

## 무수은 제논 EEFL의 전기적 특성

### Electric Properties of Mercury-free Xe EEFL

이성진<sup>1,a</sup>, 김남균<sup>1</sup>, 이종찬<sup>2</sup>, 박노준<sup>1</sup>, 박대희<sup>1</sup>

(Seong-Jin Lee<sup>1,a</sup>, Nam-Goon Kim<sup>1</sup>, Jong-Chan Lee<sup>2</sup>, Noh-Joon Park<sup>1</sup>, and Dae-Hee Park<sup>1</sup>)

#### Abstract

This paper had mentioned about CCP light source application for increasing the efficiency of Xe lamp the mercury-free lamp. In order to increase the efficiency of Xe EEFL, we designed and manufactured the lamp used by mixture gas of Xe, Ne and He. Also, we have analyzed the electrical and optical properties with the firing voltage, sustain voltage, paschen's curve, wall charge, and capacitance. As a result, the firing voltage decreased by increasing the ration of mixture gas. and, It is owing to include the gas with high ionization energy. The firing voltage decreased in condition happening the penning effect, Because the ion of metastable state created from penning effect, Which can encourage the ionization phenomena. Also, the wavelength of 467.12 is increase. because of the energy transition in the wavelength of 147 nm. therefore, we can know about the affection of phosphor with UV emission properties. Through an experiment, Xe 100 % and Xe 75 % confirmed same spectrum properties by each mixture gas ratio. In the case of Xe 50 %, spectrum properties appeared Xe discharge and Ne-He discharge. That analyzed an electrical and optical properties. Therefore, confirmed that is excellent because properties of firing voltage, wall charge, capacitance in Xe 50 %, Ne : He = 9 : 1. We offered parameter in inverter manufacture and lamp manufacture by electrical and optical properties.

**Key Words** : Mercury-free, Xe discharge, EEFL

#### 1. 서 론

LCD는 휴대 및 사용의 간편성으로 인해 노트북이나 PDA, 차량용 네비게이션과 같은 소형 휴대 장치에서 부터 중대형 TV까지 폭넓게 활용되고 있다. 이러한 LCD는 비발광소자의 디스플레이로서 저 소비 전력과 선명한 색 재현을 가능하게 하는 반면 광원을 필요로 하므로 화면 표시를 위해서 BLU를 필수적으로 요구하게 된다[3-6]. 현재 LCD TV, 노트북의 BLU는 냉음극 형광램프(CCFL: Cold

Cathode Fluorescent Lamp)가 상용되고 있으나 CCFL은 전극의 열화 문제와 LCD BLU로 고회도를 얻기 위해 여러 개의 CCFL을 사용하고자 할 경우 많은 인버터가 요구되므로 고 비용의 문제와 램프 구동장치가 복잡해지고 무거워지는 문제가 생기게 된다.

이러한 CCFL의 단점을 해결하기 위해 전극과 플라즈마를 분리시킨 형태의 램프인 외부전극형광램프(EEFL: External Electrode Fluorescent Lamp)가 제안되었다. EEFL은 냉음극 형광램프와 마찬가지로 수은을 사용하지만, 전극과 플라즈마 사이에 유리관이 있어 이온과의 충돌에 의한 전극의 스퍼터링 현상을 방지할 수 있다. 그러므로 CCFL에 비하여 EEFL은 수명이 길고 외부 전극과 플라즈마 사이의 유리관이 구동 회로상 축전기 역할을 하기 때문에 램프의 임피던스는 정특성을 가지게

1. 원광대학교 전기전자정보통신공학부  
(전북 익산시 신용동 344-2)

2. (주) 금호전기

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

접수일자 : 2007. 6. 5

1차 심사 : 2007. 6. 12

심사완료 : 2007. 6. 20

된다. 일반적으로 하나의 램프 임피던스가 정특성을 가지는 경우 여러 개의 램프를 하나의 인버터로 구동할 수 있는 병렬구동이 가능하다[7,8]. 또한 발광원으로 사용되는 수은은 국내외적으로 환경오염에 대한 규제 강화로 인해 앞으로는 더 이상 사용하지 못하는 문제를 가지고 있다. 그러므로 수은을 대체할 친환경적인 광원이 요구되고 있다[9-12]. 따라서 이러한 문제를 해결하고자 대체 물질인 Xe과 같은 불활성 기체에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있으며 수은에 비해 휘도 및 광효율이 떨어지는 단점이 있어 이에 대한 개선이 요구되고 있다. 또한 문제 해결을 위해 혼합가스의 연구가 제시되었다[16].

본 연구에서는 수은을 대체하고 효율을 개선하기 위하여 EEFL의 혼합가스(Xe-Ne-He)의 방전특성을 측정하였다. 또한, 방전특성의 정량적인 평가를 위하여 혼합가스의 혼합비, 압력에 따른 의존성을 평가하였다.

## 2. 실험

### 2.1 이론적 배경

Xe EEFL 램프의 방전은 전극 양단에 전원을 인가할 경우 방전관 내부에 전기장이 형성된다. 전기장이 인가되기 전 방전관 안에는 미량의 전자가 존재하게 된다. 미량의 전자가 외부에서 인가된 자기장에 의하여 가속되어 중성 가스 분자의 이온화에너지 이상의 에너지를 가질 경우 중성 가스 분자와 충돌하여 이온과 또 다른 전자를 생성한다. 이와 같은 전자와 중성가스 사이의 충돌에 의한 이온화 반응이 연쇄적으로 일어나면서 수많은 중성 가스가 이온화 되어 전자와 이온의 수가 증가하게 되고 결과적으로 양 전극 사이의 중성 가스는 절연과피 된다. 이 순간 방전관 내의 가스는 플라즈마라는 상태에 이르게 된다. 플라즈마는 전기적으로 도체의 성질을 가지고 있는데 이는 플라즈마 내의 전자가 마치 금속의 자유 전자처럼 이온에 구속을 거의 받지 않기 때문이다. 이러한 특성은 방전전과 후의 임피던스 변화로 관찰할 수 있으며 전류-전압 곡선의 변화를 통해 절연 파괴 순간을 확인할 수 있다.

또한 중성가스의 경우 불활성 가스로서 형광체와의 반응이 없어야 하며 방전시 여기종에서 방출되는 자외선의 파장이 가시광선 변환을 위한 광전환 효율에 큰 영향을 준다. 표 1은 불활성 가스 방전의 여기 에너지, 준안정상태 에너지, 공진선과

표 1. 불활성 가스의 방전 특성.

Table 1. Discharge characteristic of the noble gases.

Gas	Excitation energy[eV]	Metastable energy[eV]	Wavelength of resonance line [nm]	Ionization energy [eV]
He	21.21	19.80	58.4	24.58
Ne	16.85	16.62	73.4	21.56
Ar	11.61	11.55	107.0	15.76
Kr	10.02	9.91	124.0	14.00
Xe	8.45	8.32	147.0	12.13

표 2. 저압 Xe 방전에서의 충돌과 방사 과정.

Table 2. The collisional and radiative processes in the low pressure Xe discharge.

### Collision Process

Process		Reaction
Ionization	Direct Ionization	$e+Xe \rightarrow Xe^+ + 2e$
	Stepwise Ionization	$e+Xe^*(^3P_1) \rightarrow Xe^+ + 2e$
		$e+Xe^*(^3P_2) \rightarrow Xe^+ + 2e$
Excitation		$e+Xe^{**} \rightarrow Xe^+ + 2e$
		$e+Xe \rightarrow Xe^*(^3P_1) + e$
		$e+Xe \rightarrow Xe^*(^3P_2) + e$
		$e+Xe \rightarrow Xe^{**} + e$
		$e+Xe \rightarrow Xe^{***} + e$

### Radiation Process

Process	Reaction
Spontaneous emission	$Xe^{**} \rightarrow Xe(^3P_1) + hv(828 \text{ nm})$
	$Xe^{**} \rightarrow Xe(^3P_2) + hv(823 \text{ nm})$
	$Xe^*(^3P_1) \rightarrow Xe + hv(147 \text{ nm})$

이온화 에너지를 나타낸 것으로 원자량이 큰 물질일수록 이온화 에너지가 작기 때문에 공진 준위 에너지도 작게 나타나는 것을 알 수 있다. 표 2는 저압 Xe 플라즈마에서 주로 일어날 수 있는 반응을 나타낸다. 저압 Xe 플라즈마에서는 전자와 직접적인 충돌에 의한 이온화나 공진 준위 등으로 여기되는 반응과 여기된 상태에서도 다시 전자와 충돌하여 다른 준위로 여기되는 반응이 있다. 또한 여기된 상태의 Xe이 자발적으로 낮은 에너지 상태로 천이하면서 전자기파를 방출하는 반응도 존재한다[5].

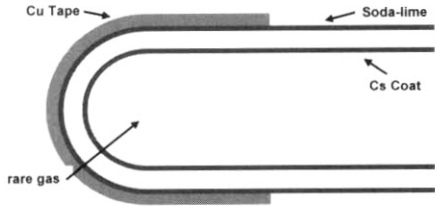


그림 1. EEFL의 개략도.

Fig. 1. Diagram of external electrode fluorescent lamp.

### 2.2 실험 및 장치

EEFL은 그림 1에서 보는 바와 같이 소다라임(soda-lime) 유리관과 외부전극, 유리관 내부의 레어가스로 구성되어 있으며 광효율 증가를 위해 유리관 내부에 세슘(Cs)를 코팅하여 사용한다. 또한 이들은 재료적 특성에 따라 램프의 효율 및 성능이 크게 좌우된다.

EEFL의 전극은 형태와 재료 종류에 따라 구분할 수 있다. 전극의 형태는 1쌍 외부전극형, 2쌍 외부전극형, DHEL(Double Helical External Electrode Fluorescent Lamp), ICCP(Inductive Capacitive Coupled Plasma)가 있다. 전극재료는 전기 전도도가 높은 은(Ag), 구리(Cu), 니켈(Ni) 등의 물질을 코팅하는 방식과 Cap을 씌우는 방식, Tape 방식 등으로 구분된다. 전극은 다른 램프에서도 마찬가지로 플라즈마를 일으키는 기본 요소로 그 재질에 따른 전자 방출 및 전극의 구조에 따라 방전 현상의 대부분을 좌우한다. 전극은 높은 전기 전도도의 금속으로서 인접 재료인 유전체 및 유리 기판과의 매칭성이 양호해야 하며 용이한 결합적 성질이 필요하다. 즉 쇼트 방지를 위한 선풍과 간격 조절 용이성이 요구된다. 또한 전극의 도포형태와 도포방법에 따라 전계의 집중현상이 발생하여 핀홀을 발생시킨다[2]. 이러한 문제를 해결하기 위하여 최근 초음파 도금과 Cap을 씌우는 방법이 연구 진행 중이다.

그림 2는 Xe EEFL의 배기 과정 전의 샘플로서 17 inch 크기의 램프를 제작하였다. 직경 8 mm, 길이 300 mm 전극 24 mm의 크기를 가지는 세슘(Cs)가 첨가된 소다라임 유리를 사용하였으며 초음파 세척기를 이용하여 아세톤과 메탄올을 이용하여 세척하였다.

배기과정은 로타리 펌프를 이용하여 실온(25 °C)에서  $10^{-3}$  Torr까지 배기하였으며 그 후 터보펌프를 이용하여  $10^{-6}$  Torr까지 배기하였다. 히팅챔버를 이용하여 고온(400 °C)에서  $10^{-10}$  Torr까지 배기한 후 두차례의 위성을 통하여 유리관 내부의 불순물을



그림 2. Xe EEFL의 시제품.

Fig. 2. The sample of Xe EEFL.

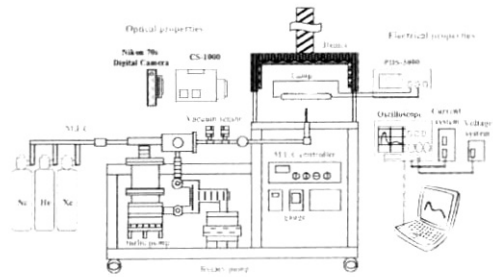


그림 3. Xe EEFL의 측정 장비 및 시스템.

Fig. 3. The measurement equipment and system of Xe EEFL.

제거한 후 실온에서 가스를 주입하는 방법으로 램프를 제작하였다. 특히 고온배기를 하지 않을 경우 유리관 내부의 불순물이 존재하여 스펙트럼 분석이 불순물에 의한 파장이 검출되었으며, 가스 주입시 불순물에 의한 혼합비의 부정확한 주입이 생기게 되어 저압방전에서는 고온배기를 하여야 한다[19].

진공장비는 그림 3에서 보는 바와 같이 크게 1) 로타리 펌프와 터보 펌프로 구성된 진공 배기부분, 2) 가스의 유량조절을 위한 MFC(Mass flow controller), 3) 진공 정도와 가스압을 측정하기 위한 센서부분, 4) 진공 배기를 용이하게 하기 위한 가열 챔버 부분으로 구성된다. 가스 혼합을 위한 Mixing 챔버를 통해 MFC를 통한 램프 내부 가스 조성비를 조절할 수 있으며 가열 챔버 온도 조절을 통해 램프 내부의 배기 속도를 증가시킬 수 있다. 또한 계대를 통해 Ex-tube형태의 램프를 부착 시킴으로써 램프를 실링하지 않은 상태에서도 램프에 대한 방전 특성을 확인할 수 있다.

광학적 측정 장비의 경우는 미놀타의 CS-1000 장비를 이용하여 휘도, 색 좌표, 스펙트럼 특성을 확인하였으며 Nikon 70-S 디지털 카메라를 이용하여 방전 조건에 따른 플라즈마 현상을 촬영하였다.

전기적 측정 장비의 경우 고전압 프루브와 전류 프루브를 통해 디지털 오실로스코프를 이용하여 방전 전류와 전압을 측정하였으며 전원 공급 장치는 정현파와 구형파를 발생시킬 수 있는 전원장치로서 20 kHz ~ 80 kHz까지 주파수와 20 % ~ 40 %의 듀티비, 0 ~ 2000 V까지 전압을 변화시킬 수 있다.

표 3. 0.5 Torr에서의 불꽃 전압 특성.

Table 3. Properties of firing voltage in 0.5 Torr.

Ne:He	Xe 30 %	Xe 50 %	Xe 75 %	Xe 100 %
10:0	1.2	0.87	0.88	[kV]
9:1	1.02	0.6	1.01	
5:5	1.24	1.25	0.93	

표 4. 1 Torr에서의 불꽃 전압 특성.

Table 4. Properties of firing voltage in 1 Torr.

Ne:He	Xe 30 %	Xe 50 %	Xe 75 %	Xe 100 %
10:0	1.34	1	1.09	[kV]
9:1	1.29	0.99	1.09	
5:5	1.16	1.29	1.04	

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전기적 특성

혼합가스의 전기적 특성을 확인하기 위하여 0.01 Torr부터 5 Torr까지 Xe-Ne-He 혼합가스의 혼합비를 변화해가며 불꽃전압과 유지전압을 측정하였다. 불꽃전압은 0.5 Torr에서 Xe 100 %일 때 1.02 kV이며 Xe-Ne 혼합가스에서는 Xe의 혼합비가 증가할수록 불꽃전압이 낮아짐을 확인하였다. 또한 He을 추가하였을 경우 Ne : He = 9 : 1에서 가장 낮은 불꽃전압을 확인하였으며 표 3 에서 보는 바와 같이 He이 점차 증가할수록 불꽃전압이 일반적으로 높아짐을 확인하였다.

표 4 에서 보는 바와 같이 가스의 압력이 1 Torr일 때, Xe-Ne-He 혼합가스에서 Xe 30 %에서 불꽃전압이 가장 높음을 확인하였다. 또한 Xe 30 %에서는 0.5 Torr와는 달리 He의 혼합비가 증가할수록 불꽃전압이 낮아짐을 확인하였다. 이것은 He의 혼합비가 증가할수록 페닝 효과가 활발히 진행되며, 내부 전하의 이동이 활발해 짐을 나타내는 것으로 사료된다. 또한 이온화 에너지가 높은 He이 증가함에 따라 혼합가스의 이온화에 필요한 에너지가 높아졌을 것으로 사료된다.

유지 전압은 방전이 시작된 후 점차적으로 전압을 낮추어가며 방전 유지 전압을 측정하는 것이다. 유지 전압이 클수록 방전 후 방전을 유지하는 에너지가 적게 소모된다는 것을 말한다. 표 5 에서 보는 바와 같이 Xe 100 %를 포함한 모든 항목에서 비슷하였으나 Xe 30 %에서는 약간 높은 불꽃전압을 나타내었다. 이것은 Xe보다 이온화 에너지가 높은 Ne, He의 양이 많아짐에 따라 페닝 효과가 줄어들고 Ne, He 방전 특성이 강하기 때문으로 사료된다.

표 5. 0.5 Torr에서의 유지 전압 특성.

Table 5. Properties of sustain voltage in 0.5 Torr.

Ne:He	Xe 30 %	Xe 50 %	Xe 75 %	Xe 100 %
10:0	0.68	0.54	0.49	[kV]
9:1	0.68	0.52	0.48	
5:5	0.70	0.44	0.46	

표 6. 1 Torr에서의 유지 전압 특성.

Table 6. Properties of sustain voltage in 1 Torr.

Ne:He	Xe 30 %	Xe 50 %	Xe 75 %	Xe 100 %
10:0	0.89	0.67	0.53	[kV]
9:1	0.88	0.66	0.52	
5:5	0.62	0.54	0.52	

가스의 압력이 1 Torr에서도 0.5 Torr와 동일하게 Xe 30 %를 제외하고는 거의 동일한 유지 전압을 측정하였으며 Xe 30 %, Ne : He = 5 : 5 의 조건에서 0.62 kV로 가장 낮은 유지 전압을 확인하였다.

그림 4는 Xe 가스의 압력에 따른 불꽃 전압을 나타낸 것이다. 가스의 특성에 따라 특정한 압력에서 가장 낮은 불꽃 전압을 나타내는데, 그림 4, 그림 5에서 보는 바와 같이 Xe-Ne-He 혼합가스에서 Xe 75 %일 때 Ne : He = 10 : 0가 가장 낮은 불꽃 전압을 나타내었다. 또한 He가스의 이온화에너지는 24.6 eV로 Xe : 21.6 eV, Ne : 12.1 eV에 비해 높아서 He가스의 양이 증가할수록 불꽃전압이 증가하지만 Ne : He = 9 : 1에서는 페닝효과에 의해 불꽃전압이 Ne : He = 5 : 5보다 낮음을 확인하였다. 그리고, 이 때의 벽전하량이 많을 것으로 사료된다.

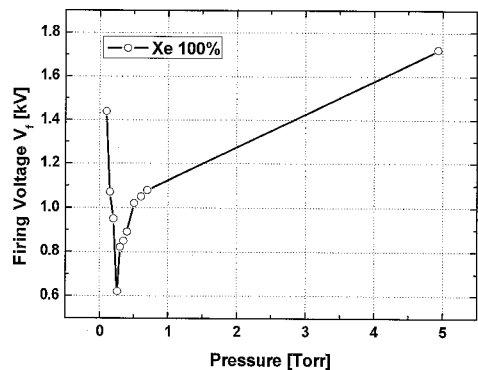


그림 4. 가스 압력에 따른 불꽃전압 특성(Xe 100%).  
Fig. 4. The firing voltage properties with gas pressure(Xe 100 %).

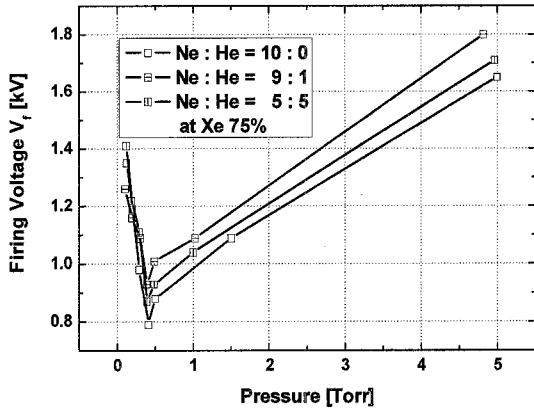


그림 5. 가스 압력에 따른 불꽃전압 특성(Xe 75 %).  
Fig. 5. The firing voltage properties with gas pressure(Xe 75 %).

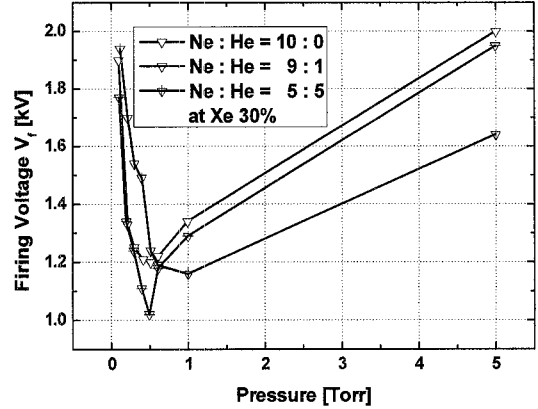


그림 7. 가스 압력에 따른 불꽃전압 특성(Xe 30 %).  
Fig. 7. The firing voltage properties with gas pressure(Xe 30 %).

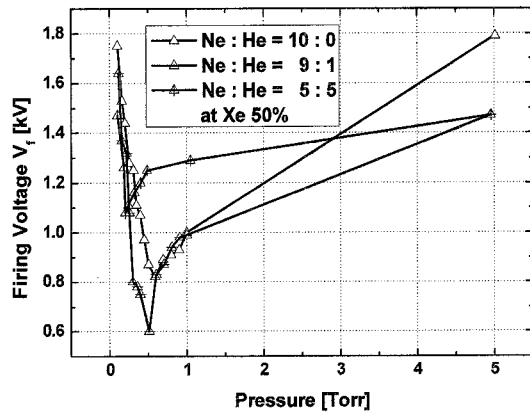


그림 6. 가스 압력에 따른 불꽃전압 특성(Xe 50 %).  
Fig. 6. The firing voltage properties with gas pressure(Xe 50 %).

그림 6은 가스 압력에 따른 불꽃 전압 특성을 나타 낸 것이다. 그림 5와는 달리 Ne : He = 9 : 1 에서 가장 낮은 불꽃 전압을 나타내었다. 또한 He 가스의 양이 증가할수록 불꽃 전압이 증가함을 확인하였다. 그리고, Xe 50 %, Ne : He = 9 : 1 의 조건에서 페닝효과가 가장 활발히 진행되며 그에 따라 이 때의 벽전하량이 가장 많은 것으로 예상된다.

그림 7에서 보는 바와 같이 Xe 30 %의 조건에서 불꽃 전압은 그림 6과 마찬가지로 Ne : He = 9 : 1에서 가장 낮은 불꽃 전압을 나타내었다. 또한 He가스의 양이 증가할수록 불꽃 전압이 증가함을 확인하였다.

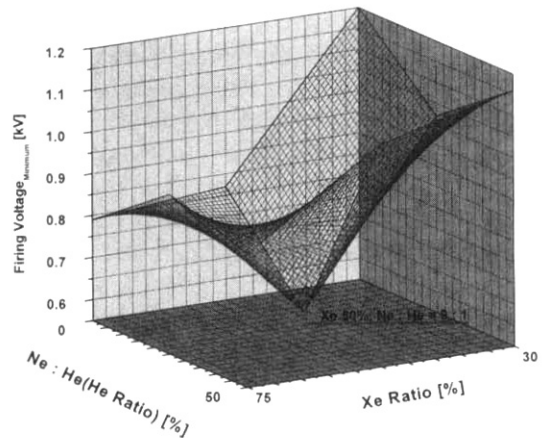


그림 8. 가스 혼합비에 따른 최소 불꽃전압 특성.  
Fig. 8. The Minimum firing voltage properties with gas ratio.

그림 8는 가스 혼합비에 따른 최소 불꽃 전압 특성을 나타낸 것이다. Xe 75 %와 Xe 50 %는 거의 동일한 특성을 보이며 Xe 30 %에서는 Xe보다 Ne이 주가스로 작용하여 불꽃 전압이 증가하는 것으로 사료된다. Ne : He = 9 : 1에서 Xe 가스의 양이 증가할수록 불꽃 전압은 높아지는데, Xe 50 %에서는 가장 낮은 불꽃 전압을 나타내었다. 이것은 페닝효과에 의하여 불꽃 전압이 낮아짐으로 사료되며, 이 때의 벽전하량이 가장 많은 것으로 예상된다. Ne : He = 5 : 5에서는 Xe의 혼합비가 낮아질수록 불꽃 전압이 증가함을 확인하였다. 그 이유는 페닝 효과에 의해 생성되는 잉여 전자들이

표 7. 0.5 Torr에서의 휘도 특성.

Table 7. Properties of brightness in 0.5 Torr.

Ne:He	Xe 30 %	Xe 50 %	Xe 75 %	Xe 100 %
10:0	71.48	21.40	9.05	7.22
9:1	67.61	16.04	9.25	[cd/m <sup>2</sup> ]
5:5	31.9	8.75	8.44	

표 8. 1 Torr에서의 휘도 특성.

Table 8. Properties of brightness in 1 Torr.

Ne:He	Xe 30 %	Xe 50 %	Xe 75 %	Xe 100 %
10:0	34.71	0.33	5.06	5.16
9:1	31.27	0.38	2.95	[cd/m <sup>2</sup> ]
5:5	24.2	5.00	5.16	

이온화 에너지가 높은 Ne, He 가스를 이온화 시켜 높은 에너지가 방출한다. 이러한 에너지는 Xe-Ne-He 가스 간의 이온화를 더욱 가속시키는 것으로 사료된다.

### 3.2 광학적 특성

가스의 압력이 0.5 Torr일 때 Xe 가스의 양이 적을 수록 휘도가 높아짐을 확인하였으며, He의 양이 증가할 수록 휘도는 저하됨을 확인하였다. 또한 Xe 30 %, Ne : He = 10 : 0에서 71.48 cd/m<sup>2</sup>으로 가장 높았다.

가스의 압력이 1 Torr일 때도 0.5 Torr와 마찬가지로 Xe 30 %, Ne : He = 10 : 0일 때 가장 높은 휘도를 확인하였으며 He의 양이 증가할 수록 휘도가 저하됨을 확인하였다.

표 9는 전압을 0.1 kV부터 2.0 kV까지 변화해가며 Xe EEFL의 최대 휘도값을 측정한 표이다. 표에서 보는 바와 같이 Xe 75 %와 Xe 100 %는 비슷한 휘도를 나타내었으며 Xe의 양이 감소할 수록 휘도는 증가함을 확인하였다.

Xe 가스 발광은 147 nm의 전자기파가 형광체를 여기시켜 가시광을 낸다. Xe에 의한 이온화는 467.12 nm의 파장이 증가함에 의한 영향이 큼을 확인할 수 있다. 표 10의 1, 2, 3 경우는 147 nm의 에너지 천이와 관련이 있기 때문에 상대적인 UV의 방출특성을 확인함으로써 램프의 직접적인 영향을 발휘하는 형광체에 의한 영향 또한 확인할 수 있다[19].

그림 9는 혼합가스에 따른 스펙트럼 특성을 나타낸 것이다. 표 10과 같이 Xe 100 %일 때 467.12 nm,

표 9. 휘도 최대값.

Table 9. Peak brightness.

Ne:He	Xe 30 %	Xe 50 %	Xe 75 %	Xe 100 %
10:0	74.60	28.6	17.5	18.00
9:1	73.35	23.9	15.5	[cd/m <sup>2</sup> ]
5:5	31.9	16.8	14.7	

표 10. Xe 가스의 가시광선에너지 천이.

Table 10. Visible energy transition in Xe gas.

	Wavelength (nm)	Energy transition
1	467.12 nm	( <sup>3</sup> p <sub>8</sub> → s <sub>5</sub> )
2	480.70 nm	( <sup>3</sup> p <sub>5</sub> → s <sub>4</sub> )
3	491.65 nm	( <sup>2</sup> p <sub>4</sub> → s <sub>4</sub> )
4	688.22 nm	( <sup>3</sup> d <sub>6</sub> → p <sub>8</sub> )
5	711.96 nm	( <sup>3</sup> d <sub>7</sub> → p <sub>8</sub> )
6	788.74 nm	( <sup>2</sup> p <sub>1</sub> → s <sub>2</sub> )
7	796.73 nm	( <sup>3</sup> p <sub>7</sub> → s <sub>3</sub> )

480.70 nm, 491.65 nm의 파장을 나타냄을 확인하였으며 Xe 75 %일 때는 Ne이나 He의 작용이 적어 Xe 100 %일 때와 거의 동일함을 확인하였다. 이것은 Xe 가스의 이온화 방출 에너지가 Ne, He 가스를 여기 시키기에 충분하지 않기 때문으로 사료된다.

그림 10는 Xe 50 %일 때 Xe-Ne-He 혼합가스의 혼합비에 따른 스펙트럼 특성을 나타낸 것이다. 그림 8과는 달리 Ne : He = 10 : 0일 때 467.12 nm, 480.70 nm, 491.65 nm의 파장이 Xe 100 %와 비교

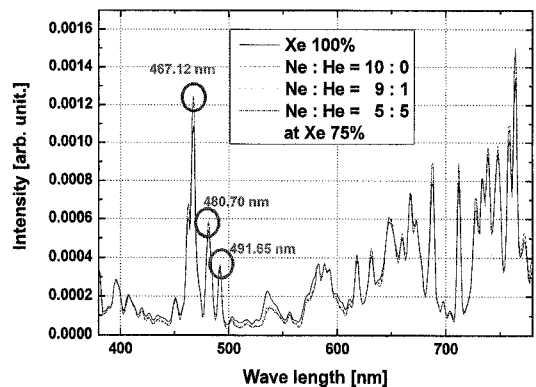


그림 9. 혼합가스에 따른 스펙트럼 특성(Xe 75 %).  
Fig. 9. The spectrum properties with mixture gas(Xe 75 %).

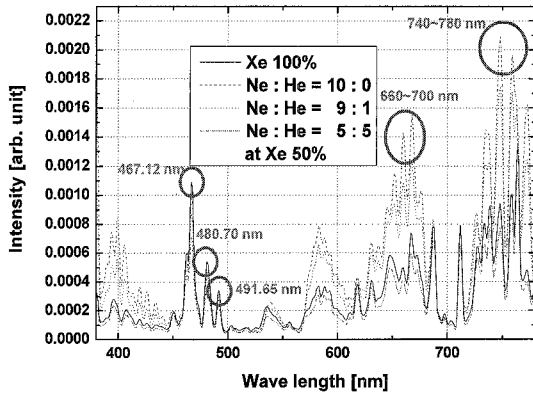


그림 10. 혼합가스에 따른 스펙트럼 특성(Xe 50 %).  
 Fig. 10. The spectrum properties by mixture gas(Xe 50 %).

해 낮아짐을 확인하였고 Ne : He = 9 : 1에서는 Xe 100 %와 비교해 거의 동일함을 확인하였다. 또한 이 때 660~700 nm대의 파장과 740~780 nm대의 파장도 증가함을 확인하였는데 이는 Xe의 스펙트럼특성과 Ne, He의 스펙트럼 특성이 동시에 나타남을 확인하였다. 즉, Xe 가스에 의해 발생하는 에너지가 Ne, He 가스를 이온화 시키기에 충분한 양이기 때문으로 사료된다.

그림 11은 Xe 30 %일 때 Xe-Ne-He 혼합가스의 혼합비에 따른 스펙트럼 특성을 나타낸 것이다. 그림 9, 그림 10과는 달리 467.12 nm, 480.70 nm, 491.65 nm의 파장이 전체적으로 낮아짐을 확인하였다. 특히 Ne 가스의 스펙트럼 특성이 강함을 확인하였다. 또한 Ne : He = 5 : 5의 혼합비에서는 전체적으로 스펙트럼이 다른 혼합비에 비해 약함을 확인하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 수은대체용 Xe EEFL 혼합가스의 방전 특성을 파악하기 위해 램프를 설계하였다. 또한 램프의 효율을 개선하기 위하여 혼합가스를 사용하여 플라즈마현상을 분석하였다. Xe 100 %의 조건에서 램프를 제작하여 각각의 조건에서 전기적 특성과 광학적 특성을 분석하였다. 또한 Ne, He의 혼합비와 압력에 따른 방전특성을 분석하였다. 최적 방전조건에서의 페닝 효과를 확인하였고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

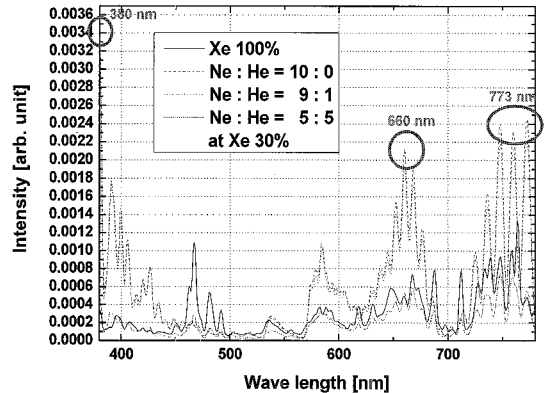


그림 11. 혼합가스에 따른 스펙트럼 특성(Xe 30 %).  
 Fig. 11. The spectrum properties with mixture gas(Xe 30 %).

1) 순수 Xe 가스를 사용한 램프와 비교하여 Ne, He의 혼합비가 증가할수록 불꽃 전압이 증가하였다. 이것은 방전관 내의 이온화 에너지가 높아졌음을 의미한다. 또한 크기가 작은 중성기체의 수가 증가하여 전계에 의한 전자가속은 감소한다. 그리고, 충돌 횟수는 증가하지만 충돌에 의한 에너지 방출의 양이 적어진 것으로 사료된다. 이것은 불꽃 전압의 상승을 가져오게 된다. 하지만, Xe 50 %, Ne : He = 9 : 1의 혼합비(0.5 Torr조건)에서는 1.02 kV에서 0.60 kV로 불꽃 전압이 감소하였다. 이것은 여기된 Ne, He의 준안정 상태의 에너지가 Xe의 이온화 에너지보다 약간 높은 값을 가질 때, 긴 수명을 가지는 준안정 상태의 에너지가 Xe의 이온화를 활성화 시켜 각각의 이온화가 활발해진다. 그리하여 생성되는 하전입자의 증가는 불꽃 전압을 감소시킨 것으로 사료된다.

2) 스펙트럼 특성에서, Xe 100 %, Xe 75 %는 각 혼합비별로 동일한 스펙트럼 특성을 확인하였으며 Xe 30 %의 경우에는 Ne-He 방전의 특성인 660~700 nm, 740~780 nm 파장이 강해짐을 확인하였다. 또한 Xe 50 %에서는 Xe 방전과 Ne-He 방전의 스펙트럼이 동시에 나타났다. 이러한 결과를 통해 향후 형광체의 개발이 필요하며, 광효율을 증가시킬 수 있을 것으로 사료된다. 이것은 Xe 50 %, Ne : He = 9 : 1의 조건에서 페닝 효과가 활발하게 진행되어 이온화 에너지가 높은 Ne, He의 이온화가 다른 조건에 비해 활발하게 진행되는 것으로 사료된다.

본 연구를 통해 Xe 50 %, Ne : He = 9 : 1의 조건에서 불꽃 전압이 가장 낮고, 벽전하 특성과 캐패시턴스 특성이 높은 것으로 확인하였다. 또한 Ne-He 방전 스펙트럼이 혼합됨을 확인하였다. 결론적으로 수은 대체 및 성능개선을 위한 EEFL의 연구에서 혼합가스의 혼합비와 압력이 큰 영향을 주는 것으로 확인하였다.

### 감사의 글

본 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업(I-2004-0-074-0-00)의 지원, Post BK21의 지원을 받아 이루어진 논문입니다. 이번 연구를 지원해 주신 분들에게 감사의 말씀을 드립니다.

### 참고 문헌

[1] J. R. Coaton and A. M. Marsden, "Lamps and Lighting", Arnold and Contributors, 1997.

[2] G. S. Cho, J. Y. Lee, D. H. Lee, J. H. Koo, E. H. Choi, B. S. Kim, S. H. Lee, M. S. Pak, J. G. Kang, and J. P. Verboncoeur, "Pinhole formation in capacitively coupled external electrode fluorescent lamps", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 37, p. 2863, 2004.

[3] 권남옥, 김영미, 김성중, 조태승, 최은하, 조광섭, 김봉수, 천창호, 강준길, "외관전극 형광램프 백라이트의 자기방전 동기화 구동", 새물리, 46권, p. 277, 2003.

[4] 조태승, 김영미, 권남옥, 김성중, 강준길, 최은하, 조광섭, "외관전극 형광램프의 전극 길이 효과", 새물리, 44권, p. 42, 2002.

[5] 이태일, "무전극 LCD 백라이트를 위한 유도-용량형 제논 방전 특성 연구", 연세대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2002.

[6] 임성규, 이휘철, "무수은 냉음극 형광램프의 제작 및 특성 분석", 신소재연구논문집, 10권, p. 53, 2001.

[7] 조성구, "LCD 백라이트를 위한 멀티램프 구동용 압전 인버터 설계", 전남대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2005.

[8] 이희홍, "EEFL 구동용 인버터 설계 및 출력 특성 분석", 건국대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2003.

[9] Y.-H. Kim, M.-S. Cha, W.-H. Shin, and

Y.-H. Song, "Characteristics of dielectric barrier glow discharges with a low-frequency generator in nitrogen", Journal of the Korean Physical Society, Vol. 43, p. 732, 2003.

[10] K. Rajaraman and M. J. Kushner, "A Monte Carlo simulation of radiation trapping in electrodeless gas discharge lamps", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 37, No. 13, p. 1780, 2004.

[11] J. V. Dijk, B. Hartgers, J. Jonkers, and J. V. D. Mullen, "A collisional radiative model for mercury in high-current discharges", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 33, p. 2798, 2000.

[12] J. M. Depond, "High voltage, mercury-free fluorescent lamps with cold cathodes: state of art and future developments", Industry Applications Conference 2000, Conference Record of the 2000 IEEE, Vol. 5, p. 3322, 2000.

[13] M. Born, "Physics of mercury-free high-pressure discharge lamps", Plasma sources science & technology, Vol. 11, No. 3, p. A55, 2002.

[14] T. Shiga and S. Mikoshiba, "Monte Carlo simulation of imprisonment of Xe resonant photons and luminous efficiency considerations of colour plasma displays", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 37, p. 1221, 2004.

[15] T. Shiga, S. Mikoshiba, J. H. Ko, K. Y. Lee, S. H. Cho, and H. T. Choi, "Lateral Multi-Channel Flat Discharge Fluorescent Lamp for LC-TV Backlight", SID 04 DIGEST, 47: 3, p. 1330, 2004.

[16] J. Kawanaka, A. Ogata, S. Kubodera, W. Sasaki, and K. Kurosawa, "Improved output characteristics of a vacuum ultraviolet xenon gas jet discharge lamp with amagnetic field", Appl. Phys. B, Vol. 65, p. 609, 1997.

[17] 박문필, "AC Plasma Display Panel의 페닝 방전가스 혼합비 변화에 따른 방전특성 연구", 중앙대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2001.

[18] 강인목, "LCD용 무수은 형광램프의 개발 및 광학적 특성조사", 경북대학교 대학원 석사학위 청구논문, 2005.

[19] 양중경, "평판 광원을 위한 DBD의 전기적 / 광학적 특성에 관한 연구", 원광대학교 석사학위 청구논문, 2005.