

Videophotometry를 위한 휘도 측정치와 Digital Image사이의 보정 실험

(Correction Experiment Between Luminance Measurement Value and Digital Image for Videophotometry)

김기훈* · 한종성 · 김훈

(Gi-Hoon Kim · Jong-Sung Han · Hoon Kim)

Abstract

Digital Image와 휘도 측정치의 보정실험을 행하여 만족스러운 결과를 가져왔다. 그러나 피사체의 밝기에 비해 노출값을 너무 적게 하면 오차가 발생할 수 있다는 사실이 확인 되었다. 앞으로 Videophotometry을 실현하기 위해서는 피 계측면의 분광 반사특성에 의한 계측치의 오차를 제거하기 위한 CCD 소자의 시감도 보정, 시야를 정확하게 재현하기 위한 광학적 연구, 인간의 시각 특성에 부합하는 측정 휘도의 보정 등에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

1. 서론

1.1 Videophotometry의 필요성

지금까지 휘도 측정은 주로 휘도계에 의한 측정 계측으로 이루어질 수 있으나, 현재의 방법으로 공간 전체의 휘도 분포를 파악하기에는 많은 시간이 요구된다. 또한, 자연광의 경우와 같이 시간적으로 빛이 변화하는 공간에서는 대량의 측정점에 대한 정확한 계측은 곤란하다.

이것에 대해서 광학 사진에 의한 휘도 측정 방법이 고안, 실용화된다면 공간상의 휘도 분포를 정확하고 편리하게 측정할 수 있을 것이다. 예를 들면 도로, 터널 조명설비에서의 노면 휘도 분포를 측정하는 작업에서 한쪽 차선을 폐쇄함으로 인해 발생하는 위험성을 극복할 수 있으며, 색채 구성이 복잡한 교량의 경관이나 건축물 외관 및 내부 조명 환경을 측정하는 데에도 유효한 도구가 될 것이다.

또한 사진 측광은 일시에 대량의 데이터를 얻을 수 있으므로 시간에 따라 빛이 변화하는 주광의 측정 수단으로서도 이용될 수 있다. 예를 들면 터널조명설비에서의 야외 휘도, 건축물 내부에서의 창을 통해 입사하는 주광, 천공의 휘도분포 등을 편리하고 정확하게 측정할 수 있다. 또한 도로 조명 설비에서의 젖은 노면이나 곡선도로부의 측정이 가능하기 때문에 마른 노면과 직선도로부만을 기준으로 하고 있는 도로조명 기준에 대해서 젖은 노면이나 곡선 도로부에 대한 기초 자료를 제

공할 수 있고, 스포츠 조명 설비나 각종 설비의 클레어 인덱스의 연구에 기초 자료를 제공함으로써 조명공학의 연구를 보다 폭 넓게 하기 위한 기초 수단이 될 수 있다.

1.2 연구사례

CCD 카메라를 사용한 초기의 시스템으로는 1988년 캐나다 국립연구소 (National Research Council)에서 개발된 CapC 시스템이 있다. 이 시스템은 줌 렌즈를 갖추고 있었고, 오래전에 개발된 것이기 때문에 운반은 가능하더라도 시스템 전체가 약간 대형이라는 것이 결점으로 알려져 있다[1].

일본에서는 野口씨에 의해 휘도분포 계측 시스템이라는 것이 개발되어 있다. 이 시스템은 시야 내에 고휘도 부분이 존재하는 경우에 근방의 휘도값이 상승한다는 것이 보고 되어 있다.

최근에는 흑백 CCD 카메라에 RGB 3장의 필터를 회전 터릿에 부착한 측색 시스템이 개발되었다. 컴퓨터 제어에 의해 필터를 교체하면서 3장의 비디오 화상을 촬영하고, 화상처리에 의해 휘도, 색도 및 색온도의 분포를 측정하는 것이다. 이 측정 시스템은 측정 방법 만으로부터 판단한다면, 조명조건이 안정하게 되어있는 인공조명의 측색으로는 유용하다고 생각되지만 기후 조건에 의해 광원이 변동하는 주광조명에는 적용하기 어렵다.

이들 중 어떠한 시스템도 화상신호 레벨과 휘도와의

calibration, 여러 파장의 빛을 반사 하는 분광 반사 특성에 대한 CCD의 분광 감도의 보정이 필요하다.

2. 관련이론

2.1. 디지털 카메라의 개요

디지털 카메라는 필름과 현상이 필요 없고 컴퓨터가 쉽고 빠르게 인식할 수 있기 때문에 사진을 다루는 사람들이 많이 선택하는 도구가 되고 있다. 디지털 카메라는 지금까지의 카메라 필름 부분을 전하 결합 소자(CCD : Charge Coupled Device)로 대체한 것으로 이미지의 보존, 이용, 편집, 가공이 용이하고, 네트워크와 전화선에 의한 이미지의 고속 전송이 가능하기 때문에 여러 가지 응용에 이용되고 있다.

디지털 카메라는 전하 결합 소자라고 불리는 특수한 광 감지 칩을 사용한다. 이 특수 칩은 빛에 반응하며, 그 반응의 강도를 수치로 바꿀 수 있다. 사실 이미지는 수치 데이터의 모음이기 때문에 컴퓨터로 쉽게 다운로드하여 제어될 수 있다. 즉, CCD 칩이 사진 이미지를 완성한 후에는 데이터를 카메라의 또 다른 칩으로 보낸다. 이 두 번째 칩은 데이터를 카메라의 내부 저장 형식으로 변경시키는데, 일반적으로 JPEG처럼 압축된 그래픽 형태로 되어있다[2].

그 다음에 카메라는 이 데이터를 내부 메모리에 저장한다. 여기에서의 핵심은 칼라 이미지 상의 수치데이터가 RGB 신호로 이루어져 있으며, 이 신호를 추출하여 제어하는 것이 가능하기 때문에 디지털 카메라를 측광에 이용할 수 있다는 것이다.

2.2 디지털 카메라의 노출(Ev), 조리개 값(F), 셔터 스피드(S)와의 관계

노출값(Ev, Exposure Value)은 카메라가 받아들일 수 있는 광량의 정도를 나타낸다. 노출은 디지털 이미지를 밝게 하거나 어둡게 할 수 있고 카메라가 갖는 CCD의 고유 감도와 피사체의 밝기와 관련하여 조리개 값과 셔터 스피드의 조합으로 동일한 값을 가질 수 있다. 조리개 값(F)는 다음과 같이 정의 된다.

$$F = \frac{f}{D} \quad (1)$$

여기서 f: 초점 거리
D: 렌즈 유효 구경

조리개 값의 구성은 카메라의 성능에 따라 차이가 있을 수 있지만 F1.0, F1.4, F2, F2.8, F4, F5.6, F8, F11, F16, F22, F3.2, F64의 순으로 되어 있다.

셔터 스피드(S)는 셔터를 열어 필름에 닿게 하는 시간으로서 1초, 1/2초, 1/4초, 1/8초, 1/15초, 1/30초, 1/60초, 1/125초, 1/250초, 1/500, 1/1000초, 1/2000초의 순으로 이루어진다[3].

여기에서 셔터 스피드나 조리개 값의 한 단계를 변경하면, CCD에 닿는 광량은 2배, 또는 1/2배가 된다. 예를 들어 조리개를 F8에서 F11로 변경하면 렌즈 유효 구경과 조리개 값과의 관계는 반비례 관계이므로 렌즈를 통과하는 빛은 1/2이 된다. 또한, 셔터 스피드를 1/60에서 1/30으로 변경하면, 두 배의 시간 동안 셔터가 열려있기 때문에 두 배의 빛이 필름에 닿게 된다.

예를 들면 F4에 1/1000의 Ev값과 F5.6에 1/500의 Ev값은 동일한 노출이다. 그 이유는 1/500은 1/1000에서의 빛을 두 배로 통과시키고, F5.6은 F4에서의 빛의 절반만 허용하고 있기 때문이다. 마찬가지로 F5.6에 1/500은 F8에 1/250과 같은 값이 된다.

다음의 표 1은 동일한 노출을 제공하는 조리개 값과 셔터 스피드의 조합을 나타낸다.

표 1. 동일한 Ev를 제공하는 S와 F의 조합의 예
Table 1. Combination of S and F Giving Equal Ev

셔터 스피드(S)	조리개 값(F)
1/4000	F1.4
1/2000	F2
1/1000	F2.8
1/500	F4
1/250	F5.6
1/125	F8
1/60	F11
1/30	F16
1/15	F22

Ev값은 F와 S의 조합으로 이루어지고 카메라가 제공하는 S와 F의 조합은 무수히 많다. 본 실험에서는 S와 F의 조합으로 이루어지는 Ev를 다음 식을 사용하여 일원화 하고 수치화 하였다.

$$Ev = \log_2(F^2/S) \quad (2)$$

여기서 F : 조리개 값
S : 셔터 스피드

2.3 Digital Image와 휘도 측정값의 보정을 위한 기본식

CIE(국제조명위원회)가 1931년에 정한 RGB 표색계와 XYZ표색계의 각 3자극치는 다음 식으로 상호 변환되며, 표준광을 무엇으로 하는가에 따라서 우변의 계수는 달라진다. 이 식에서, Y가 휘도 [cd/m^2]에 해당한다.

$$\begin{aligned} X &= 2.7689R + 1.7517G + 1.1302B \\ Y &= 1.0000R + 4.5907G + 0.0601B \quad (3) \\ Z &= 0.0000R + 0.0565G + 5.5943G \end{aligned}$$

그리고 표준광 C를 선택하였을 경우는 식 (4)에 의해서 상호 변환되며, 표준광 D₆₅를 선택하면 식 (5)와 같이 상호 변환된다.

$$\begin{aligned} X &= 0.6067R + 0.1736G + 0.2001B \\ Y &= 0.2988R + 0.5868G + 0.1144B \quad (4) \\ Z &= 0.0000R + 0.0661G + 1.1150B \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} X &= 0.5880R + 0.1789G + 0.1828B \\ Y &= 0.2998R + 0.6056G + 0.1043B \quad (5) \\ Z &= 0.0000R + 0.0679G + 1.0201B \end{aligned}$$

또한 CIE의 색도 (x, y)는 (6)식에 의해 얻어진다.

$$\begin{aligned} x &= X/(X + Y + Z) \\ y &= Y/(X + Y + Z) \quad (6) \end{aligned}$$

그리고 대상이 광원이고, 색도가 흑체 궤적의 근방에 있는 경우는 (7)식에 의해 상관 색온도를 근사적으로 구할 수 있다.

$$T = 1437n^3 + 3601n^2 - 6861n + 5514.31 \quad (7)$$

여기에서, $n = (x - 0.3320)/(y - 0.1858)$ 이다[4].

3. Digital Image와 휘도 측정값의 보정 실험

Digital Image와 휘도 측정값 사이의 보정 실험은 디지털 카메라의 디지털 이미지 신호치(Y_D)와 휘도 측정치(Y_S)와의 보정함수를 구하는 것이다.

보정함수를 구하기 위해서 본 실험에서는 동일한 조명 상황에서 백색 시료의 조도를 16,000[lx]에서 3.9[lx]까지 폭 넓게 변화시키면서 디지털 이미지의 신호치(Y_D)와 휘도 측정치(Y_S)의 값을 측정하고, 그들 상호 간의 관계를 회귀 분석을 통하여 회귀식을 구하였다.

그리고 임의의 조명 상황에서 Digital Camera와 휘도계로 휘도값을 측정하고 그 값을 비교하여 회귀식을 검증하였다.

3.1 측정기기

Digital Camera는 Cannon사의 PowerShot G3을 사용하였고 이는 약 400만 pixel의 유효화소수를 갖고며 기록 화소는 정지 사진 일 때에 최대 2272×1704, 중간 1600×1200, 최소 640×480의 해상도를 갖는다. 실험에서는 최대의 이미지 정보를 얻기 위해서 2272 × 1704의 해상도에서 촬영하였다.

렌즈는 7.2(W) ~ 28.8mm(T)로 되어 있고 조리개 값은 F2.0에서 F8.0까지 지원하며, 셔터 스피드는 15~1/2000초 까지 지원한다.

감도는 CCD의 감광도라고도 하는데 CCD의 빛에 대한 민감도, 즉 빛에 의해 변화되는 속도를 말한다. 감도는 자동, ISO 50, ISO 100, ISO 200, ISO 400을 지원한다. 여기에서 ISO란 International Standard Association의 약자로 국제 표준화 규격임을 나타내며 숫자가 클수록 CCD의 감도가 높은 것을 의미한다. CCD의 감도가 높을수록 광량이 부족한 상태에서도 촬영이 가능하지만, 입자가 거칠어지고 화질이 떨어지게 되어 노이즈가 발생된다. 실험에서는 가장 좋은 이미지가 나온다고 하는 ISO 100에서 촬영하였다.

화이트 밸런스는 매뉴얼 기능으로 자동, 주광, 흐린 날의 태양광, 전구, 형광등 등을 지원하며 실험에서는 주광으로 설정하였다.

촬영 모드는 자동, 프로그램, 셔터 스피드, 조리개 우선, 매뉴얼 등의 여러 기능을 제공하지만, 실험에서는 매뉴얼 기능으로 설정하고 셔터 스피드와 조리개 값을 조정하여 Ev 값을 설정하였다.

이미지 저장 파일 형식은 JPEG, RAW의 형식으로 저장되며, 실험에서는 JPEG의 파일 형식으로 저장하였다. 이미지는 R, G, B 각 색에 대해서 8bit, 소위 24bit

의 칼라로 표현되며, 화소 당 0~ 255의 정수로 저장된다.

회도계는 Minolta사의 LS 110을 사용하였으며, 이 회도계는 1/3°의 acceptance angle을 갖는다.

측정 대상은 확산 반사성의 백색 시료로 하였으며, 시료 상의 조도를 변화시키기 위한 광원으로는 메탈할라이드 400W 투광기를 사용하였다.

3.2 측정 방법

먼저 실험에 사용되는 디지털 카메라가 제공하는 조리개 값과 셔터 스피드의 값을 조사하고 식(2)에 대입하여 디지털 카메라가 제공할 수 있는 Ev의 값을 구하였다. 그 결과 나온 Ev 값을 소수 첫째 자리에서 반올림하여 17에서 -1까지의 정수로 제한하고 이 Ev 값들에 대해서만 측정하였다. 이 수치의 의미는 값이 크면 클수록 카메라가 받아들일 수 있는 빛의 광량은 적어지고 수치가 작아질수록 카메라가 받아들일 수 있는 광량은 크다는 것을 의미한다. 이후의 자세한 실험 방법은 다음과 같다.

① 회도계와 디지털 카메라를 암실 내에 최대한 동일한 위치에 위치시키고 암실의 벽면에 백색 시료를 1.25[m]의 높이에 위치시켰다. 여기에서 회도계, 디지털 카메라의 높이는 회도계와 디지털 카메라의 렌즈를 기준으로 백색 시료의 높이와 동일하게 하였다.

② 회도계의 접안렌즈를 통하여 시료를 보았을 때 회도계의 시야에 들어오는 영역을 백색 시료에 표시 하였다. 이것은 디지털 이미지에서 R, G, B값을 추출할 때 회도계가 측정한 영역과 R, G, B의 추출 영역을 일치시키기 위함이다.

③ 디지털 카메라의 촬영 조건을 설정한다. 촬영 무드를 매뉴얼 기능으로 설정하고, 플래시의 발광을 금지시키며, 화이트 밸런스는 주광으로 설정한다. 그리고 해상도는 주광으로, 감도는 ISO 100으로 각각 설정한다.

④ 투광기를 백색 시료와의 거리를 변화시켜 백색 시료 상의 조도를 최초 16,000[lx]가 되도록 한다.

⑤ 회도계로 회도 절대치(Y_s)를 측정하고, 디지털 카메라의 셔터 스피드와 조리개 값을 각각 1/2000초, F8.0로 설정하여 Ev의 값을 최초 17로 설정하고 디지털 이미지를 촬영한다.

⑥ 회도 측정치가 변화하였는지를 확인하고 변화하지

않았으면, 다시 셔터 스피드와 조리개 값을 각각 1/1600초, F6.3으로 조정하여 Ev 값을 16으로 하고 디지털 이미지를 촬영한다.

⑦ ⑥과 같은 방법으로 Ev 값을 -1까지 변화시키면서 디지털 이미지를 촬영하고, 촬영이 끝났으면 투광기의 위치를 다시 변화시켜 시료상의 조도가 8000[lx]가 되도록 한다.

⑧ ⑤~⑥의 과정을 반복하고 나서 다시 시료 상의 조도를 4000[lx], 2000[lx], 1000[lx], 500[lx], 250[lx], 125[lx], 62.5[lx], 31.3[lx], 15.6[lx], 7.8[lx], 3.9[lx]까지 변화시키면서 각각의 조도에 대해서 ⑤~⑦의 과정을 반복한다.

⑨ 디지털 이미지의 촬영이 모두 끝났으면, 촬영한 디지털 이미지를 가지고 시료 상에 표시된 영역 내에서 R, G, B를 추출하고 그 값들을 평균한 다음 식 (5)의 변환식에 의해서 Y_D 를 계산한다.

이와 같은 방법으로 회도 측정치(Y_s)와 디지털 이미지의 신호치(Y_D)를 측정하고 디지털 카메라의 각각의 노출 값에 대하여 회도 측정치(Y_s)와 디지털 이미지 신호치(Y_D)를 비교하였다.

3.3 측정결과

그림 1은 각각의 노출값(Ev)에 대한 회도 측정치(Y_s)와 Digital Image 신호치(Y_D)의 관계를 나타낸다.

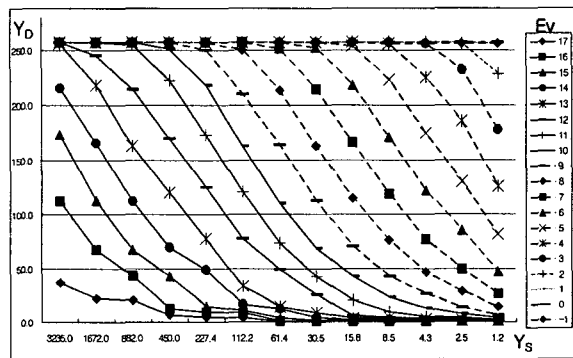


그림 1. Ev에 대한 Y_s 와 Y_D 의 관계
Fig. 1. Relation Y_s and Y_D for Ev

x축이 회도계로 측정된 회도 측정치이고 y축이 Digital Image의 신호치이다. y축의 값은 JPEG 파일

형식의 0~255의 정수로 저장되어 있는 값을 식 (5)에 의해서 Y 값으로 변환한 값이다. 그림에서 보면 일정한 구간에서 Y_D와 Y_S의 값이 매우 선형적임을 알 수 있다.

그러나 Ev값이 매우 작고 휘도가 매우 높은 영역에서는 몇 개의 에러가 발생하였다. 이것은 카메라의 Ev 값을 매우 작게 설정하고 그것에 비해서 피사체의 밝기가 매우 밝을 경우에는 카메라의 오동작이 있을 수 있음을 암시한다. 이러한 환경에서 측정할 경우는 거의 없겠으나 부득이 하게 이러한 조건으로 촬영할 경우에는 주의가 필요하다. 그림 1은 이러한 몇 개의 에러는 무시하고 나타낸 그림이다. 이러한 Y_D와 Y_S의 상호 관계를 가지고 회귀 분석을 통하여 각각의 Ev 값에 대한 회귀식을 구하였다.

3.4 회귀분석 및 회귀식

그림 1에서 보는 바와 같이 Y_D와 Y_S의 관계 중 가장 선형적인 영역은 Y_D의 값이 200에서 100사이의 영역이다. 이들 영역 중에서 유효 데이터가 가장 많은 구간은 Ev가 11에서 9까지이므로 이들에 대한 회귀식을 구하여 표 2에 나타내었다. 회귀식은 2차 다항식으로서 식 (8)과 같다.

$$Y_S = a + bY_D + cY_D^2 \quad (8)$$

표 2는 식 (8)의 계수를 나타내고 있다.

표 2. 회귀식의 계수
Table 2. Coefficient of regression expression

Ev	a	b	c
11	84.512	-1.161	0.011
10	-5.901	0.378	0.002
9	13.461	-0.163	0.003

3.5 실험 검증

위에서 얻은 회귀식을 검증하기 위해서 임의의 조명 하에서 휘도계와 Digital Camera로 2곳의 측정점에 대해서 Y_S와 Y_D를 측정하였다. 표 3은 Digital Camera로 촬영하였을 때의 Digital Image의 신호값을 Ev 별로 정리한 것이다. 표 3에서의 Y_D값을 Ev 값에 따라서 표 2의 계수와 회귀식 (8)에 대입하여 계산하면 표 4와 같다. 표 4는 실제 휘도계로 측정한 값과 Digital Image의 신호값을 회귀식을 통하여 보정한 값 Y_R을 나타내고 있다.

표 3. 측정점에 대한 Digital Image의 신호값
Table 3. Signal Value of Digital Image for Measurement Point

Y _D	Ev	측정점 1	측정점 2
	11	56	62
	10	94	103
	9	144	155

표 4. Y_S와 Y_R값의 비교
Table 4. Comparison Y_S and Y_R Value

측정 값	Y _S		Y _R		
	최소	최대	Ev		
			11	10	9
측정점 1	47.91	48.06	55	48	48
측정점 2	56.28	56.5	56.7	55.6	55.0

표 4를 보면 Y_R값이 측정점 1, 2에 대해서 모두 일치 하였으나 측정점 1에서 Ev가 11일 때 오차가 발생하였다. 이 값은 앞에서 설명한 바와 같이 피사체의 밝기에 비해 노출을 너무 작게 하여 발생한 오차이다.

4. 결론

Digital Image와 휘도 측정치의 보정실험을 행하여 만족스러운 결과를 가져왔다. 그러나 피사체의 밝기에 비해 노출값을 너무 적게 하면 오차가 발생할 수 있다는 사실이 확인 되었다. 앞으로 Videophotometry을 실현하기 위해서는 피 계측면의 분광 반사특성에 의한 계측치의 오차를 제거하기 위한 CCD 소자의 시감도 보정, 시야를 정확하게 재현하기 위한 광학적 연구, 인간의 시각 특성에 부합하는 측정 휘도의 보정 등에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

- (1) Toshie Iwata, Shiro Tsukami, "CCD 카메라의 광환경計測への應用技術", 日本照明學會誌, 第81卷, 第3号, pp.38~41, 平成9年
- (2) Ben Sawyer & Ron Pronk, "Digital Camera", 성안당, pp. 3~5, 1997.
- (3) 편집부, "카메라입문", 전원문화사, pp. 52~72, 2000.
- (4) Yoshiaki Uetani, "ビデオ測色法Tとその應用", 日本照明學會誌, 第85卷, 第7号, pp.479~483, 平成13年