

LED램프를 적용한 사무소 건물의 실내조명환경 및 에너지 성능분석

Interior Light Environment and Building Energy Performance Analysis of LED and Fluorescent lamp installed in Office Building

김병수* 홍원표* (한밭대학교)
(Byoung-Soo Kim · Won-Pyo Hong)

Abstract

Generally LED lamp has many advantages to compare with a general lamp, long life and no pollution matter like the mercury. Also it is excellence for color rendering and need to small consumption electric power.

However LED lamp has some disadvantages to compare to general fluorescent lamp and That is small light flux about 50% and narrow light distribution than fluorescent lamp. Therefore, to apply LED lamp in an office building, after analyze a illuminance distribution with an environment analysis and cooling, heating and light energy. The purpose of this study is to analyze light environment, light, cooling and heating energy simulation in Office building.

1. 서론

1.1. 연구의 목적

건물의 에너지 소비량을 줄이기 위한 정부의 정책의 일환으로 저탄소 그린빌딩의 중요성이 대두되면서 각종 건물에너지 절감기술의 개발과 함께 건물의 에너지 성능을 향상시키기 위한 다양한 인증제도를 마련하여 고효율시스템의 사용을 의무화하고 있다. 건물에너지 절약기술은 냉난방설비시스템, 건축재료 및 구조, 신재생에너지, 조명기기등 다양한 분야에서 개발이 진행 중이다. 특히 조명에너지 절감을 위해 국내외적으로 활발하게 개발 중인 LED램프는 조명시스템의 변화에 큰 전환점이 될 것으로 예상된다. 현재 LED램프는 기존 할로겐이나 백열등, 형광등 대응으로 개발되어 조명에너지 절감을 기대할 수 있다. 그러나 32와트의 형광등 대응으로 25와트의 LED램프를 설치할 경우 약 20%의 조명에너지 절감효과를 기대할 수 있지만 조명에너지 절감은 냉난방에너지 소비량에 영향을 미칠 수 있기 때문에 LED램프의 에너지 절감효과는 건물의 전체적인 에너지 소비량의 관점에서 재분석이 되어야 한다. 따라서 본 연구에서는 형광등 대응 LED램프(이하 LED램프로 명명)의 통합에너지 성능분석을 위해 30,000m² 규모의 사무소 건물을 시뮬레이션 해석모델로 선정 한 후 국내외에서 개발된 형광등 대응의 LED램프를 조명해석프로그램과 동적열해석 프로그램을 이용하여 조명에너지와 냉난방에너지를 통합적으로 분석하여 LED램프가 건물의 에너지특성에 미치는 영향을 분석하는데 연구의 목적이 있다.

1.2. 연구의 내용 및 방법

본 연구는 다음의 5단계로 구성되어 있으며, 자세한 내용을 살펴보면 아래와 같다.

1)선행연구 문헌을 통해 LED의 발광원리 및 열적인 특성을 분석한 후 2)중대형 규모의 사무소 건물을 시뮬레이션 해석모델로 선정하고 3)LED램프와 형광등의 광학적 특성을 비교분석한 후 조명해석 프로그램인 Radiance를 이용하여 실내 조명환경을 분석하였다. 4)또한 동적열해석 프로그램인 Esp-r과 TRNSYS를 이용하여 LED램프의 적용 후 조명에너지 사용량과 냉난방에너지 사용량을 분석하였다.

2. 실내조명환경 시뮬레이션

2.1 해석프로그램의 개요

1) Photometric Pro

이 프로그램은 조명기구 제조회사들이 제공하는 배광곡선 파일(photometric file)을 이용하여 조명기구의 광학적 특징을 분석할 수 있을 뿐만 아니라 데이터를 수정할 수 있으며 배광곡선의 데이터를 이용하여 실내에 필요한 광원의 개수등을 계산할 수 있는 프로그램이다.

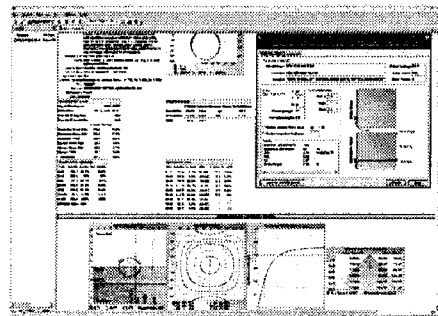


그림 1 Photometric Pro의 메인화면
Fig 1. main view of Photometric pro

2) Lightscape

본 연구에서 주광해석용 프로그램으로 Lightscape를 이용하였다. 주광해석용 프로그램으로는 미국의 LBL에서 제공하는 Superlite와 Radiance는 해석알고리즘으로 Ray-tracing을 이용하고 있다. Ray-tracing 알고리즘은 경면반사에 대한 해석이 비교적 정확한 장점이 있지만, 시점의존적인(view-dependent) 방식이라 관측점을 변화시킬 때마다 계산을 다시 수행해야 하는 단점을 가지고 있다. 반면 최근 Autodesk사에서 개발한 Lightscape은 해석알고리즘으로 Radiosity 방식을 사용하고 있다. Radiosity 알고리즘은 공간 전체에 대한 조도분포를 미리 계산하기 때문에 관측점이 변해도 재계산이 필요 없는 시점독립적(view-Independent)인 방식이다. 또한 AutoCAD상에서 3차원모델링된 파일을 활용할 수 있기 때문에 다른 프로그램에 비해 해석대상을 정확하게 빨리 모델링 할 수 있는 장점을 갖고 있다. 최근 주광해석용으로 Lightscape에 대한 오차를 검증 및 유효성분석을 통해 주광해석 프로그램으로서 인정을 받고 있다.

2.2 조명해석 프로그램을 이용한 실내조명환경 분석

이 절에서는 기존에 설치된 형광등을 형광등 대응 LED램프로 교체 할 경우 예상되는 에너지 소비특성을 분석하기 위해 각각의 조명기구의 배광곡선을 제조회사 홈페이지에 업로드 된 자료를 활용하였다.

건물의 실내에 설치된 형광등 대신 LED 램프의 설치가능성 평가를 위해 일반형광등과 LED 램프를 적용할 경우 예상되는 실내조도를 분석하고 설계조도를 만족하는지에 대한 여부를 일차적으로 분석하였다. LED램프를 설치할 경우 실내의 적정조도를 만족하지 못할 경우 배광곡선 파일을 이용하여 실내에 필요한 형광등과 LED램프의 설치개수를 조명해석 프로그램을 이용하여 계산하였다.

표 2 형광등의 개요

Table 2. Overview of fluorescent

Manufacturer	Lithonia Lighting, Lithonia Fluorescent
Luminaire	GENERAL PURPOSE CHANNEL, 4' 1LP T8 ELEC
Luminaire Cat	C 1 32 TUBI
Lamp	3050 LM LAMP
Lamp Output	1 lamp(s), rated Lumens/lamp: 3050
Max Candela	558.0 at Horizontal: 22.5, Vertical: 5
Input Wattage	37.3
Luminous Opening	Rectangle (L: 3.96ft, W: 0.35ft)
Test	L5049
Photometry	Type C
CIE Class	Semi-Direct

1) 배광곡선을 이용한 실내의 조명기구 개수산정

배광곡선을 이용한 조명기구의 산정을 위해 앞의 2.1절에서 서술한 photometric pro를 이용하였다. 계산에 필요한 입력변수는 건물의 평면형태 조명기구의 배광곡선, 천장의 높이, 설계조도이다. 계산결과 실내 작업면 조도를 500lux로 하고 광원1개당 광속과 전력이 각각 3050lumen/개, 37.3W/개인 형광등(81.8lm/W)의 경우 120개의 형광등이 필요한 반면, 광속과 전력이 817lumen, 24.1W인 형광등 대응 LED(33.9lm/W)의 경우 426개로 계산되었다. 형광등을 LED램프로 교체할 경우 실

내의 조도를 만족하기 위해서 개수를 증가시켜야 하며 그 결과 실내의 단위면적당 조명밀도는 6.68W/m²에서 13.72W/m²로 증가하는 것으로 나타났다.

표 3 LED램프의 개요

Table 3. Overview of LED lamp

Manufacturer	ECLIPSE LIGHTING - 4'LED LUMINAIRE - T5 RAILITE
Luminaire	WITH WHITE INTERIOR AND CLEAR PLASTIC LENS
Luminaire Cat	LEDF0012
Lamp	EIGHTY ONE LEDS. LUMEN RATING = 818 LMS.
Lamp Output	1 lamp(s), rated Lumens/lamp: 817
Max Candela	389.7 at Horizontal: 0, Vertical: 2.5
Input Wattage	24.1
Luminous Opening	Rectangle (L: 3.75ft, W: 0.03ft)
Test	24682
Test Lab	LIGHTING SCIENCES, INC.
Photometry	Type C
CIE Class	Direct

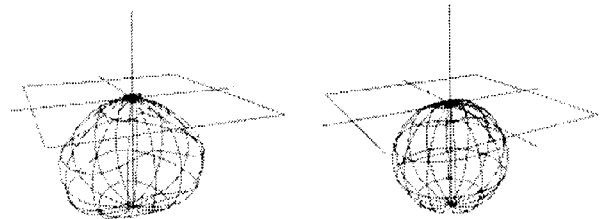


그림 2. 형광등과 LED램프의 배광곡선

Fig 2. Distribution line of Fluorescent and LED lamp

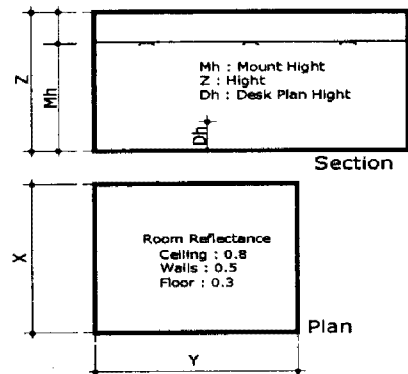


그림 3. 배광곡선을 이용한 조명설계 조건

Fig 3. Condition of lighting design

표 4. 실내의 광원 종류별 조명밀도

Fig 4. Light Power Density of Lamps

	형광등	LED	
		형광등개수와 동일	개수 보정 후
광속/조명기구(lm/개)	3050	817	817
소요전력/개(w/개)	37.3	24.1	24.1
조명밀도(w/m ²)	6.68	5.48	13.72
비율(%)	100	82	205

2) 배광곡선을 이용한 실내조명환경 분석

계산된 조명기구를 그림4의 평면에 적용할 때 형성되는 실내 조명환경을 분석하였다. 실내조명환경 분석은 Autodesk사의 Lightscape를 이용하였다. 실내조명환경 분석은 실내조도 500lux를 만족하기 위해 계산된 형광등을 적용한 경우와 형광등과 동일한 위치에 동일한 개수의 LED램프를 설치할 경우, 그리고 LED램프의 개수가 증가된 경우의 조명환경을 분석하였다. 실내

의 벽, 천장, 바닥의 반사율 및 색채 입력조건은 표5와 같다.

표 5.실물대모형의 내부 마감재 색채 및 반사율
Table 5. Interior surface color and reflectance

	마감재의 색채 및 반사율	
	색채	반사율(%)
벽	4.8Y 5.2/0.7	84.24
천장	4.1Y 9.2/1.3	82.22
바닥	N3.0	33.20

Lightscape를 이용한 실내조명환경 분석결과 그림8과 같이 형광등의 경우 책상면 조도가 평균 480lux를 유지하고 있는 것으로 분석되었지만 그림6과 같이 형광등 위치에 LED램프를 설치할 경우 책상면 조도는 137lux로 형광등보다 책상면 조도가 매우 낮게 나타났다. 이것은 사무실의 설계조도를 만족시키지 못하는 것으로 분석된다.

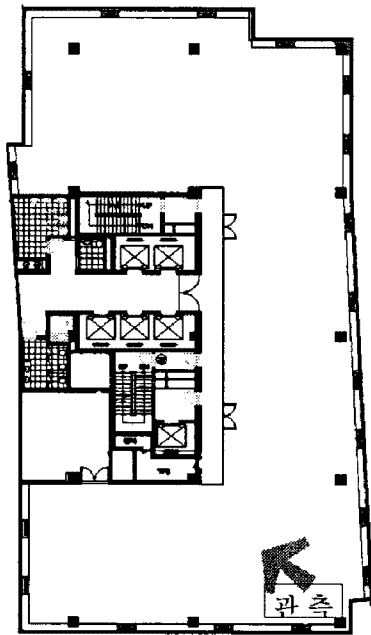


그림 4. 15층 평면도
Fig 4. Plan of 15th floor

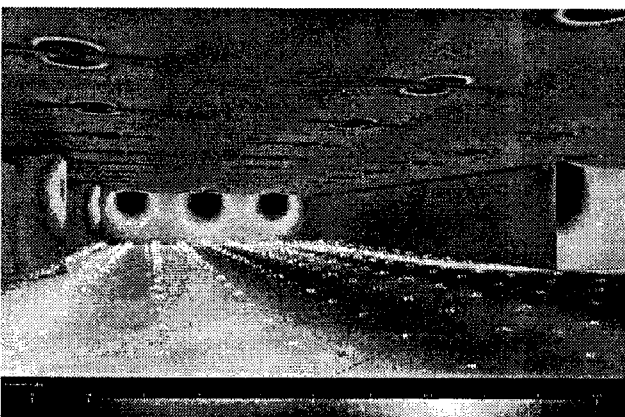


그림 5. 형광등을 설치한 사무소 내부의 조도분포
Fig 5. Interior illuminance distribution of Fluorescent

형광등 대응 LED 램프의 개수를 재산정하여 설치하여 책

상면 조도를 분석한 결과 그림 7과 같이 평균조도가 498lux로 형광등에 비해 다소 높게 나타났지만 매우 유사한 조도를 나타내고 있다. 이것은 형광등 대응 LED램프가 동일한 광속 조건하에서도 배광분포가 형광등에 비해 좁고 책상면으로 떨어지는 광속의 비율인 조명률이 높기 때문에 벽 및 천장의 조도 분포가 형광등에 비해 낮게 나타났고 바닥의 조도가 상대적으로 높게 나타나는 것으로 분석되었다.

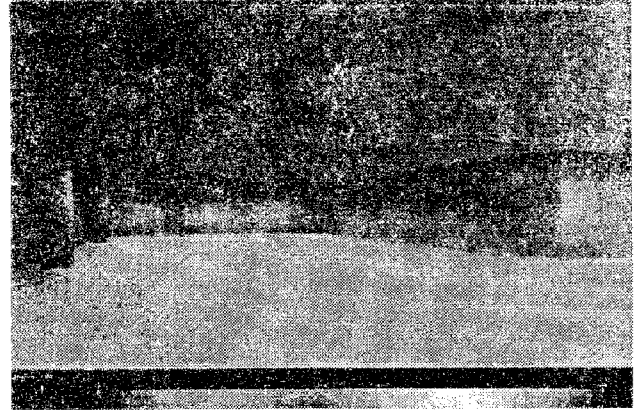


그림 6. 형광등 위치에 LED램프를 설치한 사무소 내부의 조도분포
Fig 6. The illuminance distribution of LED lamp replaced Fluorescent

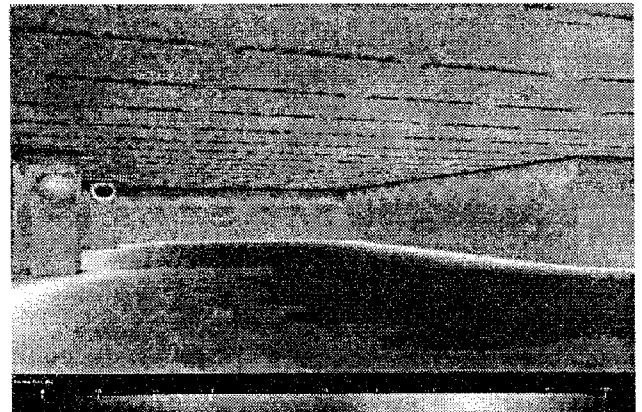


그림 7. LED등 설치한 사무소 내부의 조도분포(개수수정)
Fig 7. The illuminance distribution of LED lamp

표 6 실내조명환경 분석결과
Table 6. The result of light environment

조명기구	분석대상	최대	최소	평균
형광등	천장	148.3	0	3405
	책상면	530.1	0	480
	벽	679.1	2.8	231.7
형광등 대응 LED	천장	88.005	0	30.5
	책상면	185.5	0	137
	벽	87.1	0.7	32.4
형광등 대응 LED 개수보정	천장	247.7	0	86.8
	책상면	535.135	0	498
	벽	248.9	2.7	111.9

3. 사무소 건물의 통합 에너지 성능분석

3.1 동적 열해석 프로그램의 개요

ESP-T 프로그램은 영국의 스트라스클라이드 대학의 ESRU(Energy Systems Research Unit)에서 개발한 프로그램으로 자연형 태양열 건물성능 평가 분야에 있어 유럽의 기준 시물레이션 프로그램(European Reference Building Simulation Program)으로 지정된 바 있으며, 현재 세계적으로 60여개 이상의 대학, 연구소, 컨설팅회사에서 사용하고 있다. 또한 최근 선진국의 건물에너지 해석 프로그램의 개발 동향은 건물에서 발생하는 복합적인 열에너지 현상을 보다 실제적이고 정밀하게 해석되도록 하기위해 지금까지 분리되어 수행되었던 자연채광 및 조명해석(Radiance) 및 전산유체해석 프로그램(Phoenix) 등을 하나의 패키지로 통합화하고 있다. 우선 입력된 자료는 기상조건 변화, 실내환경조건, 플랜트의 종류 및 제어의 방법 등과 연결되어 설정된 시간 단위로 유한체적 및 에너지 보존의 법칙에 의거한 각종 열방정식들에 의해 해석된다.

TRNSYS 프로그램은 융통성 있는 에너지해석을 목적으로 모델화되어 개발된 최초의 프로그램이다. 현재에는 건물전체에 대한 다양한 사용자 부속모듈이 개발되어 건물에너지해석은 물론 HVAC시스템 관련 시물레이션도 가능하다. 특히, 사용자의 고유한 목적에 부합되는 부속모듈이 검증 및 개발된다면 그 용도는 매우 다양하다고 볼 수 있다.

3.2 시물레이션 해석모델의 개요

1) 건축부분

시물레이션 대상건물은 25층 오피스 건축물로 연면적은 약 22,257m²이다. 건물은 외벽 경량 커튼월 구조로 창면적비가 46.6%이다. 창외 태양열취득계수(SHGC)가 50%정도인 Middle Solar Gain 특성을 갖는 이중로이 유리를 적용하였다. 공조의 유무에 따라 계단 및 엘리베이터 화상실, 피난계단등을 포함한 서비스공간과 재실자가 근무하는 업무공간 그리고 서비스공간과 업무공간을 연결하는 복도 및 휴게시설로 크게 구분하였다.

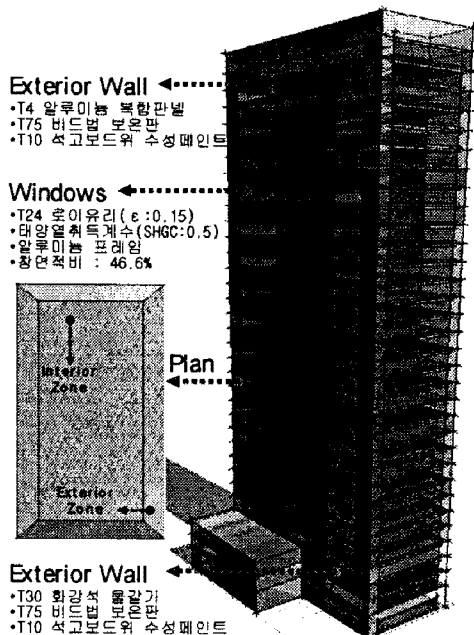


그림 8 시물레이션 해석모델의 외부형상
Fig 8. The figure of Simulation model

실내의 조명은 설계도면을 근거로 형광등을 기본조명으로

하였으며, 기기 및 인체의 내부발열은 사무공간의 설계 기준 값을 참조하여 표7 및 표8에 나타내었다.

건물의 부위별 열관류율은 표10에 나타내었다. 특히 외벽의 경우 저층부 중고층부가 각각 다르게 구성되어 있다. 그림 8은 시물레이션 해석모델을 나타내고 있다.

표 7. 건축물의 개요
Table 7. Overview of Simulation Model

	바닥면적 (m ²)	층고 (m)	체적 (m ³)	외벽면적 (m ²)	창면적 (m ²)	창면적비 (%)	비고
1층	1105	6	6630	796.8	159.36	20	
2층	1105	4	4420	531.2	79.68	15	
3층	1105	4	4420	531.2	79.68	15	
4층	861	4	3444	468.8	220.336	47	
5층	861	4	3444	468.8	220.336	47	기준층
24층	1105	4	4420	531.84	79.776	15	
25층	861	4	3444	469.44	75.1104	16	
합계	22501	102	92214	12236	4880	40.84	기준층 × 20층 포함

표 8. 시물레이션 해석모델의 내부조명밀도
Fig 8. LPD of Simulation model

	실이름	바닥면적 (m ²)	주간		야간	
			형광등 (W/m ²)	형광등 총량 (Watt)	형광등 (W/m ²)	형광등 총량 (Watt)
1층	1f_ser_core	355	6.68	2371.4	3.34	1185.7
	1f_libby	750	6.68	5010	3.34	2505
2층	2f_ser_core	355	6.68	2371.4	3.34	1185.7
	2f_work_spa	750	6.68	5010	3.34	2505
3층	3f_ser_core	355	6.68	2371.4	3.34	1185.7
	3f_work_spa	750	6.68	5010	3.34	2505
4층	4f_ser_core	390.5	6.68	2608.5	3.34	1304.3
	4f_work_spa	556.6	6.68	3718.1	3.34	1859.0
5층	5f_ser_core	390.5	6.68	2608.5	3.34	1304.3
	5f_work_spa	556.6	6.68	3718.1	3.34	1859.0
24층	24_ser	355	6.68	2371.4	3.34	1185.7
	24_work	750	6.68	5010	3.34	2505
25층	25_ser	355	6.68	2371.4	3.34	1185.7
	25_work	506	6.68	3380.08	3.34	1690.04
기타	기준층(5층) × 20층 적용					

표 9. 시물레이션 해석모델의 기기 및 인체발열밀도
Table 9. EPD and PPD of Simulation model

층	실이름	바닥면적 (m ²)	기기발열(W/m ²)			인체발열(W/m ²)			
			주간 (현열)	주간 (잠열)	야간 (현열)	주간 (현열)	주간 (잠열)	야간 (현열)	야간 (잠열)
1층	1f_ser_core	355	10.00	2.00	4.23	9.37	4.44	0.56	0.56
	1f_libby	750	4.73	0.95	2.00	4.43	2.10	0.27	0.27
2층	2f_ser_core	355	5.00	1.00	2.11	4.68	2.22	0.28	0.28
	2f_work_spa	750	4.73	0.95	2.00	4.43	2.10	0.27	0.27
3층	3f_ser_core	355	5.00	1.00	2.11	4.68	2.22	0.28	0.28
	3f_work_spa	750	4.73	0.95	2.00	4.43	2.10	0.27	0.27
4층	4f_ser_core	390.5	4.54	0.91	1.92	4.26	2.02	0.26	0.26
	4f_work_spa	556.6	6.38	1.28	2.69	5.97	2.83	0.36	0.36
5층	5f_ser_core	390.5	4.54	0.91	1.92	4.26	2.02	0.26	0.26
	5f_work_spa	556.6	6.38	1.28	2.69	5.97	2.83	0.36	0.36
24층	24_ser	355	5.00	1.00	2.11	4.68	2.22	0.28	0.28
	24_work	750	4.73	0.95	2.00	4.43	2.10	0.27	0.27
25층	25_ser	355	5.00	1.00	2.11	4.68	2.22	0.28	0.28
	25_work	506	7.01	1.40	2.96	6.57	3.11	0.40	0.40
기타	기준층(5층) × 20층 적용								

표 10. 기준모델의 부위별 열관류율
Table 10. U-value of Reference Simulation model

	재료	열전도율 (W/mK)	두께 (mm)	열관류율 (w/m ² K)
외벽	알루미늄 복합패널	172	4	0.47
	단열재	0.032	75	
	PE필름	0.181	0.1	
	공기층		105	
	석고보드	0.155	19	
간막이벽	석고보드	0.155	19	0.64
	글라스울	0.033	50	
	석고보드	0.155	19	
내벽	시멘트돌달	0.015	18	0.64
	보강블럭	0.860	150	
	글라스울	0.033	50	
	글라스크로스	-	-	
창호	유리	-	6	2.40
	아르곤가스	-	12	
	유리	-	6	
창호	로이복층유리	37.84	24	0.30
	공기층	-	-	
	철판			
	글라스울	0.032	100	

2) 설비부분

건물에 적용된 냉난방 시스템은 중앙식으로 기계실에 있는 열원장비에서 조절된 공기를 덕트를 통해서 실내로 공급하는 시스템이다. 열원장비는 보일러와 이중효용 흡수식냉동기, 소형 원심식 냉동기를 설치하여 냉난방으로 활용하고 있다.

3.3 사무소 건물의 통합 에너지 성능분석

건물에서 조명은 인체, 기기와 같이 실내 내부발열로 작용한다. 따라서 조명기구의 변화는 조명에너지 뿐만 아니라 냉난방에너지 소비량에 영향을 미치게 된다. 본 절에서는 사무소에 설치된 형광등을 LED램프로 교체할 경우 조명에너지와 냉난방에너지를 통합적으로 분석하여 조명기구의 변화에 따른 에너지 성능분석을 실시하였다. 일반적으로 사무소 건물에서 소비되는 에너지는 냉난방, 조명, 기기, 반송용 에너지로 구분할 수 있다. 그러나 조명기구의 변화가 기기 및 반송에너지 사용량에 영향을 미치지 않기 때문에 본 논문의 건물에너지 성능분석은 냉난방, 조명에너지로 한정하여 분석하였다.

해석대상 건물은 앞의 2.2절에서 언급한 사무소 건물을 시뮬레이션 해석모델로 선정하여 분석하였다. 시뮬레이션 해석모델의 조명은 형광등으로 하였으며 자세한 내용은 표2, 표3에 나타내었다. 기준모델의 시뮬레이션결과 조명, 냉방 및 난방에너지 소비량은 각각 16.6kWh/m²yr, 27.94kWh/m²yr, 43.02kWh/m²yr으로 분석되었다.

시뮬레이션 해석모델에 설치된 형광등의 개수만큼 LED램프를 적용할 경우 조명, 냉방 및 난방에너지 소비량은 각각 13.6kWh/m²yr, 26.3kWh/m²yr, 44.7kWh/m²yr으로 분석되었다. 조명에너지는 형광등 대비 18%의 절감효과가 있었고 냉난방에너지 소비량은 각각 -6%, +3.8% 변화가 있었으며 전체 에너지 소비량은 84.6kWh/m²yr으로 형광등보다 3.4%에너지 절감이 있는 것으로 분석되었다.

그러나 2장에서 분석한 결과 형광등의 개수만큼 LED램프를 적용할 경우 실내의 필요조도를 만족할 수 없다. LED램프를 증가시킨 후 조명에너지 및 냉난방에너지 소비량을 분석한

결과 34kWh/m²yr, 38.42kWh/m²yr, 33.84kWh/m²yr으로 조명에너지는 형광등보다 200% 이상 증가하는 것으로 분석되었으며, 난방에너지는 9kWh/m²yr정도 감소한 반면 냉방에너지는 10kWh/m²yr증가하여 전체 에너지 소비량은 106.29kWh/m²yr으로 형광등보다 21.4% 에너지가 증가하는 것으로 분석되었다.

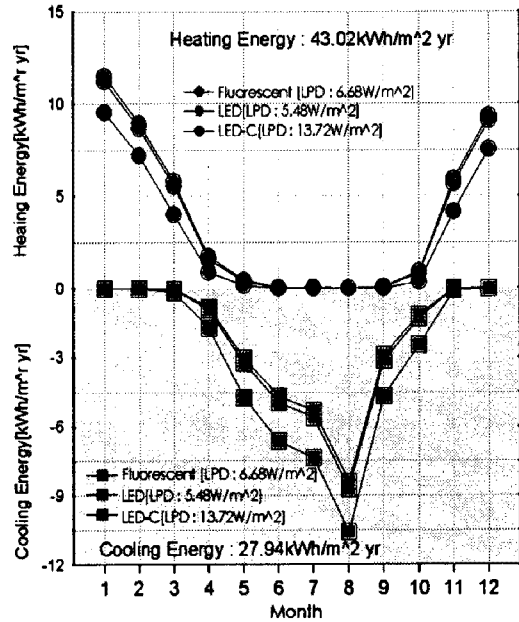


그림 9. 조명기구의 종류별 냉난방에너지 변화
Fig 9. Heating and Cooling Energy of Lamps

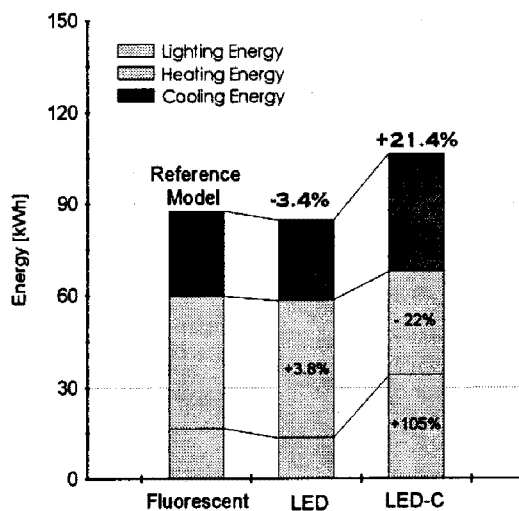


그림 10. 조명기구의 종류에 따른 통합에너지 성능 분석결과
Table 10. The result of Integrated simulation

5. 결론

이상의 연구과정을 통해 도출된 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 국내에서 생산되는 LED램프의 광속이 40lm/m²정도이며 이 값은 형광등(80lm/m²)에 비해 40%~50%이상 작은 것으로 조사되었다.

2) LED램프의 배광곡선을 이용한 실내조명환경분석 결과 일반형광등에 비해 빛의 배광 분포가 좁고, 조명률이 높기 때문에 광속이 형광등과 동일할 때 책상면 조도는 높은 반면, 벽이나 천장의 조도는 매우 낮게 나타나 실내의 조명환경분포가 균일하지 않은 것으로 분석되었다.

3) LED 램프의 소비전력은 일반형광등에 비해 20%~30% 작지만 광원의 광속이 50%이상 작기 때문에 실내의 적정조도를 만족하기 위해서는 LED램프의 개수가 형광등보다 증가하기 때문에 조명밀도가 높아지는 것으로 분석되었다.

4) 사무소에 설치된 형광등을 LED램프로 교체할 경우 내부 조명밀도가 상승하게 되어 조명으로 인한 내부발열이 증가하여 난방에너지는 감소시키지만 냉방에너지 소비량이 크게 증가하는 것으로 나타나 전체적인 건물의 에너지소비량 20% 정도 증가하는 것으로 분석되었다.

5) 높은 조명밀도는 실내온도를 상승시키는 내부발열로 작용하므로 난방에 비해 냉방에너지 소비량이 높은 건물의 에너지 절감에는 효과적이지 않은 것으로 나타났다.

6) LED램프는 형광등과 달리 수은과 같은 오염물질이 배출되지 않고 장수명기이라는 장점이 있지만 기존의 형광등 대용으로 사용하기 위해서는 광속을 90lm/m²이상해야 한다. 또한 LED램프와 같은 새로운 조명기구의 생산과 함께 배광곡선 등과 같은 제품에 대한 정확한 정보가 제공되어야 하며, 에너지성능분석은 조명기구의 소비전력의 감소에 따른 조명에너지 절감뿐만 아니라 광원의 배광곡선을 활용한 조명환경평가와 냉난방에너지 분석이 통합적으로 이루어져야 할 것이다.

본 연구는 현재 생산하고 있는 국외의 형광등 대응 LED 램프의 배광곡선파일을 근거로 해석한 연구결과이며, 추후 형광등 대응 LED 램프의 고발열에 의한 실내열환경분석을 통해 제실자의 열적쾌적성 특성과 고발열 및 배광분포를 개선하기 위한 연구를 수행하여 발표할 예정이다.

1) Yimin Gu, Nadarajah Narendran, Spectral and Luminous Efficacy change of High-power LEDs Under Different Dimming Methods, proceedings of SPIE 6337, 2006.

2) Lalith Jayasingle, Tianming Dong, Nadarajah Narendran, "Is the Thermal Resistance Coefficient of High power LEDs Constant?", Proceedings of SPIE, 2007.

3) 김병수, 조일식, 이진숙, "조명해석 프로그램을 이용한 광선반의 적정크기 선정 및 채광성능분석에 관한 연구, 대한건축학회 계획논문집, Vol.20, No. 6, 2004.

4) 윤성도, 박선효, 손장열, "사무소 건물의 에너지 성능개선안 평가사례", 한국생활환경학회지, 제15권 제4호, 2008년.

5) 이현우, "건물에너지 성능평가를 위한 사무소건물 및 공동주택 에너지 소비 총량제 기준에 관한 연구", 한국생활환경학회지, 제15권 제4호, 2008년

6) 김병수, 윤종호, 백남춘, 이진숙, "자립형 주택 기본계획안을 위한 시뮬레이션 성능평가", 태양에너지학회논문집, Vol. 21, No. 4, 2001.

7) 김병수, 윤종호, 윤용진, 이진숙 "기존 축열벽 시스템과 투명단열 축열벽 시스템의 열성능 평가 실험연구" 대한건축학회 계획논문집 19권10호, 2003. 10.

8) 김병수, 김정신, 임오연, "에너지 성능분석 및 감성평가에 의한 오피스 창호의 적정 투과율 선정", 한국태양에너지학회 논문집, Vol.24, No. 3, 2004.