

## RF통신을 이용한 LED 조명의 온도제어

최형식<sup>1,a</sup>, 신희영<sup>1</sup>, 오지윤<sup>1</sup>, 이상섭<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 한국해양대학교 기계·에너지 시스템공학부

### Temperature Control for LED Lamps Using RF Communication

Hyeung-Sik Choi<sup>1,a</sup>, Hee-Young Shin<sup>1</sup>, Ji-Youn Oh<sup>1</sup>, and Sang-Seop Lee<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Major of Mechanical Systems Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

(Received July 20, 2012; Revised August 1, 2012; Accepted September 11, 2012)

**Abstract:** In this paper, a temperature control for LED (light emitting diode) lamp using a cooling fan is studied. An efficient temperature control scheme for the LED lamp using the fan wind at the lowest sound noise is studied. For the study, after measurement of the minimum sound noise of the fan and related temperature of the LED lamp through tests, experiments on temperature control of the LED lamp using the fan with various size of heat sinks was performed. To reduce the fan sound noise, a method of reducing the operation time with optimal size of the heat sink was studied. Also, a control of LED lamps using RF communication was studied.

**Keywords:** Heat sink, Cooling fan, Cooling system, Noise control, RF communication

#### 1. 서론

LED 조명기술은 화석에너지의 고갈 및 환경문제로 인해 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 중요한 이슈가 되고 있다. 이러한 LED 조명기술의 목표는 인류에게 에너지 절감 효과와 보다 안락하고, 건강증진에 도움이 되며, 인간의 심리와 감성에 부합하는 고품질조명 환경을 제공하는 것에 있다. 에너지 절감 효과가 큰 고품질 조명기구로써 고효율 LED 조명기기가 있다.

우리가 사용하는 전기 에너지 중 조명에 사용되는 에너지의 양이 총 전기에너지 사용량의 약 20%를 차지한다. 현재 사용하는 조명으로는 형광등 외에도 백열등, 할로겐 등이 있으나 이들을 대체하는 조명원으로 LED가 있다. LED는 저 소비전력, 뛰어난 내구성, 경제성, 고 응답성 및 수명이 반영구적이라는 장점을 가지고 있다. 따라서 저탄소 녹색성장 산업의 일환으로

LED의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

이러한 LED 조명에 있어서 광효율 향상, 광질의 향상 및 LED 조명의 수명연장을 위해 가장 중요하게 간주되는 것이 LED의 시스템의 방열에 대한 것이어서 이의 해결책을 찾는 방법에 대한 연구가 진행되고 있다. LED 방열에 대한 연구는 방열 방식에 따라 냉각액을 사용한 수냉식 방열 시스템과 상변화에 따라 순환을 이용한 히트 파이프 방식 [2], 자연대류를 이용한 자연대류형 방열 시스템 [3,7]과 팬을 이용한 능동형 방열 시스템 [4,6]으로 구분할 수 있다. 또 펠트에 효과를 이용해 열전소자로 방열하는 방식 등이 있다 [6].

본 연구에서는 능동형 방열 시스템인 팬과 방열판을 이용한 LED의 방열 제어시스템의 문제점으로 조명의 수가 많아지면 팬에서 발생하는 소음의 발생이 커지는 문제를 해결하기 위한 연구를 행하였다. 팬 소음 저감과 동시에 온도제어를 최대로 내기 위하여 최저소음 영역의 풍량을 내는 전압을 제어하여 팬의 순차제어를 통한 LED 방열시스템에 대해 연구하였다. 또한 실내

a. Corresponding author; [hchoi@hhu.ac.kr](mailto:hchoi@hhu.ac.kr)

의 환경에서 무선통신을 이용하여 LED 조명을 입력 신호 및 전력을 제어하는 방법을 연구하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 LED 방열시스템

#### 2.1.1 방열 시스템의 구성

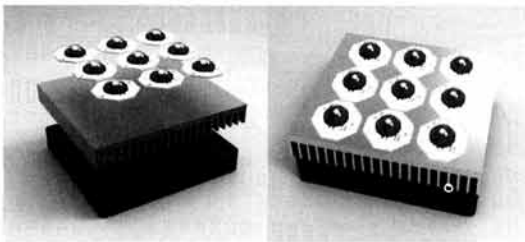


Fig. 1. 3D model of LED lamps.

그림 1의 3D모델링 형태와 같이 각각 최적화한 방열판과 그 위에 LED 0.5 ~ 1 cm 간격으로 배치하고 아래는 팬을 부착하여 방열판과 수직으로 바람을 불어주어 이상적인 강제대류 환경을 구축하였다.

#### 2.2 방열 관계식

일정표면 열 유속에서 LED는 정 전류, 정 전압으로 구동되기 때문에 일정표면 열 유속이다. LED에서 발생하는 열량을 알고 있으며, 이 열량은 또한 LED에서 방출해야 할 열량이므로 다음의 식이 성립한다 [5,8].

$$q = \dot{m}c_p(T_o - T_i) \quad (1)$$

여기서  $q$ 는 LED에서 발생한 열량이고,  $c_p$ 는 정압비열,  $\dot{m}$ 은 팬을 이용한 공기의 질량 유량이다. 식 (1)로부터 질량 유량을 구하는데 사용 할 수 있다. 시스템의 공기의 속도는 다음 식에 의해 계산된다.

$$u = \frac{\dot{m}/N}{\rho A_c} \quad (2)$$

여기서  $A_c$ 는 핀의 둘레이고  $N$ 은 핀의 개수이다. 팬의 선정 시 식 (2)를 만족하는 충분한 용량을 갖도록

팬을 선정하였다. 본 시스템에서 방열판 내에서의 유동은 식 (3)에 따라 계산한 결과  $Re_D < 2300$  이기 때문에 층류 유동이다.

$$Re_D = \frac{u \cdot D_h}{\nu} \quad (3)$$

여기서  $Re_D$ 는 레이놀드 수이고  $D_h$ 는 유효지름 (effective diameter)이다.

$Pr$ 은 Prandtl 수이고  $Nu$ 는 Nusselt 수를 나타낸다. 평행 평판사이 유동의 열적 입구영역에 대한 평균 Nusselt 수는 식 (4)와 같다.

$$Nu = 7.54 + \frac{0.03(D_h/L)RePr}{1 + 0.016[(D_h/L)RePr]^{2/3}} \quad (4)$$

$h$ 는 열전달 계수이며  $Nu$ 수를 이용하여 다음과 같이 구한다.

$$h = \frac{Nu \cdot k}{D_h} \quad (5)$$

Heat sink 입구로부터 평균 값인  $h$ 는 식 (5)에 의해 구해진다.

$$\frac{T_s - T_o}{T_s - T_i} = \exp\left[-\frac{PL\bar{h}}{\dot{m}c_p}\right] \quad (6)$$

온도 차 ( $T_o - T_i$ )가 방열판의 축 방향 거리를 따라 지수적으로 감쇄하는 것을 나타낸다. 식 (6)의  $T_s$ 는 방열판의 표면 온도를 나타낸다.

#### 2.3 방열시스템의 성능 분석

실험에 앞서 방열판과 팬이 본 연구에서 9개의 LED (그림 1)로 구성된 LED 조명 시스템의 방열에 적합한지를 분석하였다. LED에서 발생하는 열은 LED를 구동하기 위해 사용하는 전체 소비전력의 80%가 열로 발생하기 때문에 본 연구에서 구성한 LED 조명에서 사용하는 전체 전력 (36 W)의 80%인 28.8 W는 지속적인 열로 발생하는 방열량이다. 이를 기반으로 선정한 방열판과 팬의 성능이 LED의 방열에 적합한지 확인하였다. 방열판의 성능분석을 위해 2가지 형태의 방열판을 선정하였고 이의 사양은 표 1에 나타내었다. 방열판

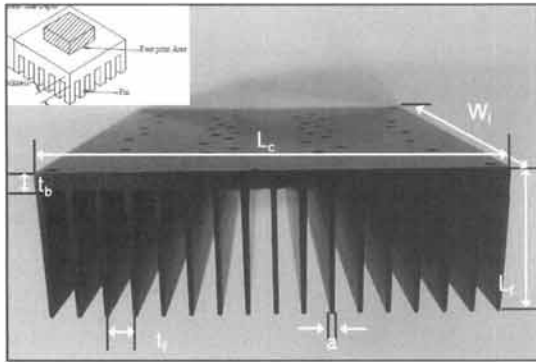


Fig. 2. Outlook of heat sink.

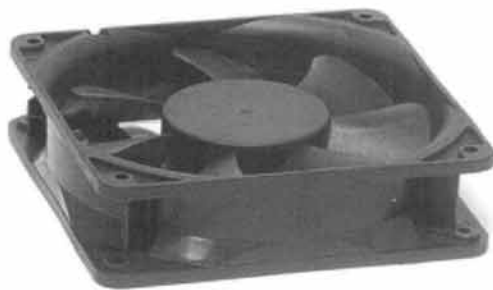


Fig. 3. Outlook of fan.

Table 1. Specifications of three heat sinks.

Heat sink1		
Parameter	Value	Unit
Size	122×110	mm
Footprint	745	mm <sup>2</sup>
$t_f$	4.4	mm
$t_b$	4.6	mm
$L_f$	16.6	mm
$L_c$	122	mm
$W_f$	110	mm
a	4.4	mm
Number of pins	20	20

Heat sink2		
Parameter	Value	Unit
Size	122×110	mm
Footprint	745	mm <sup>2</sup>
$t_f$	4	mm
$t_b$	9	mm
$L_f$	40	mm
$L_c$	122	mm
$W_f$	110	mm
a	2	mm
Number of pins	20	20

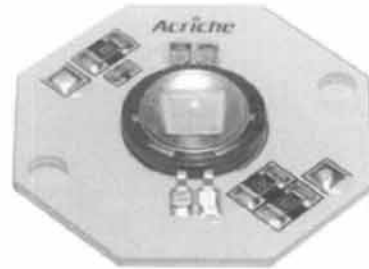


Fig. 4. Outlook of LED lamp.

Table 2. Specification of the fan.

Parameter	Value	Unit
Overall Dimension	120 × 120 × 38	mm
Operating Voltage	12	VDC
Starting Voltage	6	VDC
Operating Current	0.2 ± 10%	A
Max. Airflow	50.75	CFM
Speed	1,200 ~ 2,800 ± 10%	RPM
Noise Level	26.3	dBA

Table 3. Specification of the LED.

Parameter	Symbol	Value	Unit
Luminous Flux	$\Phi_V$	260	lm
Illuminance	$\Phi_l$	290	lx
Correlated Color Temperature	CCT	6,300	K
CRI	$R_o$	65	-
Operating Current	$I_{opt}$	40	mA
Power Dissipation	$P_D$	4	W
Operating Frequency	Freq.	50/60	Hz
View Angle	$2\theta$	1/2 130	deg.

의 방열량을 고려하여 표 2의 사양과 같은 충분한 풍량을 가지는 팬을 선정하였다. LED는 AC로 구동되는 서울반도체의 아크리치 라는 제품을 사용하였고 이의 사양은 표 3에 나타나있다.

### 2.4 팬의 속도별 소음 측정

본 연구에서 그림 1의 9개의 LED로 구성된 것을 그림 5와 같이 일반적인 LED 조명기구의 형태로 박스

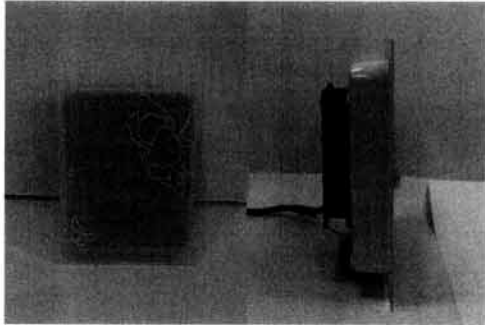


Fig. 5. LED system with cooling fan.

내에 구성하였다. 팬으로 방열하는 LED 등의 문제점은 팬에서 발생하는 소음으로 실내 환경에서 큰 장애요인이 된다. 또한, LED의 수명에 비해 팬 수명이 짧기 때문에 팬의 구동시간을 최소화해야 하여 팬의 수명을 늘여야 한다.

팬의 회전속도 증가는 강제대류에 의한 방열효과를 높일 수 있으나 반면 소음을 증가시키며 팬의 수명을 단축시키는 요인이 된다. 팬에서 발생하는 소음은 팬의 회전 속도와 직접적 연관이 있어서 회전속도에 직접적 영향을 주는 입력 전압의 변화에 따른 소음을 측정하고 온도제어가 가능한 범위 내의 최소 소음 전압을 이용하여 팬의 회전속도를 제어하였다. 또한, 팬의 수명을 늘리기 위해 팬 구동시간을 최소화하는 순차적 알고리즘 연구를 하였다.

### 3. 제어시스템

LED 조명 구동부의 입력 전원은 AC220 V이고 제어시스템은 AC220 V를 인가받아 AC/DC컨버터를 거쳐 12 V는 팬 구동을 위한 입력전원으로 5 V는 MCU의 구동을 위한 입력전원으로 구성하였다. LED 조명의 온도제어를 위해 그림 6과 같은 온도제어시스템을 구성하였다. 온도제어시스템은 LED, 최적화된 방열판, 온도제어용 팬, RF통신 모듈, K-열전대, 온도센서 및 원 칩 마이크로프로세서로 구성하였고 온도제어 시스템은 LED의 온도에 따른 순차제어 및 PID 제어 알고리즘을 원 칩 마이크로프로세서에 이식하여 온도제어를 수행하도록 구성하였다.

제어용 마이크로프로세서는 ATmega 128A1이다. LED 조명기기 구동부 내부의 LED와 알루미늄 PCB의 접합부의 온도를 온도센서로 측정하여 RF통신모듈을 이용한 무선통신으로 제어부의 ATmega 128A1을 통

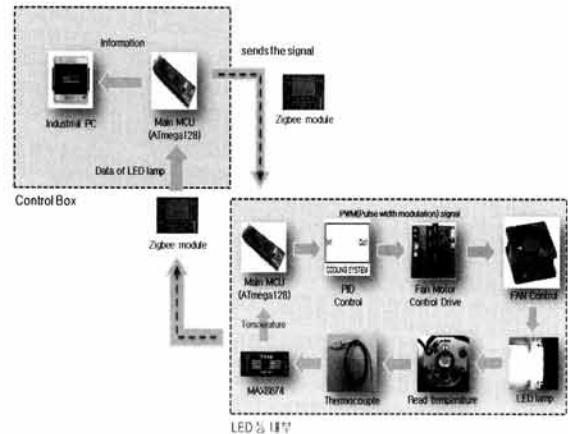


Fig. 6. Thermal control system for LED lamp.

하여 화면에 LED의 온도를 표시하고 LED의 온도에 따른 순차제어 및 PID제어로 모터 드라이버를 구동하여 팬을 제어하였다. LED 온도 측정을 위해 K-열전대와 MAX6674 chip을 사용하여 온도 센서부를 구성하였다. LED에서 발생하는 열의 제어는 설치한 온도센서의 온도를 피드백 받아 입력 온도와 비교하여 이의 오차를 PID 제어 알고리즘에 따라 팬의 풍량 (전압)을 제어하는 방법을 적용하였다. 이때 팬은 제어 알고리즘에 따라 입력전압을 가변시키면서 구동한다. 온도제어의 상태 및 입력은 원거리 제어를 위해 RF 통신을 통해 실시간으로 데이터를 전송하고 받는 시스템을 구성하였다.

LED 조명 온도제어에 있어서 데이터 수집과 명령 입력은 배제할 수 없기 때문에 데이터 통신은 필수적이다. 이러한 LED 조명등의 수와 사용 환경의 규모가 커질 경우 유선통신을 이용한 제어시스템은 복잡해지고 비용이 커지기 때문에 LED 조명의 설치 간소화 및 편리성을 위하여 무선통신이 필요하다. 그 중 통신거리가 길고 통신 혼신 예방이 가능하여 신뢰성이 높은 RF통신모듈인 24XStream OEM을 이용하였다 [8]. 24XStream OEM 무선 모듈은 2.4 GHz의 작동 주파수와 50 mW 출력 가능하며 19,200bps 데이터 전송성을 갖는다. MAX6674 chip은 아날로그 온도 데이터를 내부 ADC 컨버터와 증폭 회로를 통해 주 제어기인 ATmega 128A1로 100 Hz로 변환시키는 역할을 한다.

### 3. 결과 및 고찰

온도제어 범위는 팬을 최대 속도 (2,800 rpm)로 구동

하였을 때 각 방열판의 사양에 따라 LED 조명의 온도는 그림 7 및 8과 같이 방열판 1에 부착한 LED 조명은 약 34℃ 방열판 2에 부착한 LED 조명은 약 30℃에서 열평형을 이루었기 때문에 팬으로 제어 가능한 30℃부터 LED의 수명과 광 효율이 높은 60℃ 이내에서 실험하였다.

### 3.1 LED 등용 팬 및 방열판의 온도 특성 실험

LED와 방열판의 방열특성을 파악하기 위하여 팬을 최고 속도인 2,800 RPM으로 구동한 실험과 팬을 구동하지 않았을 때 LED의 수명과 효율이 감소하는 온도인 70℃까지 LED의 온도 변화를 실험하였고 그 결과를 그림 7 및 8에 나타내었다. 실험 시 주변 온도는 상온 26℃이다. 이때 방열판은 표 1, 그리고 팬은 표 2의 제원을 갖는 것을 사용하였다. 팬을 구동했을 때와 하지 않았을 때의 온도 변화는 팬을 구동하지 않았을 때 LED 온도는 전압인가 후 각각 약 300s 및 650s가 되었을 때 60℃를 초과하여 계속 상승하고 팬을 최고 속도 2,800 rpm (12 V)로 구동하였을 때 LED의 온도는 각각 약 34℃, 30℃에서 열평형을 이루는 것을 확인하였다.

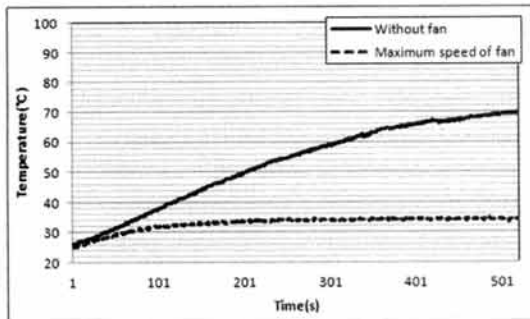


Fig. 7. Comparison of operating and non-operating fan (Heat sink 1).

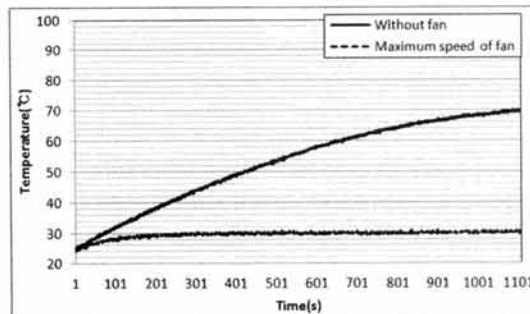


Fig. 8. Comparison of operating and non-operating fan (Heat sink 2).

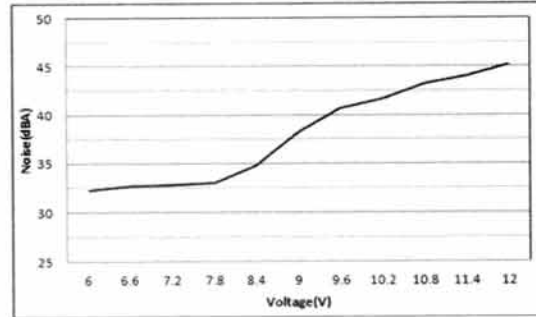


Fig. 9. Noise measurements according to the voltage.

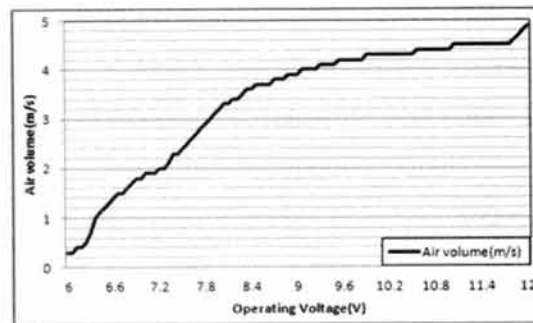


Fig. 10. Voltage wise wind speed.

팬의 소음을 측정하기 위해 그림 9와 같이 팬의 전압별 소음을 측정하였다. 측정결과로 8.4 V를 초과하는 9 V부터 소음이 급격하게 증가하는 것을 볼 수 있다. 그림 10은 전압에 따른 팬의 풍속을 측정한 결과이다. 입력전압 8.4V일 때의 풍속은 약 3.6 m/s로 다른 영역대비 소음도 적으면서 LED의 방열시스템에서 온도제어하기 위한 충분한 풍속임을 알 수 있다.

### 3.2 온도제어 실험

팬의 제어가 없을 때 시간이 지날수록 온도가 계속 증가하여 제어 목표 온도인 60℃를 초과하며 이후 지속적으로 온도가 증가하여 LED 시스템이 과열되는 결과를 갖는다. 본 연구에서는 LED 조명기에 맞도록 방열판의 핀 개수와 핀 길이를 증가시킨 조명기에 최적화된 방열판과 전력소모가 적은 소형 팬을 적용하여 충분한 조도와 온도를 제어하는 한편 팬에서 발생하는 소음을 줄일 수 있는 방법을 실험적으로 규명하였다.

LED의 온도를 최저소음의 8.4 V로 구동하여 50℃까지 제어하고 50℃에 도달하면 입력전압을 멈추어 60℃

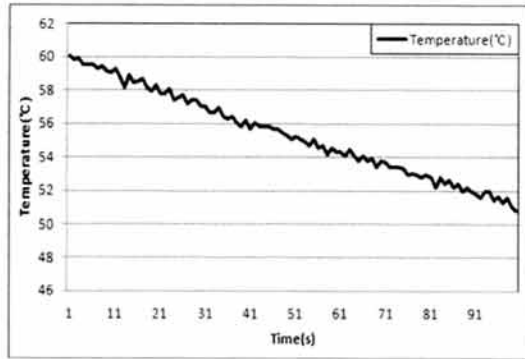


Fig. 11. LED control with 8.4 V (Heat sink 1).

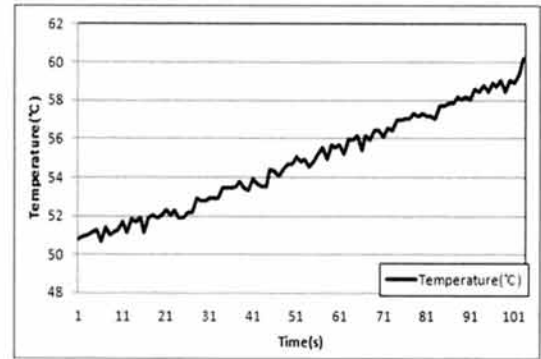


Fig. 13. Reaching time during the temperature change from 50°C to 60°C (Heat sink 1).

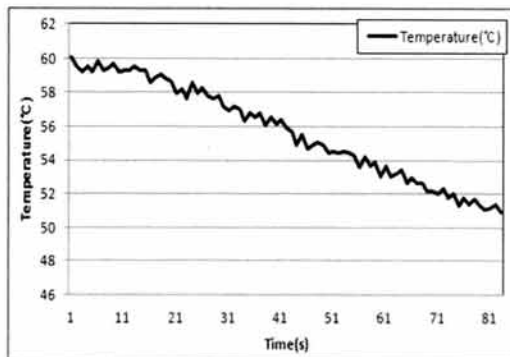


Fig. 12. LED control with 8.4 V (Heat sink 2).

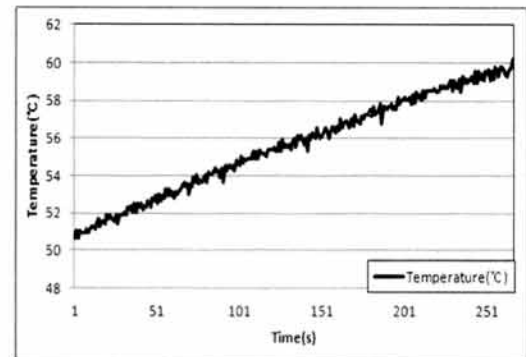


Fig. 14. Reaching time during the temperature change from 50°C to 60°C (Heat sink 2).

까지 자연대류 하도록 실험하였다. 이 실험들의 결과는 그림 11~14에 나타내었다. 여기서 그림 11 및 그림 12는 자연대류 결과이고 그림 13 및 그림 14는 자연대류 상태에서 온도 증가분을 나타낸 결과이다.

온도제어를 한 경우에 60°C에서 50°C까지 걸리는 시간은 방열판 1에서 2까지 각각 100 및 81초가 걸림을 알 수 있다. 또한, 각각의 경우에 대하여 온도제어를 하지 않고 자연대류 시키면 50°C에서 60°C까지 걸리는 시간은 각각 101 및 255초가 걸림을 알 수 있다. 방열판에 따른 자연대류 특성을 살펴보면 방열판의 크기가 커지고 핀의 개수와 길이가 늘어날수록 방열 효과가 증가하여 자연대류상태에서 방열판 1을 사용할 때보다 방열판 2를 사용할 때 자연대류 시간이 약 150초 가량 증가하는 것을 볼 수 있다. 또한 강제대류 시 방열판 1과 비교하여 방열판 2는 온도 감소 시간이 19초 감소하는 것을 알 수 있다.

이는 LED의 배치간격이 늘어난 것과 강제대류 효과를 받는 면적이 증가하여 방열효과가 증대하는 것을 확인할 수 있다.

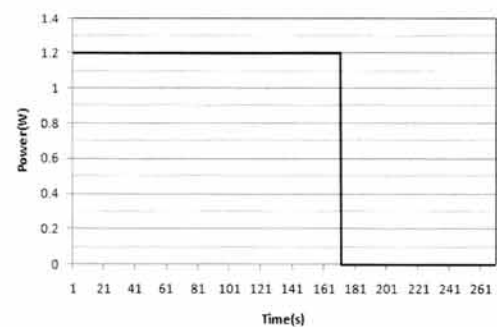


Fig. 15. Power consumption of fan for temperature control.

또한, 60°C에서 50°C로 대류의 온도 변화는 율은 방열판의 전체 체적에 유사한 관계가 있음을 알 수 있다. 또한, 이때 풍량 제어에 따른 온도제어도 효과가 있어서 방열판 체적 증가는 상승작용을 함을 알 수 있다. 팬의 제어에 사용되는 전력소모량의 측정결과는 그

림 15에 나타난 바와 같이 760 mW이며 36 W의 입력 전력 사용하여 LED등의 온도는 50℃로 제어하는데 760 mW의 전력만 사용하였고, 이는 구동전력 36 W의 약 2%만을 사용하여 LED등의 안정 온도 유지와 34 dB 소음으로 유지하는 우수한 성능을 얻을 수 있음을 제어 실험을 통해 확인하였다.

#### 4. 결론

LED 온도제어에 대한 실험은 LED의 설정 온도를 60℃로 하여 LED가 60℃일 때 팬의 소음이 풍량 대비 비교적 가장 작은 속도로 구동한 뒤 50℃가 되면 팬의 구동을 멈춤으로써 다수의 LED를 순차적으로 제어할 수 있음을 확인하였다. 또한 방열판의 특성별로 실험하여 자연대류 시간이 길고 강제대류 시간은 줄임으로써 보다 효과적인 LED 조명기기의 방열시스템을 구축하였다. 이의 결과를 사용자는 RF무선통신을 이용하여 실시간으로 확인하여 서비스가 필요한 곳에 활용할 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 본 연구를 통하여 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) LED 온도제어 시스템을 구성하여 실험한 결과 팬의 구동 중 소음이 비교적 가장 작고, 상대적 풍량이 높은 영역이 전압 8.4 V일 때임을 확인하였다. 이때 LED의 온도를 60℃에서 50℃까지 낮추는데 걸리는 시간은 최적화된 방열판을 사용하였을 시 약 70초이고 다시 50℃에서 60℃까지 도달하는데 걸리는 시간은 약 300초이다.

(2) LED 등의 온도 60℃에서 50℃로 제어할 때의 전력 소모량은 760 mW이며 이때 필요한 전력은 36 W의 2%의 미소 전력만 사용하였다.

(3) (1)의 특성을 이용하여 다수의 LED 등을 순차적으로 제어하면 동시에 LED등을 가동할 때에 비해 소음의 양으로 보면 1/14로 팬 소음을 대폭 저감할 수 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구 결과로 수행되었음 (NIPA-2012-C1090-1221-0015).

#### REFERENCES

- [1] C. S. Kang and K. S. Kang, *The Institute of Electronics Engineers of Korea*, 48IE, 68 (2011).
- [2] J. W. Jang, J. S. Kim, and S. J. Ha, *2009 SAREK Summer Conference*, 1379 (2009)
- [3] S. G. Lee, S. H. Park, and K. H. Kim, *Society of Mechanical Engineers Autumn Conference*, 2431 (2009).
- [4] M. S. Go, J. H. Lee, S. J. Oh, H. S. Cho, and T. B. Seo, *Society of Mechanical Engineers*, B33, 947 (2009).
- [5] I. S. Eo, H. S. Yang, S. I. Choi, and H. B. Seung, *Korea Institute of Industrial Cooperation*, 8, 733 (2007).
- [6] F. Pincropera, D. P. Dewitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer* (John Wiley & Sons, 6th ed., 2006)
- [7] H. S. Choi and W. H. Cho, *Korea Institute of Marine Engineers Autumn Conference*, 49 (2008).
- [8] J. P. Kim, Y. S. Hyun, K. S. Chang, *The Korean Society For Railway Spring Conference*, 40 (2007).