Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers (2015) 29(10) : 25~33
http://dx.doi.org/10.5207/JIEIE.2015.29.10.025 ISSN 1229-4691(Print) ISSN 2287-5034(Online)
논문 29-10-4

감성조명 환경 설계를 위한 감성평가 연구 : LED조명을 적용한 사무 공간을 중심으로

(Affective Evaluation for Human-centered Lighting Environment Design : Focused on Office Spaces using LED lighting)

김종걸* · 고재규
(Jong-Gurl Kim · Jae-Kyu Ko)

Abstract

LED lightings combined with IT technology can provide variable illumination environments that can be controlled by users according to their emotional need and preferences. This is one of the most beneficial functions compared with conventional lightings offering only fixed color and brightness. There is however lack of analysis data for creating practical lighting solutions satisfying user preferences in a wide range of applications from residential to commercial places. To materialize the technical advantages of user-controllable LED lightings, more observation data are required in various situations. Therefore, dissimilar emotional needs are determined in the present study for compartmental office spaces (staff lounge room, meeting room and desk job place) through subjective experiments by 45 observers. The optimum lighting conditions (CCT and illuminance) are finally obtained using Response Surface Method and relevant prediction functions are also deduced. The final outcome can be applied for making user-preferred office illumination products.

Key Words : RSM(Response Surface Method), LED Affection Lighting, Affective Evaluation, Office Lighting

1. 서 론

1.1 연구의 배경

기업 간 기술격차가 줄어들고 기술변화가 빠르게 일어나면서 소비자들은 제품의 성능보다 감성적인 요소에 관심을 갖기 시작했다[1]. 이전에 조명은 어둠을 밝히는 수단으로서 사용되어져 왔지만, 기술수준 향상과 경제성장에 의해 삶의 질이 향상되어감에 따라 기업들은 실내 빛 환경이 사용자의 요구 감성을 충족시킬

* Main(Corresponding) author : Professor, Department of Industrial Engineering, Sungkyunkwan University
Tel : 031-290-7593, Fax : 031-290-7610
E-mail : jgkim@skku.edu
Received : 2015. 8. 26
Accepted : 2015. 9. 18

Copyright ⓒ 2015 KIIEE All right's reserved
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.

수 있는 제품을 개발하고 있다.

LED(Light emitted diode)는 한번 설치하면 조명고유의 빛과 색을 유지해야 하는 기존의 백열전구 또는 형광등기구와 달리, 제어가 용이하고 속도도 빠르며, 다양한 색상을 구현할 수 있기 때문에 IT기술과 융합하여 사용자의 행위 별 요구되는 감성 및 선호도에 따라 가변적으로 빛 환경을 제공할 수 있다. 이와 같이 LED는 조명환경에서 필요로 하는 다양한 요구사항을 해결할 수 있는 기회요인이 되고 있지만, LED로 인하여 구현되는 빛에 대한 최종 사용자의 요구감성 또는 선호도에 따라 적용되어야 하는 기초적인 데이터는 아직까지 잘 알려져 있지 않고 있다[2].

LED조명이 등장하면서 기존 조명과 LED조명의 감성적 반응을 비교하여 평가하거나, 실제 LED조명환경을 축소한 라이팅 박스를 제작하여 감성평가 연구들이 수행되었다[3-6].

위 연구들은 피험자들로부터 수집된 감성어휘를 바탕으로 광원의 물리적 요인 수준 별 감성평가를 실시하여, 다수의 감성요인을 몇 가지 주요 감성인자로 축소하고 각각의 독립변수가 피험자의 감성에 미치는 영향도를 파악하는 연구로서, 광원의 물리적 요인으로는 밝기와 색을 나타내는 조도(lux, lx)와 상관색온도(CCT, K)가 주요 물리적 변수로 적용되었다. 분석방법으로는 주로 감성어휘 평가에 대한 요인분석으로 얻게 된 요인득점 플로트를 활용하여 주요 인자에 각 변수가 어느 정도 영향을 미치고 있는지 파악하거나, 수량화 이론을 적용한 다중회귀분석 및 분산분석을 통해 요인 간 차이를 규명하고 감성 영향 인자를 추정하였다. 이 때 조도와 상관색온도의 실험수준은 광원 고유의 특성을 따르거나, 실험자가 임의로 수준을 정하여 평가가 수행되었다. 이는 해당 광원이나 설정된 수준 값에 대한 감성인자와 수준을 알 수 있으나, LED시스템조명과 같이 사용자의 다양한 행위와 감성적 요구에 적합한 조명환경을 설계할 때 적용 가능한 지표로 사용되기는 어렵다. 그리고 사람의 시각적인 반응은 선형성이 아닌 비선형성에 의존되기 때문에 이러한 특성을 반영한 분석이 필요하다.

반응표면분석(Response Surface Method)의 목적은 변수들 간의 관계를 규명하고 최적 조건에 대한 모델을 얻기 위함이다[7]. 반응표면분석은 비선형 함수 모형에 의한 최적화 기법으로 일반적으로 2차 회귀모형으로 표현될 수 있다[8-9]. 따라서 본 연구에서는 조도와 상관색온도의 물리량과 사용자 감성 사이의 관계를 반응표면분석을 사용하여 분석하여, 행위 별 요구감성을 구현할 수 있는 최적화된 조명의 물리적인 특성 범위를 도출하였다.

1.2 연구의 목적

LED조명은 IT기술과 융합하여 'LED스마트조명' 또는 'LED시스템조명' 등으로 일컬어지며 최근 다양한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 형태의 LED조명은 사용자 중심의 감성조명으로서 역할이 가능하고 유무선 네트워크 기술을 활용한 엔터테인먼트 기능 등 다양한 컨텐츠를 제공할 수 있다. 이에 따라 조명제품 및 조명환경 설계 디자이너들은 사용자의 감성을 고려한 제품 및 환경설계의 중요성을 고려한 개발에 중심을 두고 있다. 특히 현대인들은 하루의 대부분을 실내공간에서 보내고 있어, 사용자에 최적화된 조명환경은 무엇보다 중요하다고 볼 수 있다.

본 연구의 목적은 조도와 상관색온도의 물리적 특성 변화가 어떠한 감성을 최적화할 수 있는지 도출하고, 이를 고려한 사무실 LED조명환경 설계 지표의 기초 데이터를 제공하고자 한다.

2. 연구방법

2.1 감성평가 실험절차 및 방법

본 연구의 절차는 그림 1과 같이 선행 연구를 통해 도출된 감성어휘를 바탕으로 사무실 조명환경에 대한 감성평가를 실시하고, 요인분석을 통해 주요 감성인자를 구분하였다. 설문조사를 통해 사무 공간 별 요구되는 감성인자를 도출하고, 반응표면분석을 사용하여 각 인자 별 조도와 상관색온도의 최적 수준에 대한 예측모형을 개발하고 서로 비교하였다.

ISO 8995와 EN 12464에서 제시하고 있는 조도 수

준(Illuminance level)을 바탕으로 200, 300, 500, 750lx를 실험 수준으로 설정하였으며, 상관색온도는 3,000, 4,000, 5,000, 6,000K으로 설정하여 감성평가를 실시하였다.

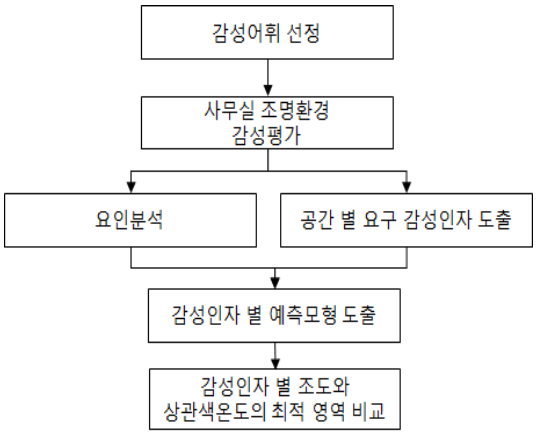

Fig. 1. A study procedure

기존 논문 및 각종 매체(인터넷, 잡지, 신문 등)에 나타나 있는 조명관련 감성평가 어휘를 수집하여 전문가를 대상으로 FGI(Focus Group Interview)를 통해 총 23개의 감성어휘를 도출하여 조명의 감성평가척도로 사용하였다.

Table 1. Evaluation factors for experiment

23개의 감성어휘
집중이 잘되는, 깨끗한, 강렬한, 선명한, 편리한, 쾌적한, 자연스러운, 세련된, 고급스러운, 아늑한, 분위기 있는, 따뜻한, 온화한, 편안한, 조용한, 인간친화적인, 안정감 있는, 생기있는, 흥미있는, 활동적인, 즐거운, 경쾌한, 매력있는

감성어휘는 SD법(Semantic Differential Method)을 적용하여 5점 척도로 평가하였으며, 5점은 위의 각 어휘에 매우 어울리는 것이고, 1점은 반대되는 부정어휘에 매우 어울리는 것이다. 2점과 4점은 긍정과 부정어휘에 각각 어울리는 것이며 3점은 두 어휘의 중간으로 평가하도록 하였다. SPSS 21과 Minitab 17을 데이터 분석도구로 사용하였다.

2.2 반응표면분석 적용

반응표면분석에 적용되는 일반적인 실험계획법 방법으로, 크게 완전요인실험(Full Factorial Design)과 중심합성계획법(Center Composite Design), 무작위 추출법(Random design), Box-Benken 계획법, D-optimal 계획법 등이 있다[10]. 변수의 특성이 선형성을 따르는지 또는 비선형성을 따르는지에 따라 1차 또는 2차 회귀모형을 위한 반응표면 실험계획을 수립할 수 있고, 이는 각각 식 (1)과 (2)의 모형으로 표현된다.

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \epsilon \quad (1)$$

$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^{k} \beta_i x_i + \sum_{i \le j}^{k} \beta_{ij} x_i x_j + \epsilon \quad (2)$$

반응표면분석은 독립변수들이 종속변수에 대해 최적화할 수 있는 반응조건을 도출해내는 과정으로, 최소제곱법을 활용하여 다중회귀분석에 의해 예측모형을 도출하게 된다.

일반적으로 2^k요인실험에 중심점(center points)과 축점(axial points)를 추가시켜 적은 수의 실험으로 곡면을 추정하고자 중심합성계획법을 많이 쓰고 있다.

완전요인실험은 실험횟수가 늘어나 중심합성계획법에 비해 실험 수가 많아져 실험효율성은 낮지만, 정확성은 높기 때문에 근사화에 유리하다. 본 연구는 제조공정이나 혼합물에 대한 최적조건이 아닌 피험자를 대상으로 시도하는 것으로 완전요인실험을 실시하였고, 실험수준도 4수준으로 설정하여 정확도를 높이고자 하였다.

순차적으로 진행되는 감성평가에서 피험자들은 자신들의 평가결과를 데이터시트에 체크할 때 이전 실험조건을 기억하고, 그 정보를 바탕으로 해당 실험조건을 비교하고 평가하는 경향이 있기 때문에 표준순서(Yates order)에 의해 실험을 설계하였다.

조명의 밝기와 색은 실내조명에서 재실자가 시각적으로 가장 빠르게 인지할 수 있는 요인이다. 이는 조

도와 상관색온도로 표현될 수 있으며, 이를 실험설계 요인으로 선정하였다.

조도와 상관색온도를 요인으로, 4^2요인배치법에 의해 완전요인실험을 실시하였으며, 표 2에 실험설계에 따르는 감성어휘 평가 결과를 나타내었다.

2.3 평가환경 및 피험자 일반사항

1회 12명이 동시에 평가가 가능한 실물 공간의 사무실 테스트베드에서 피험자를 대상으로 감성평가를 실시하였다. 테스트베드에 설치된 조명은 450mm(L) x 450mm(W) x 150mm(H)로 제작된 평판형 LED등기구로서, 16.5W 모듈 4개로 구성되어 있으며, 0~1,500lx, 2,700~6,500K까지 가변이 가능하도록 설계되었다. 전체 가변 범위에서 CRI(Color Rendering Index)는 80이상을 나타내었으며, 실내 공간의 종합균제도는 0.8이상을 유지하였다. 피험자들은 조명 이외 실내 인테리어에 최대한 영향을 받지 않도록 일반적인 환경으로 구성되었다.

20대에서 50대 사이(평균연령 36세)의 사무직 경험이 있고 안과질환이 없는 일반인을 대상으로 실험을 실시하였으며 총 45명(남자 25명, 여자 20명)이 피험자로 참가하였다.

3. 실험 결과

3.1 감성어휘 평가 분석

사무실 조명환경에서 감성어휘를 활용한 빛 환경 감성 이미지 평가 실험 후 요인분석을 실시한 결과, 표 2와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

3요인 축으로 분류되었으며, 제 1요인으로는 '집중이 잘되는', '선명한' 등 작업과 관련된 감성으로서 「작업성」으로 명명하였고, 제 2요인으로는 '조용한', '안정감' 있는 등의 감성으로서 「휴식성」으로 명명하였으며, 제 3요인으로는 '생기있는', '흥미있는' 등의 감성이 분류되어 「활동성」으로 명명하였다. 제 1,2,3요인은 각각 26%, 24%, 19%로 나타나 전체 69%의 설명력을 가지는 것으로 나타났다.

Table 2. A result of Factor analysis

요인	평가항목	성분			요인해석
		Ⅰ	Ⅱ	Ⅲ	
Ⅰ	집중이 잘되는	.766	.193	.114	작업성
	깨끗한	.760	-.117	.380	
	강렬한	.757	-.245	.372	
	선명한	.757	-.225	.380	
	편리한	.753	.121	.353	
	쾌적한	.728	.031	.393	
	자연스러운	.622	.431	.244	
	세련된	.599	.302	.390	
	고급스러운	.506	.207	.466	
Ⅱ	아늑한	.011	.883	.062	휴식성
	분위기있는	-.054	.848	.183	
	따뜻한	-.282	.801	-.054	
	온화한	-.117	.797	-.227	
	편안한	.427	.729	.127	
	조용한	.174	.630	-.482	
	인간친화적인	.281	.619	.293	
	안정감 있는	.562	.614	-.034	
Ⅲ	생기있는	.427	-.092	.741	활동성
	흥미있는	.332	.149	.733	
	활동적인	.391	-.301	.724	
	즐거운	.290	.323	.700	
	경쾌한	.504	-.181	.692	
	매력있는	.350	.475	.591	
고유치		6.019	5.444	4.506	
기여율		26.168	23.669	19.592	
누적기여율		26.168	49.836	69.428	

3.2 사무 공간 별 요구감성

「작업성」은 사무 공간에서 문서를 검토하거나, 컴퓨터 작업 등 일반 사무작업 시 필요한 영역으로 볼 수 있고, 「활동성」은 회의 공간에 필요한 영역으로 볼 수 있으며, 「휴식성」은 휴게 공간에서 휴식을 취할 때 필요한 감성요인으로 볼 수 있다. 실험에 참가한 피험자

를 대상으로 사무공간의 영역을 크게 사무실, 회의실, 휴게실로 구분하고 각 영역에서 가장 요구되는 감성인자가 무엇인지 중복선택이 가능하도록 설문평가를 진행하였으며, 결과는 그림 2와 같다.

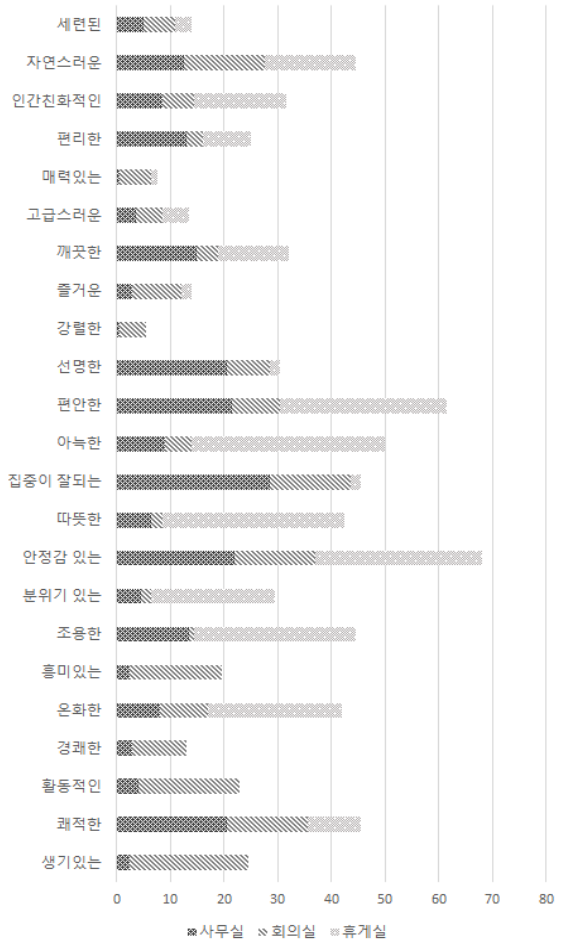

Fig. 2. Emotional needs for each office areas

'편안한', '안정감 있는', '자연스러운' 등의 감성인자들은 세 공간에서 모두 높은 선택을 받았는데, 이는 각 공간에서 공통적으로 요구되는 일반적인 감성인자로서 공간의 사용 목적 행위 별 '선호하는'과 관계가 높을 것으로 예상되며, 최적화된 조도와 상관색온도 값이 공간 행위에 따라 달라질 수 있다. 따라서 이를 제외한 감성요인 중 각각의 공간에서 상대적으로 높게 선택된 몇 가지 주요 요인을 요인분석 결과와 비교하여 표 3과 같이 선택하고 반응표면분석을 적용하여 최적화 분석을 실시하였다.

'집중이 잘되는', '선명한', '쾌적한' 등의 어휘는 사무실에서 요구되는 감성인자로 가장 많은 선택을 받았으며, 요인분석 결과의 제 1요인인 「작업성」에 포함되어 있으므로 최적화 감성인자로 선택하였다. 제 2요인과 제 3요인도 이와 같은 방법으로 각각 '조용한', '아늑한', '따뜻한' 등의 감성인자와, '활동적인', '생기있는', '흥미있는' 등의 감성인자로 선택하여 반응표면분석 분석을 통해 최적화 분석을 실시하였다.

Table 3. Optimized emotion of each factors

요인	요인해석	최적화 감성
1	작업성	집중이 잘되는, 선명한, 쾌적한
2	휴식성	조용한, 아늑한, 따뜻한
3	활동성	활동적인, 흥미있는, 생기있는

3.3 LED조명에 대한 감성의 최적 영역 도출

표 3에서 도출된 각각의 감성인자 별 조도와 상관색온도의 최적 영역을 도출하기 위해 반응표면분석을 적용하여 분석을 실시하였다. 표 5는 2인자 4수준 표준순서로 설계된 실험계획표이며, 각 감성인자 별 평가 결과로서 평균값을 나타낸다. 예측모형의 신뢰수준을 높이기 위해 단계적 회귀분석을 적용하였으며, 분산분석을 통해 모형과 각 변수의 유의성을 검토하였다.

Table 4. ANOVA result of 'Lively'

Source	DF	Seq. SS	Adj. SS	Adj. MS	F	P
Model	4	3.28	3.28	0.82	43.11	0.000
Illuminance	1	2.79	2.89	1.45	75.97	0.000
CCT	1	2.42	2.52	2.52	132.60	0.001
Illuminance^2	1	0.39	0.39	0.39	12.94	0.001
CCT^2	1	0.10	0.10	0.10	20.42	0.040

표 4는 '생기있는'에 대한 분산분석표로서, 2차 회귀모형과 각 변수들에 대한 유의성을 나타내고 있다. 이와 같이 표 3에서 제시된 감성요인에 대한 분산분석을

모두 실시하였으며, 모형에 대한 분산분석 요약표와 결정계수를 표 6에 나타내었다.

표 6에서 나타난 것과 같이 9개 모든 감성인자 모형은 유의한 결과를 나타내고 있으며, '집중이 잘되는', '흥미있는'의 R^2 값은 84.31%, 87.47%이고 나머지 감성인자들은 모두 90%를 넘는 것으로 나타냄으로써, 도출된 모형은 적합한 것으로 볼 수 있다. 각 감성인자 별 추정된 2차 회귀모형은 다음과 같다.

$$y_{\text{집중이 잘되는}} = 0.895 + 0.0033 * Illuminance + 0.000823 * CCT - 0.000004 * Illuminance^2 - 0.00000097 * CCT^2 + 0.0000002 * Illuminance * CCT \quad (3)$$

$$y_{\text{쾌적한}} = 0.258 + 0.00304 * Illuminance + 0.001076 * CCT - 0.000003 * Illuminance^2 - 0.00000011 * CCT^2 + 0.00000026 * Illuminance * CCT \quad (4)$$

Table 5. Evaluation results of subjects

Design case	Illuminance(lx)	CCT(K)	집중이 잘 되지 않는 - 집중이 잘되는	흐릿한 - 선명한	불쾌한 - 쾌적한	시끄러운 - 조용한	아늑하지 않은 - 아늑한	차가운 - 따뜻한	활동적이지 않은 - 활동적인	생기없는 - 생기있는
1	200	3,000	3.24	2.47	3.18	4.29	4.20	4.29	1.87	2.42
2	200	4,000	3.31	3.09	3.38	3.96	4.09	4.27	2.67	3.16
3	200	5,000	3.40	3.49	3.36	3.89	4.07	4.13	2.80	3.47
4	200	6,000	3.24	3.76	3.44	3.62	3.78	4.04	3.04	3.73
5	300	3,000	3.09	2.91	3.23	3.66	2.86	3.05	2.82	2.75
6	300	4,000	3.67	3.78	3.82	3.42	2.98	2.82	3.33	3.56
7	300	5,000	3.78	4.04	3.98	3.33	3.00	2.93	3.64	3.64
8	300	6,000	3.69	4.16	4.02	3.16	2.69	2.49	3.84	3.91
9	500	3,000	3.34	3.16	3.43	3.59	2.75	2.75	3.02	3.14
10	500	4,000	3.62	3.76	3.78	3.31	2.73	2.67	3.47	3.49
11	500	5,000	3.71	4.27	4.11	3.11	2.58	2.44	3.84	3.91
12	500	6,000	3.64	4.42	4.18	3.02	2.31	2.31	4.13	4.02
13	750	3,000	3.11	3.23	3.41	3.36	2.66	2.59	3.05	2.93
14	750	4,000	3.38	3.80	3.78	3.18	2.47	2.40	3.44	3.42
15	750	5,000	3.73	4.22	4.04	3.16	2.58	2.27	3.96	3.93
16	750	6,000	3.58	4.44	4.13	3.02	2.49	2.13	4.13	4.07

Table 6. ANOVA results of multiple regression model for affection factors

Model	DF	Seq.SS	Adj.SS	Adj.MS	F	P	R^2	Adj. R^2	Pred. R^2
집중이 잘 되지 않는 - 집중이 잘되는	5	0.67595	0.67595	0.13519	10.75	0.001	84.31%	76.47%	63.01%
흐릿한 - 선명한	4	4.9411	4.9411	1.23527	87.80	0.000	96.96%	95.86%	94.51%
불쾌한 - 쾌적한	5	1.71225	1.71225	0.34245	24.51	0.000	92.46%	88.69%	82.08%
시끄러운 - 조용한	4	1.91246	1.91246	0.47811	51.92	0.000	94.97%	93.14%	89.08%
아늑하지 않은 - 아늑한	3	5.9137	5.9137	1.97123	121.97	0.000	96.82%	96.03%	94.57%
차가운 - 따뜻한	3	8.4296	8.4296	2.80986	123.45	0.000	96.86%	96.08%	94.59%
지루한 - 흥미있는	4	1.45891	1.45891	0.36473	19.19	0.000	87.47%	82.91%	74.15%
활동적이지 않은 - 활동적인	4	5.5435	5.5435	1.38588	86.28	0.000	96.91%	95.79%	93.73%
생기없는 - 생기있는	4	3.2812	3.2812	0.82031	43.11	0.000	94.00%	91.82%	88.34%

$$y_{선명한} = -1.714 + 0.007629 * Illuminance + 0.001358 * CCT - 0.000006 * Illuminance^2 - 0.00000012 * CCT^2 \quad (5)$$

$$y_{조용한} = 7.364 - 0.002136 * Illuminance - 0.001293 * CCT - 0.000001 * Illuminance^2 - 0.0000001 * CCT^2 \quad (6)$$

$$y_{아늑한} = 10.327 - 0.000515 * Illuminance - 0.002963 * CCT - 0.00000011 * CCT^2 \quad (7)$$

$$y_{따뜻한} = 11.433 - 0.000728 * Illuminance - 0.003201 * CCT - 0.0000003 * CCT^2 \quad (8)$$

$$y_{흥미있는} = 0.793 - 0.00341 * Illuminance - 0.000586 * CCT - 0.000002 * Illuminance^2 - 0.00000006 * CCT^2 \quad (9)$$

$$y_{활동적인} = -3.517 - 0.005894 * Illuminance - 0.002108 * CCT - 0.000004 * Illuminance^2 - 0.0000002 * CCT^2 \quad (10)$$

$$y_{생기있는} = -0.378 + 0.00655 * Illuminance + 0.000860 * CCT - 0.000005 * Illuminance^2 - 0.00000008 * CCT^2 \quad (11)$$

도출된 각각의 감성인자 별 최적화된 조도와 상관색온도 수준을 표 7과 같이 도출하였으며, 그림 3에 등고선도로 표현하였다. 작업성으로 분류되어 사무작업에 어울리는 감성인자로 선택된 '집중이 잘되는', '선명한', '쾌적한'은 휴식성 및 활동성에 선택된 다른 감성인자와 달리 최적지점이 한 곳으로 집중되어 있어, 조도와 상관색온도 모두 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다. '집중이 잘되는'은 '선명한', '쾌적한'보다 약 100lx와 600K정도 낮은 수준에서 최적화 값을 나타내었다. 작업성과 관련된 어휘의 조도와 상관색온도 평균은 629lx, 5,272K로 나타났다.

조도와 상관색온도가 낮으면 낮을수록 '조용한' 감성인자는 최적화되며, '아늑한', '따뜻한'은 '조용한'과 같이 조도와 상관색온도가 낮을수록 최적화되지만, 조도보다 상관색온도에 더 많은 영향을 받는 것으로 나타났다. 대체적으로 200lx, 3,000K 이하의 영역에서 최적화된 값을 나타내었다.

회의실 공간에 적용될 수 있는 활동성을 대표하는 어휘로서, '흥미있는', '생기있는'은 상관색온도 보다 조도의 영향이 더욱 큰 것을 알 수 있고, '활동적인'은 조도와 색온도가 모두 영향을 미치는 것으로 알 수 있다. 작업성에 포함된 감성인자와 비교하였을 때, 비교적 높은 조도와 낮고 넓은 상관색온도 범위에서 최적화된 영역을 나타내고 있다.

각 감성인자 별 최적수준을 표 7에 나타내었다.

Table 7. Optimized level of affection factors

Emotion Factor	Illuminance(lx)	CCT(K)
집중이 잘 되지 않는 - 집중이 잘되는	561	4878
흐릿한 - 선명한	655	5454
불쾌한 - 쾌적한	672	5484
시끄러운 - 조용한	≤ 200	≤ 3000
아늑하지 않은 - 아늑한	≤ 200	≤ 3000
차가운 - 따뜻한	≤ 200	≤ 3000
지루한 - 흥미있는	750≤	4939
활동적이지 않은 - 활동적인	694	5363
생기없는 - 생기있는	666	5333

4. 결 론

감성은 매우 추상적이기 때문에 객관적 측정이 어렵고 과학적인 접근에 한계가 있으나, 최근 제품이나 서비스에 감성품질이 강조됨에 따라 이를 개선하고자 하는 노력들이 지속적으로 수행되고 있다[1].

본 연구에서 제시된 방법론은 최적화된 LED감성조명환경 구현을 위한 것으로서, 실내조명환경 분야에서 실제적인 이해와 적용을 위한 시도이다.

다시 말해 기존 연구에서는 수량화이론을 사용하여 각각의 변수가 종속변수에 미치는 정도와 영향을 파악하였다면, 본 연구에서는 반응표면분석을 사용하여 변수(조도, 상관색온도)의 영향과 종속변수(사용자 감성인자)가 최적화될 수 있는 실제적인 수준을 도출하고자 했다고 할 수 있다.

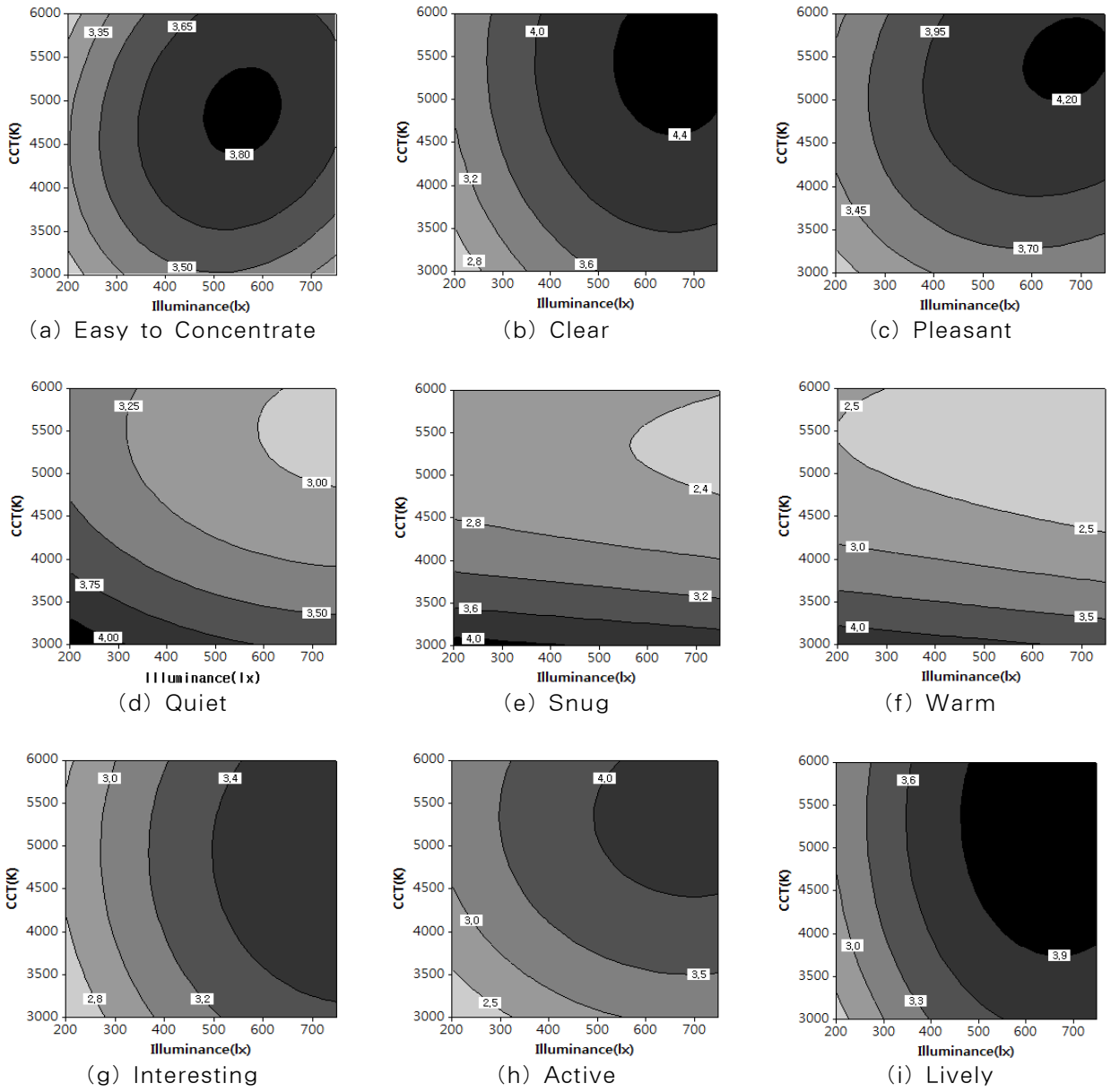

Fig. 3. The contour plots for each affection factors

1) 피험자에 대한 감성평가 결과는 요인분석을 통해 작업성, 휴식성, 활동성 등 3가지 주요 요인으로 구분되었다.
2) 사무공간 영역을 사무실, 휴게실, 회의실로 구분하고 각 영역에 어울리는 감성어휘를 설문조사를 통해 선정한 결과와 요인분석 결과를 바탕으로 주요 감성인자의 연계성을 도출하고 해당 감성인자에 대한 반응표면분석을 실시하였다.
3) 분산분석을 통해 도출된 모형의 유의성 검증과 R^2값에 의한 신뢰도 분석을 실시하여, 모든 모형에서 유의하며 신뢰할 수 있음을 확인하였다.
4) 사무실의 3가지 공간에서 요구되는 대표감성을

만족시킬 수 있는 조도와 상관색온도의 최적화 범위를 도출하였다.

5) 각 감성인자에 대해 최적화된 하나의 값이 그 감성을 모두 대변할 수 없기 때문에 그림 4에 사무실 조명의 주요 감성인자들을 자극할 수 있는 조도와 상관색온도 최적화 영역을 요약하여 나타내었다. 이 도표를 활용하여 사용자 요구 감성을 만족시킬 수 있는 사무실 조명제품 및 조명환경에 적용될 수 있다.

전 세계적으로 에너지절감노력과 환경보호를 위해 백열전구 규제 정책을 실행함으로서 LED를 적용한 다양한 조명제품은 본격적으로 생활환경에 침투할 예정이다. 따라서 사용자의 감성적 요구사항을 세분화하고, 이를 충족할 수 있는 조명제품 또는 조명환경을 구현하는 것이 중요할 것이다. 본 논문의 방법론과 주요 결과들은 사무실 LED조명 또는 조명환경의 감성적 설계를 위한 기초자료로 사용할 수 있다.

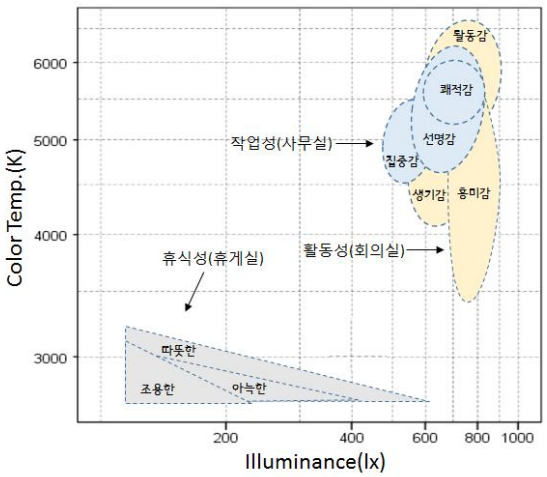

Fig. 4. Optimized areas of each affection factors in the lux and CCT values

References

〔1〕 Jae-Ho Choe, How Can We Approach the Affective Quality? : A Study on the Affective Response and Structural Approach to the Affective Quality, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 39(1), pp. 73-77, 2013.

〔2〕 MS Islam, R Dangol, M Hyvarinen, P Bhusal, M Puolakka, L Halonen, User preferences for LED lighting in terms of light spectrum, Lighting Research & Technology, 45(6), pp. 641-665, 2013.

〔3〕 Jin-Sook Lee, Won-Do Kim, So-Yeon Kim, Sensibility Evaluation of LED Lighting and Fluorescent Lamp based on Color Temperature, Architectural institute of korea, 25(4), pp. 263-270, 2009.

〔4〕 Soon-Duk Jee, Sang- Hyuk Lee, Kyoung-Jae Choi, Joung-Kyu Park, Chang-Hae Kim, Sensibility Evaluation on the Correlated Color Temperature in White LED Lighting, Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers, 22(4), pp. 1-12, 2008.

〔5〕 Yong-Woo Yoo, A study on the Emotional Evaluation Model of LED Colors in Architectural Pacade, Journal of the Korean Institute of Interior Design, 21(2), pp. 101-111, 2012.

〔6〕 Sun-Youn Lee, An Experiment on Lighting Environment for some Behavior in Housing, Journal of the Korean Housing Association, 16(4), pp. 65-71, 2005.

〔7〕 M. K. Ardakani, S. S. WulffA, An Overview of Optimization Formulations for Multiresponse Surface Problems, Quality and Reliability Engineering International, 29(1), pp. 3-16, 2005.

〔8〕 Wenjuan Liu, Jianlin Ji, Hua Chen, Chenyu Optimal Color Design of Psychological Counseling Room by Design of Experiments and Response Surface Methodology, PLOS one, 9(3), pp. 1-9, 2014.

〔9〕 Dong-Hee Lee, In-Jun Jeong, Kwang-Jae Kim, Methods and Applications of Dual Response Surface Optimization : A Literature Review, Journal of the Korean Institute of Industrial Engineers, 39(5), pp. 342-350, 2013.

〔10〕 Kee-Sun Yeom, Development of a Structural Optimal Design Code Using a Response Surface Method Implemented on a CAD Platform, Korea Advanced Institute of Science and Technology, Master's degree, 2000.

◇ 저자소개 ◇

김종걸 (金種傑)
1951년 3월 15일생. 1978년 서울대학교 계산통계학 졸업(석사). 1992년 한국과학기술원 산업공학과 졸업(박사). 1982년~현재 성균관대학교 시스템경영공학과 교수.

고재규 (高在奎)
1981년 4월 26일생. 2009년 성균관대학교 산업공학과 졸업(석사). 2012년~현재 성균관대학교 산업공학 박사과정. 2011년~현재 한국조명연구원 제품인증본부 주임연구원.