

# HDR이미지를 이용한 공동주택 외부조명의 휘도 분석

Luminance Analysis of the Apartment Exterior Lighting using HDR Images

홍 승 대 | Hong, Sung-De

정회원, 신안산대학교 실내디자인과 부교수

신 은 주 | Shin, Eun-Ju

정회원, 동서울대학교 실내디자인과 조교수

---

## Abstracts

The purpose of luminance measurement in lighting design of urban scale is to prevent light trespass and light pollution, caused by over-bright. Specially, the illumination of road, tunnel and sports complex as urban infrastructure is measured by international standard for illuminance and luminance. It has been used the spot luminance meter and the image photometer to define the characteristics of qualitative and quantitative in exterior lighting.

This study introduced the concept of HDR Image, procedure of HDR Image creation and analysis. Applications of HDR Image, particularly within the apartment building exterior lighting design analysis, have been demonstrated. The procedure proposed in this study is a affordable method that is useful for the assessment of luminance distribution in the scene with electric light. It also provides a measurement capability with the high resolution luminance data within a large field of view efficiently and quickly, which is not possible to achieve with a luminance meter.

---

## Keywords

HDR, Radiance, Lighting Design, Luminance Analysis

## 키워드

HDR, 라디언스, 조명디자인, 휘도분석

---

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

도시의 야간 경관은 도로와 도시기반시설물, 건축물 등에 대한 조명을 통해 이루어진다. 특히 건축물에 대한 조명은 건축물의 다양한 조형적 특성을 야간에 드러내어 주간과는 다른 이미지를 생성한다는 점에서 중요하다. 건축물의 조명디자인에 있어서 조화로운 밝기의 분포는 중요한 고려 사항이며, 이에 대한 평가는 반드시 필요하다. 또한 최근에 과도한 조명에 의한 빛 공해에 관한 부분이 이슈가 되고 있는 점을 고려할 때, 조명디자인의 결과에 대한 정량적인 평가는 필수적이라고 할 수 있다.

이와 같은 인공광에 의한 조명의 정량적 평가를 위해서는 조명디자인의 결과물인 빛의 밝기 분포가 기록된 결과물이 요구된다. 결과물의 일반적인 형식은 수치화된 목록일수도 있고, 촬영된 이미지일 경우도 있다. 건축물의 조명과 같이 다양한 밝기와 색상으로 구성되는 디자인에서는 이미지의 형식이 선호된다. 이는 이미지의 형식이 빛의 분포(distribution)와 강도(intensity)를 직관적으로 파악하는데 유리하기 때문이다.

본 연구는 건축물 조명디자인을 정량적으로 분석하는 방법으로서 HDR(High Dynamic Ranging) 이미지를 활용하는 것을 제안한다. 또한 HDR 이미지를 제작하고 분석하는 과정을 제시하여 실제 활용을 가능하도록 한다.

### 1.2 연구의 방법

HDR 이미지를 이용하여 건축물 외부 조명의 휘도 측정을 위하여 본 연구에서 제안하는 측정과 분석의 순서는 (그림 1)과 같다.

(1) HDR 이미지는 동일한 장면에 대한 복수노출의 이미지들로 이루어지기 때문에 우선적으로 디지털 카메라의 노출 브라케팅(exposure bracketing) 기능을 이용하여 노출을 달리하면서 측정 대상을 촬영한다. 그러나 실세계의 밝기 정보를 정확하게 확보할 수 있는 EV(Exposure value) 범위를 촬영 초기단계에서 확인하기 어렵기 때문에 디지털 카메라의 AEV 모드에서 측정된 조리개 값을 기준으로  $\pm 2$  stop 씩 차이를 갖는 조리개 값을 사용한다.

(2) 이렇게 촬영된 이미지는 좁은 영역의 밝기 범위

를 갖는 LDR 이다. HDR Builder는 이러한 다수의 LDR 이미지를 1개의 HDR 이미지로 결합하는 도구이다. 본 연구에서는 Paul Debevec과 USC의 Creative Technology Lab이 개발한 HDRShop<sup>1)</sup>을 이용한다. HDRShop은 이미지프로세싱과 보정 소프트웨어로서 HDR 이미지를 생성하고 편집하는 기능을 포함한다.

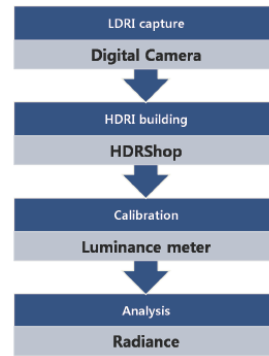


그림 1. HDR 이미지의 생성과 분석과정

(3) HDR builder를 이용하여 생성된 HDR 이미지는 실제 세계의 밝기정보를 이미지의 형식으로 기록하고 있다. 그러나 생성된 이미지의 밝기 정보의 정확도를 검증하기 위해서는 기존에 밝기를 측정하는 방식을 이용한 데이터의 비교 검증이 필요하다. 이에 본 연구에서는 특정지점의 휘도를 측정할 때 사용되는 점휘도계(Point luminance meter)를 이용하여 HDR 이미지가 갖고있는 정보의 정확성을 검증한다.

(4) HDRShop을 이용하여 생성된 HDR 이미지는 실제 장면의 휘도 값을 포함하고 있으나, 이들 이미지를 분석하기 위해서는 정량화된 데이터로의 변환이 필요하게 된다. 이를 위해 본 연구에서는 Radiance Falsecolor 프로그램을 사용하여 의사색상분포도(False color picture)를 출력하였다.

(5) 출력된 분포도와 휘도계를 이용한 측정 결과를 상호 비교하여 HDR 이미지가 갖고 있는 밝기 정보의 정확도를 제시한다.

## 2. HDR 이미지

인간의 시각은 별빛 아래의 밝기에서부터 태양광 아래에서의 밝기까지 인식할 수 있는 폭넓은 동적 영역(DR, Dynamic Range)을 갖는다.(그림 2) 인간의 눈은 10,000:1까지의 콘트라스트를 구분할 수 있는데, 이

1) Christian Bloch, HDRI handbook, 2009, p.71

는 약 14 EV의 DR에 해당한다.<sup>2)</sup> 인간은 이 2개의 극단적인 밝기를 동시에 지각할 수는 없으나 순응(adaptation)의 과정을 거쳐 폭넓은 동적 영역을 수용할 수 있다. 반면 카메라나 컴퓨터모니터와 같은 기계적 광입출력장치는 고정된 범위의 동적영역을 갖고 있으며 설정된 동적영역의 범위 내에서 빛을 입력하고 출력하게 된다.

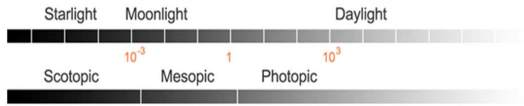


그림 2. 인간의 동적영역

HDRI는 일반적인 입력장치(camera)가 하나의 노출(exposure)에 대하여 갖는 제한된 동적영역을 확장시킨 이미지이다. 즉 다수의 LDR(low dynamic range) 이미지를 결합하여 동적 영역을 확장시킨다. 각각의 LDR 이미지는 상대적으로 좁은 노출 영역에 대한 빛의 정보를 기록하게 되고, 이렇게 기록된 이미지들의 밝기 정보를 모두 결합하면 실제 장면이 갖고 있는 밝기 정보(Luminance data)를 포함 할 수 있게 된다. (그림 3)

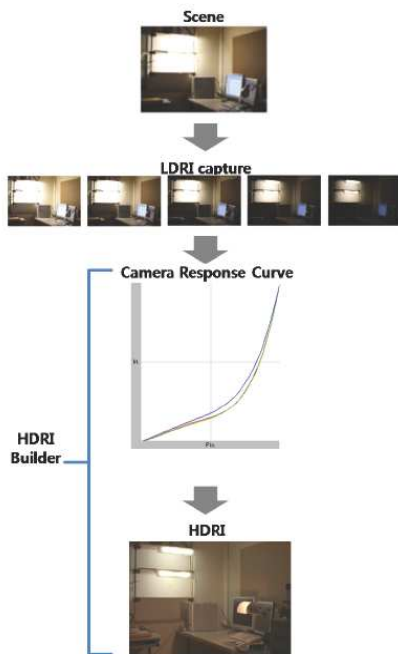


그림 3. HDR 이미지 획득과정

동적영역을 확장시킨 HDR영상은 실세계에 근접하는 밝기정보를 포함하게 되며, 이러한 밝기 정보를 기록하게위해서는 기존의 채널당 8비트의 기록방식은 불가능하게 된다. HDRI 기록방식의 대표적 포맷인 Radiance hdr(Radiance RGBE)의 특성은 다음과 같다.

우선 Radiance hdr은 Red, Green, Blue, Exponent 로 구성되고 32비트로 인코딩된 부동소수값(floating point)을 포함한다. 이는 각 RGB를 위한 3바이트와 공통으로 사용되는 지수(exponent)를 위한 1바이트를 합하여 한 픽셀 당 4바이트(32비트)로 표현된다.<sup>3)</sup> 추가된 8비트는 기존의 RGB 채널에 기록된 휘도값을 기록하고 보다 정밀한 픽셀 정보를 처리한다.

### 3. LDR의 촬영과 휘도의 측정

#### 3.1 휘도의 측정

휘도값의 실제 측정대상은 경기도 분당 지역의 공동주택을 대상으로 하였으며, 주변에서 빛의 유입과 움직임이 최대한 통제되는 건물을 대상으로 하였다. 이는 HDR 이미지의 작성이 동일한 장면의 서로 다른 노출 이미지를 사용하기 때문에 캡처 과정에서 빛의 유입되면 정확한 밝기 정보를 획득하기 어렵기 때문이다.

측정대상공간의 휘도값을 측정하기위하여 사용된 휘도계(Spot Luminance Meter)는 Minolta LS-110 이며 측정각은 1/3도이다. (그림 4)



그림 4 측정 휘도계

휘도계를 이용한 측정에서 보다 정확한 측정을 위하여 삼각대를 사용하였으며, 측정대상 지점을 4개로 설정하였다. 4개의 측정은 장면에서 가장 휘도가 높은 지점과 지점을 선정하였고, 2개의 지점 사이의 중간 정도의 밝기를 나타내는 2개 지점을 추가하였다. (그림 5)

2) Christian Bloch, HDRI handbook, 2009, p.20

3) 김성예, 최병태, "High Dynamic Range Image 기술 동향", ETRI주간기술동향, 1065호, 2002

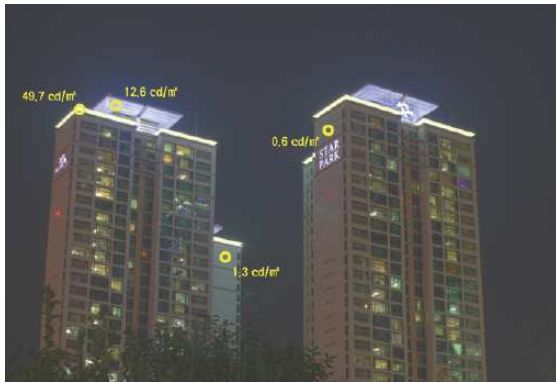


그림 5. 측정대상과 측정된 휘도값

### 3.2 LDR의 촬영

HDRI의 획득은 LDRI(Low Dynamic Range Image)의 촬영으로부터 시작되며, 본 연구에서 LDR 이미지의 촬영을 위해 사용된 카메라와 촬영의 설정은 표 1과 같다.

표 1. 카메라 및 촬영의 설정

Camera	CANON EOS 450D
Image Size	4,272×2,848
Image Sharpening	off
Focusing	manual
Lens	30 mm
ISO	100
Metering	spot
White Balance	4000 K

본 연구에서 장면의 초기 동적영역을 추정하기 위하여 제시하는 촬영의 방법은 다음과 같다. 우선 조리개 값은 f/5.6를 기준으로  $\pm 2$  stop 씩 차이를 갖는 f/4.0, f/8.0 3개의 고정된 조리개 값을 사용하였다. 이는 측정 대상의 밝기 특성과 촬영을 위해 사용된 카메라의 광학적 성능을 고려한 결과이다. 그리고 촬영의 기준(EV  $\pm 0$ )이 되는 노출은 화면에서 가장 밝은

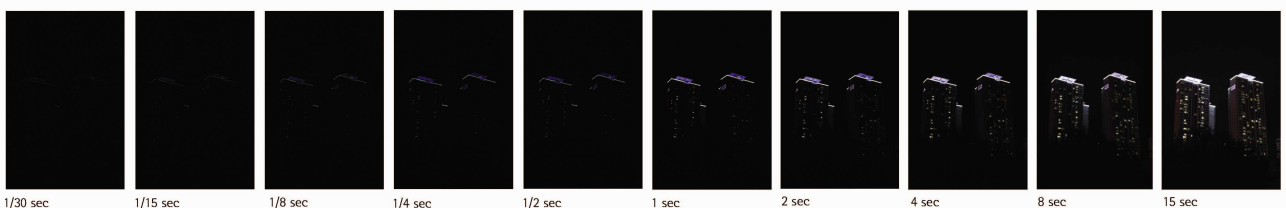


그림 6. LDR의 촬영범위

부분(high key)을 기준으로 하였고 15 sec에서 1/30 sec까지 셔터스피드를 조절하여  $\pm 2$  EV씩 증감하면서 촬영하였다.4) (그림 6)

## 4. HDR 이미지의 생성 및 분석

### 4.1 HDR 이미지의 제작

#### (1) 카메라 응답곡선

노출 브래케팅을 이용하여 연속적으로 촬영된 복수의 LDR 이미지를 1개의 HDR 이미지로 결합하기 위해서는 이를 동일하게 처리하기 위한 함수를 구해야 한다. 이러한 함수가 요구되는 것은 카메라에서 생성되는 JPEG파일의 픽셀이 갖고 있는 값이 실제 픽셀의 밝기 값(irradiance)과 선형적으로 비례하지 않기 때문이다. 따라서 촬영에 사용된 카메라의 고유한 빛 처리 함수를 구하는 것이 우선인데, 이를 카메라 응답곡선(Camera response curve)이라고 한다. 카메라 응답곡선은 외부의 빛에 대하여 해당 카메라가 어떻게 빛을 처리하는지에 관한 함수인 것이다.5)

카메라 응답곡선은 카메라의 기종에 따라 천차만별이기 때문에 본 연구에서는 LDR 촬영에 사용된 카메라의 응답곡선을 HDRShop 프로그램을 이용하여 구하였으며, 해당 카메라(CANON EOS 450D)의 응답곡선은 그림 7과 같다.

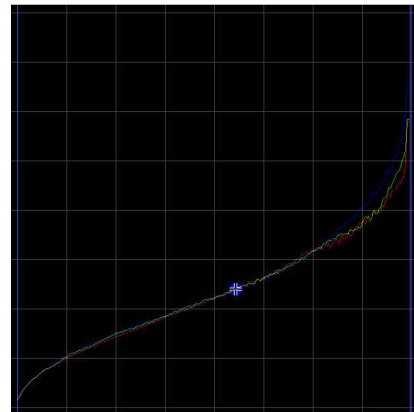


그림 7. 카메라응답곡선 (Canon 450D)

(2) HDR 이미지의 생성

서로 다른 노출값을 갖는 복수의 LDR 이미지는 카메라 응답곡선의 처리를 통하여 1개의 HDR 이미지로 만들어진다. 본 연구에서는 HDR 결합도구로서 HDRShop을 사용하였으며, 생성된 HDR 이미지는 Radiance hdr 포맷으로 기록하였다. (그림 8) 이렇게 만들어진 HDR 이미지는 실제 세계가 갖고 있는 밝기 정보를 포함하게 되며, 이 정보는 인간의 시각이 지각할 수 있는 범위를 넘어서게 된다.

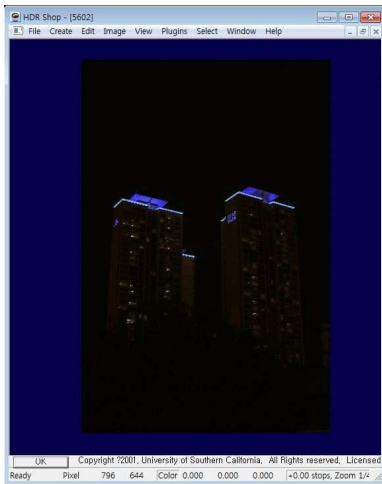


그림 8. HDRShop을 이용하여 생성된 HDR 이미지

4.2 휘도의 분석

(1) 휘도맵(luminance map)의 작성

HDR이미지는 실제세계의 밝기에 근접하는 정확한 정보를 포함하고 있는 이미지이다. 이러한 이미지는 장면의 휘도 분포를 직관적으로 파악할 수 있는 휘도맵(luminance map)으로 변환할 수 있다. HDR이미지를 기반으로 제작된 휘도맵을 이용하여 장면의 밝기 분포와 빛의 질에 대한 파악이 용이하게 된다. 본 연구에서는 Radiance hdr 포맷으로 기록된 HDR 이미지의 휘도맵을 작성하기 위하여 Falsecolor<sup>6)</sup> 프로그램을 사용하였다.(표 2)

4) 홍승대. 휘도맵의 작성을 위한 HDRI 획득에 있어서 EV의 범위. 조명전기설비학회 논문지(2010) 24(10)

5) Axel Jacobs, High dynamic range imaging and its application in building research. Advances in Building Energy Research. Vol.1, No.1,2007

6) Falsecolor 프로그램은 Gregory J. Ward가 개발한 이미지분석도구로서 UNIX 운영체제에서 작동하며, HDR이미지에 포함되어 있는 휘도값을 의사색상으로 표시한다.

표 2. falsecolor 프로그램

```
falsecolor - ip test.hdr - log 2 > test.pic
```

Falsecolor 프로그램을 이용하여 작성된 휘도맵은 그림 9, 그림 10, 그림 11과 같다.

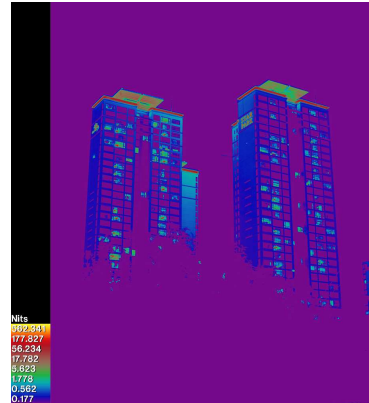


그림 9. f4.0의 휘도맵

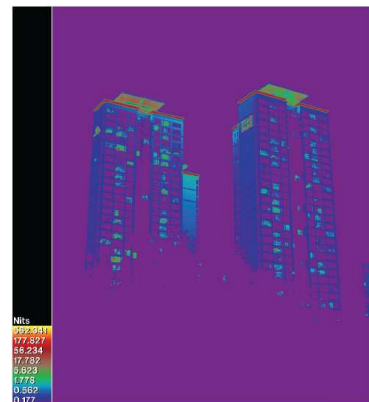


그림 10. f5.6의 휘도맵

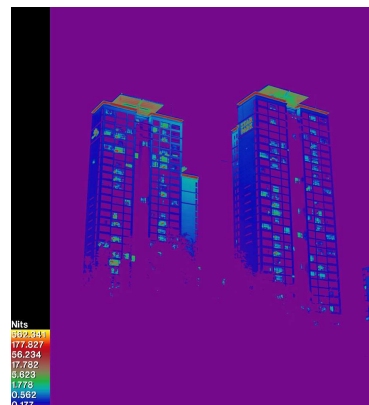


그림 11. f8.0의 휘도맵

(2) 휘도값의 분석

건축물 조명디자인을 정량적으로 분석하는 방법으로서 HDR 이미지를 활용하려면 실제 측정된 휘도값과의 비교를 통해서 그 유효성을 검증해야한다.

그림 12는 4개의 측정 지점에 대한 HDR 이미지로부터 측정된 휘도값과 실제 휘도계를 이용하여 측정된 값의 비교 결과이다. 이들 4개의 측정점에서 가장 낮은 값은 0.6 cd/m<sup>2</sup> 이며, 가장 높은 값은 49.7 cd/m<sup>2</sup>이다. 분석 결과, 4개의 측정점에서의 평균적인 오차율은 각각 20.1 %, 10.2 %, 11.7 %, 15%로 나타났다. 즉, 가장 어두운 지점(0.6 cd/m<sup>2</sup>)에서는 오차율이 증가하고, 화면에서 가장 밝은 지점(49.7 cd/m<sup>2</sup>)의 오차율은 실제 측정값과 거의 차이가 없음을 알 수 있다. 이들 각 측정점의 전체적인 오차율은 약 10.8 %로서, 일반적인 휘도 측정값의 오차율이 10%<sup>7)</sup> 정도인 것을 고려할 때 HDR 이미지로부터 측정된 휘도값을 신뢰할 수 있는 것으로 확인되었다.

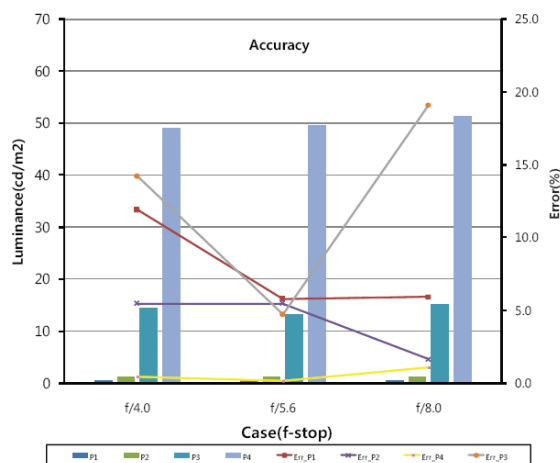


그림 12. 측정 휘도값과 HDR이미지의 값과의 오차

5. 결론

본 연구는 HDR 이미지의 개념을 소개하고 이를 이용하여 건축물의 조명디자인을 분석하기위한 HDR 이미지의 생성 방법, 생성도구에 관하여 개괄하였다. 또한 정량적인 분석을 위한 기초로서 HDR 이미지에서 측정된 값과 실제 휘도계를 이용하여 측정된 값과의 비교를 통하여 그 유효성을 검증하였으며, HDR 이미

지를 이용한 건축물의 조명디자인에서 밝기 분포의 정량적 검토가 가능함을 제시하였다. 본 연구에서 제시한 이미지를 이용한 장면 전체의 휘도의 분석은 과거 점휘도계(Spot Luminance Meter)를 이용하여 분석하는 방법과 비교할 때 효율적이라고 할 수 있다.

그러나 본 연구의 측정 대상은 특정 지역과 부분적인 조명기법이 적용된 건축물에 국한되어, 휘도계를 사용하여 측정하는 일반적인 휘도 측정 및 분석 방법을 대치할 수 있다고 하기에는 현재까지의 연구가 부족한 부분이 있음을 밝혀둔다. 향후 다양한 건축물과 조명 환경으로 구성된 대상을 연구의 대상으로 포함하여 연구한다면, 본 연구에서 제시하는 HDR 이미지의 활용도와 신뢰도를 크게 향상시킬 수 있으리라 생각한다.

참고문헌

1. 김성예, 최병태, High Dynamic Range Image 기술동향, ETRI주간기술동향, 1065호, 2002
2. 홍승대. 휘도맵의 작성을 위한 HDRI 획득에 있어서 EV의 범위. 조명전기설비학회 논문지(2010) 24(10)
3. Christian Bloch 지, 주다영, 이상욱 역, HDRI handbook, 영진닷컴, 2009
4. MN Inanici. Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system. Lighting Res. Technol. 38,2 (2006)
5. Axel Jacobs. High Dynamic Range Imaging and its Application in Building Research. ADVANCES IN BUILDING ENERGY RESEARCH (2007) VOL. 01

논문접수일 (2012. 5. 12)

심사완료일 (1차 : 2012. 5. 24, 2차 : 해당 없음)

게재확정일 (2012. 5. 30)

7) MN Inanici, Evaluation of high dynamic range photography as a luminance data acquisition system, Lighting Res. Technol. 38,2, 2006.