

무전극 형광램프용 안테나 설계를 위한 전기적 특성 시뮬레이션

허인성, 김광수*, 최용성, 이종찬**, 박대희
원광대학교, LG전자*, 愛媛大学**

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

In-Sung Her, Kwang-Soo Kim*, Yong-Sung Choi, Chong-Chan Lee**, Dae-Hee Park
Wonkwang Univ., LG Electronics*, Ehime 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.

1. 서 론

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][2]. 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 광원으로 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 개선 할 수가 있다.[3]

본 연구는 무전극 형광램프의 램프를 발광시키는데 있어 중요한 역할을 하는 안테나, 즉 페라이트를 사용한 유도코일과 램프내부에 위치하여 램프의 방전을 위해 전자계를 방사시키는 안테나에 대한 전기학적 특성을 FEM(Finite Element Methode)의 MaxWell 2D 시뮬레

이션 소프트웨어를 사용하여 살펴 보았다.

2. 본 론

2.1 실험장치

그림 1은 1차측 유도코일과 봉입가스 및 램프의 형상에 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. 그림 1(a)에서는 R-Z축의 단면도와 각 영역에서 시뮬레이션 결과에 대하여 살펴보기 위한 1-3번 선들이 있다. 선 1은 램프 중심부에서 R축으로 페라이트와 램프 중심부를 지나 램프 외벽까지 그어진 선이고, 그리고 선 2는 페라이트 표면과 내관(Cavity)벽면에서의 전자계 분포 특성을 살펴보기 위한 선으로 위에서 아래방향으로 그어진 선이다. 선 3은 램프 중심부의 특성분석을 위한 것이다.

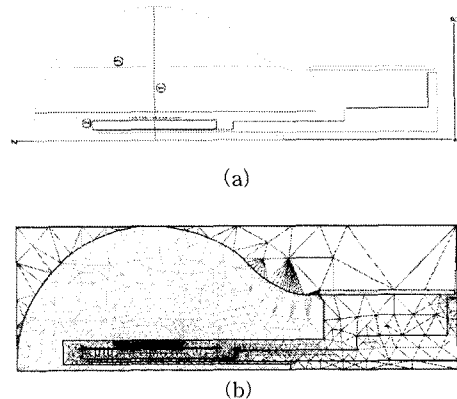


그림 1. 시뮬레이션을 위한 무전극 형광램프의 개략도와 메쉬

Fig. 1. Diagram of electrodeless lamp(a) and mesh(b) for simulation

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(보조코

일)은 재질과 권선수는 유도코일과 같고 직경은 0.32 [mm]이다. 전류는 0.7 [A], 구동 주파수는 2.65 [MHz]을 인가하였다.

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	
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 입력재질을 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][4]를 입력하고, 전도도를 0-1200[S/m]까지 변화시키면서 시뮬레이션을 구동하였으며, 이러한 결과에 대한 램프내부의 자속밀도분포, 1차측 유도코일과 2차측 플라즈마 영역의 임피던스, 인덕턴스 특성을 살펴 보았다.

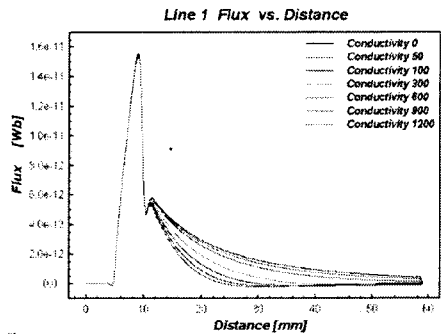
3. 결과 및 고찰

플라즈마 전도도 변화에 대한 안테나와 램프내부의 전자계 특성을 살펴보았다. 램프의 각 영역에서의 자속 Flux, 자속밀도 B, 자계강도 H를 살펴보기 위하여 선 1-3를 구고 각 선상에서의 값들을 전도도 변화에 대한 특성을 비교하였는데, 그림1에서 이러한 분석 영역을 굵은선으로 도시하였다. 시뮬레이션 입력 전류와 구동주파수는 각각 0.7[A], 2.65[MHz] 이고, 전도도는 50, 100, 300, 600, 900, 그리고 1200[S/m]으로 변화를 주었다.

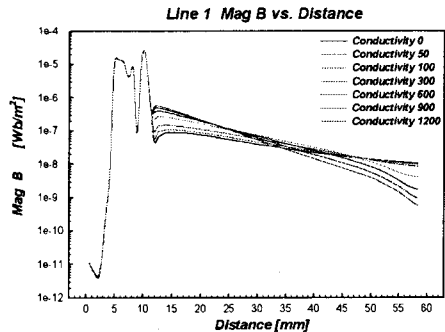
그림 2는 선 1번을 따라가면서 선상에서의 전자계 특

성을 보여주고 있다. (a)그림은 거리에 대한 자속 Flux의 변화를 보여 주고 있는데, X축 거리(0-60)에 대한 Y축 자속을 나타내고 있다. 12.5[mm]를 기준으로 안쪽은 유도코일이 수용되는 내관(Cavity)이고 이후로는 램프영역이다. 램프 내부에서 자속의 경우 검은색인 전도도 0[S/m]일 때가 상대적으로 가장 높은 값을 나타내었다. 전도도가 증가할 수록 자속은 거리에 대해 점점 작아졌으며, 내관 부근에서의 차가 조금 더 큰 것을 알 수 있다.

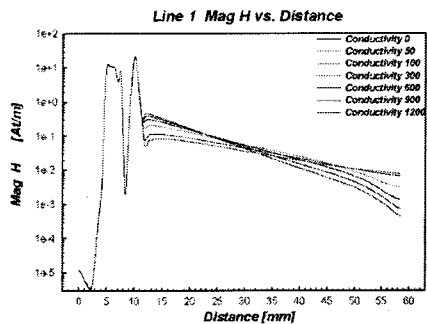
그림 2(b)와 (c)는 각각 선 1에서의 자속밀도 B와 자계강도 H를 나타내었다. 전도도에 대한 차이를 살펴보기 위해 Y축은 Log Scale을 적용하였다. 그림 2(b)에서



(a)



(b)



(c)

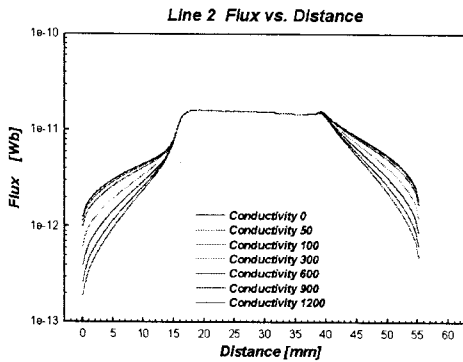
그림 2. 선 1에서의 거리에 따른 (a)자속, (b)자속밀도, (c)자계강도

Fig. 2. Magnetic (a)Flux, (b)Mag B, (c)Mag H on line 1

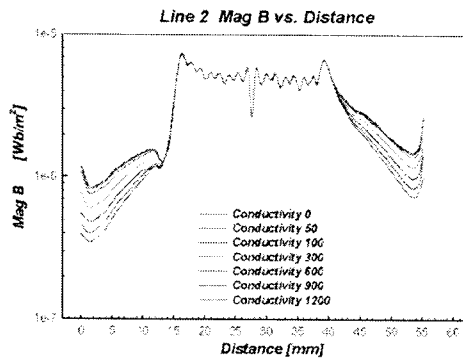
자속밀도 B의 경우 페라이트가 위치하는 4.25-8.7[mm] 부근과, 코일이 위치하는 10[mm] 부근에서 높은 값을 가졌다. 자계강도 H의 경우도 마찬가지로 페라이트 코

어부근과 코일 부근에서 높은 값을 가졌으며, 코일에서 전도도가 0[S/m]일 때 가장 높은 11.95[At/m]였다.

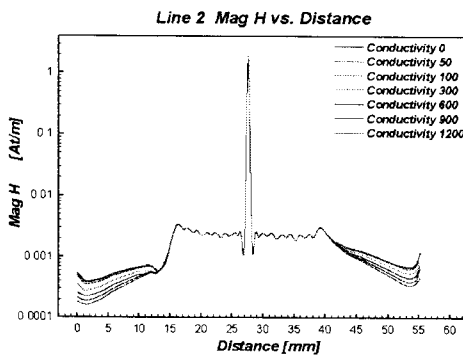
그림 3은 페라이트 표면을 따라 아래로 그려진 선 2번 상에서의 전자계 특성을 나타내고 있다. 3(a)는 X축 거리(0-55.2)에 대한 Y축 자속을 나타내고 있다. 페라이트 표면상에서의 자속은 중심부의 코일이 감긴 영역에서 거의 일정한 자속 값을 갖았지만 코일 양 끝단부터 전도도에 따라 차이를 보였으며, 페라이트 중심부에서의 자속은 1.6×10^{-11} [Wb]을 갖았다.



(a)



(b)



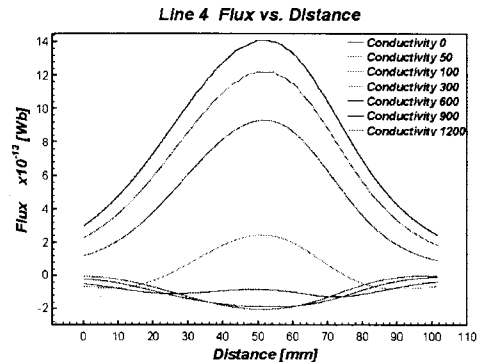
(c)

그림 3. 선 2 에서의 거리에 따른 (a)자속, (b)자속밀도, (c)자계강도

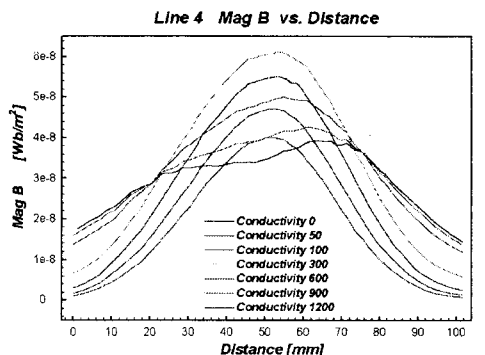
Fig. 3. Magnetic (a)Flux, (b)Mag B, (c)Mag H on line 2

그림 3(b)와 (c)는 각각 X축 거리에 대한 Y축 자속밀도 B 와 자계강도 H 를 나타내고 있으며, 자속과 마찬가지로 전도도 변화에 대한 코일 감긴 부근에서의 각각의

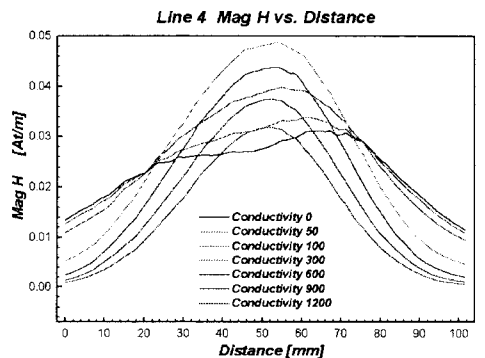
값들은 일정하였다. 일반적으로 자속밀도는 자계강도와 비례를 하는데($B = \mu H$), 반해 그림 3(c)에서 자속밀도 B 는 코일 중심부에서 감소함을 볼 수 있다. 이는 선 2번이 페라이트 표면상에 그려진 것이기 때문에 중심부의 0.005[mm] 상에서의 자속이 누설하여 흩어지므로 그 값은 2.63×10^{-6} [Wb/m²]이다. 반면에 그림 3(b)에서 자계강도 H 의 경우 급격히 증가하여 전도도 0에서 2.091[At/m] 가졌으며, 전도도 1200[S/m]에서는 2.074



(a)



(b)



(c)

그림 4. 선 4 에서의 거리에 따른 (a)자속, (b)자속밀도, (c)자계강도

Fig. 4. Magnetic (a)Flux, (b)Mag B, (c)Mag H on line 3

[At/m] 로 전도도의 영향은 매우 적었다.

페라이트 상에서 감긴 코일영역 외에서는 전도도에 따라 차이를 보였는데, 전도도가 0[S/m]인 검정색에서 자

속밀도 B 와 자계강도 H 모두 비교적 높은 값을 갖았으며 전도도의 증가에 따라 점점 감소하는 경향을 보였다.

또한, 전체적으로 코일영역은 페라이트 중심부에 위치하지만 비대칭성을 띄고 있으며, 이는 보조코일에 의한 것으로 사료된다.

그림 4은 램프의 중심부에서 아래로 그려진 선 3번상에서의 전자계 특성을 나타내고 있다. 그림 4 (a)에서 전도도가 증가할수록 코일이 감겨있는 중심부에서의 자속 $Flux$ 는 감소하고 있으며, 그림 4(b)와 그림 4(c)의 자속 밀도 B 와 자계강도 H 는 비슷한 모양을 하고 있는데, 전도도가 300[S/m]일때 가장 큰 값을 나타내고 있다.

4. 결 론

램프 내부의 전도도의 변화는 내관부근에서는 전도도가 높을수록 램프 외관부근에서는 전도도가 낮을수록 그 값들이 전이되는 것들을 볼 수가 있다.

자속밀도 B 와 자계강도 H 모두 거리에 대하여 램프 내부의 플라즈마 영역에서는 봉입가스의 전도도가 높을수록 램프 중심부 영역에서는 상대적으로 높은 값을 갖게 하며, 반면에 램프의 외측에서는 전이되어 낮은 값을 가졌다.

자계강도 H 는 전류와 권선수에 비례한다. 그러므로 그림 3(a)에서 코일이 감겨있는 중간영역에서의 페라이트 간 미소한 간격(0.005mm)에서 급격한 자계강도 H 의 증가는 실제 안테나에서는 많은 열이 집중될 것으로 추측되며(줄의 법칙 $J = 0.24 I^2 Rt$), 가능한 간격이 없는 하나의 코어를 사용해야 할 것으로 사료된다. 만일 코어와 코어 사이의 단면이 다소 거친면을 가진다면, 공기의 갭이 존재하게 되고, 결국 페라이트의 유효 투자율을 감소시키고, 또한 권선의 전기적 인덕턴스도 감소하게 된다. 그리고 제품의 대량 생산시에 발생할 수 있는 미세한 오차율에 의해 안테나의 성능이 변하여 램프시동 및 전기적 동작에 영향[3]을 줄 수 있는 문제점도 가지고 있다.

또한, 페라이트 표면상에 그려진 선 2번에서는 페라이트 간 미소한 간격(0.005mm)에서 급격한 자계강도 H 를 나타내었으며, 이러한 강한 누설자계로 인하여 많은 열이 집중될 것으로 예상된다. ($J = 0.24 I^2 Rt$)

감사의 글

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

- [1] Brian cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting", Engineering Science and Education Journal, Vol. 9, p. 207, 2000
- [2] D. O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting: a review", Science Measurement and Technology, IEE Proceedings A, Vol. 140, pp.465-473, 1993
- [3] V. A. Godyak, R. B. Piejak and B. M. Alexandrovich, "Electrical characteristics and electron heating mechanism of an inductively coupled argon discharge", Plasma Sources Sci. Technology, Vol. 3, pp.169-174, 1994
- [4] J. R. Coaton and A. M. Marsden, "Lamp and Lighting", Chapter 6: Lamp Materials, p133, 1996
- [5] Sharper. J. W, "형광램프용 페라이트 코어의 절단면 결함을 위한 방법 및 페이스", 대한민국 특허청공개 (KR) H01J 65/04, 2003