

## 색 항등성을 위한 분광 데이터 기반의 저조도 영상 집합 생성

김달현<sup>1</sup>, 이우람<sup>1</sup>, 황동국<sup>1</sup>, 전병민<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>충북대학교 전자정보대학 컴퓨터공학과

## Production of Low-illuminated Image Sets based on Spectral Data for Color Constancy Research

Dal-Hyoun Kim<sup>1</sup>, Woo-Ram Lee<sup>1</sup>, Dong-Guk Hwang<sup>1</sup> and Byoung-Min Jun<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Dept. of Computer Engineering, College of Electrical and Computer Engineering, ChungBuk  
National University

**요 약** 조명 변화에 관계없이 물체의 원래 색을 결정할 수 있는 색 항등성 기법은 저조도 환경에 적합하지 않다. 이러한 저조도 환경을 고려한 색 항등성 기법을 위해 우선적으로 다양한 저조도 환경의 영상이 필요하다. 본 논문에서는 분광 데이터에 기반한 저조도 합성 영상 집합과 저조도 자연 영상 집합을 생성한다. 합성 영상 집합은 380~780nm의 5nm 단위로 보간된 카메라의 센서 반응 함수, 일루미넨트 분광분포(SPD) 그리고 분광 반사율 곡선을 사용하여 생성되며, 52,000개의 영상들로 구성된다. 자연 영상 집합은 Ebner 데이터 집합과 일루미넨트의 SPD를 기반으로 생성한 4,970개의 영상들로 구성된다. 영상 집합은 실측 분광 데이터와 물리적인 영상 형성 모델을 바탕으로 생성되기 때문에 저조도 환경에서의 색 변화 및 분포를 객관적이고 정량적으로 분석하는 것이 가능한 장점을 갖는다. 또한, 이 영상 집합은 Ground Truth Data를 포함하고 있어 색 항등성 기법의 평가를 위해 사용될 수 있다.

**Abstract** Most methods of color constancy, which is the ability to determine the object color regardless of the scene illuminant, have failed to meet our expectation of their performance especially about low-illuminated scenes. Some methods with high performance need to be developed, but we must, above all else, obtain experimental images for analyzing the required circumstances or evaluating the methods. Therefore, the paper produces new sets of images so that they can be used in the development of color constancy methods suitable for low-illuminated scenes. These sets are composed of two parts: one part of images which are synthesized with spectral power distribution(SPD) of illuminants, spectral reflectance curve of reflectances, and sensor response functions of camera; the other part of images where the intensity of each image is adjusted at the uniform rate. In an experiment, the use of the sets takes an advantage that its result images are analyzed and evaluated quantitatively as their ground truth data are known in advance.

**Key Words** : Low-illuminated Image, Spectral Data, Image Sets, Color Constancy

### 1. 서론

광원의 조도 변화로 인해 가시광선 카메라로 획득한 영상들은 서로 상이한 밝기를 가진다. 특히, 광원의 강도가 낮은 환경에서 획득된 저조도 영상은 RGB 값들이 작아 어둡게 나타나기 때문에, 원래의 색을 온전히 표현하

지 못한다. 이러한 문제는 장면의 색 구분과 물체 인지를 어렵게 하여 객체 인식 분야에서 시스템의 성능을 저하시키는 근본적인 원인이 된다. 최근 이러한 영향을 감소시키기 위해 저조도에서의 색 항등성 연구가 색 기반의 컴퓨터 비전 분야에서 필수적으로 요구되고 있다.

저조도 환경을 고려한 색 항등성 기법의 연구를 위한

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임 (2010-0024527)

\*교신저자 : 전병민(bmjun@cbnu.ac.kr)

접수일 11년 05월 18일

수정일 11년 06월 17일

게재확정일 11년 07월 07일

토대로서 다양한 저조도 환경의 영상이 우선적으로 필요하다. 또한, 이러한 영상군은 저조도 환경의 분석과 색 항등성 기법들의 평가를 위해서도 반드시 필요하다. 따라서 본 논문에서는 색 항등성을 위해 분광 데이터에 기반한 저조도 영상 집합을 생성한다.

본 논문에서 생성된 영상 집합은 저조도 합성 영상 집합과 저조도 자연 영상 집합으로 구분되며, 전자는 380~780nm의 구간의 5nm로 보완된 필수 분광 데이터를 기반으로 조도를 10단계로 조절하여 총 52,000개의 합성 영상으로 구성된다. 후자는 Ebner의 데이터 집합과 획득 시 사용된 일루미넨트의 분광분포(Spectral Power Distribution, SPD)를 10단계로 스케일링하여 총 4970개의 자연 영상으로 구성된다.

이 영상 집합은 실제 측정된 분광 데이터와 영상 형성 모델을 기반으로 생성되었기 때문에, 저조도 환경에서의 색 변화 및 분포가 객관적이고 정량적으로 분석 가능하다는 장점을 갖는다. 따라서 이 영상 집합은 머신 비전 분야에서 시스템의 성능 향상을 위한 조도 변화의 실험 데이터로서 폭넓게 사용될 수 있으며, 저조도 영상 연구에서 저조도 영상의 특징과 특성 파악을 위한 실험 데이터 집합으로서 유용할 것이다. 또한, 생성된 영상 집합은 각각의 Ground Truth Data를 제공하여, 조도에 관한 처리 성능을 평가하기 위한 데이터로서도 타당할 것으로 사료된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 영상 집합의 생성에 이용된 분광 데이터와 기존의 데이터 집합들을 소개한다. 그리고 3장에서 저조도 합성 영상의 생성을 위해 필요한 분광 데이터들의 형성 방법과 합성 방법을 기술한다. 4장에서는 영상 획득 시 사용한 일루미넨트 SPD를 사용하여 저조도 자연 영상을 생성하는 방법을 기술한다. 마지막으로 5장은 결론을 기술한다.

## 2. 영상 집합 생성을 위한 필수 요소

### 2.1 필수 분광 데이터

3가지 분광 데이터를 사용한 영상 형성 모델링은 식 (1)과 같다[1].

$$\rho^k = \int R_k(\lambda)S(\lambda)E(\lambda)d\lambda \quad (1)$$

여기서,  $R_k(\lambda)$ 는  $k$ 채널 센서의 분광 반응 함수,  $S(\lambda)$ 는 물체 표면의 분광 반사율 곡선, 그리고  $E(\lambda)$ 는 일루미넨트의 SPD이다. 이러한 영상 형성 모델에 필수

요소인 3가지 데이터를 Barnard[2]가 제공한다. 이 분광 데이터들은 PhotoResearch PR-650 spectrometer에 의해 측정되었으며, 계산의 용이성을 위해 380~780nm의 구간에서 4nm의 간격으로 샘플링된 101개의 값으로 구성된다.

센서 반응 함수는 Barnard의 카메라 센서의 반응 함수 도출 연구[3]에 의해 추정되어졌다. 이 연구에서 Barnard는 수정된 카메라 모델을 이용하였으며, 이미 알려진 색 패치를 촬영하여 획득한 결과로부터 역으로 카메라의 센서 반응 함수들을 추정하는 특성화 방법을 사용하였다.

표면의 분광 반사율 곡선(spectral reflectance curve)들 [2]은 24개의 Macbeth ColorChecker 패치들, 1269개의 Munsell 칩들, 120개의 Dupont Paint 칩들, 170개의 자연 물체들, 350개의 Krinov 데이터 집합, 57개의 부가적인 표면들, 그리고 나머지 5개의 표면들의 분광 반사율 곡선들로써 1995개로 구성된다.

Barnard[2]가 제공하는 일루미넨트 SPD는 대표적인 광원 11개를 포함한 21개 광원, 그리고 Simon Fraser 캠퍼스와 그 주변에서 측정된 81개로 총 102개의 SPD로 구성되어 있다. 각 SPD는 광원의 강도에 영향을 받지 않도록 하기 위해 정규화될 수 있다.

### 2.2 기존의 데이터 집합

Barnard[2]가 제공하는 데이터는 장면 영상, 객체 영상 그리고 분광 데이터로 구분된다. 장면 영상들은 장면을 구성한 객체의 표면반사 속성에 따라 4 종류의 세부 집합으로 구별된다. 이 세부 집합은 물체 표면에 의해 램버트 집합, 부전도 집합, 금속 집합 그리고 형광 집합으로 구분된다. 각 세부 집합은 서로 다른 여러 장면들로 구성되며, 각 장면안에는 11개의 대표 일루미넨트로 획득한 영상들이 존재한다. 또한, 장면안에는 영상 획득 시 사용한 일루미넨트의 SPD와 추정된 일루미넨트의 RGB값도 존재한다.

Ebner[4]는 Barnard의 데이터 집합을 색 항등성 알고리즘의 평가에 적합하도록 수정하였다. Ebner는 알고리즘 평가의 척도인 항등성 측도, 색공간 측도, 그리고 색항등성 측도를 계산하기 위해서, Barnard의 데이터 집합의 영상들을 법선 벡터를 사용하여 정합하였고, 정합되지 않는 영상들은 제거하였다. 또한, 성능 평가의 속도 향상을 위해 영상 크기를 1/4로 다운샘플링 하였다.

## 3. 저조도 합성 영상의 생성

본 장에서는 저조도 합성 영상의 생성 과정을 기술한

다. 우선, 이전에 언급된 저조도 영상 합성에 적합하도록 3가지 분광 데이터들을 보완한다. 그리고 이들 데이터들을 사용하여 25개의 패치들로 구성된 합성 영상을 생성하고, 합성 시 사용한 일루미넨트 SPD를 크기(magnitude) 조절하여 단계별 저조도 합성 영상을 생성한다.

### 3.1 분광 데이터의 보완

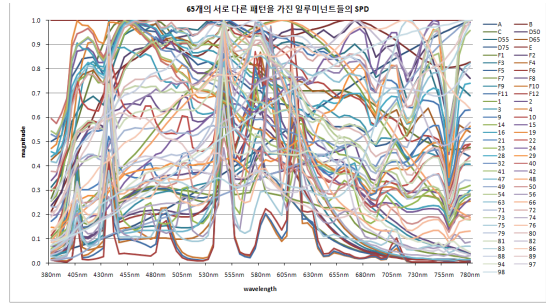
표준광이 포함되어 있지 않은 Barnard[2]의 일루미넨트들은 4nm로 샘플링되어 있어 5nm로 샘플링된 표준광들과 서로 통합이 불가능하다. 따라서, Barnard의 102개 일루미넨트들과 20개의 표준광 일루미넨트들을 통합시키기 위해, 표준광 일루미넨트의 SPD에 맞추어 Barnard의 일루미넨트 SPD를 보간한다. 또한, 합성 영상 생성을 위해 일루미넨트의 SPD 뿐만 아니라 표면의 분광 반사율 곡선과 카메라의 센서 반응 함수 또한 동일하게 5nm 간격으로 보간한다. 사용된 보간법은 에르미트 보간법(piecewise cubic Hermite interpolation)[5]이다.

통합된 분광 데이터들의 파장 범위 또한, 최소 범위인 380~780nm로 통일한다. 표준 일루미넨트의 SPD 범위는 300~830nm, 320~780nm 그리고 380~780nm 등 다양하지만, Barnard가 제공하는 분광 데이터들의 범위는 380~780nm이다. 즉, 데이터가 제공되지 않는 파장 대역의 불확실한 복원을 피하기 위해 최소 파장 대역을 380~780nm로 확정한다.

본 논문에서는 일루미넨트 SPD의 크기를 조절하여 저조도 영상을 생성한다. 따라서 중복되는 영상의 생성을 피하기 위해 일루미넨트 SPD의 크기는 반드시 정규화되어야 하며 유사 패턴 또한 제거되어야 한다. 이는 유사 패턴이 동일 광원의 강도 변화나 측정 오차로 인해 발생할 수 있기 때문이다. 그러므로 Barnard가 제공하는 일루미넨트들과 표준광 일루미넨트들에서 유사 패턴을 소거하여 65개의 서로 다른 일루미넨트를 선정한다.

소거 기준은 다음과 같이 평균 제곱근 편차(RMSE)를 사용한다. 임계치인 0.1은 사전 지식 및 통계치를 사용하여 결정한다.  $L_m(\lambda)$ 은 120개의 일루미넨트 SPD 중 임의의 하나이며,  $L_n(\lambda)$ 은  $L_m(\lambda)$ 을 제외한 나머지 일루미넨트 SPD 중 하나이다. 식(2)을 만족할 경우,  $L_n(\lambda)$ 의 일루미넨트 SPD를 소거한다. 이와 같은 방법으로 선정된 65개의 서로 다른 패턴을 가진 일루미넨트의 SPD가 그림 1에 보인다.

$$RMSE(L_m(\lambda), L_n(\lambda)) < 0.1 \quad (2)$$



[그림 1] 선정된 65개 일루미넨트의 SPD  
[Fig. 1] SPDs of 65 selected illuminants

필터는 영상 형성의 필수 데이터는 아니지만, 다양한 유색 일루미넨트를 만들기 위해 사용될 수 있다. Rosco 필터 회사가 제공하는 red, green, blue, cyan, magenta 그리고 yellow의 Roscolux 색 필터들이 영상 합성에 사용된다. 360~740nm의 20nm 간격으로 샘플링된 필터들의 분광 투과율 곡선을 보완된 분광 데이터들과 동일하게 380~780nm의 5nm 간격으로 보간 및 보외한다. 사용된 보간 및 보외법(extrapolation)은 동일하게 에르미트 보간법이다.

### 3.2 합성 영상 생성

합성 영상은 식(3)을 기반으로 생성된다.

$$I_k^{syn}(x, y) = \frac{1}{b_k} \int_{380nm}^{780nm} L(\lambda) S(x, y, \lambda) R_k(\lambda) d\lambda \quad (3)$$

$$where \ b_k = \int_{380nm}^{780nm} L_{ref}(\lambda) R_k(\lambda) d\lambda$$

여기서,  $L(\lambda)$ 는 일루미넨트 SPD이며,  $S(x, y, \lambda)$ 는 1995개 표면의 분광 반사율 곡선 중에서 임의로 선택된 분광 반사율 곡선이다.  $R_k(\lambda)$ 는 Sony DXC-930 CCD 카메라  $k$ 채널의 센서 반응 함수이며,  $L_{ref}(\lambda)$ 는 이상적 백색광인 참조 일루미넨트의 SPD이다.  $b_k$ 는 스케일링 계수로서 각 채널값의 최대치가 서로 상이함을 고려하기 위해 필요하다. 이는  $L(\lambda) = L_{ref}(\lambda)$ 일 경우, 각 채널의 반응이 센서에서 나올 수 있는 최대 반응이기 때문이다.

합성 영상의 위치  $(x, y)$ 에서 주위의 물체 표면에 따른 영향은 전혀 없다. 즉, 이웃하는 픽셀 및 패치는 서로 독립적이다. 또한, 참조 광원 생성의 어려움과 카메라 블랙으로 인해, 완전한 흑색과 백색을 만들 수 없다. 따라서 Barnard의 센서 특성화 방법[3]과 같이 합성 영상의 각

채널들의 픽셀값을 [15~240] 범위로 제한한다.

잡음 삽입과 일루미넨트 가산 등의 추후 실험을 위해, 합성 영상은 Macbeth ColorChecker와 유사하게 25개의 서로 다른 패치(patch)들로 구성하며, 각 패치의 크기는 50×50으로 구성한다. 25개의 서로 다른 패치들은 1995개 물체 표면의 분광 반사율 곡선들 중에서 순차적으로 선택한다.

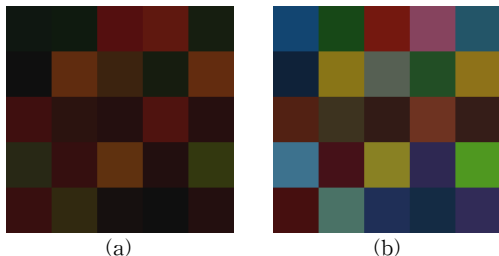
그림 2는 식(3)을 사용하여 생성된 250×250의 합성 영상의 예를 보여준다. (a)와 (b)영상 모두 1995개의 분광 반사율 곡선 중 처음 25개를 사용하였으며, Sony DXC-930 카메라의 센서 반응 함수를 사용하였다. 단, (a) 영상은 표준 일루미넨트 A를, (b)영상은 표준 일루미넨트 D65를 사용하여 합성 영상을 생성하였다.

그림 2의 (a)영상은 전체적으로 붉은색 계열의 일루미넨트가, (b)영상은 16번째 패치인 하늘색 패치가 선명해 하늘색 계열의 일루미넨트가 사용됨을 알 수 있다. 이는 광원의 RGB값으로도 확인이 가능하다. 표준 일루미넨트 A의 광원색은 (133, 83, 33)으로 붉은색 계열이며, 표준 일루미넨트 D65의 광원색은 (196, 228, 222)으로 하늘색이다.

3.1절의 색 필터가 유색 일루미넨트에 영향받은 합성 영상 생성에 사용된다. 다음과 같이 이전 절의  $j$ 색 필터  $F_j(\lambda)$ 를  $L(\lambda)$ 에 곱함으로써 유색 일루미넨트의 영향을 받은 합성 영상  $I_k^{sym-f}$ 을 만들 수 있다.

$$I_k^{sym-f} = \frac{1}{b_k} \int_{380nm}^{780nm} F_j(\lambda)L(\lambda)S(\lambda)R_k(\lambda)d\lambda \quad (4)$$

여기서,  $j = \{\text{red, green, blue, cyan, magenta or yellow}\}$  이며,  $F_j(\lambda)$ 는 [0 ~ 1]의 범위를 가진다.



[그림 2] 생성된 합성 영상 (25개의 분광 반사율 곡선 사용): (a) 표준 일루미넨트 A를 사용한 경우, (b) 표준 일루미넨트 D65를 사용한 경우

[Fig. 2] The synthesized images using 25 spectral reflectance curves: (a) a synthesized image by standard illuminant A; (b) an image by standard illuminant D65.

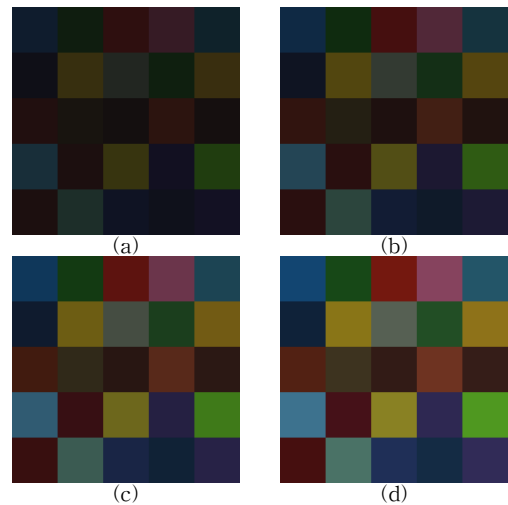
### 3.3 단계별 저조도 합성 영상

영상 합성 시 사용된 일루미넨트의 SPD를 수정하여 임의의 조도를 가진 합성 영상을 생성한다. 이러한 방법을 통한 영상의 저조도화는 장면 일루미넨트 SPD의 크기 변화가 영상의 조도 변화라는 가정을 기반으로 한다.

식(5)와 같이 일루미넨트 SPD의 크기를 변화시키는 요소  $\alpha$ 를 사용하여 단계별로 조도를 변화시킨다. 본 논문에서의 합성 영상은 기본적으로 10단계의 조도 단계를 가지도록 생성한다. 따라서 크기 변화 요소  $\alpha$ 는 집합  $s = \{0.1, 0.2, \dots, 1\}$ 의 원소 중 하나이다.

$$SymI_k^{low-\alpha} = \frac{1}{b_k} \int_{380nm}^{780nm} \alpha L(\lambda)S(\lambda)R_k(\lambda)d\lambda \quad (5)$$

그림 3은 그림 2의 (b)에서 사용한 영상을 이용하여 단계별로 생성한 저조도 영상들의 일부를 보여준다. 그림 3의 (a)는  $\alpha = 0.4$ , (b)는  $\alpha = 0.6$ , (c)는  $\alpha = 0.8$  그리고 (d)는  $\alpha = 1$ 인 경우의 저조도 합성 영상이다.  $\alpha = 1$ 로 인해 그림 3.(d)와 그림 2.(b)는 동일 영상이다.  $\alpha = 0.1$  or  $0.2$ 인 경우는 시각적으로 영상 안의 패치를 구별하는 것이 불가능하나,  $\alpha$ 가 커질수록 패치의 구별은 용이해진다.



[그림 3] 그림 2의 (b)영상으로 생성된 저조도 합성 영상들 중 일부: (a)  $\alpha = 0.4$ 를 사용한 경우, (b)  $\alpha = 0.6$ , (c)  $\alpha = 0.8$ , (d)  $\alpha = 1$

[Fig. 3] Parts of low-illuminated images synthesized by image in Fig.2(b): (a) a low-illuminated image with  $\alpha = 0.4$ ; (b)  $\alpha = 0.6$ ; (c)  $\alpha = 0.8$ ; (d)  $\alpha = 1$ .

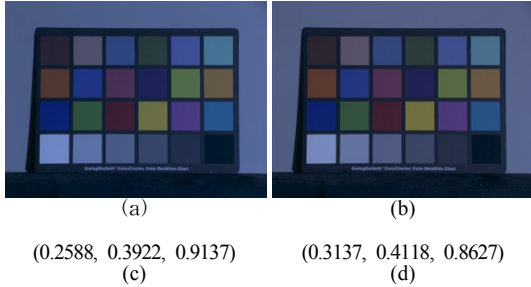
## 4. 저조도 자연 영상의 생성

본 장은 보완된 분광 데이터와 Ebner의 데이터집합을 이용하여 단계별 저조도 자연 영상을 생성하는 방법을 기술한다. 우선, 원영상의 획득 시 사용한 일루미넨트의 SPD를 사용하여 광원의 RGB값을 구한다. 그리고 광원의 RGB값을 이용하여 원영상을 canonical 일루미넨트하의 영상으로 변환한다. 마지막으로 첫 과정에서 사용한 일루미넨트의 SPD를 스케일링하여 조도가 단계적인 자연 영상 집합을 형성한다.

### 4.1 광원의 RGB

원영상을 canonical 일루미넨트하의 영상으로 변환시키기 위해 필요한 광원의 RGB를 Barnard가 제공하는 광원의 SPD를 통해 다음과 같이 계산한다. 식(6)에서  $L_{used}(\lambda)$ 는 Barnard가 장면 촬영 시 측정하여 제공하는 일루미넨트의 SPD이다.

$$Illum_k^{rgb} = \int_{380nm}^{780nm} L_{used}(\lambda) R_k(\lambda) d\lambda \quad (6)$$



[그림 4] Ebner 데이터집합의 일부 영상과 계산된 광원의 RGB: (a) macbeth\_solux-3500+3202.png, (b) macbeth\_syl-50MR16Q+3202.png, (c) (a) 영상의 계산된 광원의 RGB, (d) (b) 영상의 계산된 광원의 RGB

[Fig. 4.] The Macbeth images of the Ebner's Datasets and the RGB of the illuminant calculated by them: (a) macbeth\_solux-3500+3202.png; (b) macbeth\_syl-50MR16Q+3202.png; (c) the illuminant RGB of Fig.4(a); (d) the illuminant RGB of Fig.4(b).

그림 4의 (a)와 (b)는 Ebner의 데이터 집합안의 Macbeth ColorChecker들 중에서 Solux 3500K와 Sylvania 50MR16Q 광원하의 영상에 Roscolux 3202 필터가 가산된 영상들이다. 또한, (c)와 (d)는 식(6)에 의해 계산된 (a)와 (b)영상의 광원 RGB이다. Roscolux 3202 필터를 사용

하였기 때문에 (a)와 (b)영상 모두 파란색 필터의 효과를 보이며, (c)와 (d)의 계산된 광원의 RGB값들 또한 B채널의 값이 다른 두 채널의 값에 비해 2~3배 정도 큰 것을 알 수 있다.

### 4.2 canonical 일루미넨트하로 변환

단계별 저조도 자연 영상을 생성하기 위해, 원영상을 canonical 일루미넨트하의 영상으로 변환한다. 이는 조도 변환 과정이 canonical 일루미넨트하의 영상을 기본으로 시작되기 때문이다.

임의의 장면안에 위치한 물체 표면들의 분광 반사율 곡선을 알 수 없기 때문에, 다음과 같이 원영상에 광원의 RGB를 나누어 canonical 일루미넨트하의 영상으로 변환시킨다.

$$I_k^{anon}(x,y) = I_k(x,y) / Illum_k^{rgb} \quad (7)$$

여기서,  $I_k(x,y)$ 는 원영상의 각 채널을 의미하며,  $Illum_k^{rgb}$ 는 식(6)을 사용하여 구한 광원의  $k$ 채널값이다. 그리고  $I_k^{anon}(x,y)$ 는 canonical 일루미넨트하에서 영상의  $k$ 채널이다.  $I_k(x,y)$ 와  $Illum_k^{rgb}$ 는  $[0 \sim 1]$  사이 값들을 가진다.

그림 5의 (a)와 (b)는 그림 4의 (a)와 (b)를 그림 4의 (c)와 (d)를 이용하여 canonical 일루미넨트하로 변환한 영상들이다. Roscolux 3202 필터의 효과 감소를 확인할 수 있다.



[그림 5] 그림 4 영상들의 canonical 일루미넨트하로 변환: (a) 그림 4의 (a) 영상의 변환, (b) 그림 4의 (b) 영상의 변환

[Fig. 5.] The transformation of Fig.4(a) and (b) into images under the canonical illuminant: (a) the transformation of Fig.4(a); (b) the transformation of Fig.4(b).

식(8)과 같이 3.1절의 필터  $F_j(\lambda)$ 를  $L_{used}(\lambda)$ 에 곱함으로써 유색 일루미넨트의 RGB값  $Illum_k^{filtered}$ 을 얻을 수 있다. 그리고 식(9)와 같이  $Illum_k^{filtered}$ 를

$I_k^{anon}(x,y)$ 에 곱함으로써 유색 일루미넨트의 영향을 받은 자연 영상을 만들 수 있다.

$$Illum_k^{filtered} = \int_{380nm}^{780nm} F_j(\lambda) L_{used}(\lambda) R_k(\lambda) d\lambda \quad (8)$$

$$I_k^f(x,y) = I_k^{anon}(x,y) \cdot Illum_k^{filtered} \quad (9)$$

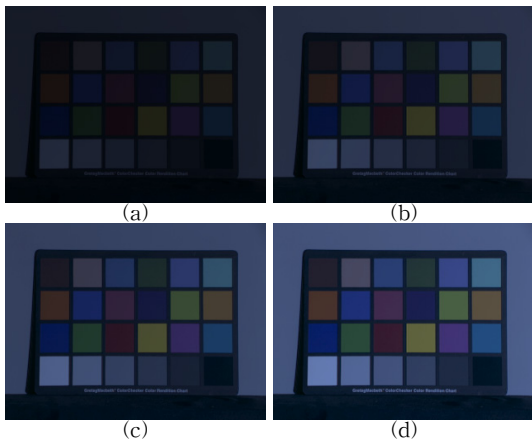
### 4.3 단계별 저조도 자연 영상

장면 획득 시 사용한 일루미넨트의 SPD를 스케일링하여 단계별 저조도 자연 영상을 생성한다. 우선, 식(10)과 같이 크기 변화 요소  $\alpha$ 를 사용하여  $L_{used}(\lambda)$ 의 크기를 조절하고, 변화된 일루미넨트의 RGB값  $Illum_k(\alpha)$ 를 계산한다.

$$Illum_k(\alpha) = \int_{380nm}^{780nm} \alpha L_{used}(\lambda) R_k(\lambda) d\lambda \quad (10)$$

그 후, 식(11)과 같이 계산된  $Illum_k(\alpha)$ 를  $I_k^{anon}(x,y)$ 에 곱하여  $\alpha$ 의 저조도 자연 영상  $NatI_k^{low-\alpha}(x,y)$ 를 생성한다. 여기서,  $I_k^{anon}(x,y)$ 와  $Illum_k(\alpha)$ 는  $[0 \sim 1]$  사이 값들을 가진다.

$$NatI_k^{low-\alpha}(x,y) = I_k^{anon}(x,y) \cdot Illum_k(\alpha) \quad (11)$$



[그림 6] 그림 5의 (a)영상으로 생성된 저조도 자연 영상들: (a)  $\alpha = 0.3$ 을 사용한 경우, (b)  $\alpha = 0.5$ , (c)  $\alpha = 0.7$ , (d)  $\alpha = 0.9$

[Fig. 6] Low-illuminated images produced by image in Fig.5(a): (a) a low-illuminated image with  $\alpha = 0.3$ ; (b)  $\alpha = 0.5$ ; (c)  $\alpha = 0.7$ ; (d)  $\alpha = 0.9$ .

그림 6은 식(10)과 (11)을 사용하여 그림 5의 (a)영상을  $\alpha$  단계의 저조도 자연 영상으로 생성한 일부분이다. 그림 6의 (a)영상 생성 시  $\alpha = 0.3$ , (b)는  $\alpha = 0.5$ , (c)는  $\alpha = 0.7$  그리고 (d)는  $\alpha = 0.9$ 를 사용하였다. 그림 6의 영상들을 통해 조도 변화와 Roscolux 3202 필터의 효과가 단계별로 변화되었음을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 저조도 영상 연구를 위해 분광 데이터에 기반한 확장된 저조도 영상 집합을 생성하였다. 5nm로 보간된 분광 필수 데이터를 사용하여 조도가 스케일링된 단계별 저조도 합성 영상을 52,000개 생성하였고, Ebner의 데이터 집합과 광원의 RGB값을 통해 4,970개의 저조도 자연 영상을 생성하였다.

이 영상 집합의 영상들은 모두 다른 조도 성분을 가진다. 그러나 하나의 저조도 합성 영상에서 전체 픽셀의 조도 성분은 동일하며 각 패치안에서는 반사율 성분 또한 동일하다. 이와 다르게, 하나의 저조도 자연 영상은 전체 픽셀에서 유사한 조도 성분을 가지며, 각 패치안에서는 유사한 반사율 성분을 가진다.

본 논문에서 사용한 영상 합성을 통해 원하는 색상의 패치 생성이 가능하며, 위치 또한 조절할 수 있다. 이는 물리적 영상 형성 모델을 통해 원하는 합성 영상을 생성하는 것이 가능함을 의미한다. 이러한 장점을 통해 저조도에 따른 색상들의 변화와 분포를 객관적이고 정량적으로 분석하는 것이 가능하다.

## References

- [1] Barnard K., Cardei V., and Funt B., "A Comparison of Computational Color Constancy Algorithms-Part I: Methodology and Experiments with Synthesized Data," IEEE Transactions on Image Processing, Vol. 11, No. 9, pp.972-983, 2002 Sept.
- [2] Barnard K., Martin L., Funt B., and Coath A., "A data set for color research," Color Research and Application, Vol. 27, No. 3, pp.148-152, 2002.
- [3] Barnard K. and Funt B., "Camera Characterization for color research," Color Research Application, No. 3, pp.152-163, 2002.
- [4] Ebner M., Color Constancy, WILEY, 1st, 2007.
- [5] Fritsch F.N. and Carlson R.E., "Monotone Piecewise



Cubic Interpolation," SIAM Journal on Numerical Analysis, No. 17, pp.238-246, 1980.

**김 달 현(Dal-Hyoum Kim)**

[정회원]



- 2007년 2월 : 충북대학교 전전컴퓨터공학전공 졸업 (공학사)
- 2009년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학석사)
- 2011년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 박사수로

<관심분야>

색 항등성, 컴퓨터비전, 객체인식 등

**전 병 민(Byoung-Min Jun)**

[정회원]



- 1976년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
- 1979년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학석사)
- 1988년 2월 : 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학박사)
- 1986년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 교수

<관심분야>

디지털 신호처리, 영상처리, 컴퓨터비전

**이 우 램(Woo-Ram Lee)**

[정회원]



- 2003년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학사)
- 2005년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학석사)
- 2007년 2월 ~ 현재 : 충북대학교 컴퓨터공학과 박사수로

<관심분야>

색 항등성, 얼굴 검출, 컴퓨터비전 등

**황 동 국(Dong-Guk Hwang)**

[정회원]



- 1998년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학사)
- 2000년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학석사)
- 2010년 2월 : 충북대학교 컴퓨터공학과 졸업 (공학박사)

<관심분야>

색 항등성, 시각시스템, 객체인식 등