

## 칼라영상센서의 분광감도 측정에 관한 연구\*

박승욱 · 김홍석

대진대학교 물리학과

(1995년 5월 10일 받음)

칼라영상센서의 분광감도 특성은 칼라영상의 색을 결정하는 중요한 요인이 된다. 칼라영상센서의 분광특성을 간편하게 측정할 수 있는 장치를 제작하고, 이를 사용하여 CCD 칼라 카메라의 분광특성을 조사하였다. 측정장치는 가시광선 영역내에서 단색광의 파장뿐만 아니라 세기도 간편하게 조절할 수 있도록 제작된 광학부와 칼라영상센서의 출력신호를 디지털값으로 처리하여 나타내는 색분석부로 구성되었다. 광학부에서 만들어진 단색광들에 대한 카메라의 출력값 R, G, B를 측정하였으며 이로부터 카메라의 연색성 및 선형성을 평가하였다. 이로써 제작된 측정장치가 칼라영상센서의 분광특성 측정 및 성능평가에 매우 유용함을 확인할 수 있었다.

### I. 서 론

정보화 시대를 맞이하여 많은 양의 정보를 빠르게 기록하고 재현시킬 수 있는 칼라영상시스템은 산업 및 학문의 전 분야에서 기본적으로 필수적인 장비가 되고 있다. 현재는 내시경, 칼라초음파, MRI 등의 의료용 영상처리에 주로 사용되고 있으나 건축, 조정, 의상, 미용 등의 실생활과 밀접한 분야에까지 점차로 확대되고 있다. 그러나 사용하는 시스템마다 재현되는 색이 다르므로 시스템간의 색에 대한 정확한 의사전달이 어렵고 색에 내포된 막대한 정보를 적절히 활용하지 못하고 있는 실정이다.

색은 물체로부터 반사되는 색신호의 파장별 세기분포에 따라 결정된다.<sup>[1]</sup> 이러한 색신호를 칼라영상시스템으로 기록하여 재현시키게 되면 칼라영상센서나 디스플레이의 분광특성에 따라 재현되는 색신호의 파장별 세기분포가 바뀌게 된다. 따라서 사용하는 시스템의 분광적 특성은 칼라영상의 색에 큰 영향을 미치게 되므로 이를 고려한 색재현 연구가 여러각도로 이루어지고 있다. 연구내용은 주로 영상을 보여주는 모니터의 분광특성에 따라 모니터로 보내주는 신호값을 보정하려는 연구들과<sup>[2-5]</sup> 카메라 등의 칼라영상센서로 받아들인 신호값으로부터 실제 물체의 색신호를 찾아내려는 연구들<sup>[6-12]</sup>, 그

리고 이러한 시스템 및 조명의 광특성을 고려한 자연색 재현연구 등을<sup>[13-14]</sup> 들 수 있다. 또한 이러한 연구들이 종합적으로 이루어지면서 카메라와 모니터의 정확한 분광특성을 알 수 있다면 어떤 종류의 시스템으로도 물체색에 가깝게 영상색을 재현시킬 수 있는 CAP(Color analysis package)이 제안되기도 하였다.<sup>[15]</sup> 이에 따라 사용하고 있는 시스템의 분광특성을 정확하게 알 수 있는 측정시스템 및 특성평가에 관한 연구도 병행되고 있다. 현재까지는 칼라모니터의 색특성을 빠르고 정확하게 측정할 수 있는 모니터특성 측정시스템<sup>[16]</sup> 및 Gun independence, Phosphor constancy 등의 특성에 관한 연구<sup>[17-20]</sup>가 주로 이루어지고 있다.

본 연구에서는 칼라영상센서의 분광특성을 간편하게 측정할 수 있는 장치를 제작하고 이를 사용하여 CCD 칼라 카메라의 분광특성을 측정하였다. 측정장치는 가시광선 영역내에서 단색광의 파장뿐만 아니라 세기도 간편하게 조절할 수 있는 광학부와 칼라영상센서의 출력신호를 디지털값으로 처리하여 나타내는 색분석부로 구성되었다. 측정된 분광특성으로부터 카메라의 연색성 및 선형성을 평가할 수 있었다.

### II. 칼라영상센서의 분광특성이 색에 미치는 영향

색은 빛이 사람의 눈에 일으키는 감각의 양으로 정의된다. 태양이나 전등과 같이 방출되는 빛이 직접 눈에 들어올 경우는 광원색이 보이고, 광원의 빛이 물체에

\*이 연구는 92년도부터 3년간 수행되고 있는 목적기초 연구결과(과제번호: 92-21-00-07)의 일부입니다. 한국과학재단의 연구비 지원에 감사드립니다.

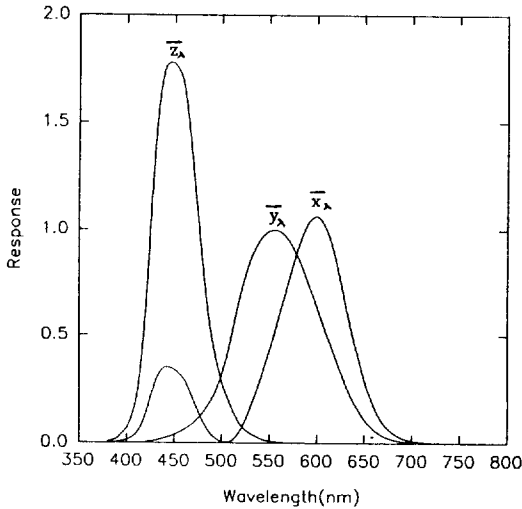


그림 1. CIE 1931 표준관측자의 분광감도 곡선.

비추어져서 반사(혹은 투과)되는 빛이 눈에 들어올 경우는 물체색이 보이게 된다. 즉 어떤 파장의 빛이 어떤 세기로 눈에 입사되어 감각을 어느만큼 일으켰는가에 따라 색이 정해진다. 따라서 사람에게 일으키는 총자극(S)은 광원의 분광분포( $E_\lambda$ ), 물체의 분광반사율( $R_\lambda$ ), 그리고 관측자의 분광감도( $V_\lambda$ )에 의해 결정된다고 할 수 있다. 이것을 수식으로 표시하면 다음과 같다.

$$S = \int_{380}^{780} E_\lambda R_\lambda V_\lambda d\lambda \quad (1)$$

CIE(국제조명위원회)에서는 이러한 총자극 S는 3종류의 자극으로 나누어 감지되고 이들의 조합으로 색을 인식하게 된다는 학설을 바탕으로 각 파장에 대한 표준관측자의 분광감도  $\bar{x}_\lambda, \bar{y}_\lambda, \bar{z}_\lambda$ 를 그림 1과 같이 정하였다.<sup>[1]</sup> 파장에 따라 세기가 같지 않은 색신호는 다음의 삼자극치로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} X &= k \int E_\lambda R_\lambda \bar{x}_\lambda d\lambda \\ Y &= k \int E_\lambda R_\lambda \bar{y}_\lambda d\lambda \\ Z &= k \int E_\lambda R_\lambda \bar{z}_\lambda d\lambda \end{aligned}$$

식 (2)에서 k는  $R_\lambda=1$ 인 이상적인 흰색에 대하여 Y=100이 되게 하는 규격상수로써 다음과 같이 표시된다.

$$k = \frac{100}{\int E_\lambda R_\lambda \bar{y}_\lambda d\lambda} \quad (3)$$

식 (2)에서도 알 수 있듯이 삼자극치 X, Y, Z값은 사용하는 광원의 분광분포에 따라 값이 달라지므로 색을

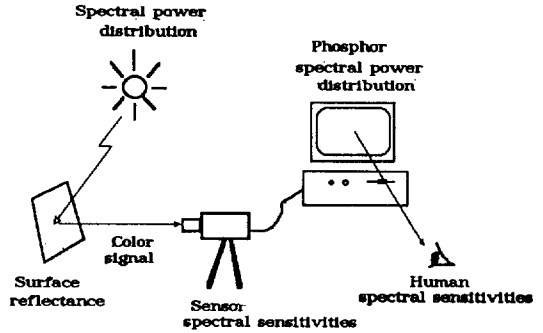


그림 2. 칼라영상시스템으로 재현된 영상색에 영향을 미치는 물리적 요인들.

나타낼 때에는 사용된 광원을 반드시 명시하여야 한다.

카메라나 스캐너 등의 여러가지 영상측정장치를 사용하여 물체의 영상을 기록, 재현시키는 경우에는 칼라영상의 색이 사용하고 있는 시스템의 분광적 특성에 크게 영향을 받게 된다. 그림 2는 칼라영상 시스템에서 재현되는 색에 영향을 주는 물리적 요인들을 나타내고 있다. 물체의 색신호는 시스템의 칼라영상센서에 의해 전기적 신호로 바뀌어 디스플레이어로 보내진다. 이때 칼라영상 시스템의 분광적 특성은 칼라영상센서의 분광감도와 디스플레이어의 분광복사 분포를 구분해서 고려할 수 있다. 칼라영상센서의 분광감도가 색에 미치는 영향은 다음과 같다.

물체표면에 입사되는 광원의 분광복사분포를  $E_\lambda$ , 물체표면에서의 반사율을  $R_\lambda$ 이라 할 때 칼라영상센서가 내포된 광학계로 입사되는 색신호  $C_\lambda$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$C_\lambda = E_\lambda R_\lambda \quad (4)$$

이때, 칼라영상센서의 광학계 및 전자계의 특성에 의해 결정되는 분광감도를  $D_{k,\lambda}$ 이라 하면 칼라영상센서에 의해 얻어지는 삼자극치는

$$\rho_k = \sum C_\lambda D_{k,\lambda} \Delta\lambda \quad (5)$$

이 되고 이로부터 R (빨강), G (녹색), B (파랑)의 세 성분값이 출력된다. 이러한 값들은 식 (5)에서 볼 수 있듯이 동일한  $C_\lambda$ 에 대해서도  $D_{k,\lambda}$ 에 의해 크게 좌우된다. 칼라영상센서의 분광감도는 사람 눈의 분광감도와 다를 뿐 아니라 장치의 성능에 따라 상당한 차이가 있어 이러한 출력값으로 영상을 재현시키면 상당한 색의 왜곡이 생기게 된다.

칼라영상의 정확한 색재현을 위해서 여러가지의 연구

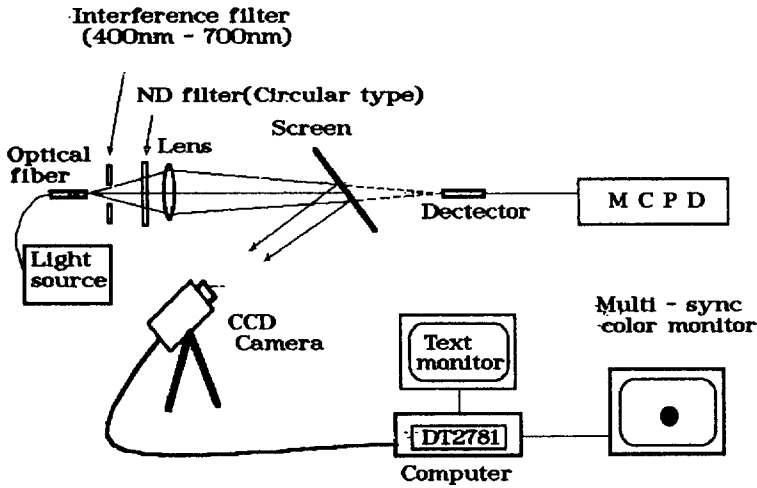


그림 3. 칼라영상센서의 분광특성 측정장치의 구성도.

가 이루어져 오다가 최근에는 사용하는 칼라영상센서의 왜곡된 신호를 받아서 이로부터 원래의 색신호  $C_\lambda$ 를 찾아내려는 시도가 이루어지고 있다.<sup>[8]</sup> 그 내용을 간략히 소개하면 다음과 같다. 식 (5)를 행렬형태로 나타내면

$$\begin{pmatrix} \rho_R \\ \rho_G \\ \rho_B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_{R,\lambda_1}, D_{R,\lambda_2}, \dots, D_{R,\lambda_N} \\ D_{G,\lambda_1}, D_{G,\lambda_2}, \dots, D_{G,\lambda_N} \\ D_{B,\lambda_1}, D_{B,\lambda_2}, \dots, D_{B,\lambda_N} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} C_{\lambda_1} \\ C_{\lambda_2} \\ \vdots \\ C_{\lambda_N} \end{pmatrix} \quad (6)$$

으로 표현된다. 이 식을 자세히 살펴보면  $D$  행렬이  $3 \times 3$ 이 아니므로 역행렬을 취할 수가 없어  $C_\lambda$ 를 계산해 낼 수 없다. 그러나 물체의 반사율을 다음과 같이 3개의 고정된 기본함수(basis function)의 합으로 근사시킬 수 있다는 가정을 함으로써 문제점을 해결하게 되었다. 즉,

$$C_\lambda = \sum_{j=1}^3 \sigma_j C_{j\lambda} \quad (7)$$

여기서  $C_{j\lambda}$ 는 이미 알고 있는 3개의 기본함수이고,  $\sigma_{j(j=1, 2, 3)}$ 는 각 기본함수의 가중치이다. 식 (6)에 식 (7)을 대입하여 행렬방정식으로 쓰면

$$\rho = DC\sigma = A\sigma \quad (8)$$

이 된다. 여기서  $\rho = (\rho_R, \rho_G, \rho_B)^T$ ,  $\sigma = (\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)^T$ 이고  $A$ 가  $3 \times 3$ 행렬이 되어 역행렬을 계산할 수 있다. 그러므로 칼라영상센서에 의해 왜곡된 출력신호를 얻었다해도 칼라영상센서의 분광감도를 안다면 식 (7)에서  $\sigma$ 를 계산할

수 있어 식 (6)으로부터 원래의 색신호를 찾아낼 수 있다. 따라서 사용하고 있는 칼라영상센서의 분광특성을 정확하게 측정하는 일은 매우 중요하다.

### III. 분광특성 측정방법 및 장치구성

표준관측자의 분광감도는 모든 파장의 빛이 동일한 세기로 입사되었을 때 각 단일 파장에 대한 삼자극치로 정의되어 있다. 따라서 이와 같은 의미를 지닌 칼라영상센서의 분광감도를 측정하기 위해서는 단일파장의 빛을 방출할 수 있는 광학부가 필요하다. 단일파장의 빛을 칼라영상센서에 입사시키면서 이에 대한 칼라영상센서의 출력신호를 영상입력 보드가 내장된 컴퓨터와 영상 재현용 칼라모니터로 이루어진 색분석부로 분석할 수 있도록 하였다. (그림 3 참조).

단일파장의 빛을 간편하게 얻기 위하여 파장간격이 20 nm인 16개의 간섭필터를 그림 4와 같이 알루미늄 필의 원주상에 배치하였다. 그림 5는 투과되는 빛의 파장이 500 nm인 간섭필터의 투과광을 MCPD(다채널 광검출기, 한국 표준연구원 개발)로 측정한 스펙트럼이다. 측정된 파장은 502 nm이고 약 10 nm의 선폭을 지니므로 본 연구에서 단색광으로 간주하기에 적합하다고 볼 수 있다. 400~700 nm의 빛이 고루 방출되어 백색을 띠는 텅스텐 할로겐 광원의 빛을 광섬유로 모아 간섭필터 바로 앞에서 비추어 주어 간섭필터를 투과한 단색광의 세기가 충분하도록 하였다. 투과된 빛은 렌즈를 사용하여 일정 거리 떨어진 지점에 설치된 백색스크린에 모아지도록 하였다. 원형의 ND필터를 간섭필터와 렌즈사이에 놓아

각 단색광의 세기를 조절하였다. 스크린에 도달되는 빛의 세기는 스크린을 짓히고 바로 뒤에 설치해 놓은 MCPD로 측정하였으며 이때 원형의 ND필터 회전각도를 조절하여 원하는 세기의 빛이 스크린에 비추지도록 하였다.

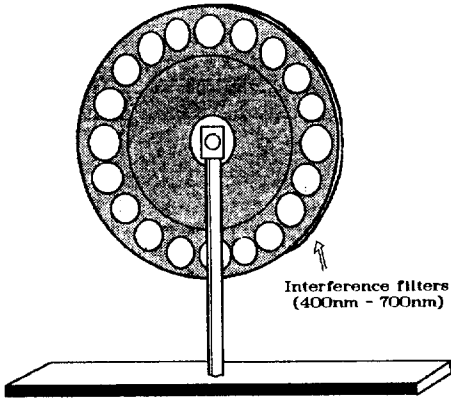


그림 4. 간섭필터가 부착된 알루미늄 휠의 모습.

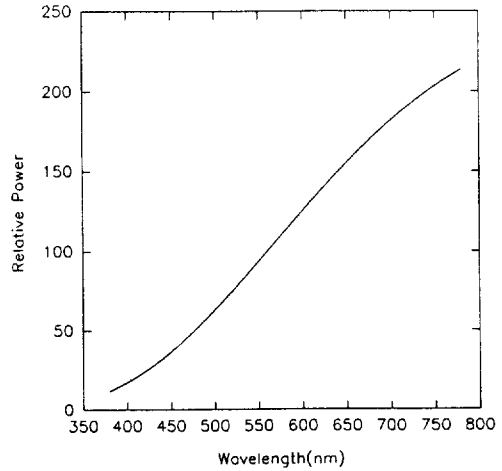


그림 6. 3000 K 흑체복사의 스펙트럼.

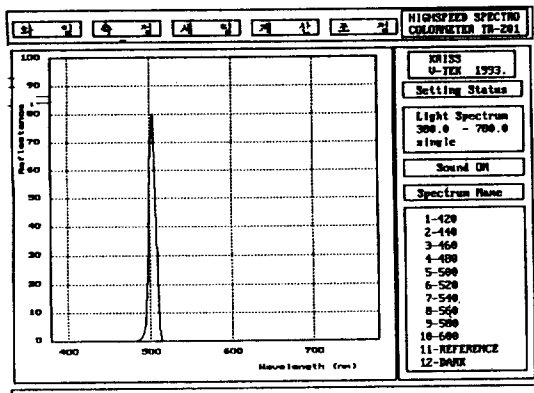


그림 5. MCPD로 측정된 파장이 500 nm인 간섭필터를 투과한 빛의 스펙트럼.

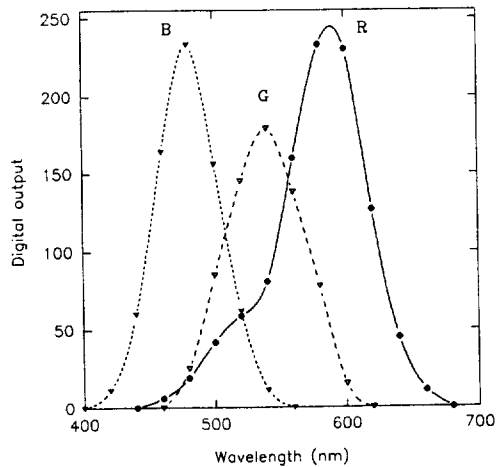


그림 7. 입사되는 빛의 파장에 대한 CCD 칼라 카메라의 R, G, B 출력특성 곡선.

표 1. CCD 카메라의 결과와 PAL System I TV 카메라의 비교

| Primaries    | Peak wavelength(nm) |             |             | Crossover wavelength(nm) |                |
|--------------|---------------------|-------------|-------------|--------------------------|----------------|
|              | $\lambda_R$         | $\lambda_G$ | $\lambda_B$ | $\lambda_{BG}$           | $\lambda_{GR}$ |
| Image Sensor |                     |             |             |                          |                |
| CCD camera   | 590                 | 540         | 480         | 500                      | 560            |
| TV camera    | 604                 | 535         | 452         | 492                      | 570            |

표 2. 스크린에 비추진 빛의 색과 칼라모니터에 재현된 영상색의 비교

| Wavelengths(nm) | 400 | 420 | 440 | 460 | 480 | 500 | 520 | 540 | 560 | 580 | 600 | 620 | 640 | 660 |
|-----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Screen          | 보라  | 보라  | 보라  | 파랑  | 시안  | 초록  | 연두  | 연두  | 연두  | 연두  | 주홍  | 주홍  | 빨강  | 빨강  |
| Monitor         | x   | 파랑  | 파랑  | 파랑  | 파랑  | 연두  | 연두  | 연두  | 연두  | 주홍  | 주홍  | 주홍  | 주홍  | x   |

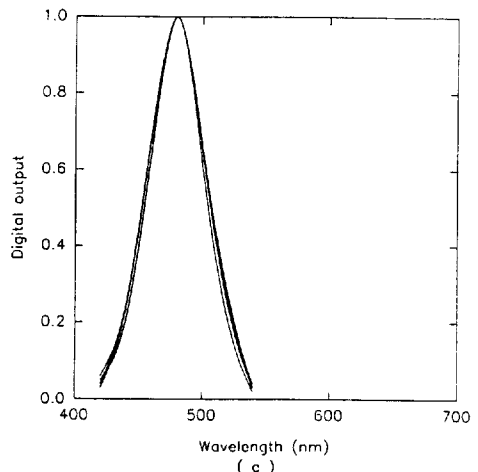
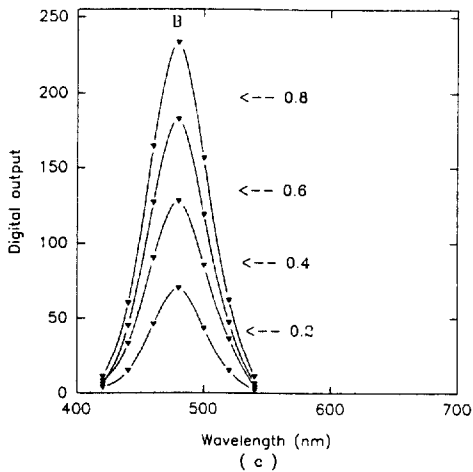
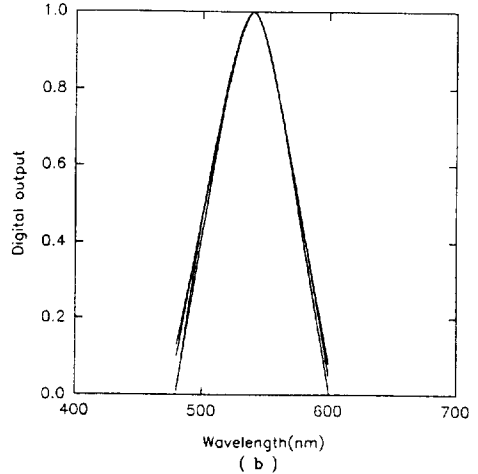
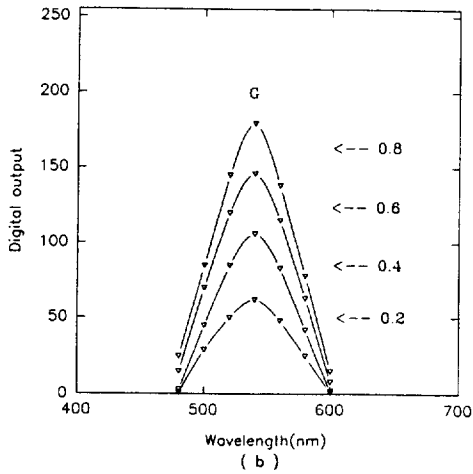
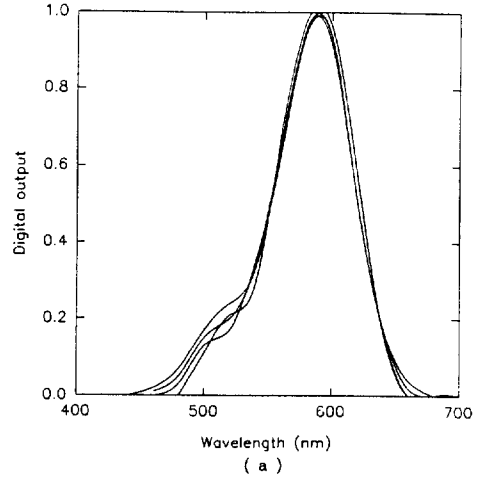
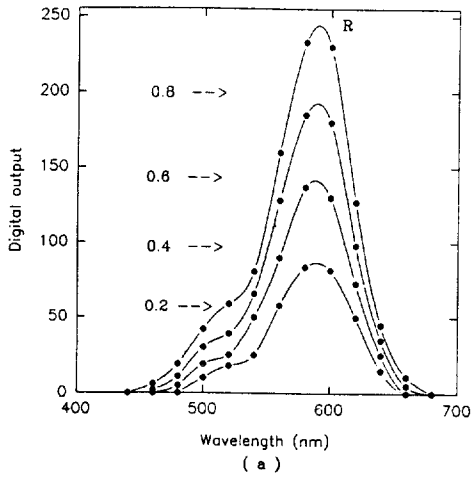


그림 8. 상대세기 0.8, 0.6, 0.4, 0.2에 대한 CCD 칼라 카메라의 R, G, B 출력곡선 a) R, b) G, c) B.

그림 9. 그림 8의 곡선들을 각각의 최대값에 대해 규격화한 결과 a) R, b) G, c) B.

색분석부는 칼라영상센서의 출력신호를 디지털값으로 나타내는 Color image frame grabber가 내장된 컴퓨터와 칼라영상을 재현시키는 Multi-sync 칼라모니터로 이루어져 있다. 사용된 Color image frame grabber는 Data Translation사의 DT 2871로써 8 Bit의 A/D, D/A 변환기에 의해 R, G, B 각각 256단계의 입력값을 가질 수 있어 약 1600만 가지의 색을 디지털값으로 나타낼 수 있다. 칼라영상센서의 디지털 출력값 R, G, B는 컴퓨터의 Text모니터를 통해 측정될 수 있도록 프로그래밍 되어 있다.

#### IV. CCD 칼라 카메라의 분광특성 측정

본 연구에서 제작된 측정시스템을 사용하여 A사의 CCD 칼라 카메라의 분광특성을 측정하였다. 그림 3의 광학부와 색분석부사이에 CCD 칼라 카메라를 설치하여 스크린에 초점을 맞추고, 카메라의 출력단자를 컴퓨터에 내장된 Color image frame grabber에 연결시켜 출력신호가 컴퓨터의 text 모니터에 디지털값 R, G, B로 나타나도록 하였다. 카메라는 측정시 카메라의 색특성에 변화가 없도록 하였다. 본 실험에서 시험된 카메라는 AGC와 AWB단자가 off상태일때 색온도 3000K 흑체복사 스펙트럼(그림 6)에 대해 백색균형(white balance)이 이루어지도록 출력 디지털값 R, G, B의 이득(gain)이 정해져 있다.

먼저 카메라에 입사되는 빛의 종류에 대한 카메라의 출력특성을 측정하기 위하여 20 nm 파장간격의 단색광을 차례로 스크린에 비추고 이로부터 반사되는 빛을 카메라로 받아들였다. 각 단색광의 세기는 그림6의 분포를 이루도록 조절하고 이때 각 파장의 세기를 0.8로 기준을 정하였다. 각 단색광에 대한 카메라의 출력값을 색분석부의 Text모니터에서 측정하여 그림 7의 결과를 얻었다. 예상대로 장파장 영역의 빛에 대해서는 R이, 중간파장 영역의 빛에 대해서는 G가, 그리고 단파장 영역의 빛에 대해서는 B가 상대적으로 큼을 볼 수 있다.

그림 7로부터 CCD 칼라 카메라의 출력 R, G, B값이 각각 최대가 되는 파장(Peak wavelength:  $\lambda_R, \lambda_G, \lambda_B$ )과 B값과 G값, G값과 R값이 같아지는 파장(Crossover wavelength:  $\lambda_{BG}, \lambda_{GR}$ )을 읽어 다른 카메라와 비교함으로써 연색성(Color rendition)을 평가하였다. 표 1에 CCD 카메라와 PAL System I TV 카메라의 결과를 비교 수록하였다.<sup>[21]</sup> 두 결과가 비슷하나 CCD 카메라의  $\lambda_B$ 가 TV카메라에 비해 약 30 nm 정도 장파장쪽으로 이동되어 있으므로 450 nm 이하의 빛에 대해 감도가 떨어질 것이

예측된다. 또한 그림 7에서 보면 R곡선의 꼬리가 단파장쪽으로 길게 퍼져있는데, 이로부터 본 카메라는 전 파장의 색을 약간 붉은 기운(reddish)이 들게 받아들이는 특성을 지니고 있음을 알 수 있다. 특히 500 nm 근방의 빛에 대해서는 R값이 G값이나 B값과 비슷한 크기로 받아들여지므로 심각한 색왜곡을 일으킬 것이 예측된다.

이러한 카메라의 색특성을 확인하기 위해서 카메라 출력값 R, G, B를 영상재현용 칼라모니터로 보내어 재현시킨 색과 실제로 스크린에 비춰진 빛의 색을 눈으로 비교해보았으며 그 결과를 표2에 나타내었다. 이때 대략적인 비교를 하기위한 것이므로 칼라모니터의 분광특성에 의한 영향은 고려하지 않았다. 표2에서 색이 다소 다르지만 동일 색상계열은 같은 이름으로 나타났으며, 모니터에 아무색도 나타나지 않은 경우에는 x표로 표시하였다. 예측된 바와같이 440 nm 이하 빛에 대해서는 감도가 낮을 뿐아니라 보라색이 파랑색과 구분이 안되었으며, 640 nm 이상 빛에 대해서도 감도가 낮고 빨강색이 주황색과 구분이 안되었다. 특히 480 nm나 500 nm의 빛은 모니터에 재현된 색과 실제색 사이에 상당한 차이가 있었다.

다음으로 빛의 세기에 대한 카메라의 출력특성을 측정하였다. 스크린에 비추어 주는 각 단색광의 세기를 일정비율 감소시키면서 이에 대한 카메라 출력값을 측정한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8-a, b, c는 세기가 0.8, 0.6, 0.4, 0.2일때 각각 파장별 R값, G값, 그리고 B값의 변화를 나타낸다. 0.2미만의 세기에 대해서는 R, G, B 모두 출력값의 요동이 있어 나타나지 않았다. 이러한

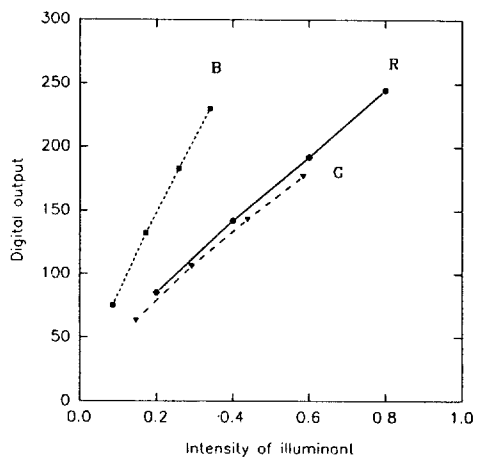


그림10. 입사되는 빛의 세기와 카메라의 디지털 출력 R, G, B의 관계

파장별 분포가 세기에 따라 변화가 있는지를 확인하기 위하여 각 곡선의 최대값을 1로 하여 규격화시켰으며, 그 결과 그림 9-a,b,c를 얻었다. R, G, B 모두 포화되지 않는 입력세기에 대해서는 규격화시킨 곡선의 모양이 거의 일치되므로 빛의 세기에 상관없이 각 파장에 대한 출력값의 상대적인 비는 일정함을 확인할 수 있다. 따라서 임의의 파장의 단색광의 세기에 대한 출력 디지털값의 그래프로 카메라의 선형성을 알아 볼 수 있다. 그림 10은 그림 8-a,b,c에서 R값이 가장 큰  $\lambda_r(590 \text{ nm})$ , G값이 가장 큰  $\lambda_g(540 \text{ nm})$ , 그리고 B값이 가장 큰  $\lambda_b(480 \text{ nm})$ 를 택하여 카메라에 입사되는 빛의 세기에 따른 카메라의 출력 디지털값을 표시하였다. 여기서 빛의 세기는  $\lambda$ 의 최대 세기를 1로 하여 환산한 상대적인 양으로 나타내었다. 그림 10으로부터 R값과 G값에 비해 B값의 이득이 훨씬 큼을 볼 수 있는데 이는 카메라의 백색균형이 그림 6의 스펙트럼에 대해 맞춰져 있기 때문이다. R, G, B 모두 일정세기 이상에서는 선형성이 비교적 잘 유지됨을 볼 수 있다.

## V. 결 론

칼라영상시스템으로 나타내는 색은 여러가지 물리적 요인에 의해 영향을 받는다. 요인으로는 조명의 분광분포 변화, 카메라나 스캐너 등의 칼라영상센서의 분광감도, 그리고 모니터나 프린터 등의 디스플레이어의 분광특성 등을 들 수 있다. 본 연구에서는 중요한 요인의 하나인 칼라영상센서의 분광감도를 측정할 수 있는 장치를 제작하였으며, 이를 사용하여 CCD 칼라 카메라의 분광특성 측정 및 성능평가를 하였다.

측정장치는 가시광선내에서 단색광을 세기가 일정하게 방출시킬 수 있도록 제작한 광학부와 칼라영상센서의 출력신호를 측정할 수 있는 색분석부로 구성하였다. 카메라에 입사되는 빛의 파장에 대한 특성과 빛의 세기에 대한 특성을 측정하여 카메라의 분광특성을 알 수 있었다. 뿐만아니라 측정된 결과로부터 사용된 카메라의 연색성 및 선형성도 평가할 수 있었다.

카메라에 입사되는 빛의 파장에 대한 R, G, B 출력값을 측정하여 파장별 그래프를 얻어 카메라의 연색성을 알아 보았다. 단파장 빛의 파랑색과 장파장 빛의 빨강색이 정확히 재현되지 않고, 전 파장의 색이 붉은기운을 띠게 되는데 이로인해 480-520 nm 파장의 색은 상당히 왜곡됨을 알 수 있었다. 또한 빛의 세기변화에 따른 출력값의 변화를 측정하여 카메라의 선형성이 잘 유지됨을 알았다. 따라서 본 연구에서 구성된 장치는 CCD 칼라

카메라 제작시 반드시 필요한 선택성 평가에 유용하게 활용될 수 있다고 본다.

본 연구에서는 카메라에 입사되는 빛의 파장 및 세기에 따른 출력 디지털값의 변화를 측정함으로써 CCD 카메라의 분광특성을 조사하였다. 앞으로 이 결과로부터 출력 디지털 신호인 R, G, B의  $\gamma$ 값을 계산하여 상대적 분광 감도를 구한 후 칼라영상의 색왜곡 보상에 관한 연구가 이루어질 예정이다.

## 참 고 문 헌

- [1] G. Wyszecki and W. S. Stiles, *Color Science: Concepts and Methods, Quantitative Data and Formulae*, 2nd Ed. (John Wiley and Sons, New York, 1982) pp. 117-143.
- [2] J. C. Gutmann and S. P. Rogers, Technical Report TR459-4, USA Avionics R & Activity Advanced Support Division (1982).
- [3] D. F. Neri, Naval Submarine Medical Research Laboratory, Report 1118 (1988).
- [4] W. W. Farley and J. C. Gutmann, Eng. Psychology Programs Office of Naval Research, Technical Report (1980).
- [5] D. L. Post and C. S. Calhoun, Proc. of the Human Factors Society, (1987).
- [6] J. Cohen, Psychon. Sci., **1**, 369 (1964).
- [7] J. P. S. Parkkinen, J. Hallikainen and T. Jaaskelainen, J. Opt. Soc. Am. A, **8**, 318 (1989).
- [8] B. A. Wandell, IEEE Trans. Patt. Anal. and Mach. Intel., PAMI-9, 2 (1987).
- [9] R. L. Lee, Color Res. and Appl., **13**, 180 (1988).
- [10] 박승욱 외, 한국과학재단 특정연구과제 제 2차 중간보고서, 92-21-00-07 (1994).
- [11] J. K. Eem, H. D. Shin, and S. O. Park, the 2nd IS & T/SID Color Imaging Conference, 127 (1994).
- [12] 박승욱, 김홍석 외, 제 10회 광학 및 양자전자학 워크샵 논문집, 61 (1993).
- [13] 박승욱, 김홍석, 박정만, 대진논총 제 1집, 343 (1993).
- [14] 박승욱, 김홍석 외, 대진논총 제 2집, 53 (1994).
- [15] D. H. Brainard and B. A. Wandell, Stanford Applied Psychology Laboratory, Technical Report Number 89-3.
- [16] J. R. Pekelsky, W. B. Cowan and N. L. Rowell, SPIE **901**, 223 (1988).
- [17] W. B. Cowan and N. L. Rowell, Col. Res. Appl.

- 11, 35 (1986). [20] D. H. Brainard, Col. Res. Appl. 14, 23 (1989).  
[18] 박승옥, 김홍석, 박정만, 대진논총 제 1집, 315 [21] W. N. Sproson, *Color Science in Television and Display Systems*, (Adam Hilger Ltd, Bristol, 1983), pp. 27-47.  
[19] 박승옥, 김홍석 외, 대진논총 제 2집, 65 (1994).

### **A Study on the Measurement of Spectral Response Characteristics of Color Image Sensor**

Seung-Ok Park and Hong-Suk Kim

*Department of Physics, Dae Jin University, Pochoen 487-800, Korea*

(Received: May 10, 1995)

Colors reproduced by color imaging system are affected by various physical factors. The spectral response of the color image sensor is one of the important factors. We developed a spectral response characteristics measurement system which is composed of optical part and color analyzing part. The data from the optical part was analyzed by the color analyzing part and spectral response characteristics of R, G, B three color sensors were obtained. Using this system, the spectral response characteristics of a CCD color camera was measured. From this result, color rendition and linearity of the camera could be analyzed. This measurement system is considered to be very useful for the evaluation of color image sensor characteristics.