

채광·조명설비시스템의 광학 분석을 위한 이미지 프로세싱 기법에 관한 연구

Methodological study on the High Dynamic Range Imaging Processing

임 홍 수* 김 곤**
Lim, Hong Soo Kim, Gon

Abstract

Recently, various daylight evaluation methods for visual environment have been developed: simulation analysis methods, numerical calculation, and data monitoring methods. However, it is impossible for simulation analysis to make real scenes and visualize real images exactly. Also, a numerical calculation is considered as an out of date and time-consuming mean. Therefore, for acquisition of accurate results, many studies often use the monitoring data methods. Especially, most studies regarding discomfort glare are evaluated by measuring the physical quantity of luminance through traditional measuring Minolta Luminance meters as an instrument. But, this method has a difficulty in measuring several points at the same time because of the limitation of spaces and time when mapping. So, this study focused on the potential usefulness of High Dynamic Range photography technique as a luminance mapping tool. In order to evaluate the accuracy of proposed programs such as webHDR, Photomatix and PHOTOLUX, this paper has conducted an experiment by using Canon EOS 5D and NICON Coolpix8400 digital camera.

키워드 : 하이 다이내믹 레인지, 휘도, Photolux, Photomatix, webHDR

Keywords : High Dynamic Range, Luminance, Photolux, Photomatix, webHDR

1. 서 론

현대 도시는 자동차 전조등, 대형건물 경관조명, 광고판 등 다양한 광원에 의하여 빛 공해를 겪고 있다. 빛의 양이나 조명의 조사방향에 의하여 Light Trespass를 일으키고 이는 사람의 시야 안에 물체를 시각적으로 인지하는 능력을 감소시킨다. 이와 같은 현상은 인간에게 불쾌감을 느끼는 불쾌글레이어를 유발하거나 불능글레이어를 유발하고 동·식물의 생장에 방해가 된다. 이런 문제를 해결하기 위하여 다양한 연구들이 진행되고 있으나 현지 물리적인 빛 환경 평가를 위해 높은 건물이나 먼 거리측정이 필요할 때가 있는데 실제측정방법으로는 원거리 휘도 측정이 어렵거나 시간에 의해 제약을 받게 된다. 또한 Minolta LS-100과 같은 휘도계측기는 휘도 분포도로 나타내기 어렵고 정확한 포인트의 휘도를 측정하는 것은 불가능하고 글레이어 평가식에 대입되는 값들의 대부분은 각 지점 휘도에 따른 물리적인 평가식이기 때문에 포인트의 정확한 값을 측정하는 것이 중요하다. 따라서 본 연구에서는 공간의 제약을 받지않고 정확한 지점의 휘도값을 평가하기 위한 방안으로 High Dynamic Range(HDR)

를 이용한 사진 기법을 건축 빛 환경 평가하는 방법에 적용하고 정확성을 검토하여 실제 연구에 적용 가능성을 알아보고자 한다.

2. 연구목적 및 방법

2.1 HDR의 정의 및 선행연구

1)카메라가 한 번의 노출로 받아들일 수 있는 밝기의 범위는 한계가 존재한다. 그래서 밝은 부분과 어두운 부분이 동시에 있는 장면에서 사진을 찍을 경우에는 밝기 정보를 얻지 못하여 밝은 부분은 grey level이 255, 어두운 부분은 grey level이 0으로 나타나는 경우가 많다. 이것은 다이내믹 레인지(Dynamic Range)로 설명할 수 있는데, 다이내믹 레인지란 밝기가 가장 밝은 부분과 가장 어두운 부분의 밝기의 비율을 의미한다. 한 번의 노출로 감지할 수 있는 카메라의 다이내믹 레인지는 실세계의 다이내믹 레인지에 비해 매우 작기 때문에 사진을 찍으려고 하는 장면의 다이내믹 레인지가 큰 경우에는 카메라가 밝기 정보를 얻지 못하게 되는 것이다. 실세계가 가지고 있는 밝기의 범위는 약 $108cd/m^2$ 정도(luminance의 범위;100000:1)이고 사람의 눈이 한 번에 수용할 수 있는

* 강원대학교 건축공학부 석사과정 (forestflood@hanmail.net)

** 교신저자, 강원대학교 건축학부 교수
(gonkim@kangwon.ac.kr)

1) 신동수, 건축 가시화를 위한 HDR기 기반 3D 렌더링에 관한 연구, 2005.12.

밝기의 범위는 약 $105cd/m^2$ (luminance의 범위;10000:1) 정도 인데 비해, 일반 디지털 카메라의 센서가 한 번의 노출로 받아들일 수 있는 밝기 범위는 약 $102cd/m^2$ 정도로 이보다 훨씬 작다. 그림1은 HDR과정이다.

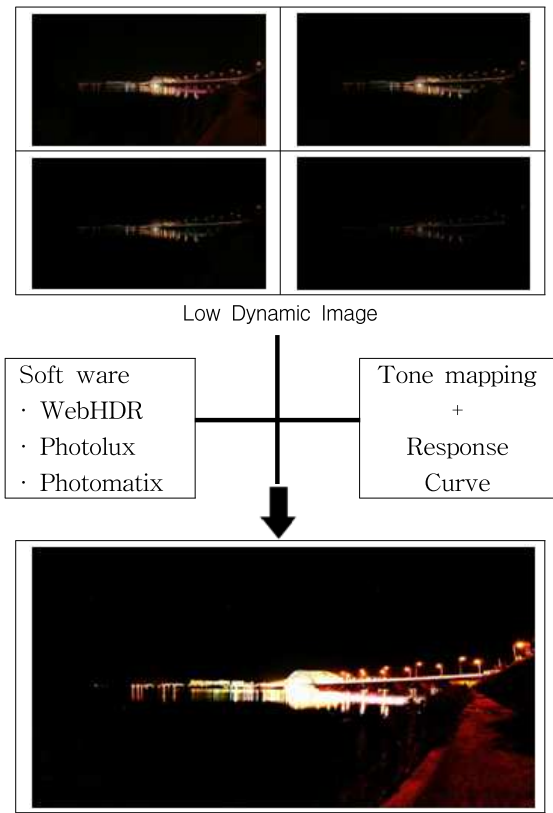


그림 1. High Dynamic Image processing

Mehlika Inanici와 Jim Galvin(2004)는 Nikon Coolpix 5400을 이용하여 Photosphere프로그램에 이미지들을 입력하여 High Dynamic image 기법의 효용성에 대하여 검토하였다. 각각의 광원과 색, 실제 건물 등 다양한 대상을 적용하여 휘도측정을 검증한 결과 대략 7.2%의 오차가 있지만 전통적인 방법에 비하여 실용성이 높다고 주장하고 있다. DENIS FAN(2009)은 glare평가를 위해 HDR 이미지를 이용하였고 역시 10%정도의 오차가 있다고 언급했다. KEVIN VAN DEN WYMELENBERG는 밝기, 지역, 광원의 크기, 배경휘도에 따른 휘도와 선호도 연구 논문에서 HDR 이미지를 이용하였고 Canon EOS-1으로 이미지를 출력하여 실제 Minolta LS-110으로 측정 한 값과 비교분석하였다.

2.2 HDRimage processing program

사람의 눈으로 시각화되는 것과 달리 디지털 카메라를 이용하여 사진을 찍게 되면 Dynamic range 차이에 의하여 본래의 이미지와 다르게 찍히게 된다. 따라서 실제 사람의 눈이 볼 수 있는 이미지와 동일하게 이미징 하기 위한 목적으로 HDR프로그램들이 개발 되었다. HDR프로그램은 노출 값을 달리 촬영한 어두운 이미지에 명부 색

정보를 취하고 밝게 찍은 사진에서 암부에 색 정보를 추출하여 병합과정을 통하여 세세한 디테일을 살리는 작업을 함으로써 High Dynamic Range image를 얻게 된다.

1) Photomatrix program

Photomatrix는 프랑스의 HDRsoft(www.hdrsoft.com)社(사)에서 2002년에 개발한 프로그램으로 여러 개의 노출도가 다른 이미지를 하나의 이미지로 믹싱하는 이미지 편집 툴이다. Photomatrix의 주요기능은 다음과 같다.

- OpenEXR 및 TIFF 포맷 읽기/쓰기 지원
- HDR 이미지 생성
- 이미지상의 휘도 측정

Photomatrix에서의 HDR이미지 생성은 노출 값이 다른 사진을 합성하여 32bit 이미지 원본을 얻을 수 있으며 이후 Tone mapping을 통하여 이미지를 보정하게 된다. Tone mapping 조정에는 [Details Enhancer]와 [Tone Compressor]의 방법이 있다.[Details Enhancer]은 shadow 부분의 톤을 증폭해 밝게 하며 다소 현실과 다른 화려한 색채의 사진을 만든다. 단점으로는 shadow를 밝게 하는 만큼 노이즈가 증가하는 점이나 사물의 주변이 밝게 되는 효과가 생긴다는 것이다. 한편 [Tone Compressor]에서는 사진 전체의 톤을 압축해 휘도를 조정한다. Photomatrix의 장점으로는 첫 번째로 피사체가 움직일 때 이것을 보정해주는 [Attempt to reduce ghosting artifacts]라는 기능이다. 또한 [Details Enhancer]를 통한 분위기 있고 회화적인 이미지의 생성이다. 두 번째로 한 장소에 촬영된 노출도가 다른 디지털 이미지를 손쉽게 병합 또는 믹싱 할 수 있으며 전혀 다른 이미지 병합 역시 가능하다. 세 번째로 사이즈 제어 및 이미지 자르기, 밝기/대조/Sharpen 등의 이미지 효과 적용이 가능하며 이미지 연결 시 자동 및 Adjust, 2 images, Intensive 등의 옵션을 제공한다. 그리고 일괄 작업 기능을 이용해서 다수의 이미지를 일괄적으로 합치는 기능을 사용할 수 있다.

2) Photolux program

LDR이미지의 합성을 통한 Luminance map을 형성하는 프로그램인 Photolux는 프랑스의 ENTPE社(사)에 의하여 개발된 프로그램이다.

표 1. Coolpix 8400 camera setting

white balance	sunny
Best shot selector	off
Image adjustment	normal
Saturation control	normal
Image quality	normal
Image size	8M(3264×2448)
Sensitivity	100 ISO
Image sharpening	off
Lens	fisheye
Exposure option(AE lock)	off
Auto bracketing	off
Noise reduction	off

Nikon Coolpix 8400카메라를 이용하여 표1과 표2와 같이 카메라 설정과 노출 값을 다르게 하여 얻은 LDR사진을 합성하여 Luminance map을 형성한다.

표 2. 실험에 사용된 Nikon Coolpix 8400의 촬영조건

Aperture	Exposure time
3.8	1/2
3.8	1/15
3.8	1/125
3.8	1/1000

Photolux의 특징은 gird를 설정하고 [Statistics]옵션을 이용하여 사람의 시야를 설정할 수 있다.

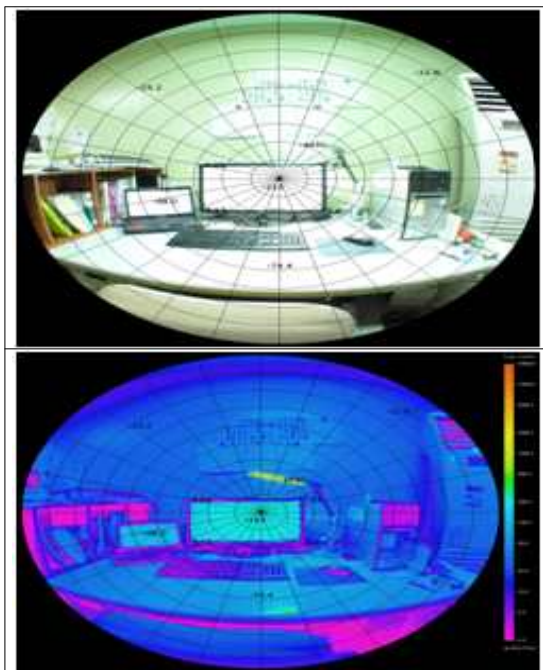


그림 2. photolux HDR1 및 Luminance map

또한 그림 2와 같이 Luminance map의 원하는 면을 지정하여 평균 휘도값을 알 수 있으며 Luminance map 전체의 최대값, 최소값, 평균값 측정이 가능하다.

3) webHDR program

인터넷상에서 무상으로 제공되는 webHDR program은 Greg Ward의 hdrgen 프로그램을 이용하여 dynamic range image와 false color image를 만들게 된다. hdrgen program은 JPEG 파일로부터 EXIF 정보를 얻어 휘도 정보를 만드는 작업을 한다.

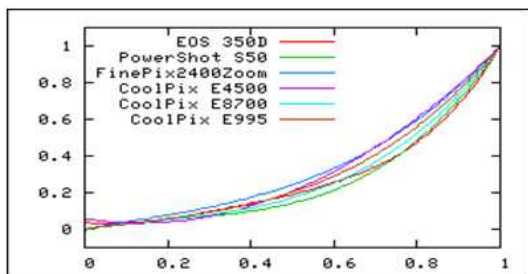


그림 3. response curve의 예
(<http://luminance.londonmet.ac.kr/webHDR>)

그러나 Nikon COOLPIX 8400카메라만을 이용하는 Photolux와는 달리 현재 사용되는 거의 모든 카메라 모델로 이와 같은 분석이 가능하다. 왜냐하면 webHDR에서 제공되는 EXIF 정보는 각각의 카메라 감광성 칩에 따라 고유한 특성을 가지기 때문에 다른 response curve를 가지게 되고 이러한 정보를 rsp파일로 입력하여 프로그램에 입력 요소로 이용되기 때문이다. 또한 오차의 범위를 줄이기 위하여 calibration factor를 입력하게 되는데 calibration factor는 $CF = \text{LuminanceReal} / \text{LuminanceHDR}$ 로 산출된다. 하지만 임의의 입력요소가 많은 만큼 다양한 변수들로 인해 정확한 평가는 어렵다.

3. 실험방법론

본 연구에서는 각각의 프로그램이 얼마나 정확한 휘도를 측정할 수 있는지에 대한 평가를 위해 실행되었다. 유용성을 검토하기 위하여 그림 4와 같이 실험을 통하여 High Dynamic Range image를 출력하여 휘도를 산출하고 LS-100 휘도 측정계를 이용한 값과 비교 분석하였다. 먼저 선행 실험으로 그림 4와 같이 47cm떨어진 거리에 카메라를 설치하고 피사체에 고휘도 LED조명기구를 상부 방향으로 조사하여 물체의 휘도를 측정하였다.

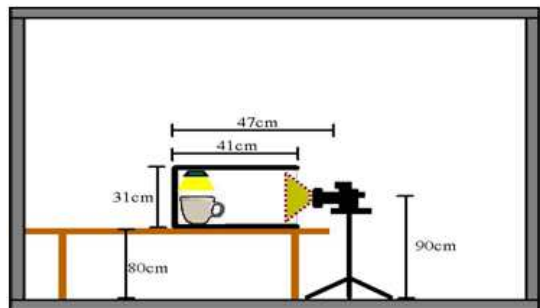


그림 4. 실험 방법

외부의 영향을 최대한 줄이기 위하여 폐쇄된 상자 안에 피사체를 두고 카메라는 공간 안에 있는 피사체만을 촬영되게 위치하였다. 카메라는 Photolux와 Photomatix program용으로 Nikon COOLPIX 8400카메라를 이용하였고 webHDR의 경우 EOS 5D를 이용하여 측정하였다.

webHDR는 카메라가 휘도를 측정할 수 있는 각각의 low dynamic range를 미리 실제값과 확인하여 입력하여야 하는데 이때 사용되는 E.V값을 표3과 그림 5를 이용하여 산정하게 된다.

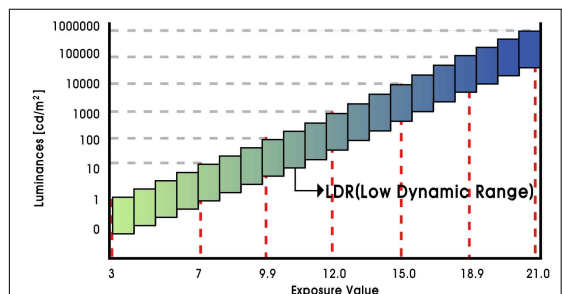


그림 5. E.V 값과 휘도의 상관관계

사진의 노출을 결정하기 위해서는 ISO 스피드 조리개, 노출 시간의 정보들이 필요하다. 이들은 EXIF 헤더에 저장되며 이것은 HDR 이미지를 생성하는데 사용된다.

$$Exposure = \log_2(Aperture^{2*}(1/Shutter\ speed)*(ISOspeed/100))(1)$$

식 (1) 카메라 셋팅에 따른 E.V산정 공식

HDR 이미지로부터 false colour를 통해 휘도 정보를 표현할 수 있다. 보통 어두운 곳은 청색으로 높은 휘도는 적색으로 지정되어 있다. 표3은 카메라 세팅 시 다른 셔터스피드와 노출 시간에 따른 각각의 E.V값을 나타내고 그림 5는 산출된 E.V값이 나타낼 수 있는 휘도의 분포를 보여주는 그림이다. 표3에 표시된 구간은 실험에서 설정 조건을 나타낸다.

4. 연구결과

각각의 프로그램이 가지고 있는 목적과 실행할 수 있는 방법이 다르기 때문에 본 연구에서는 측정할 수 있는 지점의 휘도 값과 실제 휘도 값을 비교하여 오차율을 산정하였다.

1) LED를 물체 상부에서 조사했을 때 오차율

실험은 LED 조명기구를 상부에서 조사했을 때 3개의 모델에 빛나는 지점의 휘도를 측정하여 오차율을 산정한 결과는 아래와 같다.

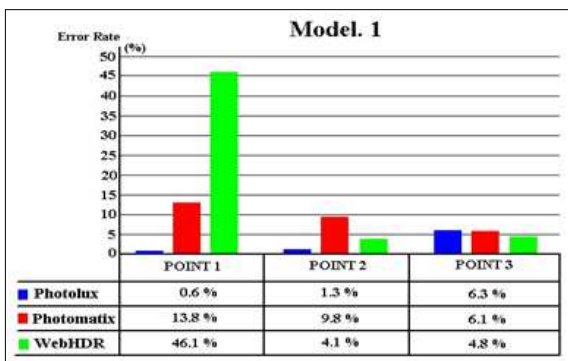


그림 6. model.1의 각 지점별 오차율

그림 6은 model.1의 3개의 지점별 각각의 프로그램 오차율을 표로 나타내 것이다. Photolux의 경우 LS-100에서 측정된 대략 600cd/m²의 값과 거의 유사하게 측정되었다. 지점별 오차율은 5%정도 다른 프로그램보다 낮은

차이를 보였다. Photomatix의 경우 Photolux와 비교했을 때 많게는 10%정도 의 오류가 있었으나 측정지점마다

정확도순위는 차이를 보이고 있다. 하지만 webHDR의 값은 적게는 4.1%, 많게는 45%이상 오류는 보이고 있어 신뢰하기 어렵다.

그림 7은 model.2의 2개의 지점별 각각의 프로그램 오차율을 표로 나타내 것이다. model.1과는 달리 밝게 빛나는 지점이 2개 요소를 가지는 model.2에서는 webHDR 이미지에서 LS-100에서 측정된 값의 2배 이상 오차율을 보이는 지점이 있는데 이는 주변에 배경휘도와 측정 포인트와의 휘도 차이가 크기 때문에 카메라에서 측정할 수 있는 Dynamic range단위와의 상관관계 때문에 오차율이 큰 것으로 예상된다.

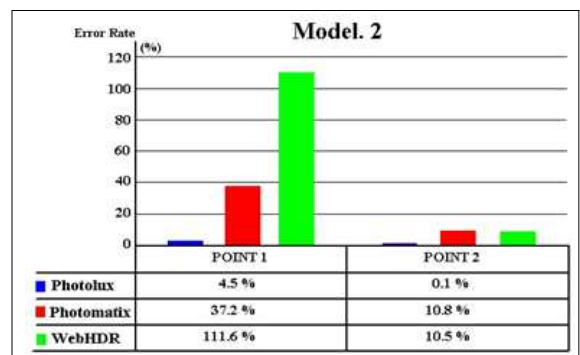


그림 7. model.2의 각 지점별 오차율

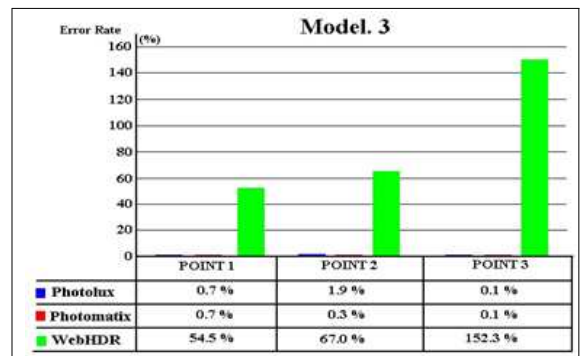



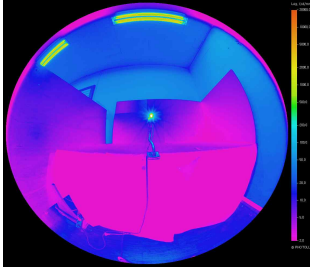

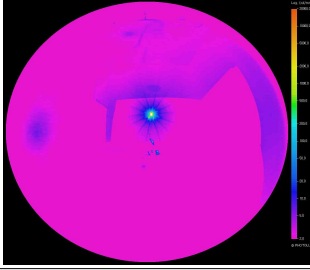

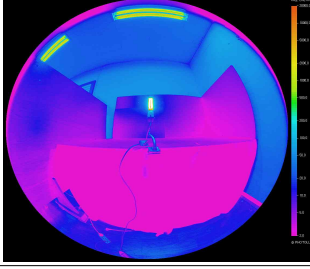

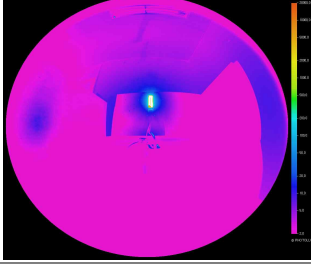
그림 8. model.3의 각 지점별 오차율

그림 8은 model.3의 3개의 지점별 각각의 프로그램 오차율을 도식화한 것이다. 3개의 물체의 오차율 중 가장 정확도가 높은 model.3에서는 webHDR을 제외하고는 이상적인 오차율을 보이고 있다.

표 3. 노출시간과 셔터스피드에 따른 E.V

f/t	4	2	1	1/2	1/4	1/8	1/15	1/30	1/60	1/125	1/250	1/500	1/1000	1/2000	1/4000	1/8000
5.6	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	8.9	9.9	10.9	11.9	12.9	13.9	14.9	15.9	16.9	17.9
10	3.6	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.5	11.5	12.5	13.6	14.6	15.6	16.6	18.6	19.6
14	4.6	5.6	6.6	7.6	8.6	9.6	10.6	11.5	12.5	13.5	14.6	15.6	16.6	17.6	19.6	20.6
18	5.3	6.3	7.3	8.3	9.3	10.3	11.3	12.2	13.2	14.2	15.3	16.3	17.3	18.3	20.3	21.3
22	6.9	7.9	8.9	9.9	10.9	11.9	12.8	13.8	14.8	15.9	16.9	17.9	18.9	19.9	20.9	21.9

표 4. 조건별 인공광원의 HDR 이미지 및 오차율

실험 조건	High Dynamic Range	False color image	Error Rate		
			Photolux	Photomatix	
할로겐램프	ON			6.5%	17.3%
	OFF			5.7%	18.7%
야간	ON			2.3%	34.3%
	OFF			3.8%	39.0%

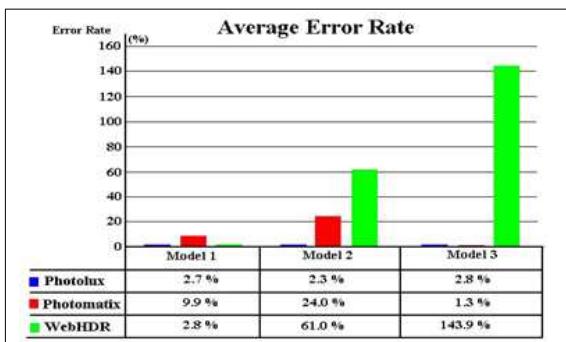


그림 9. model별 프로그램 평균 오차율

그림 9는 모델별 프로그램 평균 오차율을 그래프로 나타내 것이다. Photolux와 Photomatix의 경우 몇 번의 반복된 실험에서 평균 오차율이 거의 10%를 넘지 않고 있다. 이는 실제 빛환경 분석에 이용 가능성을 보여준다.

2) 램프별 오차율 측정

인공 광원의 경우 테스트 셀 안에서 측정하기 어려워 외부에 설치하여 측정되었는데 외부의 배경 휘도에 따라서 오차율 차이가 있을 것이라는 가정 하에 외부조명을 켜고 꺼고 각각의 실험이 이루어 졌다. 실험 결과 프로그램에 따라 오차율차이가 있지만 대부분 외부가 어두운 조건에서 오차율이 더 큰 것으로 나타났다. 표4는 조건별 측정된 광원과 오차율을 나타내고 있다.

3) 야간에 외부 광원의 거리에 따른 오차율 분석

야간에 경관 조명의 경우 배경휘도가 거의 없기 때문에 이미지상 어두운 부분과 밝은 부분의 차이가 매우 크다. 이는 실제 이미지를 출력하기 위하여 많은 LDR 이미지를 합성해야 하고 때문에 HDR의 범위가 매우 넓어져 HDR 이미지를 산출하기 어렵거나 오차율이 커지게 된다.

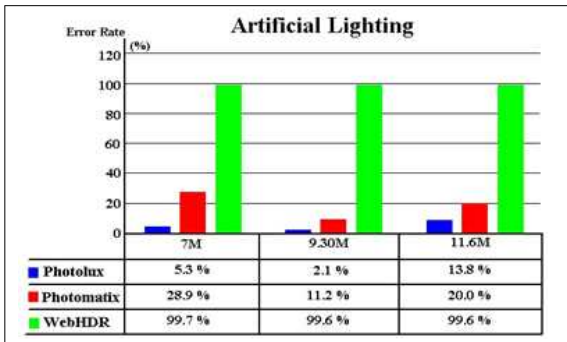


그림 10. 인공광원의 각 지점별 오차율

그림 10은 인공광원의 휘도 값을 프로그램에서 산출된 오차율로 변환한 그래프이다. 거리와 오차율의 관계는 크게 영향을 받지 않았고 측정이 밤에 이루어 졌기 때문에 배경 휘도가 0에 가까워 어두운 공간과 밝은 공간의 휘도비가 매우 크기 때문에 비교적 오차율이 10%이상이 되는 구간이 많다.

5. 결론

본 연구에서는 High Dynamic Range Processing 기법을 통하여 빛환경 평가를 하기위하여 방법론에 대한 사전 검토 실험을 실행하였다. Photolux, Photomatrix, webHDR 각각의 프로그램에서 출력된 HDR이미지와 실제 LS-100으로 측정된 휘도와의 오차율을 산정하고 실효성에 대하여 검토하였다. 한정된 공간에 고휘도의 LED조명기구를 상부에서 조사했을 때 물체의 휘도를 측정했다. 그 결과 물체마다 오차율이 다르고 프로그램마다 오차율에 차이를 보이고 있는데 Photolux의 경우 오차율이 3%를 넘지 않았고Phtomatrix는 실험체 한 개의 케이스를 제외하고는 10~ 13%정도의 오차율을 보이고 있어 실제 연구에 적용성이 높다고 할 수 있다. 그러나 webHDR의 경우 실제 측정된 값보다 2배 이상 차이가 나는 구간이 발생하기 때문에 정확도를 높이기 위하여 차후 연구가 필요하다.

광원의 휘도를 분석한 경우 광원과 배경휘도와의 차이가 줄어들 때 오차율이 낮은 것으로 나타났다. 이는 HDR의 범위가 낮을수록 정확성이 높아짐을 나타낸다.

물체마다 오차율이 다른 이유는 크게 2가지로 설명될 수 있다. 첫 번째는 큰 물체의 경우 표면이 넓게 측정되기 때문에 프로그램마다 산출되는 톨과 LS-100이 측정하는 방식이 달라 정확한 위치에서 휘도를 산출하기 어렵다는 것이다. 두 번째는 백열등과 같은 광원을 촬영했을 때 가까운 거리에서의 광원은 필라멘트 중심부와 같이 매우 밝은 면과 백열등의 표면에서 발생하는 상대적으로 어두운 면이 다양하여 Dynamic range 자체의 범위가 넓어 오차가 심하게 된다. 하지만 먼 거리에서 밝게 빛나는 광원을 측정했을 때의 오차율은 상대적으로 낮았고 실험 데이터 중 가장 낮은 오차율은 Photolux에서 측정된 형

광등이 2.3%로 가장 낮은 오차율을 보였다.

후 기

이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2009-0087069)

참고문헌

1. 신동수, 건축 가시화를 위한 HDRI 기반 3D 렌더링에 관한 연구, 2005.12.
2. Michael Ashikhmin, A Tone Mapping Algorithm for Contrast Images, Eurographics Workshop on Rendering, 2002
3. Liliana O. Beltr'an, Betina Martins Mogo, Assessment of Luminance Distribution using HDR Photography, the ISES Solar World Congress, 2005.08.
4. Kevin Van Den Wymelenberg, Mehlika Inanici, A Study of Luminance Distribution Patterns and Occupant Preference in Daylit Offices, PLEA 2009, 2009.06.
5. Denis Fan, Birgit Painter, John Mardaljevic, A Data Collection Method for Long-Term Field Studies of Visual Comfort in Real-World Daylit Office Environments, PLEA 2009, 2009.06.
6. Mehlika Inanici, Jim Galvin, Evaluation of High Dynamic Range Photography as a Luminance Mapping Technique, Berkeley Lab, 2004.12.

투고(접수)일자: 2010년 7월 22일

심사일자: 2010년 7월 23일

게재확정일자: 2010년 8월 5일