

## LED조명의 온도 및 소음 제어

윤종수<sup>1</sup> · 최형식<sup>†</sup> · 신희영<sup>1</sup> · 임태우<sup>2</sup>

(원고접수일 : 2011년 8월 18일, 원고수정일 : 2011년 9월 16일, 심사완료일 : 2011년 11월 9일)

### Temperature and Sound Noise Control for LED lamp

Jong-Su Yoon<sup>1</sup> · Hyeung-Sik Choi<sup>†</sup> · Hee-Young Shin<sup>1</sup> · Tae-Woo Lim<sup>2</sup>

**요약 :** 본 연구는 팬을 이용한 LED의 온도제어에 대한 것으로 팬에서 발생하는 소음을 최소화하기 위하여 최저소음 때의 풍량을 사용하여 LED의 온도제어에 대한 연구를 행하였다. 또한, LED의 소음 최소화 및 온도제어를 위하여 최저소음 때의 풍량을 이용한 팬의 순차제어에 대해 연구하였다. 제안한 연구를 위해 팬의 최저소음과 연관된 LED의 온도를 측정하고 이 결과들을 이용하여 팬을 이용한 LED 등의 온도 제어실험을 행하였다.

**주제어 :** 방열판, 냉각팬, 방열시스템, 소음제어

**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. Also, for minimization study of sound noise and temperature control of an LED lamp, a sequential control algorithm using the cooling fan at the lowest sound noise is presented. 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 was performed.

**Key words:** Heat sink, Cooling fan, Cooling system, Sound noise control

### 1. 서 론

화석에너지의 고갈 및 환경문제로 인해 에너지를 효율적으로 사용하는 것이 중요한 이슈가 되고 있다. 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, 고응답성 및 수명이 반영구적이라는 장점을 가지고 있다. 따라서 저탄소 녹색성장 산업의 일환으로 LED의 연구가 활발하게 진행되고 있다.

LED에 대한 광효율 향상 및 광질의 향상성을 위해 가장 중요하게 간주되는 것이 LED 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[1], 자연대류를 이용한 자연대류형 방열 시스템[2]과 팬을 이용한 능동형 방열 시스템[3, 4]으로 구분할 수 있다. 또 펠티에 효과를 이용해 열전소자로 방열하는 방식 등이 있다[5].

본 연구에서는 능동형 방열 시스템인 팬과 방열판을 이용한 LED의 방열 제어시스템의 문제점인 조명의 수가 많아지면 팬에서 발생하는 소음의 발생이 커지는 문제를 해결하기 위한 연구를 행하였다.

LED등의 소음최소화 및 온도제어를 위하여 최

† 교신저자(한국해양대학교기계공학과 hchoi@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4297)

1 한국해양대학교 기계 에너지 시스템 공학부

2 한국해양대학교 기관시스템 공학부

저소음 때의 풍량을 이용한 팬의 순차제어를 연구하였다. 상기의 연구를 위하여 팬의 소음 특성 연구와 LED의 온도변화를 측정하고 이들을 이용하여 팬을 이용한 LED등의 소음과 온도 제어가 성공적임을 실험적으로 확인하였다.

## 2. LED 시스템

온도제어를 위한 LED시스템은 LED전구들과 이들의 온도 방출을 위한 방열판과 팬으로 구성된다. LED시스템의 입력 에너지와 방열 관계식은 다음과 같다.

### 2.1 방열 관계식

일정표면 열 유속에서 LED는 정 전류 정 전압 제어로 구동되기 때문에 일정표면 열 유속이다. LED에서의 발생하는 열량을 알고 있으며, 이 열량은 또한 LED에서 방출해야 할 열량이므로 다음 식이 성립한다[5].

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

여기서  $q$ 는 LED에서 발생한 열량이고,  $c_p$ 는 정압 비열,  $\dot{m}$ 은 팬을 이용한 공기의 질량 유량이다. 식 (1)로부터 질량 유량을 구할 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)을 나타낸다.

본 연구에서는 방열판에서의 유동을 평행 평판 사이의 유동으로 간주하였으며, 평행 평판사이의

유동일 경우 열적 입구영역에 대한 평균 Nusselt 수는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서  $Pr$ 은 Prandtl수를 나타낸다.

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

따라서 heat sink 입구로부터 평균값인 열전달 계수  $h$ 는 Nu수를 이용하여 다음과 같이 구할 수 있다.

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

식 (1)에서 출구온도는 다음 식으로부터 예측할 수 있으며, 온도차( $T_o - T_i$ )는 방열판의 축 방향 거리를 따라 지수적으로 감소하는 것으로 나타났다.

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

여기서  $T_s$ 는 방열판의 표면 온도를 나타낸다.

$$\frac{\dot{m}}{T_s} = \frac{c_p(T_o - T_i)(T_o - \exp[-\frac{PL\bar{h}(T_o - T_i)}{q}])}{q(1 - \exp[-\frac{PL\bar{h}(T_o - T_i)}{q}])} \quad (7)$$

식 (7)은 LED방열시스템의 전달함수이다.

### 2.2 방열팬 성능 분석

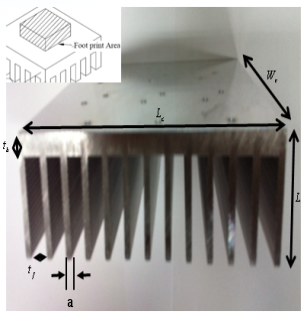
실험에 앞서 방열판과 팬이 본 연구에서 9개의 LED(Figure 1)로 구성된 LED시스템의 방열에 적합한 지를 분석하였다. LED에서 발생하는 열은 LED를 구동하기 위해 사용하는 전체 소비전력의 80%가 열로 발생하기 때문에 LED조명 시스템에서 사용하는 전체 전력(36W)의 80%인 28.8W가 지속적인 열로 발생하는 방열량으로  $q = 28.8W$ 이다. 이를 기반으로 입구 온도와 출구 온도를 정한 뒤 선정된 방열판과 팬의 성능이 LED 방열에 가능한지 확인하였다. 팬과 함께 사용되기 때문에 방열판은 LED시스템의 방열을 충분히 방출하기에 약간 부족한 성능의 가능한 작은 방열판을 선택하

였고 이의 사양은 Table 2와 같다. 식 (2)을 이용하여 계산한 풍속은 3.2m/s이었고, 이때 표면온도는 45.42°C에서 열 평형이 이루어짐을 확인하였다.

Table 1: Specification of the fan

Parameter	Value	Unit
Size	92(W) X 92(L) X 25(H)	mm
weight	88	g
Speed	2800	rpm
Noise	36.1	dB(A)
Bearing style	Sleeve	-
Operating Voltage	12	V [DC]
Airflow	4.8	m <sup>3</sup> /s
Operating current	0.24	A

Table 2: Heat sink specification



Parameter	Value	Unit
Size	122 x 110	mm
Footprint	745	mm <sup>2</sup>
$t_f$	1.7	mm
$t_b$	4.6	mm
$L_f$	16.6	mm
$L_z$	122	mm
$W_z$	110	mm
a	4.4	mm

Table 3: LED specification.

Parameter	Symbol	Value			Unit
		Min	Typ	Max	
Luminous Flux	$\Phi_v$	-	180	-	lm
Illuminance	$\Phi_z$	-	200	-	lx
Correlated Color Temperature	CCT	-	3000	-	K
CRI	$R_a$	-	80	-	-
Operating Current	$I_{opt}$	-	20	-	mA [DC]
Power Dissipation	$P_D$	4			W
Operating Frequency	Freq	50 / 60			Hz
View Angle	$2\Phi_{1/2}$	130			deg.
Operating Voltage	$V_{opt}$	220			V [DC]

2.3 팬의 속도별 소음 측정

본 연구에서 구성한 LED 방열시스템에서 문제점은 팬에서 발생하는 소음이다. 1개의 LED 시스템을 구동한다면 무시할만한 소음이지만 다수의 LED 시스템을 이용했을 시 팬에서 발생하는 소음

은 시스템의 수에 비례하여 증가하게 된다. 이를 줄이기 위해 LED가 온도제어를 위해 설정온도 이하가 되면 제어를 하지 않고 자연냉각상태로 두고 목표 온도 이상으로 증가한 다른 LED의 온도를 제어하는 순차제어를 통하여 동시에 구동하는 팬의 숫자를 최소화하여 팬의 소음을 줄이는 알고리즘의 고안과 이의 검증을 위한 실험을 하였다.



Figure 1: LED cooling system

팬에서 발생하는 소음은 팬의 회전속도의 영향이 주이지만 팬모터의 회전속도에서도 소음이 발생한다. 순차제어에 앞서 각 팬모터의 주파수별 소음의 크기를 측정하여 가장 작은 소음을 발생하는 주파수를 선정하여 제어하였다. 20kHz이상의 주파수부터는 가청주파수의 범위를 벗어나지만 팬의 응답속도가 느리기 때문에 소음이 급격히 줄어드는 10kHz를 선택하여 실험하였다.

3. 제어시스템

3.1 LED 제어시스템

LED 구동을 위한 입력 전원은 AC220V이고 팬 구동을 위한 입력전원은 12V로 구성하였다. LED 온도 제어를 위해 Figure 2와 같은 온도 제어시스템을 구성하였다. LED 제어시스템은 LED, 방열판, 온도센서, 방열용 팬 및 원칩 마이크로프로세서로 구성되었고 온도제어 알고리즘은 LED의 온도에 따른 순차제어 알고리즘을 원칩 마이크로프로세서에 이식하여 온도제어를 수행하도록 구성하였다 [6].

제어시스템에 사용된 온도 센서는 K-열전대를 이용하였고 제어용 마이크로프로세서는 ATMEGA

128이다. LED와 알루미늄 PCB의 접합부의 온도를 온도센서로 측정하여 ATMEGA 128을 통하여 온도에 따른 순차제어로 팬의 드라이버를 구동하여 팬을 제어하였다. 본 연구에서 사용한 LED는 ‘서울 반도체’의 제품으로 DC로 구동하는 기존 LED와 달리 직접 AC전원을 사용하는 반도체 조명 광원이다. LED에서 발생하는 열의 방출은 설치한 온도센서의 한계설정온도에 도달하면 이 온도정보를 피드백 신호로 사용하여 팬을 구동하고 온도가 안정한 온도에 도달할 때까지 팬을 소음이 적은 회전속도로 구동하여 안정한 온도로 강하하는 순차제어 알고리즘을 구성하고 이에 따라 팬을 제어하였다. 이때 팬의 입력전력은 PWM(pulse width modulation) 방식의 형태로 변환되어 팬을 구동시킨다. 궁극적으로 LED의 열 방출은 팬의 입력 전력을 제어함으로써 외부로 방출한다. 온도 제어의 상태는 RS-232 통신을 통해 실시간으로 데이터를 전송 받았다.

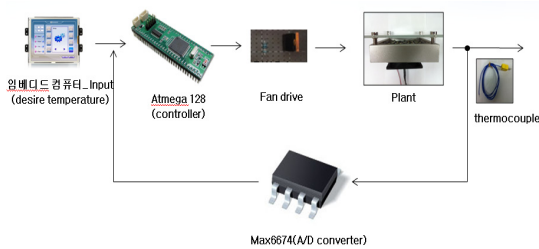


Figure 2: LED thermal control system.

#### 4. 실험 및 고찰

온도제어 범위는 팬을 최대속도(2800rpm)로 구동하였을 때 풍속은 0.276m/s였고 이때 LED의 온도는 39.53°C에서 열평형을 이루었기 때문에 팬으로 제어 가능한 39.53°C부터 LED의 수명과 광효율을 고려한 60°C 이내에서 실험하였다.

##### 4.1 LED 소자 온도특성 시험

LED의 온도특성을 파악하기 위하여 팬을 최고속도인 2800 RPM으로 구동한 실험과 팬을 구동하지 않았을 때의 LED의 온도상태를 실험하였고 그 결과를 Figure 3에 나타내었다. 실험 시 주변 온도는 상온 26도이다. 이때 팬과 방열판은 각각

Table 1과 Table 2의 제원을 갖는 것을 사용하였다. 팬을 구동했을 때와 LED만을 구동했을 때의 온도 변화는 Figure 3와 같이 팬을 구동하지 않았을 때 LED온도는 전압인가 후 380s가 되었을 때 60°C를 초과하여 계속 상승하였고 팬을 최고 속도 2800rpm(duty 100)로 구동하였을 때 LED의 온도는 39.53°C에서 열평형을 이루는 것을 확인하였다.

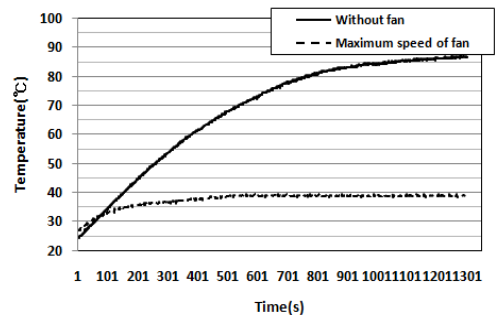


Figure 3: Comparison of operating and non-operating fan

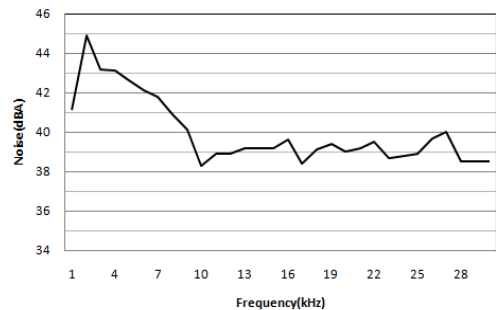


Figure 4: Noise measurement of the fan

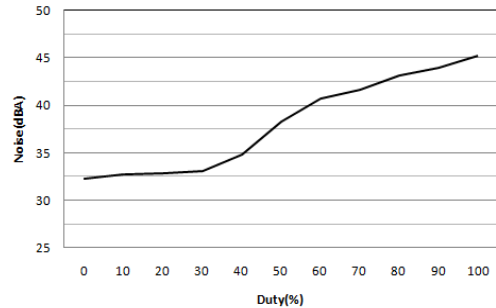


Figure 5: Measured RPM noise in case of 10kHz frequency

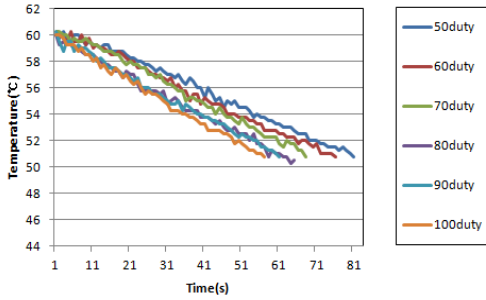


Figure 6: Time consumption for controlling temperature in LED from 60°C to 50°C (duty 50 ~ 100)

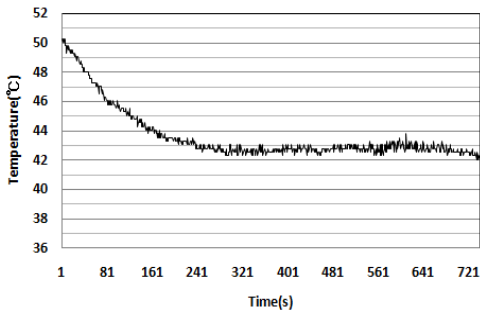


Figure 7: Fan drive with duty 40 under temperature 50°C

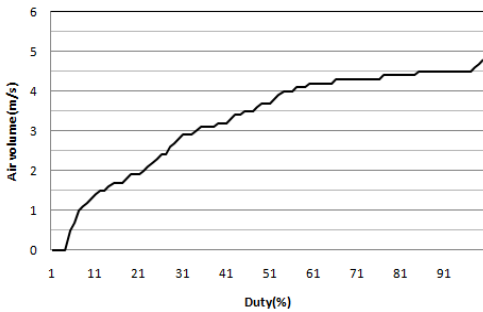


Figure 8: Duty wise wind speed

Figure 4는 Duty를 50%로 하였을 때 팬의 동작 주파수별 소음을 측정된 그래프이다. 팬의 주파수 별 소음 측정의 결과 10kHz부터는 비슷한 크기의 소음이 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 주파수가 20kHz이상일 경우 가청 주파수대를 벗어나 소음을 줄일 수 있으나 팬의 응답속도를 고려한 20kHz와 비슷한 소음을 발생하고 낮은 주파수인 10kHz를 LED 방열시 팬의 구동 주파수로 선정하여 실험하였고 10kHz일 때의 회전수별 소음을 측정된 결과

는 Figure 5이다. Figure 7은 LED 온도가 50°C때 팬의 소음이 가장 작은 동작 주파수 10kHz일 때 duty 40으로 구동하여 LED 시스템의 온도를 측정 한 결과이다. Figure 8은 각 duty 별 풍속에 대한 그래프이다. duty 40일 때의 풍속은 3.2m/s으로 LED 방열시스템에서 온도제어하기 위한 풍속으로 충분함을 알 수 있다.

Figure 6의 그래프는 LED온도 제어에 대한 실험의 LED의 초기온도 60°C에서 50°C로 제어하는데 걸리는 시간을 duty 50부터 10씩 증가시켜가며 duty 100까지 측정하였다. 이때 60°C에서 50°C까지 도달한 시간은 duty 100%일 때부터 58s, 62s, 66s, 69s, 77s, 82s로 나왔다.

상기의 실험을 바탕으로 시스템의 특성을 파악 하였고, 이에 따라 duty 100때 온도를 제어하는데 소모시간이 가장 작지만 상대적으로 팬회전수가 올라가면 소음의 크기가 커지기 때문에 팬의 소음이 가장 작은 동작 주파수 10kHz일 때 duty 40%로 구동하여 LED 시스템 온도제어를 하였다.

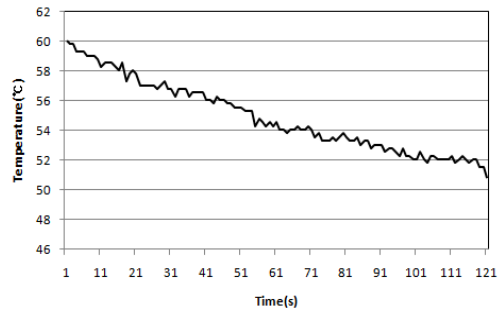


Figure 9: LED control with duty 40

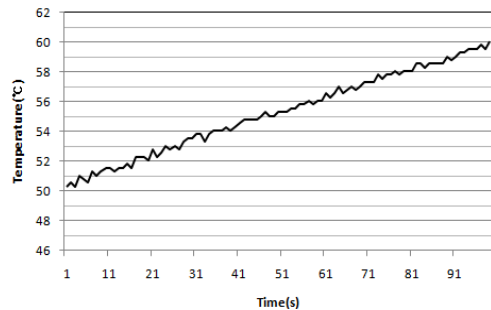


Figure 10: Reaching time during the temperature change from 50°C to 60°C

Figure 9,10은 LED의 설정온도를  $60^{\circ}\text{C}$  로 하여 실험한 결과이다. 설정온도에 따라 팬의 순차 제어를 통해 팬의 입력전류를 제어하여 LED의 설정온도를 유지하는 성능 시험을 하였고 이때 LED의 온도가  $60^{\circ}\text{C}$  에서  $50^{\circ}\text{C}$  로 내려가는 시간과 다시  $50^{\circ}\text{C}$  에서  $60^{\circ}\text{C}$  로 올라가는 시간을 측정하여 다수의 팬을 구동시 순차제어를 함으로써 LED의 온도를 적정 온도로 유지함과 동시에 팬을 이용한 방열시 발생하는 소음을 줄일 수 있음을 실험적으로 확인하였다.

#### 4.2 LED 제어 실험

본 연구에서 Figure 3의 실험 결과와 같이 팬을 제어하지 않을 때 시간이 지날수록 온도가 증가하여 제어 대상의  $60^{\circ}\text{C}$  를 초과하며 지속적으로 온도가 증가하여 LED시스템을 과열되는 결과를 갖는다. LED의 온도를 낮추는 방법 중에서 방열판을 크게 하는 수동적인 방법이 있다. 하지만 이는 비용과 부피를 증가시켜서 LED를 이용한 조명시스템으로는 제약이 있다. 본 연구는 전력소모가 적은 소형 팬을 적용하여 충분한 조도와 온도를 제어하는 한편 팬에서 발생하는 소음을 줄일 수 있는 방법을 실험적으로 규명하고자 한다.

LED의 제어목표 온도를  $50^{\circ}\text{C}$  로 제어하였고, 이때 팬의 제어에 사용되는 전력소모량의 측정결과로는  $760\text{mW}$ 로 Figure 11에 나타내었다.  $36\text{W}$ 의 입력 전력을 사용하여 LED등의 온도는  $60^{\circ}\text{C}$  로 제어하는데  $760\text{mW}$ 의 전력만 사용하였고 이는 구동전력  $36\text{W}$ 의 약 2%만을 사용하여 LED등의 안정 온도 유지와  $34\text{dB}$  소음으로 유지하는 우수한 성능을 얻을 수 있음을 제어실험을 통해 확인하였다.

특히, Figure 10의 자연대류 특성과 Figure 9의 제어특성을 이용하면 다수의 LED등을 사용할 때, 팬의 제어를 순차적으로 하면 팬소음을 대폭 저감할 수 있다. 즉, LED등을  $50^{\circ}\text{C}$  로 제어한 후 제어하지 않고 두어 온도가  $60^{\circ}\text{C}$ 까지 상승하는 동안 다른  $60^{\circ}\text{C}$  까지 도달한 다른 LED등을 순차적으로 제어하면 팬소음을 대폭 저감할 수 있다.

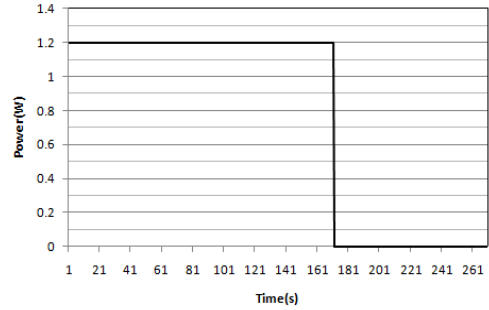


Figure 11: Power Consumption of fan for temperature control

#### 4. 결 론

팬의 소음을 최소화하기 위하여 최저소음 때의 풍량을 사용하여 제어하는 LED의 온도제어에 대한 연구를 행하였다. 또한, LED의 소음 최소화 및 온도제어를 위하여 최저소음 때의 풍량을 이용한 팬의 순차제어에 대한 연구하였다.

팬의 최저소음과 연관된 LED의 온도를 측정하고 이 결과들을 이용하여 팬을 이용한 LED 등의 온도 제어실험을 행하였고 그 결과는 다음과 같다.

LED온도 제어에 대한 실험은 LED의 설정 온도를  $60^{\circ}\text{C}$ 로 하여 LED가  $60^{\circ}\text{C}$  일 때 팬의 소음이 가장 작은 속도로 구동한 뒤  $50^{\circ}\text{C}$  가 되면 팬의 구동을 멈춤으로서 다수의 LED를 순차적으로 제어할 수 있음을 확인하였고 설정 팬의 소비전력을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 내렸다.

(1) LED 온도 제어 시스템을 구성하여 실험한 결과 팬을 구동 소음이 가장 작은 duty 40임을 확인하였다. 이때 LED의 온도를  $60^{\circ}\text{C}$ 에서  $50^{\circ}\text{C}$ 까지 낮추는데 걸리는 시간은 121초 이고 다시  $50^{\circ}\text{C}$ 에서  $60^{\circ}\text{C}$ 까지 도달하는데 걸리는 시간은 100초이다.

(2) LED등의 온도  $60^{\circ}\text{C}$  에서  $50^{\circ}\text{C}$  로 제어할 때의 전력 소모량은  $760\text{mW}$ 이며 이때 필요한 전력은  $36\text{W}$ 의 2%의 미소 전력만 사용하였다.

(3) (1)의 특성을 이용하여 다수의 LED등들을 순차적으로 제어하면 동시에 LED등을 켤 때에 비해 팬소음을 대폭 저감할 수 있다.

## 후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음(NIPA-2011-C1090-1121-0015)

## 참고문헌

- [1] 장정완, 김종수, 하수정, “진동형 히트파이프를 이용한 고출력 LED 조명 방열 설계,” 대한설비공학회 하계발표회 논문집, pp. 1379-1384, 2009.
- [2] 이상규, 박상훈, 김경훈, “LED 램프의 방열시스템 설계 및 제작,” 대한기계학회 춘추학술대회, vol. 2009 no. 2, pp. 2431-2436, 2009.
- [3] 고만석, 이주한, 오상준, 조현석, 서태범, “팬과 히트 싱크를 이용한 LED 전조등의 냉각성능 해석,” 대한기계학회논문집, B권, 제33권 제12호, pp. 947-951, 2009.
- [4] 어익수, 양해술, 최세일, 황보승, “펠티어 소자를 이용한 40[W]급 LED 조명기구의 방열에 관한 연구,” 한국산학기술학회논문지, vol. 8, no. 4, pp. 733-737, 2007.
- [5] Frank P. Incropera, David P. Dewitt, Theodore L. Bergman, Adrienne S. Lavine, Fundamentals of Heat and Mass Transfer, John Wiley & Sons, sixth edition, 2006.
- [6] 최형식, 추우현, “온도 조절형 무연납 인두기 제어 시스템 개발”, 한국마린엔지니어링 추계 학술대회, pp. 49, 2008.



### 임태우(林兌禹)

1970년생 6월생, 1995년 부경대학교 기관공학과 졸업(공학사), 1997년 부경대학교 대학원 기관학과 졸업(공학석사), 2002년 일본 큐슈대학 대학원 기계공학과 졸업(공학박사), 2005년~현재 한국해양대학교 해사대학 기관시스템공학부 교수



### 윤종수(尹鍾守)

1985년생, 2010년 한국해양대학교기계시스템공학과 졸업 (학사), 2010. 3~현재 동대학원 기계공학과재학(석사)



### 신희영(申熙永)

1987년생, 2006. 3 ~ 현재 한국해양대학교 기계에너지시스템 공학부 4학년 재학, 관심분야는 제어시스템

## 저 자 소 개



### 최형식(崔炯植)

1961년생, 1983년 고려대학교 기계공학과 졸업(학사), 1989년 Univ. of South Carolina 대학원 졸업(석사), 1993년 North Carolina State Univ 대학원 졸업(박사), 1993년 기계연구원(Post Doctor), 현재 한국해양대학교 기계정보공학부 교수