

# 분광정보를 이용한 영상 렌더링에 관한 연구

김진서, 강병호, 조맹섭, 최병태  
한국전자통신연구원 가상현실연구부  
e-mail : kjseo@etri.re.kr

## A Study on Image Rendering by use of Spectral Data

Jin-Seo Kim, Byoung-Ho Kang, Maeng-Sub Cho, Byoung-Tae Choi  
VR Research Department, ETRI

### 요 약

디지털 영상이나 물체의 컬러 정보를 표시하는 일반적인 방법은 컬러를 Red(R), Green(G), Blue(B)의 삼색 정보로 표현하는 것이다. 디지털 영상이나 물체의 컬러 정보는 380nm-780nm의 가시광선 영역에 걸쳐 분포하는 분광 특성에 의해 결정지어지며, Red, Green, Blue의 특정 세 채널의 정보만 이용하여 영상을 렌더링 하는 경우, 다른 분광 정보에 포함된 특성에 의해 나타날 수 있는 조명 정보의 변화에 따른 영상의 컬러 변화를 인지할 수 없는 경우가 발생한다. 본 논문에서는 이러한 R, G, B 삼색 정보를 이용한 영상 렌더링과 분광 정보를 이용한 렌더링 방법에 대해 설명하며, R,G,B 삼색 정보를 이용하여 표현할 수 없는 Metamerism 효과를 분광 정보를 이용하여 표현하는 방법을 설명한다.

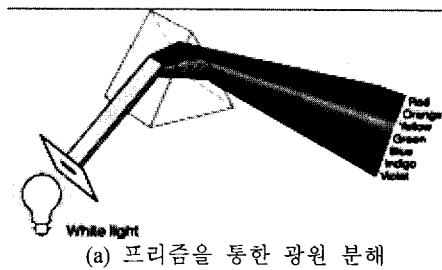
### 1. 서론

이미지 처리나 컴퓨터그래픽에서 사용하는 영상의 컬러 포맷은 Red, Green, Blue의 삼색 정보를 주로 이용한다. 광원으로 사용되는 빛을 프리즘을 통해 파장 별로 분해하면 380nm에서 780nm 사이에서 인간의 시각으로 관찰할 수 있는 가시광선의 영역과 그 외의 영역으로 분해된다. R, G, B 삼색 정보는 가시광선 영역 중에서 각각 650nm, 550nm, 450nm 영역에 해당하는 정보를 이용하여 영상을 컬러를 표현하게 된다. 분광 정보 중에서 샘플링 된 세 채널의 정보만 이용하게 되어 세 채널 이외의 분광 정보가 다른 물체의 컬러는 정확하게 표현하지 못하게 되며 이러한 대표적인 예가 광원의 변화에 따라 동일하게 보이던 물체의 컬러가 다르게 보이는 metamerism을 들 수 있다. 본 논문에서는 물체의 분광 정보에 대하여 알아보고, R,G,B 및 분광 정보를 이용한 영상 렌더링 방법을 설명하고, 분광 정보를 이용한 영상 렌더링 시스템 구현 및 이를 이용한 metamerism의 표현에 대해 설명한다.

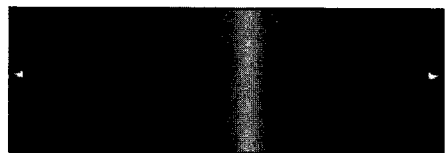
### 2. 분광 정보(Spectral Information)

빛이 프리즘을 통과하면 [그림 1]과 같이 무지개 색 및 적외선, 자외선으로 분해되며 이를 스펙트럼 또는 분광이라고 한다. 일반적으로 380nm - 780nm 사이

의 스펙트럼이 눈으로 볼 수 있는 색에 해당하며 이를 가시스펙트럼이라고 정의하게 된다.



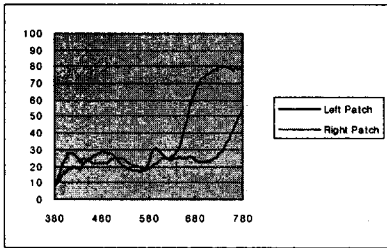
(a) 프리즘을 통한 광원 분해



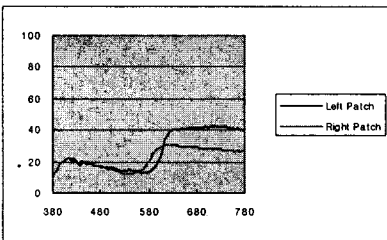
(b) R, G, B에 해당하는 파장  
[그림 1] 빛의 분광 정보

물체에 광원을 비추게 되면 물체가 가지는 고유 의 반사 특성에 따라 각 파장 별로 반사율이 다르며,

이를 측정하기 위해서는 분광 반사율을 측정할 수 있는 Spectro-Radiometer 라는 장치가 필요하다. 인간의 시각으로 비슷하게 보이는 두 가지 물체에 대해서 분광 반사율을 측정해보면 서로 차이가 많이 나는 경우가 있으며 이 경우 광원이 변화되면 시각적으로 차이가 나게 되며, 이러한 현상을 metamerism 이라고 하며 metamerism 현상이 나타나는 두가지 물체를 metameric pair 라고 한다.



(a) Metameric pair 1



(a) Metameric pair 2

[그림 2] Metameric pair 에 대한 분광 반사율

[그림 2]에서 Spectro-Radiometer 를 이용하여 측정된 두 가지 Metameric pair 에 대한 분광 반사율을 그래프로 나타내었다. 두 샘플은 자연광(D65) 하에서는 인간의 시각으로 동일하게 보이나 텡스텐 광(A) 하에서는 서로 다르게 보이는 샘플이며 그림에서와 같이 각각의 샘플의 분광 곡선이 다름을 알 수 있다.

3. 분광 정보를 이용한 렌더링

분광 정보를 이용하여 영상을 만들고, 해석하는 분야를 Spectral Imaging 이라고 한다. 분광 정보를 이용하여 컬러를 해석하기 위해서는 XYZ tristimulus value -> XYZ to device color space conversion 의 단계를 거쳐서 원하는 디바이스에 렌더링 하게 된다. 각 단계에 대해 부연하면 다음과 같다.

먼저 물체의 분광 반사율과 광원의 분광 정보를 이용하여 CIEXYZ tristimulus 값을 다음의 식으로부터 구한다.[1]

$$X = k \int_{380}^{780} S(\lambda)R(\lambda)\bar{x}(\lambda)d(\lambda)$$

$$Y = k \int_{380}^{780} S(\lambda)R(\lambda)\bar{y}(\lambda)d(\lambda)$$

$$Z = k \int_{380}^{780} S(\lambda)R(\lambda)\bar{z}(\lambda)d(\lambda)$$

$$k = \frac{100}{\int_{380}^{780} S(\lambda)\bar{y}(\lambda)d(\lambda)}$$

여기서  $S(\lambda)$ 는 CIE 표준 광원에 대한 분광 에너지 값이고,  $R(\lambda)$ 는 Spectro-Radiometer 로 측정된 물체의 분광 반사율 값이며,  $\bar{x}(\lambda)$ ,  $\bar{y}(\lambda)$ ,  $\bar{z}(\lambda)$ 는 CIE 표준 관찰자에 대한 컬러 매칭 함수이다. 위의 식에 의해서 380nm - 780nm 의 가시영역에 대해 측정된 물체의 반사율과 광원 정보, 그리고 컬러 매칭 함수를 이용하여 장치독립적 색 자극치 값인 XYZ tristimulus 값을 구하고, 렌더링 된 영상을 디스플레이 할 장치인 모니터의 R, G, B 로 변환하기 위해 모니터 특성화 작업을 수행하여 3x3 매트릭스와 오프셋, 감마 값을 구한 후 아래의 식을 이용하여 모니터 R, G, B 를 구한다.

$$\begin{bmatrix} R' \\ G' \\ B' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

$$R = f(R', r\_offset, r\_gamma);$$

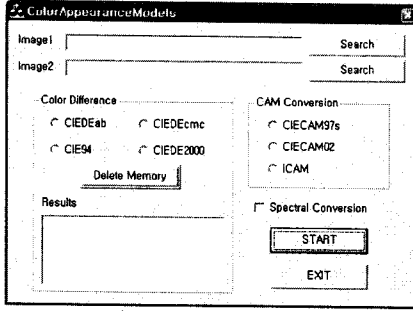
$$G = f(G', g\_offset, g\_gamma);$$

$$B = f(B', b\_offset, b\_gamma);$$

여기서  $M$  은 모델링을 통해 얻은 CIEXYZ 에서 모니터 RGB 로의 변환 매트릭스이며 offset 및 gamma 는 모니터의 색 표현 특성 계수를 측정하여 얻어지는 값이다.

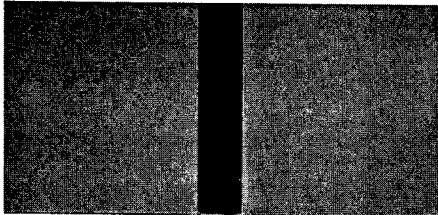
4. 시스템 구현

본 논문에서는 분광 정보를 이용하여 영상을 렌더링 하는 방법을 Microsoft Windows 환경에서 visual C++를 이용하여 [그림 3]과 같이 구현하였다.



[그림 3] 영상변환 시스템

본 연구에서 분광정보 측정을 위해 미놀타 CS-1000 Spectro-Radiometer 를 사용하였으며, 소니 20 인치 CRT 모니터를 디스플레이장치로 사용하였다. 실험에 사용된 Metameric 샘플은 두 종류로 [그림 4]와 같다. 각각의 샘플에 대하여 Spectro-Radiometer 로 측정된 분광 반사를 데이터는 [그림 2]와 같다.



(a) Metameric-pair 1



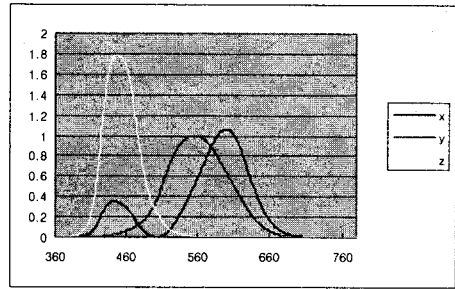
(b) Metameric-pair 2

[그림 4] 실험에 사용된 샘플 패치

[그림 4]는 디지털 카메라를 이용하여 샘플 패치를 D65 광원 하에서 촬영한 영상으로 인간의 시각이 인지하는 색과는 차이가 있으며, 샘플 패치를 D65 광원에서 실제 눈으로 관찰하는 경우 [그림 3] 및 [그림 4]에서 보여지는 것과 같이 각 샘플 패치에 있는 두 가지 색이 동일한 색으로 보여지며, 광원이 바뀔 경우 두 가지 색이 서로 다른 색으로 보이게 된다. 반면에 위의 두 그림과 같이 동일 광원에서 인간의 시각은 동일한 색으로 인지하나 디지털 카메라에서는 서로 다른 색으로 인지하는 경우가 발생한다. 이는 물체의 분광 에너지에 대하여 인간의 시각이 지각하는 특성과 디지털 카메라의 CCD 가 감지하는 특성이 다르므로 인해 발생하게 된다. Metamerism 에 대한 자세한 설명은 본 논문의 연구 범위를 벗어나기에 여기서는 생략하기로 하며 자세한 내용은 R.W.G. Hunt(1998)[2] 나 Mark D. Fairchild(1997)[3]을 참조하도록 한다.

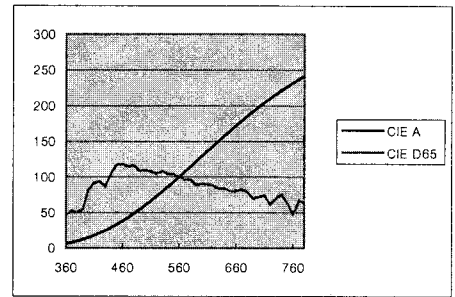
XYZ tristimulus 값을 구하기 위해 본 연구에서는

CIE 1931 2deg. 표준 관찰자에 의한 컬러 매칭 함수를 사용하였으며 컬러 매칭 함수는 [그림 5]와 같다.



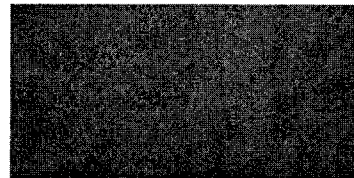
[그림 5] CIE1931 2deg. 표준 관찰자 컬러 매칭 함수

또한 분광 정보를 이용하여 모니터 R,G,B 로의 변환시 Metamerism 현상을 테스트하기 위해 사용된 광원은 CIE A 와 CIE D65 의 두 종류이며 각각의 에너지 분포는 [그림 6]과 같다.



[그림 6] CIE 표준 광원 에너지 분포

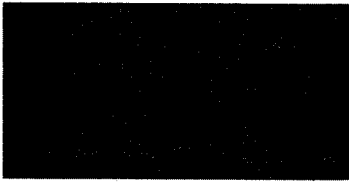
광원의 에너지 분포와 물체의 분광 반사율, 그리고 컬러 매칭 함수를 이용하여 구한 소니 20 인치 CRT 모니터에 대한 R, G, B 삼색 정보를 이용하여 영상을 렌더링 한 결과는 [그림 6]에서 [그림 9]와 같다.



[그림 6] D65 광원에서의 Metameric pair 1 렌더링 결과



[그림 7] D65 광원에서의 Metameric pair 2 렌더링 결과



[그림 8] A 광원에서 Metameric pair 1 렌더링 결과



[그림 9] A 광원에서 Metameric pair 2 렌더링 결과

[그림 6]과 [그림 7]은 측정된 샘플 패치의 분광 반사율 데이터를 CIE D65 표준 광원에 대한 분광 에너지 값을 이용하여 계산된 R, G, B 삼색 정보를 영상으로 렌더링 한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 D65 광원 하에서는 각 샘플 패치에 있는 두 가지 색이 서로 구별이 힘들 정도로 유사함을 알 수 있으며, 따라서 분광 정보를 이용하여 변환된 영상이 인간의 시각 특성을 잘 재현하고 있음을 알 수 있다. [그림 8]과 [그림 9]는 광원을 CIE A 표준 광원으로 변경한 경우 분광 정보를 이용하여 계산된 R, G, B 삼색 정보를 영상으로 렌더링 한 결과이다. 앞의 D65 광원의 경우와 달리 각 샘플 패치에 있는 두가지 색을 눈으로 구별할 수 있을 정도로 컬러의 차이가 남을 알 수 있으며, 이는 실제로 암실 환경에서 Viewing Booth 를 이용하여 광원을 변경한 후 관찰할 때 느끼는 색의 변화 정도와 유사한 색 변화를 재현하고 있음을 알 수 있다.

### 5. 결론 및 향후 연구 방향

디지털 카메라나 스캐너와 같이 R, G, B 삼색 정보를 이용하는 장치를 사용하여 입력된 영상을 디스플레이하거나 프린트하는 경우나 모델링 된 물체를 컴퓨터그래픽으로 렌더링 하는 경우, 영상을 입력 하는 시점의 환경에서 동일한 R, G, B 삼색 정보로 만들어진 물체는 광원이 변화된 상황에서의 Metamerism 현상이나 Fluorescence 현상을 예측할 수 없게 된다.[4] 이러한 문제를 해결하고 인간의 시각이 감지하는 현상을 정확하게 재현하기 위해서는 분광정보를 이용한 영상 렌더링이 필요하다. 하지만 380nm - 780nm 사이의 분광 정보를 모두 이용하기에는 R, G, B 삼색 정보를 이용하는 방법에 비해 데이터가 너무 많아 효율성이 떨어지게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 물체의 분광 반사율, 광원의 분광 에너지 분포와 같은 분광 정보를 이용하여 영상을 렌더링하는 방법에 대하여 연구하고, 시스템을 구현하였으며, 후속 연구로 1) 보다 다양한 Metameric-pair 에 대한 연구와 관찰자 실험을 수행하고, 2) 분광 정보를 이용하여 Fluorescence 현상을 재현하는 시스템을 구현

하며, 3) 가시 영역의 분광 정보를 샘플링하여 최소의 분광 정보를 이용한 Full Spectral Estimation 방법에 대한 연구를 수행할 계획이다.

### 참고문헌

- [1] Roy S. Berns, *Principles of Color Technology*, John Wiley & Sons Inc. (2000)
- [2] R. W. G. Hunt, *Measuring Colour*, Fountain Press (1998)
- [3] Mark D. Fairchild, *Color Appearance Models*, Addison Wesley (1998)
- [4] Garrett M. Johnson, "Computer Synthesis of Spectroradiometric Images for Color Imaging Systems Analysis" M.S. Thesis, Rochester Institute of Technology (1996)