

논문 2014-51-7-20

Analytic Network Process 기반의 디스플레이 인지화질 평가 (Perceptual Quality Assessment on Display based on Analytic Network Process)

성 정 민*, 최 봉 석*, 최 봉 열**, 하 영 호**

(Jung-Min Sung, Bong-Seok Choi, Bong-Yeol Choi, and Yeong-Ho Ha[©])

요 약

현재 디스플레이 기술의 급격한 발전과 종류의 다양성으로 인해 디스플레이 화질평가에 대한 중요성이 대두되고 있다. 기존 디스플레이 화질평가는 물리측정에 의한 정량적 평가법이 사용되어 왔지만, 이러한 방법은 최종 평가자인 인간의 인지평가와 일치하지 않는다. 따라서 이와 같은 모순점을 해결함과 동시에 디스플레이의 물리적 특성과 인간의 인지화질 사이의 정량적 상관관계를 정립할 필요가 있다. 이에 본 논문은 디스플레이들의 상대적 인지화질을 평가할 수 있는 체계화된 방법을 제안하며, 이 방법을 통해 디스플레이들의 상대적 인지화질을 정량화한다. 디스플레이들에 대한 상대적 인지화질평가는 개개인의 주관적 의사를 평가하는 것과 같으며, 이 점에 착안하여 디스플레이 인지화질평가에 의사결정방법들 중 하나인 Analytic Network Process(ANP)를 도입하였다. 또한, 본 논문은 인간의 시각정보처리 체계를 표현하기 위해서 색, 모양, 깊이에 해당하는 3가지 평가기준을 채택하였으며, 그 3가지 평가기준들에 대한 하위 평가항목들로 디스플레이의 대표적 특성 8가지를 사전 설문조사를 통해 선정하였다. 제안된 방법과 주관적 평가의 유사성을 입증하기 위해 대표적인 모바일 디스플레이인 TFT-LCD와 OLED 디스플레이에 대해 상대적 인지화질을 실험 평가하였다. 그 결과, 제안된 방법에 의해 정량화된 값들 사이의 대소관계와 주관적 평가를 통해 얻은 디스플레이 선호도 간의 관계가 유사하다는 것을 입증하였다.

Abstract

Display quality assessment has been a long standing issue due to the diversity of display devices and the rapid growth of display technology. The conventional display quality assessment methods are mostly those methods which evaluate qualities of a display by measuring physical quantities, but the results from the methods are not equal to the perceived results which are acquired with subjective experiments. Thus, we need to solve the above contrariety as well as establish the quantitative correlation between physical and perceived results. This paper proposes the systematic method of evaluating relative perceived qualities among various display devices and quantifies these relative perceived qualities. The proposed method is based on Analytic Network Process(ANP), which is one of the most popular decision making methods in the business administration field. We also adopted three evaluation criteria, which consist of color, shape and depth, in order to reflect the human visual system and chose eight sub-criteria related to display characteristics via question investigation. We carried out a subjective experiment and the proposed method which evaluated perceived qualities of two display devices(TFT-LCD, OLED) in order to prove the similarity between their results. As a result, it is proved that the order relationship between perceived qualities was the same as the order of results got through the subjective experiment.

Keywords : Perceived quality assessment, Analytic network process, Subjective assessment

* 학생회원, ** 정회원, 경북대학교 전자공학부

(School of Electronics Engineering, Kyungpook national university)

© Corresponding Author(E-mail: yha@ee.knu.ac.kr)

※ 이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임.
(No. NRF-2013R1A2A2A01016105)

접수일자: 2014년03월24일, 수정일자: 2014년05월22일, 수정완료: 2014년06월25일

I. 서 론

CRT, LCD, PDP 및 OLED 등에 이르기까지 다양한 종류의 디스플레이가 일상생활에 존재하고 있으며, 종류의 다양성으로 인해 이들 디스플레이 간의 경쟁 또한 치열하다. 현재 평판 디스플레이 중 LCD는 휴대 단말기, 모니터, TV에 이르기까지 다양한 제품에 적용되고 있으며, 색을 중요시하는 디자인 및 섬유관련 직종에서는 CRT가 사용되고 있다. 또한, 최근 들어 OLED 디스플레이의 빠른 응답 속도와 광 시야각 특성으로 인하여 TV 및 모바일에 폭 넓게 활용되고 있다^[1-2].

이와 같이 디스플레이 기술이 급격히 발전함과 동시에 디스플레이 종류 또한 다양해지면서 디스플레이의 화질평가에 대한 중요성이 대두되고 있다^[3-4]. 지금까지 디스플레이의 화질을 평가하기 위해 다양한 방법들이 제안되었다^[4-6]. 이러한 디스플레이의 화질을 평가하는 방법들은 크게 객관적 화질평가와 주관적 화질평가로 나뉜다. 먼저, 객관적 화질평가는 디스플레이의 물리적 특성을 측정 장비를 통해 정량화를 하고, 그 수치와 화질사이의 상관관계를 정립한다. 예를 들어, 디스플레이의 물리적 특성인 휘도, 명암비, 색재현력 등을 측정 장비를 통해 정량화하고, 이러한 수치가 크면 곧 인지화질 성능 또한 향상된다고 판단하였다. 그러나 휘도, 명암비, 색재현력, 선명도 등 디스플레이의 화질을 결정하는 물리적 특성들이 수치적으로 표현될 수 있다 할지라도, 화질평가는 시청자의 주관에 의해 결정되어지기 때문에 측정된 수치와 화질을 선형적으로 연결 짓기에는 한계가 있다^[7]. 다음으로, 주관적 화질평가는 관측자의 경험과 주관에 의해 화질의 정도를 정량화하는 방법이다. 그 평가방법에는 사전 정의된 점수분포를 이용하여 관측자가 디스플레이 화질을 배점하는 방식과 Z-score를 이용한 배점 평가방식이 있다. 그러나 이러한 방법은 인간의 경험과 주관에 지나치게 의존적이기 때문에 그 결과에 대한 신뢰성을 보장할 수가 없다.

최근 객관적, 주관적 화질평가 방법의 한계를 극복하기 위해 인간의 시각특성 및 인지심리를 반영한 심리물리적인 인지화질 평가방법들이 제안되었다^[7-11]. 이들은 인지화질을 올바르게 평가하기 위해서는 인간의 시각특성 및 인지심리를 바탕으로 주관적 실험을 수행하였으며, 실험을 통해 얻은 실험자의 인지화질을 객관적으로 정량화하였다. 그러나 이렇게 획득된 수치는 디스

플레이의 화질을 객관적으로 평가하기에는 부족하다.

본 논문에서는 위의 한계를 극복할 수 있는 체계화된 디스플레이 인지화질 평가체계를 제안한다. 제안된 방법은 인간의 인지심리 체계를 표현하기 위해 경영학 분야에서 쓰이는 의사결정방법을 도입하였다. 특히, 본 논문은 의사결정방법들 중에서도 많이 사용되고 있는 Analytic Network Process(ANP)를 채택하였으며^[12], 또한 ANP의 구조를 디스플레이 인지화질평가에 맞게 구성하였다. 형성된 ANP의 구조는 4개의 레벨로 구성되었다. 레벨2는 Hubel과 Livingston의 주장에 따라 색(color), 모양(shape), 깊이(depth)로 구성하였으며^[13-14], 레벨3은 설문조사를 통해 얻은 8가지 디스플레이의 물리적 특성들로 구성하였다. 끝으로, 마지막 레벨은 대표적인 모바일 디스플레이 타입인 TFT-LCD와 OLED로 형성하였다. 이렇게 완성된 ANP 모델을 기반으로 20명의 실험자를 대상으로 ANP를 수행하였으며, 최종적으로 TFT-LCD와 OLED 타입의 디스플레이에 대한 상대적 인지화질을 정량적으로 평가하였다. 그 결과, 주관적 설문조사를 통해 얻은 2대의 디스플레이에 대한 상대적 인지화질 선호도 순위와 제안된 방법을 통해 얻은 정량화된 인지화질 순위가 동일하다는 것을 확인하였다.

II. ANP 기반의 디스플레이 인지화질평가

다양한 종류의 디스플레이들에 대한 주관적 인지화질평가는 개개인의 의사를 묻는 것과 같다. 따라서 본 논문에서는 경영학 분야에 주로 사용되는 의사결정방법을 디스플레이의 인지화질평가에 접목하였다. 디스플레이의 인지화질을 평가하기위해 의사결정방법들 중 대표적인 ANP 방법을 도입하였고, ANP의 각 계층을 디스플레이 인지화질 평가에 맞게 수정하였다.

1. 의사결정모델

Saaty가 제안한 Analytic Hierarchy Process(AHP)와 ANP 의사결정방법들의 특징은 평가를 절대평가가 아닌 쌍 비교(pairwise comparison)에 의한 상대평가를 행한다는 것이며, 또 다른 특징은 앞에서 언급된 쌍 비교평가로부터 평가항목들 간의 상대적 중요도를 수치화할 수 있다는 것이다^[15-17]. Saaty가 주장한 수치화 절차는 크게 2단계로 나뉜다. 우선, 항목별 쌍 비교를

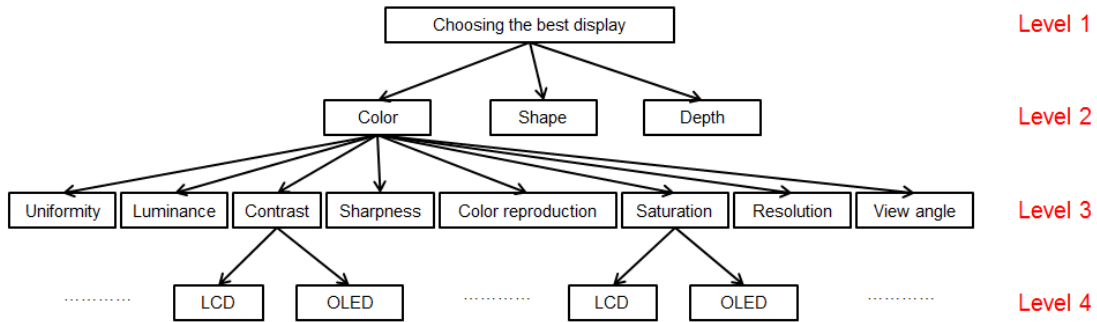


그림 1. ANP의 계층적 구조

Fig. 1. The ANP structure for perceptual quality assessment.

표 1. 실험에서 고려한 8가지 디스플레이 특성들

Table 1. The eight factors considered in the experiment.

| | Factors |
|---|--------------------|
| 1 | Uniformity |
| 2 | Luminance |
| 3 | Contrast |
| 4 | Sharpness |
| 5 | Color reproduction |
| 6 | Saturation |
| 7 | Resolution |
| 8 | Viewing angle |

통해 얻은 자료들을 쌍 비교행렬(pairwise comparison matrix)들로 구성한다. 이후, 형성된 쌍 비교행렬들로부터 고유치 분석을 통해 주고유벡터(dominant eigen vector)를 도출한다. 이렇게 얻은 주고유벡터는 각 항목의 상대적 중요도를 나타내는 정량화된 수치에 대응한다.

AHP와 ANP의 큰 차이점은 내/외부종속성의 고려이다. 기존의 AHP 방법은 항목들 간의 내부종속성과 상/하위 레벨들 간의 외부종속성을 무시하는 단점을 가지고 있었다. Saaty는 AHP 개발 후, 이러한 내/외부종속성을 보완한 새로운 의사결정모델을 제안하였다. Saaty는 이 관계들을 반영한 체계적인 의사결정모델을 완성하였고, 그는 또한 그 체계의 합리성을 입증하였다. 최종 제안된 의사결정모델이 바로 ANP이며, 이 체계는 기존의 AHP 방법이 가진 모순점들을 해결하였다.

본 논문은 Saaty가 제안한 ANP를 이용하여, 다수의 디스플레이에 대한 각각의 상대적 인지화질을 체계적으로 측정한다.

2. ANP를 적용한 디스플레이 인지화질평가

디스플레이의 인지화질 평가체계로 2007년 Kuo et al.은 AHP 방법을 이용하여 5대의 LCD-TV를 체계적으로 평가하는 방법을 선보였다^[11]. 그들은 AHP에 사용되는 계층을 형성하기 위해 3가지 단계를 거쳤다. 먼저, LCD-TV의 특성을 대표할 수 있는 8가지 인지화질평가 요소들을 사전 설문조사를 통해 추출하였다. 다음으로 8가지 평가요소를 요인분석법(Factor Analysis)를 통해 3가지 그룹으로 분류하였으며, 이들을 8가지 특성에 대한 상위 레벨(level)로 형성하였다. 끝으로 AHP 방법을 통해 5대의 LCD-TV에 대한 계층별 가중치를 도출하였다. 이렇게 형성된 계층적 가중치를 통해 LCD-TV 별 최종 가중치를 구하였고, 이 값들 중 가장 큰 값을 가지는 LCD-TV를 최고의 인지화질을 가진 TV로 결론을 내렸다.

그러나 기존의 방법에서 제안한 절차는 항목간, 레벨 간의 내/외부종속이 배제되어있다. 따라서 본 논문은 내부종속성을 고려한 ANP 방법을 도입하였으며, 또한 디스플레이 화질평가에 맞게 각 계층을 체계적으로 조

| | | | |
|------------------|-------|-------|-------|
| W_2 (Level 2) | | | |
| $B \backslash A$ | Color | Shape | Depth |
| Color | | | |
| Shape | | | |
| Depth | | | |

| | | | | | | | | |
|--------------------|------------|-----------|----------|-----------|--------------------|------------|------------|---------------|
| W_3 (Level 3) | | | | | | | | |
| $B \backslash A$ | Uniformity | Luminance | Contrast | Sharpness | Color reproduction | Saturation | Resolution | Viewing angle |
| Uniformity | | | | | | | | |
| Luminance | | | | | | | | |
| Contrast | | | | | | | | |
| Sharpness | | | | | | | | |
| Color reproduction | | | | | | | | |
| Saturation | | | | | | | | |
| Resolution | | | | | | | | |
| Viewing angle | | | | | | | | |

| | | |
|---------------------|------|-----|
| $W_{4:i}$ (Level 4) | | |
| One of 8 factors | | |
| $B \backslash A$ | OLED | LCD |
| OLED | | |
| LCD | | |

그림 2. 각 레벨별 쌍 비교행렬
Fig. 2. The pair comparison matrix in each level.

표 2. 쌍 비교행렬을 평가하기 위한 기준
Table 2. Standard for assessment between items in pair comparison matrices.

| Assessment | Score |
|--------------------------------------|-------|
| A is far better than B | 4 |
| A is better than B | 2 |
| A is equal to B | 1 |
| A is worse than B | 0.5 |
| A is far worse than B | 0.25 |

직하였다. 제안된 최종 ANP 계층구조는 그림 1과 같다. 첫 번째 레벨(level)은 의사결정의 최종 목표가 제시 되어 있으며, 두 번째 레벨은 Hubel과 Livingston의 주장을 기반으로 3가지 항목들로 구성하였다. Hubel와 Livingston은 인간의 눈으로 들어온 여러 가지 정보들을 모양(form), 움직임(motion), 색깔(color), 깊이(depth)에 해당하는 네 가지 정보들로 나눠 뇌에서 이들을 병렬적으로 처리한다고 주장하였다^[13-14]. 그리고 이들은 다양한 임상 실험과 관찰을 통하여 그 주장이 옳음을 증명하였다. 이들의 주장에 근거하여 인지화질 평가의 두 번째 레벨을 모양, 움직임, 색깔, 깊이 4가지 항목들 중 모양, 색깔, 깊이 3가지 항목으로 구성하였다. 본 논문은 단지 정지영상만을 다룸으로 움직임 항목을 제외하였다. 다음으로 세 번째 레벨은 디스플레이 특성을 대표적으로 표현할 수 있는 8가지 특성들로 구성하였다. 8가지 항목은 사전 설문 조사를 통해 선정하

였으며, 각 항목은 표 1과 같다^[18]. 마지막 레벨에서는 상대 비교 평가를 할 디스플레이들로 배정하였다. 본 논문에서는 디스플레이 시장에서 큰 비중을 차지하고 있는 LCD 타입의 디스플레이와 최근 각광을 받고 있는 OLED 타입의 디스플레이를 선정하였다. 최종적으로 조직된 계층을 기반으로 ANP 방법을 수행한다. 제안된 체계는 ANP 방법에 따라 상위레벨과 하위레벨 사이의 외부종속성을 반영하며, 또한 내부 종속성에 대한 쌍 비교평가를 추가함으로써 각 레벨 내 특성 간의 내부 종속성을 반영한다. 다시 말하면, 제안된 체계는 같은 레벨에 있는 평가항목들 사이의 종속성을 고려하며, 서로 다른 상/하위 레벨들 사이의 종속성 또한 고려한다. 이 체계는 종래의 방법이 레벨들 간의 독립성과 항목들 간의 독립성을 가정함으로써, 인간의 인지평가 체계를 제대로 표현 못한 점을 충족시켰다. 한 예로, 대비(contrast), 선명도(sharpness), 해상도(resolution) 사

| | | | | | | | | |
|----------------------------------|------------|-----------|----------|-----------|--------------------|------------|------------|---------------|
| $W_{3,j}$ (Level 3) | | | | | | | | |
| One among Color, Shape and Depth | | | | | | | | |
| $B \backslash A$ | Uniformity | Luminance | Contrast | Sharpness | Color reproduction | Saturation | Resolution | Viewing angle |
| Uniformity | | | | | | | | |
| Luminance | | | | | | | | |
| Contrast | | | | | | | | |
| Sharpness | | | | | | | | |
| Color reproduction | | | | | | | | |
| Saturation | | | | | | | | |
| Resolution | | | | | | | | |
| Viewing angle | | | | | | | | |

그림 3. 레벨 2와 3사이의 외부종속성을 평가하는 쌍 비교행렬

Fig. 3. The pair comparison matrix assessing outer dependence between level 2 and level 3.

| | | | | | | | | |
|---------------------|------------|-----------|----------|-----------|--------------------|------------|------------|---------------|
| $W_{3,k}$ (Level 3) | | | | | | | | |
| One among 8 factors | | | | | | | | |
| $B \backslash A$ | Uniformity | Luminance | Contrast | Sharpness | Color reproduction | Saturation | Resolution | Viewing angle |
| Uniformity | | | | | | | | |
| Luminance | | | | | | | | |
| Contrast | | | | | | | | |
| Sharpness | | | | | | | | |
| Color reproduction | | | | | | | | |
| Saturation | | | | | | | | |
| Resolution | | | | | | | | |
| Viewing angle | | | | | | | | |

그림 4. 레벨 3 내의 평가항목들 간의 내부종속성을 평가하는 쌍 비교행렬

Fig. 4. The pair comparison matrix assessing inner dependence between items in level 3.

이에는 밀접한 연관성이 있지만, 기존의 방법에서는 이를 배제하였다. 또한, 레벨 2의 각 평가항목별 하위인 레벨 3과의 연관성이 서로 다르지만, 기존의 방법은 이들의 연관성을 같은 수준으로 보았다.

제안된 ANP 체계 내의 레벨별 쌍 비교행렬(pair comparison matrix)은 표 2의 기준을 따랐으며, 각 레벨별 쌍 비교행렬은 그림 2와 같다. 쌍 비교평가 시, 실험자들은 두 항목 A와 B의 상대적인 비를 평가한다. 따라서 본 논문에서는 두 항목들간의 비(A/B)를 수치적으로 나타내기 위해 1배, 2배, 4배 그리고 그들의 역수인 1/2배, 1/4배를 사용한다. 그림 2의 첫 번째 행렬은 레벨2의 항목들 간의 쌍 비교행렬 W_2 을 나타내며, 두 번째 행렬은 레벨3의 항목들 간의 쌍 비교행렬 W_3 을 나타낸다. 그리고 마지막 행렬은 레벨3의 8가지 요

소들 각각에 대한 레벨4의 쌍 비교행렬을 나타낸다. 레벨4의 경우, 레벨3의 8가지 요소 각각에 대한 쌍 비교행렬을 표현하기 위해 $W_{4,i}$ 로 표기하며, i 는 8가지 요소들 중 하나를 나타낸다. 다음으로, 레벨2와 레벨3 간 외부종속성을 평가하는 쌍 비교행렬 $W_{3,j}$ 은 그림 3과 같으며, 레벨2의 색, 모양, 깊이들 중 하나의 항목을 기준으로 레벨3의 상대적 가중치를 평가한다. 이때, j 는 레벨2의 3가지 요소들 중 하나를 나타낸다.

마지막으로 레벨3 내의 평가항목들 간의 내부종속성을 평가하는 쌍 비교행렬 $W_{3,k}$ 은 그림 4와 같으며, 레벨3의 내부 항목 8가지 중 하나를 기준으로 다른 항목들과의 상대적 가중치를 평가한다. 그리고 k 는 레벨3의 내부 항목 8가지 요소들 중 하나를 나타낸다. 각각의 쌍 비교행렬은 개개인의 설문조사를 통해 완성을 한다.

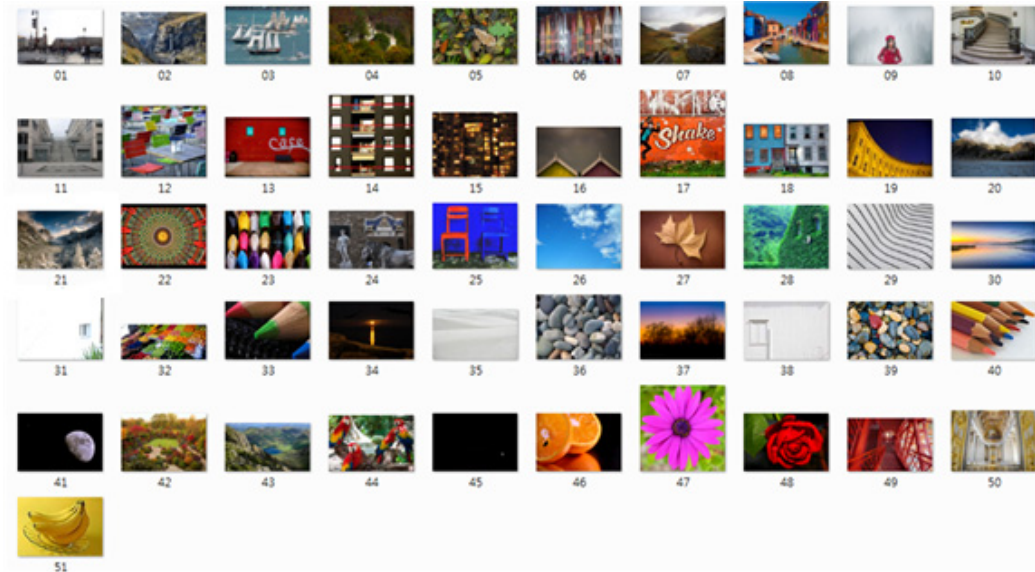


그림 5. 실험에 사용된 테스트 영상들
Fig. 5. Test image set employed in the experiment.

획득된 쌍 비교행렬들로부터 고유치 분석을 수행한다^[19]. 하나의 쌍 비교행렬 내의 항목별 상대적 가중치는 아래의 수식을 만족하는 고유치(eigenvalue) λ 들 중, 최대 고유치 λ_{max} 에 해당하는 최대 고유벡터(eigen vector) x_{max} 와 일치한다. 이러한 항목들 간 상대적인 가중치는 아래와 같이 계산되어진다^{[15]-[17]}.

$$W_i x = \lambda x, \quad i \in \{2, 3, 4\} \quad (1)$$

여기서 W_i 는 각 레벨의 쌍 비교행렬에 해당하며, λ 는 고유치에 해당한다. 또한, 각 λ 에 대해 위식을 만족하는 x 를 λ 에 해당하는 고유벡터이며, 최대 λ_{max} 에 해당하는 고유벡터 x_{max} 를 W_i 의 주고유벡터(dominant eigen vector)라 한다. 그리고 각각의 쌍 비교행렬들로 도출된 주고유벡터들을 가지고 하나의 초행렬(super matrix)를 구성한다. 또한 이러한 초행렬 W 로부터 다음의 수식을 통해 디스플레이들에 대한 최종 선호도 혹은 최종 가중치 W^* 를 도출할 수 있으며, 이 최종 선호도 혹은 최종 가중치는 하나의 수렴된 값으로 결정된다^[20].

$$W^* = \lim_{n \rightarrow \infty} W^n \quad (2)$$

여기서

$$W = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x_4 & I \end{pmatrix} \quad (3)$$

이고, x_i 는 레벨 i 의 주고유벡터이다.

본 논문에서 제안하는 방법은 항목들 간, 레벨들 간의 내/외부중속성을 고려함으로써 기존의 다른 평가 방법에 비해 신뢰도가 높은 인지화질평가 체계를 갖추고 있다.

III. 실험

암실에서 두 대의 모바일 디스플레이 OLED (Samsung Galaxy S3)와 TFT-LCD (LG Optimus Vu2)의 상대적 인지화질을 제안된 방법을 이용하여 평가하였다. 객관적인 실험을 위하여 정상 시각을 가진 20명의 영상처리 전공자를 대상으로 두 대의 디스플레이에 대한 상대평가를 수행하였으며, 모바일의 브랜드에 대한 실험자의 선입견을 배제하기 위해 화면을 제외한 부분을 가린 채 실험하였다. 또한 주관적 평가치가 특정 분포에 편향이 되지 않도록 그림 5와 같이 다양한 색 분포 및 내용(content)을 가진 51장의 영상들을 테스트(test) 집합으로 구성하여 실험을 수행하였다. 즉, 주관적 평가에 있어 영상들의 의존도를 낮추기 위하여 직

표 3. 고유치 분석을 통해 획득된 각 쌍 비교행렬의 주고유벡터
Table 3. Dominant eigen vector of each pair comparison matrix.

| Level 4 (x_4) | Weight | |
|----------------------------------|--------|-------|
| | OLED | LCD |
| Uniformity ($x_{4,1}$) | 0.800 | 0.200 |
| Luminance ($x_{4,2}$) | 0.357 | 0.643 |
| Contrast ($x_{4,3}$) | 0.744 | 0.256 |
| Sharpness ($x_{4,4}$) | 0.688 | 0.313 |
| Color reproduction ($x_{4,5}$) | 0.714 | 0.286 |
| Saturation ($x_{4,6}$) | 0.667 | 0.333 |
| Resolution ($x_{4,7}$) | 0.667 | 0.333 |
| Viewing angle ($x_{4,8}$) | 0.800 | 0.200 |

| Level 3 (x_3) | Weight | | |
|----------------------------------|--------|--------|--------|
| | Color | Shape | Depth |
| Uniformity ($x_{3,1}$) | 0.0961 | 0.1031 | 0.1014 |
| Luminance ($x_{3,2}$) | 0.1291 | 0.1263 | 0.1311 |
| Contrast ($x_{3,3}$) | 0.1093 | 0.1292 | 0.1224 |
| Sharpness ($x_{3,4}$) | 0.1085 | 0.1334 | 0.1344 |
| Color reproduction ($x_{3,5}$) | 0.1457 | 0.1156 | 0.1251 |
| Saturation ($x_{3,6}$) | 0.1451 | 0.1209 | 0.1213 |
| Resolution ($x_{3,7}$) | 0.1237 | 0.1482 | 0.1326 |
| Viewing angle ($x_{3,8}$) | 0.1425 | 0.1232 | 0.1316 |

| Level 2 (x_2) | Weight |
|-------------------|--------|
| Color | 0.5640 |
| Shape | 0.2314 |
| Depth | 0.2046 |

표 4. 실험으로부터 도출된 디스플레이에 대한 정량화된 인지화질
Table 4. Perceived image quality of two displays.

| | Total weight (preference) | Preference of 20 subjects |
|------|---------------------------|---------------------------|
| OLED | 0.6760 | 65% |
| LCD | 0.3240 | 35% |

선, 곡선, 다양한 사물 및 가시광 스펙트럼(spectrum) 대역 내의 색을 전반적으로 가지는 51장의 영상들로 구성하였다.

이 실험을 통해 획득된 각각의 쌍 비교행렬들로부터 고유치 분석을 수행하였다. 최종적으로 얻어진 그림 2, 그림 3 및 그림 4의 쌍 비교행렬의 주고유벡터는 표 3 과 같다. 레벨2의 주고유벡터 x_2 는 색, 모양, 깊이 순으로 높은 가중치를 가지고 있으며, 레벨3의 주고유벡터 x_3 는 상위 레벨2의 평가요소에 따라 서로 다른 가중치 크기순을 가지고 있다. 색의 경우 8가지 내부평가요소

들 중 색재현력(color reproduction)이 가장 높으며, 모양의 경우 해상도(resolution)가 가장 높게 나타났다. 반면, 깊이의 경우 선명도(sharpness)가 가장 높은 가중치를 보였다.

끝으로 외부종속성을 고려하기 위해서 ANP 방법의 절차에 따라 초행렬을 형성하였다. 해당 초행렬 W 는 식 (3)의 배치를 따랐으며, 식 (2)를 통해 2대의 디스플레이에 대한 최종 선호도 W^* 를 도출하였다. 2대의 디스플레이에 대한 정량화된 주관적 선호도는 표 4와 같으며, 해당 실험으로부터 얻어진 초행렬 W 는 표 5와

표 5. 실험으로부터 얻어진 초행렬(Super matrix)
Table 5. Super matrix from this experiment.

| | Total | Color | Shape | Depth | Uniformity | Luminance | Contrast | Sharpness | Color reproduction | Saturation | Resolution | Viewing angle | OLED | LCD |
|--------------------|--------|--------|--------|--------|------------|-----------|----------|-----------|--------------------|------------|------------|---------------|------|-----|
| Total | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Color | 0.5640 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Shape | 0.2314 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Depth | 0.2046 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Uniformity | 0 | 0.0961 | 0.1031 | 0.1014 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Luminance | 0 | 0.1291 | 0.1263 | 0.1311 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Contrast | 0 | 0.1093 | 0.1292 | 0.1224 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Sharpness | 0 | 0.1085 | 0.1334 | 0.1344 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Color reproduction | 0 | 0.1457 | 0.1156 | 0.1251 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Saturation | 0 | 0.1451 | 0.1209 | 0.1213 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Resolution | 0 | 0.1237 | 0.1482 | 0.1326 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Viewing angle | 0 | 0.1425 | 0.1232 | 0.1316 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| OLED | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.800 | 0.357 | 0.744 | 0.688 | 0.714 | 0.667 | 0.667 | 0.800 | 1 | 0 |
| LCD | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.200 | 0.643 | 0.256 | 0.313 | 0.286 | 0.333 | 0.333 | 0.200 | 0 | 1 |

같다.

실험 결과, 제안된 방법을 통해 도출된 두 대의 디스플레이에 대한 상대적 인지화질은 OLED가 LCD에 비해 2배 정도 우수하다는 것을 알 수 있었으며, 또한 디스플레이들 간의 인지화질의 차이를 수치적으로 비교할 수 있게 되었다. 게다가 제안된 방법에 의해 주어진 결과는 사전에 설문조사를 통해 얻은 표 4의 결과(OLED: 20명 중 13명 선호, LCD: 20명 중 7명 선호)와 일치하는 것을 확인하였다.

제안된 방법은 기존의 AHP 방법에 비해 내/외부 종속성으로 포함함으로써 더욱 체계화된 디스플레이 인지화질평가 달성하였으며, 각 레벨과 레벨 내의 항목들을 실험 구성자의 임의적인 선택이 아닌 객관적인 근거를 통해 구성함으로써 디스플레이 인지화질평가의 신뢰도를 높였다. 더욱이 최종적으로 디스플레이의 인지화질을 수치화함으로써 디스플레이간의 상대적 인지화질을 수치적 대소 관계로 비교평가 할 수 있게 되었다.

IV. 결 론

본 논문은 레벨들 간의 외부 종속성과 레벨 내 항목들 간의 내부 종속성을 모두 반영한 개선된 디스플레이 인지화질평가 체계를 제안하였다. 또한, 인간의 시각적

보처리 체계를 모방하기 위해 색, 모양, 깊이에 해당하는 3가지 평가기준을 채택하였으며, 3가지 각각에 대해 디스플레이의 대표적 특성 8가지를 하위 평가항목으로 선정하였다. 끝으로 제안된 방법의 우수성을 입증하기 위해 모바일 시장을 대표하고 있는 디스플레이인 TFT-LCD와 OLED 2종류의 디스플레이를 가지고 상대적 인지화질을 실험을 하였으며, 그 결과 디스플레이들의 상대적 인지화질을 정량화할 수 있게 되었다.

제안된 방법은 한정된 디스플레이들의 상대적 인지화질을 정량화함으로써 추가로 새로운 디스플레이가 들어 오게 된다면, 동일한 실험을 반복적으로 수행하여야 한다는 한계점도 가지고 있다. 따라서 우리는 다양한 디스플레이들의 인지 특성들을 주관적 실험을 통해 도출하는 것이 아닌 하나의 절대적 수치로 표현 할 수 있는 새로운 인지척도 모델을 개발할 것이다.

REFERENCES

- [1] www.displaybank.com
- [2] Hiroyuki Ito, Masaki Ogawa and Shoji Sunaga, "Evaluation of an organic light-emitting diode display for precise visual stimulation," Journal of Vision, 13(7):6, p. 1-21, 2013.
- [3] 이승배, 정호균, 김상수, "OLED 화질 평가 기술,"

- 전자공학회지, 제37권, 제2호, 2010년 2월.
- [4] Tae-Yong Park, Cheol-Hee Lee, Yeong-Ho Ha, "Evaluation of Color Reproduction Characteristics of TFT-LCD and AMOLED for Mobile Phone," , Jan., 2008.
- [5] Rajae-Joordens, R. and Heynderickx, I., "Effect of resolution, sharpness, contrast and luminance on depth impression and overall image quality for a 2D TV," SID Symposium Digest of Technical Papers, 35(1), pp. 1370-1373, 2004.
- [6] Heynderickx, I. and Langendijk, E. H. A., "Image Quality Comparison of PDP, LCD, CRT and LCos Projection," SID Symposium Digest of Technical Papers, 36(1), pp. 1502-1505, May 2005.
- [7] 이승배, "Display의 감성 화질 평가기술," 조명 전기설비학회지, 제21권, 제5호, 2007년 10월.
- [8] Nyman, G., Radun, J., Leisti, T. and Vuori, T., "From image fidelity to subjective quality: a hybrid qualitative/quantitative methodology for measuring subjective image quality for different image contents," Proceedings of International Display Workshops, 12(2), pp. 1817-1820, 2005.
- [9] Eun-Hye Jang, Sangsup Choi, Kyung Hwa Lee, Jin-Hun Sohn, "Development of Emotion Assessment Scale in Evaluation of Television Picture Quality," Korean Journal of the science of Emotion & sensibility, Vol. 12, No. 1, pp. 121-128, 2009.
- [10] Eunjung Lee, Jong Ho Chong, Sun A Yang, Hun Jung Lee, Miok Shin, Su Young Kim, Dong Wook Choi, Seung Bae Lee, Han Yong Lee, and Brian H. Berkeley, "Improved Angle-of-View Measurement Method for Display Devices," Journal of Information Display, 11(1), pp. 17-20, 2010.
- [11] Wen-Hung Kuo, Po-Hung Lin and Sheue-Ling Hwang, "A framework of perceptual quality assessment on LCD-TV," Displays, 28, pp. 35-43, 2007.
- [12] Thomas L. Saaty, "The analytic hierarchy and analytic network measurement processes: Applications to decisions under Risk," European Journal of Pure and Applied Mathematics, 1(1), pp. 122-196, 2008.
- [13] Livingston and Hubel, "Segregation of form, color, movement and depth," Science, 240, pp. 740-9, 1988.
- [14] D. Hubel and M. Livingston, "Segregation of form, color and stereopsis in primate area 18," J. Neuroscience, 7, pp. 3378-3415, 1987.
- [15] T. L. Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures," J. Mathematical Psychology, 15(3), p. 234-281, June 1977.
- [16] T. L. Saaty, "The Analytic Hierarchy Process," McGraw-Hill, New York, 1980.
- [17] T. L. Saaty, "How to make a decision: The analytic hierarchy process," European J. Operational Research, 48(1), pp. 9-26, September 1990.
- [18] Jumpei Nakamura, "Appliance, PC makers compete over LCD TV image quality," Nikkei Electronics Asia, July 2004.
- [19] Howard Anton, "Elementary Linear Algebra 9th", John Wiley & Sons Inc., 2005.
- [20] 박용성, "AHP에 의한 의사결정 이론과 실제," 교우사, 2012년.

저 자 소 개

성 정 민(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 50권 SP편 제 7호 참조

최 봉 석(학생회원)
대한전자공학회 논문지
제 50권 SP편 제 9호 참조

최 봉 열(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 50권 SP편 제 7호 참조

하 영 호(정회원)
대한전자공학회 논문지
제 38권 SP편 제 3호 참조