

안테나에서 페라이트 위치 변화에 따른 전자계 시뮬레이션과 전기적·광학적 특성

論 文

57-5-13

Electromagnetic Simulation & Electrical · Optical Characteristics by Changing Ferrite Position in Antenna

李主煥* · 梁種璟** · 李鐘燦*** · 崔明鉉[§] · 金炳澤^{§§} · 朴大熙[†]
(Joo-Ho Lee · Jong-Kyung Yang · Jong-Chan Lee · Myung-Hyun Choi ·
Byung-Tack Kim · Dae-Hee Park)

Abstract - The RF inductive discharge of 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. Although most practical ICPs operate at 13.56 [MHz] and 2.65 [MHz], the trend to reduce the operating frequency is clearly recognizable from recent ICP developments. In an electrodeless fluorescent lamp, the use of a lower operating frequency simplifies and reduces cost of RF matching systems and RF generators and can eliminate capacitive coupling between the inductor coil and plasma, which could be a strong factor in wall erosion and plasma contamination. In this study, We discussed simulation and experimental results when changing ferrite position in antenna.

Key Words : Inductively Coupled Plasma(ICP), Ferrite core, Antenna, Electrodeless Lamp

1. 서 론

일반 조명용 광원에 있어서 그동안의 기술동향이 고출력, 장수명, 고연색성을 목표로 하였다면, 이제는 에너지절약을 위한 고효율화와 더불어 안전성, 쾌적성, 친환경성이 조명용 광원의 이슈가 되고 있으며, 이러한 동향에 맞추어 형광램프에 비해 많은 장점들을 가지고 있는 무전극 램프에 대한 연구와 관심이 증가하였다.[1]

무전극 형광 램프의 전력 효율은 램프 내의 가스 종류, 가스 압력, 램프 형상, 자성체 재료 및 형상, 동작 주파수 등에 큰 의존성을 가진다. 특히 제한된 주파수에서의 효율 향상을 위해서는 램프의 구조설계 분야도 큰 비중을 차지한다. 특히, 고주파 에너지를 공급하는 장치는 유도코일에 의해 발생하는 자계에 의한 전자기장을 이용하여 에너지를 공급하는데 이때의 임피던스 특성을 결정하는 안테나의 설계는 큰 비중을 차지한다.[2][3]

에너지를 공급하는 안테나 구조설계에 있어서 EMC를 고려한 페라이트 코어, 코일 및 Heat pipe의 최적화된 특성이 요구된다. 코일 설계에 있어서는 Coil의 재질, 형상, winding 방법 및 턴 수 등을 고려해야 한다. 페라이트 코어 설계에

있어서는 재질, 주파수와 온도에 대한 특성 그리고 열손실 특성을 고려해야 한다. 마지막으로 Heat pipe 설계에 있어서는 원활한 열전도 및 열적안정성 그리고 구조적 안정성이 요구된다.

본 논문은 무전극 램프에서 페라이트의 위치를 변화시켰을 때 생성되는 자속밀도와 그 영향에 따른 전기적, 광학적 특성을 확인하기 위해 시뮬레이션과 실험적 결과를 비교하였다.

2. 실험 방법

시뮬레이션과 실험에 사용된 시료는 그림 1과 같다. 페라이트의 위치는 H~H+30 까지 H+20을 중심으로 하여 4가지로 구성하였다.

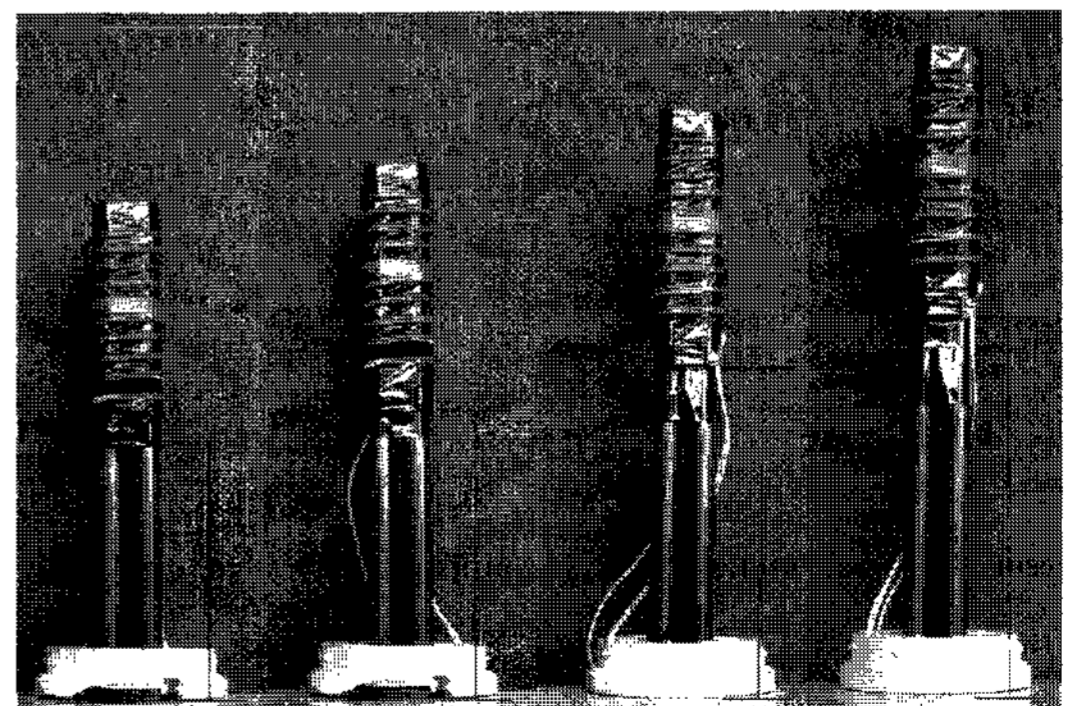


그림 1 시료의 페라이트 위치 변화

Fig. 1 Changed Ferrite position of Antenna

* 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 碩士課程
** 學生會員 : 圓光大 電子材料工學科 博士課程
*** 正 會 員 : 金호전기(주) 부설연구소 선임연구원 · 工博
§ 學生會員 : 群山大 電氣電子制御工學科 碩士課程
§§ 正 會 員 : 群山大 電子情報工學科 助教授 工博
† 교신저자, 終身會員 : 圓光大學校 教授 · 工博

E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr

接受日字 : 2008年 1月 9日

最終完了 : 2008年 3月 17日

2.1 시뮬레이션 조건

페라이트의 위치 변화에 따른 전자계 분포 특성을 확인하기 위하여 안테나의 물성을 바탕으로 모델링 하였다. 유한요소해석법을 통해 그림 2와 같이 축대칭 3차원 모델링을 하였다. 열전도파이프의 재질은 구리로 하였고, 벌브에 봉입되어있는 약간의 수은과 회가스들은 진공으로 설정하여 순수 안테나 특성에 따른 영향을 확인하였다. 페라이트 재질은 주파수 특성을 고려하여 Mn-Zn Type으로 설정하였으며 안테나에 대한 특성은 표 1과 같이 입력하여 시뮬레이션 하였다.

표 1 시뮬레이션을 위한 입력 파라미터

Table 1 Input Parameter for Simulation

Parameter	Value[mm]
페라이트외경-내경-길이	26-14-108
투자율 μ	1400
페라이트 도전율	0.3333[S/m]
Hc	16[A/m]
Br	140[mT]
입력 주파수	2.65[MHz]
입력 전류	1.82~2.14[A]
코일 턴수	13회

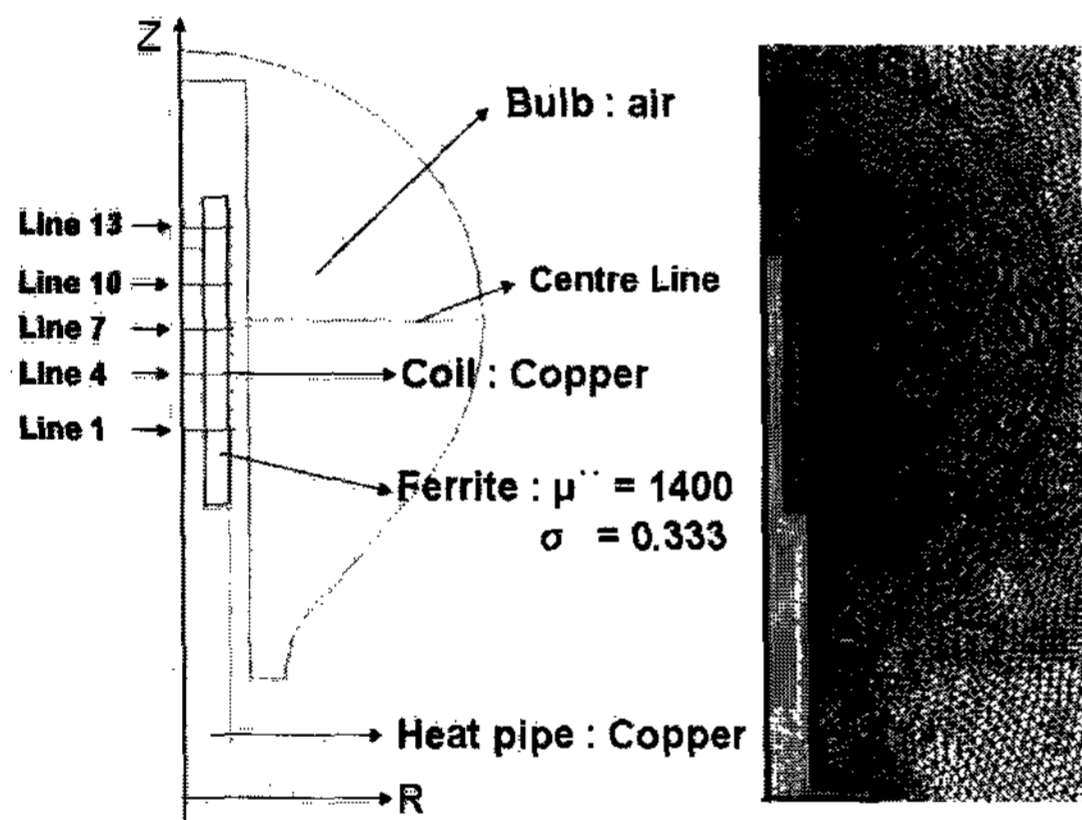


그림 2 무전극 램프 모델링

Fig. 2 Modeling of Electrodeless Lamp

2.2 실험 조건

본 실험에서 사용된 실험장치의 개략도는 그림 3과 같다. 전원부의 기본적인 구성은 2.65MHz의 고주파를 발생시키는 RF전원과 그것을 증폭시키기 위한 Amplifier, 플라즈마 및 부하 임피던스와의 매칭을 위한 2개의 가변 캐패시턴스와 가변 인덕턴스를 이용한 LCC 매칭회로로 구성하였다. 측정 장비로는 전압 프로브, 전류 프로브를 이용한 오실로스코프와 광속 측정을 위한 적분구(Lighting Measure System : L.M.S)를 사용하였다. 실험에 쓰인 시료는 Ar : Kr = 75 : 25 의 비율로 가스를 0.4 Torr 주입한 벌브를 사용하였다. 안테나에 사용된 페라이트는 초투자율이 1400인 Mn-Zn이며, 코일은 테프론 와이어와 중앙 집중형 13턴을 감아서 사용하였다.

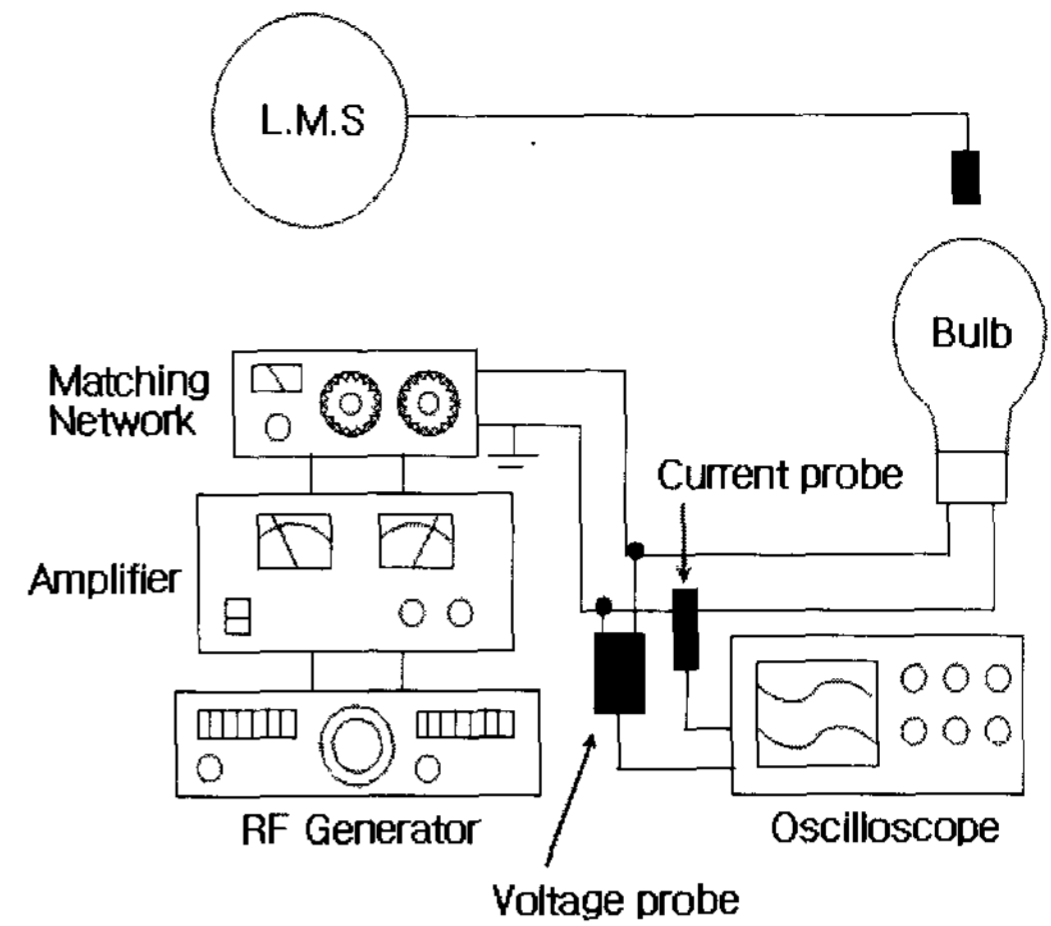


그림 3 실험장치의 개략도

Fig. 3 Schematic Diagram of Experimental Equipments

2.65MHz RF전력 200W를 매칭 회로를 통해 반사전력이 최대한 0W가 되도록 조정하여 방전을 일으켰다. 무전극 램프는 전력이 인가된 후 2시간 동안의 안정화 시간을 유지하였으며 적분구를 통해 유지율을 측정하였고, 전압, 전류 프로브를 통해 전기적인 값을 측정하였다. 전기적인 특성을 통한 임피던스와 R, L에 대한 추이를 확인하기 위해 식 (1), (2), (3), (4)를 이용하여 그 성분을 계산하였다. 최종적인 전광속은 안정화 이후 적분구 안의 온도가 램프의 발열에 의해 실제 광속보다 높게 측정되기 때문에 문을 15분 동안 Open시켜 주변온도와 같게 한 후 측정하였다.

$$\text{임피던스 } |Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \tag{1}$$

$$\text{레지스턴스 } R = Z \cdot \cos\theta \tag{2}$$

$$\text{리액턴스 } X_L = Z \cdot \sin\theta \tag{3}$$

$$\text{인덕턴스 } L = \frac{X_L}{2\pi f} \tag{4}$$

3. 결과 및 고찰

3.1 시뮬레이션 결과

그림 4은 코어에 분포하는 코일에서 나오는 자속량을 나타낸 그래프이다. 시뮬레이션의 경우 램프의 전체 부분에 대한 전계 분포를 위해 실험과 마찬가지로 중앙 집중형 13턴을 사용하였으며 line 1, 4, 7, 10, 13의 자속 밀도 분석을 통해 부분적인 전자계 특성 분포를 확인하였다.

그림 4에서 보는바와 같이 line7에서 최대의 자속 밀도를 나타내었는데 이는 안테나의 경우 중앙 부분의 코일의 간격이 밀함으로써 자속밀도가 높게 나타났다.

투자율이 일정할 경우 전체적인 자속밀도는 권수의 균일성에 의해 달라지며 외부 코일의 경우 누설 자속 또한 증가하여 자속밀도가 점점 감소하는 특성을 보였다.

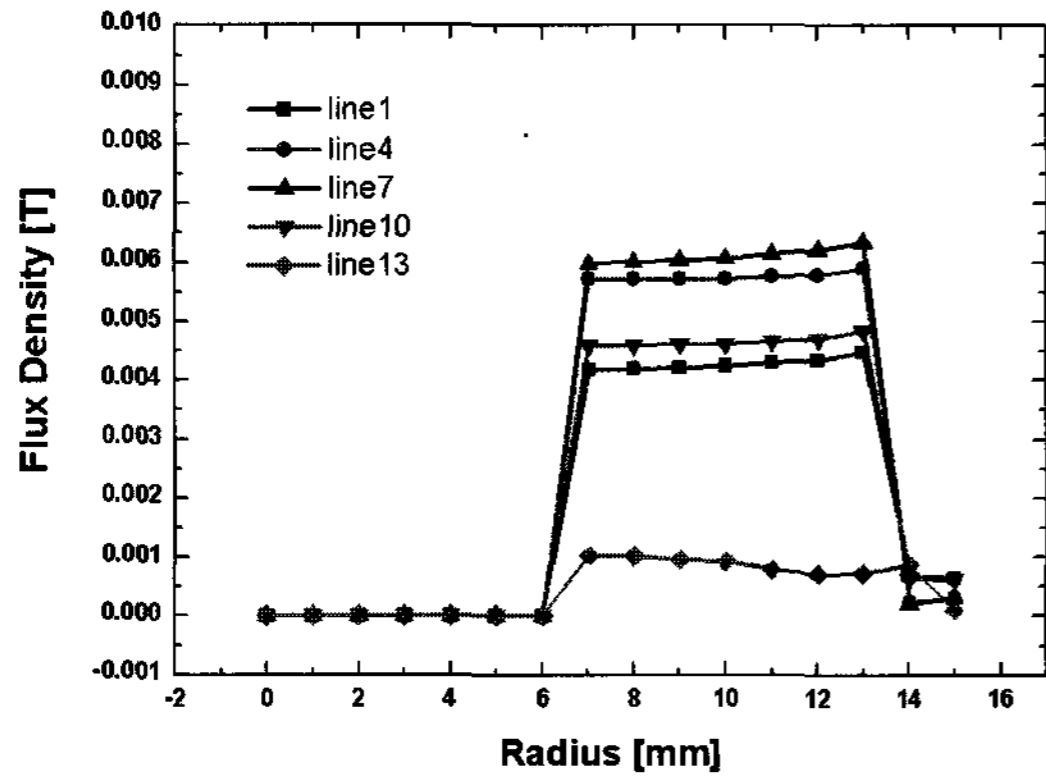


그림 4 코어내의 코일에 따른 자속밀도
Fig. 4 Flux Density by each Coil in Ferrite Core

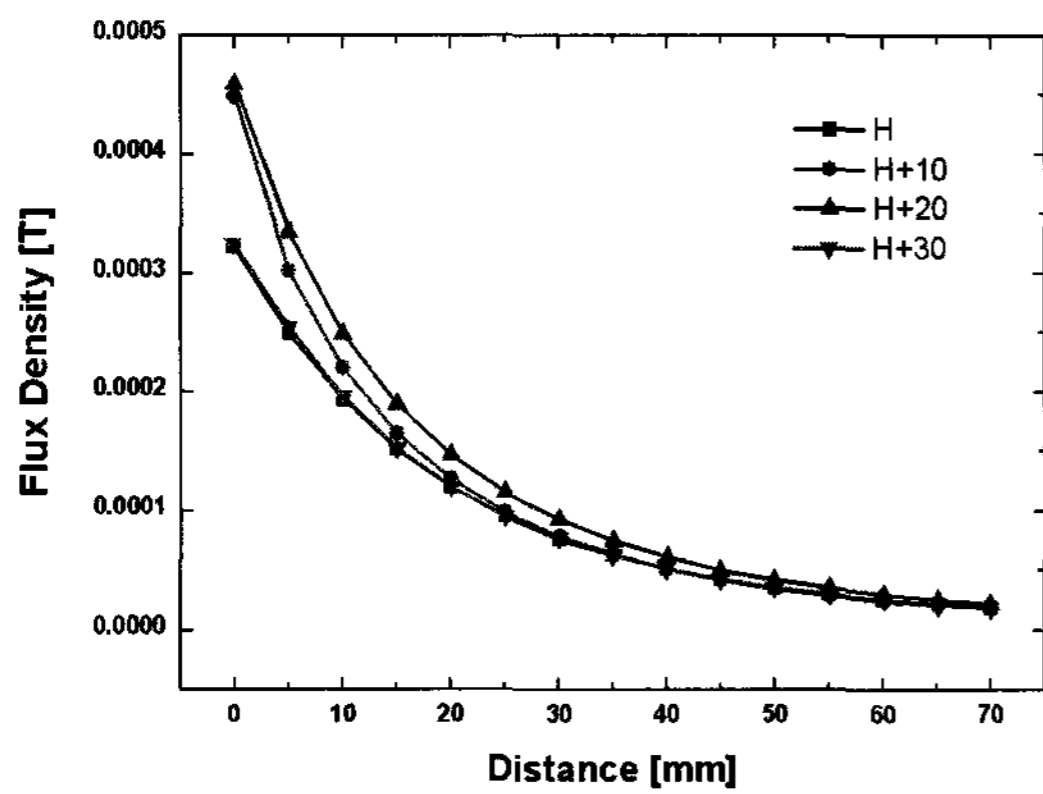


그림 5 페라이트 위치 변화에 따른 벌브 내의 자속밀도
Fig. 5 Flux Density in Bulb by Changing Ferrite Position

그림 5는 페라이트 위치 변화에 따른 벌브 내의 자속밀도 분포를 나타낸 그림이다. 벌브 내부의 중앙부분에 임의의 센터 라인을 정하고 그 라인을 기준으로 페라이트 높이 변화에 따른 자속밀도를 확인하였다. 페라이트의 높이가 달라지더라도 벌브는 고정이기 때문에 센터 라인은 변하지 않는다. 그림 5에서 X축의 거리는 벌브 내부 스템의 외경부터 벌브 끝단까지의 거리이다. H+20일 경우 가장 높은 자속 밀도 특성을 보였으며 그때 벌브에 전해지는 전계가 가장 높아 플라즈마 형성에 더 큰 에너지를 가해줄 수 있다.

3.2 실험 결과

표 2는 시료와 같이 페라이트의 위치를 변화시켰을 때의 측정값과 계산값을 나타낸다. 임피던스, 레지스턴스, 리액턴스, 인덕턴스의 값은 식 (1),(2),(3),(4) 을 통해 계산되었고, 나머지 값들은 오실로스코프를 통해 측정된 값이다.

표 2 페라이트의 위치변화에 따른 특성 값
Table 2 Value by Changing Ferrite Position

위 치	H	H+10	H+20	H+30
출력전압(V)	202	201	204	205
출력전류(I)	1.82	1.82	1.82	2.14
피상전력(P)	298	296	301	337
주파수(MHz)	2.651	2.648	2.651	2.651
유효전력(W)	201	201	202	201

무효전력(var)	310	305	311	391
위상각(θ)	56.98	56.61	56.99	62.80
임피던스 $ Z $	110.99	111.05	112.09	95.79
R(Resistance)	60.48	61.11	61.06	43.78
X_L (Reactance)	93.06	92.72	93.99	85.19
L[uH]	5.59	5.57	5.64	5.11

표 2를 바탕으로 페라이트 위치변화에 따른 임피던스, 레지스턴스, 리액턴스를 그림 6과 같이 나타낼 수 있다. H~H+20 까지 페라이트의 위치를 변화시켰을 때 임피던스 110.99~112.09[Ω], 레지스턴스 60.48~61.11[Ω], 리액턴스 92.72~93.99[Ω] 로 증가하였으며 H+30의 경우 급격히 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

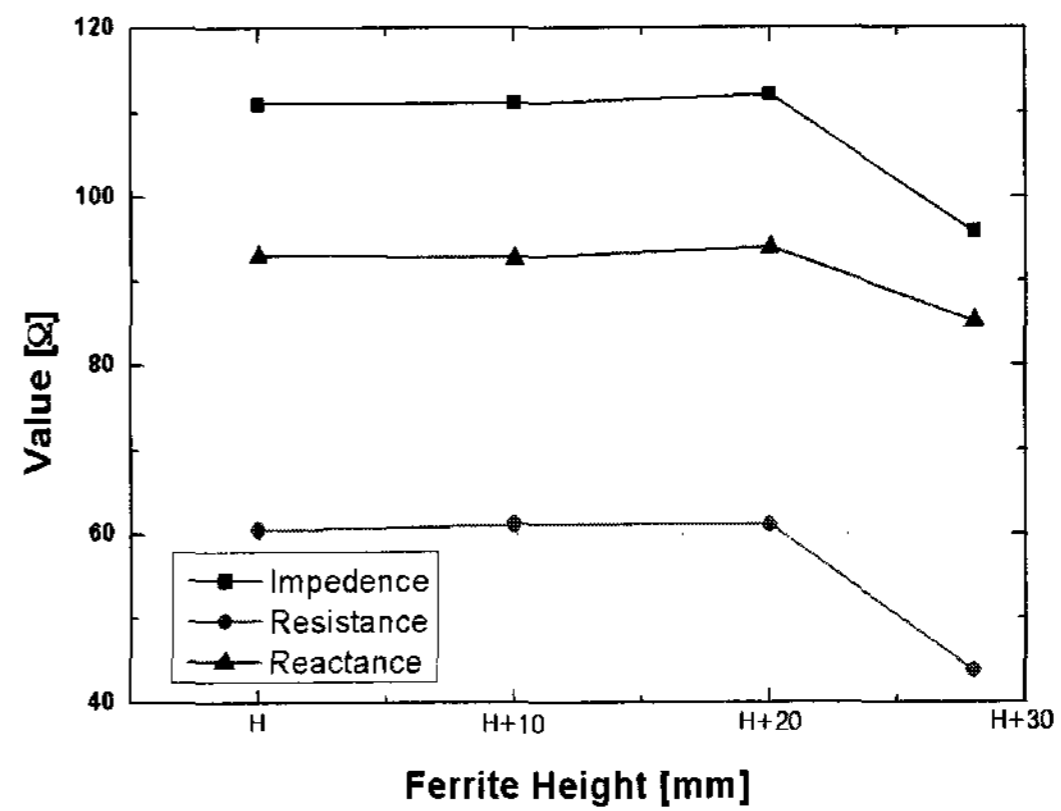


그림 6 페라이트 위치변화에 따른 임피던스, 레지스턴스, 리액턴스
Fig. 6 Impedance, Resistance, Reactance by Changing Ferrite Position

그림 7, 8은 안테나에서 페라이트의 위치를 변화 시켰을 때의 전광속과 광속 유지율을 측정된 것이다. 그림 7에서 보는 바와 같이 페라이트의 위치가 H에서 H+20으로 높아질 수록 전광속도 증가하여 높이 H+20 [mm]에서 11322.3 [lm]의 최대광속을 나타내었다. 하지만 H+30 [mm]에서의 전광속은 9883.8 [lm]을 나타내어 오히려 전광속이 떨어지는 결과가 나타났다. 이는 누설 자속의 변화로 인덕턴스의 영향을 미쳐 램프에 인가될 수 있는 자계 특성을 감소시켜 이온화 할 수 있는 에너지가 감소되기 때문이다 [6].

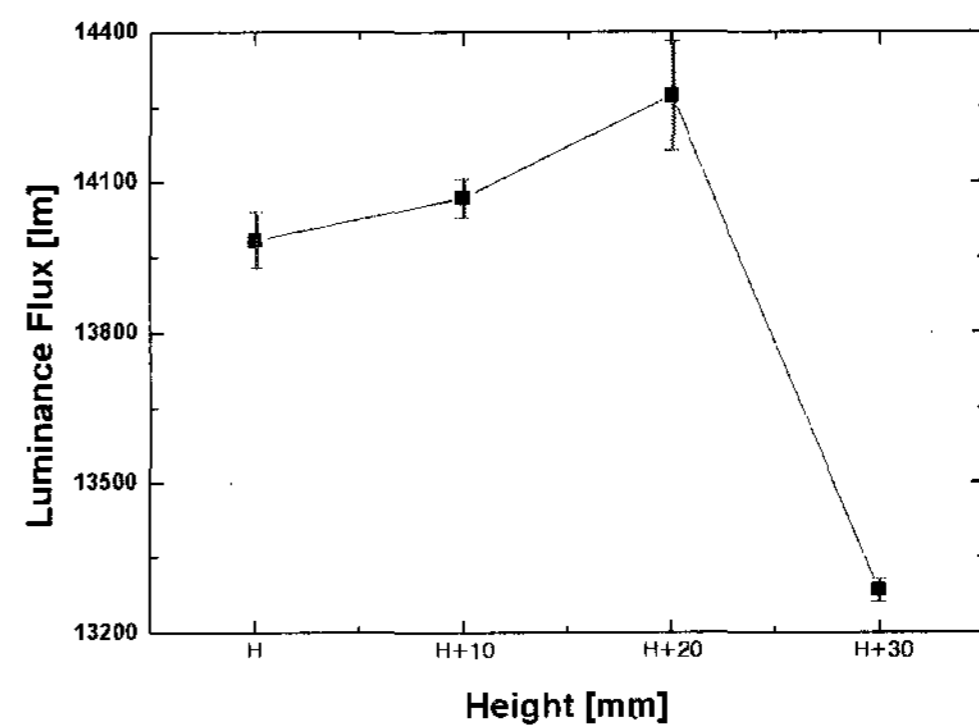


그림 7 페라이트 위치변화에 따른 전광속
Fig. 7 Luminance Flux by Changing Ferrite Position

광속 유지율은 램프를 점등시키고 나서부터 30초 단위로 2시간 동안 측정을 하였다. 20분 정도에서 최고 광속을 보이다가 40분 이후로 안정화 되는 모습을 보이고 있다. 광속 유지율도 전광속과 마찬가지로 H에서 H+20으로 페라이트의 위치가 높아질수록 광속 유지율도 좋은 것으로 나타났다. 하지만, 페라이트를 가장 높이 올린 H+30의 경우 외부 누설 자속이 증가하여 임피던스 특성이 감소하는 것을 알 수 있다.

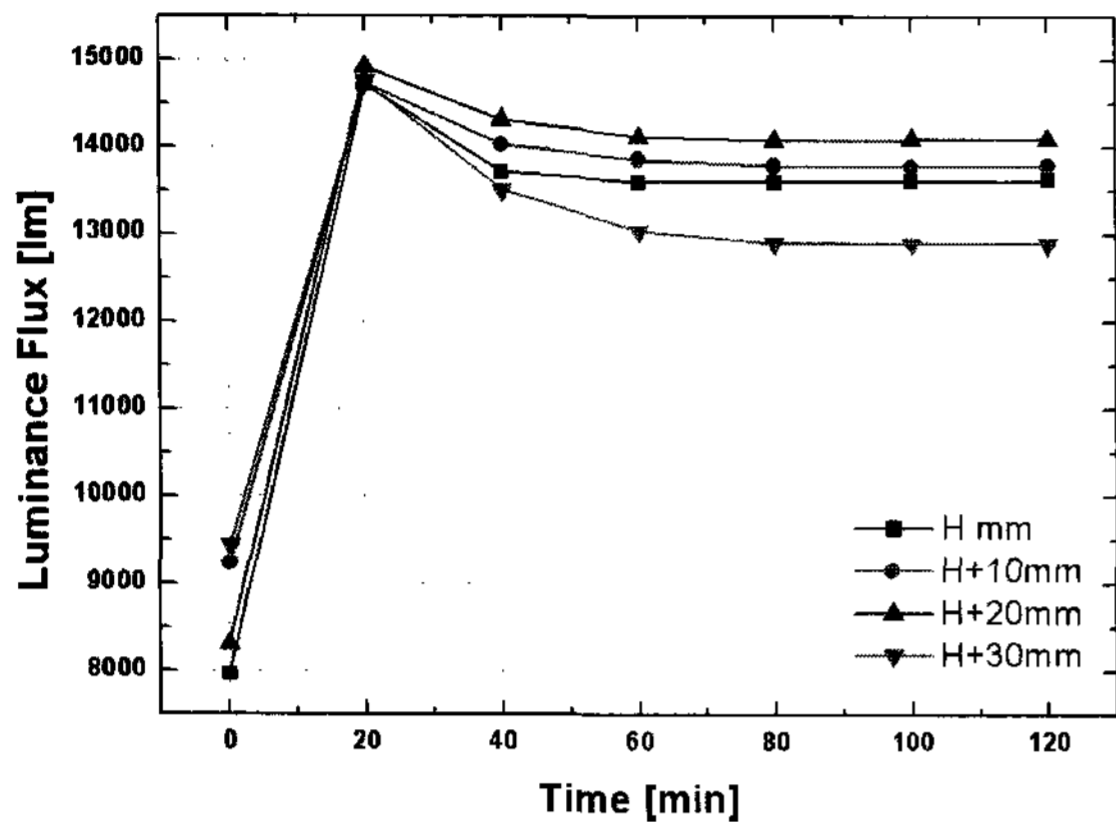


그림 8 페라이트 위치변화에 따른 광속 유지율
Fig. 8 Luminance Flux Run-time by Changing Ferrite Position

4. 결 론

본 논문은 무전극 램프에서 페라이트의 위치를 변화시켰을 때 생성되는 자속밀도와 그 영향에 따른 전기적, 광학적 특성을 확인하기 위해 시뮬레이션과 실험적 결과를 비교하였다.

1. 페라이트의 위치를 변화시켜가며 시뮬레이션을 하였을 때 코어내에 각 코일에서 생성되는 자속은 중앙 집중 형태의 코일 간격이 밀한 부분에서 최대의 자속 밀도 값을 나타내었으며, 투자율이 일정할 경우 전체적인 자속밀도는 권수의 균일성에 의해 달라지며 외부 코일의 경우 누설 자속 또한 증가하여 자속밀도가 점점 감소하는 특성을 확인하였다.

2. 위치변화에 따른 전광속을 살펴보았을 때 H+20에서 최대 광속인 11322.3[lm]을 나타내었으며 높이를 증가시키에 따라 광속이 감소되었다. 이는 누설 자속의 변화로 인덕턴스의 영향을 미쳐 램프에 인가될 수 있는 자계 특성을 감소시켜 이온화 할 수 있는 에너지가 감소되기 때문이며, 이로 인해 광속 및 광속 유지율 또한 감소하였다.

감사의 글

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원 사업(I-2004-0-074-0-00)과 Post BK21 "IT 광전자소자 및 부품연구인력 양성사업팀"의 지원에 의해 작성되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] B. Cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting", Engineering Science and Education Journal, Vol. 9, Iss. 5, Oct. pp. 207~217, 2000
- [2] V. A. Godyak, "Radio Frequency Light Sources", Industry Application Conference, 2000. Conference Record of the 2000 IEEE, Vol. 5, pp. 3281~3288, 2000
- [3] H. Chandra, "Mitigation of Electromagnetic Interference in Low Power Compact Electrodeless Lamps", Industry Application Conference, 1996. Thirty-First IAS Annual Meeting, IAS'96. Conference Record of the 1996 IEEE, Vol. 4, pp. 2194~2200, 1996.
- [4] Piejak R. B., Godyak V. A. and Alexandrovich B. M. "A simple analysis of an inductive RF discharge", 1992 Plasma Sources Sci. Technol. 1 pp. 179~186 1992
- [5] W. Li, Y. Liu, Y. Chen, D. Chen, "Evaluation of the Discharge Parameters in Dimming Process of an Electrodeless Fluorescent Lamp", Light Source Symposium 11th, 2007. pp. 343~344, 2007.
- [6] 기전연구소 "트로이달 코어 활용 백과" pp. 36~55

저 자 소 개



이 주 호 (李 主 煥)

1980년 6월 1일생. 2007년 2월 원광대학교 공대 전기전자및정보공학부 졸업. 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 석사과정.

Tel : 063-850-7023

Fax : 063-850-7022

E-mail : jooho8061@naver.com



양 종 경 (梁 種 璟)

1980년 1월 13일생. 2001년 8월 원광대학교 공대 전기전자 공학부 제어계측 졸업. 2006년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2008년 현재 원광대학교 대학원 전자재료공학과 박사과정

Tel : 063-850-7023

Fax : 063-850-7022

E-mail : duck2214@wonkwang.ac.kr



이 종 찬 (李 鐘 燦)

1972년 8월 13일생. 1977년 원광대학교 공대 전자공학과 졸업, 1999년 동대 대학원 전자재료공학과 졸업(석사). 2003년 동대 대학원 졸업(공학박사). 2003년~2004년 UTD Univ. Post-Doc. 2004년~2005년 Ehime Univ. Post-Doc. 2005년~현재 금호전기(주) 부설연구소 선임연구원.
Tel : 031-329-7740
Fax : 031-329-7705
E-mail : chaos@kumho.khe.co.kr



최 명 현 (崔 明 鉉)

1982년 4월 26일생. 2008년 2월 군산대학교 전기전자제어공학과 졸업(학사). 2008년 현재 군산대학교 대학원 전기전자제어 공학과 석사과정.
Tel : 018-613-2241
E-mail : cancmh@kunsan.ac.kr



김 병 택 (金 炳 澤)

1969년 2월 10일생. 1994년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001년~2002년 삼성전기 종합연구소 CAE팀 선임연구원. 2002 ~2005 LG전자(주) DA 연구소 요소 기술그룹 책임연구원. 2005~현재 국립 군산대학교 전자정보공학부 조교수.
Tel : 063-469-4744
E-mail : btkim@kunsan.ac.kr



박 대 희 (朴 大 熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학교 전기공학과 졸업(학사). 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 일본 오사카대학 대학원 졸업(공학박사). 1979년~1991년 LG전선연구소 선임연구원. 1999년~2000년 미국 미시시피 주립대학교 교환교수. 1992년~현재 원광대학교 전기전자및정보공학부 교수. 2004년~현재 원광대학교 전기응용신기술연구센터 소장
Tel : 063-850-6349
Fax : 063-857-6890
E-mail : parkdh@wonkwang.ac.kr