

일반 장면의 정규분포 분석을 기반으로 한 화질 측정 모형

Image Quality Assessment Model of Natural Scene Based on Normal Distribution Analysis

박형주*† · 하동환**

Hyung-Ju Park*† · Dong-Hwan Har**

*중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 디지털/과학사진전공

*Department of Multimedia and Film, Graduate School of Advanced Imaging Science,
Chung-Ang University

**중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 디지털/과학사진전공

**Department of Multimedia and Film, Graduate School of Advanced Imaging Science,
Chung-Ang University

Abstract

In this research, we specify the image consumers' preferred image quality ranges based on objective image quality evaluation factors and follow a method which measures preference of the natural image scenes. In other words, according to No-Reference, we select dynamic range, color, and contrast as factors of image quality measurements. For collecting sample images, we choose the preferred 200 landscapes which have over 30 recommendations by image consumers on the internet photo gallery. According to the scores of three objective factors of image quality measurements, the final expected score which means the image quality preference is measured and its total score is 100 points. In the main test, the actual image sample shows dynamic range 10 stop, LAB mean value L:54.7, A:2.96, B:-15.84, and RSC contrast 376.9. Total 200 image samples' normal distribution z value represents in dynamic range 0.21, LAB mean value L:0.15, A:0.38, B:0.13, and RSC contrast 0.08. In the standard normal distribution table, we can convert the z value as a percentage; dynamic range is 8.32%, LAB mean value is L:5.96%, A:14.8%, B:5.17%, and RSC contrast is 3.19%. And then, we convert the percentage values into the scores of 100; dynamic range is 91.68, LAB mean value is 91.36, and RSC contrast is 96.81. Therefore, we can conclude that the sample image's total mean score is 94.99 based on three objective image quality factors. Throughout our proposed image quality assessment model, we can measure the preference value of natural scenes. Also, we can specify the preferred image quality representation ranges and measure the expected image quality preference.

Key words : Image quality assessment, Dynamic range, Color, Contrast, Preference

† 본 논문은 2013년 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(NRF-2013-32A-G00024)입니다.

† 교신저자 : 하동환 (중앙대학교 첨단영상대학원 영상학과 디지털/과학사진전공)

E-mail : dhhar@cau.ac.kr

TEL : 02-820-5749

요약

본 연구에서는 이미지 감상자가 선호하는 화질의 객관적 평가 항목들의 범위를 구체화하고 실제 이미지를 기반으로 화질의 선호도를 측정하는 방식을 따랐다. 즉, 무기준법(No-Reference)을 기반으로 하고 화질 평가 요소를 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트로 규정하였다. 샘플 사진 수집은 인터넷 갤러리에서 추천수 30회 이상을 기준으로 감상자들이 선호하는 풍경사진 200장의 이미지를 선정하였다. 그리고 세 가지 객관적 화질 평가 항목에 의한 정규분포분석을 통하여 총점을 백점 기준으로 환산하여 최종적으로 예상되는 화질의 선호도를 측정하였다. 본 실험에서 적용한 실제 사진 샘플의 다이내믹 레인지 측정값은 10 stop, LAB 평균은 L:54.7, A:2.96, B:-15.84, RSC 콘트라스트는 376.9로 나타났다. 총 200장 샘플 사진의 정규분포 z값은 다이내믹 레인지가 0.21, LAB 평균이 LAB 평균이 L:0.15, A:0.38, B:0.13, RSC 콘트라스트가 0.08을 나타냈다. 표준정규분포 표에서 위의 z값이 나타날 확률을 상위 백분율로 나타내면 실제 사진 샘플의 다이내믹 레인지는 8.32%, LAB 평균은 LAB 평균은 L:5.96%, A:14.8%, B:5.17%, RSC 콘트라스트는 3.19%를 나타낸다. 즉 화질 평가 모형에 사용된 실제 사진 샘플의 상위 백분율을 100점으로 환산한 다이내믹 레인지는 91.68점, LAB 평균은 91.36점, RSC 콘트라스트는 96.81점이다. 따라서 세 가지 객관적 화질 평가 항목에 의한 총점의 평균은 94.99점으로 나타낼 수 있었다. 즉 본 연구에서 제안한 화질 측정 모형을 통하여 실제 사진 샘플에 대한 선호도를 수치적으로 측정할 수 있었다. 이와 같은 연구를 통하여 이미지 감상자가 선호하는 화질의 재현 성능 범위를 구체화하고 예상되는 화질의 선호도를 수치화하는 실용적인 연구 결과를 제안하였다.

주제어 : 화질 평가, 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트, 선호도

1. 서론

최근 이미지의 객관적 품질과 주관적 콘텐츠를 고려한 화질 평가 관련 연구들이 관심을 받고 있다 (Ritendra et al, 2006; Ritendra et al, 2007; Yan et al, 2006; Congcong & Tsuhan, 2009; Yiwen & Xiaoou, 2008). 이와 같은 이유는 대량의 이미지가 다양한 매체들을 통하여 만들어지고 있으며, 이미지의 소비자들 역시 급격하게 증가하고 있기 때문이다. 즉 여러 매체를 통하여 만들어진 서로 다른 품질의 이미지들에 대한 화질 측정을 최대한 시각적으로 객관적인 평가하는 것이 중요한 화두로 떠올랐다 (Congcong et al, 2010). 또한 사진의 품질을 자동적으로 측정할 수 있으며 시각적으로 높은 미적 수준의 관점에서 화질을 평가할 수 있는 연구들이 크게 관심을 모으고 있는 추세이다 (Wei et al, 2011). 다음 그림 1은 이미지 소비자가 화질을 평가하는 과정의 정보 전달 방식을 도식화 한 것이다. 즉 품질은 측정과 인지의 두 가지 방식으로 전달되며, 측정은 객관적 요소들로 구분되고, 인지는 품질 경험을 바탕으로 의사결정에 따른 품질 순위 혹은 언어화되어 주관적 속성들로 나타난다.

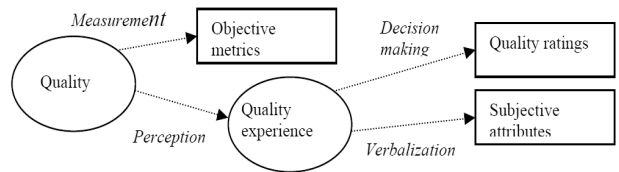


Figure 1. Information delivery system of image quality assessment(Tuomas et al, 2009)

Engeldrum(2004)은 통합 화질 원형 모델(The Complete Image Quality Circle)을 통해 기술 변수로 정의할 수 있는 객관적인 화질 구성 요소, 물리적으로 조정 가능한 파라미터, 소비자의 화질에 대한 인지력, 최종 소비자의 품질 선호도를 기반으로 최종적인 소비자들의 화질 선호도를 평가할 수 있다고 하였다. 이러한 모형화 과정을 통해 도출된 각각의 변수들은 결국 소비자의 화질 선호도와 연관되며 이들은 서로 강한 상관관계를 갖는다. 통합 화질 원형 모델을 통하여 Engeldrum은 소비자들이 선호하는 사진의 품질을 개발자들이 이해하고 제품에 적용할 수 있도록 제안하였다. 하지만 이와 같은 연구는 하나의 통합화된 개념의 모형으로써 실제 소비자의 화질 선호도를 측정할 수 있는 주관적 화질 평가 도구나 객관적 화질 평가의 요소들을 규정하지 못하였다. 또한 현재 진행되고 있는 선행연구들은 객관적 화질 평가와 주관적 화질 평가가 독립된 형

태를 나타내고 있다. 즉, 객관적 화질 평가 특성을 측정하는 실험에서는 규격화된 실험환경과 타겟(Target)을 사용하지만 주관적 화질 평가에서는 실제 이미지를 가지고 선호도를 측정하기 때문이다. 그러므로 객관적 화질 평가와 주관적 화질 평가 간에 상관관계 영향을 분석하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 이미지 소비자가 선호하는 화질의 객관적 평가 항목들인 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트의 값들을 측정하였다. 그리고 측정결과를 수치화하여 정규분포로 나타내고 실제 선호도 높은 이미지와 낮은 이미지를 적용하여 화질을 평가하는 방식의 화질평가모형을 제시하였다. 실제 이미지를 가지고 화질을 평가하는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있으며 다음 표 1과 같다.

Table 1. Method of image quality assessment (Andela et al, 2010)

Items	Contents
Full-Reference (FR)	FR image quality measures based on the difference between original and distorted image.
Reduced-Reference (RR)	RR image quality measures quality of distorted image evaluated based on information extracted from original image.
No-Reference (NR)	NR image quality measures based on the measurement of image distortion at the place of receipt without any knowledge about the original.

Andela et al.(2010)은 객관적 화질평가와 감상자가 지각하는 이미지의 품질에는 상관관계가 있을 것이라는 가정 하에 원본 화질과 왜곡된 화질에 대해 비교하였다. 그러나 본 연구에서는 무기준법(No-Reference)을 기반으로 하여 원본에 대하여 사전정보 없이 이미지의 품질을 측정하는 방식을 선택하였다. 왜냐하면 실제로 일반인들이 선호하는 이미지를 실험변수로 사용하여 이러한 선호도 높은 이미지들은 객관적인 화질 요소들이 유사한 범위 내의 파라미터를 가질 것이라는 가정에 부합하기 때문이다. 본 실험에서는 이미지의 물리적 화질 평가 항목과 인지적 화질 평가 항목 간의 연계 가능한 화질 평가 요소를 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트라고 규정하였다. 왜냐하면 이승배, 정호균, 김상수(2010)는 디지털 이미지의 화질

평가를 물리적인 수치만으로 평가하는 것은 감상자가 실제로 인지하는 화질 성능을 올바르게 평가하지 못한다고 하였다. 또한 인간의 시각각 특성이 반영된 화질 평가 기술이 기존의 화질 측정 방법에서는 적용되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 기존의 물리적인 화질 평가 항목을 인지적 특성을 반영한 화질 평가 항목과 1:1 대응 관계로 적용하여보면 다음 표 2에서와 같이 연계하여 나타낼 수 있다고 하였다. 이러한 연구는 화질 감상자의 인지적 차원에서 디지털 이미지의 화질 평가 방법을 사용하여야 하며 이 방법을 적용하여 물리적인 화질 성능을 측정하여야 한다고 제안하였다.

Table 2. Connection between previous physical image quality factors and cognitive image quality factors (Lee et al, 2010)

Physical image quality factors	Cognitive image quality factors
1. Luminance	1. brightness
2. contrast	2. contrast
3. color reproduction range	3. colorfulness

그리고 박형주와 하동환(2013)은 감상자가 선호하는 콘텐츠별 화질의 재현 성능 범위를 측정하였으나 선호도와 상관관계를 분석하여 화질의 선호도를 수치화하고 측정할 수 있는 방법을 제시하지 못하였다는 점에서 한계를 나타냈다. 따라서 본 연구에서는 화질 측정 결과와 선호도를 통계적으로 분석하기 위하여 정규분포를 도입하여 분석하였다. 인터넷 사진 갤러리에서 추천수 30회 이상을 기준으로 감상자들이 선호하는 풍경사진 200장의 이미지를 선정하였다. 상향식(bottom-up) 방식의 데이터 수집과정을 통하여 각각의 화질 평가 항목들의 데이터를 최대, 최소값을 제외하고 전체범위, 평균, 표준편차, 정규분포화를 거쳐 특정 이미지의 측정값(정규분포의 z 값)을 기준으로 선호도를 백분율로 나타냈다. 세 가지 객관적 화질 평가 항목에 의한 총점을 백점을 기준으로 환산하여 최종적으로 예상되는 화질의 선호도를 측정하였다. 즉 본 연구에서 제안한 실제 이미지의 화질 측정 모형을 통하여 실제 사진 샘플에 대한 사진의 선호도를 수치화

할 수 있었다.

본 연구는 선행연구를 바탕으로 화질평가의 이론적 배경에 대하여 살펴보고 예비실험을 통하여 선호도 높은 이미지의 객관적인 화질 요소들을 측정 한 후, 본 실험에서 정규분포화된 화질측정 결과로 실제 이미지의 선호도를 측정하고자 한다. 이와 같은 연구를 통하여 이미지 감상자가 선호하는 화질의 재현 성능 범위를 구체화하고 예상되는 화질의 선호도를 수치화하는 실용적인 연구 결과를 제안한다.

2. 이론적 배경

최근 사진의 화질을 측정하는 자동화된 프로그램이 다양한 방법을 기반으로 개발되고 있다(He et al, 2009; He et al, 2010; Ke et al, 2006, Datta et al, 2006; Luo & Tang, 2008; Wong & Low, 2009; Jin, et al, 2010). 초기의 이러한 연구들은 이미지의 전반적인 시각적 특성들을 측정하는 방법이었다. 예를 들어 전체 가장자리 분포와 노출을 측정하는 방법이 사용되었다(Luo & Tang, 2008). 그러나 후기의 연구들은 이미지의 전반적 특성보다 메인 피사체 위주의 지역적인 특성들을 측정하고 이러한 결과가 더 좋은 성능의 화질과 연관이 된다는 것을 보여주었다(Luo & Tang, 2008; Wong & Low, 2009; Datta et al, 2006). 왜냐하면 인간은 이미지의 주제 영역을 배경으로부터 구분해서 인지하기 때문이다. 즉, 인간의 시각은 화질을 평가할 때, 가장 주의를 요하는 주제 영역을 먼저 파악하고 분리한 이후, 지역적인 특성을 주제 영역과 분리하여 화질을 평가하기 때문이다(Luo & Tang, 2008).

또한 박형주(2011)는 객관적 화질 평가의 수치와 주관적 선호도의 결과 간의 상관관계는 통계적으로 유의하지 않은 것으로 나타났다. 객관적 화질 평가와 주관적 화질 평가 결과는 항목마다 측정된 수치의 단위가 다르며 이와 같은 이유로 감상자들의 최종적인 선호도 결정에 영향을 미치는 요소들의 상관관계 분석

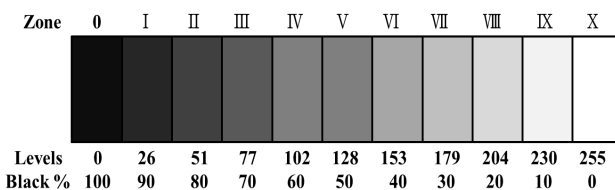


Figure 2. Haynes' digital zone system level values (Haynes & Crumpler, 2004)

이 불가능하다고 판단하였다. 하지만 화질은 객관적 화질 속성과 정신 물리학적 인지 과정의 총체적인 인상이기 때문에 감상자들의 선호도가 높을 때 상응하는 객관적 화질 평가 요소들이 존재한다. 그러므로 객관적 화질 평가 항목들을 주관적 화질 평가 문항으로도 도입하여 일반인들이 사용하는 언어로 표현한다면 감상자의 최종 선호도에 영향을 미치는 요소들 간의 상관관계를 분석할 수 있을 것으로 판단하였다. 즉 객관적 화질 평가 요소들과 선호도를 기반으로 한 주관적 화질 평가 모형을 구축하고 감상자들이 선호하는 화질을 5점 척도로 평가하여 선호도에 어떠한 상관관계를 미치는지 분석하였다(박형주와 하동환, 2012). 그 결과 선호도와 가장 상관관계가 높은 변수는 색재현력, 다이내믹 레인지, 노이즈, 해상도 순서로 나타났다. 하지만 이러한 연구는 실험변수로 사용되기 위해 촬영된 특정 인물사진에 국한되어 실행되었다. 따라서 실제 인터넷상의 선호도 높은 이미지들에 적용할 수 없었다는 한계를 갖고 있으며 통계적인 방법으로 객관적인 선호도를 측정할 수 없었다는 점에서 후속 연구가 필요하였다.

따라서 본 연구에서는 선호도 높은 이미지들의 물리적 화질 평가 항목과 인지적 화질 평가 항목이 연계 가능한 다이내믹 레인지, 콘트라스트, 컬러의 범위를 측정하고 정규분포로 나타냈다. 이와 같은 화질 평가 요소들은 국제표준협회에서 디지털 카메라의 화질 평가 항목으로 규정한 객관적 화질 평가 항목들이다.

2.1. 다이내믹 레인지 측정

인간의 시각이 톤(Tone)을 구별할 수 있는 능력을 다이내믹 레인지 또는 톤의 범위(Tonal Range)라고 한다. 톤은 특정 부분의 밝기를 의미하며 다이내믹 레인지는 하나의 이미지 시스템에서 다른 시스템으로의 관계를 상대적으로 측정할 때 사용된다(손영호, 2006). 또한 디지털 카메라의 다이내믹 레인지란 입력되는 신호를 안정적으로 표현할 수 있는 가장 밝은 곳에서부터 어두운 곳까지의 범위를 말하며, 디지털 카메라로 표준화된 타깃을 촬영하고 그 값을 측정하여 F-stop이나 EV(Exposure Value) 단위로 나타낸다. 이러한 내용은 ISO 14524(2005)에서 디지털 카메라의 입력신호 값과 출력레벨 간의 관계를 광전변환함수(Opto-Electronic Conversion Function)를 통하여 규격화

되어있다.

본 연구에서는 실제 사진 장면의 다이내믹 레인지 측정을 위해서 Haynes & Crumpler(2004)의 디지털 존 시스템을 적용하였다. 위의 그림 2는 8비트 이미지의 256단계를 약 25단계씩 나누어 존시스템을 적용하고 피사체의 휘도와 레벨의 관계를 일정한 간격으로 배치한 것이다. 그리고 노출의 기준을 ZONE V로 지정하고 레벨을 128이 되도록 설정하였다. 또한 노이즈는 다이내믹 레인지에 영향을 줄 수 없다는 가정 하에 실험을 진행하였다. 본 연구에서 나타내는 다이내믹 레인지는 입력 RGB의 밝기 값을 의미하며 MATLAB을 기반으로 개발한 Lab color info ver.1.0로 측정하였다. 이 프로그램에서 히스토그램을 측정하는 방식은 전체 L개의 밝기 레벨을 갖으며 범위 [0, G]를 갖는 영상의 히스토그램은 다음 수식 1과 같은 불연속 함수로 정의한다.

$$h(r_k) = n_k \quad (\text{식 1})$$

r_k 는 구간 [0,G]의 k번째 밝기 레벨이며, n_k 는 영상에서 밝기 레벨이 r_k 인 화소수이다. r_1 은 밝기 레벨 0, r_L 은 밝기 레벨 G이다. $h(r_k)$ 의 모든 요소들을 영상의 전체 화소수(n)으로 나누어 계산한다[수식 2 참조].

$$p(r_k) = \frac{h(r_k)}{n} \quad (\text{식 2})$$

$k=1,2,\dots,L$ 이며, $p(r_k)$ 가 밝기 레벨 r_k 의 추정 발생 확률이다. 히스토그램의 함수는 imhist이며, 다음 수식 3과 같다.

$$h = \text{imst}(f, b) \quad (\text{식 3})$$

f는 입력영상, h는 히스토그램, b는 히스토그램 형성에 사용된 빈(bin)의 수이다. 정규화된 히스토그램은 다음 수식 4에 의해 구한다.

$$p = \text{imhist}(f, b) / \text{numel}(f) \quad (\text{식 4})$$

함수 numel(f)는 배열 f의 요소 수, 즉 영상의 화소수이다. 다음 그림 3은 Lab color info ver.1.0에서 이미지의 히스토그램을 측정하는 예시이다.

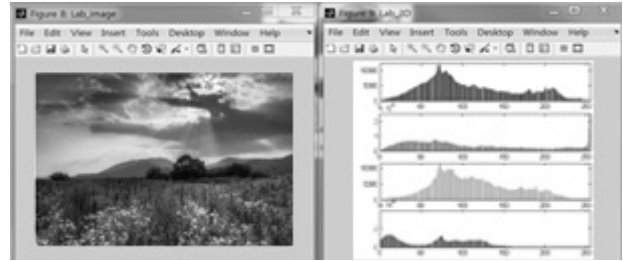


Figure 3. Histogram measurement sample in Lab color info ver.1.0

2.2. 컬러 측정

1976년 국제조명위원회 (International Commission on Illumination)는 광원과 관찰자의 정보를 표준화시키고, 관찰자가 표준광원에서 관찰하는 색을 수치화시킨 대표적 균등 색공간인 CIE LAB를 발표하였다. CIE LAB는 인간이 색채를 감지하는 노랑-파랑, 빨강-초록이라는 헤링의 반대색설을 기초로 하여 인간 감성에 접근하기 위해 연구된 결과로써 색의 오차와 색의 차이를 표현할 수 있다. CIE Lab에서의 색좌표는 L^* , a^* , b^* 로 표시하게 되며 L^* 는 밝고 어두움의 명도 범위를 나타내며, a^* 는 Red와 Green의 정도, b^* 는 Yellow와 Blue의 정도를 나타내는 입체좌표이다. a^* 와 b^* 의 거리가 작아지면 작아질수록 중앙으로 이동하며, 중앙은 무색이다. 실제 장면의 컬러 측정은 본 연구에서 MATLAB을 기반으로 개발한 Lab color info ver.1.0에서 이루어졌다. 이 프로그램은 이미지의 RGB 데이터를 XYZ로 변환한 후, LAB로 변환하는 과정을 거친다. XYZ 색 공간은 RGB 색공간으로부터 선형변환을 통해 얻을 수 있으며, 모든 값이 양수를 갖으며 이를 구하는 방법은 다음 수식 5와 같다.

$$\begin{bmatrix} R_{lab} \\ G_{lab} \\ B_{lab} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3.2406 & -1.5372 & -0.4986 \\ -0.9689 & 1.8758 & 0.0415 \\ 0.0557 & -0.2040 & 1.0570 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}$$

이때, CIE xyY의 색공간의 x,y 는 색좌표이며 Y는 휘도이다. 이것은 CIE XYZ로 변환되어야하고 다음 과정을 거친다.

$$\begin{aligned} X &= Yx/y \\ Z &= Y(1-x-y)/y \end{aligned} \quad (\text{식 5})$$

그리고 $R_{|ar}$, $G_{|ar}$, $B_{|inaer}$ 는 색역내에서 [0,1]의 범위를 갖으며 흰색은 (1,1,1)이며, CIE 1931 2° 표준 관찰자의 D65 흰색은 (X,Y,Z=0.9505, 1.0000, 1.0890)이다.

위의 식 5로부터 구한 XYZ 값을 장치 독립적인 균등한 색공간 LAB로 나타내기 위하여 다음 수식 6을 사용하였다.

$$\begin{aligned}
 L^* &= 116f(Y/Y_n) - 16 \\
 a^* &= 500[f(X/X_n) - f(Y/Y_n)] \\
 b^* &= 200[f(Y/Y_n) - f(Z/Z_n)]
 \end{aligned}
 \tag{6}$$

where,

$$f(t) = \begin{cases} t^{1/3} & \text{if } t > (\frac{6}{29})^3 \\ \frac{1}{3}(\frac{29}{6})^2 t + \frac{4}{29} & \text{otherwise} \end{cases}$$

여기서 X_n, Y_n, Z_n 은 CIE XYZ의 정규화된 백색점 기준의 삼자극의 값이다.

측색하고자하는 장면의 특정 부분을 직접 선택할 수 있으며, Lab의 데이터 값으로 3차원 그래프화 할 수 있다. 또한 동일 장면의 Lab 색공간 비교와 랜덤 장면의 색공간을 표현 가능하다. 다음 그림 4는 본 연구에서 컬러를 측정하는 예시이다.

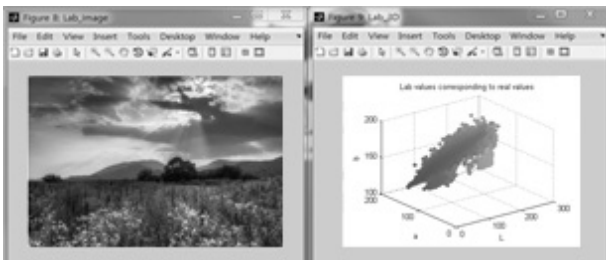


Figure 4. Color measurement sample in Lab color info ver.1.0

2.3. 콘트라스트 측정

디지털 이미지의 콘트라스트는 컬러와 더불어 화질을 결정하는 중요한 요소이다. 콘트라스트는 해상도, 관찰거리, 조명조건, 이미지의 콘텐츠, 기억색 등의 영

향을 받으며, 단순히 명암의 대비 수치만을 측정하는 것은 감상자의 이미지에 대한 전반적인 인상을 반영하지 못한 화질 측정 방법이다. 따라서 본 연구에서 측정하는 콘트라스트는 감상자가 인지하는 지각적 콘트라스트(Perceptual Contrast)를 의미하며, 측정 방법으로는 RSC(Retinal - like Subsampling Contrast)를 사용하였다(Rizzi et al, 2008). 이러한 RSC 콘트라스트 알고리즘의 정확성을 검증하기 위하여 일반인과 전문가의 주관적 콘트라스트 화질 평가를 실행하여 상관관계를 분석한 결과, 상관계수가 0.84로 나타나 정확도가 매우 높은 콘트라스트 측정 방법이라 판단할 수 있었다(Simone et al, 2012). 또한 RSC 콘트라스트 측정 방법은 인간의 시지각(Human Visual System) 알고리즘을 기반으로 하고 장면의 국부적 정보(Local Information)와 전체적인 인상(Global Impression)을 고려한 측정 방법이다. RSC 콘트라스트 측정 알고리즘은 CIE LAB를 기반으로 이미지의 밝기 및 컬러 특성을 고려한다. 즉, CIE LAB 색공간의 색도좌표값 a^* , b^* 를 반영하며 수식 3에서 확인할 수 있다. 다음 수식 7은 RSC 콘트라스트 측정 알고리즘을 나타낸다(Simone et al, 2012).

$$\begin{aligned}
 RSC_c &= \frac{1}{\#liv} \sum_l \left[\frac{1}{m^{(l)}n^{(l)}} \sum_i DOG^{(l)}(i) \right] \\
 DOG &= C_3 = \frac{R_c(x,y) - R_s(x,y)}{R_c(x,y) + R_s(x,y)}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

$$RSC = \alpha \cdot RSC_L^* + \beta \cdot RSC_a^* + \gamma \cdot RSC_b^*$$

c 는 RGB 각 채널을 의미하며, DOG 는 Difference Of Gaussian, l 은 레벨 값, $m^{(l)}$ 과 $n^{(l)}$ 은 가로와 세로의 레벨 값, R_s 는 Gaussian 중심요소의 너비, R_c 는 주변요소의 너비, x, y 는 픽셀의 좌표, $L^*a^*b^*$ 는 CIE $L^*a^*b^*$ 의 색공간 좌표의 값, α, β, γ 는 각 채널에 가중되는 상수이다. 본 실험의 RSC 콘트라스트는 그 수치가 높을수록 콘트라스트가 높다는 것을 의미한다. 즉 콘트라스트가 없고 디테일이 없는 중성회색의 경우, RSC 콘트라스트는 1로 나타나게 된다. 다음 그림 5는 본 연구에서 선행연구를 기반으로 MATLAB으로 구현한 RSC 콘트라스트 측정 프로그램의 실제 장면 측정 예시이다.

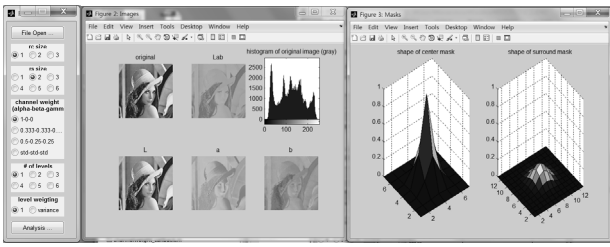


Figure 5. RSC contrast algorithm measurement and sample window

3. 본론

3.1. 예비실험

3.1.1. 화질 측정 실험 설계

본 연구는 감상자들이 선호하는 이미지들은 객관적인 화질 요소들이 유사한 범위 내의 파라미터를 가질 것이라는 가정을 하였다. 그리하여 예비실험에서는 선행연구를 기반으로 한 디지털 이미지의 물리적 화질 평가 항목과 인지적 화질 평가 항목 간의 연계가 가능한 화질 평가 요소를 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트라고 선정하였다(박형주와 하동환, 2013). 그리고 인터넷 사진 갤러리에서 무작위로 감상자들이 선호하는 100장의 이미지를 선정하여 객관적 화질 평가 항목들을 측정하였다. 이러한 항목들은 본 연구에서 개발한 프로그램을 활용하여 히스토그램의 레벨 값, LAB 평균값, RSC 콘트라스트를 측정하였다. 다음 그림 6은 예비실험의 설계이다.

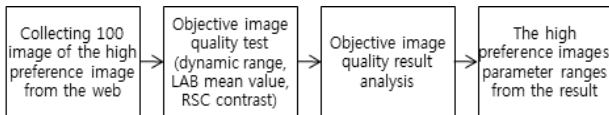


Figure 6. Pilot test design

3.1.2. 예비실험 결과

다음 표 3은 예비실험의 객관적 화질 평가 요소들의 값을 측정 후, 최댓값과 최솟값을 제외한 사진 100장의 평균을 도출한 결과이다. 감상자의 선호도가 높은 100장 이미지 총 범위는 다이내믹 레인지(6~10stop), LAB평균(L:17~81, A:-42.5~67, B:-85.7~91.37),

RSC 콘트라스트(100~778)을 나타냈다. 평균은 다이내믹 레인지 9.43(표준편차 0.94), LAB 평균(L:54.69(표준편차 36.2), A:-1.99(표준편차 27.18, B:-11.68(표준편차 65.39), RSC 콘트라스트 355.57(표준편차 107.83)을 나타냈다.

선호도 높은 실험 이미지들의 다이내믹 레인지는 1~10 stop까지의 범위 내에서 평균 9.43 stop으로 넓은 다이내믹 레인지를 나타냈다. RSC 콘트라스트는 247.72~463.4의 값이 가장 많이 나타난 것을 알 수

Table 3. Total results of parameter analysis

Items	Dynamic range	LAB mean			RSC contrast
		L	A	B	
Total range	6~10 stop	L	A	B	100~778
		17~81	-42.5~67	-85.7~91.37	
Mean	9.43	L	A	B	355.57
		54.79	-1.99	-11.68	
Standard deviation	0.94	L	A	B	107.83
		36.2	27.18	65.39	

Table 4. Main test application based on pilot test

Pilot test	Main test application
Tendency of wide dynamic range and widest color and contrast ranges	To measure the specific preference range of color and contrast, we select the main test images based on contents.
100 high preference images based on no-reference(NR) are used for image quality measurement.	We gather 400 images of no-reference to increase data samples.
Necessity of the high preference image content specification based on bottom-up process	Image content specification by bottom-up: landscape
Dynamic range, RGB mean, RSC contrast statistic analysis	Normal distribution database of each image quality measurement item

있었다. 즉 감상자가 선호하는 이미지들의 특성은 다이내믹 레인지가 넓은 경향을 보이며, 컬러와 콘트라스트의 범위가 매우 넓게 나타나는 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 본 실험에 사용될 이미지들의 콘텐츠별 세분화를 통하여 컬러와 콘트라스트의 구체적인 선호 범위를 측정할 필요성이 있다는 것을 의미하였다. 따라서 예비실험 결과를 바탕으로 본 실험에서의 이미지 선정은 콘텐츠에 따라 영향을 받는 인물사진과 비인물 사진인 풍경사진으로 구분하였다.

3.1.3. 예비실험을 기반으로 한 본 실험의 설계

본 실험에서는 예비실험에서 도출된 내용을 반영하여 연구의 효율성을 높이고자 하였다. 예비실험 결과를 통하여 위의 표 4과 같은 내용을 확인할 수 있었으며, 본 실험의 주관적 화질 평가 모형에 적용할 개선 방안을 도출할 수 있었다.

3.2. 화질 측정 실험 설계

3.2.1. 실험 이미지 선정

일반인들이 선호하는 디지털 이미지를 수집하기 위하여 인터넷 사이트의 사진 갤러리에서 추천수 30회 이상의 풍경사진 200장(예비 실험과 중복된 이미지 제외)을 수집하였다. 이러한 사진 갤러리는 감상자들의 선호도를 파악할 수 있도록 사진에 추천수를 조회할 수 있다. 또한 이러한 기준을 바탕으로 선정된 이미지는 디지털카메라로 일반인들이 일반인들을 대상으로 촬영된 영상으로 한정하였다. 일이는 실험에 사용된 사진 화질의 일반화와 콘텐츠의 다양성 확보를 위하여 실행하였다.

3.2.2. 본 실험의 객관적 화질 평가 프로그램 개발

본 연구에서는 선행연구를 기반으로 하여 디지털 이미지의 물리적 화질 평가 항목과 인지적 화질 평가 항목 간의 연계 가능한 화질 평가 요소를 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트라고 선정하였다. 이러한 항목들은 MATLAB을 기반으로 화질 평가 프로그램으로 개발되었다. 히스토그램의 레벨 값과 CIE LAB 정보를 활용하여 다이내믹 레인지, 컬러, RSC 콘트라스트

값을 측정할 수 있도록 구현되었다.

3.2.3. 통계 결과 분석

본 연구에서 개발한 프로그램으로 측정된 실험에서 결과 값을 통계 분석 프로그램 PASW Statistic18을 사용하여 분석하였다. 기술 통계 방법을 이용하여 전체 범위, 평균, 표준편차, 각 항목에 따른 정규분포를 측정하였다. 정규분포는 음과 양의 무한대 사이의 연속확률 변수의 분포로 μ 와 σ 두 개의 모수에 의해 특징지어진다. 확률밀도함수는 다음 수식 8과 같이 나타낸다.

$$f(x; \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (\text{식 } 8)$$

$$-\infty < \mu < \infty, \sigma > 0$$

수식 8과 같은 확률분포를 평균 μ 와 분산 σ^2 (또는 표준편차 σ)를 갖는 정규분포(normal distribution)라 하고, $X \sim N(\mu, \sigma^2)$ 으로 나타낸다. 본 연구에서 선호도 x 가 평균 μ 로부터 얼마나 떨어져있는지를 표준편차 σ 의 곱으로 보여준다. 만약 Z 가 3이라면 x 가 μ 로부터 3σ 만큼 떨어져있다는 것을 의미한다[수식 9 참조]. 그리고 이것을 정규분포도에서 수치화한 후 그 확률을 일반 감상자들의 선호도라고 가정하였을 때 환산 확률은 약 0.13%라고 할 수 있다.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \quad (\text{식 } 9)$$

3.3. 화질 측정 실험 결과

3.3.1. 풍경사진 결과 분석

200장의 선호도 높은 풍경사진을 수집하여 다이내믹 레인지, LAB 평균, RSC 콘트라스트를 측정하였다. 주로 낮의 풍경, 일출, 일몰, 야경사진을 위주로 선정하였으며, 최댓값과 최솟값을 제외한 평균값과 그 범위, 표준편차를 계산하였다. 다음 표 5는 풍경사진의 파라미터 분석 결과이다.

Table 5 Landscape parameter analysis results

Items	Dynamic range	LAB mean			RSC contrast
		L	A	B	
Total range	5.89~10 stop	L	A	B	118.2 ~758.9
		24.91 ~76.3	-39.6 ~49.52	-69.5 ~82.5	
Mean	9.71 stop	L	A	B	367.2
		51.38	-9.37	-24.65	
Standard deviation	1.36	L	A	B	118.3
		22.73	32.84	67.5	

다이내믹 레인지의 전체 범위는 5.89~10 stop이며, 평균은 9.71, 표준편차는 1.36로 나타났다. LAB 평균의 전체 범위는 L:24.91~76.3, A:-39.6~49.52, B:-69.5~82.5, 평균은 L:51.38, A:-9.37, B:-24.65, 표준편차는 L:22.73, A:32.84, B:67.5로 나타났다. RSC 콘트라스트의 전체 범위는 118.2~758.9, 평균은 367.2, 표준편차 118.3로 나타났다. 이와 같은 각각의 측정값이 정규분포를 따르는지 통계적으로 분석하였다. 다음 그림 10, 그림 11, 그림 12, 그림 13, 그림 14는 풍경사진의 다이내믹 레인지, LAB 평균, RSC 콘트라스트의 측정 결과로 정규분포화한 후, 그래프로 나타낸 것이다.

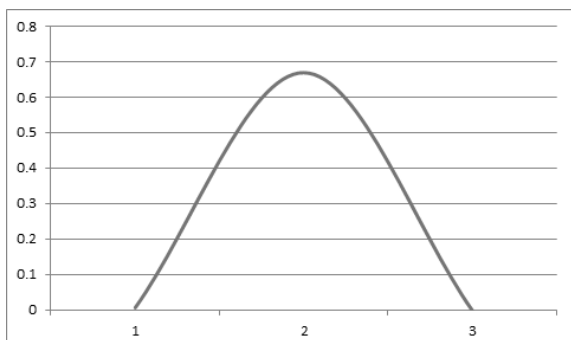


Figure 10. Landscape dynamic range normal distribution graph

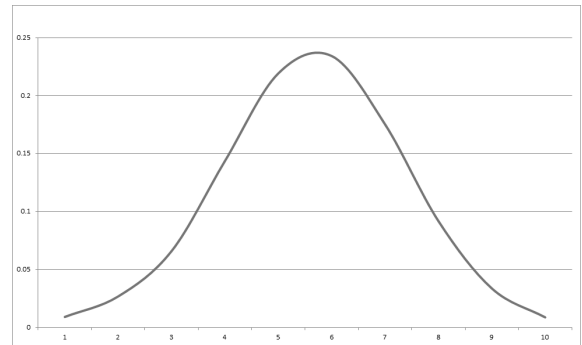


Figure 11. Landscape L mean normal distribution graph

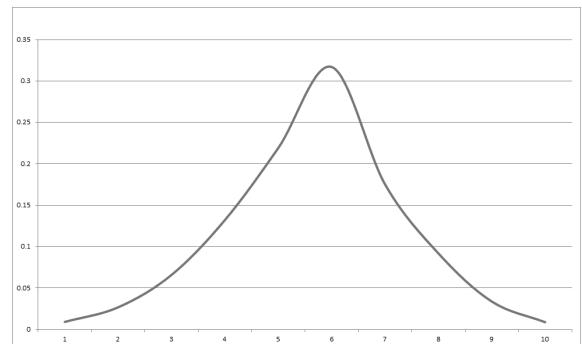


Figure 12. Landscape A mean normal distribution graph

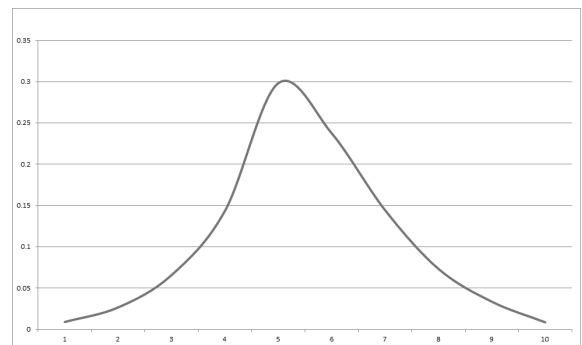


Figure 13. Landscape B mean normal distribution graph

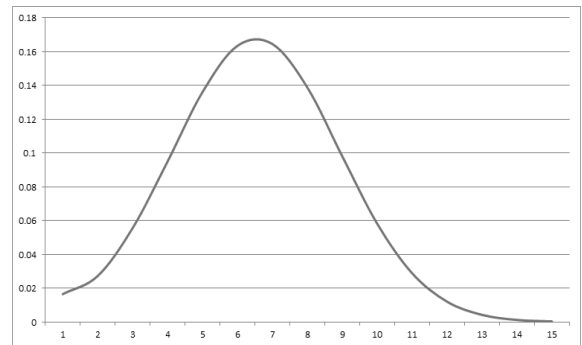


Figure 14. Landscape RSC contrast normal distribution graph

그림 10은 풍경사진의 다이내믹 레인지 측정값의 정규 분포를 나타낸 것이다. 그래프의 중간 값인 평균 (μ) 9.71 stop을 기준으로 표준편차(σ) 1.36으로 규정

되는 정규분포형태의 그래프를 나타냈다. 그림 11, 그림 12, 그림 13은 LAB 평균을 측정된 결과이며 그래프의 중간 값인 평균(μ) L:51.38, A:-9.37, B:-24.65를 기준으로 표준편차(σ) L:22.73, A:32.84, B:67.5로 규정되는 정규분포형태를 나타냈다. 또한 그림 14도 RSC 콘트라스트의 측정 결과는 평균(μ) 367.2을 기준으로 표준편차(σ) 118.3의 정규분포를 나타냈다.

4. 실제 화질 측정 모형 제안

본 연구에서는 일반적인 실제 장면의 이미지의 선호도를 측정하기 위하여 다음 그림 15와 같은 실제 장면의 화질 측정 모형을 제안하였다. 이와 같은 화질 평가 모형은 일반인들이 선호하는 이미지의 선호도를 측정하기 위하여 인터넷의 사진 갤러리에서 추천수 30회 이상의 풍경사진을 200장을 수집하였고 콘텐츠의 내용에 따라 감상자의 선호도에 영향을 미칠 수 있는 이미지들을 배제하기 위하여 콘텐츠의 내용이 부정적이지도 긍정적이지도 않은 중립적인 풍경사진을 샘플로 사용하였다. 그리고 200장 풍경사진의 다이내믹 레인지, LAB 평균, RSC 콘트라스트를 최대, 최솟값을 제외하고 전체범위, 평균, 표준편차, 정규분포화를 거쳐 특정 이미지의 측정값을 기준으로 선호도를 백분율화 하였다.

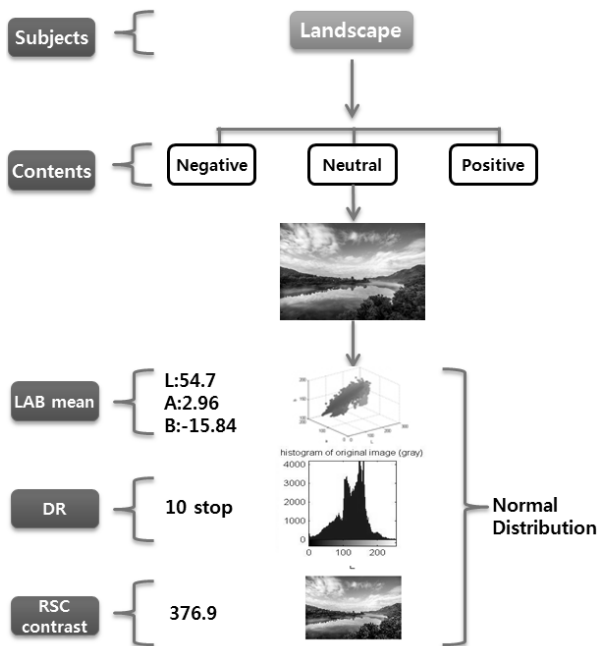


Figure 15. Main test design

4.1. 선호도 높은 풍경사진 결과 분석

다음의 표 6은 본 연구에서 제안하는 실제 사진의 화질 평가 모형을 통하여 도출된 풍경사진의 측정값, 평균, 표준편차, 정규분포 z값, z값에 의한 표준정규분포 값, 단측검정에 의한 확률을 나타낸 것이다.

실제 사진 샘플의 다이내믹 레인지 측정값은 10

Table 6. High preference landscape parameter analysis results

Landscape	Dynamic range	LAB mean			RSC contrast
		L	A	B	
values	10	L	A	B	376.9
		54.7	2.96	-15.84	
mean	9.71	L	A	B	367.2
		51.38	-9.37	-24.65	
standard deviation	1.36	L	A	B	118.3
		22.73	32.84	67.5	
Normalized distribution z value	0.21	L	A	B	0.08
		0.15	0.38	0.13	
Standard normal distribution	0.0832	L	A	B	0.0319
		0.0596	0.148	0.0517	
One-tailed test probability	8.32%	L	A	B	3.19%
		5.96%	14.8%	5.17%	


stop, LAB 평균은 L:54.7, A:2.96, B:-15.84, RSC 콘트라스트는 376.9로 나타났다. 총 200장 이미지들의 평균 다이내믹레인지는 9.71(표준편차 1.36), LAB 평균은 L:51.38(표준편차 22.73), A:-9.37(표준편차 32.84), B:-24.65(표준편차 67.5), RSC 콘트라스트는 367.2(표준편차 118.3)으로 나타났다. 샘플 사진의 정규분포 z값은 수식 3에 의하여 측정하였으며, 다이내믹 레인지가 0.21, LAB 평균은 L:0.15, A:0.38, B:0.13, RSC 콘트라스트가 0.08을 나타냈다. 표준정규분포도에서 위의 z값을 찾아보면 다이내믹 레인지가 0.0832, LAB 평균이 L:0.0596, A:0.148, B:0.0517, RSC 콘트라스트가 0.0319로 나타났다. 이러한 z값이 나타날 확률을 상위 백분율로 나타내면 실제 사진 샘플의 다이내믹 레인지는 8.32%, LAB 평균은 L:5.96%, A:14.8%, B:5.17%, RSC 콘트라스트는 3.19%를 나타낸다. 즉 화질 평가 모형에 사용된 실제 사진 샘플의 상위 백분율을 100점으로 환산한 다이내믹 레인지는 91.68점, LAB 평균은 91.36점, RSC 콘트라스트는 94.99점이다. 따라서 세 가지 객관적 화질 평가 항목에 의한 총점의 평균은 93.78점으로 환산할 수 있었다. 즉 본 연구에서 제안한 화질 측정 모형을 통하여 실제 사진 샘플에 대한 사진의 선호도를 측정할 수 있었다.

4.2. 선호도 낮은 풍경사진 결과 분석

다음의 표 7은 표 6에 비하여 상대적으로 선호도가 낮은 풍경사진의 화질 평가 분석을 나타낸 것이다.

다이내믹 레인지 측정값은 8.21 stop, LAB 평균은 L:38.2, A:-33.8, B:-57.2, RSC 콘트라스트는 523.9로 나타났다. 총 200장 이미지들의 평균 다이내믹레인지는 9.71(표준편차 1.36), LAB 평균은 L:51.38, A:-9.37, B:-24.65, RSC 콘트라스트는 367.2(표준편차 118.3)으로 나타났다. 샘플 사진의 정규분포 z값은 수식 9에 의하여 측정하였으며, 다이내믹 레인지가 1.1, LAB 평균이 L:0.58, A:0.74, B:0.48, RSC 콘트라스트가 1.33을 나타냈다. 표준정규분포 z값은 다이내믹 레인지가 0.3643, LAB 평균이L:0.219, A:0.2704, B:0.1844, RSC 콘트라스트가 0.4082로 나타났다. 이러한 z값이 나타날 확률을 상위 백분율로 나타내면 실제 사진 샘플의 다이내믹 레인지는 36.43%, LAB 평균은 L:21.9%, A:27.04%, B:18.44%, RSC 콘트라스트는 40.82%를 나타낸다. 상위 백분율을 100점으로 환산한 다이내믹 레

Table 7. Low preference landscape parameter analysis results



Landscape	Dynamic range	LAB mean			RSC contrast
		L	A	B	
values	8.21	38.2	-33.8	-57.2	523.9
mean	9.71	51.38	-9.37	-24.65	367.2
standard deviation	1.36	22.73	32.84	67.5	118.3
Normalized distribution z value	1.10	L	A	B	1.33
		0.58	0.74	0.48	
Standard normal distribution	0.3643	L	A	B	0.4082
		0.219	0.2704	0.1844	
One-tailed test probability	36.43%	L	A	B	40.82%
		21.9%	27.04%	18.44%	

인지는 63.53점, LAB 평균은 L:78.1, A:72.96, B:81.56 점, RSC 콘트라스트는 59.18점이다. 따라서 세 가지 객관적 화질 평가 항목에 의한 총점의 평균은 66.75점으로 환산할 수 있었다. 이와 같은 결과는 실제 이미지의 선호도를 정규분포를 통해 측정할 수 있음을 의미하고 이미지 간의 상대적인 선호의 정도를 수치화할 수 있는 가능성을 보여주었다.

5. 결론

최근 다양한 매체들을 통하여 생산된 사진 이미지들이 급증하고 있으며 이미지의 소비자들 역시 증가하고 있는 추세이다. 이에 관련 연구들은 이미지의 객관적 품질과 주관적 콘텐츠를 고려하여 화질을 평가하고 있다. 따라서 본 연구에서는 이미지 감상자가 선호하는 실제 화질의 객관적 평가 항목들의 범위를 구체화하고 실제 이미지를 기반으로 화질을 평가하는 방식을 따랐다. 즉, 무기준법을 기반으로 하여 원본에 대하여 사전정보 없이 이미지의 품질을 측정하는 방식을 선택하였다. 또한 이미지의 물리적 화질 평가 항목과 인지적 화질 평가 항목 간의 연계 가능한 화질 평가 요소를 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트라고 선정하였다. 데이터 수집을 위하여 인터넷 사진 갤러리에서 추천수 30회 이상을 기준으로 감상자들이 선호하는 풍경사진 200장의 이미지를 선정하였다. 상향식 방식의 데이터 수집과정을 통하여 각각의 화질 평가 항목들의 데이터를 최대, 최소값을 제외하고 전체 범위, 평균, 표준편차, 정규분포화를 거쳐 특정 이미지의 측정값(정규분포의 z 값)을 기준으로 선호도를 백분율로 나타냈다. 그리고 세 가지 객관적 화질 평가 항목에 의한 총점을 백점을 기준으로 환산하여 최종적으로 예상되는 화질의 선호도를 측정하였다.

본 연구에서 실제 선호도 높은 풍경사진 샘플의 다이내믹 레인지 측정값은 10 stop, LAB 평균은 L:54.7, A:2.96, B:-15.84, RSC 콘트라스트는 376.9로 나타났다. 총 200장 샘플 사진의 정규분포 z 값은 다이내믹 레인지가 0.21, LAB 평균이 L:0.15, A:0.38, B:0.13, RSC 콘트라스트가 0.08을 나타냈다. 표준정규분포 표에서 위의 z 값을 찾아보면 다이내믹 레인지가 0.0832, LAB 평균은 L:0.0596, A:0.148, B:0.0517, RSC 콘트라스트가 0.0319로 나타났다. 이러한 z 값이 나타날 확률을 상위 백분율로 나타내면 실제 사진 샘플의 다이내믹 레인지는 8.32%, LAB 평균은 L:5.96%, A:14.8%, B:5.17%, RSC 콘트라스트는 3.19%를 나타낸다. 즉 화질 평가 모형에 사용된 실제 사진 샘플의 상위 백분율을 100점으로 환산한 다이내믹 레인지는 91.68점, LAB 평균은 91.36점, RSC 콘트라스트는 96.81점이다. 따라서 세 가지 객관적 화질 평가 항목에 의한 총점의 평균은 94,99점으로 나타낼 수 있었다. 즉 본 연구에서 제안한 화질 측정 모형을 통하여 실제 사진 샘플

플에 대한 선호도를 수치적으로 측정할 수 있었다.

하지만 이와 같은 실험 결과는 샘플 사진이 수집된 환경, 지역, 인종, 나이, 성별, 교육정도, 배경지식 등에 따라 그 결과가 다르게 나타날 수 있다. 본 연구에서는 우리나라 인터넷의 사진 갤러리에서 일반인들이 추천한 인물사진과 풍경사진을 위주로 실험하였다. 그러나 특정 이미지는 콘텐츠에 따라 선호도에 영향을 받을 수 있다. 즉 이미지의 내용에 따라 감상자의 배경지식이나 선호도가 영향을 받을 수 있기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 이미지 콘텐츠 영향을 최소화하기 위하여 이미지의 내용이 감상자의 개인적 배경에 의해 평가되지 않을 중립적(Neutral)인 이미지들을 선정하였다. 이미지의 콘텐츠가 중립적이라는 것은 감상자가 실험 이미지를 받아들였을 때, 직관적으로 어떠한 긍정이나 부정의 느낌 없이 객관적으로 판단 가능한 이미지를 의미한다. 이와 같은 이유는 감상자가 이미지의 콘텐츠를 보고 개인적인 감정이나 배경지식, 또는 기억색 등에 의하여 이미지를 판단하고 선호도에 영향을 미치는 것을 방지하기 위해서이다.

이와 같은 연구를 통하여 이미지 감상자가 선호하는 객관적 화질의 재현 성능 범위를 정규분포화 하고 예상되는 화질의 선호도를 수치화하는 실용적인 연구 결과를 제안하였다. 또한 후속 연구를 통하여 하나의 통합화된 측정 틀을 개발하고 화질 측정의 속도 개선과 일관성을 향상시켜 실제 제품 개발에 반영될 수 있기를 기대한다.

REFERENCES

- Andela Z., Matej L., Dijana T., Maja B., Emil D., Sonja G. (2010). Image Quality Assessment - Comparison of Objective Measures with Results of Subjective Test, 52nd International Symposium ELMAR.
- Congcong L., and Tsuhan C. (2009). Aesthetic visual quality assessment of paintings, *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 3, no. 2, 236-252.
- Congcong L., Andrew G., Alexander C. L., and Tsuhan C. (2010). Aesthetic quality assessment of consumer photos with faces, In *Proceeding of*

- International conference of image processing.
- Datta R., Joshi D., Li J., and Wang J. (2006). Studying aesthetics in photographic images using a computational approach, In Proceeding of European Conference on Computer Vision Graz.
- He K., Sun J., and Tang X. (2009). Single image haze removal using dark channel prior, In Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- He. K., Sun J., and Tang X. (2010). Single image haze removal using dark channel prior, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence.
- Haynes B. and Crumpler W. (2004). Photoshop CS Artistry, Indianapolis: NewRiders.
- Hyung P. and Dong H. (2011). Correlation research between objective and subjective image quality assessment(객관적 화질 평가와 주관적 화질 평가의 상관관계 연구), *Journal of the Korea contents association*, vol. 11, no. 8, 68-76.
- Hyung P. and Dong H. (2012). Objective image quality measurement model(객관적 화질 평가 방법에 관한 연구), *Journal of the Korea contents association*, vol. 12, no. 8, 87-95.
- Hyung P. and Dong H. (2013). Optimum parameter ranges on highly preferred images: focus on dynamic range, color, and contrast(선호도 높은 이미지의 최적 파라미터 범위 연구 : 다이내믹 레인지, 컬러, 콘트라스트를 중심으로), *Journal of the Korea contents association*, vol. 13, no. 1, 9-18.
- ISO 14524 (2005). Photography-Electronic Still-picture Cameras-methods for measuring Opto- Electronic Conversion Functions (OECFs), International Standard Organization.
- Jin X., Zhao M., Chen X., Zhao Q., and Zhu S. (2010). Learning Artistic Lighting Template from Portrait Photographs, In Proceeding of European Conference on Computer Vision Graz.
- Ke Y., Tang X., and Jing F. (2006). The design of high-level features for photo quality assessment, In Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Luo Y. and Tang X. (2008). Photo and video quality evaluation: Focusing on the subject, In Proceeding of European Conference on Computer Vision Graz.
- Engeldrum P. G. (2004). A Theory of Image Quality: The Image Quality Circle, *Journal of Imaging Science and Technology*, 48(5), 446-456.
- Ritendra D., Dhiraj J., Jia L., and James Z. W. (2006). Studying aesthetics in photographic images using a computational approach, In Proceeding of European Conference on Computer Vision Graz.
- Ritendra D., Dhiraj J., Jia L., and James Z. W. (2007). Learning the consensus on visual quality for next-generation image management, In Proceeding of MULTIMEDIA.
- Rizzi A., Simone G., and Cordone R. (2008). A modified algorithm for perceived contrast in digital images, Fourth European Conference on Color in Graphics, Imaging and Vision, 249-252.
- Simone G., Pedersen M, and Hardeberg J. Y. (2012). Measuring perceptual contrast in digital images, *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol.25, Issue 1, 491-506.
- Tuomas L., Jenni R., Toni V., Raisa H., Gote N. (2009). Subjective Experience of Image Quality: Attributes, Definitions and Decision Making of Subjective Image Quality, Image Quality and System Performance. In Proceeding of SPIE-IS&T Electronic Imaging, SPIE Vol.7242.
- Wei L., Xiaogang W., and Xiaou T. (2011). Content-Based Photo Quality Assessment. In Proceeding of International Conference on Computer Vision.
- Wong L. and Low K. (2009). Saliency-enhanced image aesthetics class prediction, In Proceeding of IEEE International Conference on Image Processing.
- Yan K., Xiaou T., and Feng J. (2006). The design of high-level features for photo quality assessment, In Proceeding of IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition.
- Yiwen L. and Xiaou T. (2008). Photo and video quality evaluation: Focusing on the subject, In Proceeding of European Conference on Computer

Vision Graz.

Young S. (2006). Zone system for digital photography,
Chung-ang university Press.

원고접수: 2013.07.19

수정접수: 2013.09.13

게재확정: 2013.09.16