

디지털 이미지 처리를 통한 천공상태 분석

(Sky Condition Analysis using the Processing of Digital Images)

박성예* · 심연지 · 홍성관 · 최안섭**

(Seong-Ye Park · Yeon-Ji Sim · Seong-Kwan Hong · An-Seop Choi)

Abstract

The accurate analysis of the outside sky conditions is necessary to increase the efficiency of blind PV system. To conduct the accurate analysis, this paper suggested a method to analyze the sky condition using a specific image processing technique. While a fisheye lens has a wide field-of-views, it causes a large distortion to the sky images. Therefore, this paper calculated the exchange ratio of sky images to consider a lens distortion. As results of the study, there was a difference of 7% to cloud area ratio F4 and F11. Also, it had a different result depending on the position of the cloud.

Key Words : Blind Pv System, Sky Image, Fisheye Lens, Distortion

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 개요

건축물 에너지 절감을 위한 노력이 활발해지면서 조명 분야에서는 조명제어시스템을 개발하여 조명에 의한 에너지 손실을 최소화하기 위한 연구들이 진행되고 있다. 또한 신재생 에너지를 활용한 BIPV 시스템이 보급되고 있지만 커튼월 구조인 초고층 건물에는 적용이 어렵다. 이러한 문제점으로 인해 PV 모듈을 차양 장치에 접목한 블라인드 PV 시스템의 개발이 이

루어지고 있으며, 이를 주광의 양에 따라 인공조명의 밝기가 자동으로 조절되는 조광제어시스템과 연동하는 연구가 이루어지고 있다[1]. 기존의 블라인드 PV 연동 조광제어시스템에서 사용되는 블라인드는 건축물 수직면의 태양 고도인 일영각(Profile angle)에 의하여 제어되었다[2]. 하지만 일영각을 통한 제어 방법은 구름이 많을 경우 블라인드 제어 효율이 급격하게 감소하여 제어를 하지 않고 블라인드를 모두 열어 주광을 많이 받는 것이 더 효율적이다[3]. 따라서 블라인드 PV 연동 조광제어시스템의 효율을 극대화하기 위해서는 외부 천공 상태에 대한 정확한 분석이 필요하다. 이를 위해 일사량을 통한 천공 상태 구분법과 LMK 휘도 측정 장비를 통한 천공 상태 구분법 등이 연구되었지만, 이와 같은 연구들은 복잡한 프로그래밍과 다양한 계측 장비가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 복잡한 프로그래밍 및 다양한 계측 장비 없이 디지털카메라로 촬영된 천공 이미지를 통한 천공 상태 분

* Main author : The master's course, Department of Architectural Engineering, Sejong University
** Corresponding author : Professor, Department of Architectural Engineering, Sejong University
Tel : 02-3408-3761, Fax : 02-3408-4331
E-mail : aschoi@sejong.ac.kr
Received : 2015. 11. 10.
Accepted : 2015. 12. 9.

석에 대한 방법론을 제시하고자 한다.

1.2 선행연구

카메라를 이용한 천공 상태 분석 방법에 대한 선행 연구는 다음과 같다. 최호영 외 2인(2014)은 천공 상태의 구분 방법 중 일사량을 이용하여 천공청명지수를 구하는 Orgill and Hollands의 방법과 휘도 측정 장비인 LMK MA를 사용하여 천공 휘도를 분석하는 방법을 이용하였다[3]. 일사량에 의한 천공 상태 구분 결과는 일출 및 일몰 시간의 분석에 문제가 있었으며, 천공 휘도 분석을 통한 천공 상태 구분 방법은 태양 주변부의 휘도 값이 구름의 휘도 값과 근사하여 구름으로 해석되고 구름에 의하여 가려진 태양 부분의 휘도 값이 높아 태양과 같이 해석되는 결과를 얻을 수 있었다.

김윤미 외 2인(2008)은 각 픽셀을 빛의 삼원색으로 분리한 후 픽셀의 적색/청색 비율을 구하여 구름으로 결정할 경계값을 설정하였다[4]. 구름의 양은 전천 영상(Whole sky image)의 원 면적에 대해 구름의 면적 비율을 백분율로 구하고 이를 목측의 분류기준인 11단계로 바꾸었다. 또한 대기의 상태를 결정하고 구름과 연무를 구분할 때 화소들 간의 표준편차나 구름과 반사 사이에 있는 적색/청색 비율 값의 차이를 이용하였다. 그 결과 계절에 따라 알고리즘에 반응하는 정도가 다르다는 결론을 도출하였다.

천공 상태 분석 방법에 대한 다양한 연구들이 진행되었지만, 태양 주변부의 빛과 구름을 구분하기 어렵고 계절에 따른 정확도의 차이가 발생하는 등의 문제점이 발견되었다. 또한 선행연구에서는 광대한 풍경을 한 장의 화면에 담기 위하여 사물을 왜곡시켜 표현하는 어안렌즈(Fisheye lens)의 특성을 고려하지 않았다. 따라서 본 연구에서는 어안렌즈의 특성을 고려하여 오차율을 저감시키기 위한 분석을 진행하였다.

2. 연구방법

2.1 천공 이미지 촬영 방법

촬영은 천공 이미지에 주변의 장애물이 담기지 않아

야 하기 때문에 넓은 공간에서 진행되었다. 카메라는 C사의 EOS 650D를 사용하였고, 렌즈는 SIGMA 어안 렌즈(EX 4.5mm 1:2.8)를 사용하였다. 또한 동일한 위치에서 흔들림 없이 촬영해야 하기 때문에 삼각대를 사용하여 카메라를 고정한 후 촬영하였다. 촬영 장비는 그림 1과 같이 설치하였다.



Fig. 1. Appearance of installed photographing equipment

천공 이미지를 촬영할 때에는 조리개 값에 따라 카메라에 들어오는 빛의 양을 조절할 수 있다. 조리개의 표준화된 수치를 F값이라고 부른다. 광학에서 F값은 렌즈의 초점 거리를 입사 동공의 직경으로 나눈 값으로 계산되며, 입사 동공은 렌즈의 앞에서 본 조리개의 상을 말한다. 조리개의 지름이 커지면 F값은 작아지고, 빛이 모이는 양은 많아진다. 따라서 F값이 작을수록 밝은 이미지를 얻을 수 있다[5]. 본 논문에서는 조리개 값에 따라 천공 이미지상에서 구름으로 인식되는 픽셀의 양의 차이를 비교하기 위하여 동일한 시간에 조리개 값을 F4와 F11로 설정하여 촬영하였다. 조리개 값의 차이에 따른 비교를 용이하게 수행하기 위하여 이미지 합성 추출이 가능한 최소와 최대 조리개 값인 F4와 F11을 선택하였다.

보다 명확한 천공 이미지를 사용하여 분석하기 위하여 세 개의 셔터 스피드로 촬영된 이미지를 한 장의 이미지로 합성 추출하였다. 즉 1회 촬영 시 각 조리개 값마다 셔터 스피드 1/4,000s, 1/3,200s, 1/2,500s로 나누어 총 6장의 천공 이미지를 촬영하였다.

2.2 천공 이미지 보정 방법

원본 이미지를 그대로 사용하여 구름의 픽셀 수를 환산할 경우, 경계가 모호한 구름의 픽셀 수 선택이 어렵기 때문에 프로그램을 활용한 보정 과정이 필요하다. 또한 동일한 시간과 장소에서 촬영된 사진일지라도 조리개 값에 따라 천공 이미지의 밝기 및 색상이 다르게 나타나므로 서로 다른 보정 과정을 거쳐야 한다[6]. 본 논문에서는 Adobe 사의 Photoshop 프로그램을 사용하여 F값에 따라 다른 보정 값을 설정하였다.

카메라의 초점면이 받는 빛의 양은 F값의 제곱에 반비례하므로 조리개 값 F4로 촬영 시 F11과 비교하여 약 7.5배 많은 양의 빛을 받아들인다. 따라서 전체적으로 밝은 천공 이미지를 얻게 되어 하늘과 구름의 경계가 모호하고, 많은 양의 빛에 의해 구름 부분이 하늘로 오인될 가능성이 크다. 이와 같은 이유로 F4로 촬영된 천공 이미지는 밝기를 중점적으로 보정하기 위하여 Photoshop의 Brightness, Contrast, Gamma correction 기능을 활용하였다.

조리개 값 F11로 촬영 시에는 최종 초점면에 전달되는 빛의 양이 천공에서 발생하는 빛의 양의 0.83%에 불과하다. 따라서 F4로 촬영된 천공 이미지보다 태양에 의하여 오인되는 구름의 양이 적다. 이러한 이유로 밝기의 조절보다 채도의 조절을 중점적으로 보정하기 위하여 Photoshop의 Vibrance, Saturation 기능을 활용하였다. 보정 방법에 대한 내용은 표 1에 정리하였고 보정 전과 후의 이미지(F4)는 그림 2에 나타내었다.

Table 1. Sky image correction method according to the aperture value

F4	F11
Brightness : -50	Vibrance : 40
Contrast : 50	Saturation : 40
Gamma correction : 0.8	Shadow : 35

구름의 픽셀 수를 확인할 때에는 Photoshop의 Magic tool을 활용하여 구름 부분을 선택한 후

Histogram 기능을 이용하였다. Histogram이란 이미지를 구성하고 있는 픽셀들의 톤에 대한 정보를 그래프 및 수치로 나타내는 기능이다. 이 때 Magic tool의 Feather 값을 5~10으로 설정하여 구름의 픽셀 수를 보다 정밀하게 계산하였다.



Fig. 2. Comparison of original sky image(left) and after correction sky image(right)

2.3 어안렌즈 왜곡 보정 방법

조리개 값에 따른 천공 이미지의 보정을 마친 후에는 어안렌즈에 의해 생긴 왜곡을 보정하는 과정이 필요하다. 왜곡을 보정할 때에는 환산 비율을 이용하였다. 여기서 환산 비율이란 곡면의 길뎡이를 곡면에 의해 투영된 면적의 길뎡이로 나눈 값을 말한다. 환산 비율을 계산하기 위하여 어안렌즈를 정확한 반구 모양으로 가정하였다.

곡면의 길뎡이(A_n)를 구할 때는 y축으로 회전시킨 회전체의 길뎡이 공식을 이용하였다. 길뎡이 공식은 식 (1)에 나타내었다. 곡면의 길뎡이를 계산한 후, 환산 비율을 구하기 위하여 이미지에 투영된 면적의 넓이로 나누었다. 곡면의 길뎡이와 투영된 면적에 대한 예시는 그림 3과 같다.

$$A_n = \int_a^b 2\pi f(y) \sqrt{1+[f'(y)]^2} dy \tag{1}$$

여기서 $f(y) = \sqrt{r^2 - y^2}$
 $f'(y) = \frac{-y}{\sqrt{r^2 - y^2}}$

천공 이미지의 픽셀 수를 계산할 때 가장 적절한 분

원 수를 지정하기 위하여 이미지를 각각 4분원, 8분원, 16분원하여 비교하였다. 각각의 원을 분원하는 방법은 그림 4에 나타내었다.

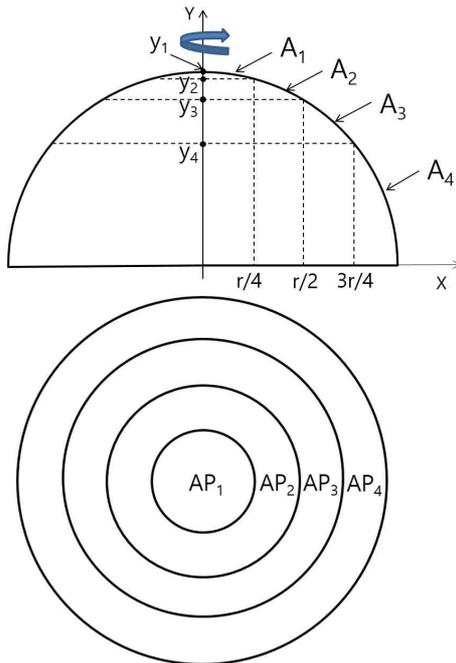


Fig. 3. Surface area of the hemisphere and projected area (4 division circle)

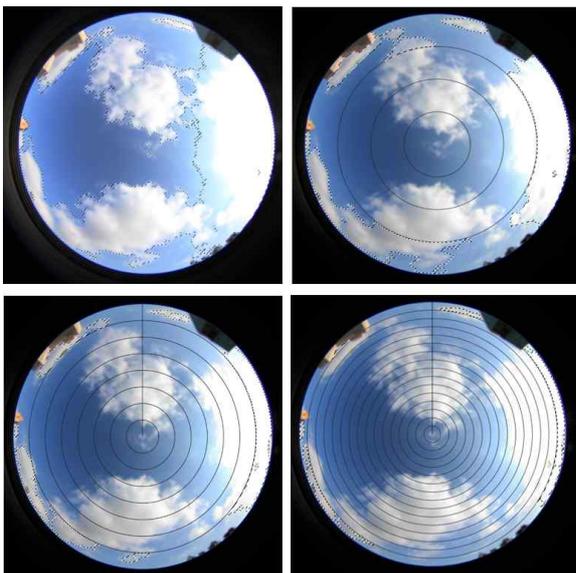


Fig. 4. Original, 4 division circle, 8 division circle, 16 division circle sky image

표 2, 3, 4와 같이 각각의 환산 비율을 계산한 결과 분원의 수가 많아질수록 환산 비율이 세분화되어 각각의 원마다 더욱 정확한 환산 비율을 계산할 수 있었다. 하지만 구름의 픽셀 수 계산 시 소요되는 시간적 측면을 고려하기 위하여 4분원의 환산 비율과 8분원의 환산 비율, 8분원의 환산 비율과 16분원의 환산 비율을 비교하였다. 그 결과, 16분원의 환산 비율을 8분원의 환산 비율과 비교했을 때 값의 차이는 최대 0.055, 최소 0.001로 4분원과 8분원을 비교하였을 때보다 크지 않았다. 따라서 환산 비율의 차이와 시간적 측면을 고려하였을 때 8분원을 사용하여 천공 면적을 환산하는 것이 가장 적절하다고 판단하였다.

Table 2. Hemisphere surface area and projection area ratio (4 division circle)

구분	반구의 겉넓이	투영 면적	환산 비율
1st	12.769	12.566	1.016
2nd	41.105	37.699	1.090
3rd	87.964	62.832	1.400
4th	265.980	87.964	3.024

Table 3. Hemisphere surface area and projection area ratio (8 division circle)

구분	반구의 겉넓이	투영 면적	환산 비율
1st	492.806	490.874	1.004
2nd	1502.366	1472.621	1.020
3rd	2589.993	2454.369	1.055
4th	3832.706	3436.116	1.115
5th	5365.881	4417.864	1.215
6th	7488.735	5399.611	1.387
7th	11141.024	6381.359	1.746
8th	30418.340	7363.106	4.131

Table 4. Hemisphere surface area and projection area ratio (16 division circle)

구분	반구의 겹넓이	투영 면적	환산 비율
1st	122.839	122.718	1.001
2nd	453.976	451.604	1.005
3rd	621.541	613.592	1.013
4th	880.825	859.029	1.025
5th	1151.587	1104.466	1.043
6th	1438.406	1349.903	1.066
7th	1747.128	1595.340	1.095
8th	2085.578	1840.777	1.133
9th	2464.775	2086.213	1.181
10th	2901.106	2331.650	1.244
11th	3420.589	2577.087	1.327
12th	4068.146	2822.524	1.441
13th	4930.833	3067.961	1.607
14th	6210.192	3313.398	1.874
15th	8553.781	3558.835	2.404
16th	21864.560	3804.272	5.747

천공 이미지상에서는 동일한 구름의 픽셀 수를 가질 지라도 구름이 천공 이미지의 중심부에 위치해 있을 때와 가장자리에 위치해 있을 때, 보정 후 픽셀 수의 차이가 존재할 것이라고 예상하여 비교 및 분석을 진행하였다. 분석을 위하여 모든 조건을 동일하게 설정한 두 개의 이미지에 동일한 픽셀 수의 구름을 배치하였다. 한 개의 이미지는 구름을 중심부에 위치시켰고 다른 이미지에는 가장자리에 위치시켰다. 분석을 위한 이미지는 그림 5와 같다.

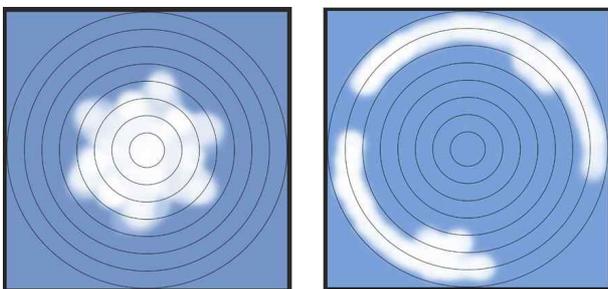


Fig. 5. Clouds gathered on the edge and the center of sky image

3. 분석 결과

3.1 조리개 값에 따른 결과 비교

조리개 값 F4로 촬영된 원본 이미지에 Photoshop을 이용해 보정 값을 적용하여 픽셀 수를 계산한 후 구름의 픽셀 수를 전체 이미지의 픽셀 수로 나누었다. 그 결과 전체 천공 이미지에서 구름은 48%를 차지하고 있었다. 그림 6은 원본 이미지와 모든 보정 값을 거친 후 천공 이미지의 비교이다.

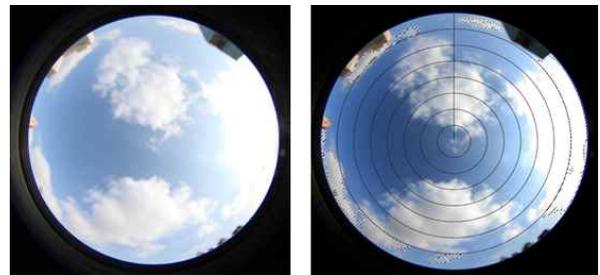


Fig. 6. Original sky image and the corrected image (F4)

조리개 값 F4와 동일한 조건에서 F11로 촬영된 천공 이미지에 보정을 완료한 후 구름의 픽셀 수를 계산하였다. 그 결과 조리개 값 F4로 촬영했을 때와 달리 구름의 픽셀 수는 전체 천공 이미지 픽셀 수의 41%를 차지하였다. 조리개 값 F11일 때의 원본 이미지와 보정을 완료한 후의 천공 이미지의 비교는 그림 7에 나타내었다. 이를 통해 동일한 시간 및 장소에서 측정된 천공 이미지라도 조리개 값에 따라 측정된 구름의 비율에는 약 7%의 차이가 발생한다는 것을 알 수 있었다.



Fig. 7. Original sky image and the corrected image (F11)

3.2 구름의 위치에 따른 결과 비교

구름이 중심부에 위치해 있을 때와 가장자리에 위치해 있을 때 환산 비율을 적용한 구름의 픽셀 수를 비교하였다. 그 결과 구름이 중심부에 위치해 있을 때 구름이 차지하는 면적의 비율은 23%로 투영 면적인 26%와 비교하였을 때 약 3%의 차이가 발생하였다. 반면 구름이 가장자리에 위치해 있을 때의 구름 면적 비율은 77%로 투영 면적인 26%와 비교하여 51%의 차이가 발생하였다. 구름의 위치에 따른 결과 비교는 표 5에 나타내었다.

Table 5. Comparison of results according to position of the clouds

구분	중심에 집중되어 있을 때	가장자리에 집중되어 있을 때
원본 이미지 상 구름의 픽셀 수	812335	812335
환산 비율을 곱한 후 구름의 픽셀 수	885140.9	2372260.6
천공의 픽셀 수	3097758	3097758
이미지 상 구름 면적 비	26%	26%
환산 비율을 적용한 후 구름 면적 비	29%	77%

4. 결 론

본 논문은 정확한 외부 천공 상태의 분석 방법을 제시하기 위하여 진행되었다. 다양한 계측 장비나 복잡한 프로그래밍 없이 천공 상태를 구분하기 위하여 디지털카메라로 촬영된 천공 이미지를 통한 천공 상태 분석을 실시하였다. 이 때 Photoshop을 이용한 보정 방법과 어안렌즈의 왜곡에 의한 오차를 고려한 보정 방법을 제시하였다.

모든 보정 과정을 거친 후 전체 천공 이미지에서 구름이 차지하는 면적의 비율을 비교해 본 결과, 동일한

시간 및 장소에서 측정된 천공 이미지라도 조리개 값이 다를 때 구름의 면적 비율에 차이가 존재한다는 것을 알 수 있었다. 이는 Photoshop을 이용하여 보정 과정을 거쳤음에도 불구하고 실제로는 구름이 아니지만, 태양에 의한 빛이 구름으로 오인되어 발생한 차이인 것으로 추측된다. 따라서 조리개 값을 높게 설정하여 카메라로 입사되는 빛의 양을 적게 한다면 보다 정밀한 구름의 양이 계산될 것으로 사료된다.

다음으로 어안렌즈로 인해 왜곡된 천공의 면적을 보정하여 분석을 진행한 결과, 천공 이미지상에서는 동일한 픽셀 수의 구름일지라도 구름의 위치에 따라 환산 비율 적용 후 구름의 픽셀 수에 차이가 발생하는 결과를 얻을 수 있었다. 이는 어안렌즈의 곡률이 중심부보다 가장자리에서 크기 때문에 발생한 차이인 것으로 사료된다.

본 논문의 한계로는 태양에 의한 빛이 구름으로 오인되는 점, 어안렌즈에 따른 왜곡을 보정하였지만 천공 이미지상 구름의 위치에 따른 오차가 발생하는 점이 있다. 향후 연구를 통해 분석되는 구름의 양이 더욱 정확해진다면 블라인드 PV 연동 조광제어시스템에서 보다 효율적인 블라인드 제어가 가능해질 것이라고 예상된다.

감사의 글

이 논문은 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No. 20150274)

이 논문은 한국조명·전기설비학회 2015년도 춘계학술대회에서 발표하고 우수추천논문으로 선정된 논문임

References

- [1] A-Rom Son, In-Tae Kim, An-Seop Choi, "A Preliminary Study on Venetian Blind Control Methods for Development of Interconnection between a LED Daylight Responsive Dimming System and a Blind PV System", Proceedings of KIEE Annual Conference, pp. 186-187, 2012.
- [2] So-Hyun Kim, In-Tae Kim, An-Seop Choi, "A Measurement of Daylight Distribution and Generation with

- a Blind PV System according to Control Methods of Profile Angle“, Solar Energy, Vol. 107, pp. 746-757, 2014.
- [3] Ho-Young Choi, In-Tae Kim and An-Seop Choi, “A Study on the Method of Analysis for Sky Condition through Measuring Sky Surface Luminance”, J. KSLES, pp. 82-85, 2014.
- [4] Yun-Mi Kim, Jhoon Kim and Hi-Ku Cho, “Development of Objective Algorithm for Cloudiness using All-Sky Digital Camera“, Atmosphere, Vol. 18, pp. 1-14, 2008.
- [5] Yeon-Sook Noh, Dong-Hwan Har, “The study of Right Portrait Exposure Setting in Digital Cameras :Focusing on the Cognitive Preference in Representation of Skin Tones”, Journal of the Korea contents association, Vol. 8, pp. 111-118, 2008.
- [6] Kwang-Yeom Kim, Hyo-Kwan Yoon, Chang-Yong Kim, Sung-Bin Yim, Chang-Ho Choi, Seung-Do Lee, “A Study on the Image Optimization for Digital Vision Measurement”, Journal of Korean Society for Rock Mechanics, Vol. 20, pp. 421-433, 2010.

◇ 저자소개 ◇



박성예 (朴惺禮)

1993년 2월 10일생. 2015년 세종대 건축공학과 졸업. 현재 세종대 건축공학과 석사과정.



심연지 (沈妍枝)

1991년 4월 25일생. 2015년 세종대 건축공학과 졸업.



홍성관 (洪性觀)

1983년 7월 10일생. 2007년 세종대 건축공학과 졸업. 2009년 세종대 건축공학과 건축환경설비전공 졸업(석사). 현재 세종대 건축공학과 박사과정.



최안섭 (崔安燮)

1967년 10월 4일생. 1991년 한양대 건축공학과 졸업. 1993년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(석사). 1997년 The Pennsylvania State University 건축공학 건축조명시스템 전공 졸업(박사). 현재 세종대 건축학과 교수. 본 학회 부회장.