

# 다중 파장 근적외선 LED조명에 의한 컬러영상 획득

(Color Image Acquired by the Multispectral Near-IR LED Lights)

김아리\* · 김홍석 · 박영식 · 박승옥\*\*

(Ari Kim · Hong-Suk Kim · Youngsik Park · Seung-Ok Park)

## Abstract

A system which provides multispectral near-IR and visible gray images of objects is constructed and an algorithm is derived to acquire a natural color image of objects from the gray images. A color image of 24 color patches is obtained by recovering their CIE (International Commission on Illumination) LAB color coordinates  $L^*, a^*, b^*$  from their gray images using the algorithm based on polynomial regression. The system is composed of a custom-designed LED illuminator emitting multispectral near-IR illuminations, fluorescent lamps and a monochrome digital camera. Color reproducibility of the algorithm is estimated in CIELAB color difference  $\Delta E_{ab}^*$ . And as a result, if yellow and magenta color patches with around 10  $\Delta E_{ab}^*$  are disregarded, the average  $\Delta E_{ab}^*$  is 2.9, and this value is within the acceptability tolerance for quality evaluation for digital color complex image.

Key Words : Night Vision, Multispectral Near-IR Illumination, Fusion of Multispectral Images

## 1. 서 론

근래에 많이 사용되고 있는 디지털 카메라는 전자기파의 가시광선 영역뿐만 아니라 사람이 볼 수 없는 근적외선 영역까지 감지하는 센서를 탑재하고 있다. 근적외선이 주간에 촬영되는 가시광선 컬러영상에 노이즈를 유발하기 때문에 센서 앞에 근적외선 차단필터가 장착되어있다. 최근에는 저조도 환경인 야간에 근

적외선 차단필터가 자동으로 제거되어 근적외선 그레이영상이 촬영되는 주/야간 카메라 시스템이 시판되고 있다[1-6]. 카메라에 장착된 근적외선 LED가 동작하여 근적외선 그레이영상이 촬영된다.

또한 야간에도 고해상도의 컬러영상을 획득하기 위한 컬러 나이트 비전(color night vision)에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 이에 따라 전자기파의 여러 파장대역의 그레이영상을 적절히 융합하는 다중 파장 영상 융합(multispectral image fusion) 기술이 개발되고 있다. 주로 가시광선, 근적외선 혹은 열적외선그레이영상을 융합한다[7-9].

그러나 대부분의 융합영상이 의사색채(pseudo color)영상이기 때문에 사물이 자연광아래에서 나타내는 색과 판이하게 달라 보기에 부자연스럽다. 또한 융

\* Main author : Doctoral Course, Graduate School, Department of Physics, Daejin University

\*\* Corresponding author : Professor, Division of Mathematics and Physics, Daejin University

Tel : 031-539-1832, Fax : 031-539-1830

E-mail : sopark@daejin.ac.kr

Received : 2015. 11. 10.

Accepted : 2016. 1. 19.

합영상의 의사색채가 사물을 인식하는데 방해가 되는 경우도 있다[10]. 이에 따라서 가시광선, 근적외선 혹은 열적외선영상을 R, G, B 채널로 융합한 영상에 자연광에서 촬영한 컬러 영상의 색 특성을 적용하여 자연스러운 색을 띠는 컬러영상을 획득하는 방법이 제안되었다[11]. 또한 가시광선 그레이영상과 적외선 그레이영상 신호를 특정 색좌표로 변환하거나 룩업테이블을 사용해 융합영상 신호를 가시광선 컬러영상의 신호로 변환하는 등 다양한 방법들이 제시되고 있다 [12-13].

한편 AIST(the National Institute of Advanced Industrial Science and Technology in Japan)는 3파장 근적외선 센서가 장착된 나이트비전 카메라를 개발하여 암흑에서도 고해상도의 자연스러운 컬러영상을 제공한다고 홍보하고 있다[14].

본 연구에서는 다중 파장 근적외선 그레이영상과 저조도 가시광선 그레이영상으로 자연스러운 컬러영상을 획득하기 위해 다중 회귀법 기반 알고리즘을 개발하였으며, 컬러체커(ColorChecker) 24개 색표를 대상으로 알고리즘의 색재현성을 확인하였다.

2장에는 자체 제작한 다중 파장 근적외선 LED 조명기, 카메라, 시험 반사체로 구성된 실험 시스템 구축에 대해, 3장에는 근적외선 LED 조명기의 공간 비균일성 보상에 대해 기술하였다. 4장에는 시험 반사체의 다중 파장의 근적외선 그레이영상과 저조도 가시광선 그레이영상으로부터 CIELAB 색좌표  $L^*, a^*, b^*$ 를 산출해 컬러영상을 획득하는 알고리즘에 대해 기술하였다. 이어서 5장에는 알고리즘의 색재현성을 CIELAB색차로 평가한 결과를 나타내었으며, 마지막으로 6장에는 결론과 향후연구에 대해 나타내었다.

## 2. 실험장치

다중 파장 근적외선 LED 조명기, 카메라, 스크린으로 시스템을 구성하고 그림 1과 같이 정렬하였다. 실험실 내부 벽과 천정을 모두 검은 무광 페인트로 칠하여 근적외선 조사시 가시광선 빛을 완전히 차단하였다. 가시광선 조명으로는 장치가 위치하는 부스 천정에 부착된 형광등을 사용하였다.

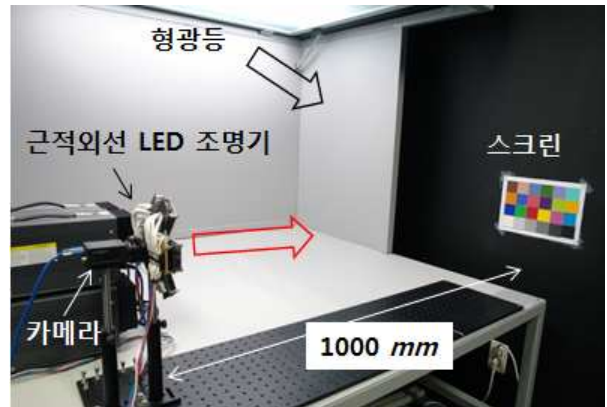


Fig. 1. Experimental configuration

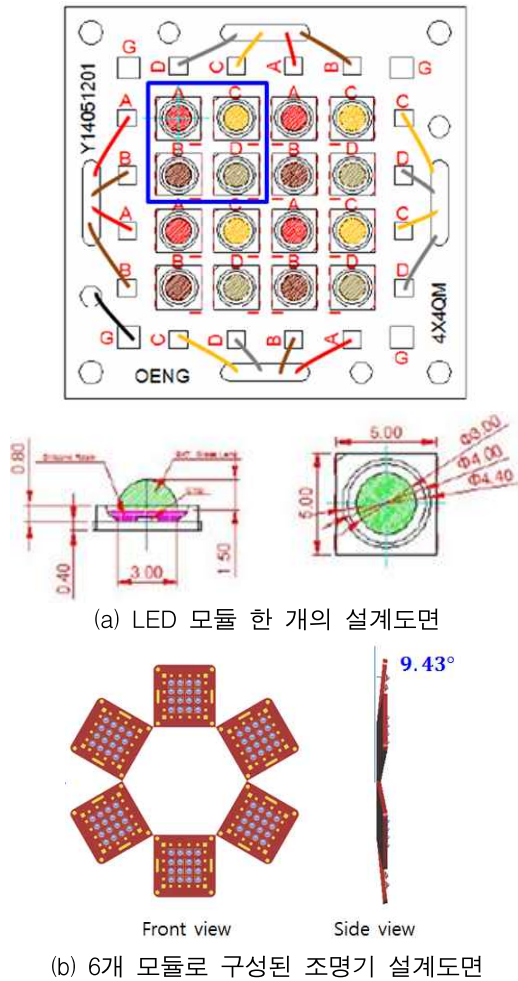
### 2.1 다중 파장 근적외선 LED 조명기

그림 2 (a)와 같이 하나의 모듈에 피크 파장이 서로 다른 4종류의 근적외선 LED를 4개씩 총 16개를 배열하였다. 그림에서 A, B, C, D는 4종류 근적외선 LED의 위치와 배선을 나타낸다. 동일한 6개의 모듈을 해바라기 형태로 조립하여 그림 2 (b)와 같이 조명기를 제작하였다. Light Tools 프로그램으로 시뮬레이션하여 조명기 중심에서 700mm 떨어진 150mm×150mm 크기의 수직면에 조사되는 빛의 균일도가 가장 높은 85% 정도가 되도록 그림 2 (b)와 같이 각 모듈의 측면 각도를 9.43°로 최적화하였다. 근적외선의 세기는 종류별로 별도의 전원장치에 의해 각각 조절된다. 50mm×50mm 크기의 흰색 색표를 스크린 중앙에 놓고 카메라로 촬영했을 때 영상신호가 약 240(8-bit)이 되도록 각각의 전원을 조절하여 근적외선의 세기를 고정하였다.

4종류 근적외선 LED의 분광복사곡선을 VIS-NIR 분광계(Ocean Optics사, spectrometer USB-650)로 측정하였다. 측정결과를 각 곡선의 최댓값이 1이 되도록 정규화하여 그림 3에 나타내었다.

### 2.2 카메라

카메라는 Sony ICX674 영상센서와 Computar사의 초점거리 35mm 렌즈를 구입하여 조립하였다. 이 렌



(a) LED 모듈 한 개의 설계도면

(b) 6개 모듈로 구성된 조명기 설계도면

Fig. 2. Schematic diagrams for (a) one of 6 LED modules and (b) an illuminator consisting of 6 LED modules

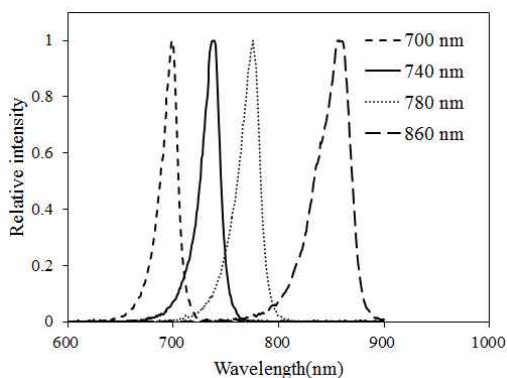


Fig. 3. The spectral power distributions of the four types of LEDs; 700, 740, 780 and 860nm

즈는 가시광선과 근적외선 모두에 대해 투과율이 높다. ICX674 센서는 컬러 필터가 없는 흑백 영상센서이며, 제조사에서 제공하는 분광감도곡선은 그림 4와 같다.

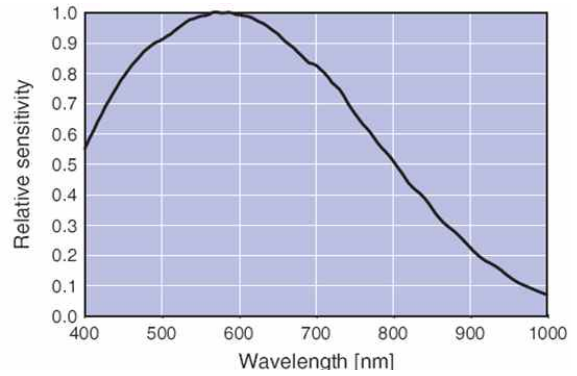


Fig. 4. Spectral sensitivity curve of the monochrome image sensor

그림 1의 실험 환경에서 볼 수 있듯이 근적외선 LED 조명기 중앙의 빈 공간에 카메라를 위치하고 렌즈가 스크린을 향하도록 설치하였다. 이때 조명기, 카메라 그리고 스크린이 동일 축 상에 수직으로 위치하도록 정렬하였다. 카메라는 자동 화이트밸런스 기능을 'off'로, 감마는 '1'로 설정하였다. 근적외선 그레이 영상은 암실 상태에서 근적외선 LED를 한 종류씩 켜서 순차적으로 촬영하였다. 저조도 가시광선 그레이 영상은 광원부스 천정에 설치된 형광등만을 켜고 촬영하였다. 형광등의 발광 세기는 50mm×50mm 크기의 흰색 색표를 스크린 중앙에 놓고 카메라로 촬영했을 때 영상 신호가 약 10(8-bit)이 되도록 고정하였다. 이때 스크린 표면에서 형광등의 조도를 색도계(MINOLTA사, CL-200)로 측정된 결과 4lux였다. 카메라로 촬영한 그레이영상은 카메라의 노이즈와 조명에 의한 산란 효과 등을 고려하여 Noise ware Community Edition 프로그램으로 노이즈를 제거한 뒤 8-bit, TIFF형식으로 저장하였다.

### 2.3 시험 반사체

가시영역의 영상기술에서 컬러 교정을 위해 일반적

으로 사용하고 있는 컬러체커(ColorChecker)의 24개 색표를 시험 반사체로 선정하였다. 컬러체커는 그림 5와 같이 자연색을 대표하는 12개 색표(1~12), 6개 원색 색표(13~18), 그리고 균등한 밝기 계조를 나타내는 6개 무채색 색표(19~24)로 구성된다. 각 색표는 무광 페인트로 색을 띠고, 한 변의 길이가 50mm 정도인 정사각형이다.

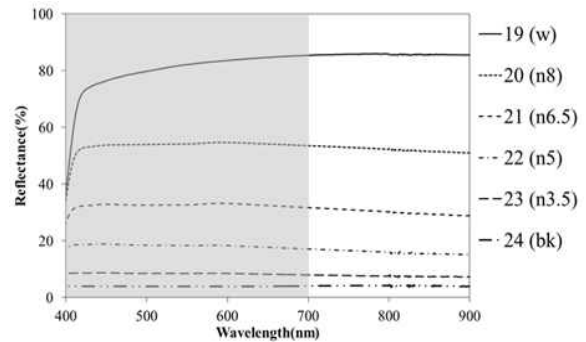
24개 색표 각각에 대해 300~2000nm 파장영역에 대한 분광반사율을 Cary 5000 UV-VIS-NIR 분광광도계를 사용하여 측정하였다. 그림 6 (a)와 (b)에 예로써 무채색 6개 색표와 원색 6개 색표의 400~900nm 파장 영역에 대한 측정결과를 각각 나타내었다. 400~700nm 영역의 바탕을 회색으로 나타내어 700~900nm 영역과 구분하였다. 그림 6 (a)의 무채색 색표들은 모두 두 영역에서의 반사율의 차이가 없는데 반해, 그림 6 (b)의 원색 색표들은 두 영역에서 판이하게 다른 양상을 보인다. 400~700nm 영역에서는 분광반사율 곡선의 굴곡이 색상에 따라 뚜렷이 구분된다. 이에 비해 700~900nm 영역에서는 곡선의 굴곡이 없고 색상 간의 차이가 줄어들는다. 단 빨강, 노랑, 그리고 마젠타 색상인 15, 16, 17번은 비슷한 높이의 완만한 증가곡선을 나타내고, 파랑, 초록, 그리고 시안 색상인 13, 14, 18번은 비교적 경사도가 높고 서로 다른 기울기의 증가곡선을 나타내는 차이를 보인다.



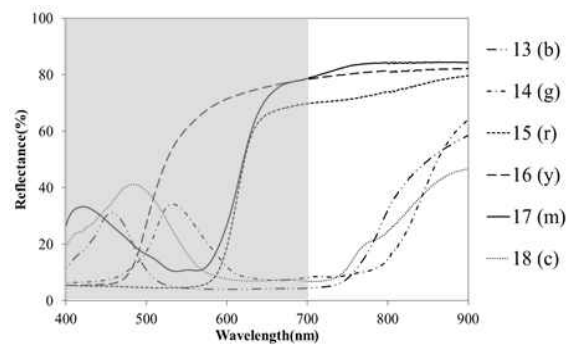
Fig. 5. The product image of ColorChecker

### 3. 조명의 공간 비균일성 보상

그림 1의 스크린에 325mm×245mm 크기의 그레이



(a) 무채색 6개 색표



(b) 원색 6개 색표

Fig. 6. Spectral reflectance curves of (a) the 6 neutral patches and (b) the 6 primary color patches

카드(X-Rite사, 2014년도 구매)를 붙이고 4종류 근적외선 LED조명과 형광등을 순차적으로 조사하여 1000mm 거리에서 흑백카메라로 촬영하였다. 영상신호는 반사체의 반사율이 100%일 때 1이 되도록 정규화하였다. 그림 7 (a)와 (b)에 예시로 주파장 700nm 근적외선 LED와 형광등에서 촬영한 그레이카드 영상 신호를 의사색채(pseudo color)로 나타내었다. 가장 큰 영상신호는 빨간색을 띠고, 신호가 약할수록 주황, 노랑, 초록, 청록, 파랑의 순서로 색을 띠므로 조명의 공간적 세기 분포를 육안으로 확인할 수 있다.

그림 7 (a)로 부터 700nm 근적외선 LED의 세기는 중앙이 가장 세고, 방사형으로 중앙에서 멀어질수록 점차 약해지는 것을 알 수 있다. 나머지 종류의 근적외선 LED도 동일한 형태의 세기 분포를 나타낸다. 시뮬레이션과 달리 약 300mm×200mm 의 수직면에 대



해 조명기로부터 1000mm 떨어진 거리에서 촬영하였으므로 조명의 공간 균일도는 약 53%가 되었다. 형광등은 그림 1과 같이 스크린의 사각에서 조명하기 때문에 그림 7 (b)와 같이 비대칭의 세기분포를 나타내며 공간 균일도는 49%로 가장 낮았다.

그림 8 (a)는 시험 반사체 24개 색표를 그림 1의 스크린에 배열하고 주파장 700nm 근적외선 LED를 비춰 촬영한 영상의 신호를 의사색채로 나타낸 것이다. 스크린에 조사되는 조명의 세기가 그림 7 (a)에 나타난 바와 같이 중앙으로부터 방사형으로 약해지므로, 가장자리에 위치하는 색표일수록 실제 반사율보다 낮은 세기로 반사될 것을 예상할 수 있다. 스크린 중앙에서 가장 멀리 배치된 19번 흰색 색표와 중앙과 가까운 위치에 있는 15번 빨간색 색표가 비슷한 의사색채로 표시된 것이 이 때문이다. 또한 19번 흰색 색표처럼 한 색표에서 색이 균일하지 않은 것도 조명의 공간 비균일성 때문이다.

조명의 공간 비균일성을 보상하기 위한 작업흐름을 그림 9에 나타내었다. 각 조명에서 촬영한 그레이영상의 신호를 반사세기로 변환한 후 픽셀별로 적절한 가중치를 곱해 조명의 불균일한 세기분포를 보상하게 된다.

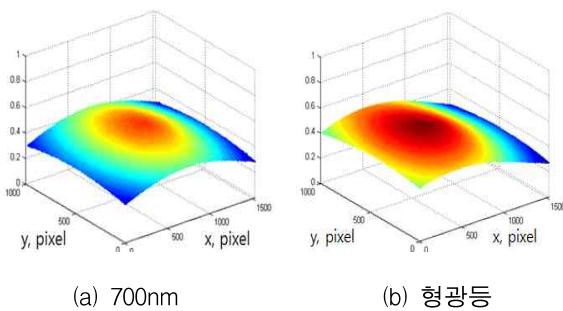
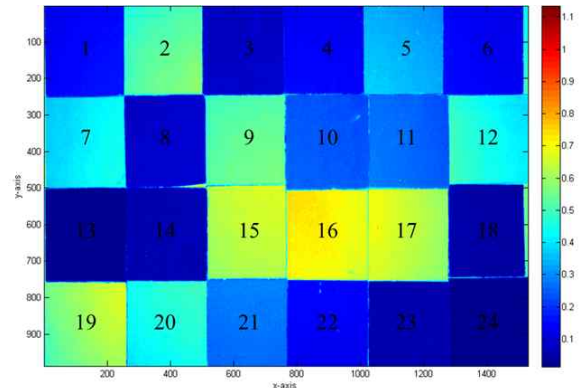
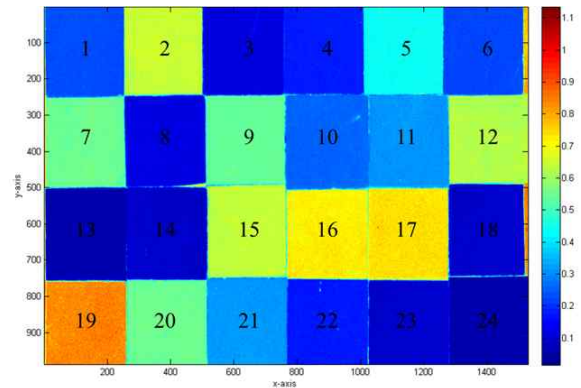


Fig. 7. The spatial uniformity of the 700nm near-IR LEDs and fluorescent lamps

각 조명에서 그림 5의 19~24번 무채색 색표들을 스크린 중앙에 하나씩 놓고 촬영하였고, 이들의 영상신호와 반사세기를 비교하였다. 이때 각 색표의 영상신호는 영상에서 색표영역에 해당하는 영상신호들의 중간값(median value)이고, 반사세기는 식 (1)을 이용해



(a) 조명의 공간 비균일성 보상 전



(b) 조명의 공간 비균일성 보상 후

Fig. 8. Pseudo color images of the 24 color patches captured under 700nm LEDs and reflectance intensity distributions compensated its spatial non-uniformity

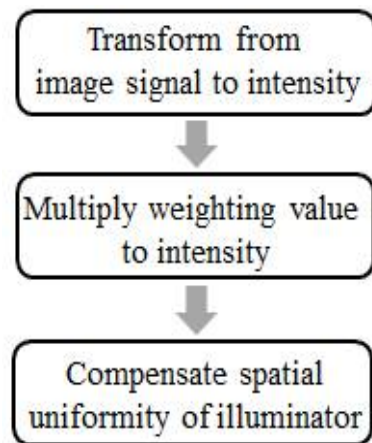


Fig. 9. Workflow to compensate non-uniformity of the illuminators

계산하였다.

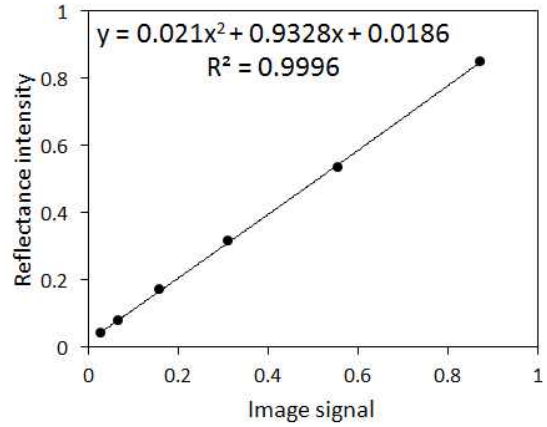
$$I = \sum_{400}^{900} P(\lambda)R(\lambda)S(\lambda)\Delta\lambda (\Delta\lambda = 1) \quad (1)$$

여기서  $I$ 는 조명을 반사체에 조사하여 카메라가 감지하는 반사세기이고, 0~1의 범위를 갖는다.  $P(\lambda)$ 는 조명의 분광복사곡선이고  $R(\lambda)$ 은 반사체의 분광반사곡선으로 각 파장에 대해 반사율이 100%일 때 1이 된다.  $S(\lambda)$ 는 그림 4에 나타난 카메라의 감도곡선이며,  $\Delta\lambda$ 는 파장 간격 1nm이다.

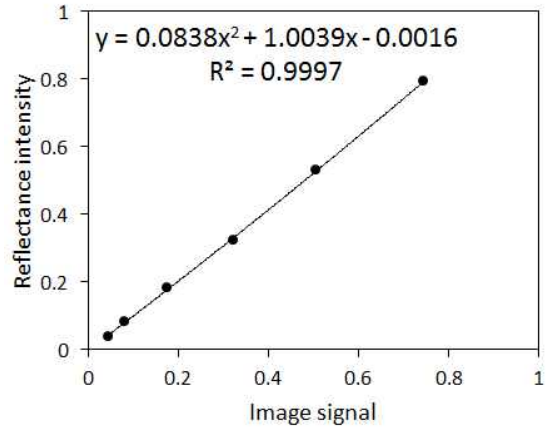
그림 10 (a)와 (b)에 예시로 각각 주파장 700nm 근적외선 LED와 형광등에서 촬영한 6개 무채색의 영상신호에 대한 이들의 반사세기  $I$ 를 그래프로 나타내었다. 2차 다항식으로 추세선을 그린 결과  $R^2$ 가 모두 0.99이상으로 높은 상관관계를 타내었다.  $R^2$ 는 두 데이터의 상관관계를 나타내는 지수로 최댓값이 1이다. 나머지 조명에 대해서도 동일한 결과를 나타내었다. 각 조명에서 촬영한 그레이영상의 신호에 각 조명에 대한 2차 다항식을 적용해 반사세기로 변환하였다.

한 조명에 대해 그레이카드의 반사세기가 가장 높은 일정 영역의 중간값을 추출하고, 픽셀 별 반사세기가 이 중간값이 되기 위한 가중치를 계산하였다. 그리고 이를 시험 반사체의 픽셀별 반사세기에 일대일로 곱해 조명의 비균일성을 보정하였다. 동일한 방법으로 각 조명에 대한 시험 반사체의 반사세기를 교정하였다.

그림 8 (b)에 주파장 700nm 근적외선 LED조명의 비균일성을 보정한 시험 반사체의 반사세기분포를 의사색채로 나타내었다. 각 색표가 균일한 색을 띠며, 가장자리에 위치한 색표들은 조명의 비균일성 보정 전 영상인 그림 8 (a)와 다른 색을 나타낸다. 불균일하게 초록색과 노란색을 띠었던 19번 흰색 색표는 그림 8 (b)에서 균일한 빨간색을 띠므로 원래의 높은 반사세기를 나타낸다. 2, 12번 색표와 7, 20번 색표들도 그림 8 (a)와 비교해 청록에서 초록, 혹은 초록에서 노랑으로 색이 달라진 것은 값이 증가하여 반사세기가 보정된 것을 의미한다.



(a) 700nm



(b) 형광등

Fig. 10. Comparison of image signal and reflectance intensity sensed by the camera of 6 neutral patches under 700nm near-IR LEDs and fluorescent lamps

#### 4. 컬러영상 획득

시험 반사체 24개 색표들의 3종류 근적외선 반사세기  $NIR_1, NIR_2, NIR_3$ 과 색도좌표  $L^*, a^*, b^*$  간의 상관관계는 다항식 회귀법을 이용해 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다[15]. 색좌표  $L^*, a^*, b^*$ 는 제조사에서 제공하는 값을 사용하였다[16].  $\bar{V}_{Lab}$  와  $\bar{V}_{NIR}$  는 각각 색표들의 색도좌표  $L^*, a^*, b^*$ 와 3종류 근적외선 반사세기의 벡

터형태이다. CMM(Color Mapping Matrix)은  $\vec{V}_{Lab}$  와  $\vec{V}_{NIR}$  의 수식적 관계를 나타내며 MATLAB 상에서 쉽게 계산할 수 있다.

$$\vec{V}_{Lab} = CMM \cdot \vec{V}_{NIR} \quad (3)$$

$$CMM = \vec{V}_{Lab} / \vec{V}_{NIR} \quad (4)$$

CMM의 정확도는  $\vec{V}_{Lab}$  와  $\vec{V}_{NIR}$  간의 상관도에 의존한다. 그러나 그림 6 (b)에서 보았듯이 색표들의 가시광선과 근적외선영역에서 반사곡선이 판이하게 다르기 때문에  $\vec{V}_{Lab}$  와  $\vec{V}_{NIR}$  간의 상관도 또한 낮을 것으로 예측된다. 따라서 24개 색표들 중 상관도가 높은 색표들끼리 그룹을 나누어 각 그룹에 대한 CMM을 산출하였다. 그룹을 나누기 위해 식 (5)와 같이 3종류 근적외선 반사세기 NIR1, NIR2, NIR3로부터 3개의 파라미터를 정의할 수 있다.

$$\begin{aligned} I_s &= NIR_1 + NIR_2 + NIR_3 \\ G_{21} &= NIR_2 - NIR_1 \\ G_{32} &= NIR_3 - NIR_2 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $I_s$ 는 색표의 근적외선영역에서 반사곡선의 높이를 의미하고  $G_{21}$ 과  $G_{32}$ 는 3종류 근적외선에서 각각 인접한 파장에서 반사곡선의 기울기를 의미한다.  $G_{21}$ 과  $G_{32}$ 가 양수이면 파장이 길어짐에 따라 반사율이 증가한다는 것이고, 음수이면 반사율이 감소하는 것을 의미한다.

그림 11에 컬러영상을 획득하기 위한 작업흐름을 나타내었다. 먼저 색표들의 NIR1, NIR2, NIR3을 식 (5)에 대입해  $I_s$ ,  $G_{21}$ ,  $G_{32}$ 를 계산한다. 그리고  $|G_{21}| + |G_{32}|$ 가 문턱값  $k_1$ 보다 크거나 같은 색표를 group I으로 분류함으로써 파장이 길어짐에 따라 반사율이 급격히 증가하는 색표 (group I)와 반사율이 일정한 색표로 나눈다. 반사율이 일정한 색표들은 다시 가시광선 반사세기 VIS가 문턱값  $k_2$ 보다 큰 색표와 작은 색표로 분류되어 각각 group II와 group III에

속하게 된다.

저자의 이전 연구에서는 3종류 근적외선으로 컬러영상을 획득하기 위한 알고리즘을 제안하였다[17-18]. 이전 연구의 알고리즘에서는 반사율이 일정한 색표들을 나눌 때  $I_s$ 가 상대적으로 큰 색표를 group II로, 작은 색표를 group III로 분류하였다.

각 그룹에 대한 Color mapping matrix  $CMM_1$ ,  $CMM_2$ ,  $CMM_3$ 은 식 (4)로 계산된다. 최종적으로 각 그룹에 속하는 색표들의  $I_s$ ,  $G_{21}$ ,  $G_{32}$ 는 그룹별 CMM에 의해 식 (6)과 같이 색도좌표  $L^*, a^*, b^*$ 로 산출된다.

$$\vec{V}_{Lab} = CMM \cdot \vec{V}_{IGG} \quad (6)$$

여기서  $\vec{V}_{Lab}$  와  $\vec{V}_{IGG}$ 는 각각 색표들의 색도좌표  $L^*, a^*, b^*$ 와  $I_s, G_{21}, G_{32}$ 의 벡터형태이다. CMM은 각 그룹에 대한 Color mapping matrix로 영상의 노이즈를 최소화하기 위해 최적화된  $3 \times 20$ 의 형태이다[19].

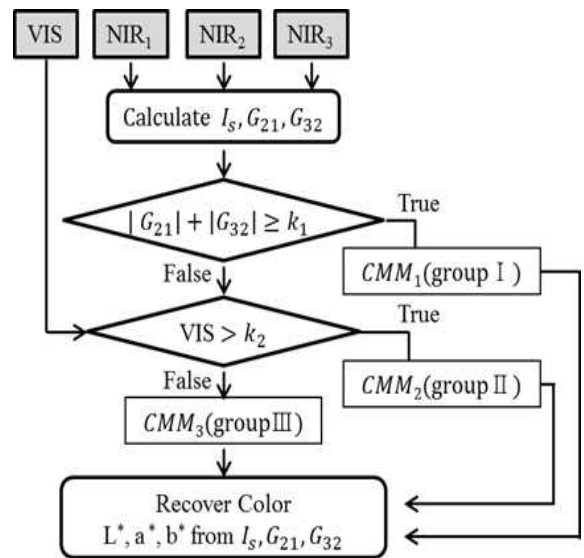


Fig. 11. An algorithm to acquire a color image

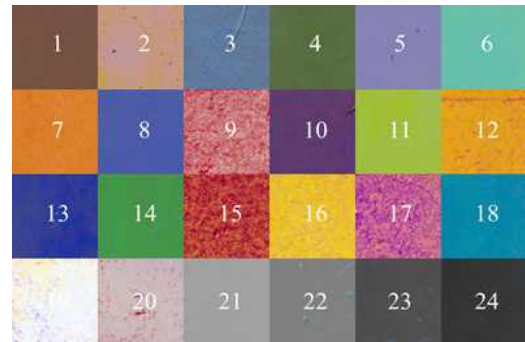
본 연구에서는 주파장 700nm, 780nm 그리고 860nm 근적외선 그레이영상으로 알고리즘의 색재현성을 나타내었다. 그림 12 (a)는 이전 연구의 알고리즘을 적용해 24개 색표의 3종류 근적외선 반사세기로부터

$L^*, a^*, b^*$ 를 산출한 후 MATLAB을 이용해 sRGB로 변환하여 얻은 sRGB 컬러영상이다[20]. 그림 5의 컬러 체커 이미지와 육안으로 비교해 대부분 색이 비슷해 보이나 9, 15, 16, 17, 20번 색표에서 색 재현성이 떨어지는 것을 알 수 있다. 그림 6 (b)와 같이 15, 16, 17번 색표들의 반사곡선이 700~900nm 파장영역에서 유사한 반사율 곡선을 가지기 때문에 이 색표들을 근적외선 반사세기로만 분류하면 동일그룹에 속하여 해당 CMM의 정확도는 떨어지게 된다. 9번 색표도 무채색인 20번 색표의 700~900nm 파장영역에서의 반사곡선과 유사할 것으로 예상할 수 있다.

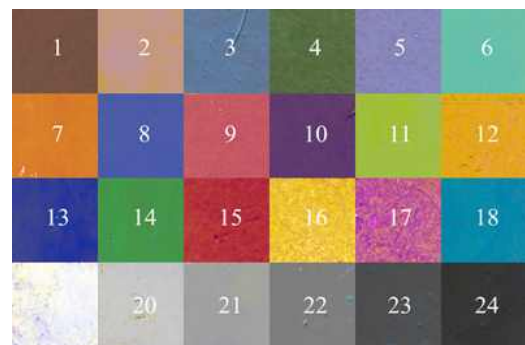
그림 12 (b)는 본 연구의 알고리즘을 적용하여 획득한 sRGB 컬러영상이다. 24색 대부분에 대해 육안으로 높은 색재현성을 확인할 수 있다. 특히 그림 12 (a)와 비교해 9, 15, 20번 색표에서 색재현성이 향상된 것을 육안으로 확인할 수 있다.

두 알고리즘의 색재현성을 정량적으로 비교하기 위해 색표들의 색도좌표  $L^*, a^*, b^*$ 와 두 알고리즘에 의해 산출된 각각의 색도좌표  $L^*, a^*, b^*$ 와의 CIELAB 색차,  $\Delta E_{ab}^*$ 를 계산하였다[21]. 그림 13에 24개 색표의 각 색표 당 평균 색차  $\Delta E_{ab}^*$ 를 비교해 나타내었다. 그림에 3종류 근적외선을 사용한 알고리즘의  $\Delta E_{ab}^*$ 를 ‘3종류 근적외선’로, 본 연구결과에 대한  $\Delta E_{ab}^*$ 는 ‘3종류 근적외선+가시광선’으로 표기하였다.

대부분의 색표들에 대해 두 알고리즘 모두  $\Delta E_{ab}^*$ 가 5 근처이거나 이하이다. 그러나 3종류 근적외선의 경우 그림 12 (a)를 통해 예상했듯이 9, 15, 16, 17, 20번 색표에 대해  $\Delta E_{ab}^*$ 가 10 근처 혹은 그 이상으로 크다. 반면에 3종류 근적외선+가시광선에서 9, 15, 20번 색표에 대한  $\Delta E_{ab}^*$ 는 5 이하로 높은 색재현성을 보인다. 그러나 16번과 17번 색표는 두 알고리즘에서 10 이상의 색차를 나타냈다. 이는 두 색표가 700~900nm 파장영역에서 반사곡선이 매우 유사할 뿐만 아니라 400~700nm 파장영역에서 반사하는 세기도 비슷한 것을 의미한다. 이 두 색표를 제외한 평균 색차  $\Delta E_{ab}^*$ 는 2.9로, 이 수치는 디지털 컬러복합영상 화질 평가 시 제공되는 허용오차(acceptability tolerance) 범위 안에 든다[22-23].



(a) 3종류 근적외선 알고리즘



(b) 3종류 근적외선+가시광선 알고리즘

Fig. 12. The color images recovered by two algorithms; (a) the algorithm using 3 near-IR images and (b) the algorithm using 3 near-IR and a visible images

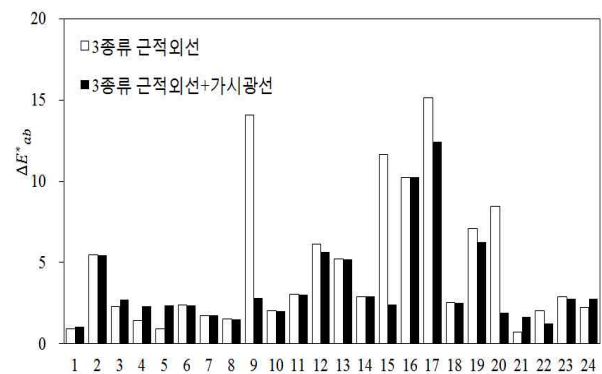


Fig. 13. Color reproducibility comparison of the two algorithms

## 5. 결론

본 연구에서는 사물에 다중 파장 근적외선과 저조도



가시광선을 조사해 그레이영상을 촬영할 수 있는 시스템을 구축하고, 그레이영상들로부터 자연스러운 컬러영상을 획득하기 위한 알고리즘을 개발하였다. 다중 파장 근적외선 LED조명과 형광등을 조사해 촬영한 컬러체커 24개 색표의 그레이영상들로부터 다항식 회귀법을 기반으로 한 알고리즘으로 CIE 색좌표  $L^*, a^*, b^*$ 를 산출하였다. 3종류 근적외선만 사용하는 알고리즘과 함께 본 연구가 제시한 알고리즘의 색재현성을 색차  $\Delta E_{ab}^*$ 로 평가하였다. 그 결과 3종류 근적외선만 사용했을 때  $\Delta E_{ab}^*$ 가 10 이상이었던 색표들 중 몇몇은 저조도 가시광선을 사용함으로써 5이하로 줄어들었다. 한편 노란색과 자주색 색표는 두 알고리즘에서 10 이상의 색차를 나타냈다. 이 두 색표를 제외한 평균 색차  $\Delta E_{ab}^*$ 는 2.9로, 이 수치는 디지털 컬러복합영상 화질 평가 시 제공되는 허용오차 범위 안에 든다.

향후 연구에서는 시험 반사체의 색상, 명도, 채도에 따른  $I_s$ ,  $G_{21}$ ,  $G_{32}$ 를 산출하여 전 색공간에 대한 데이터 베이스를 구축하고자한다. 또한 2차원 함수를 적용해 조명의 비균일성을 시험 반사체의 크기에 관계없이 보상하고자 한다. 그리고 반치폭이 매우 좁은 근적외선 광원을 사용한다면 색재현성이 더욱 향상될 것으로 예상된다. 본 연구와 같이 저조도에서 3종류 근적외선을 사용한 나이트비전에 대한 지속적인 연구가 이루어진다면 가시광선 투과필터와 3종류 근적외선 투과 필터가 픽셀별로 배열된 영상센서 개발을 기대할 수 있다.

## References

[1] L. Wahng, Y. Zhao, W. Jin, S. Shi, S. Wang, "Real-time color transfer system for low-light level visible and infrared images in YUV color space", SPIE, pp1-8 (May) 2007.

[2] J. Han and B. Bhanu, "Fusion of color and infrared video for moving human detection", J. Elsevier Pattern Recognition, Vol. 40, Issue 6, pp. 1771-1784, (June) 2007.

[3] C. Fredembach, S. Süsstrunk, "Colouring the near infrared", Proc. IS & T/SID 16th Color Imaging Conference, (November) 2008.

[4] S. Zhuo, X. Zhang, X. Miao, T. Sim, "Enhancing low light images using near infrared flash images", Proc. of 2010

IEEE 17th International Conference on Image processing (September) 2010.

[5] X. Qian, Y. Wang, and B. Wang, "Effective contrast enhancement method for color night vision" J. Elsevier Infrared Phys. & Tech., Vol. 55, Issue 1, pp. 130-136, (January) 2012.

[6] Z. Chen, X. Wang and R. Liang, "RGB-NIR multispectral camera" J. Opt. Soc. America, Vol. 22, Issue 5, pp. 4985-4994, 2014.

[7] D. Landgrebe, "Hyperspectral image data analysis", IEEE Signal Process. Mag., Vol. 19, No. 1, pp17-28, (January) 2002.

[8] M. Vilaseca, J. Pujol, M. Arjona and F. M. M. Verdu, "Color visualization system for near-Infrared multispectral images", 2nd CGIV, Penang, Malaysia, pp. 431-436, 2004.

[9] M. Vilaseca, J. M. de Lasarte, J. Pujol, M. Arjona and F. M. M. Verdu, "Multispectral system for the reflectance reconstruction and color visualization of natural and manufactured objects in the near-infrared region" AIC Colour 10thCongress, Granada, Spain, pp. 499-502, 2005.

[10] A. Toet, E. M. Franken, "Perceptual evaluation of different image fusion schemes", Displays Vol. 24, Issue 1, pp 25-37, (February) 2003.

[11] A. Toet, "Natural colour mapping for multiband night vision imagery", J. Info. Fusion, Vol. 4, Issue 3, pp. 155-166, (September) 2003.

[12] V. Tsagaris and V. Anastassopoulos, "Fusion of visible and infrared imagery for night color vision", Displays, Vol. 26, Issues 4-5, pp. 191-196, (October) 2005.

[13] M. A. Hogervorst, V. Tsagaris, "Method for applying daytime colors to nighttime imagery in realtime", Proc. SPIE, Vol. 6974, (March) 2008.

[14] Y. Nagamune, "Image capturing device and image capturing method" Korea Patent 10-1381018, 2014 Vol. 2, No. 3, pp. 95-99, 1976.

[15] H. R. King, "Computational Color Technology", SPIE, USA, 2006.

[16] C. S. McCamy, H. Marcus, and J. G. Davidson, "A color-rendition chart", J. Appl. Photographic Engineering,.

[17] Ari Kim, In-hoo Oh, Hong-suk Kim, Seung-ok Park and Youngsik Park, "Recovering the colors of objects from multiple near-IR images", J. Opt. Soc. Korea Vol. 19, No. 1, pp. 102-111, 2015.

[18] Hong-suk Kim, Seung-ok Park, "Apparatus and method for reproduction of color image using light of multi-wavelength" Korea Patent pending 10-2014-0081630, 2014.

[19] Y. J. Kim and M. R. Luo, "Characterization of a LCD colour monitor using a digital still camera", AIC Colour 10th Congress, pp. 295-298, Granada, Spain, May, 2005.

[20] S. Westland, C. Ripamonti, and V. Cheung, computational Colour Science Using MATLAB, 2nd ed., Wiley, Chennai, India, 2012.

[21] R. S. Berns, Billmeyer and Saltzman's Principles of Color Technology, Wiley-Interscience, 2000.

[22] A. Kim, H. S. Kim, and S. O. Park, "Measuring of the

perceptibility and acceptability in various color quality measures”, J. Opt. Soc. Korea, Vol. 15, Issue 3, pp. 310-317, 2011.

- [23] D. H. Kim, H. S. Kim, S. O. Park, and Y. J. Kim, “Perceptual quality of still images”, 25th Session of the OE San Diego, USA, pp. 8-14, 2003.

◇ 저자소개 ◇



**김아리**(金아리)

1986년 12월 4일생. 2009년 대진대학교 물리학과 졸업. 2011년 대진대학교 물리학과 졸업(석사). 현재 대진대학교 물리학과 박사과정.



**박영식**(朴滄植)

1958년 8월 28일생. 1981년 고려대학교 물리학과 졸업. 1983년 고려대학교 졸업(석사). 1996년 美 스티븐스공과대학교 졸업(박사). 한국기술원 수석연구원 역임. 현재 국방과학연구소 민군기술진흥원 민군기술협력센터 전문위원.



**김홍석**(金洪錫)

1952년 3월 10일생. 1974년 서울대학교 물리학과 졸업. 1976년 한국과학기술원 졸업(석사). 1983년 한국과학기술원 졸업(박사). 국방과학연구소 선임연구원 역임. 현재 대진대학교 물리학과 교수.



**박승옥**(朴勝玉)

1957년 2월 4일생. 1979년 이화여자대학교 물리학과 졸업. 1981년 이화여자대학교 졸업(석사). 1987년 한국과학기술원 졸업(박사). 한국표준과학연구원 선임연구원 역임. 현재 대진대학교 물리학과 교수.