

무전극 형광램프용 안테나 설계를 위한 전기적 특성 시뮬레이션

허인성, 김광수, 최용성, 박대회
원광대학교

Electrical Characteristics of Antenna for Electrodeless Fluorescent Lamp Using the Electromagnetic Simulation

In-Sung Her, Kwang-Soo Kim, Yong-Sung Choi, Dae-Hee Park
WonKwan Univ.

Abstract

Recently, the RF inductive discharge or inductively coupled plasma (ICP) continues to attract growing attention as an effective plasma source in many industrial applications, the best known of which are plasma processing and lighting technology. To the point of lighting sources, the electrodeless fluorescent lamps utilizing an inductively coupled plasma (ICP) have been objects of interest and research during the last decades, mainly because of their potential for extremely long life, high lamp efficacies, rapid power switching response.

The electrodeless fluorescent lamp that is dealt with in this work comprises a bulb filled with rare gas and amalgam of vaporizable metal and has a coil provided with a winding around the ferrite. Current through a coil produces a magnetic field in the discharge space. The changing magnetic flux then produces an azimuthal electric field E around the coil, according to Faraday's laws of magnetic induction.

Key Words : ICP, Electrodeless Fluorescence Lamp, RF Plasma

1. 서론

최근 고도의 경제성장과 더불어 삶의 질의 향상되면서 에너지효율이 좋고, 고 기능성 양질의 빛을 내는 새로운 광원기술들이 계속해서 발전하고 있으며 세계적으로 환경문제에 대한 관심이 부각되면서 친 환경의 요구와 신뢰성을 갖춘 고효율 램프들이 선보이고 있다[1]. 또한, 기체방전을 이용한 방전램프의 연구 개발 동향으로서 에너지 소비절감을 목표로 하는 에너지 절약형 램프, 즉 절전형 램프를 개발하고 있다. 이러한 동향에 맞추어 무전극 램프만이 가진 많은 장점들이 두각 되어 신 광원으로서 자리매김을 해가고 있으며, 무전극 램프에 대한 관심이 증가하고, 많은 연구가 진행되고

있다.

이러한 무전극 램프의 가장 큰 매력은 이름에서와 같이 전극이 없다는 것이다. 여기서 전극이 없다는 말은 일반적인 방전램프에서와 같이 봉입가스여기를 위한 전극이 방전관 내부에 위치하지 않는다는 것이다. 즉, 무전극 램프는 외부에서 유도코일의 전자계 방사에 의해 간접적으로 내부 봉입가스를 여기시키기 때문에 장시간 사용했을 때 전극의 손상이 없으므로 램프의 수명을 획기적으로 개선할 수가 있다.

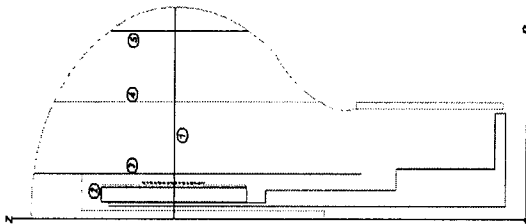
본 논문은 무전극 형광램프의 램프를 발광시키는데 있어 중요한 역할을 하는 안테나, 즉 페라이트를 사용한 유도코일과 램프내부에 위치하여 램프의 방전을 위해 전자계를 방사시키는 안테나에

대한 전자기적 특성을 FEM (Finite Element Methode)인 MaxWell 2D 시뮬레이션 소프트웨어를 사용하여 살펴 보았다.

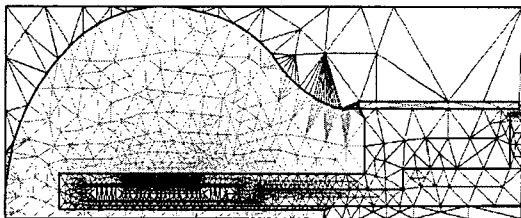
2. 실험

2.1 실험장치

그림 1은 1차측 유도코일과 봉입가스 및 램프의 형상등에 따라 변하는 2차측 플라즈마 영역의 전도도의 변화 시뮬레이션으로, 페라이트, 보조코일을 사용하여 램프 내부의 전도도를 변화시켜가면서 이에 대한 전자계 특성을 살펴보기 위한 무전극 형광램프의 시뮬레이션 개략도 (a)와 메쉬 (b)이다.



(a)



(b)

그림 1. 시뮬레이션을 위한 무전극 형광램프의 개략도와 메쉬

표 1은 시뮬레이션 모델에서 각각의 형상에 대한 크기와 위치에 대한 간격으로, 직경 120φ인 실제 전구형 램프 형상을 적용하였다. 전류가 인가되는 유도코일은 은이 도금된 구리선을 사용하였고, 권선수는 16회, 길이는 31 [mm], 직경은 0.52 [mm], 피폭을 입혔을 때 두께가 0.95 [mm]이다. 코일내부에 길이 27.6 [mm]인 Mn-Zn ferrite 두개를 맞붙여 사용하였다. Paracitic Coil(보조코일)은 재질과 권선수는 유도코일과 같고 직경은 0.32 [mm]이다. 전류는 0.7 [A], 구동 주파수는 2.65 [MHz]을 인가

하였다.

표 1. 시뮬레이션을 위한 각 구성요소의 크기 및 간격

Parameter		Size	
Coil		Primary Coil	Secondary coil
	Thickness [φ]	0.95-0.52	0.85-0.32
	Turns	10-22	10-22
	Height [mm]	29-31	29-31
Ferrite	O.D [φ]	17.4	
	I.D [φ]	9.5	
	Height [mm]	55.2	
Sleeve	O.D [φ]	20	
	I.D [φ]	18	
	Height [mm]	55	
Bulb	O.D _{max} [φ]	120	
Cavity	I.D _{max} [φ]	25	
Clearance	C _{primary} -C _{primary} [mm]	1	
	C _{secondary} -C _{secondary} [mm]	1.1	
	Ferrite-C _{primary} [mm]	1	
	Ferrite1-Ferrite2 [mm]	0.005	

시뮬레이션 구동을 위해 가능한 각각의 입력 재질을 실제와 같이 구현하려고 하였으며, 먼저 페라이트의 경우 상온 (25 ℃)에서의 자성특성으로 복소 투자율 값을 기준으로 입력하였다. 코일은 일반적인 구리 재질로 하였고, 열전도 파이프는 황동 (bronze)를 입력하였다.

표 2. 시뮬레이션을 위한 구성요소의 재질 특성

	Ferrite	Coil	Heatpipe	Bulb
Permittivity	10,000	1	1	1.006~5.5
Rel. Permeability	830	0.9999	1	-
Img. Permeability	45	0	0	-
Mag. Coercivity [A/m]	60	0	0	-
Conductivity [S/m]	0.1	5.8×10^7	1×10^7	-
Thermal conductivity [W/mK]	55	0	0	-
Input Current [A]	0.7			

램프영역의 재질을 유전율 1.006, 열전도도 0.01806[W/mK][2]를 입력하고, 전도도를 0~1200[S/m]까지 변화시켜가면서 시뮬레이션을 구동

하였으며, 이러한 결과에 대한 램프내부의 자속밀도 분포, 1차측 유도코일과 2차측 플라즈마 영역의 임피던스, 인덕턴스 특성을 살펴 보았다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 램프내부의 봉입가스를 전도성 물질로 가정하여 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 램프내부의 전도도 0~1200 [S/m]로 변해가면서 각각에 대한 램프 내부의 자속 밀도 B를 살펴보았다.

전체적으로 램프내부의 자속밀도 분포는 약간은 아래쪽으로 치우쳐 있다. 그림 3 (a)에서는 램프내부에서 자속밀도 B가 크게 두 영역으로 분산되어 있다가 전도도가 증가하면서 그림 3 (b)에서와 같이 점차 중심 쪽으로 집중되는 현상을 보이고 있다.

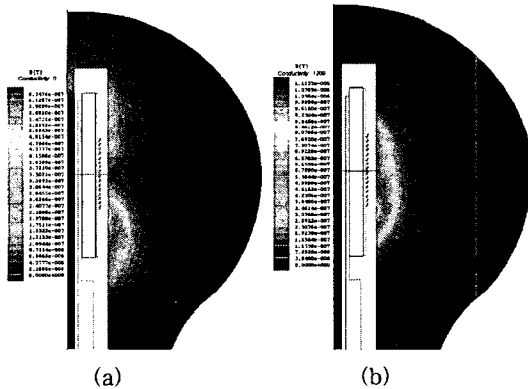


그림 2. 램프의 전도도 변화 (a)에 대한 내부 자속밀도 분포 (b)

그림 3은 위의 시뮬레이션의 결과로서, 램프내부의 플라즈마 전도도 변화로 인한 1차측 유도코일과 2차측 플라즈마 영역에서의 임피던스 Z 특성을 나타내고 있다. 플라즈마 전도도의 증가에 대하여 1차측 유도코일은 전도도 100 [S/m]까지 급증하였고, 300 [S/m]까지 약 0.45 [Ω] 정도를 유지하다가 서서히 감소하는 경향을 나타내었다. 반면에, 2차측인 플라즈마 영역에서의 임피던스 변화는 전도도 600 [S/m]까지 크게 감소하여 0.05 [Ω] 값을 갖다가, 다시 전도도 900[S/m]까지 급증한 후 감소하는 특성을 나타냈다.

Arc-factor $Q_0 / (1 + Q_0^2)$ 와 플라즈마 영역의

품질계수 Q_0 로 다시 해석해 보면[3], 1차측에 최대전력은 봉입된 가스의 전도도 100~300 [S/m]에서 나타나고, 이후 1200 [S/m]까지 점점 감소하며, 2차측 플라즈마 영역에서는 최대 전력은 전도도 50 [S/m]에서 나타나며, 600 [S/m]에서 최소값을 갖는다.

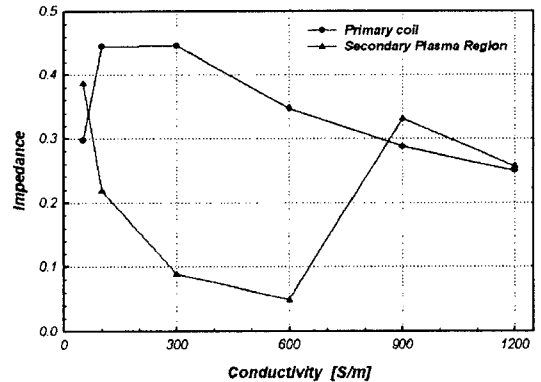


그림 3. 램프내부의 플라즈마 전도도 변화에 대한 1차측 유도코일과 2차측 플라즈마 영역의 임피던스 특성

그림 4는 램프 내부의 플라즈마 전도도 변화로 인한 1차측 유도코일과 2차측 플라즈마 영역에서의 인덕턴스 L 특성을 나타내고 있다. 1차측 유도코일의 경우 전도도 증가에 따라 비선형적으로 감소하여 전도도 1200 [S/m]일 때 최소 인덕턴스 2.3109×10^{-8} [μH]를 보였다. 하지만 플라즈마 영역에서는 전도도 50 [S/m]에서 가장 큰 값 3.6005×10^{-9} [μH]에서 조금 조금씩 감소 하였지만 전체적으로 볼 때 거의 일정한 특성을 나타냈다.

4. 결론

램프내부의 전도도를 변화시켜가며 자속밀도를 살펴 보았을 때 전체적으로 램프내부의 자속밀도 분포가 약간 아래쪽으로 치우친 원인으로 유도코일 양 끝단에서 Paracitic(보조코일)에 의한 자속의 경로가 제한되기 때문이며, 만약 전도도가 증가할수록 전체적인 자속밀도 B는 점차 감소하고 있으며, 만약 페라이트 아래쪽에서 Paracitic(보조코일)이 먼저 감겨 있는 형상을 하고 있다면, 자속밀도 B는 위쪽으로 치울 될 것이다.

램프내부의 플라즈마 전도도 변화에 대한 임피

턴스 특성에서 플라즈마 영역으로의 전력전달은 Arc-factor $Q_0 / (1 + Q_0^2)$ 값에 비례하여 나타난다. 만일 플라즈마 전도도가 매우 높아 플라즈마 저항 R_0 가 0에 가까운 값을 갖거나($R_0 \ll 0$) 무한대가 값을 가지게 되면($R_0 \rightarrow \infty$) 식은 성립되지 않으며, Q_0 값이 1이 될 때 2차측으로의 최대 전력분산이 일어날 수 있음을 확인하였다.[4][5]

램프내부의 플라즈마 전도도 변화에 대한 인덕턴스 특성에서 페라이트를 적용한 유도코일의 경우 페라이트의 투자율에 의해서 인덕턴스의 변화를 야기하고($L = \mu_0 \mu_r N^2 A / l$) 인덕턴스는 이러한 2차측인 플라즈마영역의 전도도에 따라 많은 변화를 보이고 있다. 따라서 온도 변화에 안정적인 적절한 페라이트의 투자율 값을 주어진 2차측에 플라즈마 영역에 대해서 밀접한 관계가 있음을 알 수가 있다.

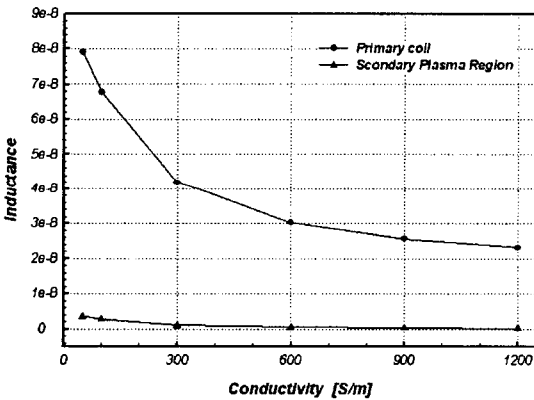


그림 4. 램프내부의 플라즈마 전도도 변화에 대한 1차측 유도코일과 2차측 플라즈마 영역의 인덕턴스 특성

감사의 글

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

참고 문헌

[1] Brian cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting", Engineering Science and Education Journal,

Vol. 9, p. 207, 2000

[2] J. R. Coaton and A. M. Marsden, "Lamp and Lighting", Chapter 6: Lamp Materials, p133, 1996

[3] J. R. Coaton and A. M. Marsden, "Lamp and Lighting", Chapter 11: Electrodeless Lamps, 1996

[4] Jan van Dijk, Marc van der Velden and Joost van der Mullen, "A multi-domain boundary-relaxation technique for the calculation of the electromagnetic field in ferrite-core inductive plasmas", Journal of Applied Physics, Vol. 35, p.2748, 2002

[5] Jing and Yinzhaoli, "Analytical expression to impedance for solenoid coil with a coaxial cylindrical ferrite core of finite length", Journal of Applied Physics, Vol. 35, p.570, 2002