

# 三波長 狹帶域形 螢光램프

安 準 榮

〈大林工業專門大學〉

## 1. 삼파장역 형광램프

형광등이 출현한 후 반세기를 지난 오늘 날 다른 어느 광원보다도 에너지절약면을 위시하여 여러가지 좋은 특성을 가지고 있으므로 이를 뒤따를 수 없을 정도로 크게 보급되고 있지만, 이를 사용하는 측에서의 불만은 흐린 느낌을 주지 않는 산뜻한 조명을 원하고 있다. 이에 호응하기 위하여 선진제국들에서는 이미 상당한 각광을 받고 있는 삼파장협대역발광형 형광램프(三波長狹帶域發光形螢光램프. 일반적으로 약해서 삼파장램프라고 한다. 여기서도 이를 사용키로 한다.)가 개발되어 앞으로 많은 각광을 받을 것으로 본다.

이 삼파장형광램프는 파장폭이 좁은 청색, 녹색 및 적색 빛을 조합하여 효율이 높은 백색 빛을 얻는 램프로서 이에 대한 연구는 비교적 오래되어 1965년경부터 시작되었다. 1971년에는 Thornton은 시작론적연구에 의해서 450, 550, 610nm부근에서 발광하는 빛을 집중시켜 연색성을 떨어트리지 않고 램프의 효율( $lm/W$ )을 크게 향상시킬 수 있다는 것을 제안하였다<sup>1)</sup>. 이 제안은 HID램프(High Intensity Discharge Lamp)에서 실용화시킨 예는 있었으나 형광램프에서는 이를 실현시킬 만한 파장의 폭이 좁은 형광체가 개발되지 않았기 때문에 실용화에

이르지 못했다. 1974년에 이르러 Verstergen<sup>2)</sup>에 의해서 534nm에서 피크를 이루는 형광체(Ce, Tb) Mg Al<sub>11</sub> O<sub>19</sub>가 발표되면서부터 유럽과 일본을 중심으로하여 상품화되기 시작하여 급격하게 보급하여 현재에 이르렀다. 이 삼파장형광램프의 다음과 같은 특징을 들 수 있다.

## 2. 삼파장 형광램프의 특징

1) 가장 밝은 형광램프이다.

삼파장형 형광체를 사용하였으므로 같은 규격의 백색형광램프에 비해서 10%정도 밝다.

2) 밝다는 느낌이 뛰어나다.

같은 조도하에서도 일반형광램프에 비해서 약 40% 정도 밝게 느낀다.

3) 색상이 보다 자연적이며 아름답고 선명하게 보인다.

여러가지 물체의 색상이 더욱 아름답고 선명하게 보이게 되었으며 특히 얼굴색과 피부색이 자연스럽고 건강하게 보인다.

4) 산뜻하고 싱싱한 분위기를 만든다.

백색형광램프보다도 백색이 산뜻하게 물체가 분명하고 똑똑하게 보이기 때문에 방안의 분위기는 싱싱하고 생기가 있어 보인다.

5) 전기요금이 절약된다.

유리관경을 축소시킨 절전설계한 램프에서

동정중 광속감퇴율이 적고 또한 약3~5% 절전된다.

### 3. 협대역발광형 형광램프용 형광체

형광램프는 수은의 저압방전에 의한 공명선이다. 파장 254nm의 자외선을 관벽에 도포된 형광체에 의해서 가시광선으로 변환시켜 이 빛을 이용하는 광원이므로 형광체의 종류를 바꿈으로서 여러가지의 발광색을 낼 수 있다. 형광램프가 협대역발광인지 아닌지는 그것에 사용되는 형광체의 특성에 의해서 결정된다.

현재까지 일반조명용 형광램프에는 안티몬 망간불화 할로린산 칼슘  $3Ca_3(PO_4)_2 Ca(F, Cl)_2 : Sb^{3+}, Mn^{3+}$  형광체가 사용되고 있다. 이는

표 1. 狹帶域發光 螢光體特性

發光色	組 成	Peak 波長 nm	年 值 幅 nm	効 率 1m/W
靑	(Sr, Mg, Eu) <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	392	26	6
	(Sr, Eu) <sub>2</sub> P <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	421	29	7
	3(Sr, Eu) <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · CrCl <sub>2</sub>	445	32	9
	(Sr, Ca, Ba, Eu) <sub>10</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>4</sub> Cl · nB <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	452	42	26
	3(Sr, Eu) <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · CaCl <sub>2</sub>	453	42	21
	(Ba, Eu) Mg <sub>2</sub> Al <sub>14</sub> O <sub>27</sub>	454	55	20
綠	MgGa <sub>2</sub> O <sub>4</sub> : Mn	505	36	80
	(Ba, Eu, Mg, Mn) <sub>2</sub> Al <sub>16</sub> O <sub>27</sub>	515	29	92
	Zn <sub>2</sub> SiO <sub>4</sub> : Mn	525	45	109
	(Ce, Tb)MgAl <sub>11</sub> O <sub>19</sub>	543	10	125
	(Y, Ce, Tb) <sub>2</sub> SiO <sub>6</sub>	543	12	125
	(La, Ce, Tb)PO <sub>4</sub>	543	7	127
	(La, Ce, Tb) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 0.2 SiO <sub>2</sub> · 0.9 P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	543	9	132
赤	(Y, Eu) <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	611	5	77
	(Y, Eu) (PV) O <sub>4</sub>	620	5	49
	(Y, Eu) VSiO <sub>4</sub>	620	5	49
	3.5MgO · 0.5MgF <sub>2</sub> · GeO <sub>2</sub> : Mn	655	17	19
	Mg <sub>6</sub> As <sub>2</sub> O <sub>7</sub> : Mn	658	15	18

모체가 자원적으로 풍부한 원소를 사용하기 때문에 경제적이다. 이의 결점은 태양 빛의 스펙트럼에 비해서 적색부분의 발광이 적기 때문에 연색성이 나쁘다는 것이다. 따라서 표 1에서는 형광램프용으로서 실용화되고 있는 협대역발광형체의 주요한 것을 모은 것이다. 현재 삼파장 램프라 불리는 대부분은 이 표중에서 세종류의 형광체를 조합한 것으로서 그림 1에 삼파장 램프의 분광분포의 예를 나타낸 것이다.<sup>3)</sup> 그림 1에 나타낸 바와 같이 이상적인 파장부위에 파워가 효율적으로 분포되어 있으나 완전하게 집중된 것이 아니고 다른 파장역(波長域)에도 여러개소에 분포 되어 있는 형상으로 되어 있다. 이렇게 분산된 파워는 주로 회트류 녹색형광체(稀土類 綠色螢光體)의 세가지의 부발광(副發光) 때문에 일어난 것이다. 이 부발광의 피크파장 490nm a<sub>1</sub>, 585nm를 a<sub>2</sub>, 625nm를 a<sub>3</sub>라 하면 Thornton의 최적삼파장설에 따르면 이들 a<sub>1</sub>, a<sub>2</sub>, a<sub>3</sub>는 소용이 없어야 할 것이다. 그러나 파장이 짧은 측의 부발광 a<sub>1</sub>을 삭제하면 효율의 향상에 비해서 평균연색평가수 R<sub>a</sub>는 85에서 77이하로 크게 저하된다. a<sub>1</sub>의 분광에 의한 형상을 바꾸지 않고 피크파장을 440nm에서부터 520nm까지 변화시켰을 경우 a<sub>1</sub>의 피크파장이 490~500nm일 때 R<sub>a</sub>가 최대로 되어 이 피크는 연색성에 상당히 유효하게 작용하여 그림 1의 램프는 삼파장이라고 불리지만 실은 사파장램프라 말할 수 있다. 현재 삼

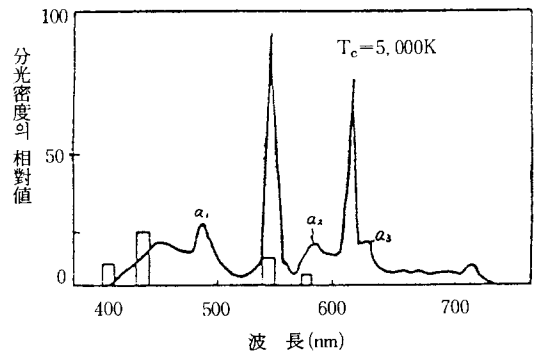


그림 1. 三波長 螢光램프의 分光分布例 (棒그래프는 水銀의 線스펙트럼)

파장이라고 불리고 있는 것은 우리나라에서도 몇개 회사에서 생산되고 있지만 고가이므로 보급이 상당히 어려운 현상이고 일본 또는 유럽에서 상품화되고 있는 제품들을 자세하게 관찰하면 각 회사 모두가 조금씩 다르다. 이들 중 대표적인 것으로 일본에서 제조된 회토류협대역형광체를 사용한 색온도 5,000K의 형광램프와 유럽에서 주로 제조하고 있는 색온도 4,000K인 형광램프의 특성을 비교하여 표 2에 나타냈다. 이제까지는  $R_a$ 를 높이면 효율이 떨어지고  $R_a$ 와 효율을 같이 상승시킨다는 것은 불가능하다고 여겨왔지만 삼파장역발광형 형광램프에서는 이제까지의 백색형광램프에 비해서  $R_a$ 와 효율이 같이 상승하고 있음을 알 수가 있다.

이 이외에 에너지절약형고효율 형광램프(細管形)와 콤팩트형인 전구식형광램프 등의 새로운 제품이 개발됨에 따라 고부하화(高負荷化)되어 저압수은방전에서 주공명선인 185nm/254nm의 강도의 비율이 증가하여 즉 185nm선의 여기에 의해서  $3Ca_3(PO_4)_2 Ca(F, Cl)_2 : Sb^{3+}, Mn^{3+}$  형광체는 발광효율이 저하된다. 그러나 회토류형광체는 185nm의 자외선의 영향을 크게 받지 않기 때문에 그림 2에서와 같이  $3Ca_3(PO_4)_2 Ca(F, Cl)_2 : Sb^{3+}, Mn^{3+}$  형광체는 동정특성에서 광속유지율

표 2. 삼파장 형광램프의 특성 비교 (FL-40에 대한 비교)

분 류	관경(mm)	색온도(K)	전광속(lm)	$R_a$
일 본 형	28	5,000	3,250	84
유 럽 형	26	4,000	3,300	84
(비교용)백색	28	4,020	3,100	63

이 점등시간이 지남에 따라 크게 저하되지만 회토류형광체의 경우는 수명이 다 될 때까지 광속저하가 적다는 것을 알 수 있다.

이 삼파장형광체는 주로 회토류발광체로서 회토류원소(稀土類元素 Rare earth elements)로 이루어 졌으며 회토류원소란 원자번호 57의 Lanthanum (La)에서부터 71번의 Lutetium(Lu)까지의 15개원소와 Scandium(Sc), Yttrium(Y)을 추가해서 17개원소를 부르고 있다. 이 회토류발광재료는 실용적인 면에서 대개 무기결정재료에 한정되고 무기결정구성 원소모체의 일부를 회토류원소에 의해서 치환부활(置換附活)시켜 자외선 등의 빛 또는 전자선 등에 의해서 여기(勵起)시켜 회토류원소부활제(稀土類元素附活劑)내의 전자전이(電子遷移)에 의해서 발광하는 물질이다.

$Sc^{3+}, Y^{3+}, La^{3+}, Lu^{3+}$ 를 제외한 회토류발광재료중에서 회토류원소는 일반적으로 3+의 산수화를 취하고 여기에 의한 결정장(結晶場)의 영향을 그다지 받지 않고 《4f-4f》내의 전자전이(電子遷移)에 의한 특징적인 선상발광스펙트럼을 갖는다. 그러나 그림 3에 나타난 바와 같이 세륨(Ce)의 경우에는 +3의 산화수를 갖지만 《5d-4f》전자전이 이므로 결정장의 영향을 받아 폭이 넓은 발광스펙트럼을 가지며, 또한 부활제로서 중요한 Europium(Eu)는 안정된 +2, +3의 두개의 산화수를 취하여  $Eu^{2+}$ 는 Ce<sup>3+</sup>과 같이 《5d-4f》전자전이의 폭이 넓은 발광스펙트럼을, 또한  $Eu^{3+}$ 는 선상발광(線狀發光)스펙트럼을 갖는다. 삼파장형광램프에 이용되는 중요한 청색, 녹색 및 적색에 고효율의 발광체인 회토류원소부활제는 한정되어 있다. 실용적인 중요한 회토류부활제는 표 3에 나타난 적색발광 Europium  $Eu^{3+}$ , 녹색발광 Terbium

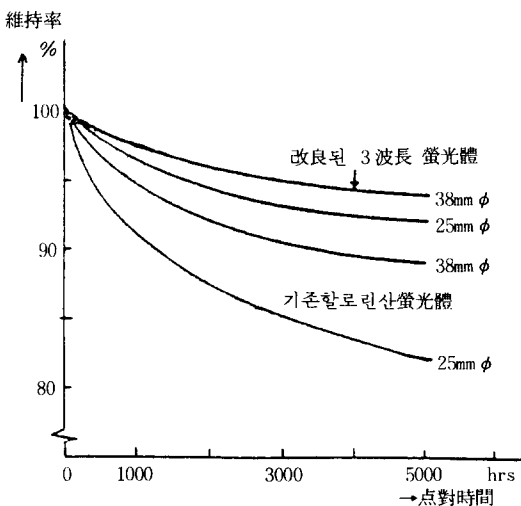


그림 2. 改良된 3波長 螢光體와 既存螢光體와의 點對時間에 따른 維持曲線

표 3. 실용적으로 중요한 희토류원소부활제

스펙트럼	발광색	희토류원소부활제	대표적인형 광체	
			화학식	발광피이크 파장(nm)
선상	적색	Eu <sup>3+</sup>	Y <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Eu <sup>3+</sup>	626
			Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> : Eu <sup>3+</sup>	611
	녹색	Tb <sup>3+</sup>	Y <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S <sup>3+</sup> : Tb <sup>3+</sup>	543
			Gd <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Tb <sup>3+</sup>	543
Y <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> : Ce <sup>3+</sup> Tb <sup>3+</sup>			543	
청색	Tm <sup>3+</sup>	Y <sub>2</sub> O <sub>2</sub> S : Tm <sup>3+</sup>	458	
폭이 넓은	청색	Eu <sup>3+</sup>	3Sr <sub>3</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> CaCl <sub>2</sub> : Eu <sup>2+</sup>	452
			CaS : Ce <sup>3+</sup>	510
	적색	Ce <sup>3+</sup>	Y <sub>3</sub> (Al, Ga) <sub>5</sub> O <sub>12</sub> : Ce <sup>3+</sup>	535

Tb<sup>3+</sup>, 적색발광 Thulium Tm<sup>3+</sup>, 모체결정에 의해서 청색으로부터 적색에 이르기까지의 여러 가지 발광색을 내는 Ce<sup>3+</sup>, Eu<sup>2+</sup>이다. 이들의 희토류원소부활제의 지식을 기초로하여 삼파장형 광램프 및 칼라텔레비전용으로 최적의 모체를

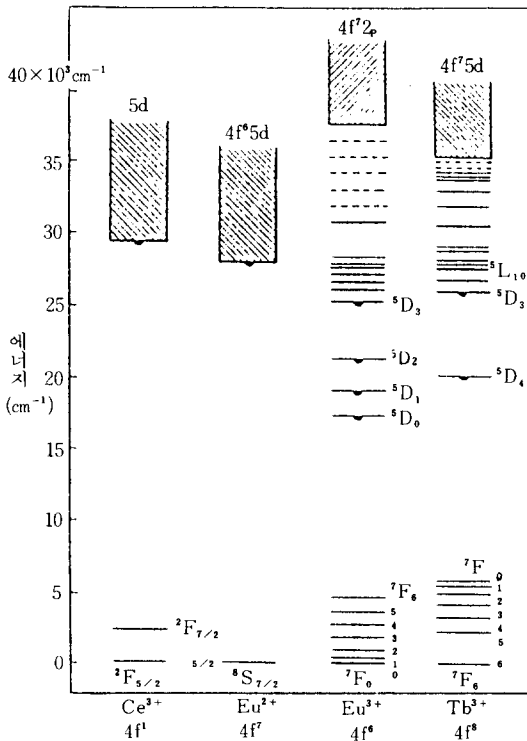


그림 3.

탐색함과 동시에 이들의 합성기술의 개량으로 밝기 즉 발광효율의 향상을 가져왔다. 한편으로는 광여기고체레이저발진자용부활제(光勵起 固體레이저發振子用附活劑)으로서 Neodymium Nd<sup>3+</sup>이 이용되고 있다.

앞서 언급한 바 있는 현재 백색용의 3Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ca(F, Cl)<sub>2</sub>:Sb<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup> 형광체의 결점은 그림 4에서 나타낸 바와 같이 태양빛 대한 스펙트럼에 비해서 적색부분의 발광이 적고 연색성이 낮다는 것이다. 이의 결점인 연색성과 효율을 포함하여 조명설계시의 요청에 응하기 위해서 이미 말한 삼파장형광램프용의 선상(線狀)스펙트럼을 가진 청색, 녹색 및 적색발광희토류형광체의 개발이 활발하게 이루어져 온 것이다.

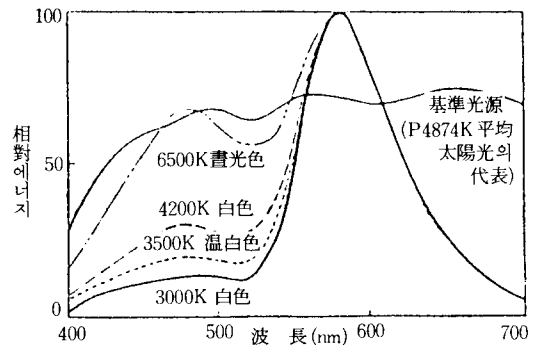


그림 4. 3Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ca(F, Cl)<sub>2</sub>:Sb<sup>3+</sup>, Mn<sup>3+</sup> 螢光體의 發光스펙트럼

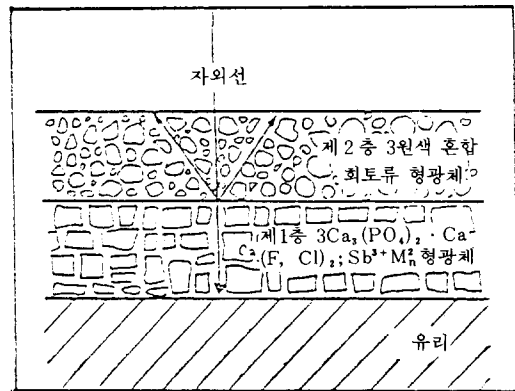


그림 5. 2層塗布法에 의한 螢光體斷面圖  
형광램프 유리 내면의 제 1 층에 할로린산 칼슘 3Ca<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>Ca(F, Cl)<sub>2</sub>:Sb<sup>3+</sup>Mn<sup>3+</sup> 형광체, 제 2 층에 청색, 녹색, 적색, 발광혼합 희토류 형광체를 도포한다.

특히 발광효율이 좋은  $\text{Eu}^{3+}$  불화알카리토류 할로린산  $3\text{AE}_3(\text{PO}_4) \text{AEX}_2 : \text{Eu}^{2+}$  ( $\text{AE}=\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba}, \text{X}=\text{F}, \text{Cl}$ ) 회토류형광체의 경우  $\text{Sr}, \text{Ca}, \text{Ba}, \text{F}, \text{Cl}$ 의 양에 대한 비율을 변화시키면 그림 5에서와 같이 형광체의 발광스펙트럼이 변화하고 가장 적합한 청색발광형광체는  $3\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 \text{CaCl}_2 : \text{Eu}^{2+}$ 가 된다.

청색발광(B)는  $3\text{Sr}_3(\text{PO}_4)_2 \text{CaCl}_2 : \text{Eu}^{2+}$ , 녹색발광(G)는  $\text{La}_2\text{O}_3 \cdot 0.2\text{SiO}_2 \cdot 0.9\text{P}_2\text{O}_5 : \text{Ce}^{3+}, \text{Tb}^{3+}$ , 또한 적색발광(R)는  $\text{Y}_2\text{O}_3 : \text{Eu}^{3+}$  형광체의 발광색은 이들 세가지 형광체를 혼합하여 흑체 궤적(黑體軌跡) 위에 임의의 색온도의 백색을 얻을 수 있다.

형광램프의 경우 우리나라와 일본의 경우에는 4,200K, 6,500K, 동남아시아에서는 6,500K, 유럽과 미국에서는 3,500K, 및 4,200K 칼라텔 레비전 CRT의 경우에 우리나라와 일본에서는 9,300K, 유럽에서는 6,500K의 색온도의 백색을 좋아하고 있다. 이들의 실용백색온도의 차이는 기후, 생활환경에 의한 영향이 크다.

#### 4. 삼파장 형광램프의 도포방법

일반조명용 형광램프는 대량으로 생산되기 때문에 형광체의 가격은 원가면에서 대단히 중요시하고 있다. 특히  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2 : \text{Sb}^{3+}, \text{Mn}^{3+}$  형광체를 사용한 형광램프에 비해서 회토류형광체는 종류에 따라 몇배로부터 몇십단위의 배수로 비싸기 때문에 보급시키는데 큰 어려움을 겪고 있다. 따라서 이의 해결방안은 두가지를 들 수 있다.

하나는 청색, 녹색 및 적색의 배합을 적절하게 잘 하므로써 광효율 및 연색성의 향상과 최저원가를 얻을 수 있는 방법이다.

두번째의 방법은 그림 5에서와 같이 형광램프 유리내면의 첫째 층에는 값이 싼  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2 : \text{Sb}^{3+}, \text{Mn}^{3+}$  형광체를 이층에는 삼파장회토류형광체를 도포하는 방법이다.

이층으로 도포한 형광램프는 표 4에 나타낸 바와 같이 밝기와 연색성 모두 회토류형광체만을 사용한 삼파장형광램프와 비교하여 큰 차이

표 4. 일층 및 이층도포법에 의한 형광램프특성의 비교

도포방법	회토류형광체의 도포량(g)	전광속(lm)	연색성(Ra)
일층도포법	2.5	3,530	84
이층도포법	1.3	3,500	83

가 없음에도 불구하고 사용량이 크게 줄었으므로 많은 원가절감을 가져왔다. 또한 이층으로 도포한 형광램프의 발광스펙트럼은 그림 6에서와 같이 제 일층에 도포한  $3\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2 \text{Ca}(\text{F}, \text{Cl})_2 : \text{Sb}^{3+}, \text{Mn}^{3+}$  형광체에서 발광한 스펙트럼은 점선에서와 같이 약간 나타날 뿐이지만 회토류형광체의 발광이 대부분을 차지하고 있다. 그림 6에서의 제 이형광층에 입사한 자외선은 제 이형광층에서 일부는 흡수되고 또한 제 일형광층과 제 이형광층과의 경계면에서 반사하여 재차 제 이형광층에서 흡수되어 제 이형광층에서 고효율로 발광될 수 있는 원인이라 본다.

#### 5. 결 론

형광등 아래에서도 태양 빛 아래에서 보는 것과 같은 색으로 보인다는 고연색형광램프는 효율을 크게 떨어뜨리지 않고 삼파장형 형광램프로써 회토류급속의 형광체로서 청색, 적색의 파장부분을 강조한 것이라는 점에 대해서 개략적으로 설명하였다. 현재 공산권을 제외한 자유세계에서 회토류급속발광재료용으로  $\text{Y}_2\text{O}_3$ ,

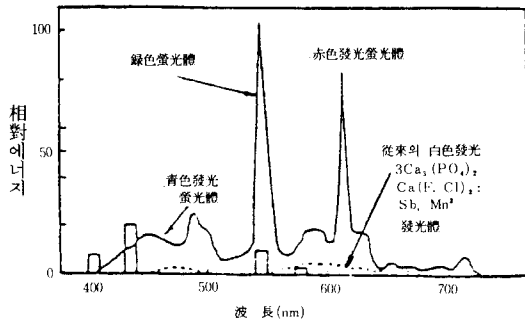


그림 6. 3波長形 螢光램프와 기존白色發光 螢光램프와의 分光스펙트럼 比較

약 200t/년,  $\text{Eu}_2\text{O}_3$  810t/년,  $\text{Tb}_4\text{O}_7$  23t/년의 고순도 희토류 산화물 원재료를 소비하고 있는 것으로 추정되고 있다. 희토류 발광재료는 특히 자원적으로 문제가 되어 있는 것도 첨부한다.

#### 참 고 문 헌

- 1) W.A. Thornton "Luminosity and color-rendering capability of white light" J. Optical So. America. 62 5, pp1155(1971)
- 2) J.M.P.J. Verstergen, et al.; "A new generation de luxe fluoresoent lamp." J. Illum. Engin Soc. 4.1 pp90(1975)
- 3) 室井德雄外 "三波場域 螢光ランプとその照明效果" 電氣學會雜誌 103卷 2號 pp107 (1985. Feb.)
- 4) 淵田 陸義外 "螢光ランプの最適分光分布の設計" 照明學會雜誌 63卷 5號 pp247(1979. 5)
- 5) 廷廷 幸夫外 "三波場域發光形 螢光ランプ의

照明特性" 照明學會雜誌 63卷 5號 pp260 (1979. 5)

- 6) 西村俊夫 "螢光體 레-ザ材料を支える希土類金屬" 日本の科學と技術 '83/レアナル-希土類發光體 pp62'
- 7) J.W. TER VRUGT, et al. "Fluoresoent lamp coatings with layers of different composition" Lighing Res. & Tech. 7. 1 pp23(1975)

---

#### \* 연색평가수(演色評價數)

물체의 색의 보임은 광원에 따라 다르게 보인다. 이렇게 광원에 의한 색의 보임을 KSA 0075 (광원의 연색성평가방법)에 의해서 평균연색성평가수 Ra와 특수연색평가수에 의해서 평가된다. 평가수=Ra=100이라는 것은 기준광원과 시험광원이 완전히 동등한 연색성을 가지고 있다는 것을 의미한다.

형광램프에서 Ra의 가장 높은 것은 색평가램프로서 97~98이지만 널리 일반조명용으로 사용되고 있는 백색형광램프에서는 63~66정도이다.