

고주파 방전 무전극 형광등 광원 기술 [직관 및 환형]

Electrodeless Fluorescent Lamp Technology Using High-Frequency Discharges (Linear and Circular Type)

김진중* · 고정태 · 원동호
세종대학교 광기술 연구실

Abstract

This paper describes the first-year accomplishments in the R&D project entitled, "Electrodeless Fluorescent Lamp Technology Using High-Frequency Discharges (Linear and Circular Type)," supported by a contract from the Korea Energy Management Corporation (KEMCO). One of the most important accomplishments in the project is that the luminance of electrodeless fluorescent lamps is increased more than 25% when the hybrid technique of capacitive and inductive couplings is utilized for both linear and circular types of high-frequency discharge fluorescent lamps compared to the case where pure capacitive couplings are used. We present the results of the experiments and the status of the development efforts in the project.

1. 서론

일반 조명, 특수 조명, 외각 조명, 산업 조명, 등등에 사용하는 재래식 광원 램프의 반 이상이 전기 방전에 의존한다. 그 중 대부분이 전극을 사용하여 방전하므로 램프의 수명에 근본적인 제한이 있다. 이러한 방전등 중에 재래식 형광등은 1930년대 말 출현된 후 많은 개선과 발전을 하였으며, 현재 전 세계적으로 일반 조명에 사용되는 램프의 주종을 이루고 있는 것은 주지의 사실이다. 이러한 형광 램프는 전류 안정기의 필요성, 전극의 스퍼터링에 의한 흑화, 방전 조건의 변화에 따른 광속 유지율의 감소, 한정된 광 변환 효율, 수명 감소에 따른 폐기물의 과도한 방출, 등등, 많은 단점을 갖고 있으나 백열등에 비하면 효율이 월등히 좋고, 수명이 길다. 상대적으로 경제성이 높기 때문에 계속 개선되어 사용되고 있다. 그러나 상기한 여러 단점 때문에 고주파를 이용한 무전극 방전 형광 램프의 개발은 그 대안으로 오랫동안 연구개발 되어왔으며, 고주파 방전을 이용한 무전극 형광 램프의 궁극적인 실용화는 조명 광원 기술 분야의 오랜 숙원 중 하나 이다. 고주파 방전 무전극 램프는 50,000 시간 이상의 수명과 80 lm/W 이상의 좋은 효율이 가능하며, 전극을 사용하지 않기 때문에 많은 근본적인 문제를 해결한다. 본 논문

에서는 한국 에너지관리 공단의 에너지 절약 기술개발 사업의 일환으로 추진되고 있는 고주파 방전에 의한 100-W 급 고주파 방전 무전극 직관 및 환형 형광등 광원 기술개발 사업 연구 과제의 목표를 설명하고, 1차년도 결과를 요약하고, 앞으로의 계획을 설명한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. 제2절에서는 본 연구 팀의 기술 접근 방법을 설명하고, 제1차년도 연구 수행 결과의 중점 결과를 요약한 후, 향후 계획을 설명한다. 3절에서는 총괄적인 요약을 한다.

2. 무전극 방전 형광등 개발 현황

2.1. 배경

서론에서 언급한대로 고주파 방전을 이용한 무전극 형광등의 개발은 오랫동안 추진되어왔다. 재래적인 형광 램프의 중요한 단점인 램프의 전류 안정기의 효율 및 수명 증대 필요성, 전극의 사용에 따른 단점, 등등 각종 문제점은 위에서 이미 지적하였다. 본 연구에 주로 환형이나 직관형에 국한하여 토의한다.

고주파 방전을 이용한 100-W 급 환형의 상용화

에너지 관리 공단 에너지 절약 기술 개발 사업 워십

2002년 11월 6일

는 극히 제한적이거나 무전극 형광 램프의 원천 기술 보유국 기업체에서 실현된 상태이다.

그러나, 100-W급 직관형 무전극 형광등은 상용화가 되지 않고 있다. 그 배경에는 기술적 이유도 있지만 응용성에도 있는 것으로 사료된다. 즉 환형은 그 규격이나 모양새가 간단하고 간편하여 사용하기가 편하다는 장점이 있다. 또한, 유도결합에 의한 방전을 이루기가 가장 적합한 구조이기 때문이다. 따라서 제일 먼저 상용화를 성취하였다. 반면에 직관형은 기존의 전극형 40-W 형광등을 대체하기에 경제성에서 경쟁하기가 어려운 이유 때문에 기술적으로는 환형과 비슷하나, 상용화가 늦어지고 있는 것으로 사료된다.

이러한 관점에서 볼 때 본 과제에서 첫 해에 거둔 성과는 직관형 및 환형의 형광 램프 광원 기술의 국산 상용화를 앞당기는데 좋은 계기가 될 것으로 기대된다. 자세한 내용은 아래에서 기술하고, 위탁 연구팀의 논문에서도 자세히 기술될 것이다.

본 개발 프로젝트는 세종대학교 광기술 연구실의 김진중 교수 팀과 연세대학교 정보 디스플레이 재료연구실의 백홍구 교수 팀의 위탁 연구, 그리고 기업체 에스에이테크 (SATech) (연구소장 이춘우 박사)의 참여로 수행되고 있다.

2.2. 기술적 접근 방법

본 사업에서 개발하려는 무전극 타입 램프는 전극이 없어 전극에 의한 수명 감소가 없고 램프 제작 공정도 매우 단순하다.

또한 무전극 램프는 에너지 효율적인 면에서 뛰어난 장점을 가지고 있다. 전극이 방전관 내에 있는 경우에는 플라즈마와 전극사이의 음극 강하(cathode fall)에 의한 에너지의 손실이 필수불가결하다. 특히 cold cathode인 경우 cathode fall 이 수백 볼트가 되어 이에 의한 에너지 손실이 커 광효율이 좋지 않은 것이 일반적이다. 그러나 무전극은 전극이 방전관 안에 없기 때문에 cathode fall에 의한 열적 에너지 손실이 전혀 없기에 기존의 형광등 보다 전력 소모가 절감되는 효과가 있다. 그러므로 무전극 램프는 1m/W를 고려 할 경우 광효율에 있어서 매우 큰 이득을 얻을 수 있다.

특히 직관, 환형 타입 무전극 형광등의 경우 기존의 폐형광등을 재활용 할 수 있는 측면의 큰 장점도 갖고 있다. 직관램프의 경우 무전극 구조이므로 특별한 설비 없이 기존의 설비로도 램프를 생산 할 수 있고 필요한 것은 단지 유도 전극의

개발 뿐 이다.

무전극 형광 램프 광원에 사용되는 세 가지 기본 기술은 용량형 결합(capacitive coupling)에서 성립되는 전기장 방전 기술과, 자기장의 시간적 변화에 따른 유도형 결합(inductive coupling)은 전기장을 이용한 방전 기술 그리고 유도형+용량형 결합(inductively capacitive coupling)을 이용한 방전 기술이다. 방전 자체는 세 가지 다 전기장을 이용하지만, 전력과 방전 플라즈마 결합 메카니즘은 복잡하고, 그의 최적화를 위해서는 고도의 기술을 요구한다.

본 프로젝트에서는 100-W 급 환형 및 직관형 무전극 형광등을 개발하기 위하여 세 가지 접근 방법은 취하고 있다. 첫 번째는 용량형 결합에 의한 무전극 방전 기술이고 두 번째는 유도형 결합 방전을 이용한 기술 마지막으로 유도형+용량형 결합 방전을 이용한 환형 및 직관형 형광 램프이다. 주파수는 250 kHz와 13.56 MHz가 주로 사용될 것이나, 다른 주파수에서도 좋은 효율이 나올 수 있는지 탐구적인 연구도 시도되고 있다.

전력 변환 효율에 관계되는 한 궁극적인 쟁점은 광변환 효율이 중요하다. 광변환 효율의 증대는 기술의 경제성을 통하여 다른 기술과 경쟁성을 높이는 가장 중요한 요소이다. 따라서 본 연구 과제에서는 형광등 광원의 효율 향상에 일차적인 중점을 두고 있다.

2.3. 1차년도 수행 내용 및 결과

1차 년도 (2001년 12월 1일-2002년 9. 30일 기간) 중에 수행한 내용 중 가장 중요한 성취는 다음과 같다.

가) 13.56 MHz 용량+유도 결합을 이용한 환형 램프 방전 실험

본 실험에 사용한 환형 형광등은 연세대 백홍구 교수 팀에서 제안한 유도형+용량형을 혼합한 방법으로 방전 플라즈마의 sheath를 절감시키는 메카니즘을 이용한 기술로 앞으로 혁신적인 시스템으로 실용화될 것으로 기대된다. 사용한 사양은 다음과 같다:

-직관 직경:	16 mm
-환의 직경:	30 mm
-봉입 가스압:	Ar 2-3 torr
-수는 봉입 양:	3 mg

- 주파수: 13.56 MHz
- 환형 전극의 길이: 3cm
- 유도코일 감은 수: 30회

본 실험에서는 용량형 결합에 의한 휘도 측정결과와 유도형+용량형 혼합 결합 (ICC)에 의한 휘도 결과를 비교하였다. 그림 1은 환형 형광램프 방전 시 휘도 측정방법을 설명한다.

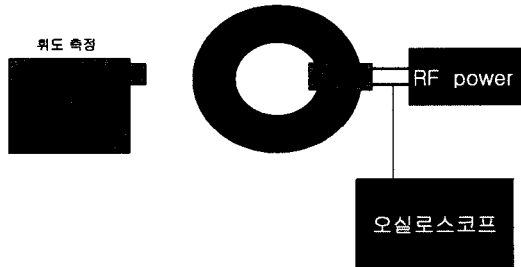


그림 1. 환형 형광램프 측정 구성도

그림 2는 유도형+용량형 혼합 결합을 이용한 휘도 측정시 환형 형광램프 방전 사진이다.



그림 2. 용량 + 유도 결합 무전극 환형 방전 모습

아직 최적화 되지 않은 상태이지만 결과는 주목할 만하다. 실험에서 얻은 결과를 그림 3, 4에 보인다.

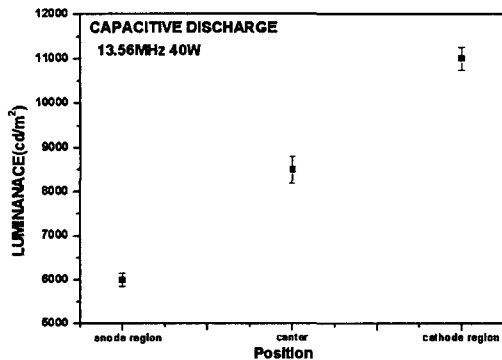


그림 3 용량 결합 방전

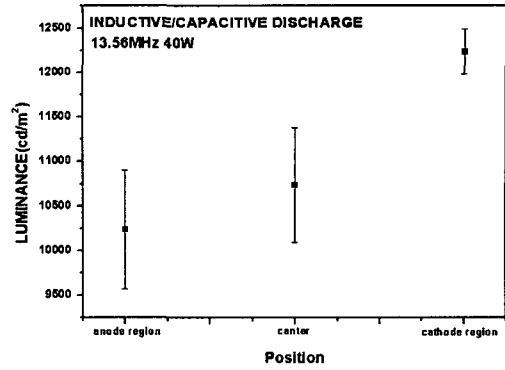


그림 4. 용량+유도 결합 방전

상기 실험 결과가 보이듯 유도형+용량형 결합 방식에 의한 휘도는 순수한 용량형 결합 방전의 경우 보다 평균 25% 이상 개선 됐으며, 특히 anode 부근에서는 40% 이상 개선된 것을 볼 수 있다. 그 이유는 코일로 인해 형성된 자기장에 의하여 플라즈마의 밀도가 증가하게 되어 sheath의 전위가 감소한다. 그러므로 전체 방전 전압이 낮아지게 되고 방전관내에 형성된 칼럼의 방전효율이 증가하게 된다. 이 결과는 매우 고무적인 결과이다. 다만, 초기 실험임으로 환형 형광 램프에 대한 전기적 회로를 최적화하지 않은 상태로 실험을 수행하였다. 앞으로 최적화 한 상태로 실험을 수행할 경우, 직관형에서 보인 13%이상의 증가를 보일 수 있을 것으로 기대한다.

이 결과에서는 약간 해석이 불분명한 면이 있다. 그것은 anode 부근에서는 약 40%이상의 개선이 있는 반면, cathode 부근에서는 14%정도의 차이가 있다. 이는 물리적으로 근본적인 문제가 있는 것이 아니라 실험 조건의 불균형에서 나오는 실험적 artifact일 것으로 설명할 수 있다. 이것은 전기적 장치의 최적화로 쉽게 교정될 것이다.

나) 250 kHz 유도 결합 환형 램프 방전 실험

본 실험에서는 최근에 방전 실험이 성공되어 순차적인 실험 준비를 진행하고 있다. 그림 5는 Ar 방전 실험을 보인다.

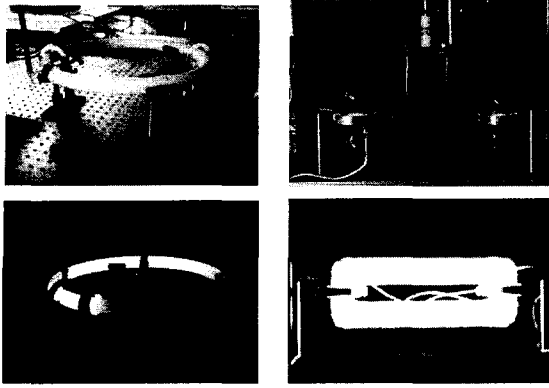


그림 5. 유도 결합 방전 모습

본 실험에서는 보이는 방전 광원의 특성은 10월 중순 현재 측정 진행 중이다.

2.3 향후 계획

2차년에는 1차년에서 실증한 유도+용량 결합 혼합형 방전 기술을 전기적 회로의 개선 및 방전 플라즈마의 최적화 조건을 도출하여, 직관형 및 환형 100-W 급 무전극 램프의 성능을 상용화에 적합한 수준으로 끌어 올리는 연구를 계속할 것이다.

- 13.56 MHz 직관 및 환형 연속방전에 의한 수은 증기, Ar, 수소 가스 등을 방전
- 250 kHz inductively coupled 통한 연속방전
 - 혼합 gas 사용 및 amalgam 사용을 통한 자외선 효율 증대
- 광속 및 광 효율을 통한 형광 물질 조사 개선
- 발광 특성 조사
- 무전극 형광등 디자인, 직관 및 환형 시제품 개발
- RF 유도 방전, 결합 효율 향상 기술 연구
- Industrial Scientific and Medical band (ISM)를 이용한 새로운 무전극 형광등 개발 병행

등을 수행할 것이다.

3. 요약

본 과제는 한국 에너지관리공단 지원으로 고효율의 100-W 급 고주파 방전 형광 램프 광원 기술을 개발하는 프로젝트로 경쟁성 있는 원천 기술을 개발하여 기술 이전에 의한 사업화를 궁극적인 목표를 갖고 수행하고 있

다.

제 1차 년도에서는 당초 계획보다 앞당겨 형광 램프의 효율을 높이는 실험을 수행하여 일차적으로 괄목할 결과를 얻었다. 기술적으로 유도형+용량형 결합의 혼합형 방전 회로를 채택하여 순수한 용량형 결합 방전에 의한 조도보다 25% 이상의 조도 증가를 성취하였다. 이 같은 결과는 직관형 및 환형 무전극 형광등에서 정도의 차이는 있으나 같은 경향의 결과를 성취하였다. 전기적 및 방전 물리의 최적화로 두 경우 다 괄목할 개선을 이룰 수 있을 것이다.

다른 한편으로는 연구개발에 필요한 장비를 사업 종료 후 상용화 기술 개발을 위한 장비로 활용할 수 있도록 시스템 디자인 및 장비 구축도 수행하였다.

제 2차 년도에서는 1차년도의 긍정적인 결과를 바탕으로 시스템 전반에 걸친 최적화를 기도하고, 상용화에 대비하는 시제품 개발에 정진 할 것이다.

부록에는 연구 개발에 필요한 주요 연구 장비의 성능 및 활용 방법을 첨부하였다.

참 고 문 헌

- 산업자원부, "초고주파 방전 신광원 시스템 개발," 기술기획보고서, 2001.
- 산업자원부, "에너지절약 정책에 부합하는 조명기술 개발을 위한 전략 수립," 최종보고서, 2000.
- 한국전기산업진흥회, "전기산업통계," 2001.
- 한국에너지기술연구원, "에너지절약기술 워크샵 논문집," 1999.
- 한국에너지기술연구원, "에너지절약기술 워크샵 논문집," 2001.
- Ge Lighting website: www.ge.com
- G. Revalde and Atis Skudra, "Optimization of mercury vapor pressure for high-frequency electrodeless light sources," J. Phys. D: Appl. Phys. 31 (1998) 3343.
- J. R. Coaton and A. M. Marsden (editors), "LAMPS AND LIGHTING," (Arnold, London, 1997).
- Louis R. Nerone, "Optimization of Electrodeless Systems," PhD dissertation (Cleveland State University, 1995).
- Osram Endura manufacturer's Guidelines for luminaires and users. 1989.
- Osram사 website: www.osram.com
- Philips사 website: www.philips.com
- U.S. Patent 5,717,290 "STARTING FLAG STRUCTURE FOR TUBULAR LOW PRESSURE DISCHARGE LAMP" February. 10, 1998.
- U.S. Patent 5,932,961 "CLOSEED-LOOP TUBULAR LAMP ENVELOPE AND OF MANUFACTURE" August. 3, 1999.
- U.S. Patent US 6,175,197 B1 "ELECTRODELESS LAMP HAVING THERMAL BRIDGE BETWEEN TRANSFORMER CORE AND AMALGAM" January, 16, 2001.
- Wharmby, D. O. "Electrodeless Lamps for Lighting: A Review," IEE Proceedings, Vol. 140A, No. 6, November 1993, pp.465.

부록 :

- 1차년도 주요 연구 장비 (2001.12.1-2002.09.30)
: 산업화를 목표로 둔 연구개발 장비 구축

- ① 직관형 램프 방전의 특성 및 제작, 다양한 실험을 위한 진공 시스템 구성

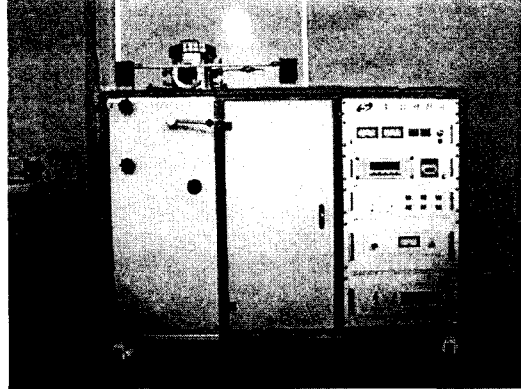


그림 1.진공시스템

- 10^{-5} torr까지 진공
- 1000V 이상의 고전압으로 램프 내부의 불순물 제거
- ② 다양한 형광도포 및 향후 생산 시스템을 고려한 형광도포장치

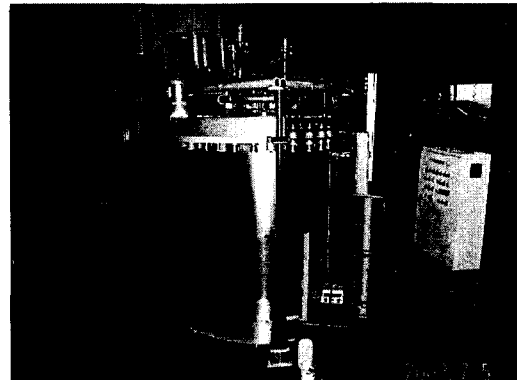


그림 2.형광도포 시스템

- 성능: 방전 실험을 위한 유리관의 균일한 형광체 도포
 - 10초당 램프 한개 도포 가능
 - Head 수 : 32 개 동시 장착
 - 인버터 사용으로 speed 조절 가능
 - 온풍 건조 system
 - 풍량 계산 및 조절 가능
- Head 교환만으로 직경이 다양한 램프를 형광도포 가능