

# 휘도맵의 작성을 위한 HDRI 획득에 있어서 EV의 범위

(An EV Range in HDRI Acquisition as a Luminance Map Creation)

홍승대\*

(Sung-De Hong)

## Abstract

The purpose of this study is to present the EV range in HDRI acquisition process to create luminance map. The proposed method in this study is to capture the scene at EV  $\pm 0$  that is the longest exposure points and reference point in the scene. With this reference point, sets of 25 LDRI test case were taken manually at  $\pm 2$  EV using the aperture-priority manual mode. The 25 HDRIs were created using Adobe Photoshop. The HDRIs were then imported Radiance lighting simulation program to be analyzed into falsecolor. The analysis results of the 25 HDRIs test case are 50[%] of the all tested case have a margin of error of 10[%]. In case of f/5.6, the luminance map generated with HDRI were similar to the spot luminance meter. As a result, the EV range to reduce error of luminance map generated with HDRI is EV  $+2 \sim \pm 0 \sim -10$ .

Key Words : HDRI, Lighting Analysis, Luminance Map

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

실내 공간에 있어서 휘도 분포를 측정하는 것은 대 상공간의 시각적 환경을 정량적으로 분석하는데 중요 한 정보를 제공한다. 이러한 휘도 분포를 측정하는 것 은 휘도계(spot luminance meter)를 이용하여 이루어 져왔다. 휘도계를 이용하여 휘도분포를 측정하는 것

은 공간 내에서 다수의 측정점을 측정하고 측정된 값 을 다시 분포도로 기록하는 과정을 거쳐야한다. 이러 한 측정방법은 측정과 기록의 번거로움과 기록하는 과정에서의 오차가 수반되는 방법이라고 할 수 있다. 이에 대한 대안으로서 디지털카메라와 HDRI를 이용 하여 휘도분포를 평가하는 연구가 활발하게 진행되고 있다[1].

HDR(High dynamic ranging)은 특정 장면이 포함 하는 최대한의 광도(luminosity) 범위를 디지털적으로 포착하고 저장, 편집하는 방법을 말하며, HDRI는 이 를 통하여 획득된 영상을 지칭한다[3]. 이는 폭넓은 범 위의 동적영역(DR, dynamic range)을 포함하고 있어 실제 장면에 근접하는 밝기 정보를 갖게 된다. 또한 HDRI에 기록된 화소값은 실험과 현장 측정 결과, 실

\* 주저자 : 안산공과대학 실내디자인과  
Tel : 031-490-8933, Fax : 031-490-8900  
E-mail : sungde@gmail.com  
접수일자 : 2010년 5월 30일  
1차심사 : 2010년 6월 2일  
심사완료 : 2010년 7월 20일

휘도맵의 작성을 위한 HDRI 획득에 있어서 EV의 범위

제장면의 휘도값에 근접하며 그 신뢰도가 높은 것으로 연구되었다[4]. 이는 HDRI가 실제 시각 환경의 동적영역을 나타낼 수 있는 가능성을 충분히 갖고 있다는 것을 의미한다.

이러한 HDRI의 획득은 HDR카메라를 이용하는 방법과 일반 디지털카메라를 이용하는 방법으로 대별된다[1]. HDR 카메라를 사용하는 방법의 문제점은 DR의 밝은 쪽의 상한 만을 확장시켜, 장면의 어두운 부분의 DR을 획득하지 못한다는 문제점을 갖고 있어 휘도맵의 작성과 관련된 연구에서는 제외된다. 이와 같은 HDR 카메라를 사용하지 않고 수동으로 HDRI를 획득하기 위해서는 장면을 브라켓(Bracket) 촬영하여야 한다. 이는 동일한 장면을 서로 다른 노출값(EV, Exposure value)으로 연속해서 촬영하는 것을 의미한다. 이때 촬영된 각각의 영상은 장면 전체의 동적영역의 일부분(LDRI, Low Dynamic Ranging Image)이라고 할 수 있고, 이 영상들을 디지털적으로 결합하면 실제 장면의 동적영역에 근접하는 HDRI를 획득하게 된다. 이러한 HDRI 획득에 관한 아이디어를 구체화 시키기 위해서는 선행되어야 하는 내용이 있다. 그 내용의 첫째는 장면이 갖는 전체 동적 영역중에서 어느 부분을 기준으로 촬영을 시작해야 하는 것이고, 둘째는 어느 범위까지 촬영해야 하는가이다. 전자는 카메라의 EV가  $\pm 0$ 가 되는 노출을 결정하는 것과 관련된 것이고, 후자는 EV의 범위에 관한 것이라고 할 수 있다.

HDRI를 이용해서 실제의 밝기 정보를 포함하는 휘도맵(luminance map)을 구성하고자 할 때, 전술한 2가지 항목에 관한 기준이 필요하게 된다. 그러나 이와 같은 해당 장면의 동적영역을 초기에 추정하는 방법과 촬영의 범위에 관한 내용은 관련 연구가 초기 단계인 관계로 연구자 별로 차이가 있고 구체적으로 제시되지 못하고 있다.

이에 본 연구는 HDRI 획득과정(HDRI acquisition process)에서 빛의 입력에 관계되는 LDRI의 촬영(capture)에 주목하여 촬영의 초기에 EV를 설정하는 방법을 제안한다. 또한 이 방법을 통하여 작성된 HDRI가 실제 밝기 정보에 근접하기 위한 최적의 EV 범위를 제시하고자 한다.

## 1.2 연구의 방법

본 연구에서 HDRI의 획득을 위하여 사용되는 방법은 다수의 LDRI를 결합하는 것이며, HDRI Builder를 통하여 이루어진다. LDRI의 촬영 대상은 인공광원이 설치된 실내공간이며 디지털카메라를 이용한다. LDRI 촬영 방법을 제시하기 위한 선행 단계로서 관련 연구에서 HDRI 획득을 위하여 제시된 촬영 방법을 검토하고 분석한다. 이를 토대로 LDRI 촬영 방법을 제안하고 이를 촬영에 적용한다. 또한 본 연구에서는 전문적인 HDRI Builder에 접근하기 어려운 조명디자인 종사자나 설계자들에게 손쉬운 휘도맵의 작성을 지원하기 위하여 일반적으로 사용 빈도가 높은 이미지 편집 프로그램인 Adobe사의 Photoshop을 Builder로 선정하여 HDRI를 작성한다. Photoshop을 이용하여 작성된 HDRI는 Radiance hdr(Radiance RGBE) 포맷으로 저장되고, 이를 Radiance Ximage 프로그램과 Falsecolor 프로그램을 이용하여 분석한다. 여기서 작성된 휘도맵의 신뢰도를 검증하기 위하여 본 연구에서는 휘도계를 이용하여 동일한 장면의 휘도값을 측정하고 이를 작성된 휘도맵의 값과 상호 비교한다. 이를 통하여 실제 측정치에 근접하는 HDRI를 획득하기 위한 EV 범위를 제시한다.

## 2. HDRI의 개요 및 획득

### 2.1 HDRI의 개념과 특성

인간의 시각은 별빛 아래의 밝기에서부터 태양광 아래에서의 밝기까지 인식할 수 있는 폭넓은 동적 영역(Dynamic Range)을 갖는다. 이때 장면의 가장 밝은 부분과 가장 어두운 부분의 휘도비는 100,000 : 1 이상이다. 인간은 이 2개의 극단적인 밝기를 동시에 지각할 수는 없으나 순응의 과정을 거쳐 폭넓은 동적영역을 수용할 수 있다. 반면 카메라나 컴퓨터모니터와 같은 기계적 광입출력장치는 고정된 범위의 동적영역을 갖고 있으며 설정된 동적영역의 범위 내에서 빛을 입력하고 출력하게 된다.

HDRI는 이러한 일반적인 입력장치가 하나의 노출에 대하여 갖는 제한된 동적영역을 확장시킨 영상이다. 동적영역을 확장시킨 HDR영상은 실세계에 근접하는 밝기정보를 포함하게 되며, 이러한 밝기 정보를 기록하게위해서는 기존의 채널당 8비트의 기록방식은 불가능하게 된다. HDRI 기록방식의 특성을 본 연구의 HDRI 포맷인 Radiance hdr(Radiance RGBE)을 중심으로 고찰하면 다음과 같다.

우선 Radiance hdr은 Greg Ward Larson에 의해 제안되었으며 Red, Green, Blue, Exponent로 구성되고 32비트로 인코딩된 부동소수값을 포함한다. 이는 각 RGB를 위한 3바이트와 공통으로 사용되는 지수(exponent)를 위한 1바이트를 합하여 한 픽셀 당 4바이트(32비트)로 표현된다[2]. 추가된 8비트는 기존의 RGB 채널에 기록된 휘도값을 기록하고 보다 정밀한 픽셀 정보를 처리한다. 즉 동일하게 인식되는 적색도 장미꽃의 적색과 자동차의 적색을 차이가 나도록 기록하는 것이다.

## 2.2 선행 연구

HDRI를 이용하여 휘도맵을 작성하는 것과 관련된 연구에서 LDRI의 촬영에 관한 방법은 연구자 별로 차이가 있다. Beltrán은 자연광이 유입되는 갤러리를 대상으로 조리개우선 모드에서 셔터스피드를 변화 시켜가며 8장~10장을 촬영하였고, Inanici는 자연광이 유입되는 실내를 대상으로 조리개 값을 f/4.0으로 고정하고 8장을 촬영하였다[4]. Beltrán이 적용한 동적영역의 초기 추정 방법은 노출값이 가장 큰 EV와 가장 작은 EV 범위에서 완전한 백색과 흑색이 되지 않도록 하는 것이었고[6], Inanici는 구체적인 방법을 제시하지 않았다. Beltrán의 방법은 Bloch이 제시한 방법과 유사한데, Bloch은 디지털카메라의 가변 스폿노출계(spot meter)를 이용하여 장면의 가장 밝은 부분과 어두운 부분의 노출값을 찾고, 이 2개의 노출값 사이를 2 EV간격으로 촬영할 것을 제안하였다[3].

디지털카메라의 특별한 기능을 활용한 연구자는 Axel인데, 이는 디지털카메라의 AEB(Automatic Exposure Bracketing)기능을 이용하여 적정 조리개

값을 설정하고( $\pm 0$ ) 이 값보다 노출이 부족한 상태로 2장(-2, -1 EV)을 촬영하고, 과다한 상태로 2장(+2, +1 EV)을 추가로 촬영하여 총 5장을 촬영한 후 휘도를 분석하는 것이었다[5]. 이들 연구의 공통점은 고정된 조리개 값을 사용하고 셔터스피드를 변경시켜가면서 다중 노출의 영상을 획득한다는 것이다. 또한 LDRI의 결합과 휘도 분석의 방법에 있어서 Beltrán과 Inanici는 photosphere를 이용하였고, Axel은 hdrngen을 이용하였다.

## 3. 측정 및 분석

### 3.1 실제 휘도값의 측정

측정대상공간은 실제 실내공간에서 다양한 인공광원이 혼용되어 사용되는 것을 가정하여 형광등(T5 24[W], 4,000[K]) 2개와 백열등 (100[W], 2,500[K]) 1개를 설치하였고, 자연광의 유입을 차단하였다. 측정대상공간의 휘도값을 측정하기 위하여 사용된 휘도계는 Minolta LS-110이며 측정각은 1/3도이다. 휘도계를 이용한 측정에서 보다 정확한 측정을 위하여 삼각대를 사용하였으며, 측정대상 지점을 3개로 설정하고 마커를 부착하였다. 3개의 지점은 장면에서 가장 휘도가 높은 지점과 어두운 지점을 선정하였고 2개의 지점 사이의 중간 정도의 밝기를 나타내는 1지점을 추가하였다[그림 1].

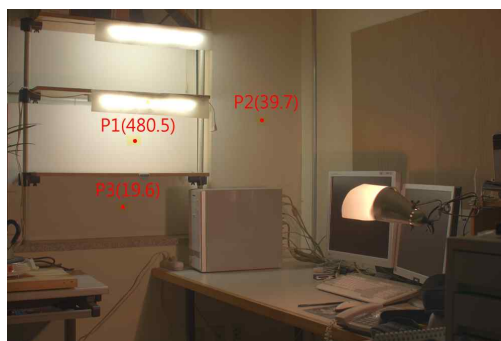


그림 1. 측정지점과 휘도 측정값 (단위:  $cd/m^2$ )  
Fig. 1. Reference points and luminance values (Units:  $cd/m^2$ )

휘도맵의 작성을 위한 HDRI 획득에 있어서 EV의 범위

### 3.2 LDRI의 촬영

HDRI의 획득은 LDRI의 촬영으로부터 시작되며, 본 연구에서 LDRI의 촬영을 위해 사용된 장치와 설정은 표 1과 같다.

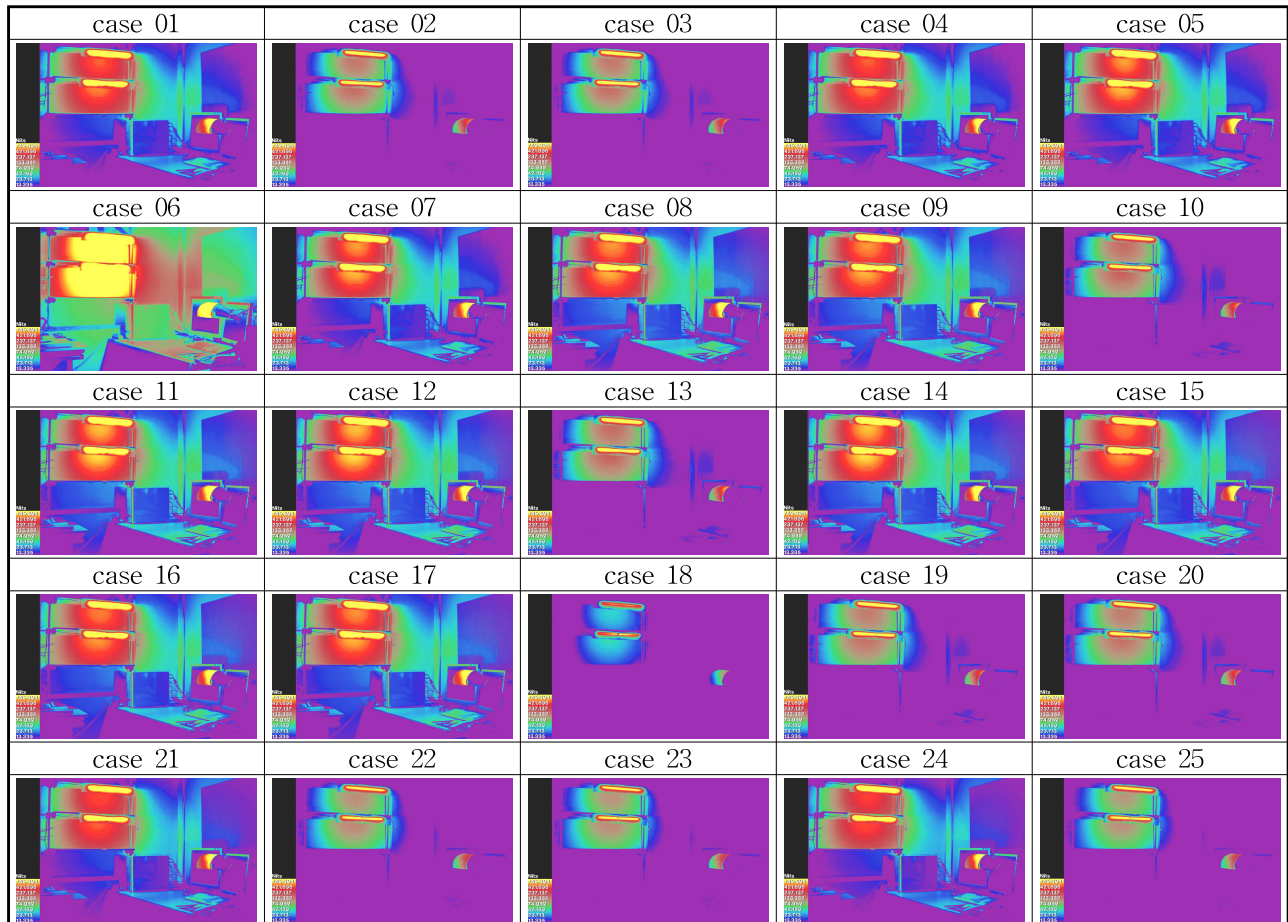
본 연구에서 장면의 초기 동적영역을 추정하기 위하여 제시하는 촬영의 방법은 다음과 같다. 우선 조리개 값은 실험용 렌즈의 최대 개방값인 f/1.4를 기준으로 2 step씩 차이를 갖는 f/1.4, f/2.8, f/5.6, f/11 4개의 고정된 조리개 값을 사용하였다. 그리고 촬영의 기준(EV ±0)이 되는 노출은 화면에서 가장 밝은 부분(high key)을 기준으로 하였고 셔터스피드(TV, Time Value)를 조절하여 ±2 EV씩 증감하면서 촬영하였다. 또한 사용된 조리개 값에서 EV의 최적 범위를 찾기

위해서 각 LDRI의 EV 범위를 변화시키며 촬영하였다. 이를 25개의 경우(case)로 구분하였으며 이들 LDRI를 Photoshop을 이용하여 결합하여 총 25개의 HDRI를 제작하였다.

표 1. 촬영 장치와 설정값  
Table 1. Capturing device and settings

Camera	CANON EOS 450D
Image Size	4,272×2,848
Image Sharpening	off
Focusing	manual
Lens	30[mm]
ISO	100
Metering	spot
White Balance	4,000[K]

표 2. Radiance를 이용한 HDRI의 분석결과  
Table 2. Analysis results of HDRI using Radiance



### 3.3 HDRI의 분석

획득된 HDRI를 Radiance Ximage와 Falsecolor 프로그램으로 분석한 결과를 정리하면 표 2와 같다.

#### (1) 조리개 f/1.4의 경우

f/1.4의 조리개값에서 실측값과 10[%]의 오차범위 내에 접근하는 것은 case 01, 04, 05, 07인 것으로 확인되었다.

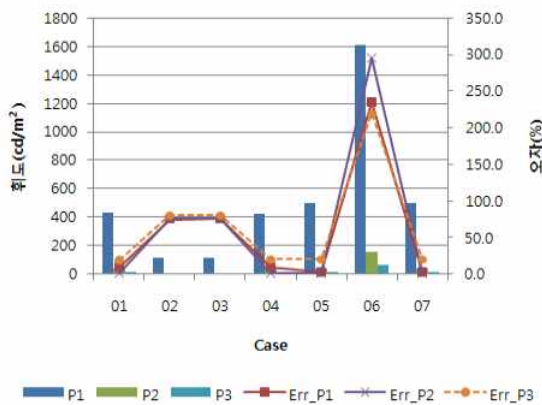


그림 2. f/1.4의 case별 오차(%)  
Fig. 2. Errors(%) of each test case at f/1.4

이 4개의 case에서 공통적인 EV의 범위는  $\pm 0 \sim -8$ 이며, 가장 오차가 작은 case 05의 EV 범위는  $+2 \sim \pm 0 \sim -10$ 이다.  $\pm 0 \sim -8$ 의 EV를 포함하고 있는 case 03과 06은 4개의 case와 달리 오차가 큰 것으로 나타났다. 이들 case는 case 03의 경우 이 범위보다 +2 확장된 EV를 갖고 있으며, case 06은 -4 확장된 EV를 나타낸다.

각 측정 지점에 따른 분석 결과는, 장면에서 높은 휘도(P1)에 대한 오차는 case 04, 05가 낮으며, 중간 휘도(P2)에서는 4개의 case가 고르게 낮은 오차를 나타냈으며, 낮은 휘도(P3)에서는 4개의 경우가 모두 오차가 증가하는 것으로 나타났다.

#### (2) 조리개 f/2.8의 경우

조리개 f/2.8의 경우 실측값과 10[%]의 오차범위 내

표 3. f/1.4에서 case별 EV 범위  
Table 3. EV ranges of each test case at f/1.4

TV	EV	case						
		01	02	03	04	05	06	07
1/4000	+2		●	●		●		●
1/1000	$\pm 0$	●	●	●	●	●	●	●
1/250	-2	●	●	●	●	●	●	●
1/60	-4	●	●	●	●	●	●	●
1/15	-6	●	●	●	●	●	●	●
1/4	-8	●		●	●	●	●	●
1	-10				●	●	●	●
4	-12						●	●
LDRI		5	5	6	6	7	7	8
Error(%)		10.0	76.9	77.0	10.2	8.1	250.2	8.2

에 접근하는 것은 case 08, 09, 11, 12, 14이다. 이 5개의 case에서 공통적인 EV의 범위는  $\pm 0 \sim -8$ 이며, 가장 오차가 작은 case 12의 EV 범위는  $+2 \sim \pm 0 \sim -10$ 이다. case 13은 case 12와 유사한 EV범위를 포함하고 있지만 오차가 큰 것으로 확인 되었다. case 13의 EV 범위를 case 12와 비교하면, 노출이 큰 방향으로 +2확장된 EV범위를 갖는 것을 알 수 있다.

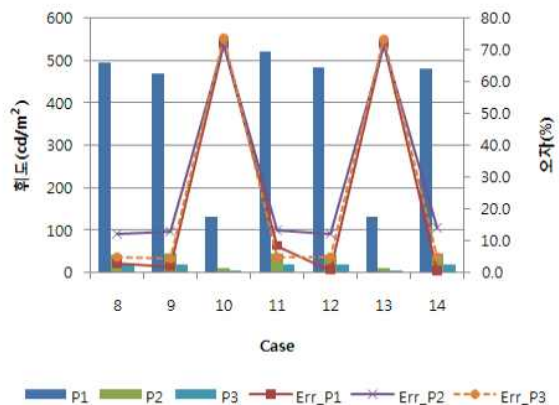


그림 3. f/2.8의 case별 오차(%)  
Fig. 3. Errors(%) of each test case at f/2.8

오차범위 내에 접근하는 5개 case의 높은 휘도(P1)에 대한 오차는 3.0[%]로 낮으며, 중간 휘도(P2)에서는 5개의 경우가 모두 13.1[%]로서 오차가 증가하였으

휘도맵의 작성을 위한 HDRI 획득에 있어서 EV의 범위

며, 낮은 휘도(P3)에서는 5개의 경우가 모두 5.0[%]의 낮은 오차를 나타냈다.

표 4. f/2.8에서 case별 EV 범위  
Table 4. EV ranges of each test case at f/2.8

TV	EV	case							
		08	09	10	11	12	13	14	
1/4000	+4						●	●	
1/1000	+2			●	●	●	●	●	
1/250	±0	●	●	●	●	●	●	●	
1/60	-2	●	●	●	●	●	●	●	
1/15	-4	●	●	●	●	●	●	●	
1/4	-6	●	●	●	●	●	●	●	
1	-8	●	●	●	●	●	●	●	
4	-10		●		●	●	●	●	
15	-12				●			●	
LDR1		5	6	6	8	7	8	9	
Error(%)		6.8	6.5	72.6	9.0	6.1	72.4	6.7	

(3) 조리개 f/5.6의 경우

조리개 f/5.6의 경우, 실측값과 10[%]의 오차범위 내에 접근하는 것은 case 15, 16, 17이다.

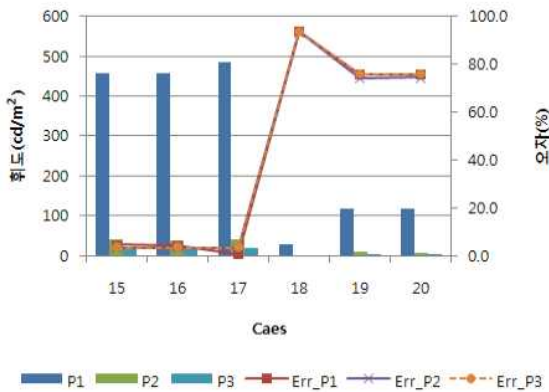


그림 4. f/5.6의 case별 오차(%)  
Fig. 4. Errors(%) of each test case at f/5.6

이 3개의 case에서 공통적인 EV의 범위는 ±0~-8이며, 가장 오차가 작은 case 17의 EV 범위는 +2~-10이다. case 17과 유사한 EV범위를 포함하는

case 19와 20은 오차가 큰 것으로 확인되었다. 이들 case는 case 17과 비교해서 노출이 큰 방향으로 각각 +2와 +4가 확장된 EV를 갖는 것을 알 수 있다.

조리개값 f5.6에서 case 15, 16, 17의 높은 휘도(P1)에 대한 오차는 3.3[%]이며, 중간 휘도(P2)에서는 3.4[%], 낮은 휘도(P3)에서는 3.6[%]로서 평균적으로 낮은 오차를 나타냈다.

표 5. f/5.6에서 case별 EV 범위  
Table 5. EV ranges of each test case at f/5.6

TV	EV	case					
		15	16	17	18	19	20
1/4000	+6				●		●
1/1000	+4				●	●	●
1/250	+2			●	●	●	●
1/60	±0	●	●	●	●	●	●
1/15	-2	●	●	●	●	●	●
1/4	-4	●	●	●	●	●	●
1	-6	●	●	●	●	●	●
4	-8	●	●	●	●	●	●
15	-10		●	●		●	●
LDR1		5	6	7	8	8	9
Error(%)		3.9	3.8	2.6	93.8	75.3	75.4

(4) 조리개 f/11의 경우

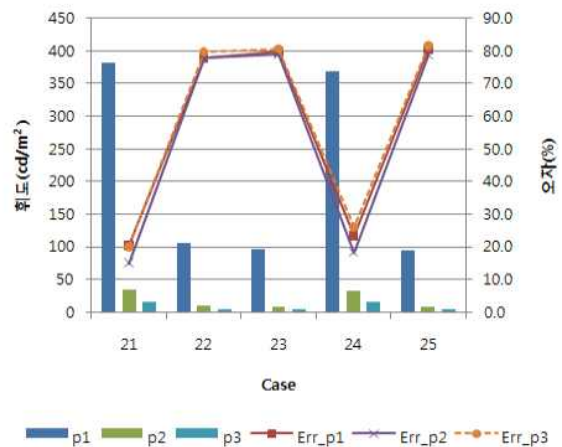


그림 5. f/11의 case별 오차(%)  
Fig. 5. Errors(%) of each test case at f/11

조리개 f/11의 경우 실측값과 10[%]의 오차범위 내에 접근하는 case는 없는 것으로 분석되었으며, 이들 5개 case의 오차 평균은 약 56[%]로 매우 높은 것으로 확인되었다.

이 5개의 case의 높은 휘도(P1)와 낮은 휘도(P3)에서의 오차는 case의 오차 평균 이상으로 높으며, 다만 중간 휘도(P2)에서는 case 21과 24에서 오차 평균이하로 나타난 것으로 확인할 수 있다.

표 6. f/11에서 case별 EV 범위  
Table 6. EV ranges of each test case at f/11

TV	EV	case				
		21	22	23	24	25
1/250	+4					●
1/60	+2		●	●		●
1/15	±0	●	●	●	●	●
1/4	-2	●	●	●	●	●
1	-4	●	●	●	●	●
4	-6	●	●	●	●	●
15	-8	●		●	●	●
30	-10				●	
LDRI		5	5	6	6	7
Error([%])		18.4	78.5	79.8	22.5	80.4

#### 4. 종합분석 및 결론

4개의 조리개 값에서 획득된 25개의 HDRI를 실측값과 비교한 이상의 결과에서 다음과 같은 내용을 확인할 수 있다.

- ① 실측값과 HDRI 휘도맵의 오차 범위가 10[%] 이내인 12개 case를 대상으로 조리개 값과의 관계를 분석해 보면 조리개의 개방이 작아질수록 평균적인 오차가 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. 그러나 조리개값 f/11에서는 오차 범위 내에 포함되는 case가 없는 것으로 나타나 조리개값과 휘도맵의 오차관계를 선형적인 관계로 설명하기는 어렵다. 그러나 f/5.6일 때 3개의 case는

평균오차가 3.4[%]로서 최적의 조리개 값을 확인할 수 있다.

- ② 12개 case의 공통적인 EV 범위는 ±0~-8인 것으로 나타났다. 그러나 이를 각 조리개 값에서 가장 낮은 오차를 나타낸 case 05, 12, 17을 중심으로 파악하면 EV 범위는 +2~±0~-10으로 확장된다. 12개 case의 평균 오차가 6.9[%]이고 이들 3개 case의 평균오차가 5.6[%]인 것을 고려할 때 HDRI를 통해서 작성된 휘도맵의 오차를 최소화할 수 있는 EV 범위라고 할 수 있다. 한편 동일한 +2~±0~-10의 EV를 포함하고 있는 case 13, 19, 20은 오차가 증가하는 것으로 나타났다. 이들 case의 특성은 +2~±0~-10의 EV를 포함하지만 이 범위를 기준으로 노출값이 증가하는 방향과 감소하는 방향으로의 증감이 비대칭적이라는 것을 알 수 있다. 이는 동일한 EV 범위를 포함하면서도 평균오차가 낮게 나타난 case 14와의 비교에서도 확인된다.

- ③ 휘도 측정 지점에 따른 HDRI 휘도맵의 오차 특성은 조리개 f/1.4의 경우 낮은 휘도(P3)에서 오차가 증가하며, f/2.8은 중간휘도(P2)에 오차가 증가하는 것을 확인할 수 있다. 반면 f/5.6은 모든 측정지점에서 높은 정확도를 나타내는 것을 알 수 있다. 3개의 조리개값에서 공통적인 것은 높은 휘도(P1)에서 오차가 낮게 나타난 것이다. 이는 LDRI 촬영의 기준이 되는 노출(EV ±0)을 장면에서 가장 밝은 부분으로 설정하였기 때문에 높은 휘도의 오차는 작을 것이라고 판단되며, 이를 기준으로 동적영역을 확장시킨 부분(P2, P3)에서의 오차는 증가한다고 볼 수 있다.

결론적으로 본 연구에서 제시한 LDRI의 촬영방법을 통하여 만들어진 25개의 HDRI를 분석한 결과, 전체 case의 50[%]에 해당하는 12개 case가 오차 허용범위에 속하는 정확도를 나타내었고, 조리개값 f/5.6에서는 실측치에 근접하는 휘도맵을 작성할 수 있다는 것을 확인할 수 있었다. 또한 HDRI로 작성된 휘도맵의 오차를 최소화할 수 있는 EV범위는 +2~±0~-10이라는 것을 알 수 있었다.

휘도맵의 작성을 위한 HDRI 획득에 있어서 EV의 범위

본 연구는 HDRI의 작성 대상이 인공광원만으로 조명이 되는 실내공간이고, 촬영에 사용된 장치와 HDRI builder가 제한적이라고 할 수 있다. 이는 촬영 대상의 동적영역이 본 연구의 대상과 다르고 촬영 장치와 builder가 변경될 경우에 대비한 검증이 없음을 의미한다. 따라서 본 연구의 결과는 현재 실험 설정에서 유효하며, 보편화된 이론으로 발전시키기에는 다소 무리가 있음을 밝혀둔다. 이에 향후 LDRI의 입력과 관련된 촬영장치의 다양성을 고려하고, HDRI builder의 특성을 반영한 연구가 필요하다고 할 수 있다.

### References

- [1] 박대근, 박기현, 하형호, 다중노출복수영상에서 장면의 다이내믹 레인지 추정을 통한 HDR 영상 획득, 전자공학 회논문지 45권, 2호, 2008.
- [2] 김성예, 최병태, High Dynamic Range Image 기술 동향, ETRI주간기술동향, 1065호, 2002.
- [3] Christian Bloch 저, 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. Vol.1, No.1, 2007.
- [6] Liliana O. Beltrán, Betina M. Mogo, Assessment of luminance distribution using hdr photography. Proceedings of the 2005 ISES Solar World Congress, 2005.

### ◇ 저자소개 ◇



#### 홍승대(洪昇大)

1969년 1월 27일생. 1994년 서울대학교 산업디자인과 졸업. 1997년 홍익대학교 산업미술대학원 졸업(석사). 2007년 서울대학교 건축학과 박사과정 수료. 2002년 3월~현재 안산공과대학 실내디자인과 부교수.