

에너지 저감과 업무 효율성을 위한 LED 조명환경 평가에 대한 연구

A Study on Evaluation of LED Lighting Environments for Energy Saving and Work Effectiveness

김형선* · 임재현** · 이기선*** · 김길희**** · 정희창***** · 김진호*****†
Hyung-Sun Kim* · Jae-Hyun Lim** · Kee-Sun Lee*** ·
Kil-Hee Kim**** · Hee-Chang Jung***** · Jin Ho Kim*****†

*그린 에너지 기술연구소
*Green Energy Technology Research Center

**국립공주대학교 컴퓨터공학부
**Department of Computer Science and Engineering, Kongju National University

***국립공주대학교 신소재공학부
***Division of Advanced Materials Engineering, Kongju National University

****국립공주대학교 건축학부
****Department of Architectural Engineering, Kongju National University

*****영남대학교의료원 비뇨기과
*****Department of Urology, Yeungnam University Hospital

*****공주대학교 산업시스템공학과
*****Department of Industrial and System Engineering, Kongju National University

Abstract

This study carried out an experiment to identify subject's work effectiveness and energy saving effect using LED light. Towards this end, this study configured nine various lighting environments in order to control PWM (Pulse Width Modulation) and illuminance (lux), which are the characteristics of LED light. The PWM ratio of LED light was set as R:G:B=1:1:1, R:G:B=4:1:5, and R:G:B=8:7:7, respectively, and illuminance (lux) was set as 400 lx, 700

* 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

lx, and 1000 lx, respectively. In addition, the indoor environment was set temperature 20-24 °C, humidity 50%-60%, and the amount of clothing 1. This study analyzed work effectiveness and energy consumption in nine lighting environments, each. Error correction was performed for work effectiveness analysis, and cumulative power consumption was measured in each lighting environment for energy consumption analysis. According to experiment results through the lighting environments suggested in this study, accuracy and spent time effectiveness were good in 700lux and higher than 400lux. For spent time, the best effectiveness was revealed in the suggested PWM ratio, R:G:B=8:7:7. The lowest power consumption on each illuminance (lux) was revealed in the order of R:G:B=8:7:7, RGB=1:1:1, and R:G:B=4:1:5. Therefore, pulse-width modulation effect is proposed in this paper was found to affect the efficiency and energy saving.

Key words: pulse width modulation, illuminance, energy saving

요약

본 연구에서는 LED 광원에 대하여 재실자의 업무 효율성과 에너지 저감 효과를 알아보기 위한 실험을 실시하였다. 이를 위해 LED 광원의 특성인 펄스 폭 변조(PWM, pulse width modulation)와 조도(lux)를 제어하여 총 9가지의 다양한 조명환경을 구성하였다. LED 조명의 펄스 변조 비율은 각각 R:G:B=1:1:1, R:G:B=4:1:5, R:G:B=8:7:7으로 하였으며, 조도는 각각 400 lx, 700 lx, 1000 lx으로 설정하였다. 또한, 실내환경은 온도 20~24°C, 습도 50~60%, 착의량 1 clo로 설정하였다. 각각의 주어진 9개의 조명환경에서 업무 효율성과 에너지 소비에 대해 분석하였다. 업무 효율성 분석을 위해 오류검색수정 작업을 실시하였으며, 에너지 소비 분석을 위해 각 조명환경에서 누적 소비전력을 측정하였다. 제안한 조명환경을 통해 실험한 결과, 업무 효율성은 400 lx 보다 700 lx 이상에서 정확도 및 소요시간의 효율이 좋았으며, 소요시간의 경우 제안한 펄스 변조 R:G:B=8:7:7에서 가장 좋은 효율을 나타냈다. 또한, 각각의 조도에 대한 소비전력은 펄스 변조 R:G:B=8:7:7 > RGB=1:1:1 > R:G:B=4:1:5의 순으로 낮게 나타났다. 따라서, 본 논문에서 제안한 펄스 폭 변조 효과가 업무 효율성 및 에너지 저감에 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

주제어: 펄스 폭 변조, 조도, 에너지 저감

1. 서론

요즈음 문제가 되고 있는 지구온난화의 가속화 문제를 해결하기 위해 각국은 안전하면서도 재생이 가능한 에너지 개발에 주력하는 한편 에너지 효율성을 높이기 위한 녹색 기술 개발에 총력을 기울이고 있다. 국내에서도 2008년부터 국가발전 전략인 “저탄소 녹색성장”을 장기적인 비전과 구체적인 목표를 체계화하여 “녹색성장 국가전략 및 5개년계획”을 수립하여 진행 중에 있다. 또한, 녹색성장의 핵심 산업으로 생활의 녹색혁명을 위해 에너지 저감 방안 및 LED 광원을 이용한 조명 연구가 확대되고 있다(Jee et al., 2011; Kim et al., 2014; Yang et al., 2011). 한편, 국내 에너지 경제연구원에 따르면 2013년 우리나라는 전체 에너지

의 95.7%를 수입에 의존하고 있으며, 전체 에너지 중 약 20%에 달하는 조명 에너지의 경우 점차적으로 증가할 것으로 예측되어 조명 에너지 소비를 절감하기 위한 대책 마련이 시급한 실정이다(Kim, 2013). 이렇듯 국가 정책으로 인해 LED 조명과 관련된 연구들이 다양한 방면에서 진행되고 있다. 진행된 연구로는 사무공간의 구조 및 조명 설치환경에 대해 사용자가 느끼는 만족도를 분석하고, 실무자들의 특성에 맞는 조명 요소들을 제안하거나(Enar et al., 2009; Ko et al., 2013; Lokmanm, 2010), 조명 환경에서 실무자들이 느끼는 시력 및 정신적 피로에 대하여 설문지에 의한 주관적인 평가와 생체신호에 의한 객관적인 평가가 있다(Baik et al., 2009; Jang et al., 2006; Jee et al., 2011; Jeong et al., 2012; Suh et al., 2010). 하지만, 최

근 연구되고 있는 조명에 관한 연구의 대부분이 사용자 중심으로 연구를 진행하고 있으며, 에너지에 대한 부분은 간과하고 있다. 따라서, 조명에 대한 사용자의 편의성 및 쾌적함을 제공하면서 에너지 저감도 할 수 있는 연구가 필요하다.

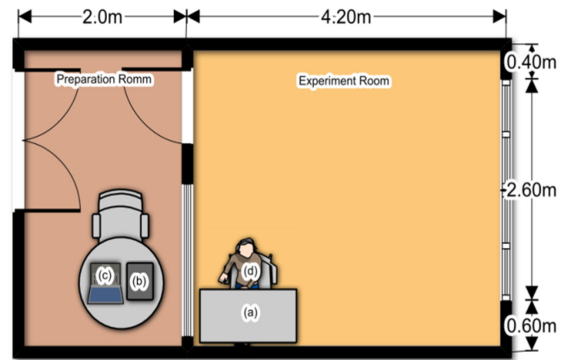
이에 본 연구에서는 LED 조명의 특성을 이용해 사용자에 대한 업무 편의성과 쾌적함을 제공하고, 에너지를 저감할 수 있는 방안을 제안하고자 한다. 본 실험을 위해 ASHRAE Standard에서 권장하는 겨울철 쾌적지표에 따라 실내환경을 구축하고, LED 조명의 조건을 달리하여 실험을 진행하였다. 본 연구에서는 펄스변조와 조도를 각각 3가지 조건으로 변화를 주어, 총 9가지의 환경을 구성하였다. 제안하는 펄스변조 조건은 R:G:B의 비율이 각각 1:1:1, 4:1:5, 8:7:7 이다. 1:1:1의 비율은 LED 광원에 있는 R, G, B 칩의 펄스 폭을 모두 동일하게 설정한 경우이다. 4:1:5의 비율은 각 칩의 조도 값을 동일하게 하였을 경우이다. 8:7:7의 비율은 각 칩의 소비전력을 동일하게 하였을 경우이다. 그리고 조명의 조도 조건은 KSA 3011(ISK, 1998)에서 정의된 독서와 공부방에서의 표준조도인 400 lx와 1000 lx를 기반으로 300 lx의 간격을 두고 각각 400 lx, 700 lx, 1000 lx의 3가지로 설정하였다. 이러한 조명환경에서 오류검색수정 작업을 수행하여 업무에 미치는 영향을 분석하였고, Power Meter 를 사용하여 소비되는 전력을 측정하였다. 이를 통해 LED 조명의 펄스변조가 업무 효율성 및 에너지 저감에 미치는 영향에 대해 알아보려고 하였다.

2. 실험 환경요소

2.1. 환경 및 피험자에 대한 정보

본 연구를 위한 실험 공간은 냉난방 및 습도 제어가 가능하도록 구성하였으며, 실험공간 내부의 구조는 Figure 1과 같다.

실험에 사용된 테스트 베드는 실험을 위한 공간과 실험 준비를 위한 공간으로 구분되어 있다. 실험 공간은 창가에 암막커튼을 설치하여 외부로부터 유입되는 빛을 차단하였다. 또한, 냉난방 장치를 통해 온도를



(a) working table and LED light
(b, c) remote lighting control device (d) subject

Figure 1. Test Bed

제어하고 가습기를 설치하여 습도를 유지하였다. 실내 환경은 ASHRAE Standard에서 권장하는 겨울철 PMV 0 을 유지하기 위해 온도 20~24℃, 습도 50~60%, 착 의량 1 clo 을 유지하여 실험을 진행하였다(ASHRAE Standard, 2008). 실내환경을 유지하기 위해 실시간으로 KEM 사의 AM-101 장치를 통해 실내의 중심부 1.2m 높이에서 온도 및 습도를 측정하였다.

본 실험을 위한 피험자는 신체적, 정신적으로 건강한 대학생으로 남자 10명(나이 23.5±0.81세), 여자 10명(21.0±0.89세)을 선정하였다. 사전에 실험에 대한 사전 교육을 실시하였으며, 실험 하루 전에는 알코올, 카페인 음료 등 인지 기능에 영향을 주는 음식은 피하도록 하였다.

2.2. 업무 효율성에 대한 평가도구

본 연구에서 제안하는 실내 업무환경의 성능을 평가하기 위해 한국표준과학연구원에서 개발한 ‘data 오류검색수정 task’ 평가도구(Park, 2002)를 이용하여, 학생들의 수준에 맞도록 수정하였다. 실험에는 다음과 같은 3종류의 오류검색수정 작업을 제시하였으며, 측정된 정확도 및 소요시간 분석을 통해 효율성에 대한 평가를 하였다.

2.2.1. 숫자 오류검색수정

숫자 오류검색수정 작업 평가지는 Figure 2와 같이 A4 용지에 표 A와 표 B를 구분하여 각각 10칸, 30열

로 구성하였으며 글꼴은 Times New Roman, 글자 크기는 9 포인트를 사용하였다. 또한, 평가지는 100~999까지의 3자리 숫자를 무작위로 배치하였고, 40개의 오류 값을 포함하였다.

Figure 2. Sheet of Number Error Correction

2.2.2. 문자 오류검색수정

문자 오류검색수정 작업 평가지는 Figure 3과 같이 A4 용지에 좌우 2단으로 구분하여 각각 20칸, 25열로 구성하였으며 글꼴은 맑은 고딕, 글자 크기는 9 포인트를 사용하였다. 또한, 평가지는 임의의 한글 한 문자를 무작위로 배치하였고, 40개의 오류 값을 포함하였다.

Figure 3. Sheet of Letter Error Correction

2.2.3. 연산 오류검색수정

연산 오류검색수정 작업 평가지는 Figure 4와 같이 A4 용지에 각각 4행, 40단으로 구성하였으며, 글꼴은 Times New Roman, 글자 크기는 9 포인트를 사용하였다. 또한, 평가지는 1자리 숫자 연산을 무작위로 배치하였고, 40개의 오류 값을 포함하였다.

Figure 4. Sheet of Operation Error Correction

2.3. 실험구성을 위한 장치

2.3.1. LED 조명 제어 시스템

본 연구의 실험을 위해서 (주)GNTL 을 통해 제작한 스텐드형 LED 조명 제어 시스템을 사용하였다. 제작된 LED 조명 제어 시스템은 Figure 5와 같으며, 프로그램을 통해 실시간으로 조도, 펄스, 색온도의 원격 제어가 가능하다. 그리고 LED 조명의 조도 값 측정을 위해 코니카 미놀타사의 CL-200A 색채조도계를 사용하여 측정하였다. 또한, 작업을 위한 공간 전체의 크기는 80cm × 60cm × 190cm(W × L × H)이며, 상단부분은 80cm × 60cm × 60cm(W × L × H)이다.



Figure 5. Lighting Control System

2.3.2. 전력측정 장치

본 연구에서는 제안된 각각의 조명환경에 대한 소비전력을 측정을 위해 AD Power 사의 HPM-300A Power-Meter를 사용하였으며 Figure 6과 같다.



Figure 6. HPM-300A(Power-Meter)

HPM-300A Power-Meter의 전압 측정 범위는 AC 1~500V, DC 1~1000V, 전류 측정 범위는 AC/DC 500 μ A~15A, 전력 측정 범위는 AC 0.5m~7.5kW, DC 0.5m~15kW 이다.

2.4. 실험방법

본 실험의 실내 온열환경은 겨울철 쾌적지표에 따라 PMV 0 을 유지하였으며, LED 광원의 특성을 제어하여 총 9가지의 조명환경을 제안하였다. 또한, 각각의 조명 환경에 따라 오류검색수정 작업을 실시하였고, Power Meter를 통해 누적 소비전력을 측정하였다. 제안된 조명환경은 펄스 폭 변조(PWM) 조건 3 가지와 조도(LED) 조건 3 가지의 조합으로 구성하였다. 각 펄스 폭 변조(PWM) 비율은 PWM₁ (R:G:B=1:1:1), PWM₂ (R:G:B=4:1:5), PWM₃ (R:G:B=8:7:7)와 같다. PWM₁은 LED 조명의 소자인 R, G, B 각각에 대해 펄스 폭을 동일한 비율로 설정한 조건이며, PWM₂는 R, G, B 소자에서 조사하는 조도가 동일하도록 펄스 폭 비율을 설정한 것이다. 또한, 조건 PWM₃는 R, G, B 소자의 소비전력이 모두 동일하도록 펄스 폭 비율을 설정한 것이다. 조도(LED)는 밝기의 차이에 따라 각각 400 lx, 700 lx, 1000 lx로 설정하였으며, 색온도는 형광등과 유사한 6000~6500K로 설정하였다. 따라서 본 연구에서는 총 9가지의 조명환경(3가지 펄스변조 비율 * 3가지 조도)을 구성하였다. 구성된 조명환경에 대한 실험 절차는 Table 1과 같으며, 총 9가지의 조명환경 중에서 임의의 조건을 한 가지를 선택하여 실험을 진행하였다.

Table 1. Experiment Procedure

Order	Content	Time(m)
1	adaptation to the indoor thermal environment	10
2	dark adaptation(Light OFF)	2
3	light adaptation(Light ON)	2
4	perform of error correction task	20
5	dark adaptation(Light OFF)	2

3. 연구 결과

본 실험을 통해 수집된 모든 데이터는 ‘반복이 있는 이원배치법’의 분산분석을 통해 유의적인 차이를 검증하였다.

3.1. 숫자 오류검색수정 작업 분석

3.1.1. 정확도 분석

정확도의 분산분석 결과인 Table 2를 살펴보면, PWM 간의 유의적인 차이($p = .057$)가 없었다. 또한, LED 간에는 유의적인 차이($p = .649$)가 없는 것으로 나타났으며, PWM 과 LED의 교호작용도 유의적인 차이($p = .838$)가 나타나지 않았다.

Table 2. Result of ANOVA on Accuracy in Number of Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
PWM	0.935	2	0.467	2.92	0.057
LED	0.139	2	0.069	0.43	0.649
PWM*LED	0.224	4	0.057	0.36	0.838
Error	21.576	135	0.160		
Total	22.879	143			

Figure 7은 숫자 오류검색수정 작업의 정확도에 대한 평균을 그래프로 나타낸 것이다.

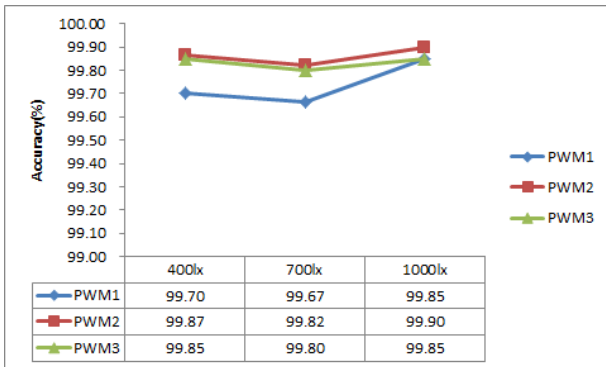


Figure 7. Result of Average on Accuracy in Number of Error Correction Task

3.1.2. 소요시간 분석

소요시간의 분산분석 결과인 Table 3을 살펴보면, PWM 간의 유의적인 차이($p < .000$)가 있었으며, LED 간에도 유의적인 차이($p < .05$)가 있는 것으로 나타났다. 하지만, PWM 과 LED 의 교호작용은 유의적인 차이($p = .388$)가 나타나지 않았다.

Table 3. Result of ANOVA on Required Time in Number of Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
PWM	48935	2	24467.4	10.20	0.000
LED	22255	2	11127.5	4.64	0.011
PWM*LED	9995	4	2489.9	1.04	0.388
Error	323871	135	2399.0		
Total	405057	143			

Figure 8은 숫자 오류검색수정 작업의 소요시간에 대한 평균을 그래프로 나타낸 것이다. 숫자 오류검색

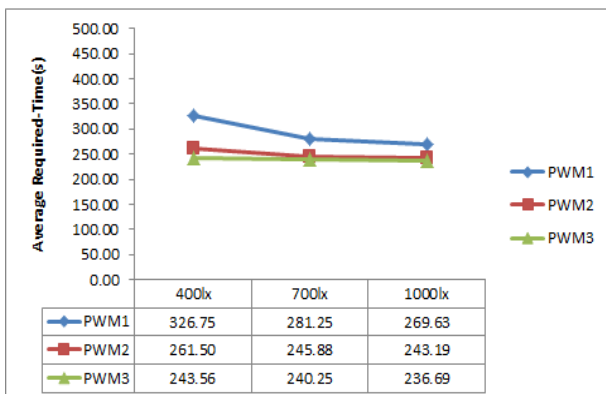


Figure 8. Result of Average on Required Time in Error Correction Task

수정 작업의 소요시간은 모든 조도에서 $PWM_3 > PWM_2 > PWM_1$ 순으로 나타났다. 또한, 모든 조명환경 중에는 펄스변조 PWM₃, 조도 1000 lx 에서 가장 소요시간이 짧았다.

3.2. 문자 오류검색수정 작업 분석

3.2.1. 정확도 분석

정확도의 분산분석 결과인 Table 4를 살펴보면, PWM 간의 유의적인 차이($p = .913$)가 없었으며, LED 간에도 유의적인 차이($p = .323$)가 없는 것으로 나타났다. 또한, PWM 과 LED 의 교호작용도 유의적인 차이($p = .502$)가 나타나지 않았다.

Table 4. Result of ANOVA on Accuracy in Letter of Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
PWM	0.021	2	0.010	0.09	0.913
LED	0.257	2	0.129	1.14	0.323
PWM*LED	0.379	4	0.095	0.84	0.502
Error	15.235	135	0.113		
Total	15.892	143			

Figure 9는 문자 오류검색수정 작업의 정확도에 대한 평균을 그래프로 나타낸 것이다.

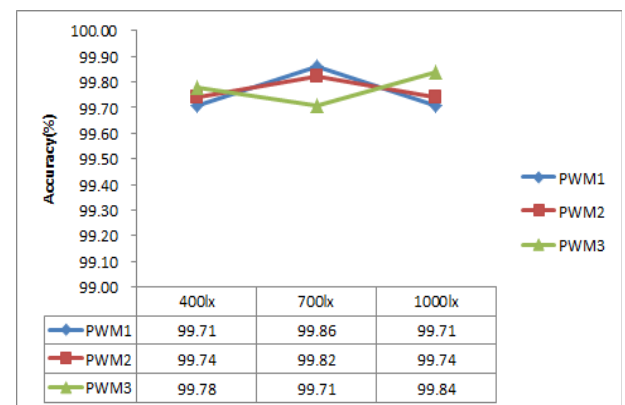


Figure 9. Result of Average on Accuracy in Letter of Error Correction Task

3.2.2. 소요시간 분석

소요시간의 분산분석 결과인 Table 5를 살펴보면, PWM 간의 유의적인 차이($p < .000$)가 있었으며, LED 간에도 유의적인 차이($p < .05$)가 있는 것으로 나타났다. 하지만, PWM 과 LED 의 교호작용은 유의적인 차이($p = .212$)가 나타나지 않았다.

Table 5. Result of ANOVA on Required Time in Letter of Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
PWM	168662	2	84330.8	14.10	0.000
LED	49343	2	24671.4	4.13	0.018
PWM*LED	35405	4	8851.2	1.48	0.212
Error	807156	135	5978.9		
Total	1060565	143			

Figure 10은 문자 오류검색수정 작업의 소요시간에 대한 평균을 그래프로 나타낸 것이다. 문자 오류검색 수정 작업의 소요시간은 모든 조도에서 PWM₃ > PWM₂ > PWM₁ 순으로 나타났다. 또한, 모든 조명환경 중에는 펄스변조 PWM₃, 조도 1000 lx 에서 가장 소요 시간이 짧았다.

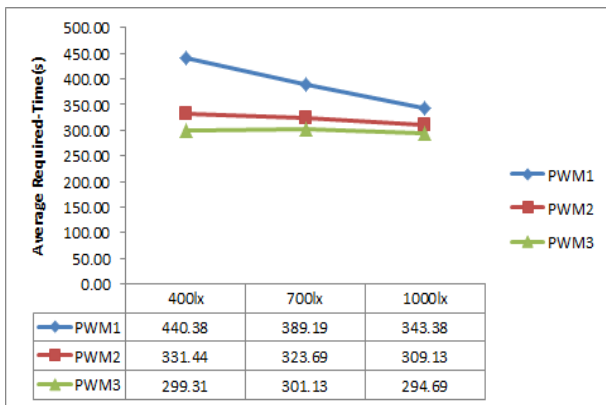


Figure 10. Result of Average on Required Time in Letter of Error Correction Task

3.3. 연산 오류검색수정 작업 분석

3.3.1. 정확도 분석

정확도의 분산분석 결과인 Table 6을 살펴보면, PWM 간의 유의적인 차이($p = .188$)가 없었으며, LED 간에

도 유의적인 차이($p = .863$)가 없는 것으로 나타났다. 또한, PWM 과 LED 의 교호작용도 유의적인 차이($p = .458$)가 나타나지 않았다.

Table 6. Result of ANOVA on Accuracy in Operation of Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
PWM	2.572	2	1.286	1.69	0.188
LED	0.224	2	0.112	0.15	0.863
PWM*LED	2.784	4	0.696	0.91	0.458
Error	102.751	135	0.761		
Total	108.331	143			

Figure 11은 연산 오류검색수정 작업의 정확도에 대한 평균을 그래프로 나타낸 것이다.

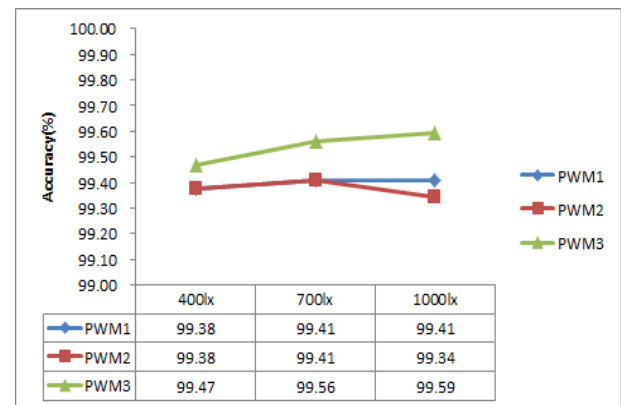


Figure 11. Result of Average on Accuracy in Operation of Error Correction Task

3.3.2. 소요시간 분석

소요시간의 분산분석 결과인 Table 7을 살펴보면, PWM 간의 유의적인 차이($p < .05$)가 있었다. 하지만, LED 간에는 유의적인 차이($p = .224$)가 없는 것으로 나타났으며, PWM 과 LED 의 교호작용도 유의적인 차이($p = .126$)가 나타나지 않았다.

Table 7. Result of ANOVA on Required Time in Operation of Error Correction Task

Source	SS	DF	MS	F	P
PWM	28779	2	14389.6	5.75	0.004
LED	7577	2	3788.3	1.51	0.224
PWM*LED	18374	4	4593.5	1.83	0.126
Error	337982	135	2503.6		
Total	392712	143			

Figure 12는 연산 오류검색수정 작업의 소요시간에 대한 평균을 그래프로 나타낸 것이다. 연산 오류검색수정 작업의 소요시간은 400 lx에서는 PWM₂ > PWM₃ > PWM₁ 순으로 나타났으며, 700 lx와 1000 lx에서는 PWM₃ > PWM₂ > PWM₁ 과 같다. 또한, 모든 조명환경 중에는 펄스변조 PWM₃, 조도 1000 lx 에서 가장 소요 시간이 짧았다.

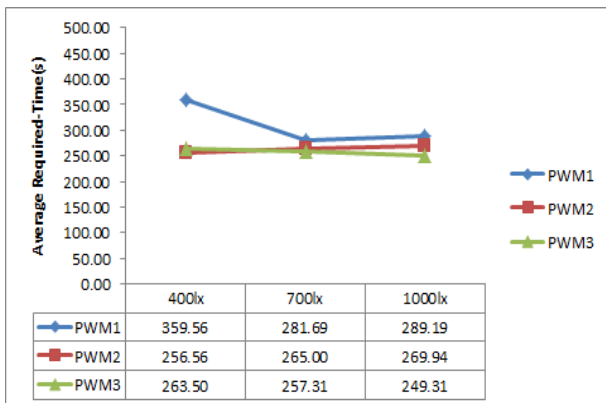


Figure 12. Result of Average on Required Time in Operation of Error Correction Task

3.4. 소비전력 분석

본 연구에서 제시한 LED 조명환경을 구성하기 위해 펄스 폭 변조(PWM)와 조도(LED)의 제어를 통해 총 9가지 조명환경을 제안하였다. Figure 13은 각각의 조명환경에 대한 누적 소비전력량을 그래프로 나타낸 것이다. 누적 소비전력량의 결과를 살펴보면, 조도 조건에 대해서 펄스변조 PWM₃ > PWM₂ > PWM₁ 의 순으로 소비되는 전력이 적었으며, 펄스변조 조건에 대해서 조도 400 lx > 700 lx > 1000 lx 의 순으로 소비전력이 적었다. 모든 결과를 종합해본 결과, 총 9가지의

조명환경 중에서 펄스변조 PWM₃, 조도 400 lx 에서 소비전력 효율이 가장 좋았다.

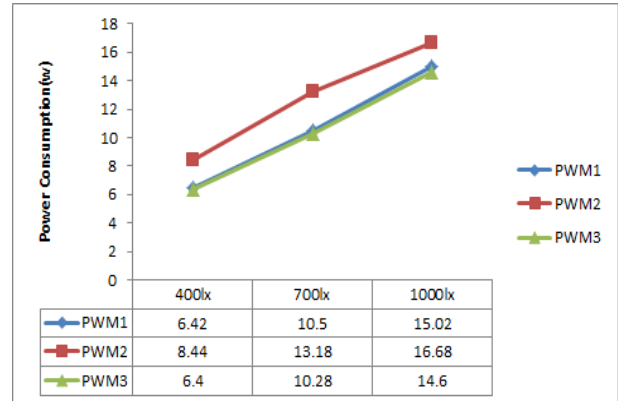


Figure 13. Result of Average on Power Consumption in Lighting Evaluation

4. 결론

본 연구에서는 LED 조명의 특성 중에서 펄스 폭과 조도를 제어함으로써 사용자의 업무 효율성과 조명 에너지 저감에 미치는 영향을 알아보려고 하였다. 이를 위해 펄스변조 및 조도 제어가 가능한 LED 조명 시스템을 제작하였으며, 다양한 조명환경을 구축하여 실험을 진행하였다. 업무에 미치는 영향을 분석하기 위해 오류검색수정 도구를 개발하여 숫자, 문자, 연산에 대한 정확도 및 소요시간을 측정 및 분석하였다. 또한, 제안한 각 조명환경에서 소비되는 전력량은 Power Meter 를 통해 측정하였다. 오류검색수정 작업을 통해 수집된 데이터는 ‘반복이 있는 이원배치법’의 분산분석을 통해 유의적인 차이를 검증하였다.

그 결과, 오류검색수정 작업의 정확도는 숫자 오류 검색수정 작업의 PWM 간에서만 유의적인 차이를 보였으며, 다른 작업에서는 유의적인 차이를 보이지 않았다. 하지만, 오류검색수정 작업의 소요시간에서는 모든 작업이 PWM 간에 유의적인 차이를 보였으며, LED 간의 유의적인 차이는 숫자와 문자 오류검색수정 작업에서만 보였다.

- (1) 숫자 오류검색수정 작업 : 정확도는 모든 조건에 대해서 유의적인 차이는 보이지 않았다. 소요시간은 PWM 간에 유의적인 차이($p < .000$)를 보였

으며, LED 간에도 유의적인 차이($p < .05$)를 보였다. 또한, 모든 조명환경 중에는 펄스변조 PWM₃, 조도 1000 lx에서 가장 소요시간이 짧았다.

(2) 문자 오류검색수정 작업 : 정확도는 모든 조건에 대해 유의적인 차이를 보이지 않았다. 하지만, 소요시간은 PWM 간에 유의적인 차이($p < .000$)를 보였으며, LED 간에도 유의적인 차이($p < .05$)를 보였다. 또한, 모든 조명환경 중에는 펄스변조 PWM₃, 조도 1000 lx에서 가장 소요시간이 짧았다.

(3) 연산 오류검색수정 작업 : 정확도는 모든 조건에 대해 유의적인 차이를 보이지 않았다. 하지만, 소요시간은 PWM 간에는 유의적인 차이($p < .000$)를 보였다. 또한, 모든 조명환경 중에는 펄스변조 PWM₃, 조도 1000 lx에서 가장 소요시간이 짧았다.

제안된 모든 조명환경의 조건에서 소비전력을 측정 한 결과 각 조도에 대한 에너지 저감의 효율은 PWM₃ > PWM₂ > PWM₁ 순으로 나타났으며, PWM₃ 조건에서 소비전력량이 가장 적었다. 조도에 대한 소비전력량은 1000 lx > 700 lx > 400 lx 순으로 400 lx 에서 소비전력이 가장 적게 나타났다. 또한, 제안한 9가지의 조명환경 중에서 펄스변조 PWM₃, 조도 400 lx 에서 소비전력 효율이 가장 좋았다.

이러한 실험결과를 통해 본 연구에서 제안한 LED 광원의 펄스 및 조도 제어가 업무 효율성과 에너지 저감에 영향을 미친다는 것을 시사하고 있다. 또한, 펄스변조 조건 PWM₃ 의 경우 에너지 저감에서 가장 좋은 성능을 보였으며, 업무 효율성 측면에서도 가장 효율이 좋은 것으로 나타났다. 이렇듯, 제안한 펄스변조를 통한 조명환경은 기존의 펄스변조가 이루어지지 않은 조명환경에 비해 업무 효율성이 떨어지지 않으면서 에너지 저감 효과도 가져올 수 있을 것으로 보인다. 하지만, 본 연구에서는 실험대상자의 수와 한정된 조명환경에서 실험을 진행하였으므로 더 보편적인 결과를 위해서 향후 연구에서는 한계점을 보완한 진행이 필요할 것으로 보인다.

REFERENCES

- ASHRAE. (1989). "ASHRAE Handbook Fundamental", 8.1-8.29.
- 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.
- Park, S. J. (2002). "Construction of Environmental Presentation Facilities for Living and Office Space, and Development of Sensibility Measurement System", *Korea Research Institute of Standards and Science*.
- Enar N., & Simon S., N. O. Broman. (2009). "People's Perceptions of the Visual Appearance of Wood Flooring: A Kansei Engineering Approach", *Forest Products Journal*, 59(11-12), 67-74.
- Industrial Standard of Korea, *Recommended levels of illumination: KS A3011*, (1998).
- Jang, T. I., & Lim, H. K. (2006). "Analysis of Mental Fatigue of Inspection Workers under Various Lighting Conditions", *Journal of the Korean Society of Safely*, 21(2), 114-120.
- Jee, S. D., & Kim, C. B. (2011). "Object Evaluation of Learning Performance according to the Color Temperature of LED Illumination", *Journal of the Korean Institute of Educational Facilities*, 18(2), 425-33.
- 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, J. W. (2013). "Energy Statistical Yearbook 2013". South Korea, *Korea Energy Economics Institute*.

- Kim, H. S., Lim, J. H., Kim, H. T., Kim, H. S., Kuwak, W. T., & Kim, J. H. (2014). "Effect of Thermal Environment and Illuminance on the Occupants Works based on the Electroencephalogram and Electrocardiogram Analysis", *Korean Journal of the Science of Emotion & Sensibility*, 17(3), 95-106.
- 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.
- Lokman, A. M. (2010). "Design & Emotion: The Kansei Engineering Methodology", *The Malaysian Journal of Computing*, 1(1), 1-14.
- 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. (2011). "Evaluation of Fatigue by Analysis of Relation between Subjective Rating Score and Working Performance with Color Temperature", *Korean Journal of the science of Emotion & sensibility*, 4(2), 63-68.

원고접수: 2015.02.10.

수정접수: 2015.04.30

게재확정: 2015.05.20.