



업무용 건축물의 실내 조명기구 특성에 따른 발열 효과에 관한 연구

Interior heating effect in an office building according to heat properties of light fixture

이윤진\* · 안병립\*\* · 김종훈\*\*\* · 정학근\*\*\* · 장철용\*\*\*\* · 김래연\*\*\*\*\*

Lee, Yoon-Jin\* · Ahn, Byung-Lip\*\* · Kim, Jong-Hun\*\*\* · Jeong, Hak-Geun\*\*\* · Jang, Cheol-Yong\*\*\*\* · Kim, Tae-Yeon\*\*\*\*\*

\* Yonsei Univ., South Korea (starrats11@kier.re.kr)

\*\* Yonsei Univ., South Korea (ahnbr@kier.re.kr)

\*\*\* Building Energy Research Center, KIER, South Korea (jonghun@kier.re.kr)

\*\*\*\* Building Energy Research Center, KIER, South Korea (hgjeong@kier.re.kr)

\*\*\*\*\* Corresponding author, Building Energy Research Center, KIER, South Korea (cyjang@kier.re.kr)

\*\*\*\*\* Dept. of Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (tykim@yonsei.ac.kr)

ABSTRACT

**Purpose:** Generally, 30% of the total energy consumption in office building is used for artificial indoor lightings, and almost 75-85% of electric power in fluorescent and Light-Emitting Diode (LED) lightings can be dissipated as a form of heat into indoor environment. The heat generated by indoor lightings can cause the increase of cooling load in office buildings. Thus, it is important to consider indoor lightings as a heat and light source, simultaneously. **Method:** In this study, we installed two kinds of indoor lightings including fluorescent and LED lightings and measured surface temperature of both indoor lightings. In addition, we obtained ambient temperature of indoor space and finally calculated total heat dissipated from plenum area and surface of lightings. **Result:** Total indoor heat gain was 87.17Wh and 201.36Wh in cases of six 40W-LED lightings and 64W-fluorescent lightings, respectively.

KEYWORD

실내 조명기구  
온도 측정  
조명 발열  
실내 열 취득  
Light-Emitting Diode(LED)

Indoor Light fixture  
Measurement of temperature  
Lighting heat  
Internal heat gain  
LED

ACCEPTANCE INFO

Received January 30, 2015  
Final revision received April 15, 2015  
Accepted April 17, 2015

© 2015 KIEAE Journal

1. 서론

에너지관리공단의 자료(2014년 기준)에 따르면(Fig 1)<sup>1)</sup>, 현재 국내 업무용 건축물의 전체 에너지 사용 비율은 난방 37.3%, 냉방 16.6%, 기타 27.7%, 조명 19.4%를 차지한다. 이를 통해 업무용 건축물에서 조명에너지는 냉방에너지 보다 많은 부분을 차지하는 것을 알 수 있다. 그러나 조명기구의 경우 소비전력의 약 80%를 열로 변환시키기 때문에 조명에너지는 실내 냉방부하를 증가시킬 수 있는 요인이 된다. 따라서 조명은 광원뿐만 아니라 열원으로써도 고려될 필요가 있으며 조명에너지를 줄이는 것은 냉방 에너지 또한 절감시킬 수 있는 하나의 방안이 될 수 있다고 판단된다.

업무용 건축물에 조명기구가 설치되는 추세는 Fig 1.에 나타나 있다. 2000년대 이후 2010년까지 형광등의 사용이 95% 이상을 차지하고 있으나, 2030년에는 효율이 낮은 형광등인 T12사용은 급격히 줄어들고 상대적으로 우수한 효율의 LED등기구의 사용량

이 약 30% 이상 늘어날 것으로 예상된다.

Fig 1.에서와 같이 실내 조명기구 사용 비율은 형광등과 LED등기구가 대부분을 차지한다. 그러나 실내 조명기구로써 주로 사용되고 형광등과 LED등기구는 발광 원리 및 발열 형태에 있어서 차

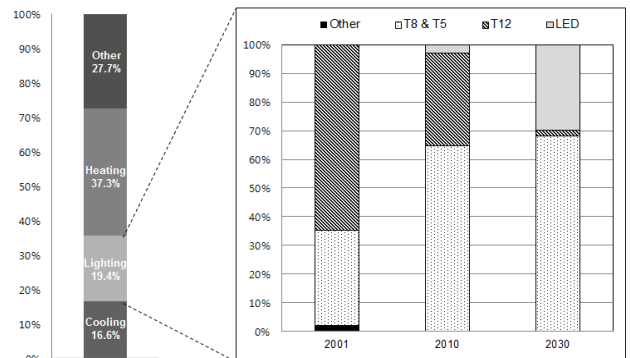


Fig. 1. Energy consumption ratio and lighting application forecast in commercial buildings

이를 가진다. 일반적으로 형광등은 방전에 의해 복사되는 자외선을 이용하여 유리관의 형광물질을 자극하고 이것이 가시광선으로 변환되는 광원인 반면, LED등기구는 P-N접합 반도체의 일종으로 전압을 가하면 P-N간에 정공과 전자의 움직임에 의해 결합할 때 발생하는 에너지가 빛의 형태로 발산된다.<sup>2)</sup>

또한 형광등은 형광램프를 통해 빛과 열이 실내 측으로 방출되지만 LED등기구의 경우 빛은 실내 측으로, 대부분의 열은 조명기구 후면의 방열판을 통해 방출되기 때문에 두 종류의 조명기구는 기기에서 열이 방출되는 위치가 다른 것을 알 수 있다. 따라서 건축물에 조명이 적용되는 부분에서 조명기구에 따라 설치 공간의 발열 효과에 차이가 있을 것으로 판단된다.

LED등기구의 발열효과에 관한 선행연구를 살펴보면, Ahn et al.<sup>3)</sup>은 LED등기구가 설치된 사무용 건물을 가정하고 시뮬레이션을 이용하여 조명발열에 의한 실내 냉, 난방부하를 저감시킬 수 있는 방안에 대해 연구하였으며, Park et al.<sup>4)</sup>은 LED등기구의 특성을 고려하여 LED의 방열판이 설치된 덕트 내의 조명발열을 효과적으로 제거할 수 있는 방안에 대해 연구하였다. 또한 LED등기구의 발열량 산출에 관해서는 Choi et al.<sup>5)</sup>과 Kim et al.<sup>6)</sup>의 연구가 있으며, 이들 연구에서는 정상상태에서 조명기구의 발열량을 계산하는 방법을 이용하였다.

본 논문에서는 실제 건축물에 적용된 형광등과 LED등기구의 발열 특성에 따른 발열량을 산출하기 위해 실험을 수행하였으며, 조명기구의 발열특성에 따라 실내에 미치는 온도상승 효과에 대해 알아보고자 하였다.

## 2. 실내 조명기구 개요 및 실험

### 2.1. 실내 조명기구의 특성

사무실의 실내 조명기구로서 흔히 천장에 설치되는 매립형 형광등의 경우, 실내에 노출되어있는 형광램프 내부의 방전에 의해 빛에너지가 발생한다. 형광등은 램프에서 가시광선이 방출되면서 동시에 조명기구에서 발생한 열이 빛과 함께 실내 공간에 직접적으로 전달되는 형태이다. LED등기구는 LED chip에서 발생한 열이 접합하고 있는 PCB를 통해 전도되며, 이 기판의 후면에 부착된 Heat pipe를 통해 Heat sink로 전달되어 공기 중에 열을 배출시킬 수 있는 구조로 되어있다.<sup>4)</sup>

일반적으로 실내 조명기구로서 사용되는 형광등과 LED등기구의 열전달 특성에 관해서 Table 1에서는 열전달 형태 및 해당하는 부분의 비율을 나타내고 있다. 형광등의 경우 복사에너지가 소비전력의 58%를 차지하고 있으며 그 중 21%는 가시광선, 37%는 적외선인 복사의 형태로 열이 발생한다. 그리고 나머지 42%는 조

Table 1. Heat transfer method of light fixtures

	Fluorescent	LED
Radiant Energy	Visible light	15-25%
	IR	0%
Heat (conduction+convection)		75-85%
total		100%

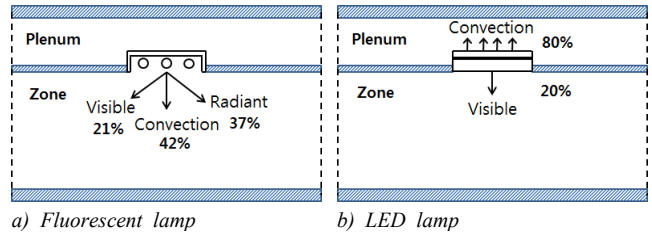


Fig. 2. Schematic diagram of heat properties

명기구에서 전도열과 대류열로 방출된다. LED등기구의 경우 소비전력의 15~25%를 차지하는 가시광선으로 변환되는 비율을 제외한 나머지 75~85%의 조명 열량이 전도와 대류의 형태로만 방출되는 특징을 가진다.

Fig 2에서 이러한 조명기구의 열전달 특성에 관해 실내 측과 Plenum Area 측으로 열이 방출되는 형태를 도식화 하여 나타냈다. 실내로 램프가 노출되어 있는 형광등은 모든 열의 형태가 실내 측으로 100% 먼저 전달되며, LED등기구는 후면에 열을 발생시키는 부분이 위치하고 있기 때문에 Plenum Area 측으로 대류 형태의 열전달이 먼저 발생한다. 이를 통해 두 종류의 조명기구는 소비전력 대비 빛 에너지 발생 비율에서 큰 차이는 없으나, 조명기구에 따라서 각각 다른 열전달 형태와 다른 발열 위치에 의해 열이 방출되는 것을 알 수 있다.

### 2.2. 실험 개요 및 방법

본 연구에서는 업무용 건축물에 설치된 형광등과 LED조명의 발열 효과를 알아보려고 대전에 위치한 한국에너지기술연구원 그린 빌딩의 4층 사무실 모듈에서 실험을 실시하였다. Table 2에서는 실험이 진행되었던 사무실 모듈에 대한 내용을 나타냈다. 사무실 모듈의 면적은 약 33.12m<sup>2</sup>이며 사무실 모듈 공간의 높이는 2.5m, 천정의 윗부분에 해당하는 Plenum Area의 높이는 약 1.0m이다. 사무실 모듈에는 총 6개의 조명기구가 설치되어 있으며 LED등기구 실험과 형광등 실험을 각각 진행하였다. LED등기구의 온도를 측정하는 실험을 수행 할 때의 사무실 모듈의 실내온도는 약 28.5°C를 나타냈으며 외기의 평균기온은 22.1°C, 최고기온은 27.3°C를 나타냈다. 형광등의 실험 당시에는 사무실 모듈의 실

Table 2. Experimental overview

	LED	Fluorescent
Located		
KIER Green Building		
Indoor temperature		26.9°C
Office module	Area	33.12m <sup>2</sup>
	Height	2.5m
Plenum Area	Area	33.12m <sup>2</sup>
	Height	1.0m

2) <http://www.led-lighting.co.kr>

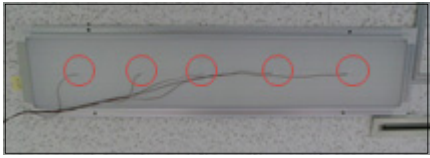
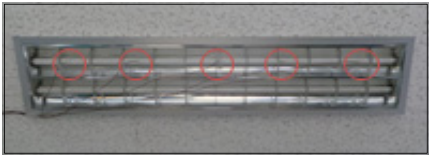
3) Byung-Lip Ahn et al. , Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings, Applied Energy 113, 2014

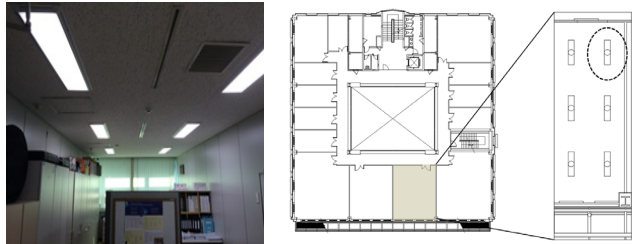
4) 박지우 외 5명, 사무소건물의 LED조명기구 방열장치의 성능 분석 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2014

5) 최종선 외 5명, 실내조명의 발열량 예측에 관한 실험 연구, 한국생태환경건축학회 논문집, 2010

6) 김동건 외 4명, LED등기구 발열량 비교분석, 한국철도학회 학술발표대회 논문집, 2011

Table 3. The Specifications of light fixture

	LED	Fluorescent
Image		
Size	0.3m×1.2m	T8(L:1200)
Power consumption	40W	32W×2EA
Efficiency	75lm/W	60lm/W



a)The image of office b)The floor plan and the lighting plan module




Fig. 3. The place of Experiment for measurement temperature

내온도는 약 26.9°C를 나타냈고 외기의 평균기온은 5.8°C, 최고기온은 11.6°C를 나타냈다.

Fig. 3은 실험이 수행된 사무실 모듈의 사진(a)과 사무실 모듈의 평면도 및 조명기구의 설치 평면도(b)이다. Table 3에서는 실험에 사용된 실내 조명기구의 사양을 나타냈다. 설치된 LED등기구의 크기는 0.3m×1.2m이고 소비전력은 40W이며 효율은 75lm/W 이상이다. 또한 형광등은 LED 조명기구와 같은 크기의 프레임에 두 개의 직관형 형광램프가 설치되어 있다. 해당 직관형 형광램프는 T8이며 길이는 1.2m이고 형광램프 한 개의 소비전력은 32W, 효율은 약 60lm/W이다.

형광등과 LED등기구 모두 조명기구의 표면온도와 Plenum Area의 공기온도 및 실내 온도를 측정하기 위해 각 부분에 측정 지점을 설정한 후, 열전대를 설치하여 실험을 진행하였다. 실험을 위해 사용된 장비는 Table 4와 같으며 측정 내용은 1분 간격으로

Table 4. Measurement Equipment

Image			
Purposes	Data acquisition	Data acquisition	Temperature measurement
Name	Laptop	Data Logger	Thermal couple (T type)

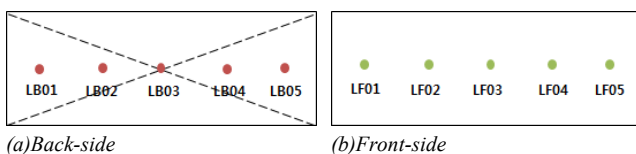


Fig. 4. LED fixture measurement points

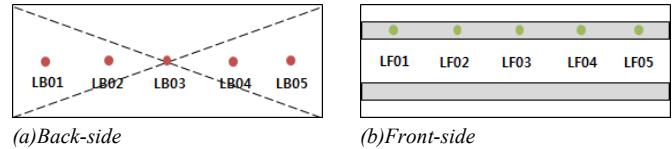


Fig. 5. Fluorescent lamp measurement points

기록하였다. LED등기구의 표면온도 측정을 위해 실내 측에 해당하는 앞쪽 표면에는 가장자리로부터 200mm 떨어진 곳으로부터 200mm 간격으로 5개의 측정 지점을 설치하였고, Plenum area 측에 해당하는 뒤쪽 표면에도 앞쪽과 같이 5개의 측정 지점을 설치하였다. (Fig. 4)

형광등의 경우 형광램프 1개의 표면에 LED 등기구와 동일한 측정 지점 설치 방법으로 5개의 측정 지점을 설치하였으며, 뒤쪽 표면에도 마찬가지로 5개의 표면 온도 측정 지점을 설치하였다. (Fig. 5)

또한 두 개의 조명기구 모두 표면온도 뿐만 아니라 공기온도를 측정하여 대류열량을 산출하기 위해 실내와 Plenum Area에 각각 열전대를 설치하여 온도를 측정하였다. 실내공기온도는 조명기구로부터 수직으로 약 30cm정도 이격된 위치에서 측정하였다.

### 3. 실험 결과 및 분석

#### 3.1. 온도 측정 결과

본 연구에서 수행한 조명기구의 온도 측정 실험에 대한 결과는 업무시간(오전 8시~오후 5시)을 기준으로 분석하였다. 조명기구의 각 부분 평균 온도를 파악하기 위해 업무시간 중 정상상태 구간인 오후 2시부터 5시까지 측정된 온도를 비교 분석하였다.

LED등기구의 평균 표면 온도의 경우 조명기구의 뒤쪽 표면은 35.3°C로 가장 높았으며, 실내 측에 해당하는 앞쪽 표면은 뒤쪽 표면의 평균 온도보다 약 3°C정도 낮은 32.2°C로 나타났다. 또한 실내 공기온도로 측정된 평균 공기 온도는 29.1°C, Plenum Area의 평균 공기 온도는 약 28.5°C로 측정 되었다.

형광등의 평균 표면 온도의 경우, 조명기구의 뒤쪽 표면은 26.40°C, 형광램프의 표면의 평균 온도, 즉 등기구의 실내 측 표면 평균 온도는 35.58°C로 나타났다. 또한, 실내 공기온도로 측정된 평균 공기온도 값은 26.86°C, Plenum Area의 평균 공기 온도는 약 23.13°C로 측정 되었다. (Table 5)

Table 5. Average temperature of measurement spots

	LED	Fluorescent
Light fixture back-side	35.33°C	26.40°C
Light fixture front-side	32.23°C	35.58°C
Indoor air	29.15°C	26.86°C
Plenum Area	28.50°C	23.13°C

LED등기구는 뒷면에 발열 부위가 위치하기 때문에 온도 측정 부위 중 뒷면의 표면 평균 온도가 가장 높은 것으로 나타났으며, 형광등은 형광 램프를 통해 실내 측으로 빛과 대부분의 열이 방출되기 때문에 램프의 앞쪽 표면 평균 온도 값이 가장 높게 나타났다.

### 3.2. 조명기구의 발열량 산출

조명기구에서 발생하는 열량을 산출하기 위해 표면열전달계수는 설계용 실내 표면열전달계수를 적용하였다.<sup>7)</sup> 각 조명기구의 발열량은 온도를 측정한 조명기구의 면적과 측정한 표면온도와 공기온도 차, 그리고 표면열전달계수를 이용하여 산출하였다.

대류에 의해서 열이 방출되는 LED등기구의 경우 표면온도와 공기온도 차에 의해 계산되는 아래의 식(1),(2)에 의해 발열량 산출이 가능하며 총 대류 발열량은 두 식을 합한 값인 식(3)이 된다.

$$Q_f = h \times A_f \times (t_f - t_i) \quad (1)$$

$$Q_p = h \times A_b \times (t_b - t_p) \quad (2)$$

$$Q_t = Q_f + Q_b \quad (3)$$

여기서,

- $h$  : 표면열전달계수(W/m<sup>2</sup>·K)
- $Q_f$  : 실내 측 발열량(W)
- $A_f$  : 조명기구 면적(m<sup>2</sup>)
- $t_f$  : 조명기구 앞쪽 표면 온도(°C)
- $Q_p$  : Plenum Area 측 발열량(W)
- $A_b$  : 조명기구 면적(m<sup>2</sup>)
- $t_b$  : 조명기구 뒤쪽 표면 온도(°C)
- $Q_t$  : 조명기구의 전체 발열량(W)
- $t_i$  : 실내 공기 온도(°C)
- $t_p$  : Plenum Area 공기 온도(°C)

위의 식을 통해 LED등기구의 발열량을 산출한 결과 Plenum Area측은 약 22.1W, 실내 측으로는 약 10.0W로 산출되었다.

이를 통해 총 32.1W의 대류열이 발생한 것으로 나타났으며 이 값은 LED등기구의 전체 발열량에 해당한다.

형광등의 경우 LED등기구와는 달리 열전달의 모든 형태로 열이 방출된다. 그러므로 위에서 제시한 식은 대류 형태의 발열량만 산출이 가능하므로 형광등의 전체 발열량은 예측할 수 없다. 따라서 식(1)에 실내 측에 해당하는 형광등 앞쪽 표면의 온도와 실내

7) 최정민, 조성우, 자연대류열전달계수와 강제대류열전달계수에 따른 대류열전달 특성에 관한연구, 대한건축학회논문집 계획계, 2011

Table 6. Convection heat from LED and Fluorescent

	Division	Convection heat
LED (40W)	Indoor	10 W
	Plenum Area	22.11 W
	Total	32.11W
Fluorescent (64W)	Indoor	34.17 W
	Plenum Area	11.23W
	Total	45.40W

공기온도를 대입하여 형광등의 전체 발열량 중 대류 발열량을 산출 하였다. 그 결과 실내 측 대류 발열량은 34.2W로 산출되었으며, 식(2)에 의해서는 Plenum Area 측 대류 발열량이 11.23W로 산출되었다.

실험을 통해 조명기구의 표면 온도와 공기온도를 측정한 후 조명기구에 따른 대류 형태의 발열량을 산출하였다. (Table 6)

40W LED등기구는 소비전력의 55%정도에 해당하는 22.11W의 열이 Plenum Area 측으로 방출되었으며, 약 25%는 실내 측으로 방출되었다. 반면 64W형광등은 Plenum Area 측에서 18%의 열이, 실내 측으로는 약 53%가 방출되었다.

이를 통해 조명기구에 따라 실내 측과 Plenum Area 측으로 방출하는 발열량의 비율은 큰 차이가 있는 것으로 나타났다.

### 3.3. 실내 온도 상승효과 및 실내 열전달 비교분석

본 연구에서는 실험을 통해 산출한 조명기구의 대류 발열량을 이용하여 각 조명기구에 따라 실내온도가 상승하는 정도와 조명기구에 의한 실내 취득열량을 알아보고자 하였다.

Fig. 6과 같이 본 연구에서 진행되었던 사무실 모듈과 동일한 크기로 조명기구가 설치된 실내 공간을 가정하였다. 초기 공기 온도를 26°C로 설정하였으며 Plenum Area과 실내 공간을 나누는 천정을 제외한 다른 외피에서는 열손실과 침기 또한 발생하지 않는 것으로 가정하였다. 조명기구가 설치된 사무실 모듈의 경계조건은 Table 7과 같다.

먼저 LED등기구의 발열에 의해 Plenum Area에서 단위 시간당

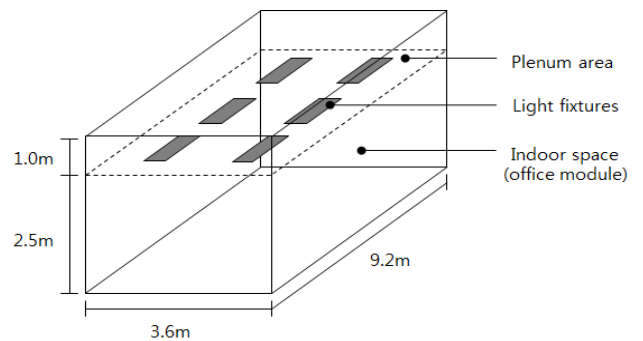


Fig. 6. Isometric of office module

Table 7. Boundary Conditions

Initial temperature		26°C
Area		33.12m <sup>2</sup>
Height	Plenum area	1.0m
	Ceiling height	2.5m
U-value	Ceiling	5W/m <sup>2</sup> ·K
	Exterior wall	Adiabatic



상승하는 공기 온도를 알아보았다. 사무실 모듈 Plenum Area의 공기 온도를 26°C로 가정했을 때의 온도 차와 체적, 공기 비열을 곱한 값은 3.2에서 산출한 LED등기구의 Plenum Area측 발열량인  $Q_p$ 와 같으므로, 식(4)에 의해 T1에 해당하는 값인 Plenum Area의 상승된 공기 온도가 산출된다. 동일한 계산 방식으로 사무실 모듈의 실내 공기온도를 26°C로 가정하여 단위 시간당 상승하는 실내 공기 온도 T2의 값을 식(5)를 통해서 산출하였다. 식(6)은 식(4),(5)에서 산출된 LED등기구 발열에 의한 Plenum Area와 사무실 모듈 내의 온도차에 의해 발생하는 열전달을 나타낸 것이다. 따라서 LED등기구에 의한 실내 총 발열량  $Q_t$ 는, 조명을 위해 실내에서 발생하는 열량에 해당하는  $Q_i$ 과 Plenum Area에서 실내 측으로 전달되는 열량인  $Q_l$ 의 총합인 식(7)에 의해 산출된다.

형광등은 LED등기구와는 반대로 형광등에 의한 열 취득에 의해 상승한 실내 공기 온도에 의해서 Plenum Area측으로 열을 전달한다. 그러나 LED등기구와 마찬가지로 식(5)에 의해 단위 시간당 상승된 실내 공기온도가 산출되며 식(6)에 이 값을 대입하여 열전달이 산출된다. 이에 따라 형광등의 경우, 식(7)에 의해 LED등기구와 동일하게 조명 발열에 의한 총 실내 취득 열량이 계산된다.

$$Q_p = \rho C V_p \Delta t_p \quad (4)$$

$$Q_i = \rho C V_i \Delta t_i \quad (5)$$

$$Q_l = U_c A_c (T_p - T_i) \quad (6)$$

$$Q_t = Q_i + Q_l \quad (7)$$

여기서,

$\rho$  : 공기의 밀도(1.2kg/m<sup>3</sup>)

$C$  : 공기의 비열(0.24kcal/kg·°C)

$V_p$  : Plenum area의 체적(m<sup>3</sup>)

$V_i$  : 실내 공간의 체적(m<sup>3</sup>)

$T_p$  : 조명기구에 의한 Plenum Area 상승 온도(°C)

$T_i$  : 조명기구에 의한 실내 상승온도(°C)

$A_c$  : 천정 면적(m<sup>2</sup>)

$U_c$  : 천정의 열관류율(W/m<sup>2</sup>·K)

$Q_p$  : 조명기구에 의한 Plenum Area 측 발열량(W)

$Q_i$  : 조명기구에 의한 실내 측 발열량(W)

$Q_l$  : 천정을 통해 전달되는 조명 발열량(W)

$Q_t$  : 조명기구에 의한 총 실내 발열량(W)

가정한 사무실 모듈에서 조명발열에 의한 실내 온도 상승효과 및 실내 발생 열량을 계산한 결과는 다음과 같다.

LED등기구가 설치된 사무실 모듈의 경우 식(4)를 이용하여 단위 시간당 Plenum Area의 상승온도에 해당하는  $T_p$ 를 계산한 결과 38.01°C로 산출되었다. 산출된 값은 초기에 설정한 26°C의 Plenum Area의 공기 온도보다 약 12.01°C 증가한 것으로 나타났다. 식(5)에 의해 계산된 실내 공기온도  $T_i$ 는 28.17°C로, 초기 설정 온도보다 약 2.17°C 증가하였다. 이를 통해 LED등기구에서 발생

Table 8. Results

	LED	Fluorescent
Plenum Area, $\Delta t$	12.01°C	1.02°C
Indoor, $\Delta t$	2.17°C	7.43°C
Heat transfer	27.17W	3.66W
Indoor heat gain	87.17W	201.36W

한 열이 천정을 통해 실내로 전달되는 열량을 식(6)에 의해 계산한 결과, 단위시간당 전달되는 열량( $Q_{li}$ )은 27.17W로 산출되었다. 따라서 천정을 통해 조명으로부터 발생하여 실내로 유입되는 열량( $Q_l$ )과 사무실 모듈에 설치된 6개의 LED등기구의 발열량( $Q_i$ )을 합한 값인 단위시간당 실내의 총 발열량( $Q_t$ )은 87.17W로 산출되었다.

형광등의 경우 LED등기구와 동일한 산출방법을 적용하여 식(4)에 의해 Plenum Area의 상승온도  $T_p$ 를 산출하였으며 그 값은 초기 온도보다 약 6.10°C 증가된 32.10°C로 나타났다. 식(5)에서 실내의 증가된 공기온도  $T_i$ 는 약 33.43°C로 산출되었고, 증가된 실내 공기온도는 초기 설정온도보다 7.43°C 높은 것으로 나타났다. 산출된 두 공간의 온도차를 대입하여 단위 시간당 Plenum Area 측으로 전달되는 열량( $Q_l$ )을 식(6)에 의해 계산한 결과 약 3.66W가 산출되었다. 따라서 온도차에 의해 발생한 실내 손실 열량( $Q_l$ )과 형광등에 의해 실내에서 발생하는 형광등의 대류열량( $Q_i$ )을 더한 값인  $Q_t$ 는 201.36W로 산출되었다. 이를 통해 사무실 모듈에서 LED등기구보다 형광등이 단위시간당 대류열량을 약 114.20W정도 더 방출하는 것을 알 수 있었다.

LED등기구의 경우 대부분의 열이 Plenum Area로 빠져나가지만, Plenum Area의 공기온도와 실내 공기온도와와의 큰 온도차로 인해 천정을 통해 다시 실내로 열이 전달되기 때문에, 실내 측에서 발생하는 열량뿐만 아니라 전달된 열량까지 실내 온도 상승 및 열 취득에 기여하게 된다. 반면 형광등의 경우 실내 온도의 상승이 Plenum Area의 온도 상승보다 높기 때문에 산출된 열량이 실내 측으로부터 빠져나가게 된다. 그러나 Plenum Area 측으로 손실되는 열량이 미미한 것으로 산출되었기 때문에 실내 열 취득에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서 진행한 실험 결과 및 분석 내용과 사무실 모듈에 설치된 조명기구에 의한 실내 발열 효과는 다음과 같다.

(1) 실험을 통해 LED등기구의 평균 표면 온도를 측정된 결과, 앞쪽 표면의 표면 평균온도는 32.23°C, 뒤쪽 표면의 표면 평균온도는 35.33°C를 나타냈다. 그리고 형광등 평균 표면 온도의 경우, 열이 발생하는 형광램프의 앞쪽 표면 평균온도는 35.58°C를 뒤쪽 표면의 표면 평균온도는 26.40°C를 나타냈다.

각 조명기구의 대류열량을 계산하기위해 실험을 통해 측정된 온도를 대입하였다. 그 결과 40W LED등기구의 경우 총 열량은 32.11W로 산출되었으며, 64W 형광등의 경우 LED등기구와 동일한 열량계산 방법을 통해 실내 측으로는 34.17W의 발열량을,

Plenum Area 측으로는 11.23W가 산출되어 총 45.40W가 산출되었다.

(2) 본 연구에서는 실험을 통해 산출한 조명기구의 대류 발열량을 근거로 하여, 가정한 사무실 모듈에서 조명기구에 따른 실내 온도 상승효과 및 조명기구에 의해 발생하는 열량을 알아보았다.

조명기구에 따른 실내온도는 초기에 설정한 공기 온도보다 LED등기구의 경우 2.17°C, 형광등의 경우 7.43°C로 산출되었다. 산출된 온도차에 의해 가정한 사무실 모듈에서 조명기구로부터 발생한 실내 취득 열량을 계산한 결과 형광등은 단위시간당 201.3 6W정도의 대류열량이 발생하는 것으로 산출되었다. 그리고 LED등기구의 경우 단위시간당 87.16W정도의 대류열량이 발생하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 각 조명기구의 전체 열량을 비교하지 않았으나, 대류열량만을 비교했을 때 형광등의 경우 조명기구에 의해 실내에서 취득하는 열량이 월등히 큰 것을 알 수 있었다. 또한 단위 시간당 발생하는 실내의 상승온도가 형광등의 경우 LED등기구에 비해 3배 이상 높기 때문에, 형광등이 설치된 실내 공간이 상대적으로 실내 온도를 더 많이 높일 수 있다고 판단된다.

따라서 본 연구를 통해 형광등과 LED 실내 조명기구의 발열 특성 및 효과를 고려하여 업무용 건축물에 설치되는 조명 열 취득을 예측할 수 있으며 또한 2차적으로는 냉, 난방 부하에 미치는 영향을 고려할 수 있을 것으로 사료된다.

### Acknowledgements

"This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIP) (No. 2011-0028075)."

### References

- [1] Byung-Lip Ahn, Cheol-Yong Jang, Seung-bok Leigh, Seunghwan Yoo, Hakgeun Jeong, "Effect of LED lighting on the cooling and heating loads in office buildings", Applied Energy 113, 2014
- [2] 박지우, 안병립, 김종훈, 정학근, 장철용, 송규동, "사무소건축물의 LED 조명기구 방열장치의 성능 분석 연구", 한국생태환경건축학회 논문집, 제 14권 제 6호, 2014 // Ji-Woo Park, Byung-Lip Ahn, Jong-Hun Kim, Hak-Geun Jeong, Cheol-Yong Jang, Kyoo-dong Song, "Performance of heat sinks for LED luminaires in office buildings", journal of KIEAE, Vol. 14, No 6, Dec, 2014, pp.79-84
- [3] 정학근, 한수빈, 장철용, "태양광 활용을 위한 효율적 LED 조명기구 설계 방안", 한국태양에너지학회 논문집, 제 31권 제 2호, 2011 // Hak-Geun Jeong, Soo-Bin Han, Cheol-Yong Jang, "Energy efficient LED lighting design to utilize the sun light, journal of Korean Solar Energy Society, Vol. 31, No. 2, 2011
- [4] 최정민, 조성우, "자연대류열전달계수와 강제대류열전달계수에 따른 대류열전달특성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제 27권 제 6호, 2011 // Jeong-Min Choi, Sung-Woo Cho, "The Characteristic of Convective Heat Transfer Coefficient by Natural Heat Transfer Coefficient and Force Heat Transfer Coefficient", journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 27, No. 6 June 2011
- [5] 최종선, 임홍수, 김경아, 이금환, 구재오, 김근, "실내조명의 발열량 예측에 관한 실험연구" 한국생태환경건축학회 논문집, 제 10권 제 6호, 2010 // Jong-Seon Choi, Hong-Soo Lim, Kyung-Ah Kim, Keum-Hwan Lee, Jae-Oh Koo, Gon Kim, "The Performance of generated Heating Energy from Interior Lighting Fixtures" journal of KIEAE, Vol. 10, No. 6, 2010
- [6] 오병길, "건물 냉방에너지 저감을 위한 인공조명 발열 배기시스템의 적정화에 관한 연구", 단국대학교 석사학위논문, 2011 // Byung-Gil Oh, "Proper Application of Artificial Lighting Heat Exhaust System to Reduce the Cooling Energy in Office Buildings", A doctoral dissertation of Dankook University, 2012
- [7] Multi-Year Program Plan, Solid-State Lighting Research and Development, U.S. Department of Energy, April 2014
- [8] Energy Efficiency and Renewable Energy Management of White LEDs, U.S. Department Of Energy, 2007