

무전극 형광램프용 안테나의 자속밀도 변화에 따른 발광 특성

허인성, 김남군, 최용성, 이종찬*, 박대희
원광대학교, Ehime Uni.*

Emission characteristic along a magnetic flux density change of Antenna for Electrodeless Fluorescent Lamp

In-Sung Her, Nam-Gun Kim, Yong-Sung Choi, Jong-Chan Lee*, Dae-Hee Park
Wonkwang Uni., Ehime Uni.*

Abstract

Recently, the environmental problem has received considerable attention. so, many lamps have been developing for environmental requirement and energy efficiency. also, at glow discharge lamp researchers try to reduce energy spending that is power saving lamp. this kind requirement agree with strong points of electrodeless fluorescent lamp has received to now lighting sauce.

In this paper, at the research and development of Electrodeless Fluorescent Lamp phase, according to ferrite C.F.D(Computational Fluid Dynamics) Simulation and lamp brightness character are measured to find optimization design requirements of RF antenna which is impotent for emission of lamp:

Key Words : Plasma, ICP, Electrodeless Fluorescent Lamp, CFD

1. 서론

무전극 램프는 무선 주파수를 이용한 유도 결합형 플라즈마를 사용한다. 이것은 mTorr의 낮은 가스 압력에서도 고밀도($>10^{12}/\text{cm}^3$)의 플라즈마의 생성이 용이하고, 방전을 유지하는데 효율적이고, 이온화율이 높으며, 램프 내부에 전극이나 필라멘트가 없어 외부 전극으로도 플라즈마의 발생이 가능하여 전극의 산화·휘발로 전자방출 능력 상실과 점등 실패의 단점이 없다.[1] 그러므로 수명이 길어 유지 보수에 애로점이 있는 장소를 비롯하여 광범위하게 사용되고 있으며, 앞으로도 더욱 다양한 장소에 사용과 램프의 개선과 효율 향상을 위한 많은 연구들이 예상된다.[2]

무전극 램프의 발광 원리는 고주파 스위칭

회로인 인버터에서 출력되는 MHz의 RF Power가 램프내부에 Mn-Zn 페라이트와 함께 감겨있는 솔레노이드 코일에 인가되면 코일 양단에 축방향에 빠른 속도로 교차하는 교번 자기장과 동시에 수직방향으로 방사형 교번전계가 발생하게 된다.[3] 이 전자계는 내부에 하전입자들의 운동에너지로 변환된다. 하전입자들이 중성의 원자나 분자들과 충돌하면 다시 전자와 이온이 발생되며 이러한 과정을 통해 아주 짧은 시간에 내부에서 하전입자들은 서로 간의 전기적 상호 작용이 미치는 거리인 Debye 차폐거리(Shielding Distance)보다 훨씬 짧은 플라즈마 상태로 존재하게 되며, 이러한 과정에서 수은원자와 희소가스의 원자와의 충돌로 자외선이 발생되고, 자외선은 다시 램프 내부에 도포된 형광막에 의해 가시광선을 방출하게 된다.[4]

본 논문에서는 유도결합형 플라즈마를 이용한 무전극 형광램프의 연구 및 개발 단계에서 램프를 발광시키는데 있어 중요한 역할을 하는 안테나의 최적 설계 조건[5]으로 CFD-RC의 C.F.D(Computational Fluid Dynamics) Simulation을 사용하여 페라이트의 투자율 변화에 따른 자속밀도 Simulation과, 시작품 램프의 Mn-Zn 페라이트와 권선수를 변화 시켜 광학적 특성의 중요한 요소 중 하나인 휘도 특성을 측정하여 Simulation 값과 비교하여 효율적인 RF안테나 설계 조건을 찾고자 하였다.

2. 실험

본 실험에 사용한 무전극 형광램프의 단면도는 그림 1에 나타내었다. 무전극 형광램프의 기본구성은 세 가지로 나누어진다. 첫 번째는 램프 내부에 Mn-Zn 페라이트와 함께 감겨있는 솔레노이드 코일로, 고주파 스위칭 회로인 인버터에서 인가되는 RF Power를 코일 양단에 축 방향 교번자계로 발생 시키는 유도결합 RF안테나, 두 번째는 아르곤(Ar), 크립톤(Kr)의 휘소 가스와 미량의 수은이 봉입되어 안테나에서의 전자계로 수은원자를 여기시켜 자외선을 가시광선으로 변환 시켜 주는 형광막이 도포된 벌브, 그리고 세 번째는 안테나의 교번자계와 벌브의 방전에 의해 발생한 열을 램프 하단으로 전달하는 열전도 파이프로 구성된다.

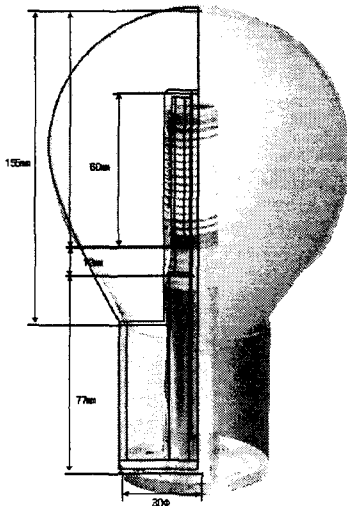


그림 1. 무전극 램프의 단면도

표 1과 같이 4종류의 Mn-Zn 페라이트 특성을 사용하여 Simulation과 휘도 측정을 하였다.

표 1. Mn-Zn 페라이트의 종류별 재질특성

	Samhwa SM-8T	Ferroxcube		TDK PE22
		3F4	3F45	
Initial permeability(μ) 150°C	1,250	1,400	1,350	1,350
Density [kg/m^3]	$\approx 4,700$	$\approx 4,800$	$\approx 4,750$	$\approx 4,700$
PV [kW/m^3] 100 °C; 3 Hz; 10 mT	≤ 320	≤ 700	≤ 350	≤ 650

Simulation은 표1.2의 재질특성을 사용하여 그림 2와 같이 C.F.D를 사용하여 4가지 페라이트별 자속밀도를 Simulation 하였고

표 2. 시뮬레이션을 위한 구성요소의 재질특성

	Coil	Heatpipe	Bulb
Permittivity	1	1	1.006~5.5
Rel. Permeability	0.9999	1	1
Imag. Permeability	0	0	0
Conductivity [S/m]	5.5×10^7	1×10^7	70-1200
Thermal conductivity [W/mK]	0	0	0.0180

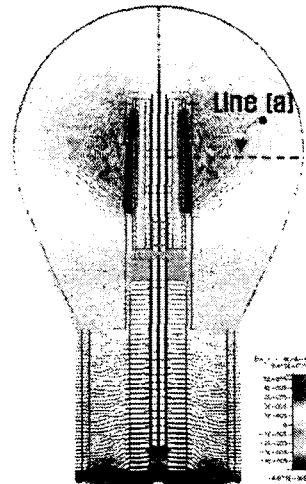


그림 2. 자속밀도 분포 시뮬레이션

각 페라이트별 코일 권선수를 13, 14, 15회 변화 시키며 Luminance Meter(Minolta LS-100)를 사용하여 1m 떨어진 거리에서 휘도 측정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 자속밀도 Simulation 결과

C.F.D 시뮬레이션을 사용하여 그림 2에서의 Line(a) 램프 중심부에서 외벽까지의 자속밀도 Simulation 결과이다. 그림 2와 3에서와 같이 4가지 페라이트 중에서 3F45가 자장 높은 $3.4e-5$ [Wb/m]의 자속밀도를 얻었고, 안테나와 인접한 램프 내부의 중심부에서 가장 높은 자속밀도와 벌브 외벽으로 갈수록 자속밀도가 감소하는 결과를 얻게 되었다.

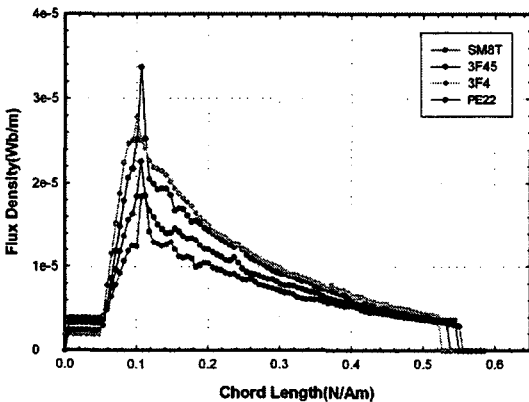


그림 3. Line(a)에서의 페라이트별 자속밀도 Simulation

3.2 페라이트와 권선수별 휘도 특성

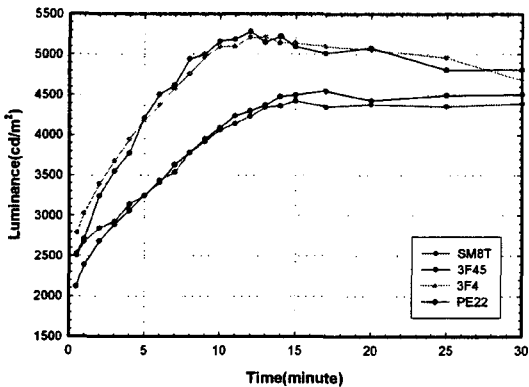


그림 4. 유도코일 13Turn시 휘도 특성

각 페라이트별 권선수에 따른 휘도 특성을 측정하였다. 발광 후 1분 간격으로 휘도를 측정된 결과 10분 후 가장 높은 휘도특성을 보였으며 점차 휘도가 감소하는 특징을 측정하였다. 그림 4는 안테나에 유도코일을 13회 감아 주었을 때의 휘도 특성이다. 4가지 페라이트 중에 PE22와 3F4가 다른 두 페라이트보다 높은 휘도 특성을 보였다,

그림 5는 안테나에 유도코일을 14회 감았을 때의 휘도 특성이다. 13회보다 휘도가 약 $300[cd/m^2]$ 낮아졌지만, 전체적으로 4가지 페라이트 모두 비슷한 경향을 보이고 있다.

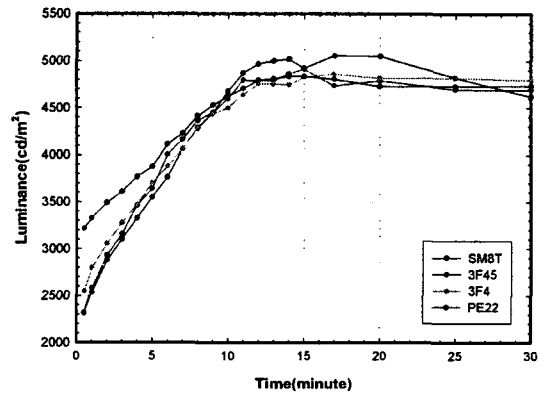


그림 5. 유도코일 14Turn시 휘도 특성

그림 6은 안테나에 유도코일을 15회 감았을 때의 휘도 특성이다. 15회에서 14회와 같이 전체적으로 비슷한 경향을 보였으며, 13회에서와 비슷한 값을 측정하였었다. 3F45와 PE22이 높은 휘도 특성을 측정하였다.

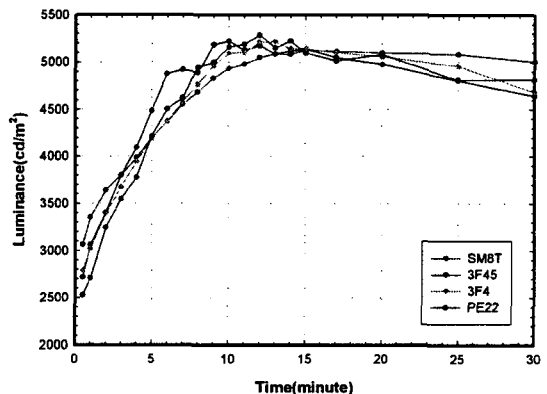


그림 6. 유도코일 15Turn시 휘도 특성

4. 결 론

C.F.D Simulation 결과 램프 중심부 유도코일 부근에서 가장 높은 자속밀도 분포를 확인하였으며, 페라이트 중 3F45가 자장 높은 $3.4e-5$ [Wb/m]의 자속밀도 확인할 수 있었다.

코일 권선수별 휘도 특성의 결과 권선수가 14, 15회일때 페라이트 3F45가 가장 높은 $5,300[\text{cd}/\text{m}^2]$ 휘도 특성을 보였다

Simulation과 휘도 특성 실험을 통하여 제안된 4가지 페라이트 중 3F45를 15회 감았을 때 가장 좋은 효율을 보이는 것을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 에너지 관리 공단에서 시행한 “고효율 무전극 형광등 광원 기술개발-전구형” 사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 林泉, “プラズマ工学”, 朝倉書店, p.19, 1987.
- [2] D.O. Wharmby, “Electrodeless lamps for lighting”, IEEE Proceedings A, Vol.140 Issue: 6, Nov, p.465, 1993.
- [3] Valery A. Godyak, Member, “Electrical Characteristics of Parallel-Plate RF Discharges in Argo” IEEE, Vol.19, No.4, 1991
- [4] K Nanbu and Y Kitatani, “Self-consistent particle simulation of RF discharge in argon based on detailed collision data”, Vacuum, Vol.47, No.6-8, p.1023, 1996
- [5] F. Whitney, “Measurements of Inductively-Coupled RF Fluorescent Lamp Lumen Properties”, Conference Record of the 1994 IEEE, Vol.3, p.1998, 1994.