

유리관의 유전 특성이 외부전극 형광램프에 미치는 영향

신명주 · 정종문 · 김정현 · 김가을 · 이미란 · 유동근 · 구제한 · 홍병희 · 최은하 · 조광섭*

광운대학교 전자물리학과, 서울 139-701

(2007년 7월 30일 받음)

유전 장벽 방전이 특징인 외부전극 형광램프(External Electrode Fluorescent Lamp, EEFL)에서 유리재의 유전 특성인 유전 상수 K 와 유전손실 $\tan \delta$ 가 램프에 미치는 영향을 조사하기 위하여 4 종류의 유리관을 사용하였다. 종래 일반적으로 사용되는 Borosilicate 유리재는 유전상수 $K=5.6\sim 5.9$ 이고 유전 손실 $\tan \delta=5.0\times 10^{-3}\sim 6.0\times 10^{-3}$ 이다. Aluminosilicate는 $K=6.6$ 이고 유전손실이 작은 $\tan \delta=1\times 10^{-4}$ 이다. Soda-lime 유리관은 유전상수가 큰 $K=7.7$ 이고, 유전 손실이 매우 큰 $\tan \delta=1.37\times 10^{-2}$ 이다. 유전 상수 K 가 크면 외부전극 자체의 캐패시터를 크게 하여 방전 효율이 증가한다. 그러나 유전 손실이 크면 외부전극 자체의 전력 소모로 인하여 효율 저하와 핀홀 발생의 원인이 된다. 높은 유전상수 및 낮은 유전손실의 Aluminosilicate 외부전극 형광램프는 종래의 Borosilicate 외부전극 형광램프에 비하여 휘도와 효율이 12~20 % 증가하고, 핀홀에 매우 강하다. 유전 상수와 유전손실이 큰 Soda-lime 외부전극 형광램프는 효율이 다소 낮고, 핀홀에도 매우 취약하다. 따라서 외부전극 형광램프는 유전상수 K 가 크고 유전손실 $\tan \delta$ 가 작은 유리관이 최적이다.

주제어 : 방전 램프, 외부전극 형광램프, 백라이트, 유리관, 유전상수, 유전손실

I. 서 론

외부전극 형광램프(External Electrode Fluorescent Lamps : EEFLs)와 이를 광원으로 하는 백라이트에 대한 연구가 2000 년부터 소개되었다[1-6]. 최근에는 EEFL이 대면적 LCD-TV의 광원으로 채용되기에 이르렀다. 외부전극 형광램프는 외부전극의 전기용량성 결합에 의한 교류 전원에 의하여 구동된다. 즉, 외부전극 형광램프는 외부전극과 유리관 내부의 플라즈마 사이에 유리관 벽을 유전층으로 하는 유전층 장벽 방전을 특징으로 한다. 외부전극 형광램프는 전극과 플라즈마가 직접 접촉하지 않으므로 램프의 수명이 유리하다는 관점에서 개발되었다. 또한, 전극을 외부에 설치하므로 램프의 제작이 간편하며, 양산성이 높기 때문에 가격 측면에서도 유리하다.

외부전극 형광램프는 냉음극 형광램프(Cold Cathode Fluorescent Lamps: CCFLs)의 유리재인 붕규산염 유리(Borosilicate glass)를 사용하고 있다. 붕규산염 유리는 상당한 양의 이산화규소(SiO_2)와 붕소산화물(B_2O_3), 적은 양의 알칼리(Alkalis)와 알루미늄(Al_2O_3) 등으로 구성되어 있다. 이러한 붕규산염 유리는 냉음극 형광램프용으로 개발되어 현재까지 널리 사용되고 있다. 이는 냉음극의 전극 리드선의 열팽창 계수와 붕규산염 유리의 열팽창 계수가 같도록 개발 되었다. 그러나 외부전극 형광램프는 방전관

내부에 전극이 없으므로 유리의 열팽창계수는 고려 대상이 아니다. 외부전극 형광램프는 외부전극과 유리관이 캐패시터 역할을 하므로 유리재의 전기적인 캐패시턴스가 중요한 변수가 된다. 캐패시턴스의 크기는 전극의 길이, 전극의 형성방법, 유리관의 두께, 유리재의 성질 등에 영향을 받는다. 외부전극의 전극 길이, 전극 형성 방법 등에 따른 램프의 특성 연구는 이미 보고 된 바 있다[7, 8]. 본 연구에서는 외부전극 형광램프의 외부전극의 캐패시턴스에 영향을 미치는 유리재의 유전상수 K 뿐만이 아니라 유전손실 $\tan \delta$ 가 EEFL의 특성에 미치는 이론적인 분석과 실험적인 결과를 통하여 이해하고자 한다.

II. EEFL용 유리재의 유전율

2.1. 캐패시턴스의 실수부 및 허수부

유전율(permittivity)은 일반적으로 복소수인 $\epsilon = \epsilon_r + j\epsilon_i$ 로 표기되며, 이에 해당하는 캐패시턴스도 $C = C_r + jC_i$ 로 표기된다. 캐패시턴스의 실수부 ($C = C_r$)만을 고려하면, 캐패시터에 인가되는 교류 전원 $V(t) = V_0 \exp(j\omega t)$ 에 대하여 전류는 $I(t) = dQ/dt = C_r \{dV(t)/dt\}$ 로부터

* [전자우편] gscho@kw.ac.kr

$$I(t) = j\omega C_r V_0 e^{j\omega t} \quad (1)$$

이고 여기서 V_0 는 최대전압이고 ω 는 구동 각 진동수이고 Q 는 전하이고, t 는 시간을 나타낸다. 이때의 소모전력은 $P = \text{Re} \langle I_0^* V_0 \rangle / 2$ 로부터 [9] $P=0$ 으로 계산된다. 즉, 캐패시터의 실수부만을 고려하면, 전류와 전압의 위상차는 $\pi/2$ 이고, 교류전원에 의하여 캐패시터가 실질적으로 소모하는 전력은 없다. 여기서 I_0^* 는 I_0 의 Hermitian Conjugate이다. 그러나 캐패시턴스는 실질적으로 작은 값이지만 허수부가 존재하므로 $C = C_r + jC_i$ 이면, 교류 전원 $V(t) = V_0 \exp(j\omega t)$ 에 대하여 회로에 흐르는 전류는 $I(t) = dQ/dt = C^* \{dV(t)/dt\}$ 로부터

$$I(t) = j\omega(C_r - jC_i)V_0 e^{j\omega t} \quad (2)$$

이다. 여기서 C^* 는 C 의 Hermitian Conjugate이다.

이와 같이 캐패시턴스의 실수부와 허수부를 고려하면, 전류와 전압의 위상차가 $(\pi/2) - \delta$ 가 된다. 이때의 전력 손실은 허수부 C_i 와 관계되고, 유전 손실각 $\tan \delta = C_i/C_r$ 로 나타낼 수 있다. 이에 대하여 다음 절에 기술한다.

2.2. 캐패시턴스 $C = C_r + jC_i$ 의 교류전원 회로

캐패시턴스의 허수부를 동시에 고려하여 캐패시터에 흐르는 전류는 식 (2)로부터

$$I(t) = \left(\frac{1}{X_c} + \frac{1}{r_c} \right) V_0 e^{j\omega t} \quad (3)$$

이다. 이때 $X_c = 1/j\omega C_r$ 는 실수부의 용량성 리액턴스이고, $r_c = 1/\omega C_i$ 는 허수부의 용량성 리액턴스이다. 따라서 허수부 C_i 는 실수부의 용량성 리액턴스 $X_c = 1/j\omega C_r$ 에

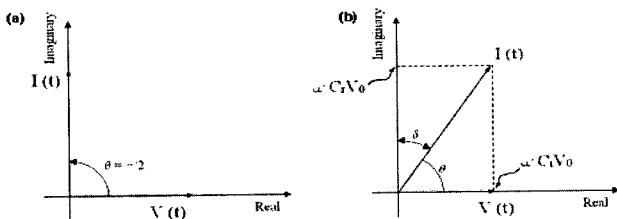


그림 1. Capacitance의 실수부만을 고려한 경우의 전류 및 전압 (a), 허수부를 고려한 경우의 전류 및 전압 (b)

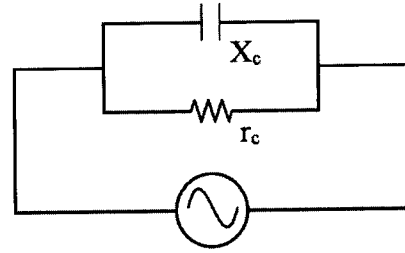


그림 2. $C = C_r + jC_i$ 의 등가회로

허수부의 용량성 리액턴스 $r_c = 1/\omega C_i$ 을 병렬로 연결된 그림 2와 같은 등가회로의 기능을 한다.

이러한 회로에서의 소모전력은 $P = \text{Re} \langle I_0^* V_0 \rangle / 2$ 로부터

$$P = \frac{1}{2} \omega C_r \tan \delta V_0^2 = \frac{\tan \delta}{|X_c|} V_{rms}^2 \quad (4)$$

이다. 이때, $V_{rms} = V_0 / \sqrt{2}$ 이다. 즉, 교류 전원에 대한 캐패시터의 전력소모는 허수부 C_i 로부터 생긴다. 따라서 $\tan \delta$ 는 캐패시턴스의 허수부로 인해 전력손실의 계수로 작용한다.

2.3. EEFL의 등가회로

그림 3은 EEFL의 등가회로이다. R_L 은 EEFL의 램프저항이고, X_c 는 EEFL의 실수부의 용량성 리액턴스, r_c 는 유전손실에 상응하는 EEFL의 허수부의 용량성 리액턴스이다.

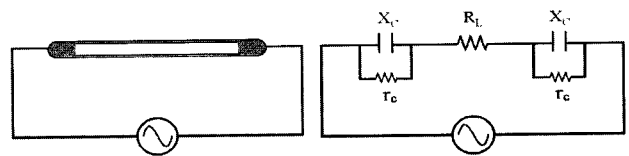


그림 3. EEFL의 회로 및 등가회로

교류 전원 $V(t) = V_0 \exp(j\omega t)$ 에 대하여 회로에 흐르는 전류를 $I(t) = I_0 \exp(j\omega t)$ 라고 하면, 그림 3의 회로에 대한 회로 방정식은

$$\frac{dV}{dt} = \frac{2 \cdot I(t)}{C^*} + R_L \frac{dI}{dt} \quad (5)$$

이다. 회로방정식으로부터 전류는

$$I(t) = \frac{V_0 e^{j\omega t}}{R_L (1 + 2/(j\omega C^* R_L))} \quad (6)$$

이다. $P = \text{Re} < I_0^* V_0 > / 2$ 로부터 램프 저항에서의 전력 손실과 캐패시턴스에서의 전력 손실이 각각 계산된다.

램프 저항에서의 전력 손실은

$$P(R_L) = \frac{V_{rms}^2}{R_L} \frac{1 + \tan^2 \delta}{1 + \tan^2 \delta + (2/(\omega C_r R_L))^2} \quad (8)$$

이다. 캐패시턴스에서의 전력 손실은

$$P(C) = \frac{V_{rms}^2}{R_L} \frac{2 \cdot \tan \delta / (\omega C_r R_L)}{1 + \tan^2 \delta + (2/(\omega C_r R_L))^2} \quad (9)$$

이다.

램프자체의 전력 손실에 대한 캐패시턴스의 전력 손실의 비율은

$$\eta = \frac{P(C)}{P(R_L)} \approx 2 \cdot \tan \delta \cdot \tan \phi_p \quad (10)$$

$$\eta = \frac{P(C)}{P(R_L)} \propto D \quad (11)$$

이다. 위에서 ϕ_p 는 회로에서 전류와 전압의 위상각이며, $\tan \phi_p = 1/\omega R_L C_r$ 이다. 일반적인 외부전극형광램프의 R_L 은 약 70 kΩ이고 C_r 은 10 pF이다. 외부전극 형광램프에서 위상각 ϕ_p 는 대개 65~75°이며, $\tan \phi_p$ 의 값은 2.14~3.73가 된다. 외부 전극 자체의 캐패시터에서 소모되는 전력은 유전손실은 $D\text{-factor} = \tan \delta / K$ 에 비례한다.

이와 같이 EEFL에서는 외부전극 자체가 캐패시터이고 유리재가 유전체의 역할을 하므로 유전손실 $\tan \delta$ 의 값이 전력 소모와 관련하여 중요한 변수로 작용한다. 이와 같이 유리재의 유전 특성이 EEFL의 성능에 미치는 영향을 다음의 실험을 통하여 확인한다.

III. 실험

유리재의 유전상수 K 및 유전손실 $\tan \delta$ 가 EEFL의 특성에 미치는 영향을 실험적으로 살펴본다. 3.1절에서 유리재의 유전상수 및 유전손실계수의 측정방법과 결과를 서술한다. 3.2절에서 유전상수 K 및 유전손실 $\tan \delta$ 의 값이 다른 4종류의 유리관으로 EEFL을 제작하여, 램프의 성능과 핀홀의 발생을 조사한다. 3.3절에서는 유전 손실이 작은 Aluminosilicate와 유전 손실이 큰 Soda-lime 유리관으로

제작된 EEFL의 동작 중에 전극부의 온도를 측정한다.

3.1. 유리재의 유전계수 측정

실험에 사용된 유리관은 4종류이며, 각각 종래에 CCFL과 EEFL용으로 사용하고 있는 유리관인 Borosilicate glass 2종, Aluminosilicate glass 및 Soda-lime glass이다. Borosilicate(W)은 CCFL용 유리로서 열팽창계수가 Tungsten리드선의 열팽창 계수와 동일한 붕규산염 유리관으로, 유리의 구성성분 및 성분비는 SiO_2 72.5%, Al_2O_3 와 B_2O_3 17.5%, TiO_2 4%, Alkaline-earth 6%이다. Borosilicate(KO)는 Kovar와 열팽창계수가 같은 유리관으로, SiO_2 66%, Al_2O_3 와 B_2O_3 21%, TiO_2 4%, Alkaline earth 9%이다. Aluminosilicate는 알칼리 산화물이 없고, 열 충격에 강하며, 높은 유전상수 K 와 낮은 유전손실 $\tan \delta$ 를 갖는 유리관으로, SiO_2 60%, Al_2O_3 와 B_2O_3 19%, Alkaline earth 21%이다. Soda-lime은 상당량의 알칼리와 알칼리 토류를 포함하고, 높은 유전상수 K 와 높은 유전손실 $\tan \delta$ 를 갖는 유리관으로, SiO_2 69%, Al_2O_3 와 B_2O_3 5%, Alkaline earth 26%이다.

유전상수란 진공의 유전율에 대한 상대적인 값으로 $K = \epsilon / \epsilon_0$ 이다 [10]. 유리재의 유전상수 K , $\tan \delta$, $D\text{-factor}$ 의 측정은 그림 4와 같이 LCR-meter(Instek LCR-821)를 사용하였다. 유전상수 K 는 $C = 2\pi\epsilon_0 KL / \ln(b/a)$ 에 의하여 계산된다. 유전손실 $\tan \delta$ 는 교류 전기장의 위상각의 지연(δ)에 대한 탄젠트 값으로 주어진다. 표1은 유리관 종류별로 측정된 유전상수 K , $\tan \delta$, $D\text{-factor}$ 의 값으로 각 샘플당 10회 측정하여 구한 평균값이다.

Borosilicate 유리관의 유전상수는 5.6~5.9, $\tan \delta$ 는 $5.0 \times 10^{-3} \sim 6.0 \times 10^{-3}$, 그리고 $D\text{-factor}$ 는 $8.47 \times 10^{-4} \sim 10.71 \times 10^{-4}$ 이다. Aluminosilicate의 유전상수는 6.6, $\tan \delta$ 는 1×10^{-4} 이고 $D\text{-factor}$ 는 1.5×10^{-5} 이다. Soda-lime은

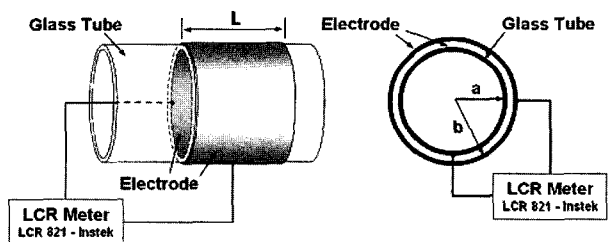


그림 4. 유리관의 Capacitance 측정

표 1. 유리관의 유전 특성

	유전상수 (K)	tan δ (10 ⁻⁴)	D-factor (tan δ/K) (10 ⁻⁴)
Borosilicate(W)	5.6	60	10.71
Borosilicate(KO)	5.9	50	8.47
Aluminosilicate	6.6	1	0.15
Soda-lime	7.7	137	17.79

유전상수가 7.7, tan δ가 1.37×10⁻²이고 D-factor가 1.77×10⁻³이다. 유전 상수는 Soda-lime이 가장 크고, Aluminosilicate는 Borosilicate보다 크다. 유전손실 tan δ는 Aluminosilicate가 가장 작고, Borosilicate는 Aluminosilicate에 비하여 50~60 배 크고, Soda-lime은 137배로 크다. 따라서 D-factor는 Aluminosilicate가 가장 작고, Borosilicate는 Aluminosilicate보다 60배 크고, Soda-lime은 Aluminosilicate보다 119배로 크다. 특히, Soda-lime은 유전 상수 K가 가장 크고, 유전 손실 tan δ의 값 또한 매우 크다.

위의 유전 특성에 따라서 각각의 유리관으로 제작된 EEFL의 유전 손실에 따른 외부전극부의 전력 손실을 앞 절의 이론을 근거로 그 크기가 정량적으로 다음과 같이 조사된다. 외부전극의 캐패시터에서의 전력손실은 식(10)의 $\eta = P(C) / P(R_L) \approx 2 \tan \delta \cdot \tan \phi_p$ 의 전력비로 계산된다. 본 실험에서 EEFL은 약 10 pF의 캐패시턴스와 약 70 kΩ의 램프저항을 갖는다. 구동주파수는 65 kHz이고 전류와 전압의 위상각 ϕ_p 은 75°이며, $\tan \phi_p \approx 3.73$ 이다. 유리관에 따른 캐패시턴스와 위상각은 크게 차이가 없다. 따라서 전력손실 비 값은 $\eta \approx 7.46 \tan \delta$ 로 계산된다. 표 1에 주어진 유리관의 tanδ를 적용하여 각 유리관의 유전 손실에 의한 전극부가 소모하는 전력을 계산할 수 있다. Borosilicate(W)은 η 가 약 0.045, Borosilicate(KO)는 η 가 약 0.037, Aluminosilicate는 η 가 약 0.0007이고 Soda-lime은 η 가 약 0.102이다. 이는 EEFL의 전체 소모 전력이 10 W이면, Borosilicate는 외부전극 자체의 소모 전력이 약 0.447 W에서 0.373 W이다. Aluminosilicate는 매우 작은 약 0.007 W이며, Soda-lime에서는 1.022 W정도로 큰 값이다. 즉, Borosilicate와 Soda-lime 유리관의 유전 손실에 의한 전력 소모는 무시할 수 없는 값을 갖는다. 이들 소모 전력은 외부전극 자체에서의 유전 손실에 의한 것으로서 대부분 전극에서의 발열로 변환될 것이다.

3.2. EEFL의 성능

표 1의 4종류 유리관으로 제작된 EEFL에 대하여 휘도와 효율, 그리고 핀홀 발생을 조사하였다. 핀홀 발생은 EEFL에 고 전력을 인가하여 핀홀이 발생하는 시점을 측정하였다. 각 EEFL은 외경이 4.0Φ, 유리관 두께가 0.4 mm이고 길이는 400 mm이다. 유리관 내벽은 RGB 삼원색의 형광체를 코팅하였다. 방전 기체로는 97 %의 네온과 3 %의 아르곤의 혼합기체를 30 Torr의 압력으로 주입하였고, 미량의 수은을 넣고 유리관 양끝을 봉입하였다. 전극은 Silver-paste로 형성하고, 전극 길이는 20 mm이다. 램프 구동은 push-pull 방식의 자력식 인버터를 사용하고, 구동주파수는 약 65 kHz이다. 램프의 전기-광학적 특성을 측정하기 위하여 오실로스코프(Tektronix DPO4034), 전류프로브(Tektronix P6022), 전압프로브(Tektronix P6015A), 멀티미터(HC-3500T), 휘도계(Minolta LS-100) 등을 사용하였다.

그림 6은 Borosilicate(W), Borosilicate(KO), Aluminosilicate, 그리고 Soda-lime으로 제작된 EEFL의 램프 구동전압에 대한 램프 전류 변화를 핀홀이 발생하는 시점까지 나타낸 것이다. 이는 EEFL의 전압과 전류의 전형적인 특성을 보여준다 [6]. 각 유리관에서 방전 개시 전압은 Borosilicate(W) 램프는 481 V, Borosilicate(KO) 램프는 425 V, Aluminosilicate 램프는 385 V이고, 그리고 Soda-lime 램프는 364 V이다. 유전상수 K가 증가함에 따라 방전전압이 낮아지는 경향이 있다. 전류-전압 특성을 보면, 저 전류의 암전류 영역, 방전 개시 전압에서 타운센드 방전, 그리고 정상 글로우 방전 영역으로 나타난다 [6]. 유전상수 K가 커짐에 따라 타운센드 방전에서 전류 증가 폭이

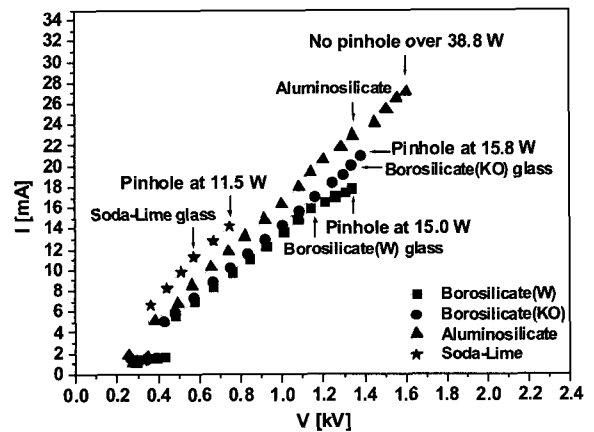


그림 6. 4종류의 유리관으로 제작된 EEFL의 전류-전압 특성

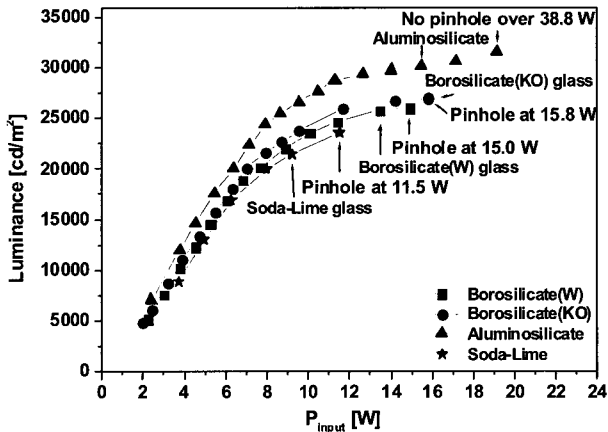


그림 7. 4종류의 유리관으로 제작된 EEFL의 입력전력에 대한 휘도

높다. 타운센드 방전 후에 전류는 전압이 증가함에 따라 선형적으로 증가하고, 유전상수 K가 커짐에 따라 전류 증가의 기울기가 다소 커지는 경향을 보인다.

그림 7은 4종류의 EEFL 샘플의 입력전력에 따른 휘도의 변화를 핀홀이 발생하는 시점까지 나타낸 것이다. 입력 전력의 증가에 따라서 휘도가 증가하며, 고 전력에서 휘도 증가율이 다소 둔화되며, 특정 전력에서 외부전극 표면에 핀홀이 발생하여 램프가 손상된다. 동일 전력에 대하여 Aluminosilicate 유리관이 휘도가 가장 크며, Soda-lime의 유리관이 휘도가 가장 작다. 입력전력이 7 W일 때, Borosilicate(W) 램프의 휘도는 19,000 cd/m²이고, Borosilicate(KO) 램프는 20,045 cd/m²이다. Aluminosilicate 램프의 휘도는 22,000 cd/m²이고 Soda-lime 램프의 휘도는 18,440 cd/m²이다. 이는 Aluminosilicate 램프의 휘도가 Borosilicate 샘플 2종류에 비하여 약 12% 높다. Aluminosilicate 램프가 좋은 휘도 특성을 보이는 이유는 유전상수 K가 크고 유전손실 tan δ가 작은데 원인을 찾을 수 있다. 한편, Soda-lime 램프의 경우 유전상수 K가 크지만 휘도가 Borosilicate에 비하여 우수하지 않은 것은 유전손실 tan δ가 크기 때문으로 분석할 수 있다. 그림 6과 7에서 핀홀이 발생하는 입력 전력을 나타내었다. Borosilicate(W) 램프는 입력전력 15.0 W에서 핀홀이 발생하였고, Borosilicate(KO) 램프는 15.8 W에서 핀홀이 발생하였다. Aluminosilicate 램프는 입력 전력 38.8 W 이상으로 구동하여도 핀홀이 발생하지 않았다. 이 전력은 본 실험에서 사용하는 구동용 인버터의 최대 출력 전력이다. Soda-lime 램프는 11.5 W에서 핀홀이 발생하였다. 이와 같이 핀홀은

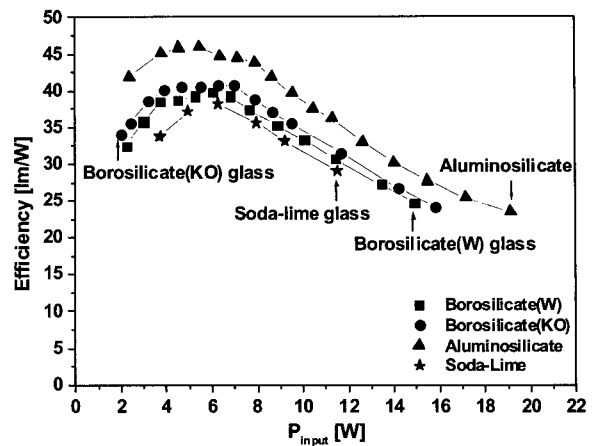


그림 8. 4종류의 유리관으로 제작된 EEFL의 입력전력에 대한 효율

유전손실 tan δ와 전극의 발열 온도와 관계되며, 유전손실 tan δ가 클수록 전극부의 열 발생이 커지므로 핀홀에 약해진다 [5]. Aluminosilicate 램프는 유전손실 tan δ가 비교적 매우 작아서 핀홀에 강하고, Soda-lime 램프는 tan δ가 매우 커서 핀홀에 약하다고 해석된다.

그림 8은 4종류의 EEFL 샘플에 대하여 입력 전에 대한 효율이다. Borosilicate(W) 램프는 입력 전력 6.0 W 일 때, 39.8 lm/W의 최고 휘도 효율을, Borosilicate(KO) 램프는 입력 전력 6.3 W 일 때, 40.7 lm/W의 최고 휘도 효율을, Aluminosilicate 램프는 입력 전력 5.4 W 일 때, 45.9 lm/W의 최고 휘도 효율을, Soda-lime 램프는 입력 전력 6.27 W 일 때, 38.3 lm/W의 최고 휘도 효율을 나타낸다. Aluminosilicate 램프가 2종류의 Borosilicate 유리관들과 Soda-lime 유리관 제작된 EEFL보다 효율이 14~20% 증가한다.

3.3. EEFL의 전극부 발열 실험

EEFL을 구동할 때, 입력 전력이 증가함에 따라 휘도가 증가하면서 전극부의 온도가 증가한다. 전극부 발열은 유전손실 tan δ과 직접 영향이 있고, 동시에 이는 핀홀과도 관련된다. 유전 손실 tan δ가 전극부 발열에 미치는 영향을 알아보기 위하여 tan δ값의 차이가 큰 Aluminosilicate와 Soda-lime 유리관을 사용하였다. 실험에 사용된 EEFL은 3-2)절의 EEFL이다. 전극부의 온도를 측정하기 위하여 전극부를 수축튜브로 감싸고, 그 위에 thermocouple을 삽입하여 수축튜브로 고정하고, 단열을 위하여 실리콘 튜브로 전극부를 밀폐하였다.

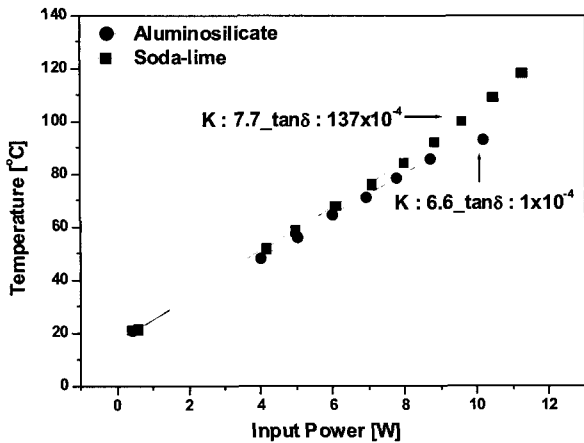


그림 10. Aluminosilicate, Soda-lime의 입력 전력에 대한 외부전극의 발열 온도

그림 10은 Aluminosilicate와 Soda-lime 램프의 입력 전력에 대한 외부전극의 발열 온도이다. 입력 전력이 증가함에 따라 두 램프의 온도 차가 증가한다. 입력 전력 8.7 W 일 때, Aluminosilicate는 온도가 85 °C 이고 Soda-lime은 온도가 92 °C이다. Soda-lime 램프가 Aluminosilicate 램프보다 전극부 온도가 7 °C 높다. 유전체의 쌍극자 모멘트가 교류 전원의 전기장에 의한 방향 전환시에 일정한 크기의 저항을 받는데, tan δ가 크면 이러한 저항으로 인한 열손실이 커서 발열량이 커진다. 외부전극의 온도를 측정하기 위하여, 전극에 thermocouple을 접촉해야 한다. 그러나 전극부에 고전압이 인가되므로 thermocouple을 전극에 직접 접촉하지 못하고 수축튜브를 거쳐 온도를 측정했다. 또한 전극에서 발생하는 열의 완전한 단열이 어려웠다. 따라서 본 실험에서 외부전극의 측정 온도에 대하여 절대적으로 신뢰하기 어렵다. 그러나 두 램프 시료간의 전극부 온도 차이는 분명하게 측정할 수 있으며, 이는 tan δ에 따른 영향으로 확인할 수 있다.

IV. 결 론

외부전극 형광 램프는 유리관 외부의 양단 표면에 설치된 외부전극에 교류 전원을 인가하여 구동한다. 이는 외부전극에 의하여 유전층 장벽 방전(dielectric layer barrier discharge)을 특징으로 한다. 따라서 유리관 자체의 유전 특성이 EEFL의 성능에 큰 영향을 미친다. 본 연구는 유리관의 유전 특성인 유전상수 K와 유전 손실 tan δ가 EEFL

에 미치는 영향을 조사하였다.

외부전극 형광램프의 외부전극 자체가 캐패시터(capacitor)이며, 유리관 자체가 유전층인 캐패시터이다. 이러한 캐패시터의 실수부와 허수부를 고려한 EEFL의 등가 회로를 분석하였다. 캐패시터의 실수부에 해당하는 유전 상수 K는 외부전극의 전기용량에 해당한다. 캐패시터의 허수부는 유전 손실 tan δ에 해당하며, 이는 캐패시터 자체가 소모하는 전력에 비례한다. EEFL의 등가회로에서, 전체 인가 전력에 대한 외부전극 자체의 유전 손실에 의한 소모 전력의 비는 $\eta \sim 7.46 \tan \delta$ 로 주어진다. 이러한 유전 손실에 의한 전력 소모는 외부전극 형광램프의 성능을 저하시키며, 외부전극에 열을 발생시켜 핀홀 발생의 요인이다.

실험적으로 서로 다른 유전특성을 갖는 Borosilicate 유리관, Aluminosilicate 유리관, 그리고 Soda-lime 유리관으로 EEFL을 제작하여 그 특성을 비교하였다. 종래의 Borosilicate 유리관 2-종류는 각각 K가 5.6 및 5.9, tan δ는 각각 6.0×10^{-3} 및 5.0×10^{-3} 이다. Aluminosilicate 유리관은 K=6.6이며, 유전 손실이 가장 작은 tan δ= 1.0×10^{-4} 이다. Soda-lime 유리관은 high K로서 7.7이며, 가장 큰 값을 갖는 tan δ= 1.37×10^{-2} 이다. EEFL의 외부전극 자체의 유전 손실에 따른 이론적인 전력 손실비 η 는 유전 손실이 가장 작은 Aluminosilicate EEFL은 0.0007이고, 유전 손실이 가장 큰 Soda-lime EEFL은 0.1022이다.

EEFL의 특성 실험결과 Aluminosilicate EEFL이 종래의 Borosilicate EEFL에 비하여 휘도와 효율이 약 12 ~ 20% 증가한다. 핀홀 실험에서 종래의 Borosilicate 램프는 대개 입력 전력 15 W에서 핀홀이 발생한다. 높은 유전상수 및 낮은 유전손실의 Aluminosilicate EEFL은 높은 입력 전력에서도 핀홀이 발생 않는다. 그러나 유전 상수는 크지만 유전 손실이 큰 Soda-lime EEFL은 효율이 낮고 15 W 이하의 낮은 입력 전력에서 핀홀이 발생한다.

감사의 글

이 논문은 독일의 Schott AG. 와 (주)LG, Philips-LCD의 지원으로 연구되었습니다.

References

- [1] D. Joh, et al, ASID, Xi'an, P. R. China, 470 (2000).
- [2] T. Cho, et al, Jpn. J. Appl. Phys.L, B **41**, 355 (2002).
- [3] T. S. Cho, et al., IEEE, B **5**, 2005 (2002).
- [4] G. S. Cho, et al., J. Phys. D: Appl. Phys. B **36**, 2526 (2003).
- [5] G. Cho, et al, Journal of Phys D: Appl. Phys. B **37**, 2863 (2004).
- [6] G. Cho, et al, : IEEE Trans. Plasma Science . **B33-34**, 1410 (2005).
- [7] Y.Kim, et al, IMID'02 Digest, 533 (2002)
- [8] T.Cho, et al, Sae-Mulli, **B44**, 42-47(2002)
- [9] J.R.Reits, et al, *Foundation of Electromagnetic Theory*, 3rd. Ed (Addison-Wesly Publishing Company Inc.,1979) Chapter 13, 275
- [10] S. O. Kasap, *Principles of Electronics Materials and Devices*, 3rd. Ed (McGraw-Hill Korea), Chapter 7, 651

Influence of Glass Dielectric Property on the External Electrode Fluorescent Lamps

Myeong-Ju Shin, Jong-Mun Jeong, Jung-Hyun Kim, Ga-Eul Kim, Mi-Ran Lee, Dong-Gun Yoo,
Je-Huan Koo, Byoung-Hee Hong, Eun-Ha Choi and Guangsup Cho*

Department of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul 139-701

(Received July 30 2007)

Influence of glass dielectric property (dielectric constant K , dielectric loss) on the external electrode fluorescent lamps of the dielectric barrier discharge has been investigated with 4-different glasses. Conventional borosilicate glass tubes with $K=5.6\sim 5.9$ and $\tan \delta=5.0\times 10^{-3}\sim 6.0\times 10^{-3}$ and aluminosilicate glass tubes with high $K=6.6$ and low $\tan \delta=1\times 10^{-4}$ and soda-lime glass tubes with $K=7.7$ and $\tan \delta=1.37\times 10^{-2}$ have been compared. The high value of dielectric constant K makes the capacitance of external electrode fluorescent lamps intensity and enhances the discharge efficiency. The dielectric loss of $\tan \delta$ shows the factor of power consumption in the external electrode to induce heats and to be weak in pinhole stability. The aluminosilicate glass tubes of high K and low $\tan \delta$ have been enhanced by 14~18 % in luminance and efficiency in comparison with the conventional borosilicate glass tubes and the aluminosilicate external electrode fluorescent lamps are strong against the pinhole formation. Soda-lime glass tubes with high K and high $\tan \delta$ are a little favorable in luminance and efficiency and they are very weak in pinhole occurrence.

Keywords : Discharge lamp, EEFL (External Electrode Fluorescent Lamp), Backlight, Glass tube, Dielectric constant K , dielectric loss $\tan \delta$

* [E-mail] gscho@kw.ac.kr