

新光源의 技術開發動向

朴 大 熙 (圓光大學 電氣工學部)
 青野 正明 (愛媛大學 電氣電子工學科)

1. 서 론

전기를 이용하는 광원은 에디슨이 1879년에 탄소전구를 발명한 후에 눈부시게 발전과 진보를 해오고 있다. 초기의 개발단계에 있어서는 긴수명, 고효율화의 연구가 대부분 이었다. 이와같은 연구는 현재에도 중요한 과제이며, 보다 쾌적한 생활공간 혹은 조명효과를 얻기 위해서는 연색성이나 램프의 발광색도 중요한 과제로 되어 있다. 새로운 광원의 동향을 최근에 보고된 논문을 중심으로 요약한다. 기술동향으로서는 종래의 광원재료의 개선과 함께 새로운 재료의 도입, 광원의 형상의 개선, 발광색의 제어, 더욱이 전극을 사용하지 않는 새로운 점등방식의 램프에 관한 연구 등이 있다.

2. 램프의 종류

발광원리는 온도방사와 루미네센스로 구분된다. 광원에 이용되어지는 루미네센스는 주로 전기루미네센스(방전발광)와 Photo루미네센스(형광

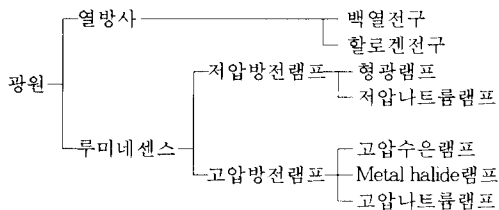


그림 1. 일반 조명용램프
 Fig. 1. The lamps for general illuminating purposes

체발광)가 있다. 일반적으로 램프용 형광체는 자외선에 의해서 여기 되어지므로 Photo루미네센스에도 방전이 이용되어진다. 따라서, 램프는 크게 백열전구와 방전램프의 2종류로 분류할 수 있다. 현재 사용되고 있는 대표적인 일반조명용 램프를 그림 1에 나타냈다.

방전램프의 개발연구항목을 아래와 같이 분류하여 설명한다.

- (1) 램프재료에 관한 것
 - (a) 방전관
 - (b) 봉입가스
 - (c) 형광체
- (2) Compact형광램프의 형상에 관한 것
- (3) 무전극방전램프
- (4) 가변색방전램프에 관한 것

3. 광원의 개발 · 연구의 동향

3.1 재료

3.1.1 발광관

현재, 고압나트륨램프외에 HID램프 즉 고압수은램프나 메탈할라이드램프에서는 발광관에 석영관을 사용하고 있다. 그러나, 고온의 석영은 나트륨이나 금속할로겐화물에 의해서 부식한다. 최근 광의 투과율이 높고, 나트륨이나 고온의 금속증기와 반응하지 않는 세라믹이 개발되어져 이것을 메탈할라이드램프의 발광관에 이용되도록 연구가 되고 있다. 메탈할라이드램프의 온도를 높게 하면, 그림 2에 나타난 바와같이 연색성이 좋게 되고, 색의 변동이 작게 되는 것만이 아니고¹⁾,

효율도 향상한다. 세라믹을 사용하면 석영관에는 봉입 할 수 없는 리튬 등의 금속을 봉입하는 것도 가능하여, 한층 효율과 연색성의 개선이 기대되어진다. 또한, 발광관의 형상을 임의로 만들 수 있는 장점도 있다.

세라믹을 발광관에 사용할 때 최대의 과제는 도입선의 봉착에 있다. 봉입부에 세멘트를 사용

한 보고²⁾가 있으나, 도전성의 백금필름을 사용한 보고도 있다³⁾. 백금필름을 사용하면 외관에 의한 광의 손실이 없어지고, 효율이 약 7% 상승한다. 도입선부가 고온으로 되어 Frit와 할로겐화금속이나 도입선과 반응하지 않도록 그림 3과 같이 도입선부를 가늘고 길게 도출한 구조로 되어 있다.

Sc·Na·I봉입 발광관에서는 ScI₃와 세라믹내의 Al₂O₃가 반응하여 Sc가 소모된다.³⁾ 이 문제를 해결하기 위해서는 봉입물과 관형상의 개선이 필요하다.

3.1.2 봉입가스

(a) 유황

유황의 분광분포는 그림 4와 같이 연속스펙트럼이다. 유황은 전극의 텅스텐을 부식시키므로 전극이 있는 방전관에는 봉입할 수 없다. 따라서 마이크로파에 의한 방전관의 점등은 고효율, 장기수명, 고연색성, 고색온도, 고광속유지율 등 우수한 성능을 가지고 있다. 마이크로파 전력이 825(W)의 램프효율은 160(lm/W)(마이크로파전력)로 높고, 평균연색 평가수는 79이다. 단, 상용 주파전력의 마이크로파로의 변환효율이 낮기 때문에 총합효율은 97(lm/W)이다⁴⁾. 최적 주파수는 100(MHz)에서 1,000(MHz)의 범위이다.

6(W)의 소전력 Type도 보고되고 있다⁵⁾. 이 램프에서는 유황외에 알콘을 봉입하므로, 방전과괴전계를 60~100(V/cm)으로 낮추는데 성공하였다. 더욱이 유황은 환경에 우수한 재료인 것도 빠뜨릴 수 없는 장점이다.

(b) 무수은고압나트륨램프

고압나트륨램프에는 일반적으로 Na·Hg·Xe

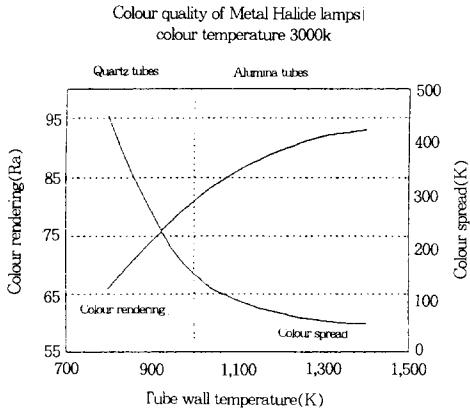


그림 2. Metal halide lamp의 발광색특성¹⁾
Fig. 2. Color quality of metal halide lamps¹⁾

표 1. 세라믹 Metal halide lamp의 특성²⁾

Table 1. Characteristics of ceramic metal halide lamps²⁾

Sort of additives	Color temperature(K)	Ra	Luminous flux(lm)	Luminous efficiency
Dy-Tl-Li-I-Hg	4,800	93	13,000	86.7
In-Tl-Li-I-Hg	5,400	87	9,200	61.3
Dy-Tl-I-Hg	4,000	88	14,300	95.3
Sc-Na-I-Hg	3,300	80	16,000	106.7

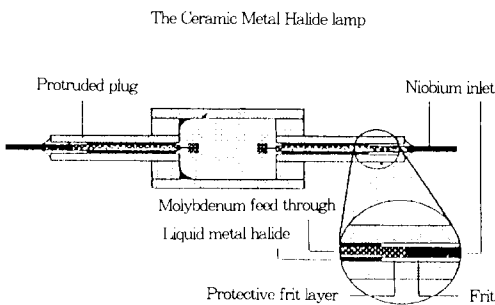


그림 3. 세라믹 Metal halide lamp
Fig. 3. The ceramic metal halide lamps¹⁾

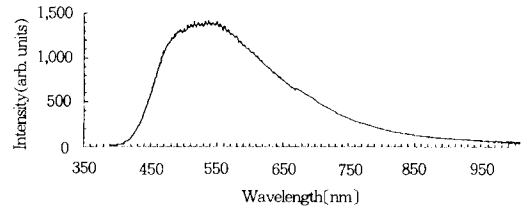


그림 4. 硫黃스펙트럼강도분포⁴⁾
Fig. 4. Sulfur spectral power distribution⁴⁾

이 봉입되어지고 있다⁶⁾. Xe의 압력을 높게하여 수은을 제거하면, 효율은 저하하지 않으나, 연색성이 저하한다. 표준의 고압 나트륨램프의 중심부의 플라즈마온도는 약 4,000[K]이고, 연색평가수는 약 20, 색온도는 약 2,000[K]이다. Na의 증기압을 높게하여 D선의 자기흡수를 증가시키면 연색성이 개선되어진다. 그러나, 발광관의 내열한계에서 온도가 제한이 있고, 색온도는 대략 2,500[K]정도밖에 되지 않는다. 발광관의 열관성은 플라즈마의 열관성보다 10,000배 크므로, 평균전력을 일정하게하여 폭 좁은 펄스방전을 시키면, 발광관의 온도를 상승시키지 않고 플라즈마 온도를 높게 할 수 있다. 평균 전력이 70[W]의 경우, 50[Hz]의 정현파로 점등 시킬때의 발광관의 중심부에 있어서 온도를 그림 5에 나타냈다. 펄스점등에서는 1,500[K]이고, 이것은 정현파점등의 때보다 120[K]낮다. 즉 펄스 점등의 70[W]는 정현파 점등의 90[W]이상에 상당한다.⁷⁾

펄스폭, 높이, 반복주파수 및 방전유지전류를 제어하는 것에 의해 광출력과 연색성을 변화시키지 않고, 색온도를 2,700[K]에서 3,000[K]까지 변화시킬 수 있다.

3.1.3 형광체

적색형광체에 BAM($BaMg_2Al_{16}O_{27} : Eu^{2+}$), 적색형광체에 $Y_2O_3 : Eu$, 녹색형광체에 $(Ce, Tb)MgAl_{11}O_{19}$ 를 사용하는 3과장역 형광램프에는 BAM에 Mn^{2+} 를 가하면 평균연색평가수 Ra가 높아진다는 보고가 있다.⁹⁾ 그래서, $(Ba, Eu) : Mg : Al$ 의 비율

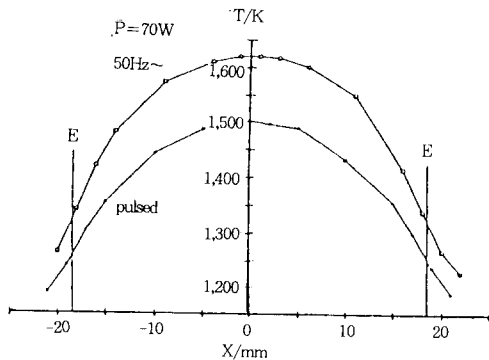


그림 5. 고압나트륨램프의 관벽온도⁷⁾
Fig. 5. Tube wall temperatures of HPS lamps⁷⁾

변화시키는 시도를 하고 있다. 그러나, $BaMg_2Al_{16}O_{27}$ 을 가열하면 제2상에 $MgAl_2O_4$ 와 Al_2O_3 가 생성되어져 $BaMgAl_{10}O_{17}$ 로 되고, Ba^{2+} , Sr^{2+} , Eu^{2+} , Mn^{2+} 의 최적비를 구할 수 없었다. 그래서 제2상이 생성되지 않도록 $Ba_{1-x}Sr_xEu_yMg_{1-x}M_2Al_{10}O_{17}$ 의 Sr^{2+} 와 Eu^{2+} 를 증가시키면, 특히 Sr^{2+} 를 증가시키면, 효율이 그다지 저감하지 않고 Ra를 88에서 90까지 상승시킬 수 있다.¹⁰⁾

적색형광체 $Y_2O_3 : Eu$ 는 평균연색평가수 Ra는 높으나, 특수연색 평가수 R_9 (적색)은 30으로 낮다. 그래서 같은 분자구조를 갖는 적색형광체의 분말로 시험을 하면, 적색형광체의 Cubic $Gd_2O_3 : Eu$ 와 같은 스펙트럼분포를 갖는다. $Y_2O_3 : Pr$ 과 $La_2O_3 : Eu$ 는 효율이 낮고, 더욱이 $La_2O_3S : Eu$ 는 흡습성이 높다는 결점도 있다. $Y_2O_3 : Eu$ 는 CRT에 사용되고 있고 254[nm]에서 효율 좋게 여기되어지나, 흑화가 심하다. $Y_2O_3 : Eu$ 를 monoclinic $Gd_2O_3 : Eu$ 로 치환시킨 3과장역 형광램프는 표 2에 나타낸바와 같이 Ra는 84로 변하지 않고, R_9 는 27에서 92로 증가한다. 그러나, 발광효율은 약 80[%] 저하한다. 따라서, 이 램프는 식물, 관상 식물, 관상어 등의 조명에 적합하다.

표 2. 혼합형광체를 도포한 램프의 특성¹¹⁾
Table 2. Characteristics of blend-coated lamps(18W T9, 5000K)¹¹⁾

Phosphor ratio (%)				Relative Efficacy	Ra	R9
SCA	LAP	YO	GDO			
28	32	40	0	100	84	27
25	29	23	23	90	85	63
23	26	0	51	79	84	92

SCA : $(Sr, Ca, Ba)_3(PO_4)_2Cl : Eu$
LAP : $(La, Ce, Tb)PO_4$
YO : $Y_2O_3 : Eu$
GDO : Monoclinic $Gd_2O_3 : Eu$

3.2 Compact형광램프

Compact형광램프는 U자형에서, double U자형(quad), 더욱이 triple U자형으로 형상이 보다 소형화되어 왔다.¹²⁾¹³⁾ 그림 6에 나타낸 바와 같이 발광관을 헤리칼형으로 구부려 크기가 같은 와트수의 백열전구와 거의 같은 컴팩트형광램프가 있다.¹⁴⁾ 종래의 컴팩트형광 램프에 비해서 길이가

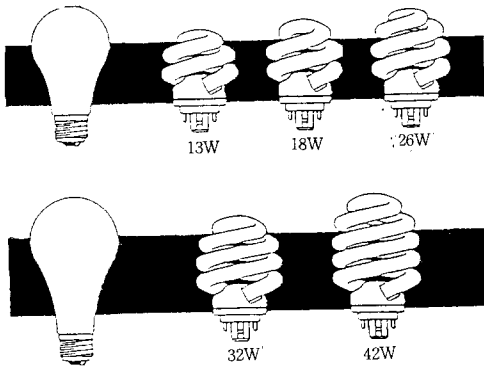


그림 6. 나선형 컴팩트 형광램프(HELIAIX)¹⁴⁾
 Fig. 6. Current HELIAIX helica plug-in compact fluorescent lamps¹⁴⁾

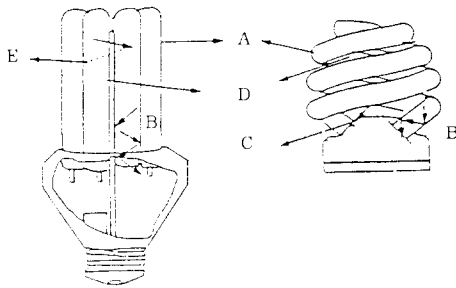


그림 7. 컴팩트형광램프의 광통로. (A)형광체면에서의 광, (B)관내부에서 반사를 반복하여 최종적으로 관단에서 소멸되어지는 광, (C)램프가 붙어있는 용기를 넘어가는 광, (D)근접관의 공극을 빠져나가는 광, (E)반사층의 형광체막을 투과하여가는 광¹⁴⁾
 Fig. 7. Schematic showing light radiated by a CFL including (A)light radiated from outer phosphor coated surface, (B)light generated on the inside of the tube which is multiply reflected and light-piped toward the tubing, (C)light bouncing off the base of the lamp, (D)light radiated into the interior of the lamp which escapes through open areas in the lamp and (E)the same but transmitted through other phosphor coated tubus.¹⁴⁾

약 1/3로 되고, 또한 수평배광곡선이 원이 되고, 그림 7에 나타낸바와 같이 U자형보다 광의 손실이 작고, 기계적으로 견고하다.

3.3 무전극방전램프

점등중의 전극은 고온이 되기 때문에 전극에서의 산화물의 소모, Shatter에 의한 관벽의 흑화 및 관내에서 봉입물과의 반응에 의한 전극재료의

부식, 가스순도의 저하 등에 의해 램프의 수명이 단축되고, 광속 유지율도 저하한다. 따라서 전극을 사용하지 않는 무전극방전관이 주목 되어지고 있다. 현재 시도되어지고 있는 무전극방전램프는 방전방법에 따라, 유도결합형방전, 마이크로파방전 및 배리어방전의 3종류로 분류할 수 있다.

사용주파수는 유도결합형 방전이 수100(kHz)~수100(MHz), 마이크로파방전이 수100(MHz)이상, 배리어방전에서는 수10(kHz)~수100(kHz)이다. 무전극방전램프는 수명이 길 뿐만이 아니고, 종래 전극재료와 반응하기 때문에 사용할 수 없었던 가스를 발광관내에 봉입하는 것도 가능하여 가스의 선택 폭이 넓다.

3.3.1 유도결합형방전램프

유도결합형방전램프는 그림 8과 같이 변압기의 전자유도원리에 의해 1차측의 코일에서 2차측의 플라즈마로 전력이 공급되어져 점등한다.

최초로 실용화되어진 에버라이트(松下電工)¹⁵⁾는 그림 9에 나타낸바와 같이 발광관의 외측에 1차코일을 감아서 코일의 내측에 플라즈마를 발생시킨다. 그후 개발되어진 Genura(GE)¹⁶⁾이나 QL램프(Philips)¹⁷⁾는 각각 그림 10과 11에 나타낸 바와같이 원주형의 페라이트 코일에 감은 1차코일의 외측에 플라즈마를 발생시킨다. 시동은 1차코일의 권선간에 발생하는 코일축 방향의 전계에 의한 방전(E방전)에 의해서 이루어진다. 점호가 시작되어 전류밀도가 증가하면 코일의 주변에 과전류가 흘러 정상방전(H방전)으로 된다. 점등주파수는 발광효율의 점에서 1.5(MHz)이상이 필요하고, 유럽에서는 EMI의 제약으로 2(MHz)~3

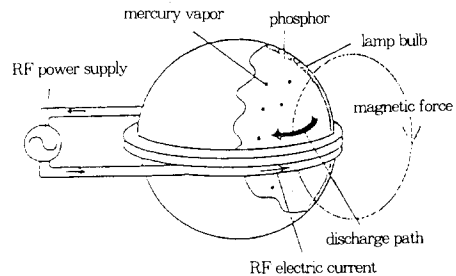


그림 8. 유도결합형 방전램프의 개념도¹⁵⁾
 Fig. 8. Conceptual sketch of inductively coupled discharge lamp¹⁵⁾

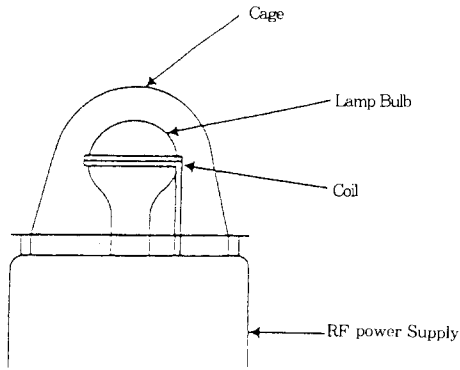


그림 9. 에버라이트¹⁵⁾
Fig. 9. Everlight¹⁵⁾

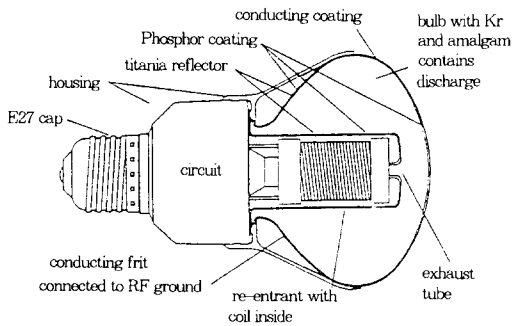
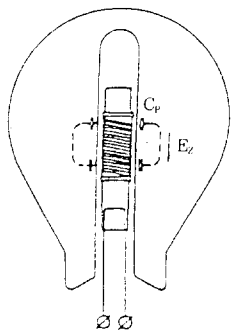


그림 10. 반사형램프(Genura)의 Bulb, Coating, 여기코일¹⁶⁾
Fig. 10. Showing the bulb, coatings and exciter coil for the Genura reflector lamps¹⁶⁾



Capacitive pradischarge by axial electric field E_z

그림 11. 유도코일의 축방향 용량성방전¹⁷⁾
Fig. 11. Schematic view of the capacitive discharge E_z along the induction coil¹⁷⁾ (over parasitic capacitances C_p)

[MHz]으로만 한다. 그래서, Genura에서는 2.5 [MHz]를, QL램프에서는 2.65[MHz]를 채용하고 있다. 에버라이트의 점등주파수는 13.56[MHz]이다. 에버라이트와 QL램프에서는 Hg와 Ar을 봉입하고, Genura에서는 Hg와 Kr을 봉입하고 있다. Genura의 정격은 전력은 23[W], 광속은 1, 100[lm], 발광효율은 48[lm/W], 수명은 10,000시간, 연색평가수는 82이다.

3.3.2 마이크로파방전램프

마이크로파방전램프는 마이크로파발전부, 도파관, 마이크로파 결합안테나 및 램프를 포함하는 공진기로 구성되어져 있다. 이 램프는 표피효과에 의해 표면부근을 선택적으로 여기시켜 발광이 얻어진다. 또한 직경을 작게하는 것은 고휘도화가 용이하다. 마이크로파방전은 여기수명이 대단히 짧은 엑시머광을 얻는데 용이하기 때문에 엑시머 램프에 이용되어진다. 그림 12에 엑시머

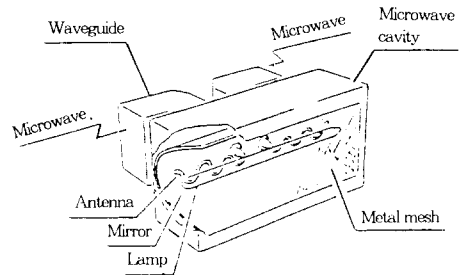


그림 12. Micro wave 방전에 의해서 여기 되어진 XeCl엑시머 램프¹⁸⁾
Fig. 12. Schematic of XeCl excimer lamp house pumped by microwave discharge¹⁸⁾

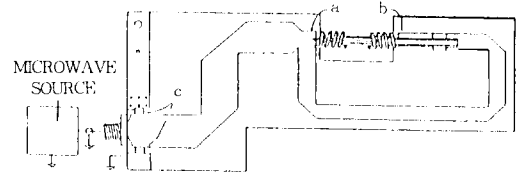


그림 13. 25(W), 915(MHz)의 E방전 HID램프. 기판은 1 oz의 동을 혼합한 PTFE Fiberglass, 나선상 전계인가장치는 직경 0.5(mm)의 니켈선을 감고 있다.¹⁹⁾
Fig. 13. Power applicator for 25(W) EHID lamp at 915 [MHz]. The substrate is 0.06" thick PTFE fiberglass with 1 oz, copper traces. The helical field applicators are wound from 0.020" (0.5[mm]) diameter nickel wire.¹⁹⁾

램프의 구조를 나타낸 것이다.¹⁸⁾

그림 13에 나타낸바와 같이 Na·Sc·I·Hg·Ar을 봉입한 50(W)의 메탈헬라이드도 보고되고 있다.¹⁹⁾ 이 램프에는 냉각장치가 필요치 않다. 발광효율은 100(lm/W)(마이크로파전력)으로 높으며, 평균연색평가수도 유전극메탈헬라이드의 65에 대하여 85로 높다. 마이크로파 전력에 대한 발광 효율은 높으나, 상용주파전력에서 마이크로파전력으로의 변환효율이 낮기때문에 결합효율은 낮다. 정상방전에 달하기 까지의 시동시간은 약 5초 유전극메탈하이라이드 램프의 수분에 비하여 대단히 짧다. 실용화를 위한 가장 큰 과제는 마이크로파 전력으로의 변환효율의 향상에 있다.

3.3.3 Barrier방전램프

Barrier방전은 방전램프의 전극간에 적어도 1개의 유전체를 넣고 방전을 일으킨다. 그림 14와 같이 양방의 전극표면에 유전체(glass)를 배치한 램프로 방전원리를 설명한다. 전극간에 인가한 전압은 2장의 glass를 통하여 방전공간에 가한다. 방전공간에 인가되어진 전압이 방전과피전압을 넘으면 방전이 시작한다. 그러나, 방전로내에서는 유전체가 있기 때문에 방전이 지속되지 않고 순간적으로 소멸된다. 더욱이 방전로(필라멘트)는 공간내에서 넓어지지 않는다. 그러나, 이와같이 대단히 미세한 필라멘트가 다수 발생하여, 방전공간 전면이 발광하는 것과 같이 보인다. 1개의 필라멘트의 방전시간이 대단히 짧으므로 엑시머 광을 발생시키는데 좋다.

Xe, Ar, XeCl, KrCl를 이용하는 엑시머 램프가 개발되어져 있다.²⁰⁾ 이들은 UV광원 혹은 VUV광원으로서 이용되어지고 있다. 전계를 E, 가스압력을 P라 할때, 엑시머의 발광 효율은 E/P의 어

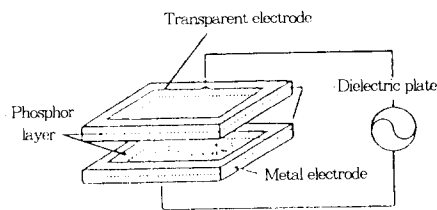


그림 14. 평판형 형광램프²¹⁾
Fig. 14. Schematic view of the flat fluorescent lamp²¹⁾

느 값에서 최대로 된다. 이 이유는 E/P가 작을 때는 엑시머를 만들 수 없으며, 역으로 너무 크면 여기원자나 이온이 많아져 엑시머가 만들어지지 않는다.

Glass표면에 형광체를 도포하고, 한면의 전극을 투명전극(ITO)으로 하여, Xe 혹은 Xe와 Ne의 혼합기체를 봉입한 평면형광램프도 보고되고 있다.(그림 14)²¹⁾ 휘도는 전극전면에 걸쳐서 있는 상태이다. 18(kHz)의 펄스점동 주파수에서 발광효율은 27(lm/W)이다.

3.4 가변색방전램프

현재 연구가 진행되고 있는 가변색 방전램프는 변색방식에 따라서 (a) 양광주의 분광분포를 전자적으로 제어하는 방식 (b) 형광체의 after glow를 제어하는 방식 (c) 양광주와 부glow의 발광색의 다름을 이용하는 방식의 3종류가 있다.

3.4.1 양광주의 분포를 전자적으로 제어하는 방식

플라즈마중의 전자의 에너지분포를 변화시키는 것에 의해서 원자나 분자가 여기되어지는 준위를 제어할 수 있다. Hg·Ne 봉입램프를 전류의 파형을 부드럽게, 펄스폭을 넓게, 반복주파수를 높게, 전류를 작게하여 방전시키면, 양광주가 Hg의 청백색으로 발광하고, 파라미터를 역으로

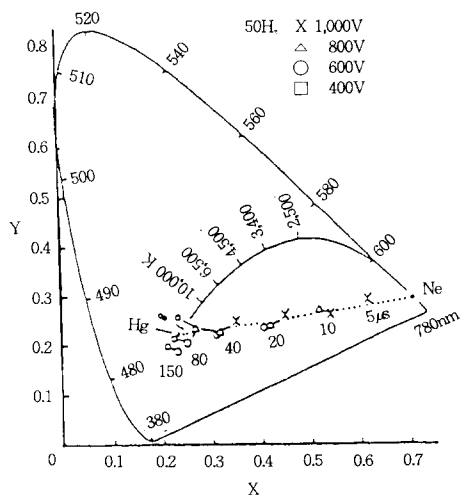


그림 15. Hg-Ne 방전램프의 발광색²²⁾
Fig. 15. CIE chromaticity diagram for luminous color in the Hg-Ne lamp²²⁾

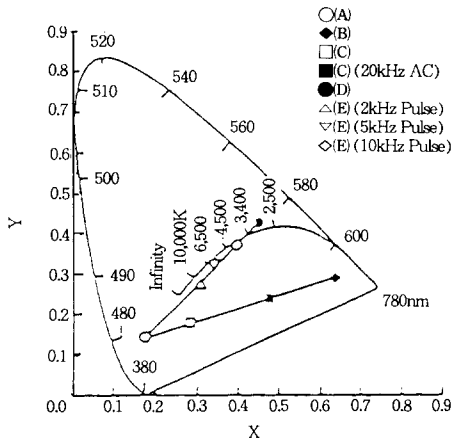
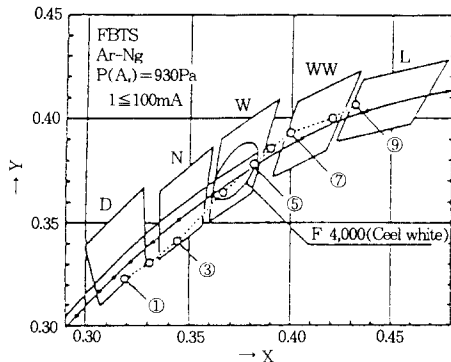


그림 16. 가변색형광램프의 발광색²³⁾
 Fig. 16. The colors of fluorescent lamps on CIE chromaticity diagram²³⁾

변화시키면 Ne의 적색이 강하게 발광한다.(그림 15)²²⁾ 이 양광주의 분광분포제어법에 의해서 Hg·Xe혼합기체의 Hg와 Xe의 방사강도의 비율을 변화시켜, Hg용 형광체와 Xe용 형광체를 선택적



No.	Duty factor D (%)	Color temp. T(K)	olor difference Δ_{uv}	Classification JIS Z-9112
①	50.0	6280	-0.0032	D
②	33.3	5620	-0.0050	—
③	25.0	5010	-0.0046	N
④	16.7	4330	-0.0013	W
⑤	12.5	3980	+0.0005	W
⑥	10.0	3630	+0.0018	—
⑦	8.3	3650	+0.0023	WW
⑧	6.3	3280	+0.0020	WW-
⑨	3.1	3110	+0.0024	L

$\Delta T = 3170K$

그림 17. 저압 Ar·Hg봉입 형광램프의 Duty비 변화에 의한 발광색²⁴⁾
 Fig. 17. Chromaticity diagram showing the effect of change in duty factor for a low pressure Ar-Hg discharge lamp²⁴⁾

으로 여기시키면, 그림 16과같이 형광램프의 발광색을 제어할 수 있다. 교류에서 점등하면 전자의 에너지가 낮은 것으로 교류점등도 겸용할 수 있다.

3.4.2 형광체의 after glow를 이용하는 방식

일반 조명용 형광램프의 주광색에서 전구식까지의 색변화는 녹색성분을 거의 변화시키지 않고, 청색성분과 적색성분을 변화시키는 것에 의해서 얻어진다. 청색형광체의 after glow는 단시간에 소멸하나, Mn²⁺를 첨가한 적색형광체의 after glow는 수10ms도 지속한다. 그래서 펄스의 반복주파수를 변화시키면 적색의 발광강도가 변화하여, 형광램프의 발광색이 그림 17과 같이 변한다.²⁴⁾

3.4.3 양광주와 부glow의 발광색의 차이를 이용한 방식

전자의 에너지는 양광주에서는 낮고, 부glow에서는 높다. 그림 18과 같이 방전관에서는 관내부의 양단과 외부의 양측에 전극을 설치한다. 외부전극은 투명(ITO)하다. 이 방전관중에는 Ne·Xe 혼합기체를 봉입하여, 내부전극에서 점등하면 양광주에서는 Xe공조선의 발광이 강하고, 외부전극에서 점등시키면 관내벽에 Ne의 적색이 강한 부glow가 발생한다. 따라서 관축방향의 방전과 관경방향의 방전을 바꾸는 것에 의해서 발광색의 변화를 일으킬 수 있다. 3종류의 가변색 방전램프에 공통되는 최대의 문제는 휘도가 낮은 것으로 실용화에는 이것의 해결이 필수 불가결하다.

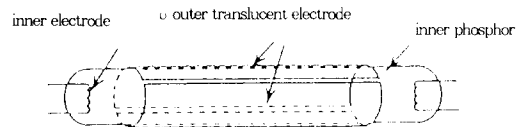


그림 18. 내부에 필라멘트전극, 외부에 투명전극을 설치한 가변색램프
 Fig. 18. Fluorescent lamp with inner filament electrodes and outer translucent electrodes

4. 맺는 말

램프산업에 있어서 환경문제는 향후에 큰 연구

과제로 취급될 것으로 예측되며, 램프의 개발·연구는 자원의 보존과 환경의 보호·보전에 대해서도 충분히 고려하지 않으면 안된다. 또한 국내의 램프산업은 전자기술분야에 비해서 다소 뒤져있는 분야로서 장래 신평원을 개발하기 위해서는 폭넓은 산·학·연의 기술교류 및 공동연구가 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) P.A. Seinen : High intensity discharge lamps with ceramic envelopes—a key technology for the lighting future, Proceedings of the 7th international symposium on the science & technology of light sources (LS7), (1995), 27, pp.101~109.
- 2) M.Ichise, H.Haraguthi, S. Yamazaki : Characteristics of ceramic metal-halide lamps and its new construction, *ibid*, 29, pp.113~114.
- 3) Y.Takeji, S.Taniguchi, S.Mori, Y.Hida, J.Honda, H.Takasu, H.Nagai and K.Hayashi : The characteristic improvement of the ceramic metal halide lamp, *ibid*, 93, pp.303~304.
- 4) B.T.Turner, M.G.Ury, K.A.MacLenman and Y.Leng : Progress in sulfur lamp technology, *ibid*, 35, pp.125~126.
- 5) A.N.Didenko, G.A.Lyakhov, K.F.Shipilov, E.A.Vinogradov : Low power microwave discharge in sulfur lamps, *ibid*, 36, pp.127~128.
- 6) R.Geens and E.Wyner : Progress in high pressure sodium lamp technology, IEE proceedings—A, 140, No.6, (1993), pp.450~464.
- 7) K. Gunther : Electronic Optimization of HID lamps, *ibid*, 26, pp.93~100.
- 8) F. Seric, H.Kaase : HPS-lamps without mercury in pulse-current operation, *ibid*, 24, pp.89~90.
- 9) J.M.P.J.Verstengen, K.Radelovic and L.E.Vreken : J. Electronchem.Soc., 121(1974), pp.1627.
- 10) T.Hisamune, M.Kijima, S.Fujino, Y.Oguri : The rise of Ra by improvement of blue alkaline earth alminate phosphor, *ibid*, 96, pp.309~310.
- 11) Y.Sakakibara, A.Taya, N.Matsuda, H.Takemura : Red emitting phosphors for three-band fluorescent lamps, 97, *ibid*, pp.311~310.
- 12) Dao Yu Fang and Shing He Song : Low power super compact fluorescent lamps with higher luminous efficacy, *ibid*, 10, pp.51~52.
- 13) J.J.deGroot and H.Houkes : Triple-U electronic compact fluorescent lamps with reduced harmonics, IESNA Annual conference(1993), page #27, pp.55~73.
- 14) T.F.Soules J.I.Bany, E.G.Steinbrenner and L.Kicher : Performance advantages of a herical compact fluorescent lamps, *ibid*, 14, pp.59~61.
- 15) M.Shinomiya, K.Kobayashi, M.Higashikawa, S.Ukegawa, J. Matsuura, and K.Tanigawa : Development of the electrodeless fluorescent lamp, J,IES(1991), winter, pp. 44~49.
- 16) D.O.Wharmby, S-A El-Hamamsy : Low power compact electrodeless lamps, *ibid*, 2, pp.27~36.
- 17) J.Schlejen : Inductively coupled fluorescent lamps : 'the QL lighting system', LS-6, (1992), 76, pp.307~315.
- 18) M.Obara : Recent progress of excimer radiatio-research, development and application, *ibid*, 43, pp.149~158.
- 19) W.P.Lapatovich : Novel microwave powered high intensity discharge lamps, *ibid*, 42, pp.139~148.
- 20) H.Sugawara, Y.Ohnishi, H.Matsuno, T.Igarashi and T. Hiramoto : Development of Ar, Kr Excimer Lamps using dielectric barrier discharge, *ibid*, 45, pp.161~162.
- 21) T.Urakabe, S.Harada, Y.Saikatsu and M.Kaino : A flat fluorescent lamp with Xe dielectric barrier discharges, *ibid*, 44, pp.159~160.
- 22) M.Aono, H.Kurokawa, M.Kubo and R.Itatani : Color control of luminous color of the discharge lamps, J.Light & Visual Environment, 13, (1989), pp.1~9.
- 23) M.Aono, M.Jinno, M.Kubo and R.Itatani : Color-control of fluorescent lamp, *ibid*, 20, pp.81~82.
- 24) S.Tanimizu and A.Kougami : Design consideration for color temperature variable fluorescent lamps, *ibid*, 21, pp. 82~84.

◇ 著 者 紹 介 ◇



박 대 희(朴大熙)

1954년 11월 10일생. 1979년 한양대학 전기공학과 졸업. 1985년~1989년 日本大阪大學 電氣電子工學部(工學博士). 1979년~1991년 LG전선연구소 근무. 1991년~현재 원광대학 전기공학부 조교수.



아노미 마사하루(安野 正明)

1963년 愛媛大學 電氣工學科 졸업. 1989년 京都大學 電氣工學部(工學博士). 1963년~현재 愛媛大學 電氣電子工學科 教授.