

무전극 형광램프용 페라이트에 따른 전기적 및 광학적 특성

Electrical and Optical Characteristics by Ferrite for Electrodeless Fluorescent Lamp

백광현^{1,a}, 양종경¹, 이종찬², 박대희¹

(Kwang-Hyeon Pack^{1,a}, Jong-Kyung Yang¹, Jong-Chan Lee², and Dae-Hee Park¹)

Abstract

An electric power efficiency of electrodeless fluorescent lamp depends on a big relative property of gas, gas pressure, lamp formation, ingredients of magnetic substance and shape and action frequency etc. in lamp. We used magnetic substance that opens self-examination material of electrodeless fluorescent lamp antenna. We used Mn-Zn type as the Ferrite. We have examined resistance, impedance and Q-factor's frequency characteristic by ferrite. Coil turns were changed from 13 to 15 turns to recognize brightness change of lamp by winding number. Optical equipment (LS-100) was used to measure brightness. We could know Q factor's difference according to material is important part of antenna design. When an electrodeless fluorescent lamp was made using T company's PE22, it showed the highest brightness. As number of winding is increased the brightness increased, and starting characteristic became good.

Key Words : Electrodeless fluorescent lamp, Ferrite, Brightness, Coil turn

1. 서 론

오늘날 산업의 급속한 발달과 함께 경제성과 더불어 삶의 질이 향상되면서 에너지 효율이 좋고, 양질의 빛을 내는 새로운 광원기술이 계속해서 발전하고 있으며, 세계적으로 환경문제에 대한 관심이 부각되면서 친환경에 적합한 신뢰성을 갖춘 고효율 램프들이 선보이고 있다[1-4].

무전극 램프의 방전현상은 1884년 Hittrof에 의해서 처음으로 발견되었고, 1891년 Nikola Tesla는 비교적 낮은 RF주파수에 의한 용량성 결합 방전 램프를 소개하였다. 1907년 P. C. Hewitt에 의해 무전극 플라즈마 방전의 일부인 ICP (Inductively

Coupled Plasma, ICP)를 발견하였고, Bethenod와 Claude에 의하여 페라이트 코어를 적용한 ICP가 소개되었다. 그 후, 1970년대 Anderson에 의해서 유도결합형 램프의 원리가 비로소 정착되었다[2,3]. 무전극 형광램프는 1978년도에 개발되었으며 상용화는 필립스사의 QL Lamp의 시작으로부터 GE사의 General lamp 및 오스람사의 Endura lamp 등 여러 선진국의 업체들에 의해서 점차 고출력 및 고효율화되어 가고 있다.

이러한 무전극 형광램프의 우수성이 알려지면서 많은 국가들이 무전극 형광램프에 효율 및 성능개선에 많은 연구를 하고 있다. 무전극 형광램프의 전력 효율은 램프 내의 가스 종류, 가스 압력, 램프 구조, 자성체 재료 및 형상 그리고 동작 주파수 등에 큰 의존성을 가진다. 특히, 제한된 주파수에서의 효율 향상을 위해서는 램프의 자성체 재료 선정 및 코어 설계도 중요하다. 자성체는 고주파 에너지를 공급하는 장치로서 공진 주파수를 전자기장을 이용하여 에너지를 공급한다. 이때의 전기적인 변환 결합은 대단히 중요하다. 또한 전자기장

1. 원광대학교 전자재료공학과
(전북 익산시 신용동 344-2)

2. 금호전기(주)

a. Corresponding Author : dawis99@wonkwang.ac.kr

접수일자 : 2005. 5. 11

1차 심사 : 2005. 7. 21

2차 심사 : 2005. 11. 23

심사완료 : 2005. 12. 19

을 이용하여 램프에 최대 전력을 전달하기 위한 코어와 인버터와의 매칭은 램프의 효율을 결정하는데 중요한 변수이다. 램프 효율 향상을 위한 많은 특허와 기술보고가 있으나, 아직은 해결해야 하는 문제점들이 많다. 첫째가 경제적인 측면이고, 둘째는 제한된 동작주파수이며, 셋째가 전자파 간섭의 문제이다. 그 중 중요한 변수로 동작주파의 문제점인 페라이트 코어의 전자기적 현상을 언급할 수 있다.

따라서, 본 논문은 이러한 무전극 형광램프의 성능 및 효율 향상을 위하여, 무전극 형광램프용 페라이트의 종류에 따른 전기적 및 광학적 특성을 살펴보고, 코일의 권선수에 따른 광학적 특성을 확인하였다. 이 결과를 이용하여 최적의 무전극형광램프의 구조 설계를 위한 조건을 구하였다.

2. 시료 및 실험방법

본 실험을 위하여 다음과 같이 준비 하였다. 먼저 사용된 벌브는 구형 벌브로 벌브 내부에는 Ar 가스와 소량의 Hg가스를 1.0 Torr를 주입 하였고 벌브 내부에 백색 형광체를 도포 하였다. 백색 형광체는 적색(Y,Gd,Eu)BO₃와 녹색 LaPO₄:Ce,Tb, 청색으로는 (Ba,Eu)MgAl₁₀O₁₇을 혼합한 것을 사용하여 삼파장의 백색을 표출하는 것을 사용하였다.

2.1 시편

무전극 형광램프 안테나의 자성재료는 연자성체가 주로 이용되고 있다. 대표적 연자성체에는 Mn-Zn와 Ni-Zn형이 있으며 일반적 MHz 대역에서는 Mn-Zn형의 페라이트를 주로 이용하며, MHz 이상의 주파수에서는 Ni-Zn형의 페라이트를 이용한다. 따라서 본 실험에서 사용된 페라이트도 Mn-Zn형의 페라이트를 사용하였다[5,6]. Ni-Zn형의 경우 낮은 주파수 영역에서 상대적으로 많은 전력 손실을 가지기 때문에 전력 손실은 곧 열과 밀접한 관계를 가지며, 램프내의 방사열의 관리에 따라 램프의 효율이 달라지는 무전극 램프의 효율을 위해 동작 주파수에서 보다 작은 코어손실 특성을 갖는 페라이트의 사용이 필요로 한다. RF영역에서 높은 저항 값 R과 리액턴스 R값으로 인해 품질계수가 차이가 있으므로 Mn-Zn재질의 페라이트를 시료로 하였다.

실험 재료는 T사의 페라이트 (PE22) 1종류와 F사의 페라이트 2종류 (3F4, 3F45)를 사용하였고, 국내산 제품으로는 S사의 페라이트 (SM8T)를 사

표 1. 페라이트 코어의 기본조건.

Table 1. Basic condition of ferrite core.

Model	Size	Length [mm]	Density [kg/m ³]	μ _i 150[°C]	P _v [kW/m ³]
PE22	O.D[Φ] 18 I.D[Φ] 11	60	≈4,750	≈1,350	≤350
3F4	O.D[Φ] 17 I.D[Φ] 11	59	≈4,700	≈1,250	≤320
3F45	O.D[Φ] 17 I.D[Φ] 11	55	≈4,800	≈1,400	≤700
SM8T	O.D[Φ] 18 I.D[Φ] 11	59	≈4,700	≈1,350	≤659

용하였다. 국내 재료와 외국재료와의 비교를 통해 국내 재료를 보완하기 위함이다. 표 1은 재료별 기본 물성 및 자성을 나타내고 있다. 각 재료마다 투자율, 밀도 등의 물성이 조금씩 다르다는 것을 알 수 있다.

페라이트 코어에 교류자장을 인가하면서 주파수를 높여 가면 여러 가지 원인에 의해 유도자장인 자속밀도 B는 인가된 교류자장에 의해 자계의 세기 H를 따라가지 못하고 이에 따른 손실각 δ만큼의 위상이 지연된다. 이러한 위상 지연은 페라이트 코어내의 에너지 손실로 표현될 수 있으며, 투자율은 식 (1)과 같은 함수로서 나타낼 수 있다.

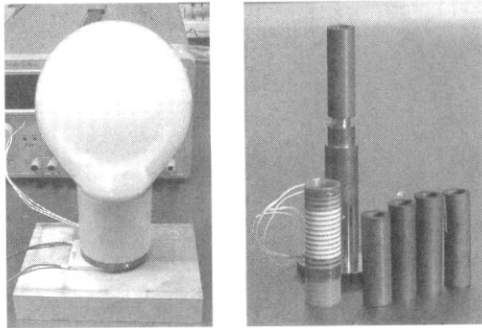
$$\mu = \frac{B}{H} = \mu' - j\mu'' \quad (1)$$

B:자속 밀도, H:자계의 세기

저주파 대역에서는 위상지연이 거의 일어나지 않아 투자율 $\mu = \mu'$ 가 되지만 고주파에서는 손실각 δ가 커지면서 에너지 손실을 의미하는 μ'' 가 증가한다[7,8].

2.2 전기적 특성

본 실험은 페라이트의 임피던스 및 Q-factor 등의 주파수 의존성을 측정하는 것이다. 1차측의 임피던스와 Q-factor를 측정하기 위하여 Impedance/Gain-Phase analyzer인 HP4194A를 이용하여 각각의 파라미터를 측정하였다. 그림 1(a)는 실험한 무전극 램프를 나타내며, 그림 1(b)는 안테나와 페라이트를 나타낸다. 그림 1(b)의 시료들을 구리방 안



(a) 무전극 램프 (b) 페이라트 코어

그림 1. 실험용 무전극 램프와 시료(페이라트).

Fig. 1. The electrodeless lamp and antenna.

에서 측정하여 외부로부터의 간섭을 최소화하였다. 측정은 상온 (25 ℃)에서 측정하였다. Sleeve의 권선수를 변화시키에 따라 파라미터가 변경하게 되는데 그에 따라 휘도가 얼마나 변화되는지 임피던스의 변화를 알아보았다. 먼저 기존제품의 안테나와의 특성 분석을 위해 650 kHz~16 MHz까지 주파수를 변화시키며 각각의 안테나에 대한 자기공진주파수 대역을 확인하고, 주파수를 동작주파수 대역으로 범위를 좁힌 후 각각의 안테나에 대한 임피던스 Z, 인덕턴스 L, 저항 R, 리액턴스 X, 커패시턴스 C, 그리고 Q factor를 살펴보았다.

본 실험에 사용된 주파수 영역은 KHz ~ MHz 영역이다. 이는 페라이트와 인덕턴스 간의 공진주파수가 가장 매칭이 이루어지기 때문이다. 용량성 결합방전의 경우 약 10^4 Hz ~ 10^5 Hz를 많이 사용하고 본 실험과 같이 유도결합방전의 경우 10^6 Hz ~ 10^7 Hz를 많이 사용한다. 또 마이크로 방전의 경우 10^8 Hz ~ 10^{10} Hz영역대를 사용하며 표면파 방전의 경우 10^{10} Hz ~ 10^{11} Hz 영역을 사용한다.

2.3 광학적 특성

광학적 실험으로는 권선수에 따른 램프의 휘도 변화를 알아보는 실험을 하였다. 실험에 사용한 광학장비는 휘도계 (LS-100)를 사용하여 1 m지점에서 휘도를 측정하였다. 페라이트를 교체해가면서 램프를 점등시키고 점등시킨 램프는 권선수를 변화해 가며 휘도를 측정하였다. 권선수는 13회부터 15회로 하였고 무전극 형광램프와 마찬가지로 보조코일을 사용하였다. 권선수 12회 이하에서는 원활한 점등이 이루어지지 않아 측정할 수 없었다.

점등된 무전극 형광램프는 점등 후 30초에 최초 휘도를 측정하였고, 다음부터는 1분마다 휘도를 측정하였다. 측정은 점등 시부터 30분까지 측정하였다. 측정위치는 벌브를 상중하로 나누어 측정하였다. 벌브의 중앙부분은 내부 페라이트의 중앙부분과 일치하는 지점으로 설계하였고, 상측부분은 내부 페라이트의 맨 윗부분에 해당하는 곳을 측정하였다. 또한 하측 부분은 페라이트의 가장 아랫부분에 해당되는 곳을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전기적 특성

유도결합의 원리에 의해서 에너지 전달이 이루어지는 무전극 형광램프에서 1차측 유도코일의 무부하 특성이 매우 중요하다. 램프가 발광이 된 후에는 램프내부의 부하 특성이 다시 1차측 유도코일에 영향을 주어 코일의 임피던스 및 인덕턴스 성분을 변화시키고 전원장치에서 공급되는 전력의 변화를 야기한다. 결국 최대전력전송을 위한 임피던스 매칭이 변화하게 되어 램프의 점등이 어렵게 된다. 따라서 주어진 램프의 형상과 봉입가스의 종류 및 압력에 대한 2차측의 부성저항특성인 플라즈마 임피던스와 플라즈마 인덕턴스특성의 분석은 매우 중요하다. 또한 램프의 점등이 이루어지면서 램프 내부의 온도가 상승하게 되고 내부 코어재의 온도 특성이 변하면서 자성특성 역시 변화하게 되고, 결국 1차측 유도코일 특성이 변하게 되므로 이러한 특성을 직접 측정을 통하여 분석하기는 매우 어려운 실정이다.

그러나 본 논문에서 언급한 무전극 형광램프의 플라즈마 특성은 유도결합회로를 이용하여 등가회로로 나타낼 수가 있었고, 계산을 통해 대략적인 수치를 알 수가 있었다.

그림 2는 주파수와 임피던스와의 관계를 나타낸 결과이다. 그림 2에서와 같이 임피던스는 6 MHz에서 7.5 MHz 사이에서 높은 값을 갖는다. F사의 3F45가 이 주파수 영역에서 13,126 Ω 정도로 가장 큰 값을 보였고 T사의 PE22도 같은 주파수 영역에서 5,393 Ω로 가장 작은 값을 보였다. 그러나 사용주파수인 2.65 MHz에서 PE22는 249 Ω의 값을 보였고, 3F45는 이 주파수 영역에서 274 Ω로 측정 되었으며, 3F4는 같은 주파수 영역에서 276 Ω로 측정되었다. SM8T는 2.65 MHz의 같은 주파수에서 312 Ω의 임피던스 특성을 보였다. 각각의 시료를 분석해 볼 때, F사의 3F45가 임피던스 값

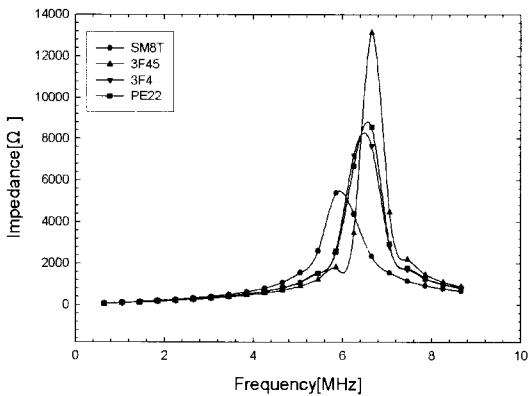


그림 2. 주파수와 임피던스와의 관계.
Fig. 2. Relation with frequency and impedance.

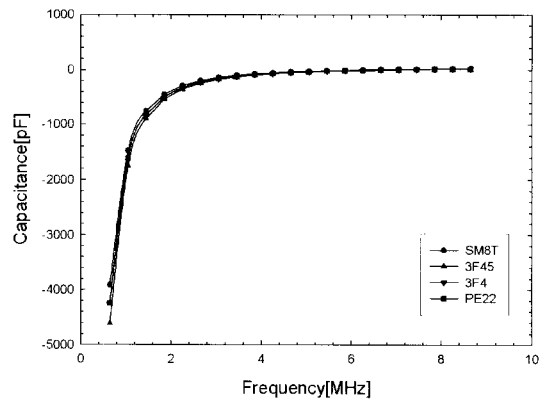


그림 4. 주파수와 커패시턴스와의 관계.
Fig. 4. Relation with frequency and capacitance.

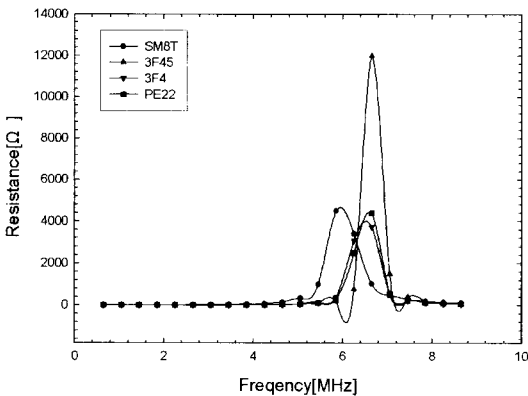


그림 3. 주파수와 저항의 관계.
Fig. 3 Relation with frequency and resistance.

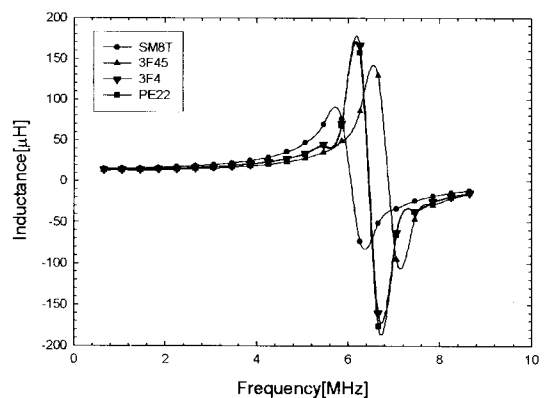


그림 5. 주파수와 인덕턴스와의 관계.
Fig. 5. Relation with frequency and inductance.

이 가장 낮게 측정 되었고 SM8T가 4개의 시료 가운데 임피던스 값이 가장 크게 측정되었다. 임피던스 값이 높게 나타나는 것은 입력신호에 대한 저항치가 커지는 것을 의미한다. 즉 높은 저항으로 인하여 에너지의 전달이 별브내의 열로 발생되어 효율이 떨어진다. 따라서 2.65 MHz에서는 F사의 3F45가 낮은 임피던스 특성으로 가장 우수함을 보였다.

그림 3은 주파수와 저항의 관계를 나타내는 결과이다. 그림 3에서 보는 바와 같이 0 MHz~4 MHz에서는 0.7 ~ 17.3 Ω으로 나타났고, 4 MHz 이상부터는 급격한 증가를 나타내는 주파수 특성을 보였다. 이와 같이 주파수가 증가함에 따라서 저항도 증가하는 이유는 표피효과 때문으로 사료된다. 그림 3에서 F사의 3F45가 주파수 약 7 MHz

에서 12,000 Ω으로 가장 높은 수치를 보였으며, F사의 3F4가 동일 주파수에서 가장 낮은 값 3,900 Ω을 보였다. 램프의 동작 주파수 2.65 MHz에서는 3F4와 3F45는 3.0 Ω, PE22는 3.2 Ω, SM8T는 7.8 Ω으로 F사의 제품이 가장 낮은 값을 보였고, S사의 SM8T가 가장 큰 값을 나타내었다. 그림 3에서도 그림 2와 마찬가지로 저항 값은 0 MHz~6.5 MHz까지에서 F사의 3F45가 주파수에 따라 가장 낮은 값을 나타내었고, SM8T가 가장 높은 값을 나타내었다. 그림 2와 3로 보아 F사의 3F45의 주파수 특성이 가장 우수한 것으로 나타났다. 따라서 가장 낮은 저항 값을 보이는 F사의 3F45로 안테나를 제작 하는 것이 우수한 성능의 제품을 만들 수 있다고 사료 된다.

그림 4는 주파수에 따른 커패시턴스의 값을 나타낸 결과이다. 4개의 시료 모두 1.8 MHz ~ 2.5 MHz에서 급격히 상승 하는 경향을 보였고 4 MHz 이상부터는 완만한 증가 값을 보였다. 램프의 동작 주파수인 2.65 MHz에서 SM8T는 192.88 pF로 측정 되었고 3F45는 240.64 pF로 측정 되었다. 3F4는 -217.34 pF으로 PE22는 -218.57 pF으로 측정 되었다. 4개의 시료중 3F45가 가장 낮은 값을 나타내는 것으로 나타났다. 페라이트의 종류에 따른 커패시턴스의 특성은 안테나 설계의 큰 영향을 미치지 않는 불하나 작은 용량성의 성분일수록 자계가 더 많이 발생하는 것으로 작은 가장 낮은 값을 보이는 3F45가 가장 좋은 특성을 띄고 있다.

그림 5는 인덕턴스의 주파수 특성을 나타내는 그림으로 1 MHz ~ 5 MHz까지는 완만히 증가하는 것을 볼 수 있으나, 5 MHz ~ 8 MHz에서 급격한 변화를 보였다. SM8T는 6 MHz까지 증가하다가 6 MHz 이상되는 주파수에서는 급격한 감소를 보이고 6.25 MHz 이상에서 다시 증가하는 주파수 특성을 보였다. 3F4와 PE22는 거의 같은 주파수 특성으로 약 6.25 MHz까지 증가하는 특성을 보이고 6.25 MHz 이상 되는 주파수에서 급격히 감소하는 특성을 보였고, 약 6.65 MHz 이상에서 다시 증가하는 것을 알 수 있었다. 3F45는 6.65 MHz까지 인덕턴스가 증가하고 7.05 MHz에서부터 감소하다 7.05 MHz 이상에서 인덕턴스가 다시 증가하였다. 4개의 시료 모두 램프의 동작 주파수 2.65 MHz에서는 15 ~ 21 μ H로 매우 안정적인 주파수 특성을 보인다. 그림 5에서 3F45가 저주파수에서 가장 낮은 특성을 보인다. 이는 자계의 강도가 낮은 것을 의미한다. 반면 SM8T는 가장 큰 값을 가지고 있다.

Q-factor 는 $Q = \frac{\omega L}{R}$ 로 표현되며 주파수와 인덕턴스에 비례하여 증가하지만 주파수가 증가하게 되면 저항성분도 급격히 증가하므로 Q-factor가 감소되는 이유는 다음과 같은 복합적인 요인에 의해서 발생한다. 코일 자체의 성분에 의한 동손, 히스테리시스 곡선에 의한 철손, 그리고 과전류손이다. 주파수가 올라가면 전선에 대한 표피 효과나 페라이트 코어에 대한 히스테리시스손과 과전류손이 증가를 하며 또한 코일의 감은 방법에 의해 달라지는 부유용량도 영향을 미친다.

그림 6은 Q factor의 주파수 특성을 나타낸 그래프이다. 0 MHz ~ 2 MHz까지는 Q-factor가 증가하는 경향을 보이지만 2 MHz부터는 감소하여

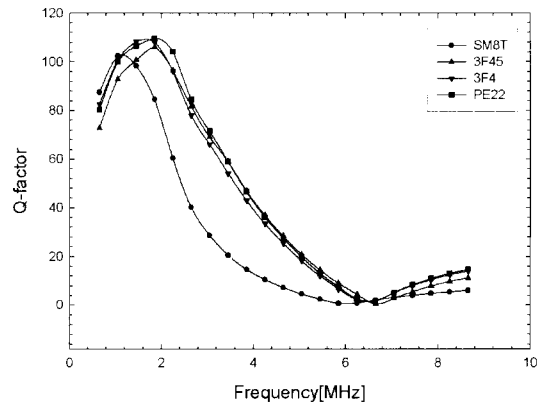


그림 6. 주파수와 Q factor와의 관계.
Fig. 6. Relation with frequency and Q-factor.

6.5 MHz 부근에서는 0으로 감소하다, 다시 증가하는 경향을 보인다. 램프의 동작 주파수인 2.65 MHz에서는 모두 감소하는 것을 알 수 있으나 SM8T가 가장 많은 감소량을 보였다. SM8T는 1.75 MHz에서 감소가 시작되어는 반면 다른 시료들 3F45와 3F4, PE22는 2 MHz에서부터 감소하는 주파수 특성을 나타내었다. 램프의 동작 주파수 2.65 MHz에서 3F45와 3F4는 95로 같은 값을 나타냈고, PE22는 F사의 시료보다 조금 높은 105로 나타났다.

3.2 광학적 특성

그림 7은 권선수 13회일 때의 시간에 따른 휘도 변화를 나타내고 있다. 초기 점등 후 SM8T와 PE22가 처음 30초까지의 휘도가 급격히 증가한 반면 3F45와 3F4는 다소 작게 측정되었다. 그러나 안정화 시간은 SM8T와 3F45가 14분 정도로 가장 빨랐고, PE22와 3F4가 15분으로 다소 차이가 있었다. 15분 이후로는 안정화 되어 거의 같은 값의 휘도가 측정 되었다.

그림 7에서 권선수가 13회일 때 각 페라이트에 따른 휘도 특성은 4,200 ~ 4,500 cd/m^2 정도로 나타났다. 안정화시 최고점의 휘도를 살펴보면 SM8T는 15분경과 4,426 cd/m^2 로 측정 되었고, 3F4는 15분경과 4,403 cd/m^2 로 측정 되었다. 3F45는 17분경과 후 가장 높은 4,546 cd/m^2 의 휘도를 나타내었다. PE22는 21분 경과시 4,321 cd/m^2 로 4개의 시료 중 가장 낮은 휘도 특성을 보였다. 15분이후의 휘도 값은 SM8T는 약 4,382 cd/m^2 정도 이고, 3F45는 4,493 cd/m^2 , 3F4는 4,401 cd/m^2 ,

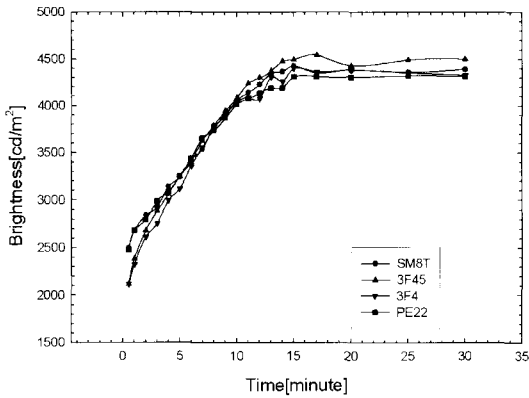


그림 7. 권선수 13회의 시간에 따른 휘도 변화.
Fig. 7. Brightness change by time of 13 turn.

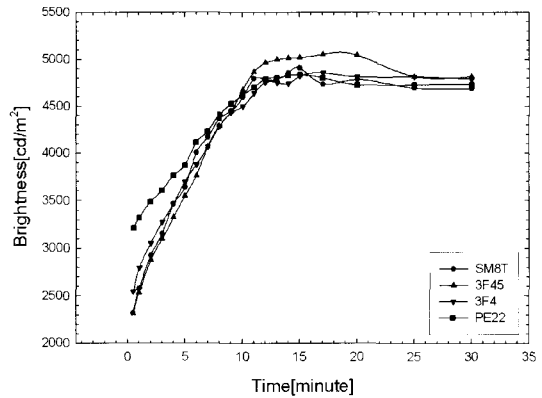


그림 8. 권선수 14회의 시간에 따른 휘도 변화.
Fig. 8. Brightness change by time of 14 turn.

PE22는 4,312 cd/m²로 나타났다. 따라서 안정화 후 가장 높은 휘도 값을 갖는 시료는 3F45로 나타났다.

그림 8은 권선수 14회일 때의 시간에 따른 휘도 변화를 나타내고 있다. 시동특성은 13회 때보다 4분 단축된 10분으로 모든 시료가 거의 같은 시간으로 나타났다. 권선수가 많아질수록 시동특성이 빨라진다는 것을 알 수 있었다.

그림 8은 권선수 14회일 때의 시간에 따른 휘도 변화를 나타내고 있다. 시동특성은 13회 때보다 4분 단축된 10분으로 모든 시료가 거의 같은 시간으로 나타났다. 권선수가 많아질수록 시동특성이 빨라진다는 것을 알 수 있었다.

휘도 특성을 살펴보면 모든 시료가 권선수가 13회일 때 보다 높은 휘도 값을 보였다. 이는 권선수가 많이 짐으로 전자계의 크기가 증가하면서 빠른 시동특성과 높은 휘도를 보이는 것으로 사료 된다. 각각의 시료를 살펴보면 SM8T는 10분경과 후 4,782 cd/m² 정도로 나타났고, 3F45는 4,956 cd/m²로 측정되었다. 3F4은 4,777 cd/m²이고 PE22는 4,774 cd/m²로 측정 되었다. 이 결과 가장 높은 휘도 분포를 나타내는 시료는 3F45이고 가장 낮은 휘도를 나타내는 시료는 PE22이다.

그림 9는 권선수가 15회일 때 휘도특성으로, 시동특성은 9분정도로 권선수가 13, 14회 보다 빠르게 나타났고 휘도 또한 높게 측정 되었다. 각 시료의 휘도분포를 살펴보면 SM8T는 5,019 cd/m²로 가장 작은 휘도 분포를 나타내었고 3F45는 5,096 cd/m²으로 가장 높은 휘도 분포를 나타내었다. 3F4는 5,085 cd/m²이고 PE22는 5,074 cd/m²로 나타내었다. 가장 높은 휘도를 보였다. 점등 후 9분이 경과 되었을 때 안정된 상태에서 측정된 결과 값이다.

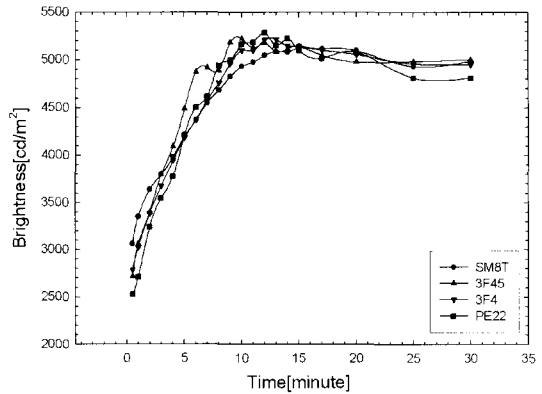


그림 9. 권선수 15회의 시간에 따른 휘도 변화.
Fig. 9. Brightness change by time of 15 turn.

점등 후 약 10분에서 17분 사이에 최고점의 휘도를 나타내고 있는데 이는 높은 전자계로 인한 오버슈트로 보인다.

4. 결론

본 논문은 무전극 형광램프의 안테나의 자속밀도를 변화시킴에 따라 임피던스 및 Q-factor의 주파수 의존성을 측정하였고, 권선수에 따른 휘도 특성을 측정하였다. 각각의 시료의 주파수 특성 및 휘도를 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 시료에 따라 안테나의 주파수 특성은 Q-factor의 향상으로 시료 선택이 중요하다는 것을 알

수 있었다.

- 2) 안테나의 설계에 있어서 시료의 주파수 특성으로 인해 램프의 임피던스 매칭과의 관계를 알 수 있었다.
- 3) 동작 주파수인 2.65 MHz에서의 Q-factor는 매우 중요함으로 SM8T의 주파수 특성보다는 3F45와 PE22의 시료가 우수한 것으로 나타났다.
- 4) 종합적으로 주파수 특성을 살펴보았을 때 3F45가 안테나 제작에 가장 우수한 주파수 특성을 보이는 것을 사료된다.
- 5) 3F45로 무전극 형광등을 제조하였을 때 가장 높은 휘도분포를 나타내었다
- 6) 권선수가 15회일 때 안정화 특성이 빨라지는 것으로 보아 권선수는 시동특성에 큰 영향을 준다.
- 7) 권선수가 13회에서 PE22가 안정화특성이 가장 우수하였고, 권선수가 15회일 때 3F45가 안정화특성이 가장 우수하였다.

무전극 형광램프의 구조적 특성 중 가장 중요한 변수인 페라이트 코어를 살펴보았다.

참고 문헌

- [1] 김광수, "무전극 형광램프용 RF plasma source를 위한 안테나 설계와 구동 특성", 원광대학교학위논문, p. 1, 2003.
- [2] B. Cook, "New developments and future trends in high-efficiency lighting", Engineering Science and Education Journal, Vol. 9, p. 207, 2000.
- [3] D. O. Wharmby, "Electrodeless lamps for lighting: a review", Science Measurement and Technology, IEE Proceedings A, Vol. 140, p. 465, 1993.
- [4] V. A. Godyak, "Radio frequency light sources", Industry Application Conference, Conference Record of the 2002 IEEE, Vol. 5, p. 3281, 2000.
- [5] H. Kido, H. Makinmura, and S. Masumoto, "A study on electronic ballast for electro ballast for electrodeless fluorescent lamp with dimming capabilities", 36th IAS Annual Meeting. Conference Record of the 2001 IEEE, Vol. 2, p. 889, 2001.
- [6] 최용성, 조주웅, 이영환, 김광수, 박대희, "환형 무전극 형광램프의 전자계 시뮬레이션, 전기적 및 광학적 특성", 전기전자재료학회논문지, 17권, 5호, p. 552, 2004.
- [7] H. Y. Lee, H. S. Kim, J. S. Huh, and Y. W. Oh, "The electromagnetic and thermal properties of the Mn-Zn ferrite for the power line communication", KIEE International Transactions on EA, Vol. 2-C, p. 220, 2002.