

Multichannel Type 분광방사측정 시스템의 제작 및 응용에 관한 연구

(A Study on Construction and its Application of Multichannel Type Spectroradiometer)

成演國* · 白雲植**

(Yeon-Goog Sung · Woon-Sik Baek)

요 약

본 연구에서는 광학계를 설계하고 이미지 센서를 사용하여 자외선 영역에서 근적외선 영역까지 (220nm~1100nm)의 광학적 특성평가를 측정시간 16ms에서 20000ms 범위에서 검지할 수 있도록 하는 시스템을 제작하고 본 시스템의 응용연구를 통해 조명산업 및 표시소자 산업의 연구개발 및 품질관리 평가에 필요한 칼라의 색좌표, 연색성, 휘도, 색차, 색순도, 반사율, 투과율등을 측정하였다.

Abstract

A multichannel type spectroradiometer which can measure the optical characteristics of light sources was constructed. Our system can be used to measure the optical characteristics of light sources of which the wavelengths are ranging from ultraviolet to infrared(220nm~1100nm)in 16msec.

The optical characteristics such as color coordinates, color rendering index, brightness, color difference, etc. was measured and analyzed.

1. 서 론

최근 전자산업은 전자공학과 광학이 결합된 광전자공학(Optoelectronics)의 시대를 맞고 있다. 특히 표시소자 산업, 조명산업 분야에서는 새로운 기술이 접목되어 하루가 다르게 신상품들이

쏟아져 나오고 있다. 최근의 기술적 경향으로서는 인간공학적인 면이 특히 강조되어 보다 편안하고, 눈의 피로가 적으며 인체에 무해한 표시소자 개발에 대한 연구와 자연광(태양광)과 유사한 특성을 갖는 조명등에 대한 연구개발이 활발히 이루어지고 있다.

또한 색상 설계분야에서의 색 재현 및 색상 디자인 등의 연구도 활발히 진행되고 있다. 이와 같은 연구분야에서 꼭 필요한 장비중 하나가 분

*正會員：三星電管 綜合研究所 先任研究員

**正會員：慶熙大學校 電子工學科 教授

接受日字：1995年 11月 3日

광측정 시스템이다. 그러나 국내 기업에서 사용되고 있는 대부분의 장비가 외산(外産)이며 그나마 중소기업에서는 장비가 고가(高價)이므로 쉽게 구입하여 사용하기가 어려운 실정이고, 소프트웨어 또한 회사의 사용목적에 맞지 않는 경우가 많다. 이러한 현실의 문제점들을 극복하기 위해서는 국내 산업 현장에서 필요한 소프트웨어 및 하드웨어의 연구개발이 필요한 실정이며, 응용력을 극대화시킬 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 분광측정 시스템에 필요한 분광광학계, 아날로그/디지털 제어회로등을 자체설계 제작하였고, 광특성 평가에 필요한 응용 소프트웨어를 개발하여 조명분야, 표시소자분야에 적용하였다.

2. 시스템 제작

시스템 제작을 위해 먼저 제작에 필요한 광학 부품들의 특성을 조사하여 연구목적에 맞는 광학계를 설정하고, 설계 제작하였다.

2.1 구성부품

1) Quartz optical fiber

광신호를 광학계까지 전달하는 역할을 하며 광파이버의 특성인 유연성으로 인해 광검지가 용이하다. 길이는 1.5m로 제작하고 입구와 출구는 원형, 슬릿 타입으로 하였다.

2) Slit

슬릿 크기는 분해능에 영향을 주어 여러 종류를 교환 사용하는 것이 일반적이나 여기서는 0.5 mm 슬릿을 장착하여 고정타입으로 제작하였다.

3) Grating

광학계에서 가장 중요한 분광소자로서 분광 분해능을 결정하는 핵심부품이다. 사용한 그레이팅은 133gr/mm concave holographic grating이며 jobin Yvon社製이다.

4) 평면거울

정방향 전반사 평면거울(mirror)을 사용하였다.

5) MOS linear image sensor

1024 channel photodiode array가 선형적으로 배열되어 있는 HAMAMATSU사 제품을 사용하

였다.

6) A/D converter & controller

센서에서 출력되는 아날로그 광신호를 디지털 신호로 바꾸어주고 컴퓨터와 연결되어 시스템의 동작 및 운용을 제어 한다.

7) Computer & software

광원색, 물체색의 칼라특성 평가용으로서 광학 정보를 처리한다.

2.2 분광 이론 및 실험

전형적인 회절격자(grating)는 광학매질에 수많은 평행홈을 갖는 기관으로 구성되어 있고, 알루미늄과 같은 반사물질로 오버코팅되어 있다. 홈의 간격은 회절현상을 일으킴에 있어 매우 중요하며, 그 기본적인 회절방정식은 그림 2-1에서 처럼 틱니파형과 같은 ruling방향에 대해 회절격자 표면이 수직이라고 가정하면 유도할 수 있다.

파장 λ 의 광선 A, B가 그레이팅 법선에 각도 1로 인접한 두 홈사이로 입사하고 회절격자 법선에 각도 D인 광선이 반사된다. A, B광선 사이의 경로차는 $a \sin 1 + a \sin D$ 가 되며, A'와 B'광

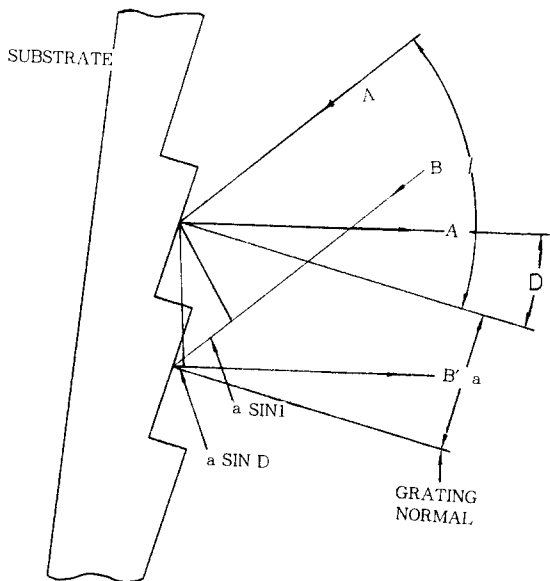


그림 2.1 회절격자(Grating)에 입사한 두 광선의 반사
Fig. 2.1 The reflection of two monochromatic light on grating

선의 합은 경로차가 $(1/2)\lambda$ 의 홀수배일때 소멸 간섭을 일으키고 파장 λ 의 어떤 배수 일때는 보강간섭을 일으킨다. 이때의 조건이 $a(\sin \theta + \sin D) = m\lambda$ 이다. 따라서 단색광의 평행빔이 회절격자에 입사하면 그 빛은 회절격자에서 $m = -2, -1, 0, 1, 2, 3$, 등의 방향으로 회절된다. 복합광의 평행빔이 회절격자에 입사했을때는 각 파장이 회절격자 방정식을 만족할 수 있도록 그 빛이 분산된다. 이 원리를 본 시스템 제작에 적용하기 위해 다음과 같은 실험을 했다. 텅스텐의 복합광을 광섬유 와 0.5mm 슬릿 및 평면거울을 고정시켜 놓고 회절격자의 위치 및 거리를 가변시키면서 분광된 빛의 띠를 관찰하였으며 그때의 분광상태는 그림 2. 2와 같다. 본 시스템에서 이용한 회절차수(diffraction order)는 -1 차(order)를 이용하여 강도 및 분해능에서 유리하도록 했고 $\pm 2, \pm 3$ 차(order)는 차폐시켜 -1 차(order)의 분광에 영향을 주지 못하도록 하였다. 또한 초점 거리가 분해능에 미치는 영향이 매우 크므로 정확한 초점거리를 찾기 위해 수은 램프의 라인 휘선이 가장 선명하게 분리되었을때의 거리를 기준으로 잡았다. ^{1), 4), 7)}

2.3 센서의 특성

통상의 포토다이오드는 광신호의 변화를 실시간(real time)으로 전기신호로 읽어내는 동작을 하고 있지만 여기서 사용된 MOS linear image

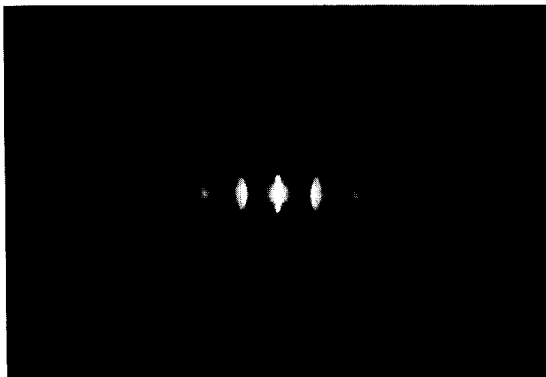


그림 2.2 백색광이 회절격자에 입사하여 파장별로 분광된 상태

Fig. 2.2 The spectrum distribution of white light source

sensor의 경우는 화소수가 많고 신호출력 라인이 복잡하며 화소크기가 작기 때문에 커다란 신호출력을 얻기 어렵다. 따라서 전하축적 방식에 의해서 광신호를 전기적 신호로 읽어내고 있다. 전하 축적 방식에서 신호출력은 광의 강도(強度)뿐만 아니라 광강도와 축적시간의 積(노광량)에 비례해서 얻어진다. 따라서 축적시간을 길게함으로써 신호출력을 크게 얻는것이 가능하다. 축적시간이란 읽어내는 스위치를 열어서 신호를 읽어낸후 다음 신호를 읽어내기 위해 스위치가 다시 열릴 때까지의 시간으로서 MOS shift register의 start pulse신호의 간격에 해당한다.

MOS image sensor의 경우 신호를 읽어낼때에 각 포토다이오드의 스위치를 순차적으로 열어가로 각 포토다이오드의 축적시간은 같아도 엄밀하게 축적개시 시각에 엇갈림이 생긴다. 그 때문에 통상, 광이 시간적으로 광량이 변하고 있는 경우에는 각 포토다이오드의 신호출력은 일정하지 않다. 이와같이 통상의 포토다이오드와는 다르게 읽어내는 방식을 채용하고 있기 때문에 그 특성을 이해해서 입사광량, 축적시간등의 동작조건을 적절하게 설정할 필요가 있다. ²⁾

2.4 신호제어부 설계제작

제어부의 구성은 그림 2-3과 같으며 sensing

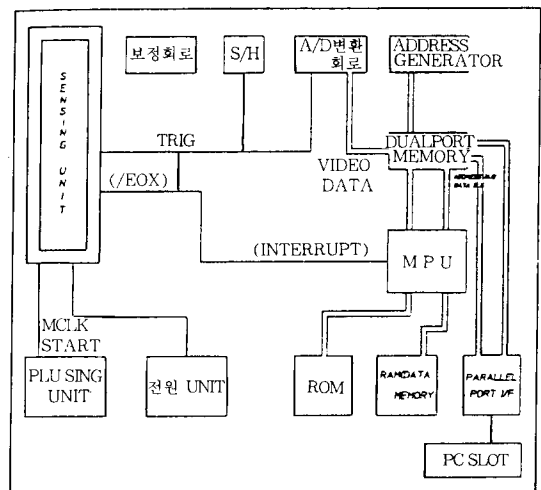


그림 2.3 신호제어부 블럭다이어그램

Fig. 2.3 The block diagram of signal control parts

unit, main board, power supply로 구성되어 있다.

1) Sensing units

광을 검지하기 위한 센서로 hamamatsu製の S3923-1024Q를 사용하였고 sensor interface board는 펄스를 공급하고 同社の driver/amplifier circuit를 사용하였다. Sensor drive board를 구동하기 위해서는 전원(+5V, +15V, -15V)과 master clock, master start pulse를 공급하여야 한다. 전원은 power supply(LAMDA社)를 사용하였고, master clock과 master start는 main board에서 공급해준다.

2) Main Board

main board의 주요구성은 A/D변환부, address발생부, line memory부, PC interface부로 나누어 진다.

① A/D변환부

drive board로부터 나오는 아날로그 광신호를 디지털로 시키기 위해 TRW사의 A/D변환기를 사용하였다.

② address 발생부

drive board로 부터 나오는 1024 채널의 광 데이터를 채널 별로 메모리에 기억시키기 위해 mclock mstart, /EOS 신호를 조합하여 /PEN (video유효신호)를 만들고 카운터 IC를 사용하여 dual port memory address를 발생시켰다.

③ line memory부

1024 채널의 데이터를 저장하기 위하여 cy-press社の dual port memory를 사용하였다.

④ PC interface부

저장된 광 데이터를 PC로 전송하기 위한 수단으로 parallel전송방식을 사용하여 획득된 데이터를 매우 짧은 시간에 분석이 가능토록 하였다.

3. 광방사 측정 알고리즘(Algorithm)

시료의 광, 색 특성평가를 위한 광방사 측정의 방법으로는 크게 2가지로 구분할 수 있는데 즉, 일반조명과 같은 램프종류 및 브라운관, LCD, PDP, EL, LED등의 표시소자 등과 같이 자체발광이 가능한 광원의 광학적 특성평가와 자

체발광이 불가능하여 외부조명을 줌으로서 물체에서 반사 투과 흡수되는 특성을 평가하는 물체 색 평가로 나눌 수 있다.

3.1 광원의 방사측정

모든 측정기기는 어떤 시료를 측정 평가하기 전에 먼저 평가의 기준을 잡는 보정(calibration) 과정을 국가공인 검정기관에서 정한 표준광원을 갖고 수행해야 한다.

1) 삼자극치 계산

삼자극치(tristimulus value)란 color matching functions에 근거를 두어 결정되며, 어떤 광원이 나 물체색이 갖고 있는 칼라중에 포함되어 있는 적, 녹, 청색의 량을 말한다. 그 기호로서는 각각 X, Y, Z로 나타내며 다음과 같이 계산되어 진다.

$$X = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{x}(\lambda) d\lambda, \quad Y = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda, \\ Z = k \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{z}(\lambda) d\lambda \dots\dots\dots(1)$$

여기서 k는 비례상수이고 $100 / \int_{380}^{780} S(\lambda) \bar{y}(\lambda) d\lambda$ 를 갖는다. S(λ)는 광원의 분광분포이고, $\bar{x}(\lambda)$, $\bar{y}(\lambda)$, $\bar{z}(\lambda)$ 는 color matching functions이다.

2) 색좌표 계산

국제조명위원회(CIE)에서는 1931년에 CIE x, y좌표에 대한 정의를 내렸고, 1976년에는 이 좌표계를 좀더 육안의 시각(視感)에 가깝게 하기 위해 1976 UCS칼라 좌표계를 만들었다.

1931 CIE 좌표계산은

$$x = \frac{X}{X+Y+Z}, \quad y = \frac{Y}{X+Y+Z}, \quad z = \frac{Z}{X+Y+Z}, \\ x+y+z=1 \text{로 되고} \dots\dots\dots(2)$$

1976년 UCS 좌표계산은

$$u = \frac{4X}{X+15Y+3Z} \text{ OR } \frac{4X}{-2X+12Y+3Z}, \\ U' = U \dots\dots\dots(3)$$

$$v = \frac{6X}{X+15Y+3Z} \text{ OR } \frac{6Y}{-2X+12Y+3Z}, \\ V' = 2/3V \text{이다} \dots\dots\dots(4)$$

또한, Lab color space는 1976년 CIE에서 정
 의된 등색공간(Uniform color space)중의 하나이
 다.

$$L^* = 116(Y/Y_n)^{1/3} - 16, \dots\dots\dots(5)$$

$$a^* = 500[X/X_n]^{1/3}(Y/Y_n)^{1/3}, \dots\dots\dots(6)$$

$$b^* = 500[(Y/Y_n)^{1/3}(Z/Z_n)^{1/3}], \dots\dots\dots(7)$$

$$\Delta E^*_{ab} = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \dots\dots\dots(8)$$

여기서 X, Y, Z는 삼자극치이고, X_n, Y_n, Z_n은
 완전 확산면의 삼자극치이며, ΔE*_{ab}는 색차를
 나타낸다. 3), 5)

3) 휘도측정

어떤 광원이 어떤 밝기를 갖고 있는지를 알기
 위해서는 먼저 표준광원으로 보정한 시스템을 가
 지고, 스펙트럼을 측정후 국제조명위원회에서
 정한 비시감도 곡선을 곱해주어 가시광 영역
 380nm에서 780nm까지를 적분해주면, 그 광원
 의 휘도값이 된다. 즉,

$$\text{휘도 } L(\lambda) = km \int S(\lambda)V(\lambda)d\lambda \dots\dots\dots(9)\text{이다.}$$

여기서 km은 683 lm/W이고, S(λ)는 측정된
 신호의 분광분포이며, V(λ)는 CIE에서 정한 비
 시감도 곡선이다. 6)

4) 색온도측정

색온도란 불꽃의 색깔이 온도에 따라 다르게
 보이는 현상에 근거를 둔 온도개념으로서 불꽃의
 색깔을 평가한 데이터인 색좌표를 갖고 역으로
 색온도를 산출해 낸다. 색온도 계산은 1976
 UCS 좌표계를 사용한다. 8), 10)

5) 연색성 평가

광원의 연색성이란 광원으로 조명했을때, 조명
 의 특성에 따라 물체색이 다르게 보이는 현상을
 말하며 광원의 연색성은 평균 연색지수와 특수
 연색지수로 나누어 평가한다.

4. 측정결과 및 고찰

자체설계에 의해서 완성된 Multichannel type
 분광측정 시스템 구성 다이어그램은 아래 그림
 4.1과 같다. 이 시스템을 가지고 측정 알고리즘
 에 근거하여 개발한 소프트웨어로 조명분야, 브
 라운관분야, 평판표시소자 분야의 제품들을 실제
 로 측정을 해서 다음과 같은 결과들을 얻었다.

4.1 조명의 분광측정

일반 가정에서 흔히 사용되는 일반 형광등과
 삼파장 형광등의 분광분포를 측정하였다. 그림
 4.2는 Sampling time 20ms에서 측정한 스펙트럼
 분포로서 표4.1에서 알 수 있듯이 CIE x, y 및
 UCS u', v' 좌표, 색온도, 연색지수, 주피크파장,
 밴드폭, 광속(luminous flux), 색순도등이 출력됨
 으로써 조명의 연구개발 및 품질관리 분야에 필
 요한 측정·분석지원이 가능하게 하였다.

일반형광등과 삼파장 형광등의 측정결과를 보
 면 삼파장 형광등이 적색영역인 613nm에서 일
 반형광등과는 달리 스택트럼 피크가 있는 것을
 알 수 있으며, 이 피크에 의해 연색지수가 높아
 지고 밝게 느끼게 됨을 알 수 있다. 그 결과의
 데이터를 표 4.1에 나타냈으며 일반형광등의 경
 우 평균연색지수 69.7이며, 삼파장 형광등의 경
 우는 81.8로서 상대적으로 그 값이 크다. 따라서
 평균연색지수가 80이 넘어야 삼파장 형광등이라
 고 말할 수 있는 기준을 고려하면 여기서 평가된
 삼파장 형광등은 그 기준에 합당한 결과를 갖고
 있다.

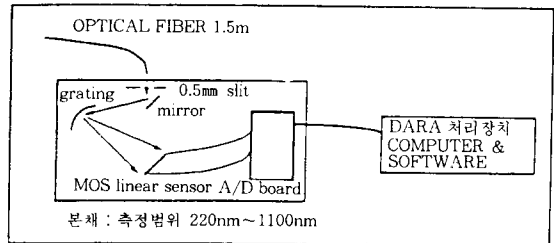


그림 4.1 시스템 구성 다이어그램
 Fig. 4.1 System block diagram

표 4.1 일반형광등과 삼파장형광등의 측정결과
 Table 4.1 The results of spectrum analysis

구 분	일반형광등	삼파장형광등
색좌표(x, y)	(0.3126, 0.3513)	(0.3478, 0.3657)
색온도(Tcp)	6375K	4952K
연색지수(Ra)	69.7	81.8
주피크파장	433.9nm	542.2nm
광속	25.5(100%)	32.67(128%)
밴드폭	4.76nm	7.74nm
색순도	6.3%	14%

4.2 브라운관의 분광 특성 측정

그림 4.3에 CRT의 발광스펙트럼 분포 측정결과를 나타내었다. 이 스펙트럼의 분포에 나타난 바와 같이 적색, 녹색, 청색의 발광 스펙트럼의 특성을 알 수 있고, 표 4.2에 나타난 데이터에서 적, 녹, 청의 색좌표 및 휘도값을 알 수 있다. 이 색좌표를 갖고 어느 브라운관이 얼마나 넓은 범위의 색재현이 가능한가를 알 수 있으며 가능한 넓은 범위의 색재현이 가능토록 브라운관의 형광체 개발이 요구된다. 최근들어 다양한 기능을 갖춘 고품위의 브라운관이 출시되고 있는 시점에서 그의 분광특성 평가는 매우 중요하다.

이와같이 조명분야의 광학적 특성평가와 마찬가지로 브라운관 분야의 색상설계 분야에서 필요한 색좌표, 휘도, 색순도, 주피크 파장등의 정보를 얻을 수 있었다.

4.3 평판표시소자(LCD)의 칼라필터(COLOR FILTER) 특성평가

평판표시소자는 수동형 발광소자로서 배면광이 존재해야 표시소자의 전면에서 칼라필터를 통과한 칼라특성을 볼 수 있다. 이러한 면에서 전

표 4.2 브라운관의 R, G, B형광체 측정결과
Table 4.2 The results of spectrum analysis in R, G, B phosphor

구분	적 색	녹 색	청 색
색좌표(x, y)	(0.6333, 0.3539)	(0.2165, 0.5387)	(0.1487, 0.0665)
휘도	123.3 Cd/m ²	500.2 Cd/m ²	54.8 Cd/m ²
색순도	96.5%	41.5%	92.4%
주피크파장	623.1nm	512.5nm	454.2nm
색재현 범위	43		

표 4.3 적, 녹, 청 칼라필터의 반사 스펙트럼 측정결과
Table 4.3 The results of reflectance spectrum analysis

구분	적색필터	녹색필터	청색필터
색좌표(x, y)	(0.6133, 0.3388)	(0.2412, 0.6203)	(0.1360, 0.0880)
색좌표(Lab)	54.91, 66.87, 58.56	57.53, -85.59, 49.84	29.85, 30.88, -84.32
투과율(%)	90%(피크치)	50%(피크치)	65%(피크치)

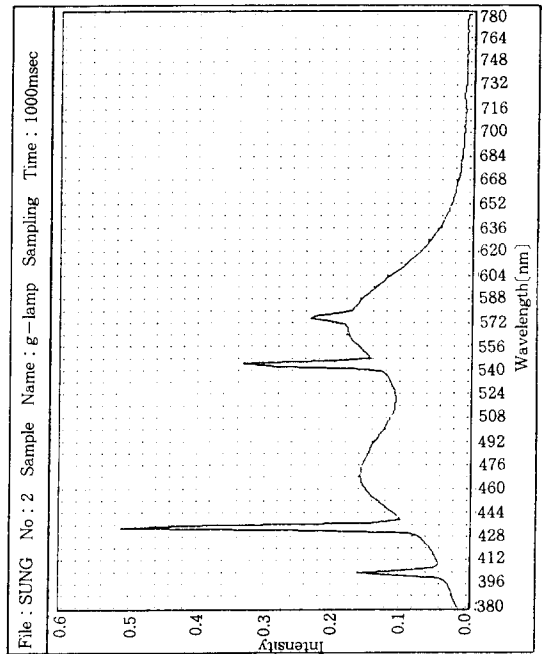


그림 4.2(a) 일반형광등의 스펙트럼 측정예
Fig. 4.2(a) The spectrum distribution of general fluorescent and

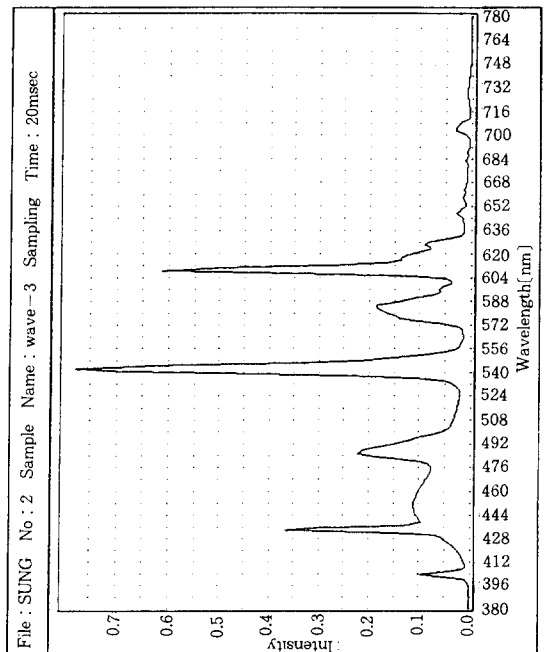


그림 4.2(b) 삼파장 형광등의 스펙트럼 측정예
Fig. 4.2(b) three wavelengths fluorescent lamp.

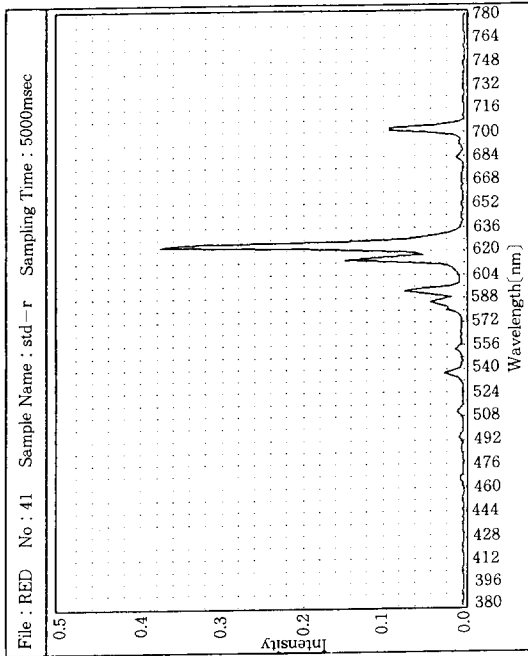


그림 4.3(a) 적색형광체의 스펙트럼
Fig. 4.3(a) red phosphor

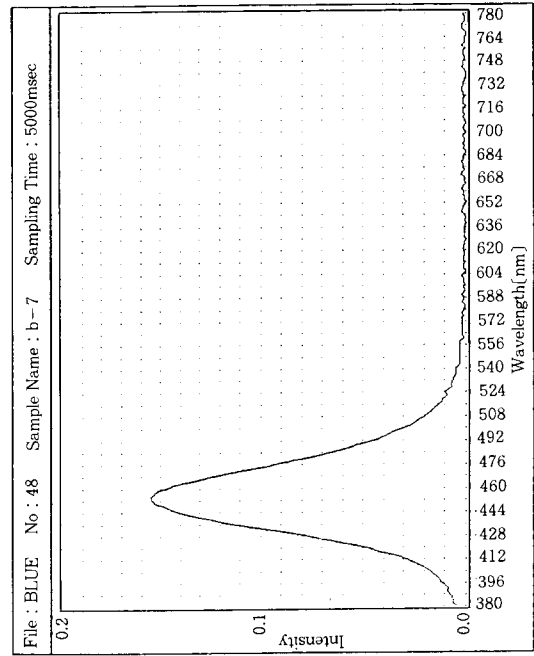


그림 4.3(c) 청색형광체의 스펙트럼 측정예
Fig. 4.3(c) blue phosphor.

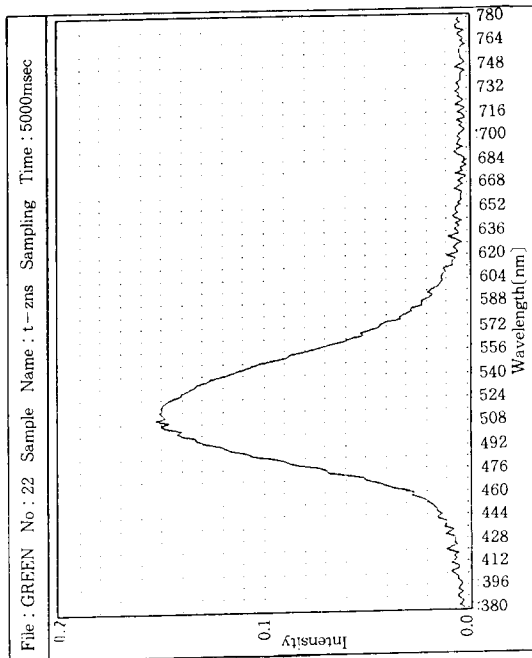


그림 4.3(b) 녹색형광체의 스펙트럼
그림 4.3(b) green phosphor

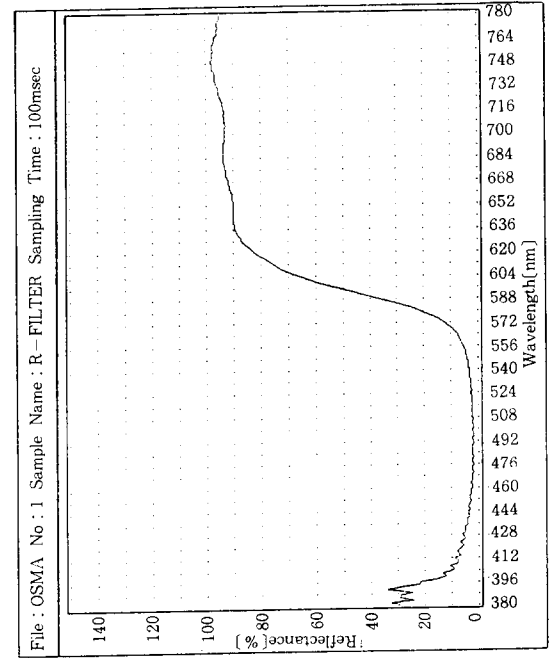


그림 4.4(a) 적색필터의 스펙트럼
Fig. 4.4(a) red color filter

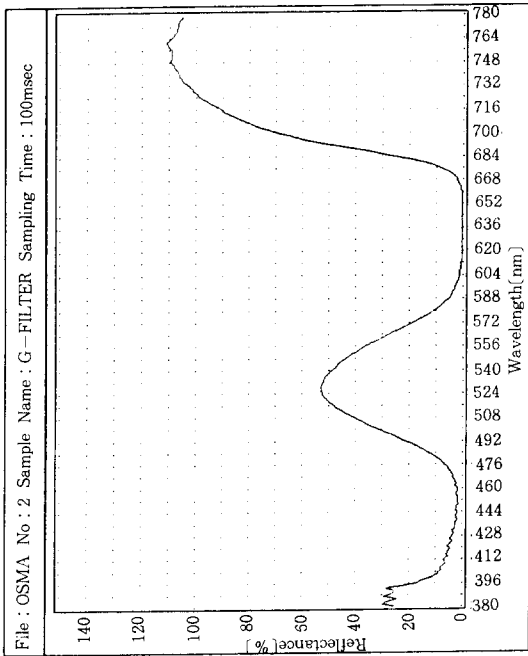


그림 4.4(b) 녹색필터의 스펙트럼
Fig. 4.4(b) green color filter

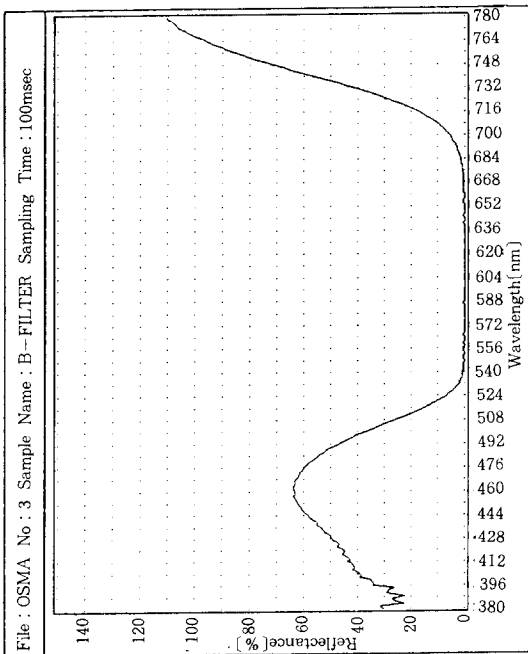


그림 4.4(c) 청색필터의 스펙트럼 반사율 측정예
Fig. 4.4(c) blue color filter.

면에 칼라를 재현시키는 칼라필터의 투과특성 평가는 매우 중요한 요소이다. 여기서는 먼저 시료를 측정하기 전에 백색광으로 기준을 잡고 동일 조건에서 투과율을 측정하였다. 그 결과를 그림 4.4 및 표 4.3에 나타냈다. 이와같이 LCD의 경우 배면광에 의한 칼라필터의 투과특성이 칼라 영상을 재현하는 면에서 중요하며, 브라운관에서와 마찬가지로 투과광 칼라의 색좌표가 색재현 범위를 결정하고 가능한 한 넓은 범위를 갖도록 칼라 필터를 개발해야 한다. 또한 투과율 특성이 좋아야 휘도값이 큰 평판 표시소자를 만들수 있다.

5. 결론

이와같이 분광측정 시스템을 제작하여 조명산업 및 표시소자 산업의 제품들인 일반형광등 및 삼파장형광등 그리고 브라운관에 사용되는 RED, GREEN, BLUE 형광체에 대한 분광 특성 및 평판표시소자인 LCD의 칼라필터 특성을 평가하여 색좌표, 휘도, 색온도, 연색성, 색순도, 주 피크파장등의 데이터들을 얻었으며 이들은 관련 산업분야에서도 필수평가 항목들이다. 이러한 결과들로부터

첫째, 자체 광학설계 기술에 의한 광방사 측정 시스템의 하드웨어 및 소프트웨어 제작이 가능해졌고,

둘째, 조명 및 표시소자 분야의 광특성 평가에 필요한 정보인 색좌표, 휘도, 색온도, 색차, 연색성, 스펙트럼의 주피크 파장등을 본 시스템을 통하여 얻을 수 있으며,

셋째, 일반적인 가시광 영역뿐만 아니라 자외선 및 근적외선 영역인 220nm에서 1,100nm까지의 광방사(복사)측정이 가능해졌으며,

넷째, 측정시간이 최소 16ms에서 최대 20,000ms 이므로 아주 빠른 섬광에서 미약광까지의 광특성 평가가 가능하다.

다섯째, 본 연구에서 설계된 분광광학계는 분석기기의 기본 장비로서 향후 화학분석기인 원자흡광분석기 (AA, ICP)등 다양한 응용분야의 분석 측정기기 개발에 적용이 가능하다.

참 고 문 헌

- 1) Eugene G, "Light source & monochromator detector systems," ORIEL VOL II, pp.2.4~2. 12, 1992.
- 2) Hamamatsu, "MOS LINEAR IMAGE SENSORの特性と使い方," technical note, pp.1~38, 1992.
- 3) 村田幸男, "色彩技術ハンドブック," 総合技術 center, pp.23~120, 1984.
- 4) Grant r. fowles, "Introduction to modern Optics," Tower press, pp.58~150, 1984.
- 5) 韓國 標準研究所, "教育資料(光輻射測定篇)," 標準研究所, pp.1~30, 1990.
- 6) 池田光男, "色彩工學の基礎," 朝倉書店, pp.54~120, 1992.
- 7) 清水 良祐, "分光器の原理," optronics, pp.124~130, 1988.
- 8) GUNTER WYWSZECKI・W.S.STILES, "COLOR SCIENCE," A Wileyinterscience Publication, pp.117~277, 1982.
- 9) R. DANIEL OVERHEIM・DAVID L. WAGNER, "LIGHT AND COLOR," JOHN WILEY & SONS, INC., pp.59~110, 1982.
- 10) 藤吉敏生, "カラ-マッチングの基礎と應用," 美研プリンテイング, pp.46~61, 1991.

◇ 著者紹介 ◇



성 연 국(成演國)

1959年 1月1日生. 1986年 高麗大學校 物理學科 卒. 1986年 三星電管 綜合研究所 入社. 現在 三星電管 綜合研究所 先任研究員. 慶熙大學校 産業情報大學院 電子工學科 在學.



백 운 식(白雲植)

1957年 3月 13日生. 1979年 慶熙大學校 電子工學科 卒. 1981年 延世大學院 電子工學科 卒(碩士). 1990年 Polytechnic Institute of New York 工學博士(Ph. D.). 現在 慶熙大學校 電子工學科 教授.