

단일 및 이중도포에 의한 삼파장형광등의 제조시 목표광색의 조합에 관한 연구

(Color Matching in Production of Tri-color Fluorescent Lamp
Coated by Single and Double Layer)

김성래* · 하백현**

(Sung-Rae Kim · Baik-Hyon Ha)

요 약

삼파장 형광등의 제작에서 문제가 되는 것은 원하는 목표 색을 맞추기 위하여 혼합하는 세 가지 형광물질의 혼합비율이다. 한 형광체의 광 스펙트럼이 약간 변형되거나, 공정변수에 의하여 변형되거나, Ar과 Kr 같은 불활성가스의 스펙트럼이 혼재하거나 또는 재래 할로인산칼슘이 공존 할 경우 원하는 정확한 색을 찾기가 매우 힘들어지게 된다. 이 연구에서는 원하는 목표 색을 빠르게 찾는 방법을 연구하였다. 세 개의 각각의 단일 색의 형광등과 3색을 서로 다른 비율로 혼합한 형광등을 만들고 각각의 스펙트럼을 측정 한 후 이로부터 알곤과 수은의 스펙트럼을 빼서 변형 색 좌표를 얻었다. 이 변형 색 좌표로부터 적색에 대한 청색과 녹색의 광속비를 그의 무게 비에 대하여 도시하여 무게 대 광속비의 관계를 구하였다. 이 관계식을 이용하여 생산라인에서 삼파장 형광체의 단일 도포 및 할로인산칼슘을 1차로 도포하는 2중 도포를 실시하여 목표색을 조합해본 결과 만족할만한 결과를 얻었다.

Abstract

One of the most difficult problems in a tri-band fluorescent lamp manufacture is to search a desired color by an adequate mixing of tri-color phosphors. When a light spectrum of a phosphor is slightly changed or distorted due to process variable or when another spectrum such as from Ar, Kr or a phosphor of calcium halo-phosphate as a first layer exist, it is even more difficult to search a desired color. In this work, a rapid approaching method to a desired light color was studied. Three single-color fluorescent lamps and three-color-mixed fluorescent lamps with different mixing ratios were prepared and the spectra of these lamps were measured, from which the mercury and the argon spectra were eliminated to obtain the modified color coordinates. From this modified color coordinate, lumen ratios of green and blue to red were correlated with their weight ratios. This correlation was applied to the industrial line for single and double layer coating and proven to be valuable as a desired color matching procedure in tri-color fluorescent lamp manufacture.

이 연구는 산업자원부(에너지자원기술개발 지원센터)에서 시행한 에너지절약기술 개발 사업의 재정적인 지원에 의하여 수행된 것이며 이에 감사합니다. 또한 생산라인에서 색 조합을 시행할 시 협조주신 금호전기(주)에 감사합니다.

*정회원 : (주)한화 중앙연구소 대리
**정회원 : 한양대학교 응용화학공학부 교수
접수일자 : 1998. 10.19

1. 서 론

삼파장 형광등은 청색(주파장 약 450[nm]), 녹색(540 [nm]) 그리고 적색(650[nm])의 주 피크를 적절히 조정해서 원하는 매우 특징있는 빛을 내도록 한 광원이다[1,2]. 기존의 형광등은 수은에서 나오는 주 공명선인 185 와 254[nm]의 강도의 비율이 증가하여 형광체의 발광 효율의 경시변화가 일어난다[3, 4]. 그러나 3파장 형광등은 회투류계로서[5], 증가되는 185[nm]의 자외선의 영향을 거의 받지 않아 효율의 경시변화가 기존 형광등에 비하여 크지 않다. 따라서, 상당 기간동안 같은 색의 밝기를 그대로 유지할 수도 있고, 발광 효율이 기존 할로인산 염에 비하여 높아 30[%] 정도 밝고, 자연 색에 가까워 연색 평가수가 84~85 정도에 이르는 형광등이다[6~9].

3 파장 형광등을 원하는 색 온도와 색 좌표를 갖도록 제조하는데 있어 제조 공정상의 소성조건, 봉입 가스의 조성 또는 압력이 어떤가에 따라 같은 조성이라 하더라도 색 좌표나 색 온도, 광속에 차이를 나타내게 된다. 더욱이 형광체의 종류가 다르다면 같은 공정이라도 형광체의 발광 특성이 다르기 때문에 성질이 다르게 나타나는 것은 당연하다.

문헌상으로 각 색에 대하여 조성이 나와 있기는 하지만 형광등을 제조하려고 할 때 형광물질의 종류가 다르고, 형광체가 같다 하더라도 제조 공정이 다르면 그것에 맞는 조성을 다시 찾아야하는 것이다.

또한 공정상의 모든 조건을 일정하게 하여 색을 찾으려고 하여도 형광 물질의 조성비에 따라 여러 가지 다른 색 좌표와 색 온도를 가진 형광등이 나오기 때문에 원하는 색을 가진 조성을 찾기 위해서 수많은 실험을 반복하여야만 한다. 따라서 본 실험의 목적은 3 파장 형광 물질이 단독 도포 될 때와 할로인산칼슘과 2 중 도포 될 때 어떻게 세 가지의 형광 물질을 혼합해야 원하는 색 좌표와 색 온도를 가진 형광등을 제작할 수 있는가에 대한 빠른 접근 방법을 연구하였다.

2. 실험

2.1 형광체

도포에 사용한 3 파장 형광체는 Toshiba에서 제조한 제품을 사용하였다. 이 형광체들의 화학식을 표 1

에 나타내었다. 적색은 610[nm], 녹색은 545[nm], 청색은 435[nm]에서 최대 Peak를 가진다.

표 1. 사용한 형광체의 화학식
Table 1. Chemical formula of phosphors

Color	Chemical formula	Max.wave length (nm)
Red	$Y_2O_3:Eu^{3+}$	610
Green	$GdMgB_5O_{10}:Ce^{3+}, Tb^{3+}$	545
Blue	$Ba_{0.87}Mg_{2.0}Al_2O_{3/2z+3}:Eu_{0.13}^{2+}$	435

2.2 도포 슬러리 조제 및 그의 도포

단일도포의 경우는 비이커에 용제인 Butylacetate를 넣고 바인더로 Nitrocellulose을 용해시킨 다음 Homomixer로 교반시켜 바인더를 완전히 용해하였다. 다음 이 용액 100[g]에 원하는 조성의 3파장 형광체 70[g]을 혼합한다. 그리고 고르게 분산 되었는지 확인한 후 결합제 50[cc]를 넣어 분산되도록 교반을 계속하고 200[mesh]체로 여과하여 최종적으로 도포 용액을 조제하였다.

2중 도포의 경우, 일차 도포는 단일 도포 때와 같은 방법으로 하되 3파장형광체 대신에 할로인산칼슘으로 하여 도포하였다. 이차 도포에서는 용제로 Buthylacetate 대신에 Xylene을 사용하였고 바인더로는 Ethylcellulose를 혼합하였다. 이 용액에 3파장 물질을 혼합하였다. 여기서 일차 도포와 이차 도포의 용제를 달리한 이유는 일차 도포의 면이 이차 도포 시 손상되지 않도록 하기 위하여서 이다.

형광등(SD Lamp)에의 도포는 유리관 (내경: 10 [mm], 길이: 555[mm])을 수직으로 고정시킨 후, 관 아래 부분을 도포 용액으로 잠기게 하고 관 위쪽에서 진공으로 도포용액을 끌어올렸다. 원하는 만큼 용액이 올라오면 진공을 대기압으로 만들어 도포용액이 다시 비이커로 흘러내리도록 하여 도포되지 않은 액은 제거하였다.

2.3 형광등의 제작

형광물질의 도포를 끝낸 유리관을 건조 장치에서 온도 35[°C]로 건조 하고, 완전히 건조가 끝나면 소성로에서 550[°C]로 15분간 소성을 하고, 유리관 양 끝에 전극을 붙였다. 이 모든 과정이 끝난 형광등을 형광등 제조라인에서 내부를 10^{-3} [mmHg] 까지 진

공으로 하였다. 다음 봉입가스를 넣고 다시 진공으로 하는 것을 3 회 실시하여 내부의 불순물을 모두 제거하고, 봉입 가스인 아르곤의 분압이 3[mmHg]가 되게 하였다. 여기서 수은을 넣고 봉입 가스와 수은이 들어가는 부분을 봉하여 형광등을 제조하였다. 2 중 도포의 경우는 1차로 하층에 할로인산염을 도포하고 상층에 삼 파장 형광 물질을 도포하여 단일 도포 때와 같은 방법으로 제작 하였다.

2.4 형광등의 스펙트럼 측정

형광등 스펙트럼 측정장치는 영국 Bentham사에서 제작한 Spectro Radiance System(M300 Series Monochromator)을 구입하여 사용하였다. 스펙트럼 측정장치의 구동은 Bentham사의 프로그램인 SS9103을 이용하였다. 이 프로그램은 Color Coordinate(CIE x,y), Color Temperature(K), Luminous Flux(lm), Wavelength(nm), Peak Wavelength(nm) 등 형광등의 특성들을 계산할 수 있다. 장치의 보정은 Standard인 CL2를 이용하였다. 형광등 스펙트럼 측정은, 측정 장치와 컴퓨터를 구동시키고 컴퓨터에서 SS9103을 실행시켰다. 다음 SS9103에서 측정범위를 380[nm]에서 780[nm]까지로 정하고, Monochromator 범위도 380[nm]에서 780[nm]까지로 맞추는 다음 5[nm] 간격으로 측정하도록 조정을 하고, 형광등을 상온에서 적분구(Integrating Sphere)에 넣어 점등시킨 후 20분간 예열시켰다. 예열이 다 되면 SS9103에서 장치를 구동시켜 측정을 수행하였다.

2.5 삼색의 Color Matching 과정

목표로 하는 색에 대하여 적색, 녹색 및 청색의 조성비를 구하는 Color Matching은 다음과 같은 순서로 진행하였다. 먼저 각 단색 형광등과 무도포 되고 봉입 가스만 충전한 등을 만들어 각각의 광 스펙트럼을 구하고 봉입 가스의 스펙트럼을 각 단색광에서 빼서 이로부터 단색의 변형 색 좌표를 구한다.

다음 별도로 조성이 각각 다른 형광등을 세 개 이상 제작하고 봉입가스의 스펙트럼을 뺀 변형 색좌표를 각각 구하였다. 그리고 단색형광등의 변형 색 좌표에 같이 도시하여 세 색의 좌표상 색의 광속의 상대적인 값을 구하고 적색에 대한 녹색 과 청색의 상대적인 값의 비를 구한다.

다음 혼합시 사용한 적색에 대한 녹색의 무게비

그리고 적색에 대한 청색의 무게비를 구하여 광속비와 무게비 사이에 관계식을 얻는다. 이 관계식을 이용하여 목표색에 해당 하는 3색의 무게비를 구할 수가 있다.

이렇게 얻어진 형광등에 대하여 색좌표 외에 광속, 색온도, 연색평가수(Rendering Index) 등을 구하여 목표 형광등과 비교하였다.

Color Matching의 순서는 그림 1 과 같다.

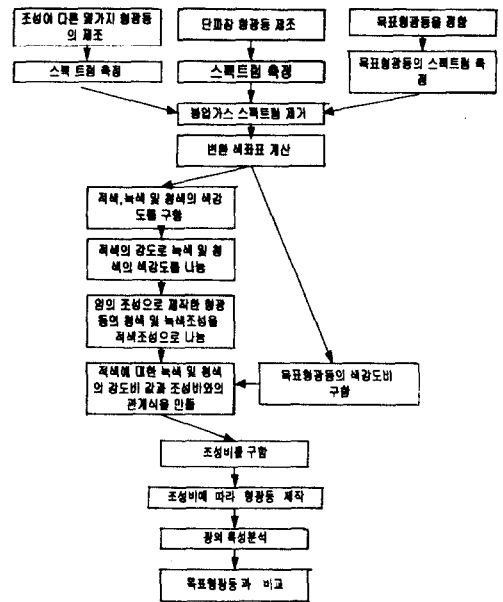


그림 1. 삼파장 형광등의 Color Matching의 순서
Fig. 1. Color matching procedure of tri-phosphor fluorescent lamp

3. 결과 및 고찰

3.1 각 단색 형광등 특성

그림 2에 봉입가스(A)와 적색(R), 녹색(G), 청색(B) 형광체의 스펙트럼 그리고 각 단색 형광체 스펙트럼에서 봉입 가스 스펙트럼을 제거한 변형형광등의 스펙트럼 R', G' B' 를 나타내었다. 그리고 이들로부터 구한 각 단색 형광체에 대한 색 좌표와 변형 색좌표 값을 표 2에 나타내었다. 그리고 이 좌표 값을 그림 3에 나타내었다.

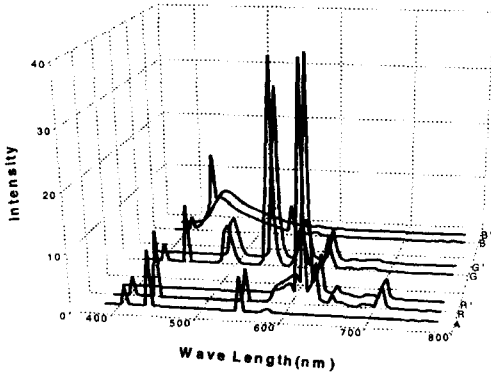


그림 2. 적색(R), 녹색(G), 청색(B) 그리고 무도포 형광등(A)의 스펙트럼. 그리고 R', G', B'는 적색 녹색 및 청색으로부터 무도포 형광등의 스펙트럼을 제거한 변형 스펙트럼

Fig. 2. Spectra of non-coated (A) and coated lamps (Red: R, Green: (G), Blue: (B)) R', G', B' are the spectra obtained from R, G, B by eliminating the spectra A.

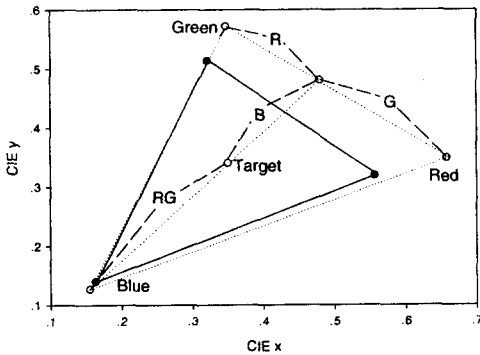


그림 3. 청색, 녹색 및 적색형광등의 색좌표와 그의 변형 색좌표

- : 청색, 녹색 그리고 적색의 단색 형광등의 색 좌표
- : 청색, 녹색 그리고 적색의 단색 형광등의 변형 색좌표

Fig. 3. Color coordinates of three-color-phosphor and their modified coordinates
 ● : Color points of blue, green and red single phosphor lamp
 ○ : Modified color points of blue, green and red single phosphor lamp

3.2 실험실에서 제작한 소형 형광등의 좌표 비와 무게비의 관계

3가지 형광체를 서로 다르게 혼합한 6개의 조성파 적색에 대한 청색과 녹색의 무게비를 표 3에 보였다. 그리고 이들 3색 형광체를 혼합하여 제조한 서로 다른 조성의 형광등의 스펙트럼에서 붕입 가스 스펙트럼을 제거하고 구한 변형 색좌표를 표 4에 보였다.

표 2. 청색, 녹색 그리고 적색의 단색형광등의 색 좌표점 및 그의 변형색좌표

Table 2. Color Coordinate (x, y) for the lamps coated with red, green and blue phosphor and their modified coordinate

	Color coordinate(x, y)	
	With argon spectra	Without argon spectra
Red	(0.5563,0.3184)	(0.6587,0.3482)
Green	(0.3207,0.5133)	(0.3477,0.5718)
Blue	(0.1633,0.1396)	(0.1554,0.1268)

표 3. 적색, 녹색 그리고 청색형광체의 여러 무게 혼합% 와 그의 비율(w)

Table 3. Different mixing-weight % of red, green and blue phosphors and their ratios (w)

Sample	Red	Green	Blue	Green/red	Blue/red
1	30.0	40.0	30.0	1.333	1.000
2	40.0	20.0	40.0	0.500	1.000
3	40.0	30.0	30.0	0.750	0.750
4	40.0	50.0	10.0	1.250	0.250
5	50.0	30.0	20.0	0.600	0.400
6	50.0	40.0	10.0	0.800	0.200

표 4. 표 3의 예의 색좌표(x, y)

Table 4. Color Coordinate (x, y) for the samples of Table 3

Sample No.	Color coordinate	
	With argon spectra	Without argon spectra
1	(0.3202, 0.3475)	(0.3443, 0.3858)
2	(0.3215, 0.2818)	(0.3436, 0.3130)
3	(0.3408, 0.3246)	(0.3687, 0.3646)
4	(0.3723, 0.4064)	(0.4079, 0.4578)
5	(0.3750, 0.3463)	(0.4077, 0.3879)
6	(0.3939, 0.3894)	(0.4326, 0.4396)

단색 형광등의 스펙트럼에서 봉입 가스의 스펙트럼을 제거한 순수한 형광체만의 변형스펙트럼에서 구한 변형 색좌표를 삼각 도표 상에서 세 꼭지점으로 하고, 이들 3 색 형광체를 혼합하여 제조한 서로 다른 조성의 형광등 스펙트럼에서 봉입 가스 스펙트럼을 제거하고 구한 변형 색좌표 값을 도시하고 그림 3에서 center of gravity rule에 의하여 청색, 녹색 및 적색의 상대적인 광속량을 구한다. 또한 녹색과 청색의 적색에 대한 색 광속비를 각각 구한다. 이 값을 표 5에 나타내었다.

표 3의 각 형광등의 조성에서 녹색과 청색의 적색에 대한 무게 조성비를 w, 표 5로부터 녹색과 청색의 적색에 대한 각 색의 광속비 f를 그림 4에 도시하였다. 그림으로부터 적색 대 녹색의 비에 대한 식을 구하면

$$f = 1.5136w + 0.2348 \quad (1)$$

이고 적색 대 청색의 비에 대하여서는

$$f = 1.5953w - 0.0098 \quad (2)$$

이 얻어 진다.

표 5. 적색, 녹색 및 적색의 광속과 그의 비율 (f)
Table 5. Lumens of red, green and red and their ratios (f)

Sample No.	Red	Green	Blue	Green/Red	Blue/Red
1	0.1985	0.4830	0.3185	2.4357	1.6054
2	0.2771	0.2800	0.4429	1.0103	1.5980
3	0.2851	0.3924	0.3226	1.3764	1.1322
4	0.2824	0.6031	0.1145	2.1357	0.3914
5	0.3581	0.4077	0.2327	1.1333	0.6480
6	0.3580	0.5225	0.1133	1.4124	0.3093

3.3 생산라인에서 제작한 형광등에서 광속비 대 무게비사이의 관계

생산라인에 3.2의 과정을 똑 같이 적용하기 위하여 표 6 과 같이 조성이 서로 다른 세 개의 형광등을 만들고 그의 변형 스펙트럼을 구한 다음 적색에 대한 청색과 녹색의 광속 비를 얻고 무게비와의 관계를 구하면 다음과 같다. 먼저 적색에 대한 녹색비

를 나타내면

$$f = 1.7647w + 0.0181 \quad (3)$$

또한, 적색에 대한 청색 비를 나타내면

$$f = 1.7046w + 0.1587 \quad (4)$$

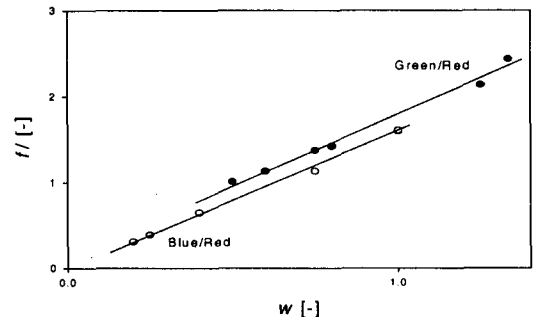


그림 4. 적색에 대한 녹색 그리고 적색에 대한 청색의 무게비 대 그의 광속비 사이의 관계
Fig. 4. Weight ratios (w) vs. ratio of lumens (f) for green to red and blue to red

표 6. 생산라인에 적용을 위한 적색, 녹색 및 청색 형광체의 무게 혼합비율
Table 6. Mixed weight ratio of red, green and blue phosphors for examination of production line

Name	Red	Green	Blue
Sample 1	28.0	34.0	38.0
Sample 2	33.3	34.4	32.3
Sample 3	40.0	34.0	26.0

여기서 알 수가 있는 것은 실험실에서 만든 관계식이 생산라인에서 만든 관계식과 상당히 다르게 나타남을 알 수가 있다. f 를 1로 해서 적색에 대한 청색과 녹색의 무게비를 비교 해 보면 적색을 기준해서 녹색에서 약 5[%] 청색에서 약 14[%]의 무게에서 차이가 남을 알수가 있다.

따라서 공정에 따라서 이 관계는 크게 달라 질 수 있음을 의미하며 목표형광등에 대한 색 맞춤은 주어진 생산라인에서 구해서 사용해야 한다는 것을 의미하고 있다. 이러한 현상은 조업조건 즉 비결의 함량, 용제의 순도, 알콘의 순도, 열처리온도 그리고 혼합상태 등에 좌우된다고 생각된다.

3.4 목표 형광등, 단일 그리고 2중 도포의 형광등에 적용한 결과

위의 결과를 기초로 하여 먼저 ①시장의 형광등 한 개를 구입하여 이형광등의 색의 matching 을 목표로 하는 형광등으로 하였다. 다음 이를 스펙트럼 분석 하여 위의 방법으로 청색, 녹색의 적색에 대한 광속을 구하였다. 이를 생산라인에서 얻은 식(3)과 식(4)에 대입하여 무게비를 구하여 ② 3파장 형광체의 단일 도포로 형광등을 만들었다. 또한 ③할로인산 칼슘을 1차 도포하고 그 위에 ②의 조성의 3파장 형광체를 도포 하는 2중 도포를 시행하고 생산라인에서 형광등을 만들었다. 그리고 이들의 색좌표(x, y), 색온도, 광속, 연색평가수(Ro) 등과 같은 특성을 구하여 그 결과를 표 7에 나타내었다. 2중도포의 것이 색온도와 광속에서 다소 차이가 나고 있는데 이는 할로인산칼슘의 스펙트럼 때문으로 생각 된다. 그러나 이들 특성을 평가한 결과는 단일 도포 형광등이나 2중 도포 형광등 모두에서 같은 삼파장의 조성을 적용 하더라도 이들 특성이 모두 목표 형광등과 거의 차이가 없음을 알 수 있었다. 육안으로도 전혀 구별되지 않았다. 따라서 2중 도포시 삼파장의 색 matching에서 할로인산의 스펙트럼에 대하여는 전혀 고려하지 않아도 됨을 알 수가 있었다.

표 7. 목표, 단층 및 이중도포 형광등의 특성비교
Table 7. Comparison of characteristics for target, monolayered and double-layered fluorescent lamp

	Target lamp	Monolayered lamp	Double-layered lamp
Color coordinate (x, y)	(0.3110, 0.3284)	(0.3122, 0.3244)	(0.3174, 0.3288)
Color temperature(K)	6596.0	6563.3	6248.0
Luminous flux(lm)	1178.5	1174.3	1090.7
Power(W)	21.13	21.55	20.63
Color Rendering Index	83.57	84.77	83.27
Luminous flux(lm) after 1000h use(rate%)	1074.6 (8.2%)	1068.0 (3.1%)	1038.9 (3.2%)

4. 결 론

3 파장 형광등은 적색, 녹색, 청색 형광체의 배합비에 따라 여러 가지 특유의 색을 낼 수 있는 성질을 가지고 있으나 정밀하게 목표색을 단순한 배합만

으로 맞추기는 매우 어려워 수많은 실험을 하는 경우가 있어 이를 개선하고자 정밀하게 색을 맞추는 즉 세 가지 색의 배합비를 찾는 방법을 연구하였다. 먼저 청색, 녹색 그리고 적색의 형광등을 만들고 같이 봉입된 알곤 등의 파장을 변형좌표를 색도 표상에 나타낸 다음 이를 이용하여 조성이 다른 세 가지 이상의 혼합물 형광등의 광속비와 무게비 사이의 관계식을 얻었다. 이를 이용하여 목표로 하는 형광등의 변형 색좌표를 같은 방법으로 구하고 이를 관계식에 대입하여 무게비를 구하였다. 결과 단색코팅의 경우 색온도 1%이내에서 일치하였다. 또한 할로인산칼슘을 1차로 도포하는 2중 도포에서 할로인산칼슘은 삼파장의 색 맞춤에 거의 영향을 주지 않았다.

참 고 문 헌

- [1] 久宗孝之, 長谷暁, JpnPatent 4-106188.
- [2] 久宗孝之, 長谷暁, JpnPatent 4-106187.
- [3] T.Hanata, S. Tsunekawa, J. Illum. Engng. Jpn. 74(9), 609(1990)
- [4] H. Ito, Y. Yuge, A. Taya, M.Tamatani, K.Terashi, J. Illum. Engng. Jpn. 76(10), 536(1992)
- [5] T. Welker, J. of Luminescence, 48&49, 49(1991)
- [6] S. Kamiya, J. Illum. Engng. Jpn. 72(5), 251(1988)
- [7] O. Matsubara, J. Illum. Engng. Jpn. 74(5), 273(1990)
- [8] Y. Nayatani, K. Hashimoto, J. Illum. Engng. Jpn. 67(6), 260(1983)
- [9] S. Kamiya, J. Illum. Engng. Jpn. 67(11), 557(1983)

◇저자소개◇

하 백 현 (河白顯)

1937년 12월 19일 생. 1960년 한양대학교 화학공학과 졸업. 1963년 한양대학교 대학원(석사). 1972년 프랑스 리용대학교 대학원(박사). 현재 한양대학교 응용화학공학부 교수.

김 성 래 (金成來)

1971년 5월 16일 생. 1994년 한양대학교 화공학과 졸업. 1996년 한양대학교 대학원(석사). 현재 (주)한화중앙연구소 대리.