

# 라즈베리파이 카메라를 활용한 이미지 분석 기반 스마트 윈도우 착색 조절 자동화 시스템

## Smart window coloring control automation system based on image analysis using a Raspberry Pi camera

김민상<sup>1</sup>, 안현식<sup>2</sup>, 임성민<sup>2</sup>, 장은정<sup>2</sup>, 이나경<sup>2</sup>, 허준혁<sup>2</sup>, 강인구<sup>2</sup>,  
권지현<sup>2</sup>, 이준영<sup>3</sup>, 김하영<sup>3</sup>, 김동수<sup>3</sup>, 윤종호<sup>3</sup>, 최윤석<sup>1,2,\*</sup>

Min-Sang Kim<sup>1</sup>, Hyeon-Sik Ahn<sup>2</sup>, Seong-Min Lim<sup>2</sup>, Eun-Jeong Jang<sup>2</sup>, Na-Kyung Lee<sup>2</sup>,  
Jun-Hyeok Heo<sup>2</sup>, In-Gu Kang<sup>2</sup>, Ji-Hyeon Kwon<sup>2</sup>, Jun-Young Lee<sup>3</sup>, Ha-Young Kim<sup>3</sup>,  
Dong-Su Kim<sup>3</sup>, Jong-Ho Yoon<sup>3</sup>, Yoonseuk Choi<sup>1,2,\*</sup>

### Abstract

In this paper, we propose an automated system. It utilizes a Raspberry Pi camera and a function generator to analyze luminance in an image. Then, it applies voltage based on this analysis to control light transmission through coloring smart windows. The existing luminance meters used to measure luminance are expensive and require unnecessary movement from the user, making them difficult to use in real life. However, after taking a photography, luminance analysis in the image using the Python Open Source Computer Vision Library (OpenCV) is inexpensive and portable, so it can be easily applied in real life. This system was used in an environment where smart windows were applied to detect the luminance of windows. Based on the brightness of the image, the coloring of the smart window is adjusted to reduce the brightness of the window, allowing occupants to create a comfortable viewing environment.

### 요약

본 논문에서는 라즈베리파이 카메라와 함수 발생기를 활용하여 이미지에서 휘도를 분석하고 이를 바탕으로 전압을 인가하여 스마트 윈도우에 착색을 통해 광 투과를 조절할 수 있는 자동화 시스템을 제안한다. 기존 휘도 측정에 사용되는 휘도계는 가격대가 높고 사용자의 불필요한 움직임을 요구해 실생활에서 활용하기 어렵다. 그러나 사진 촬영 후 Python Open Source Computer Vision Library (OpenCV)를 활용한 이미지에서의 휘도 분석은 저렴하고 휴대가 간편하여 실생활에서 쉽게 응용할 수 있다. 이 시스템을 스마트 윈도우가 적용된 환경에 사용하여 창호의 휘도를 검출하였다. 이미지의 휘도를 바탕으로 스마트 윈도우의 착색 조절을 통해 창호의 휘도를 감소시켜 쾌적한 시 환경을 구축할 수 있다.

*Keywords* : Luminance, Exposure Fusion, Raspberry Pi, Automation, Smart window

<sup>1</sup> Department of Intelligent Nano Semiconductor, Hanbat National University, Republic of Korea

<sup>2</sup> Department of Electronic Engineering, Hanbat National University, Republic of Korea

<sup>3</sup> Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Republic of Korea

★ Corresponding author : Correspondence should be addressed to Yoonseuk Choi (ychoi@hanbat.ac.kr/042-821-1134)

※ Acknowledgment

This research was supported by the MSIT (Ministry of Science and ICT), Korea, under the ICT Challenge and Advanced Network of HRD program (IITP-2024-RS-2022-00156212) supervised by the Institute of Information & Communications Technology Planning & Evaluation.

Manuscript received Mar. 11, 2024; revised Mar. 22, 2024; accepted Mar. 25, 2024.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서론

우리는 과도한 조명이나 빛의 반사로 인한 빛이 눈에 직접 들어와 시야를 가리거나 방해할 때 눈부심(glare)을 겪는다. 눈부심은 시야에서 밝은 광원이나 강한 밝기 대비로 인해 생긴다[1]. 특히, 사무실과 같은 공간에서 창호를 통해 들어오는 태양 빛은 눈의 피로나 불편감을 유발한다. 그 결과 시야 방해 및 집중력 저하와 같은 현상이 발생한다. 이를 방지하기 위해 일반적으로 블라인드와 같은 광 투과성이 낮은 차양 장치를 사용해 시 환경을 구축한다. 그러나 이러한 차양 장치는 계속 닫혀 있는 경우가 많아 자연채광 및 조망을 저해한다. 이 문제점을 해결하기 위해 유리 변색을 이용하여 실내로 유입되는 일사량을 조절해 시 환경을 최적화하고 주변 조망을 확보할 수 있는 스마트 윈도우에 대한 연구가 활발히 진행 중이다[2-3]. 다양한 스마트 윈도우 기술 중 유리 변색을 이용한 차양 장치인 Electrochromic(EC)는 일반적으로 실내에서 창호를 통해 들어오는 직달 일사로 인한 눈부심을 억제하기 위해 사용한다[4]. 이는 광 투과도를 조절할 수 있어 스마트 윈도우의 각광받는 기술이다. 작동 방식은 전압이 인가되면 이온과 전자의 배열이 달라져 유리의 색상이 변화한다. 이러한 화학적 반응을 통해 착색을 제어하여 광 투과도를 조절한다. 여러 스마트 윈도우 기술 중 낮은 전압에서도 작동되고 수명이 길다는 장점이 있다. 이와 같은 성질로 창호의 휘도가 줄어들고 주변 조망을 확보할 수 있어 재실자에게 쾌적한 시 환경을 제공할 수 있다[5].

종래의 차양 장치를 사용하는 상황은 창호 휘도 분포와 관련이 있다. 이러한 휘도 분포를 분석할 때는 일반적으로 휘도계를 사용한다[6]. 그러나 휘도계는 가격대가 높고 휴대가 불편하기 때문에 실생활에서 사용하는데 적합하지 않다. 또한, 휘도를 직접 측정해야 하기 때문에 사용자의 불필요한 움직임을 요구한다. 따라서 휘도 분포를 분석할 때 휴대가 간편하고 저렴한 측정 장비를 고안해야 할 필요가 있다[7].

본 논문에서는 이미지의 휘도 분포 분석에 따른 스마트 윈도우 착색 조절 자동화 시스템을 제안한다. 사진 촬영은 라즈베리파이 카메라를 사용하여 촬영된 이미지에서 휘도를 분석하였다. 이는 거치대로 고정 가능해 지속적으로 촬영이 가능하여 사용자의 불필요한 움직임을 요구하지 않는다. 따라서 사진을 여러 장 촬영하고 Python Open Source Computer Vision Library (OpenCV)를 통해 이를 합성한 후 픽셀의 RGB 값을

YCbCr의 Y로 변환하여 이미지의 휘도를 분석하였다. 이미지의 휘도를 바탕으로 함수발생기를 제어하여 EC에 전압을 인가해 착색을 조절하였다. 본 자동화 시스템은 스마트 윈도우가 적용된 공간에서 실시간으로 휘도 분석이 가능해 재실자의 쾌적한 시 환경을 조성하는데 효과적일 것으로 기대된다.

## II. 본론

### 1. 라즈베리파이를 이용한 휘도분석에 따른 EC 제어 자동화 시스템

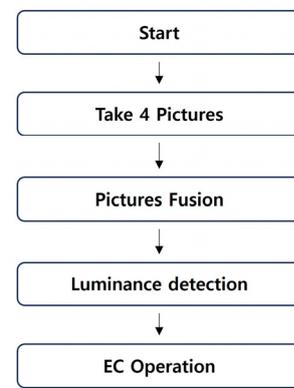


Fig. 1. Configuration diagram of automation system using Raspberry Pi.

그림 1. 라즈베리파이를 이용한 자동화 시스템의 구성도

그림 1은 본 논문에서 제안한 라즈베리파이를 이용한 EC의 착색 조절 자동화 시스템 구성도를 나타낸다. 우선, 라즈베리파이 카메라V2로 사진을 4장 촬영한다. 촬영된 이미지를 라즈베리파이에서 1장의 이미지로 합성한다. 이후 합성된 이미지에서 휘도를 검출한다. 이를 기반으로 라즈베리파이에 함수 발생기(GW Instek, AFG-2105)를 연결하여 EC에 전압을 인가한다. 이때, 전압과 시간을 휘도 분포에 따라 다르게 인가하여 착색을 조절한다. 위 과정은 Linux 환경의 라즈베리파이에서 Python Open Source Computer Vision Library(OpenCV)를 활용해 진행하였다.

### 2. 노출 합성

밝음과 어두움을 한눈에 볼 수 있는 사람의 눈과는 다르게 카메라는 명암의 대비가 큰 장면을 찍을 때 눈으로 볼 때와 다른 모습으로 촬영된다. 밝기는 표시할 수 있는 이미지 조명의 강도 범위를 나타낸다. 인간의 눈으로 인식할 수 있는 밝기에 비해 일반적인 디스플레이 장치에서 인식할 수 있는 밝기의 범위는 제한적이다. 따라서 같

은 장면을 Exposure Value(EV)를 다르게 해서 8bit의 Low Dynamic Range(LDR) 이미지를 여러 장 촬영한 후 합성함으로써 1장의 이미지로 만들어 명암 비를 높이는 후처리 기술인 High Dynamic Range(HDR)가 제안되었다. 이는 눈으로 보는 것과 최대한 가깝게 밝기의 범위를 확장하는 기술이다. 그러나 HDR은 채널당 32bit를 갖고 있어 일반 디스플레이 화면에서 표현하는 것이 어렵다. 이를 해결하기 위해 밝은 영역과 어두운 영역의 세부 정보를 보존하면서 채널당 8bit로 압축하여 일반 디스플레이 화면에서도 선명한 화질의 이미지를 표시하게 해주는 톤 매핑이 사용된다. 이는 밝은 영역과 어두운 영역의 Value를 합성해 압축하여 일반적인 디스플레이 화면에서 HDR에 근사한 이미지를 출력할 수 있게 한다 [8-9]. 합성은 Python OpenCV에서 지원하는 라이브러리 중 하나인 Mertens 합성법을 활용하였다. 이 합성법은 톤 매핑 과정을 포함한다[10]. 그림 3은 EV를 다르게 하여(-1, 0, 1, 2) 촬영 후 합성된 이미지를 나타낸다.

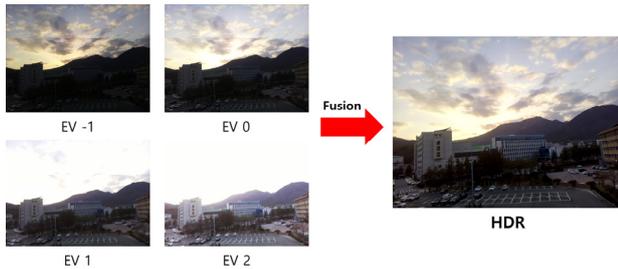


Fig. 2. The result of combining photos taken at different EV into one image.  
그림 2. EV가 다르게 촬영된 사진들이 하나의 이미지로 합성된 결과

### 3. 휘도 분석

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.16874 & -0.3313 & 0.500 \\ 0.500 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (\text{식 1})$$

식 1은 RGB 모델을 이미지 처리에서 이용되는 색 공간 중 하나인 YCbCr 모델로 변환하는 행렬이다. Y는 픽셀의 밝기 수준(휘도), Cb와 Cr은 각각 파란색과 빨간색의 녹색과의 색차를 나타낸다. 일반 디스플레이 화면에서 출력되는 8bit 이미지에서 YCbCr 모델은 255의 Max값과 0의 Min값을 갖는다. Y는 값이 높을수록 밝은 것을 의미하고 낮을수록 어두운 것을 의미한다. Cb와 Cr은 값이 높을수록 이미지의 색상이 더 선명하게 표현되고 낮을수록 색상 편차가 줄어들어 이미지의 일관성이

향상되는데, 이는 색상의 변화가 자연스럽게 표현됨을 의미한다. 따라서 이미지는 RGB 정보를 갖고 있지만 휘도 정보를 갖고 있지 않기 때문에 픽셀의 RGB 값을 YCbCr 모델의 Y로 변환하였다[11]. Y에 관한 식을 라즈베리파이 Python 코드로 입력하여 이미지의 휘도 정보를 검출하였다.

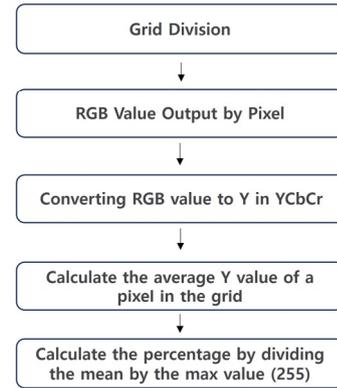


Fig. 3. Luminance analysis algorithm.  
그림 3. 휘도 분석 알고리즘

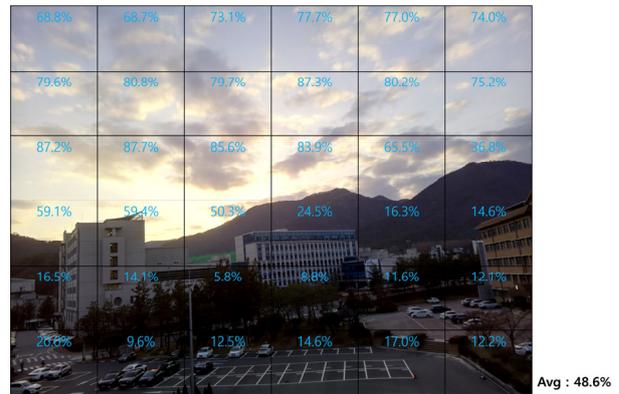


Fig. 4. Luminance distribution using image analysis.  
그림 4. 이미지 분석을 이용한 휘도 분포

그림 3은 이미지에서 휘도 분포를 분석할 때의 알고리즘이다. 특정 구역의 평균 휘도를 알기 위해 그리드를 분할하고 픽셀의 RGB 값을 검출한 후 휘도로 변환하였다. 이후 모든 픽셀의 휘도의 평균을 구하여 Max 값(255)으로 나누고 100을 곱하여 이미지 전체 휘도의 평균 백분율을 검출하였다.

그림 4는 그림 2에서 합성된 사진을 그림 3의 알고리즘을 통해 출력된 휘도의 평균 백분율을 검출한 결과이다.

### 4. EC 전압 인가

그림 5 및 표 1, 2는 기존의 EC 컨트롤러와 함수발생기와의 비교를 나타낸다. 기존의 EC 컨트롤러는 단계별

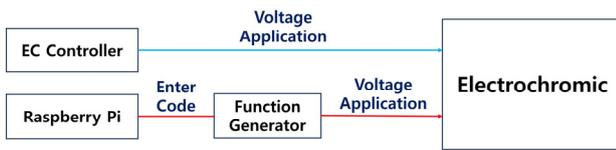


Fig. 5. Voltage Application Method for EC Controller and Function Generator.

그림 5. EC 컨트롤러와 함수발생기의 전압 인가 방식

Table 1. Voltage and time difference between EC controller and Function Generator by coloring stage.

표 1. EC 컨트롤러와 함수발생기의 착색 단계 별 전압과 시간 차이

Controller	Stage	Voltage	Lead Time
EC Controller	1 - 2	1.3V	5min
	1 - 3	1.8V	17min
	1 - 4	2.8V	25min
Function Generator	1 - 2	2.8V	2min
	1 - 3	2.8V	10min
	1 - 4	2.8V	25min

로 인가하는 전압이 고정되어 있어 착색되는 데 시간이 오래 걸린다는 단점이 있다. 또한, 착색 단계를 조절하기 위해서는 사용자의 불필요한 움직임이 필수적이다. 이를 보완하기 위해 라즈베리파이에 함수 발생기를 연결하여 EC에 전압을 인가하였다. 함수발생기는 전압을 0.1V 단위로 조절이 가능하고 라즈베리파이와 연결을 통해 자동으로 휘도 정보에 따라 전압 제어가 가능하기 때문에 사용자의 불필요한 움직임 또한 요구하지 않는다. 따라서 함수발생기로 착색은 초기 1단계를 기준으로 하여 EC 컨트롤러의 4단계 요구 전압인 2.8V으로 고정하고 2, 3 단계를 적은 소요 시간으로 착색을 조절하였다. 전압이 인가되어 착색이 완료되면 함수발생기는 종료된다. EC

Table 2. Voltage and time difference between EC controller and Function Generator by decolorization stage.

표 2. EC 컨트롤러와 함수발생기의 탈색 단계 별 전압과 시간 차이

Controller	Stage	Voltage	Lead Time
EC Controller	2 - 1	-0.7V	7min
	3 - 1	-1V	20min
	4 - 1	-1.2V	40min
Function Generator	2 - 1	-1.2V	5min
	3 - 1	-1.2V	15min
	4 - 1	-1.2V	40min

는 전압을 제거해도 착색이 유지되기 때문에 역 전압을 인가하여 탈색을 진행하였다. EC 컨트롤러의 4단계에서의 탈색 요구 전압인 -1.2V로 고정하여 2, 3단계를 적은 소요시간으로 초기 1단계로 낮추어 착색을 조절하였다.

### III. 결과 및 토론



Fig. 6. Image where the average luminance of windows is detected to be more than 50%.

그림 6. 창호의 평균 휘도가 50%이상이 검출된 이미지

본 논문에서는 사진 촬영을 통해 이미지 분석을 진행하여 창호의 휘도 분포를 분석하였다. 이를 바탕으로 라즈베리파이를 함수발생기와 연결하여 전압을 인가해 EC의 착색 단계 조절을 통해서 광 투과도를 조절하였다.

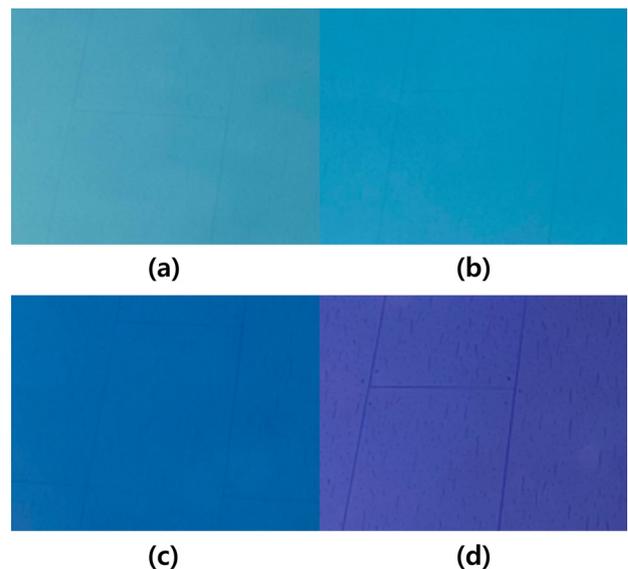


Fig. 7. Coloring of EC stage 1(a), stage 2(b), stage 3(c), stage 4(d).

그림 7. EC의 착색 1단계(a), 2단계(b), 3단계(c), 4단계(d)

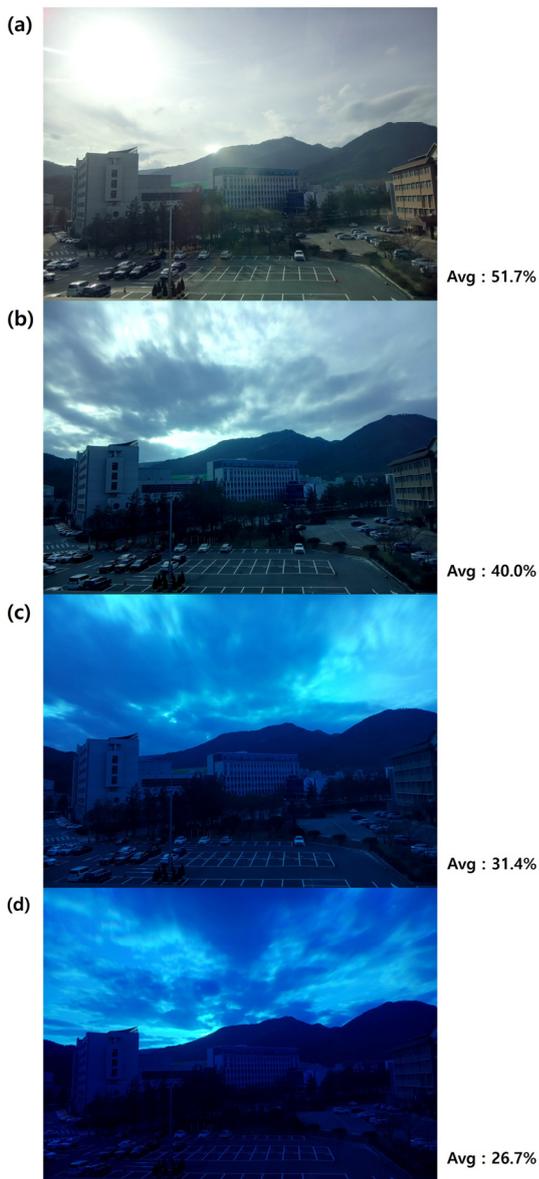


Fig. 8. As a result of reducing the average luminance through EC. Stage 1(a), Stage 2(b), Stage 3(c), Stage 4(d).

그림 8. EC를 통해 창호의 평균 휘도를 감소시킨 결과 1단계 (a), 2단계 (b), 3단계(c), 4단계(d)

그림 6은 본 논문에서 제안한 자동화 시스템을 이용해 휘도 정보를 분석한 이미지이다. 이는 창호의 휘도가 높아지는 낮 시간대에 휘도 분석을 진행하였다. 이미지에서 휘도의 평균 백분율 50%를 기준으로 하여 전압을 인가해 EC의 착색이 진행되도록 설정하였다.

그림 7은 EC에 전압이 인가되었을 때 초기 1단계(a), 착색 2단계(b), 3단계(c), 4단계(d)를 나타낸다. 함수발생기를 통해 EC 컨트롤러 보다 적은 소요 시간으로 착색과 탈색을 조절하였으며, 단계가 올라갈수록 색이 진해

진다.

그림 8은 자동화 시스템을 이용하여 EC를 통해 창호의 평균 휘도를 감소시켰다. 그림 6의 창호를 기준으로 하여 초기 1단계(a)는 대략 2%, 착색 2단계(b)는 대략 13%, 3단계(c)는 22%, 4단계(d)는 27% 감소하였다. 사용자는 불필요한 움직임 요구하는 휘도계를 사용하지 않고 자동화 시스템을 통해 이미지의 휘도를 실시간으로 측정하여 휘도 검출 소요시간을 단축할 수 있다. 또한, 실내의 조명 환경을 고려하여 창호의 휘도에 따라서 스마트 윈도우에 전압을 인가해 기존 EC 컨트롤러보다 적은 소요시간으로 착색 단계를 조절할 수 있다. 따라서 이러한 자동화 시스템은 간편하고 저렴한 방법으로 불필요한 움직임 없이 창호의 휘도를 조절하여 재실자의 쾌적한 시 환경을 조성할 수 있다. 이는 스마트 윈도우가 설치된 다양한 환경에서 적용될 수 있을 것이라 예상된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 라즈베리파이 카메라를 활용하여 휘도 분포를 분석하고 스마트 윈도우의 착색을 제어하는 자동화 시스템을 구현하였다. 라즈베리파이 카메라로 사진을 촬영하여 이를 합성 하였다. 합성된 이미지에서 픽셀의 RGB 값을 이미지의 휘도 정보인 Y로 변환하였다. 이후 평균 휘도를 검출해 창호의 휘도를 분석하였다. 이를 기반으로 이미지의 평균 휘도가 특정 값 이상일 때 스마트 윈도우에 전압을 인가해서 착색을 조절하였다. 이러한 자동화 시스템은 실시간으로 창호의 휘도를 측정하여 재실자에게 실내의 쾌적한 시 환경을 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 스마트 윈도우 기술이 발전하고 수요가 많아짐으로써 자동화 시스템에 대한 필요성이 더욱 증가할 것으로 예상된다.

#### References

- [1] Y. Lee, S. Kim, S. Jo, Y. Kang, S. Kim, "Analysis of Discomfort Glare by Visitors' Eye-level and Illumination Angles in Museum," *The Korea Furniture Society*, vol.26, no.4, pp.328-333, 2015.
- [2] Y. Seong, M. Yeo, S. Koo, K. Kim, "Optimum Blind Control at the End of Operation Time Zone for preventing Glare on Work-plane and Maximizing Daylight and Solar Heat Gain," *Journal of The*

*Korean Housing Association*, vol.26, no.1, pp.27-41, 2012. DOI: 10.6107/JKHA.2012.23.1.027

[3] S. Lee, S. Yeong, "Evaluation of Visual Comfort and Lighting Energy in a Residential Building Equipped with Suspended Particle Device Smart Window Based on In-Situ Measurement," *Architectural Institute of Korea*, pp.147-156, 2023.

DOI: 10.5659/JAIK.2023.39.5.147

[4] G. Cha, H. Moon, H. Kim, W. Hong, Y. Baik "Analysis on the Reduction of Cooling Load and Improvement of Visual Environment by applying a Kinetic Shading Device in Summer," *The Korean Society of Living Environmental System*, vol.24, no.6, pp.810-823, 2017.

DOI: 10.21086/ksles.2017.12.24.6.810

[5] T. Bai, W. Li, G. Fu, Q. Zhang, K Zhou, H. Wang, "Dual-band electrochromic smart windows towards building energy conservation," *Solar Energy Materials and Solar Cells*, vol.256, pp.112320, 2023. DOI: 10.1016/j.solmat.2023.112320

[6] H. Kong, Y. Yi, J. Lim, "Validation of luminance measurement system for light pollution according to color change of lighting," *The Korea Society of Lighting and Visual Environment*, pp.19-24, 2014.

[7] M. Kim, Y. Kim, T. Im, Y. Hwang, S. Baek, "A Study on Portable Green-algae Remover Device based on Arduino and OpenCV using Do Sensor and Raspberry Pi Camera," *Journal of the KIECS*, pp.679-686, vol.17, no.4, 2022.

DOI: 0.13067/JKIECS.2022.17.4.67

[8] W. Kim, C. Ha, J. Jeong, "Perception-Based Tone Mapping Technique for Rendering HDR Image Using Histogram Modification," *J-KICS*, vol.38A, no.11, pp.919-927, 2013.

DOI: 10.7840/KICS.2013.38A.11.919

[9] M. Narwaria, M. Perreira Da Silva, "Tone mapping based HDR compression: Does it affect visual experience?," *Signal Processing: Image Communication*, vol.29, pp.257-273, 2014.

DOI: 10.1016/j.image.2013.09.005

[10] Jishnu C. R., "Multi exposure image fusion based on exposure correction and input refinement

using limited low dynamic range images," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol.95, pp.103907, 2023.

DOI: 10.1016/j.jvcir.2023.103907

[11] Khamar B. S, P.Ganesan, "Comparative Study of Skin Color Detection and Segmentation in HSV and YCbCr Color Space," *Procedia Coamputer Science*, vol.57, pp.41-48, 2015.

DOI: 10.1016/j.procs.2015.07.362

## BIOGRAPHY

### Min-Sang Kim (Member)



2024 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

2024~present : MS degree in Intelligent Nano Semiconductor, Hanbat Nat'l Univ.

### Hyeon-Sik Ahn (Member)



2019 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

2021 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

2021~present : PhD degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

### Seong-Min Lim (Member)



2020 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

2022 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

2022~present : PhD degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

**Eun-Jeong Jang** (Member)

2020 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.  
 2022 : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.  
 2023~present: PhD degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

**Jun-Young Lee** (Member)

2019~present : BS degree in Architectural Engineering, Hanbat Nat'l University.

**Na-Kyung Lee** (Member)

2023 : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.  
 2023~present : MS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l Univ.

**Ha-Young Kim** (Member)

2021~present : BS degree in Architectural Engineering, Hanbat Nat'l University.

**Jun-Hyeok Heo** (Member)

2019~present : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

**Dong-Su Kim** (Member)

2011 : BS degree in Architectural Engineering, Hanbat Nat'l University.  
 2013 : MS degree in Architectural Engineering, Hanbat Nat'l University.  
 2019 : PhD degree in Architectural Engineering, Mississippi State University.

**In-Gu Kang** (Member)

2019~present : BS degree in Electronics & Control Engineering, Hanbat Nat'l University.

**Jong-Ho Yoon** (Member)

1985 : BS degree in Architectural Engineering, Yonsei University.  
 1987 : MS degree in Architectural Engineering, Yonsei University.  
 1994 : PhD degree in Architectural Engineering, Yonsei University.

**Ji-Hyeon Kwon** (Member)

2024 : BS degree in Electronic Engineering, Hanbat Nat'l University.

**Yoonseuk Choi** (Member)

1999 : BS degree in Electrical Engineering, Seoul Nat'l University.  
 2006 : PhD degree in Electrical and Engineering, Seoul Nat'l Univ.  
 2006~2008 : Principal Researcher, Hanyang Univ.  
 2008~2010 : Post Doctoral Scholar, Case Western Reserve Univ.