

LED 조명의 분광 분포에 따른 건물에너지 소비

Energy consumption
by Spectral Power Distribution Of LED lighting

정 호 연* 김 효 인** 김 곤*** 윤 근 영****
Jung, Ho-Youn Kim, Hyo-In Kim, Gon Yun, Geun-Young

Abstract

Lighting energy accounts for approximately 20% of the electrical energy used worldwide. Thus, High efficiency Light emitting diode(LED)lighting is getting more popular as the next generation lighting replaced to traditional lighting fixtures. Also, LED lighting not only has a long lifetime but also can realize a variety visual environments through the wavelength control. The lighting energy varies depending on the Spectral Power Distribution(SPD) even though the Illuminance level is same. Therefore, This study indicates that the difference of indoor energy consumption under the same illuminance level when Spectral Power Distribution(SPD) is different. As a result, Lighting energy consumption under red-color emphasizing SPD is about 10% lower than under blue-color emphasizing SPDs.

키워드 : LED 조명, 분광분포, 에너지 시뮬레이션

Keywords : LED Lighting, Spectral Power Distribution(SPD), Energy simulation

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

2008년 기준으로 전 세계조명시장에서 LED조명의 규모는 약 3%정도이다. 그러나 그림 1에서 나타난 것과 같이 2015년의 조명시장에서 LED조명의 비율은 전체조명시장의 약 80%를 차지할 것으로 전망된다.¹⁾

LED조명은 백열등이나 형광등과 비교하였을 때 효율이 높고 탄소를 적게 배출하여 고효율·친환경조명으로 각광받고 있다. 뿐만 아니라 LED조명은 형광등과 같은 기존의 조명기구보다 조도와 휘도분포에서 더 균일한 분포 특성을 나타내므로 작업환경의 쾌적도 측면에서 더 뛰어나며,²⁾ 파장별 강도 조절이 가능하여 다양한 시환경 구현이 가능하다. 따라서 본 연구에서는 LED조명의 파장별

강도조절을 통해 분광분포(Spectral Power Distribution; SPD)가 다른 두 개의 환경을 조성하여 그에 따른 건물에너지 소비량의 차이를 나타내고자 한다. 또한 같은 조도 조건에서 파장이 다른 두 개의 환경의 에너지소비량을 분석하고, 에너지절감효과를 비교해 봄으로써, 분광분포 조절이 가능한 LED조명의 에너지절감 가능성을 나타내고자 한다. LED조명의 분광분포 조절에는 기존에 본 연구실에서 개발한 동적LED조명시스템을 이용하였다. 이 시스템은 가시광선 영역대의 SPD를 조절할 수 있으며, 빛의 색과 강도도 조절이 가능하다.³⁾

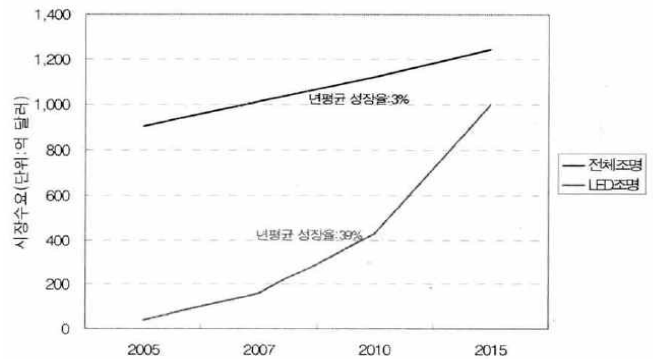


그림 1. 세계 조명산업 전망⁴⁾

- * 주저자, 경희대학교 일반대학원 건축공학과 석사과정 (wjdg@khu.ac.kr)
** 경희대학교 일반대학원 건축공학과 공학석사 (hyoin.kim@himec.co.kr)
*** 강원대학교 건축공학과 교수 (gonkim@kangwon.ac.kr)
**** 교신저자, 경희대학교 건축공학과 조교수, 공학박사 (gyyun@khu.ac.kr)

- 1) 손원국, LED조명산업의 현황과 전망, 한국조명·전기설비학회 조명·전기설비 제24권 제1호, 2010
2) 이진숙, 김원도, 김병수, 한원탁, LED조명기구의 조도·휘도분포 특성 분석에 관한 연구, 조명·전기설비학회논문지 제22권 제9호, 2008

- 3) 김효인, 김정태, 윤근영, 동적 LED 시스템의 조명원적 성능분석, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.31, No. 2, p113-119, 2011
4) 세계 조명산업 전망, 지식경제부 분석자료, 2010

1.2 연구방법

본 연구는 파장조절이 가능한 동적 LED조명시스템을 사용하여 사무실 기준조도에 맞추어 각 LED소자별 소비 전력을 측정하고 그에 따른 건물에너지 소비를 각각의 기준조도별로 시뮬레이션을 통해 나타내었다.

파장강도조절 실험을 통해 각 파장별 피크파장을 기준 조도에 따라 산출하였다. 또한 각 파장의 전력소비량을 측정하여 에너지시뮬레이션 수행시 조명부하밀도를 입력하여 에너지소비량을 산출하였다. 산출된 파장별 에너지 소비량의 비교를 통해 파장분포에 따른 에너지소비량의 차이를 알아보았다. 그림 2는 연구의 진행방법을 나타낸다.

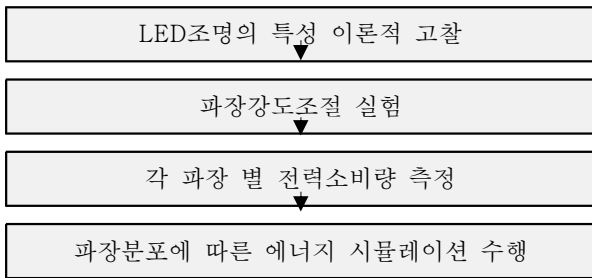


그림 2. 연구 진행방법

2. 실험개요

2.1 실험방법

1) 실험실

실험은 2011년 7월 4일부터 2011년 7월 19일까지 경기도 용인시에 위치한 K대학교 실험연구동 실험실에서 진행되었다. 그림 3은 실험실의 모습이다. 실험실의 크기는 높이 2.68m, 바닥면적 5.76㎡로, 천장에는 동적 LED시스템의 발광부가 설치되어 있으며, 내부는 모두 흰색으로 마감처리를 하였다. 창은 주변광의 영향을 받지 않도록 하기 위하여 벽체의 내부마감과 유사하게 처리된 차단판으로 막은 뒤 실험을 진행하였다.

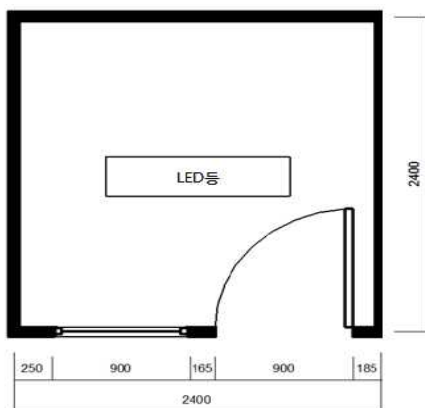


그림 3. 실험실 도면

2) 실험기기

그림 4는 실험에 사용된 동적LED시스템의 모습이다.

동적LED시스템은 파장분포의 조절이 가능하도록 제작된 LED조명시스템으로, 백색 LED소자와 RGB LED소자로 구성된 발광부와 각 소자로 전력을 입력할 수 있는 조광기(Dimmer)로 구성되어있다.

입력되는 전력 값은 소자별로 조절을 할 수 있으며, 또한 최대 4³²⁴가지의 빛의 조합이 가능하고 최소 7lx에서 최대 1831lx의 조도까지 구현이 가능하다.

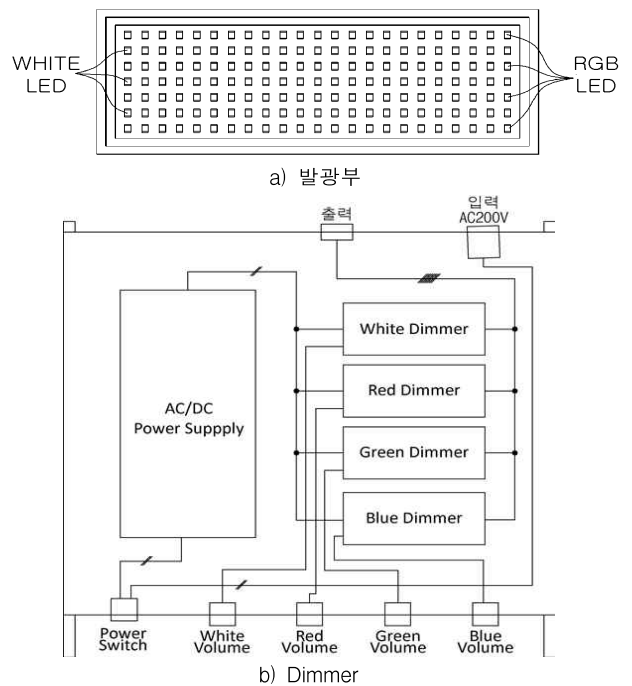


그림 4. 동적LED 시스템

3) 실험내용

LED조명의 소비전력을 구하기 위하여 동적LED시스템을 이용해 파장에 따른 Input전력값을 측정하였다. 이 때, 실험실 내부의 기준조도는 한국산업규격의(KS A 3011 : 1998)⁵⁾ 사무실 기준조도인 300lx-400lx-600lx(최소조도-표준조도-최대조도)를 각 파장별로 적용하였다. 빨간색 강조파장조건의 최대파장은 634~636nm 정도로 나타났으며, 파란색 강조파장 조건의 최대파장은 453~454nm 정도로 거의 균일하게 나타났다. 이에 따라 빨간색이 강조된 파장은 636nm, 파란색이 강조된 파장 453nm로 정하고 각 파장아래에서 사무실 최소조도, 표준조도, 최대조도의 조건일 때, 백색 LED소자와 RGB LED소자에 입력되는 전력값을 측정하였다. 실험실 내에서의 조도측정 위치는 바닥에서 0.75m 떨어진 작업면 높이에서 측정하였다.

2.2 실험결과

1) 기준조도에 따른 각 파장별 LED소자의 Input전력

표 1은 빨간색 강조파장과 파란색 강조파장의 각 LED 소자별 Input전력값을 나타낸다. Input전력값은 상대치로 Input전력의 최대값과 비교되며, 단위는 소자당 전력으로

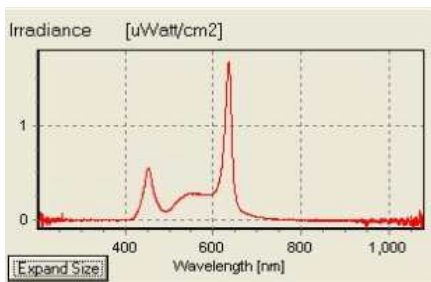
5) KSA한국표준협회, KS헨드북 조명, 2005

써, (mW)×(Input전력/최대Input전력)으로 표현한다. 각 소자의 Input전력의 최대값은 4.32이다.

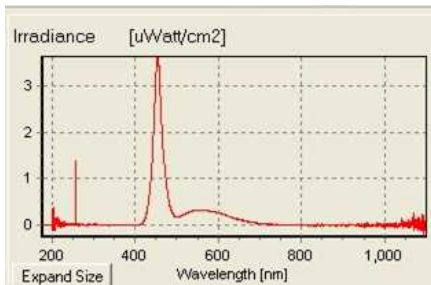
빨간색 파장이 강조된 조건을 구현하기 위하여 빨간색 LED소자의 입력값을 3.0으로 고정하고 녹색LED소자와 파란색LED소자의 입력값을 모두 0.6으로 고정하였다. 기준조도를 300lx로 하였을 때의 백색 LED소자의 입력값은 0.48로 나타났고 기준조도 400lx와 600lx에서는 백색 LED소자의 입력값이 각각 0.90와 1.77로 나타났다. 파란색 파장이 강조된 조건에서는 파란색LED소자의 입력값을 3.0으로 고정하고 빨간색LED소자와 녹색LED소자의 입력값을 0.6으로 고정하였다. 기준조도를 300lx로 하였을 때의 백색 LED소자의 입력값은 0.60으로 나타났으며, 기준조도 400lx와 600lx에서는 백색 LED소자의 입력값이 각각 1.02와 1.88로 나타났다. 세 가지 기준조도에서 모두 빨간색 파장이 강조된 조건의 Input전력값 보다 파란색 파장이 강조된 조건의 Input 전력값이 더 높게 나타났다. 그림 5는 스펙트럼을 이용해 각 기준조도별 빨간색 강조 파장과 파란색 강조파장의 파장분포의 모습이다.

표 1. 파장별 Input전력

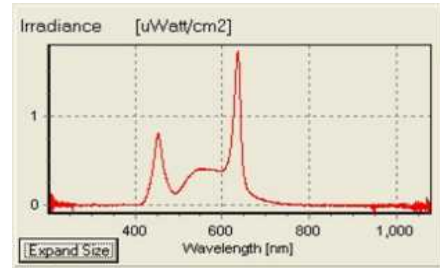
구분	조도	White	Red	Green	Blue
빨간색 강조파장	300 lx	0.48	3.00	0.60	0.60
	400 lx	0.90	3.00	0.60	0.60
	600 lx	1.77	3.00	0.60	0.60
파란색 강조파장	300 lx	0.60	0.60	0.60	3.00
	400 lx	1.02	0.60	0.60	3.00
	600 lx	1.88	0.60	0.60	3.00



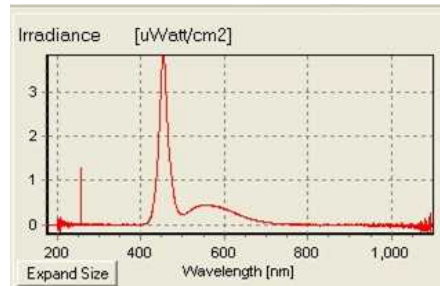
a) Red300lx



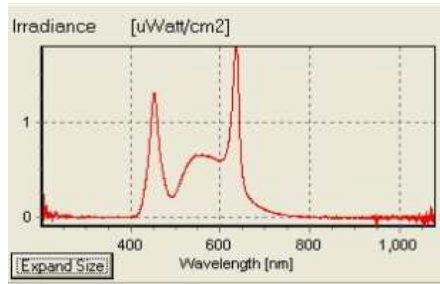
b) Blue300lx



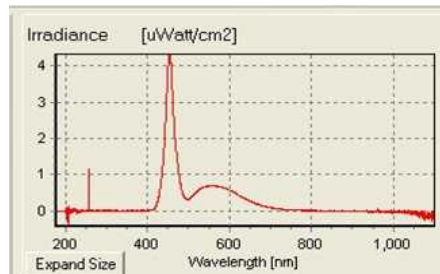
c) Red400lx



d) Blue400lx



e) Red600lx



f) Blue600lx

그림 5. 기준조도별 파장분포

2) 파장에 대한 소비전력

표 2는 LED발광부의 최종소비전력과 조도100lx에 대한 조명부하밀도를 나타낸다. 최종소비전력은 각 소자 당 소비전력의 합으로 나타내며, 최종소비전력(W)과 조명부하 밀도W/(m²100lx)는 각각 식 1과 식 2로 나타낸다.

$$\text{최종소비전력}(W) = \sum (\text{소자당 소비전력}(mW) \times \text{소자개수}) \times \left(\frac{\text{Input 전력}}{\text{최대 Input 전력}} \right) \times 10^{-3} \quad \text{식 1)}$$

$$\text{조명부하밀도}(W/(m^2 100lx)) = \frac{\text{소비전력}}{\text{실의면적} \times \left(\frac{\text{기준조도}}{100lx} \right)} \quad \text{식 2)}$$

백색 LED소자의 소자 당 소비전력은 324mW이며, RGB LED소자의 소자 당 소비전력은 각각 78mW, 90mW, 90mW이다. 각 소자의 개수와 Input전력의 최대 값은 각각 384개와 4.32로 동일하다.⁶⁾

표 2. 파장별 최종소비전력 및 조명부하밀도

구분	기준 조도	최종소비전력(W)	조명부하밀도 (W/(m ² ·100lx))
빨간색 강조과장	300lx	44.00	2.56
	400lx	56.00	2.44
	600lx	81.00	2.35
파란색 강조과장	300lx	50.00	2.91
	400lx	62.00	2.71
	600lx	87.00	2.52

빨간색 과장이 강조된 조건에서 기준조도가 300lx일 때 LED발광부의 최종소비전력은 44W이며, 조도 100lx에 대한 조명부하밀도는 2.56W/(m²·100lx)으로 나타났다. 기준조도가 400lx와 600lx일 때의 LED발광부의 최종소비전력은 각각 56W와 81W로 나타났으며, 조명부하밀도는 조도 100lx에 대하여 2.44W/(m²·100lx)와 2.35W/(m²·100lx)로 나타났다. 파란색 과장이 강조된 조건에서 기준조도가 300lx일 때 LED발광부의 최종소비전력은 50W이며, 조도 100lx에 대한 조명부하밀도는 2.91W/(m²·100lx)로 나타났다. 기준조도가 400lx와 600lx일 때의 LED발광부의 최종소비전력은 각각 62W와 87W로 나타났으며, 조도100lx에 대한 조명부하밀도는 2.71W/(m²·100lx)과 2.52W/(m²·100lx)로 나타났다. 기준조도가 증가함에 따라 최종소비전력 또한 증가함을 알 수 있다.

3. 에너지 시뮬레이션

3.1 시뮬레이션모델 개요

실측을 통해 얻은 LED조명의 각 파장별 최종소비전력과 조명부하밀도를 건물에 적용하여, 실제로 건물에너지의 소비량을 나타내었다. 건물의 에너지 시뮬레이션은 EnergyPlus를 이용하였으며, 건물은 5.5m(W) × 7.5m(D) × 3.6m(H)의 크기로, 하나의 존으로 이루어져 있다. 창은 북쪽에 위치해 있으며, 창면적비는 30%이고 벽체, 바닥 및 유리창의 열관류율은 각각 0.350W/m²K, 4.730W/m²K, 1.978W/m²K이다.



그림 6. 시뮬레이션 모델링

실내기준온도는 냉방은 24℃, 난방은 22℃이며, HVAC 시스템은 팬코일유닛으로 설정하였다. 그림 6과 표 3은 각각 모델링모습과 시뮬레이션에 적용된 사항이다.

표 3. 시뮬레이션모델 개요

구분	내용
실의 크기(m)	5.5(W)×7.5(D)×3.6(H)
창면적비(%)	30
구조체의 열관류율 (W/m ² ·K)	벽: 0.350
	바닥: 4.730
	유리창: 1.978
실내기준온도(℃)	냉방:24, 난방:22
HVAC	Fan-coil unit

3.2 시뮬레이션 결과

시뮬레이션을 통해 기준조도에 따른 파장별 연간 건물 에너지 소비량을 알아보았다. 건물에너지 소비량은 전력, 가스등의 2차에너지를 화석연료의 양으로 환산한 1차에너지로 계산하였다. 표 4는 1차에너지 환산계수 및 단위면적당 1차에너지 소요량을 나타낸다.

표 4. 1차에너지 환산계수 및 단위면적당 1차에너지 소요량

구분	1차에너지 환산계수	단위면적당 1차에너지 소요량[kWh/m ²]
연료	1.1	= 단위면적당 에너지 소요량× 1차에너지 환산계수
전력	2.75	
지역난방	0.614	
지역냉방	0.937	

표 5와 그림 7는 기준조도가 300lx이고, 빨간색 강조 과장의 조건과 파란색 강조 과장의 조건일 때의 연간 건물에너지 소비량을 나타낸다. 건물에너지 중 냉난방에너지와 조명에너지를 비교대상으로 선정하였으며, 냉방과 조명에너지의 2차에너지는 전기, 난방에너지의 2차에너지는 가스이다.

시뮬레이션 결과, 기준조도는 빨강과장과 파랑과장이 모두 300lx로 같음에도 불구하고 각각 냉방, 난방 및 조명에너지에서 많은 차이가 나타났다. 냉방에너지 소비량은 빨강과장과 파랑과장의 조건에서 각각 15.530kWh/m²와 16.533kWh/m²로, 빨간색 과장이 강조된 조건에서의 에너지 소비량이 약 6% 정도 더 낮게 나타났다. 또한 조명에너지에서도 빨강과장과 파랑과장에서의 에너지소비가 각각 74.079kWh/m²과 84.204kWh/m²로, 빨간색 강조 과장에서 에너지 소비량이 약 12% 더 적게 나타났다. 그러나 난방에너지는 빨강과장에서 105.418kWh/m², 파랑과장에서 102.903kWh/m²로, 빨간색 강조과장 조건에서 보다 파란색 강조 과장 조건에서의 에너지 소비가 약 2% 더 적게 나타났다. 파란색 강조과장 조건에서 난방에너지 소비가 빨간색 강조과장 조건에서 보다 증가한 이유는 조명부하가 감소함에 따라 상대적으로 난방에너지의 소비가 증가한 것으로 보인다.

6) LED 카탈로그 Topview 5550 SMD LED IWS-506-RGB-K3

표 5. 기준조도 300lx시 파장별 연간 건물에너지 소비량

	빨간색 강조파장(kWh/m ²)	파란색 강조파장(kWh/m ²)
냉방(전기)	15.530	16.533
난방(가스)	105.418	102.903
조명(전기)	74.079	84.204
합계	195.026	203.639

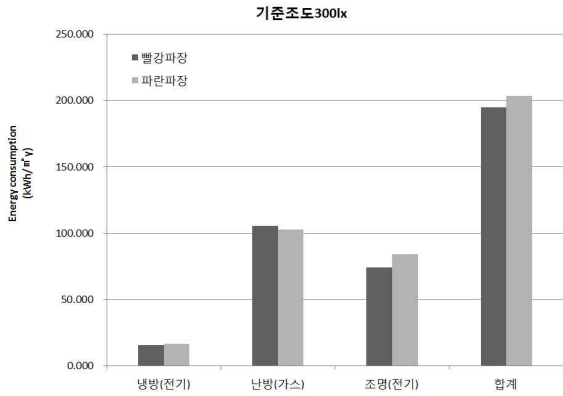


그림 7. 기준조도 300lx시 연간 건물에너지 소비량

그림 8과 표 6은 기준조도가 400lx일 때 각 파장별 건물에너지 소비량을 나타낸다. 이 경우에도 기준조도가 300lx일 때와 마찬가지로 파란색 강조파장 조건에서 보다 빨간색 강조파장 조건에서 냉방에너지와 조명에너지가 더 적게 나타났으며, 각각 약 6%와 10%정도 감소된 수치를 나타냈다. 난방에너지는 파란색 강조파장 조건에서 약 3%더 적게 나타났다. 또한 기준조도가 증가함에 따라 최종소비에너지가 증가함으로 인해 기준조도 300lx의 조명에너지 소비량보다 기준조도 400lx 조명에너지 소비량이 더 높게 나타난 것을 알 수 있다.

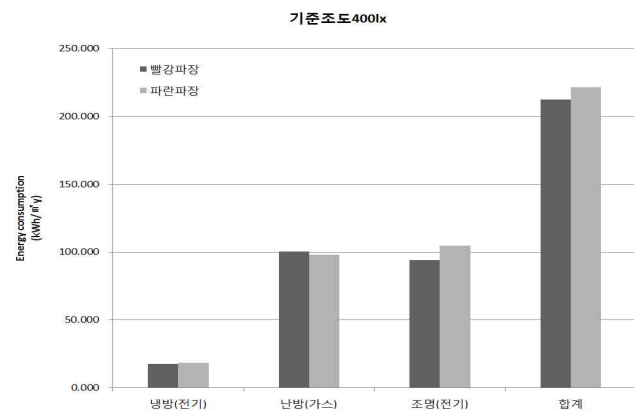


그림 8. 기준조도 400lx시 연간 건물에너지 소비량

표 6. 기준조도 400lx시 파장별 연간 건물에너지 소비량

	빨간색 강조파장(kWh/m ²)	파란색 강조파장(kWh/m ²)
냉방(전기)	17.539	18.630
난방(가스)	100.468	97.964
조명(전기)	94.143	104.558
합계	212.151	221.152

표 7과 그림 9은 기준조도 600lx에서의 각 파장별 건물에너지소비량으로써, 앞서 나타낸 기준조도 300lx와 400lx에서의 결과와 동일한 양상이 나타났다. 냉방에너지와 조명에너지는 파란색 강조파장 조건에서 보다 빨간색 강조 파장조건에서 각각 약 5%와 7% 더 적게 나타났으며, 난방에너지는 이와 반대로 파란색 강조파장 조건에서 약 3% 더 적게 나타났다. 또한 조명에너지만을 비교했을 때, 기준조도 600lx에서의 조명에너지 소비량이 앞서 나타낸 기준조도 300lx와 400lx에서보다 더 높게 나타났다.

표 7. 기준조도 600lx시 파장별 연간 건물에너지 소비량

	빨간색 강조파장(kWh/m ²)	파란색 강조파장(kWh/m ²)
냉방(전기)	22.149	23.325
난방(가스)	90.548	88.304
조명(전기)	136.001	145.839
합계	248.698	257.467

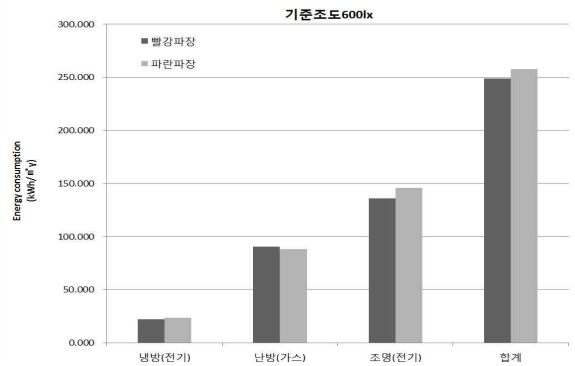
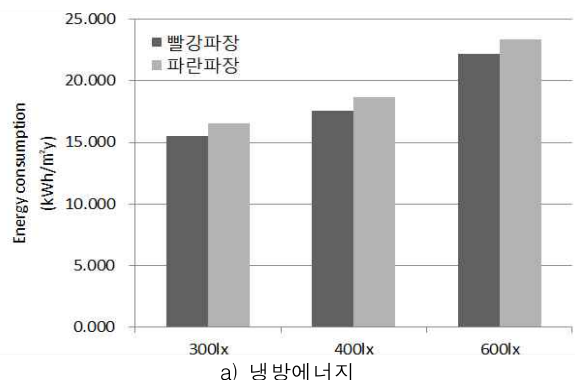


그림 9. 기준조도 600lx시 연간 건물에너지 소비량

그림 10은 기준조도에 따른 부분별 에너지 소비량을 나타낸다. 냉방에너지에서는 기준조도 300lx,400lx,600lx에서 모두 빨간색 강조파장이 파란색 강조파장 조건보다 에너지소비가 적음을 나타내었다. 또한 조명에너지도 기준조도가 증가함에 따라 에너지소비는 증가하지만 파장조건을 비교해 볼 때 빨간색 강조파장조건에서 파란색 강조파장조건보다 에너지소비가 더 적음을 알 수 있다. 그러나, 난방에너지에서는 빨간색 강조파장의 조건에서 보다 파란색 강조파장 조건에서 에너지소비가 더 적음을



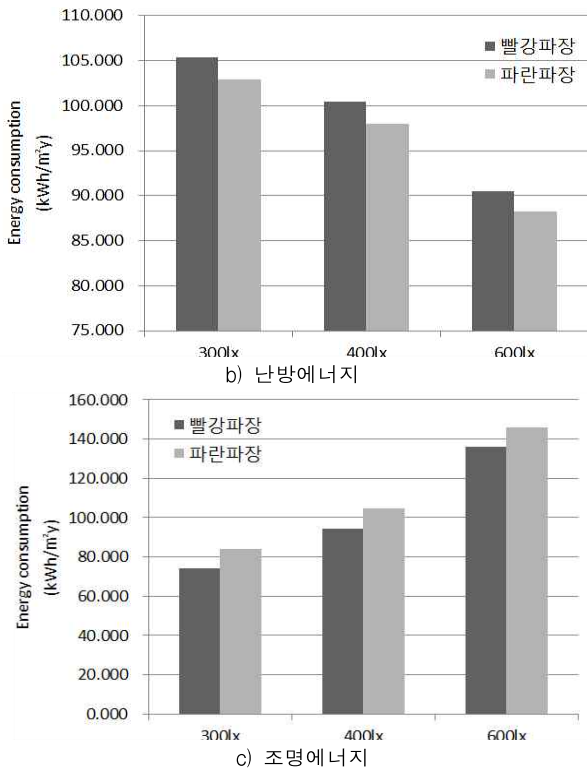


그림 10. 기준조도에 따른 부분별 에너지 소비량

나타내었으며, 기준조도가 증가함에 따라 에너지소비가 감소함을 나타내었다. 난방에너지가 증가한 이유는 조명 부하가 감소함에 따라 상대적으로 난방에너지의 소비가 증가한 것으로 보인다.

4. 결 론

본 연구는 LED조명의 파장변화에 따른 건물의 에너지 소비량을 분석하였다. LED조명의 특징은 백열등 계열과 비교하였을 때 광원의 손실면에서 우수한 특성을 보이며, 수명이 길다는 장점이 있다. 또한 파장의 조절을 통해 다양한 색을 구현할 수 있다. 이번 연구에서는 이러한 LED조명의 특징을 이용하여 조도를 동일하게 하고 LED조명의 색이 다를 때 즉, 파장의 분포가 다를 때 건물의 에너지소비의 차이를 알아보았다. 그 결과, 기준조도가 같음에도 빨간색 강조파장 조건에서의 건물에너지가 파란색 강조파장 조건에서의 건물에너지 보다 더 낮게 나타났다. 난방에너지는 세 가지 기준조도에서 평균적으로 약 6%정도가 빨강파장강조 조건에서 더 낮게 나타났으며, 조명에너지 역시 빨강파장강조 조건에서 약 10% 낮게 나타났다. 반대로, 난방에너지는 파란파장강조 조건에서 약 3% 더 낮게 나타났다. 이것은 실내의 조명부하가 감소함에 따라 상대적으로 겨울철 난방에너지 소비가 증가한 것으로 보인다. 조명에너지는 빨간색 강조파장에서 최종소비전력(W)값이 파란색 강조파장 조건에서보다 낮았기 때문에 에너지 소비역시 낮게 나타났다고 판단된다. 또한 조명부하가 감소함에 따라 자연스럽게 난방에너지 역시

빨간색 강조파장 조건에서 더 낮게 나타났다.

본 연구를 통해 세 가지 기준조도에 대하여 건물에너지 소비량을 비교해 본 결과, 같은 조도라 할지라도 파장의 조건에 따라 건물의 에너지 소비량이 달라짐을 알 수 있었으며, 이에 따라 조도의 조절뿐만 아니라 파장의 조절을 통해서도 에너지를 절약할 수 있음을 알 수 있었다. 그러나 본 연구는 파장을 조절하는데 있어 한계점을 가진다. 현재의 파장조절시스템은 정확한 수치의 입력으로써 조절되지 않고 사람의 손을 통해 조절되기 때문에 Input전력값을 정확하게 조절할 수 없으므로 파장조절시스템의 개선 및 보완이 필요하다. 또한 특정한 색을 강조하고자 할 때, 각각의 RGB소자의 Input전력값에 대한 기준을 마련하여 정확한 파장을 구현할 수 있도록 해야 할 것으로 사료된다.

향후 연구과제로는 기존의 조명시스템사용시의 에너지 소비와 비교하여 파장분포조절이 가능한 조명기기 사용시의 에너지절감효과를 나타내고자한다. 또한 파장 변화시 재실자가 인식하는 감각적 평가에 대한 연구를 통해 파장변화와 재실자의감각 사이의 상관관계를 나타내고 그것이 에너지소비량의 변화 미치는 영향에 대해서 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No.2011-0027231, No.2012-0002212)

참고문헌

1. 손원국, LED조명산업의 현황과 전망, 한국조명·전기설비학회 조명·전기설비 제 24권 제1호 2010
2. 이진숙, 김원도, 김병수, 한원탁, LED조명기구의 조도 · 휘도분포 특성 분석에 관한 연구, 조명·전기설비학회논문지 제 22권 제 9호, 2008
3. 김효인, 김정태, 윤근영, 동적 LED 시스템의 조명원적 성능분석, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.31, No. 2, p113-119, 2011
4. 지식경제부, 세계조명산업 분석, 2010
5. KSA한국표준협회, KS핸드북 조명, 2005
6. LED 카탈로그 Topview 5550 SMD LED IWS-506-RGB-K3
7. 백영호, 친환경 고효율 LED조명 발전방향, 건축환경설비학회 논문집 Vol.3, No4, 2009
8. 김태훈, LED조명의 수명평가 및 국제표준, 전자공학회지 제 37권 제2호 2010

투고(접수)일자: 2012년 6월 1일
수정일자: (1차) 2012년 6월 19일
(2차) 2012년 6월 21일
게재확정일자: 2012년 6월 23일