

## PMV 온열 환경과 조도가 시각작업 성능에 미치는 영향에 대한 연구

A Study on the Effects of PMV Thermal Environment and Illumination on Visual Performance

김형선\* · 김형태\*\* · 김형식\*\*\* · 곽원택\*\*\* · 김진호\*\*\*\*†

Hyung-Sun Kim\* · Hyoung-Tae Kim\*\* · Hyoung-Sik Kim\*\*\* · Won-Tack Kuwak\*\*\* · Jin Ho Kim\*\*\*\*†

\*그린 에너지 기술연구소

\*Green Energy Technology Research Center

\*\*한국가스공사 연구개발원 신에너지기술연구센터

\*\*Department of Industrial and System Engineering, Kongju National University

\*\*\*공주대학교 산업시스템공학과

\*\*\*Department of Industrial and System Engineering, Kongju National University

### Abstract

In this study, a questionnaire was developed to assess error search and correction tasks, and an analysis was performed on the accuracy of the tasks and the time required for their completion in order to identify the effects of LED light source illumination on visual performance according to changes in a predicted mean vote (PMV) thermal environment. In addition, a subjective evaluation was performed by conducting a survey on the level of visual fatigue experienced during the tasks. In the experiment, four types of PMV thermal environments were established according to PMV values in the temperature range of  $(17 \pm 1 - 29 \pm 1)$  °C and the humidity range of  $(50 \pm 5 - 60 \pm 5)$  %, and the LED light source illumination was divided into three types: 400lx, 700lx, and 1000lx. The experimental results confirmed that the accuracy of the error search (LED p value=0.058, PMV\*LED p value=0.083) and correction tasks and the time required (LED p value=0.004, PMV p value=0.000) for their completion were affected by changes in both the PMV thermal environment and the LED light source illumination, whereas a significant difference in visual fatigue was observed only in the PMV thermal environment (p value=0.003).

**Key words:** PMV thermal environment, LED source, Ocular fatigue, Visual performance improve

### 요약

본 연구에서는 PMV 온열환경이 변화함에 따라 LED광원의 조도가 시각작업 성능에 미치는 영향을 분석하기 위

---

※ 이 논문은 2009년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(2009-0093825).

또한, 2013년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다 (No. 20131020400850).

† 교신저자 : 김진호 (공주대학교 산업시스템공학과)

E-mail : kjh@kongju.ac.kr

TEL : 041-521-9434

FAX : 041-521-9431

해 오류검색수정작업 평가지를 개발하였고, 오류검색수정작업의 정확도 및 소요시간을 분석하였다. 또한 작업을 진행하면서 느끼는 시각피로도에 대한 설문을 실시하여 주관적인 평가도 병행하였다. 본 실험의 PMV 온열환경은 온도  $17\pm 1\sim 29\pm 1$  °C, 습도  $50\pm 5\sim 60\pm 5$  %의 범위에서 PMV 값에 따라 4가지 형태를 구성하였으며, LED광원의 조도는 400lx, 700lx, 1000lx의 3가지 형태로 구성하여 실험을 진행하였다. 오류검색수정작업의 정확도(LED p값=0.058, PMV\*LED p값=0.083) 및 소요시간(LED p값=0.004, PMV p값=0.000)은 PMV 온열환경과 LED광원의 조도 변화에 모두 유의하였으나, 피로도는 PMV 온열환경(p값=0.003)과 유의한 차이를 보였다.

**주제어:** PMV 환경, LED광원, 시각피로도, 시작업 향상

## 1. 서론

실내 활동이 많아짐에 따라 실내 환경에 있어서 쾌적한 환경을 조성하고자 하는 노력들이 이루어지고 있다. 그 대표적인 노력들이 바로 온열환경에 대한 지표를 개발하여 이를 공조 시스템에 활용하고자 하는 것이다. 현재까지 제안된 지표들로는 유효온도(effective temperature; ET), 수정 유효온도(corrected effective temperature; CET), 신 유효온도(new effective temperature; ET\*)와 표준 신 유효온도(standard new effective temperature; SET\*)가 있다(Kim et al., 2011; Kim et al., 2011b; Lee et al., 2013). 그러나 이 지표들이 가지고 있는 공통된 문제점은 주로 물리적 환경 요소들(건구온도, 흑구온도, 습도, 기류속도 등)에만 초점을 두고 있다는 것이다. 그렇지만 다양한 물리적 환경 요소들의 특성을 내포하고 있는 실내 환경 그 자체가 중요하다기 보다는, 실내 활동을 하게 될 인간이 과연 그 실내 환경을 적절하다고 판단할 것인지가 더 중요하다고 볼 수 있다. 이러한 관점을 일부 반영하여 인간이 가지고 있는 열적 속성, 즉 체온 조절에 영향을 주는 열적 부하(thermal load)를 계산하여 지표 산출에 활용한 예가 있다. 이는 Fanger(1970)에 의해 고안되었으며, 현재 ISO-7730으로 제정되어 활용되고 있는 예상 온열감 반응(predicted mean vote; PMV) 지표이다. 이 지표는 앞서 살펴본 지표들(ET, CET, ET\*, SET\*)처럼 온도, 습도, 평균복사온도, 기류속도의 네 가지 대표적 환경요소를 반영함과 동시에, 열적부하의 세부 요소로서 착용하고 있는 의복의 열 저항치(thermal resistance of garments)와 실내 활동에 근거한 대사량(metabolic rate)을 추가적으로 고려하였다. 이를 통해 -3에서 +3까지의 지표 값 범위 중, -0.5부터 +0.5사이의 지표 값을 갖는 실내 환경을 인간에게 쾌적한 실내 환경으로 규정하였다. -0.5~+0.5

의 지표 값은 신체 내부에서 발생하는 열과 신체 외부에 존재하는 열이 서로 평형적인 상태를 의미하는 것으로, 이러한 상태일 때 실내 환경에 대한 예상 불만족율(predicted percentage of dissatisfied; PPD)은 상대적으로 낮게 나타난다. 이러한 PMV 지표의 쾌적 범위에 근거하여, 여름철에는  $22^{\circ}\text{C}\sim 25.2^{\circ}\text{C}$ 가, 겨울철에는  $14.7^{\circ}\text{C}\sim 18.1^{\circ}\text{C}$ 가 쾌적한 실내온도라고 제안하였다(Lee & Lee, 1986). 그러나 실내 환경을 PMV 지표 값만을 기준으로 쾌적 환경과 불쾌 환경으로 구분하는 데에는 일부 문제점이 존재할 수 있다. 이 문제에 대해 쾌적한 실내 환경을 조성함에 있어 PMV 지표 값과 더불어 재실자 중심의 보완책이 마련되어야 함을 시사하였다(Kim et al., 2013).

실내 환경에 있어서 쾌적한 환경을 조성하는 요인 중 하나가 조명이라고 할 수 있다. 기존의 조명은 단순하게 어둠을 밝히는 것이 목적이었으나 최근에는 인간의 건강을 지키고 쾌적한 환경을 제공하는데 목적을 두고 있다. 사무실의 조명은 실무자에게 명확한 시 환경을 제공하여 눈의 피로를 적게 하고 집중력을 높여 일 처리능력을 향상 시킬 수 있어야 한다. 그러나 국내 조명환경은 사용자의 상황을 고려하지 못한 채 설계되고 있다. 또한, 최근에는 국제적으로 에너지 절감 및 환경보전의 방안으로 LED광원을 이용한 조명기기의 사용이 늘어 LED 조명에 대한 기준 및 설계가 이루어져야 할 것이다.

최근 국가 정책으로 인해 LED 조명과 관련되어 많은 연구들이 다양한 방면에서 진행되고 있다. 사무공간의 구조 및 조명 설치환경에 대해 사용자가 느끼는 만족도를 분석하였으며, 실무자들의 특성에 맞는 조명의 요소(조도, 균제도, 눈부심)들이 반영되어야 함을 제안하였다(Enar & Simon, 2009; Lokman, 2010; Ko et al., 2013). 조명의 환경에서 실무자들이 느끼는 눈 및

정신적 피로에 대해 설문지를 통한 평가와 생체신호 측정(안구, 뇌파, 심전도 등)을 통한 연구가 있다(Jang & Lim, 2006; Suh et al., 2010). 또한 조명환경(색온도, 조도, 주변 환경)의 변화에 따른 시작업 및 피로도 평가를 위해 객관적 평가도구를 개발하고 객관적은 평가 결과를 분석한 연구들이 있다(Yang et al., 2001; Baik et al., 2009; Jee & Kim, 2011; Jeong et al., 2012). 하지만, 기존의 연구에서는 단순히 정해진 실내환경 내에서 연구가 이루어지거나 실제 사무환경과는 다소 차이가 있기 때문에 다양한 실내의 온도 변화에 대한 조명과의 상관관계를 분석하기에는 다소 부족함이 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 이러한 점들을 보완하여 실내의 온열 환경을 단계별로 구성하고 각각의 환경에서 조도를 달리함으로써 다양한 사무환경에서의 조명이 작업자에게 미치는 영향을 평가하고자 한다. 또한, 작업자에게 미치는 영향을 분석하기 위해 조명의 특성 중 색온도는 5000K로 고정하고 조도를 각각 400lx, 700lx, 1000lx로 제시하였으며, 각각의 조명환경에서 3가지의 오류검색 수정 작업을 실시하고 정확도 및 소요시간 분석하였다.

본 논문에서는 실내의 PMV 온열 환경과 조도의 상관관계를 분석하여 실내의 환경 변화에 따른 조명이 미치는 영향에 대해 알아보하고자 한다. 이에 따라 작업 능률을 향상시키기 위해 다양한 온열 환경의 사무공간에 적합한 조명환경 정보를 제안하고자 한다.

## 2. 실험계획

### 2.1. 실험환경 및 대상

실험에 사용된 LED조명은 그림 1과 같으며, 작업자의 시작업 성능을 평가하기 위해 시제품으로 판매중인 (주)P사의 스탠드형 engoth-8100을 선정하였다. 본 모델은 작업면으로부터 광원의 높이는 42cm이며, 발광부의 크기는 가로 3cm, 세로 38cm이다. 발광부에 사용된 LED 모듈은 27개를 이용하여 10lx~1100lx의 밝기 조절이 가능하며, 색온도는 5000K로 고정되었다.



Figure 1. Lighting Source(engoth-8100)

시작업 성능 평가를 위한 실험공간은 전체 420cm × 360cm × 250cm(W × L × H)의 크기로 냉난방 및 보일러 시설이 갖추어진 곳으로 선정하였으며, 외부로부터 유입되는 빛은 창에 암막을 설치하여 차단하였다. 국부조명의 영향을 최소화하기 위해 실험공간의 내부에 그림 2와 같이 책상을 배치하였다. 전체 크기는 80cm × 60cm × 190cm(W × L × H)이고, 상단부분은 80cm × 60cm × 60cm(W × L × H)이다.



Figure 2. Experimental Space

본 실험을 위한 환경조건은 실내의 온도 및 조도의 다양한 변화를 주었으며, 사용된 환경의 구성은 표 1과 같다.

Table 1. Information of Experiment Environment

온열환경	조명환경
PMV=-0.6±0.1 (온도 17±1 ℃, 습도 55±5 %)	400lx 700lx 1000lx
PMV=0.0±0.1 (온도 21±1 ℃, 습도 50±5 %)	
PMV=0.8±0.1 (온도 25±1 ℃, 습도 60±5 %)	
PMV=1.5±0.1 (온도 29±1 ℃, 습도 55±5 %)	

실험공간의 실내 습도는 가습기를 통해 공급하였으며, 온습도 측정은 일본 Kyoto Electronic사의 AM-101 포

터블 PMV 측정기기를 사용하여 실내 중심부에서 측정하였다. 국부조명의 조도 및 색온도 측정은 일본 Konica Minolta 사의 CL-200A 색채조도계를 사용하였으며, LED 광원은 작업면으로부터 42cm 높이의 지점에 위치해 있다. 온습도 및 조명 측정기기는 그림 3과 같다.

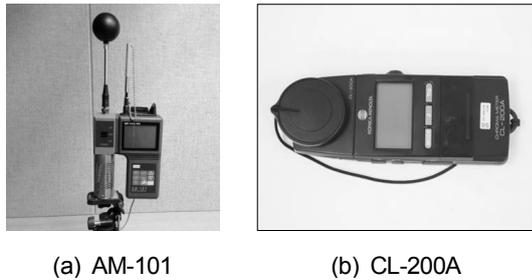


Figure 3. Measurements of Temperature and Color-Temperature

본 실험에 참여한 피험자는 신체적, 정신적으로 건 강한 대학교 재학생을 대상으로 선정하였으며, 남자 9명, 여자 9명을 대상으로 실시하였다. 실험 전에 실험 방법에 대한 자세한 설명을 하였으며, 실험하기 12시간 전에는 다매, 알코올, 카페인 등 오류검색수정작업에 영향을 미치는 음식은 피하도록 하였다.

2.2. 수행과제 및 평가방법

2.2.1. 숫자 오류검색수정작업

숫자 오류검색수정작업 평가지는 그림 4와 같이 A4 용지에 표A와 표B를 구분하여 각각 10칸, 30열로 구성된 표에 글자체는 Times New Roman, 글자 크기는 9포인트의 글꼴을 사용하였으며, 100~999까지의 3자리 숫자를 무작위로 배치하였다. 또한, 평가지에 포함된 틀린 숫자의 수는 40개 제시하였다.

Figure 4. Sheet of Numerical Error Correction

2.2.2. 문자 오류검색수정작업

문자 오류검색수정작업 평가지는 그림 5와 같이 A4 용지에 좌우 2단으로 구분하여 각각 20칸, 25열로 구성된 표에 글자체는 맑은 고딕, 글자 크기는 9포인트의 글꼴을 사용하였으며, 임의의 한글 한 문자를 무작위로 배치하였다. 또한, 평가지에 포함된 틀린 글자의 수는 40개 제시하였다.

Figure 5. Sheet of Text Error Correction

2.2.3. 사칙연산 오류검색수정작업

사칙연산 오류검색수정작업 평가지는 그림 6과 같이 A4용지에 각각 4행, 40단으로 구성된 표에 글자체는 Times New Roman, 글자 크기는 9포인트의 글꼴을 사용하였으며, 1자리 숫자 연산을 무작위로 배치하였다. 또한, 평가지에 포함된 연산오류는 40개 제시하였다.

Figure 6. Sheet of Operation Error Correction

2.2.4. 시각피로도 설문지 작성

시각피로도에 대한 설문지는 그림 7과 같이 총 10

개의 문항으로 이루어져있으며, 눈의 피로도에 대해 0 ~6 단계의 체크를 할 수 있다. 시각피로도의 설문은 피로도의 변화를 보기 위해 오류검색수정 작업을 시작하기 전과 후 총 2회 진행하였다(Ames et al., 2005).

	None	Mild	Moderate	Severe
	0	1	2	3
Tired eyes(피곤함)				
Sore/aching eyes(아픈)				
Irritated eyes(따끔거리는)				
Watery eyes(속속한)				
Dry eyes(마른)				
Eyestrain(안정피로)				
Hot/burning eyes(뜨거움)				
Blurred vision(몽롱)				
Difficulty focusing(집중력)				
Vision discomfort(불편함)				

Figure 7. Questionnaire for Ocular Fatigue

### 2.3. 실험방법

이번 실험에서는 일차단위 인자가 하나인 단일분할법(split-plot design)으로 실험을 실시하였다. 그 절차는 아래의 그림과 같다. 이 실험에서는 4개의 PMV 조건  $A_1, A_2, A_3, A_4$  중에서 하나를 임의로 선택한 후에, LED 조건  $B_1, B_2, B_3$ 를 바꾸어 오류검색수정 작업을 시킨 후 정확도, 소요시간 및 시각피로도를 측정하였다. 이때 LED 조건  $B_1, B_2, B_3$ 의 순서는 임의로 선택된다. 여기서 PMV 조건  $A_1, A_2, A_3, A_4$ 는  $PMV=0.6 \pm 0.1, PMV=0.0 \pm 0.1, PMV=0.8 \pm 0.1, PMV=1.5 \pm 0.1$ (온도  $17 \pm 1 \sim 29 \pm 1$  °C, 습도  $50 \pm 5 \sim 60 \pm 5$  %)이며, LED 조건  $B_1, B_2, B_3$ 은 각각 400lx, 700lx, 1000lx이다.

한 피험자에 대하여 모든 처리조합에서 실험이 끝나면 다른 피험자에 대하여 실험을 실시하였다.

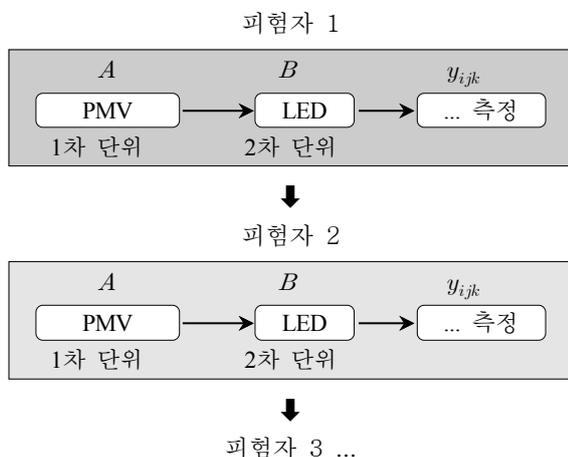


Figure 8. Experimental Procedure of Split-plot Design

이와 같은 단일분할법에서 A와 피험자 R을 1차 단위 인자, B는 2차 단위 인자가 된다. 이에 대한 구조식은 다음 식과 같다.

$$y_{ijk} = \underbrace{\mu + r_k + a_i + e_{(1)ik}}_{1차단위} + \underbrace{b_j + (ab)_{ij} + e_{(2)ijk}}_{2차단위}$$

실험 프로토콜은 표 2와 같다. 또한 실험 전에 피험자에게 실험방법 및 숙지사항에 대해 전달한 후 실험을 진행하였다.

Table 2. Experimental Protocol

순서	진행요소	시간(분)	조건
1	환경적응 및 휴식	10	환경 : (A <sub>1</sub> ~ A <sub>4</sub> )  조도 : (B <sub>1</sub> ~ B <sub>4</sub> )
2	순응	2	
3	Task1 수행	20	
4	암순응	2	
5	순응	2	
6	Task2 수행	20	
7	암순응	2	
8	순응	2	
9	Task3 수행	20	

### 3. 실험 결과

모든 실험 데이터는 Minitab 16 프로그램을 이용해 분산 분석을 통해 분석하였다.

#### 3.1. 오류검색수정작업 정확도 분석

오류검색수정작업 정확도의 분산분석 결과인 표 3를 살펴보면 피험자 간에 유의적인 평균차이(유의확률 p값=0.000)가 있었으며, LED간에도 유의적인 차이(유의확률 p값=0.058)가 있는 것으로 나타났다. 또한 PMV와 LED의 교호작용도 존재하는 것으로 나타났다(유의확률 p값=0.083). 그러나 PMV간에는 평균차이가 나타나지 않았다(유의확률 p값=0.902). 오류검색수정작업의 정확도 관점에서 최적 조건은 PMV는 0.8, LED는 700lx인 것의 것으로 판단된다.

Table 3. Result of ANOVA on Accuracy in Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
Subject	17.4154	17	1.0244	4.46	0.000
PMV	0.1316	3	0.0439	0.19	0.902
Error(e <sub>(1)</sub> )	11.7138	51	0.2297	1.86	0.002
LED	0.7190	2	0.3595	2.91	0.058
PMV*LED	1.4160	6	0.2360	1.91	0.083
Error(e <sub>(2)</sub> )	16.7830	136	0.1234		
Total	48.1788	215			

오류검색수정작업 정확도의 평균 및 표준편차에 대한 결과 그림 9와 같다.

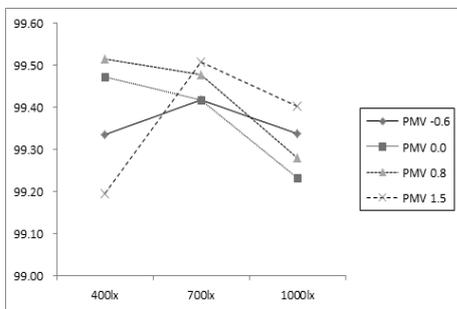


Figure 9. Result of Average on Accuracy in Error Correction Task

### 3.2. 오류검색수정작업 소요시간 분석

오류검색수정작업 소요시간의 분산분석 결과인 표 4를 살펴보면 피험자 간에 유의적인 평균차이(유의확률 p값=0.000)가 있었으며, PMV간에도 유의적인 차이(유의확률 p값=0.000)가 있었으며, LED간에도 유의적인 평균차이가 있는 것으로 나타났다(유의확률 p값=0.004). 그러나 PMV와 LED의 교호작용은 존재하지 않은 것으로 나타났다(유의확률 p값=0.532). 오류검색수정 작업의 소요시간 관점에서 최적 조건은 PMV는 1.5 또는 0.8, LED는 1000lx로 나타났다. PMV 1.5과 0.8의 결과는 유사하지만, 유의적인 차이가 없었다.

Table 4. Result of ANOVA on Required Time in Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
Subject	5372601	17	316035	8.75	0.000
PMV	1685470	3	561823	15.55	0.000

Error(e <sub>(1)</sub> )	1842814	51	36134	2.59	0.000
LED	157424	2	78712	5.63	0.004
PMV*LED	71500	6	11917	0.85	0.532
Error(e <sub>(2)</sub> )	1900319	136	13973		
Total	11030127	215			

오류검색수정작업 소요시간의 평균에 대한 결과 그림 10과 같다.

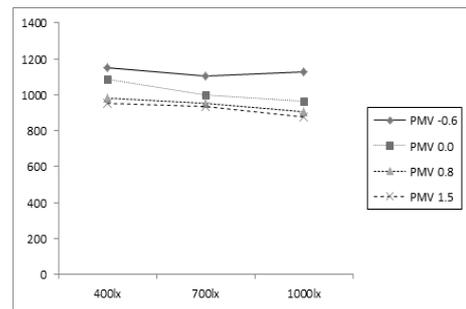


Figure 10. Result of Average on Required Time in Error Correction Task

### 3.3. 시각피로도에 대한 분석

시각피로도의 분산분석 결과인 표 5를 살펴보면 피험자 간에 유의적인 평균차이(유의확률 p값=0.000)가 있었으며, PMV간에도 유의적인 차이(p값=0.003)가 있는 것으로 나타났다. 그러나 LED간에는 평균차이가 나타나지 않았다(유의확률 p값=0.590). 또한 PMV와 LED의 교호작용도 존재하지 않은 것으로 나타났다(유의확률 p값=0.678). 피로도 관점에서 PMV의 최적 조건은 0.8로 나타났다.

Table 5. Result of ANOVA on Ocular Fatigue

Source	SS	DF	MS	F	P
Subject	8720.04	17	512.94	11.18	0.000
PMV	711.05	3	237.02	5.16	0.003
Error(e <sub>(1)</sub> )	2340.53	51	45.89	1.57	0.021
LED	31.00	2	15.50	0.53	0.590
PMV*LED	115.85	6	19.48	0.67	0.678
Error(e <sub>(2)</sub> )	3981.48	136	29.28		
Total	15900.96	215			

오류검색수정작업 전과 후 시각피로도 차에 대한

평균 결과는 그림 11과 같다.

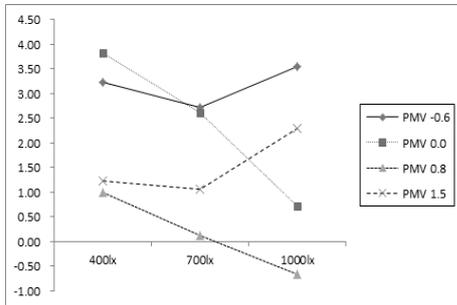


Figure 11. Result of Average on Ocular Fatigue

#### 4. 결론

본 연구에서는 온열환경의 변화에 따라 LED광원의 조도가 시작업 성과 시각피로도에 미치는 영향을 분석하기 위해 작업환경을 구성하고 대학생 18명을 대상으로 총 4회에 걸쳐 오류검색수정 작업을 실시하였다. 이에 대한 오류검색수정작업의 정확도와 소요시간 및 시각피로도의 변화를 분석하였다.

본 실험을 위해 주어진 PMV 온열환경은 -0.6, 0.0, 0.8, 1.5의 4가지이며, 주어진 온열환경 내에서 변화되는 LED광원의 조도는 각각 400lx, 700lx, 1000lx이다. 위의 실험환경에서 피험자들은 오류검색수정 작업을 실시하였으며 각 분석결과는 다음과 같다.

오류검색수정 작업의 정확도 : 정확도는 PMV 온열환경과 LED광원의 조도 변화에 모두 유의적인 차이를 보였다. PMV 온열환경의 경우  $0.8 > 0.0 > 1.5 > -0.6$ 의 순으로 정확도의 차이를 보였으며, PMV 0.8에서 가장 높은 정확도를 나타냈다. LED광원의 조도 변화에는 문자 오류검색수정 작업이 가장 민감한 반응을 보였으며, 전체적으로 PMV 1.5 환경을 제외하고  $700lx > 400lx > 1000lx$ 의 결과를 보였다. PMV 1.5의 환경에서는  $700lx > 1000lx > 400lx$ 의 결과를 보였다.

오류검색수정 작업의 소요시간 : 소요시간 역시 PMV 온열환경과 LED광원의 조도 변화에 모두 유의적인 차이를 보였다. PMV 온열환경의 경우  $1.5 \geq 0.8 > 0.0 > -0.6$ 의 순으로 소요시간의 차이를 보였으며, 1.5와 0.8의 경우 근소한 차이로 1.5에서 좋은 결과를 나타냈다. LED광원의 조도 변화에서도 문자 오류검색수정 작업이 가장 민감한 반응을 보였으며, 평균적으로  $700lx >$

$1000lx > 400lx$ 의 결과를 보였다. 소요시간의 경우 PMV 온열환경에 따라 각각 다른 결과를 나타냈다.

시각피로도 : 오류수정작업을 수행하는 과정에서 느끼는 눈의 피로는 PMV 온열환경에 유의적인 차이를 보였다. PMV 온열환경의 경우  $0.8 > 1.5 > 0.0 > -0.6$ 의 순으로 시각피로도의 차이를 보였다. PMV 0.8에서 가장 적은 시각피로도를 나타냈다. LED광원의 조도 변화에 따른 시각피로도는 분명히 존재하지만, 데이터 간의 유의적인 차이는 존재하지 않았다.

이상을 종합하면 PMV는 0.8, LED광원의 조도는 700lx가 시/온열환경의 최적조건인 것으로 나타났다. 이상의 연구결과로서 주거 및 사무공간에 따라 쾌적한 시환경 및 작업의 능률을 향상시키기 위해서는 주어진 PMV 온열환경에 따라 LED광원의 조도 조절이 필요함을 확인하였다.

한편 ISO-7730에서는 PMV 지표 -3에서 +3까지의 지표 값 범위 중, -0.5부터 +0.5사이의 지표 값을 갖는 실내 환경을 인간에게 쾌적한 실내 환경으로 규정하였다. 그러나 본 실험에서는 ISO-7730의 쾌적한 실내환경 보다는 약간 높게 나타났다. 그 이유에 대해서는 추가적인 실험을 통하여 밝힐 필요가 있다. 그중 하나가 PMV 지표가 쾌/불쾌를 구분하는데 타당하지 않을 수 있다는 것이다. 이는 인간이 쾌적하다고 지각할 때의 환경상태와 PMV 지표 값에 근거한 쾌적한 환경상태가 서로 다를 수 있음을 시사하는 것으로 다른 연구에서도 지적되었다(Kim, et al., 2013; Kim, et al., 2013). 보다 명확한 해석을 위해서는 PMV 지표와 생리적인 요인과의 관련성을 규명하고, PMV 지표 자체에 대한 추가적인 연구가 요구된다.

#### REFERENCES

Ames, S. L., Wolffsohn, J.S., McBrien N.A. (2005). The Development of a Symptom Questionnaire for Assessing Virtual Reality Viewing using a Head-Mounted Display", *Optoms and Vision Science*, 82(3), 168-176.

Baik, S. H., Jeong, I. Y., Shin, H. Y., Kim, J. T. (2009). Effects of Correlated Color Temperature of LED Light Sources and a Fluorescent Light Source

- on Visual Performance, *Journal of the Korean Institute of Illumination and Electrical Installation Engineers*, 23(1), 18-26.
- Enar N., Simon S., N. O. (2009). People's Perceptions of the Visual Appearance of Wood Flooring: A Kansei Engineering Approach, *Forest Products Journal*, 59(11-12), 67-74.
- Fanger, P. O. (1970). *Analysis and application in environmental engineering: Thermal comfort*, Copenhagen: Danish Technical Press.
- Jang, T. I., Lim, H. K. (2006). Analysis of Mental Fatigue of Inspection Workers under Various Lighting Conditions, *Journal of the Korean Society of Safety*, 21(2), 114-120.
- Jee, S. D., Kim, C. B. (2011). Objective Evaluation of Learning Performance according to the Color Temperature of LED Illumination, *Journal of the Korean Institute of Education Facilities*, 18(2), 25-33.
- Jeong, K. I., Lee, C. W., Song, W. J., Sung, Y. J., Sun, J. S., Ryu, G. C. (2012). Effects of Correlated Color Temperature of LED Light Sources and Illumination on Visual Performance at Near, *Journal of the Korean Society of Vision Science*, 14(3), 190-195.
- Kim, B., Kim, J. H., & Min, Y. K. (2011). Effects of the perceived thermal sensitivity on performances of learning task according to the level of difficulty, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 13(5B), 2513-2522.
- Kim, B., Min, Y. K., Min, B. C., & Kim, J. H. (2011b). Effects of thermal environmental factors on behavioral responses of the selective attention mechanism, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 13(5B), 2523-2533.
- Kim, B. (2013). The characteristics of the learning performance according to the indoor temperature of the learning environment and the color of the learning materials, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 14(2), 681-687.
- Kim, B. S., Min, Y. K., Shin E., Kim, J. H. (2013). The Validation Study of Shaping Comfortable Environments Based on the PMV Index Using Facial Skin Temperature, *Journal of the Korean Society for Emotion and Sensibility*, 16(3), 311-318.
- Kim J. H., Min, Y. K., Kim, B. S. (2013). Is the PMV Index an Indicator of Human Thermal Comfort Sensation?, *International Journal of Smart Home*, 7(1), 27-34.
- Ko, J. K., Kim, J. H., Lee, M. J., Cho, M. R. (2013). Evaluation and Analysis of Measurement Data for Lighting Environment and User Satisfaction in Office, *In Proceeding of 2013 Spring Conference of Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers*, 2013(5), 16-18.
- Lee, J. Y. & Lee, K. H. (1986). A study on the model setting of thermal comfort zone in the elementary school classroom, *Proceedings of the Architectural Institute of Korea*, 6(1), 279-282.
- Lokman, A. M. (2010). Design & Emotion: The Kansei Engineering Methodology, *The Malaysian Journal of Computing*, 1(1), 1-14.
- Lee, Y. C., Lee, H. J., Hwang, E. J., Bae, J. W., Min, Y. K., & Kim, B. (2013). ANS and CNS responses according to thermal comfort based on the PMV, *Journal of the Korean Data Analysis Society*, 15(1B), 349-358.
- Suh, Y. W., Kim, K. H., Kang, S. Y., Kim, S. W., Oh, J. R., Kim, H. M., Song, J. S. (2010). The Objective Methods to Evaluate Ocular Fatigue Associated with Computer Work, *Journal of the Korean Ophthalmological Society*, 51(10), 1327-1332.
- Yang, H. K., Ko, H. W., Kim, M. H., Lim, S. K., Yun, Y. H. (2001). Evaluation of Fatigue by Analysis of Relation between Subjective Rating Score and Working Performance with Color Temperature, *Journal of the Korean Society for Emotion and Sensibility*, 4(2), 63-68.

원고접수: 2014.05.20

수정접수: 2014.06.09

게재확정: 2014.06.09