과가 높을 것이며 그리고 수출까지 모색할 수 있을 것이다. 세계적으로 조명용 무전극 광원 가운데 무전극 형광램프는 상용화된 조명이 주류이다. 따라서 전구형 무전극 형광램프의 우선 개발의 필요가 있으며 기존의 선진국에서 개발한 제품보다 6%~10%의 효율이 향상된 제품을 목표로 하고 부가기능을 높여서 향후 충분한 경쟁력을 가질 것으로 사료된다. 또한 조명에너지를 새로운 조명시스템으로 대체하고 최적운영을 할 경우 장기간에 수행된 실증결과에 따라 30%의 에너지 절약이 가능할 것으로 판단되고 현재 전량 수입에 의존해오던 것을 국산 대체하여 상당부분 외화절약이 가능하다고 사료된다.

## 2.2 시장현황

### 2.2.1 국내시장

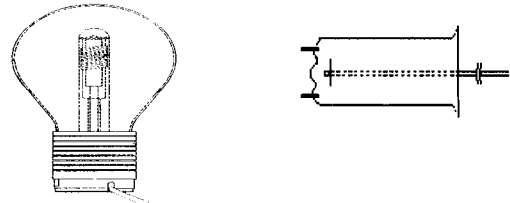
우선 옥외용의 경우 도로의 가로등이나 터널등의 대체 시장이 예상된다. 아울러 장수명이기 때문에 옥내용의 기존 형광램프나 메탈등의 교체 시장도 활성화 될 수 있으며, 특수 용도의 새로운 수요도 예상된다.

### 2.2.2 국외시장

네델란드의 필립스가 주도적으로 시장을 선점하고 있으며, 일본의 松下電工이 일부 보급하고 있다.

## 2.3 전구형 무전극 방전관의 형상

아래 그림은 전구형 램프의 형상을 보여준다. 각각의 Part는 디자인과 구조적인 측면에서 EMI를 최소화하기 위해 독특하게 설계되었다.



(a) 방전관 단면도

(b) 내관 Assembly

그림 1. 전구형 무전극 램프 형상

램프 내부에는 약간의 수은과 희소 가스가 봉입 되었고, 코일을 수용하기 위한 요각(凹角) 구조로 되어 있다. 구리 코일은 페라이트 주위를 수직 축으로 약 15회 정도 감겨있으며, 고주파 발생 회로와 연결 되어있고, 빛의 분배 장애나 램프 밖으로의 전자계 방출을 막기 위해 램프 중심에 위치 형상을 하고 있다.

## 2.4 연구결과

전구형 무전극 형광램프에 관련한 고 효율화 및 방전 특성에 관한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 제논+수은을 갖는 혼합가스의 방전관에서 방전 전류를 측정할 수 있었으며, 제논의 확산전류는 온도 증가와 함께 증가를 하고, 300Torr에서 큰 확산전류가 흐른다. 또한 휘도는 압력에 의존성보다는 주위온도가 높은 90[°C]에서 최대 휘도를 나타내며, 확산전류가 10[mA]에서 최대의 특성을 갖는다. 또한 방전확산 전류는 12[mA]이상에서는 급격하게 휘도의 저하를 나타낸다. 90[°C], 300 Torr 제논의 방전관의 휘도는 실온보다 3배 높다.

2) 무전극 광원에 있어서 형광체의 발광 휘도와 발광 색에 미치는 플라즈마 중의 전자에너지 영향을 검토한 결과 다음과 같이 얻어졌다.

(1) 혼합 가스와 압력 : 전자 밀도는 버퍼 가스로

서 Ne보다 Ar에서, 압력은  $2 \times 10^{-4}$  Torr에서 높으며, 고주파 전력 60(W)보다 높으면 전자 밀도가 포화되는 경향을 나타낸다.

(2) 전자 밀도와 고주파 전력 :

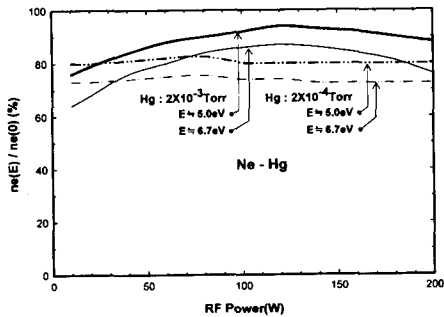


그림 2. Ne-Hg 혼합 가스에서 전자밀도와 고주파 전력

전자 밀도의 고주파 전력 의존성은 Ne-Hg 혼합 가스의 압력이  $2 \times 10^{-4}$  Torr에서 일정하나,  $2 \times 10^{-3}$  Torr에서는 60(W)까지는 증가를 하고 다시 전력의 증가에 따라서 감소를 나타낸다.

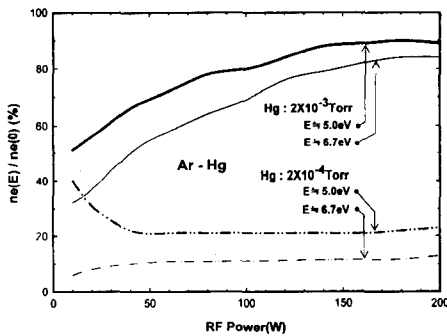


그림 3. Ar-Hg 혼합 가스에서 전자밀도와 고주파 전력

Ar-Hg 혼합 가스의 경우는  $2 \times 10^{-3}$  Torr에서는 고주파 전력의 증가와 함께 전자 밀도가 100(W) 까지 증가하며,  $2 \times 10^{-4}$  Torr에서는 40(W)까지는 다소 감소하다가, 일정한 전자 밀도를 갖는다.

(3) 형광체의 발광 휘도와 발광 색 : Ne-Hg 혼합 가스에서 발광 휘도는  $2 \times 10^{-3}$  Torr의 경우가  $2 \times 10^{-4}$  Torr보다 높으며, 고주파 전력의 증가와 함께 큰 증가를 나타낸다. 또한 색도의 변화는 Ne-Hg 혼합 가스에서는 색 좌표의 X축 방향의 증감을 나타내며, Ar-Hg 혼합 가스에서는 색 좌표의 Y축 방향의 증감을 나타낸다.

(4) 고주파 전력의 증가와 함께 전자 밀도는 증가하며, 이것은 형광체 발광에 영향을 주는 공명선 253.7(nm)와 185(nm)를 발생시키는 5.0(eV)와 6.7(eV)의 전자수의 증가를 나타내며, 발광 색은 이들의 전자 수를 더하며, Ne이나 Ar 및 Hg의 발광에 영향을 미친다.

### 3. 결론 및 향후 계획

우리는 상기와 같은 연구결과를 바탕으로 당해연도 목표인 광효율 70(lm/W)이상, 연색성 80이상, 수명 50,000시간 이상인 100(W)급 무전극 형광램프 개발을 이룰수 있었다.

금번 기술개발 및 연구결과는 에너지자원개발사업 3개년 계획의 1차년도 결과로서 아직 2년의 개발연구가 남은 상태이다. 2차년도에 세정, 형광체 코팅 및 Baking 설비가 배정되어 있는 관계로 1차년도에는 내관 제조 및 Sealing과 가스 봉입기술 개발을 중점적으로 수행하였으며, 간이설비를 이용하여 수동으로 시작제품을 제작하였다. 따라서 완제품의 특성은 다소 미진한 점이 있다.

그러나, 2차년도에는 위와 같은 문제점이 해결될 전망이며, Pulse Power를 이용한 가스방전 플라즈마 특성 및 해석, 고효율 형광막 형성을 위한 paste 소재 구형기술, EMI/EMC mode제어기술 등을 통해 더 나은 고효율, 장수명, 안정성의 방전관 개발을 할 수 있을 것이다.

본 연구는 2002년 에너지 절약기술개발사업의 지원에 의해 수행되는 자료입니다.

### 참고 문헌

- [1] European Patent Application H01J 65/04 92201213.3.
- [2] European Patent Application H01J 65/04 92200130.0.
- [3] H.Chandra, IEEE "Mitigation of Electromagnetic- Intergence in Low Power Compact Electrodeless Lamps".
- [4] 이종찬, 박대희, 김광수, 함 훈, 박성목, "무전극 형광램프의 전자계 방사 특성" 전기학회 2002 하계 학술대회 논문.
- [5] 박대희, 아오노, "신광원 기술개발 동향", 한국 조명·전기설비 학회지 Vol. 10, No.5, pp23~30 1225~1235, 1996.
- [6] 여인선, "무전극 방전의 원리와 방전등에의 응용", 한국조명·전기설비 학회지 Vol. 06, No. 3, pp176~182, 1992.
- [7] V. A. Godyak, Fellow, IEEE "Radio Frequency Fight Sources".
- [8] QL Induction Lighting, Philips Lighting Ltd., brochure, 1991.
- [9] B. Cook New developments and future trends in high-efficiency lighting.
- [10] James T. Dakin, "Nonequilibrium Lighting Plasmas" IEEE Transaction On Plasma Science, Vol. 19, No. 6 December 1991.
- [11] Postma, P., and Van Veghel, A.C.: "Electrodeless Low Pressure Discharge Lamps" UK Patent Application GB2162982A.
- [12] International Application Published Under The Patents Cooperation Treaty H01F 65/04, 61/48.
- [13] D.O Wharmby "Electrodeless Lamps", "Electrodeless lamps for lighting: a review".
- [14] Masaharu AONO, Hideki MOTOMURA, Yohi

chi TACHI and Dea-Hee PARK "Emission Characteristics of Mercury-Xenon Discharge Tubes" 2001 Japan-Korea Joint Symposium on ED and HVE, pp85~88, 2001.

- [15] Stephan Offermanns, "Resonance Characteristics of a Cavity-Operated Electrodeless High-Pressure Microwave Discharge System", IEEE Transaction On Microwave Theory and Techniques, Vol. 38, No. 7, July 1990.

### ◇ 저자 소개 ◇



**박 성 목**(朴性穆)

1955년 12월 5일 생. 1982년 중앙대학교 전기공학과 졸업. 현재 금호전기주식회사 기술연구소 수석연구원.



**함 훈**(咸勳)

1967년 1월 21일 생. 1993년 단국대학교 화학과 졸업. 현재 금호전기주식회사 기술연구소 책임연구원.



**박 대 희**(朴大熙)

1954년 11월 10일 생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업. 1983년 한양대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학교 대학원 졸업(박사). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 현재 원광대학교 전기전자 및 정보공학부 교수.



**이 종 진**(李鐘燦)

1972년 8월 13일 생. 1997년 원광대학교 전자공학과 졸업. 1999년 원광대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2003년 원광대학교 대학원 전자재료공학과 졸업(박사).