

팬을 이용한 LED조명 시스템의 온도 제어

최형식[†] · 윤종수¹ · 임태우² · 서해용³

(원고접수일 : 2010년 5월 25일, 원고수정일 : 2010년 8월 2일, 심사완료일 : 2010년 11월 4일)

Temperature Control for LED with fan circulated air-cooling system

Hyeung-Sik Choi[†] · Jong-Su Yoon¹ · Tae-Woo Lim² · Hea-Yong Seo³

요약 : LED는 온도가 일정이상 올라가면 효율이 떨어지고 수명이 짧아지는 단점이 있다. 본 연구는 이러한 LED의 효율적인 온도제어에 대한 것이다. LED의 방열을 위해 방열판과 팬을 사용하고 시스템의 온도제어는 원칩 마이크로프로세서와 PID제어를 통해 원하는 온도를 제어할 수 있음을 실험을 통해 확인한다. 궁극적으로 팬을 냉각장치로 사용하고 이를 잘 제어하면 LED 시스템 구동전력의 약 2%만을 사용하여 적절한 조도와 온도를 유지하는 성능을 얻을 수 있음을 제어실험을 통해 확인하였다.

주제어 : 방열판, 냉각팬, 방열시스템, PID 제어

Abstract: LED(Light Emitting Diode) has the defects of low efficiency and reduction of life cycle as its temperature increases. This research is about an efficient temperature control of the LED. For LED temperature control, it is shown that a heat sink, fan, a one-chip microprocessor and the PID control algorithm are a good cooling system through experiments. Finally, by using the fan as a cooling device and controlling it appropriately, it is proved that the intensity of illumination and the desired temperature can be achieved with consumption of only 2% of the driving power of the LED system through control experiments.

Key words: Heat sink, Fan, Cooling system, PID control

1. 서론

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%에 육박하고 특히 해양에서 집어등의 경우 선박 유틸리티에서 비중은 무려 60~65%까지 차지한다. 현재 사용하는 조명으로는 형광등 외에도 백열등, 할로겐 등이 있으나 이들을 대체하는 조명원으로 LED가 있다. LED는 저전력, 뛰어난 내구성, 경제성, 고응답성

및 수명이 반영구적이라는 장점을 가지고 있다. 따라 저탄소 녹색성장 산업의 일환으로 LED의 연구가 활발하게 진행되고 있다. LED에 대한 기술은 최근에 지속적인 발전을 이루고 있다. 특히 광효율 향상 및 광질의 향상성을 위해 가장 중요하게 간주되는 것이 LED 시스템의 방열에 대한 것이어서 이의 해결책을 찾는 방법에 대한 연구가 진행되었다. LED 방열에 대한 연구는 방열 방식에 따라 냉각액을 사용한 수냉식 방열 시스템과 상변화에 따라 순환을 이용한 히트 파이프 방식[1], 자연대류

[†] 교신저자(한국해양대학교 기계공학과), E-mail:hchoi@hhu.ac.kr, Tel: 051-405-4969

1 한국대학교 기계공학과

2 한국대학교 기관시스템 공학부

3 한국대학교 기계공학과

를 이용한 자연대류형 방열 시스템과 팬을 이용한 능동형 방열 시스템[2-3]으로 구분할 수 있다. 또 펠티에 효과를 이용해 열전소자로 방열하는 방식 등이 있다[4].

본 연구에서는 수냉식 방열시스템과 히트 파이프 경우 성능이 다른 두 시스템에 비해 뛰어나지만 이러한 시스템 구성은 고가이고 장치의 규모가 큰 단점을 보완하기 위해 상대적으로 저렴한 능동형 방열 시스템인 팬과 작은 규모의 방열판을 이용한 LED의 방열 제어시스템에 대해 연구하였다. LED의 온도를 센서를 이용하여 실시간으로 피이드백 받아 팬의 풍량(팬모터의 전압)제어를 통하여 방열판에 유입되는 유량을 제어하는 LED 방열 제어 시스템에 대한 것이다. 특히, 팬을 사용할 경우에 팬의 소비전력을 검출하여 소비전력 대비 LED 온도 제어 성능을 실험적으로 검증하였다.

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 q는 LED에서 발생한 열량이고, c_p 는 정압 비열, \dot{m} 은 팬을 이용한 공기의 질량 유량이다. 식 (1)로부터 질량 유량을 구하는데 사용할 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 N은 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.

여기서 Pr은 Prandtl수이고 Nu는 Nusselt 수를 나타낸다. 평행 평판사이 유동의 열적 입구영역에 대한 평균 Nusselt 수는 식 (4)와 같다.

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

h는 열전달 계수이며 Nu수를 이용하여 다음과 같이 구한다.

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

heat sink 입구로부터 평균값인 h는 식 (5)에 의해 구해진다.

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

온도차($T_o - T_i$)가 방열판의 축 방향 거리를 따라 지수적으로 감쇄하는 것을 나타낸다. T_s 는 방열판의 표면 온도를 나타낸다.

2.2 방열팬 성능 해석

실험에 앞서 방열판과 팬이 본 연구에서 알루미늄 평판에 4개의 LED(Table 4)로 구성된 LED 시스템의 방열에 적합한 지를 시뮬레이션하였다. LED에서 발생하는 열은 LED를 구동하기 위해 사용하는 전체 소비전력의 80%가 열로 발생하기 때문에 LED조명 시스템에서 사용하는 전체 전력(28W)의 80%인 22.4W가 지속적인 열로 발생한다. 이를 방열량이라고 하면 방열량 $q = 22.4W$ 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 방열판을 선택하였고 이의 사양은 Table 2에 나타내었다. 식(1)을 이용하여 계산한 풍량은 $0.234m^3/min$ 이었고, 이때 표면온도는 $45.75^{\circ}C$ 에서 열 평형이 이루어짐을 확인하였다.

Table 1: Specification of the fan

Bearing Style	BALL + SLEEVE BEARING
Voltage VDC	12 V
Current AMP	0.12 A
Input Watts	1.44 W
Speed RPM	6000 RPM
Airflow CFM	14.5
AirPressure mmH:O	3.9
Noise dBA	34.9
Weight	20g
Airflow	0.41064 m ³ /min
Airpressure	38.245935 Pa (N/m)

Table 2: Heat sink specification

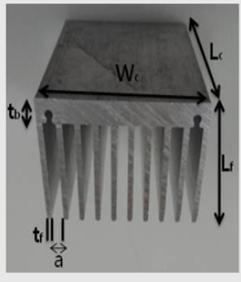
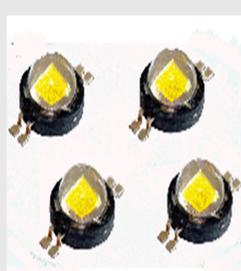
	t_f	1.5mm
	t_b	5.8mm
	L_f	33.4mm
	L_c	50mm
	W_c	47.5mm
	a	3.3mm

Table 3: LED specification.

	$V_f[V]$	3.6
	$\Phi_v[lm]$	700 typ. 900 max.
	CCT	6300
	CRI	70
	$I_f[mA]$	2800
	$2\theta_{1/2}[^{\circ}]$	130
	Type	Emitter

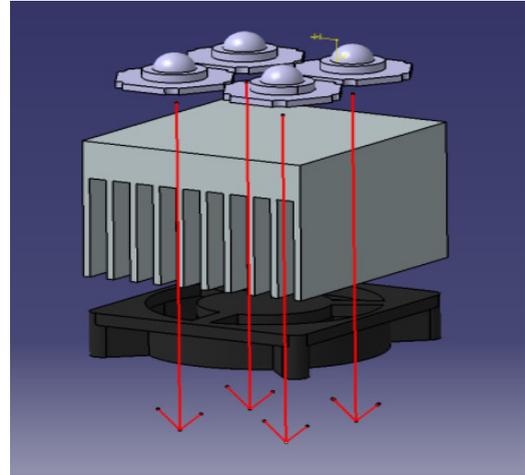


Figure 1: LED cooling system

3. 제어시스템

3.1 LED 제어시스템

LED시스템에서 방열판 부착은 알루미늄 PCB와 방열판사이에 열전달 효율을 높이기 위해서 열전달율이 높은 그리스를 사용하여 최대한 압착하여 부착하였다. 또한, LED 구동을 위한 입력 전원은 14V이고 팬구동을 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 PID제어 알고리즘을 충분히 튜닝하여 원칩 마이크로프로세서에 이식하여 온도제어를 수행하도록 구성하였다[6]. 온도제어에서 방열판과 팬의 선정은 입구 온도를 21도, 출구 온도를 28도를 목표로 선정하였다.

제어시스템에 사용된 온도 센서는 SHT-75이고 제어용 마이크로프로세서는 ATMEGA 128이다. LED와 알루미늄 PCB의 접합부의 온도를 온도센서(SHT-75)를 통해 측정하여 ATMEGA 128을 통하여 온도에 따른 PID제어로 팬의 드라이버를 구동하여 팬의 풍량을 제어하였다. LED는 구동전압이 독립변수이고 전류가 종속변수인 정압구동 소자이다. 하지만 LED의 광량이 전류에 비례하여

나타나기 때문에 광량에 밀접한 관계가 있는 전류를 기준으로 구동하였다. LED 구동을 위해 정전류 구동방식의 LED 드라이버인 35W, BUCK02를 사용하였다. LED 온도 측정을 위해 SHT75를 사용하여 온도 센서를 구성하였다. LED에서 발생하는 열의 방출은 설치한 온도센서의 온도를 피드백 받는 원리로 입력 온도와 비교하여 이의 오차를 PID 제어 알고리즘에 따라 팬에 입력하는 방법을 적용하였다. 이때 팬의 입력전력은 PWM(pulse width modulation) 방식의 형태로 변환되고 이는 팬의 회전 속도를 변화 시킨다. 궁극적으로 LED의 열 방출은 팬의 입력 전력을 제어함으로써 외부로 방출 한다. 또한 LED 구동 드라이브에 전류 센서를 내장하여 LED의 소모 전류의 측정 및 제한을 하였다. 온도 제어의 상태는 RS-232 통신을 통해 실시간으로 데이터를 전송 받았다.

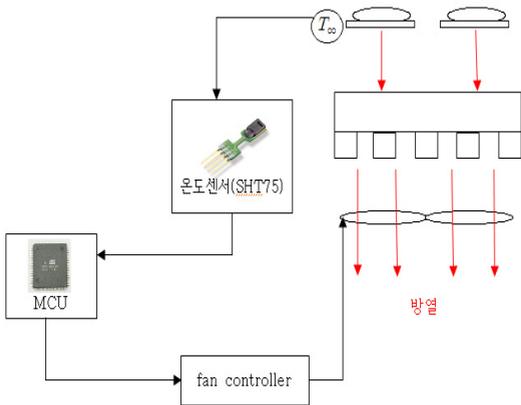


Figure 2: LED thermal control system.

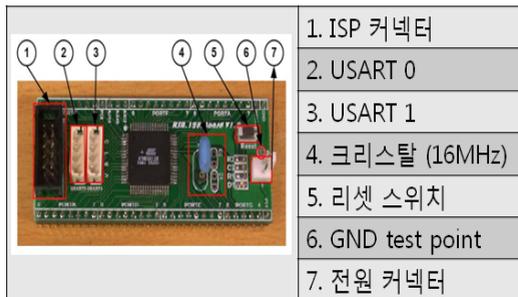


Figure 3: Atmega 128.

4. 실험 및 고찰

온도제어 범위는 팬을 최대속도(6000rpm)로 구동하였을 때 LED의 온도는 34.5°C 에서 열평형을 이루었기 때문에 팬으로 제어 가능한 34.5°C 부터 LED의 수명과 광효율을 고려한 50°C 이내에서 실험하였다.

시스템의 특성을 파악하기 위하여 팬을 최고 속도인 6000 RPM으로 구동한 실험과 팬을 구동하지 않았을 때의 LED의 온도상태를 실험하였고 그 결과를 Figure 4 나타내었다. 실험시 주변온도는 상온 21도이다. 이때 방열판은 Table 2의 제원을 갖는 것을 사용하였고 팬은 Table 1의 제원을 갖는 것을 사용하였다. 팬을 구동했을 때와 LED만을 구동했을 때의 온도 변화는 Figure 4와 같이 팬을 구동하지 않았을 때 LED온도는 전압인가 후 150s가 되었을 때 50°C를 초과하여 계속 상승하였고 팬을 최고 속도 6000rpm로 구동하였을 때 LED의 온도는 34.5°C에서 열평형을 이루는 것을 확인하였다.

또한, 팬을 사용하지 않고 LED의 방열을 방열판만을 이용한 실험을 하였다. 다양한 구동 전력을 가해 실험한 결과 LED 구동 전력을 6W로 하였을 때 50°C에서 열평형이 이루어짐을 확인하였다.

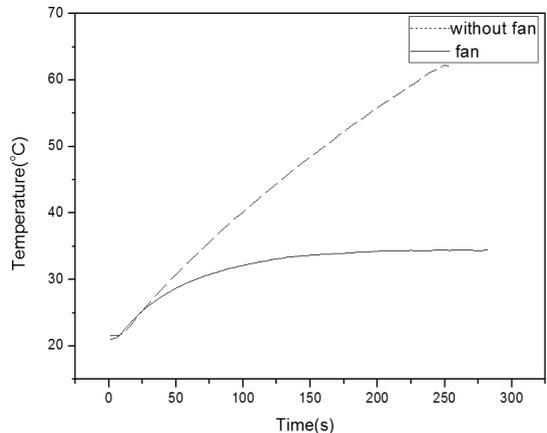


Figure 4: Comparance of operating and non-operating fan

상기의 두 가지 실험을 바탕으로 시스템의 특성

을 파악하였고, 이에 따라 LED 시스템의 온도를 원하는 온도로 제어하는 제어 시스템의 성능실험과 이때 팬의 소모 전력 대비 LED 소모 전력을 측정하여 비교하였다. 우선 온도제어는 팬의 풍량 제어를 통해 LED의 설정온도를 1°C 씩 증가시키며 실험하였다.

그래프 Figure 5-9는 LED의 설정온도를 $46\sim 50^{\circ}\text{C}$ 까지 1°C 씩 증가하며 실험한 결과이다. 각 실험 마다 입구 온도와 출구 온도를 측정하여 평균을 기록하였다. 설정온도에 따라 팬을 PID 제어를 통해 팬의 입력전류를 제어하여 LED의 설정 온도를 유지하는 성능을 시험하였다.

실험한 결과 LED 온도는 설정 온도 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 이 내에서 일정하게 제어되는 것을 확인할 수 있었다.

본 실험을 통하여 저가의 one-chip마이크로 프로세서를 이용하여 다양한 LED시스템의 온도 제어를 구현할 수 있음을 검증하였다.

본 연구에서 또 다른 중요한 실험은 팬의 제어가 없을 때 계측 온도가 50°C 되는 LED 시스템의 입력전력을 계측하는 것이다. Figure 5~Figure 9에서 각각의 실험에 대하여 팬이 소모하는 전력을 검출하였고, 50°C 에서의 제어에 가장 적은 전력이 소모됨을 확인할 수 있었다. 이때의 소비전력은 6W 였다. 본 연구에서 실험을 통해 확인한 적당한 조도를 유지하기 위한 LED 시스템의 입력전력은 28W 이다. 적당한 조도를 얻기 위해서 팬을 사용하지 않고 6W 이상의 전력을 공급하면 시간이 지날수록 온도가 증가하여 제어 대상의 50°C 를 초과하며 궁극적으로 Figure 4의 실험 결과와 같이 28W 를 적용하면 150s 만에 50°C 를 초과하고 지속적으로 온도가 증가하여 LED시스템을 과열되는 결과를 갖는다.

LED의 온도를 낮추는 방법 중에서 방열판을 크게 하는 수동적인 방법이 있다. 하지만 이는 비용과 부피를 증가시켜서 LED용 이용한 조명시스템으로는 제약이 있는 방법이다. 본 연구는 전력소모가 적은 소형팬을 적용하여 충분한 조도와 온도를 유지하는 방법을 실험적으로 규명하고자 한다.

LED 방열 제어 시스템에서의 LED의 제어목표 온도를 $46\sim 50^{\circ}\text{C}$ 까지 변화해가며 PID제어를 하

였고, 각 경우에 대해 팬의 제어에 사용되는 전력 소모량의 측정된 결과를 Figure 10에 나타내었다. 이들 중에서 50°C 를 유지하기 위한 전력 소모량이 551mW 로 가장 작은 것으로 나왔다.

본 연구에서는 28W 의 입력 전력 사용하여 충분한 조도를 유지하면서 LED 시스템의 온도는 50°C 로 제어하는데 551mW 의 전력만 사용하는 것을 실험적으로 확인하였다. 이는 구동전력 28W 의 약 2%만을 사용하여 LED의 적절한 조도와 온도를 유지하는 성능을 얻을 수 있음을 제어실험을 통해 확인하였다.

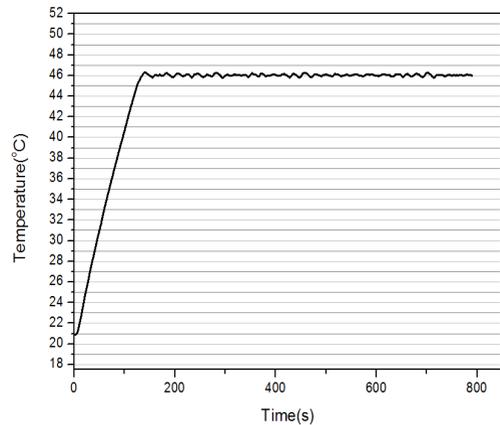


Figure 5: Control of the temperature of the LED system at 46°C ($T_i : 22.2^{\circ}\text{C}$ $T_o : 27^{\circ}\text{C}$)

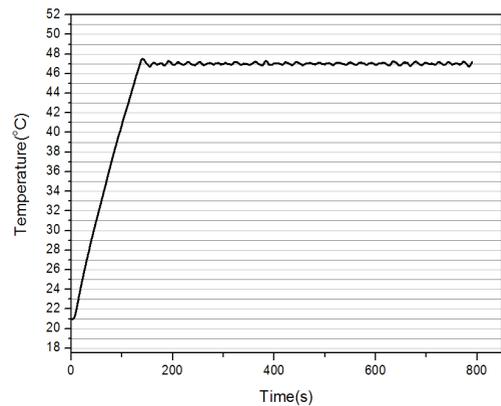


Figure 6: Control of the temperature of the LED system at 47°C ($T_i : 22.4^{\circ}\text{C}$ $T_o : 27.5^{\circ}\text{C}$)

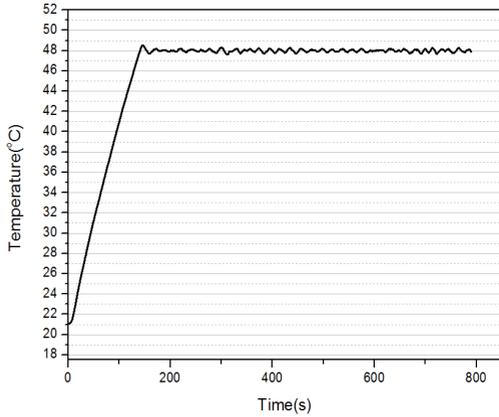


Figure 7: Control of the temperature of the LED system at 48°C ($T_i : 21.6^{\circ}\text{C}$ $T_o : 27^{\circ}\text{C}$)

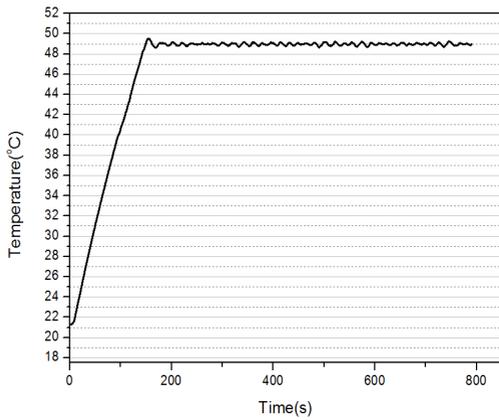


Figure 8: Control of the temperature of the LED system at 49°C ($T_i : 23^{\circ}\text{C}$ $T_o : 29^{\circ}\text{C}$)

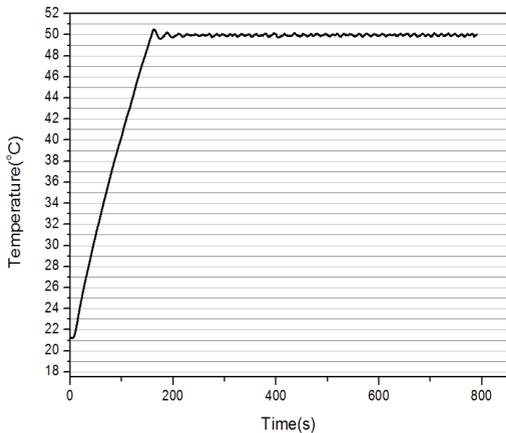


Figure 9: Control of the temperature of the LED system at 50°C ($T_i : 21.9^{\circ}\text{C}$ $T_o : 29.2^{\circ}\text{C}$)

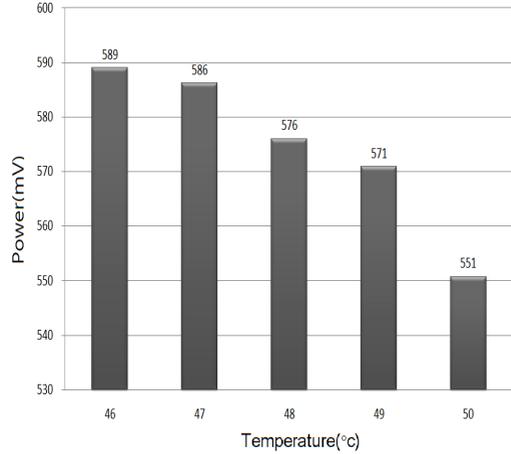


Figure 10: Power Consumption of fan for temperature control.

4. 결 론

본 연구에서는 LED 방열시스템은 파워 LED의 열을 방열판과 팬을 통하여 방열하는 구조로 시스템 제어는 One-chip 마이크로프로세서를 사용하여 PID 제어를 하였다.

LED온도 제어에 대한 실험은 LED의 설정 온도를 46°C부터 50°C까지 1°C씩 증가해가며 실험하여 LED온도를 확인하였고 각 설정 온도별 팬의 소비전력을 확인한 결과 다음과 같은 결론 다음과 같은 결론을 내렸다.

(1) LED 온도 제어 시스템을 구성하여 실험한 결과 Figure 5~Figure 9에서 보는 바와 같이 PID 제어를 통해 풍량을 조절함으로써 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 내에서 온도 제어를 가능하게 하였다.

(2) 각 온도별 팬의 구동 전력을 비교해 본 결과 Figure 10에 나타나있 듯이 설정 온도를 50°C로 하였을 때 가장 전력소모량이 작은 것을 알 수 있다. 이때 전력 소모량은 551mW이며 LED구동에 필요한 전력인 28W의 1.96%의 전력만으로 방열을 하였다.

후 기

본 연구는 지식경제부 및 정보통신 진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2010-C1090-1021-0015)

참고문헌

- [1] 장정완, 김종수, 하수정, “진동형 히트파이프를 이용한 고출력 LED 조명 방열 설계,” 대한설비공학회, pp. 1379-1384, 2009.
- [2] 이상규, 박상훈, 김경훈, “LED 램프의 방열시스템 설계 및 제작,” 대한기계학회 춘추학술대회, vol.2009 no.2, 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”, 한국산화기술학회논문지, 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 추계학술대회, p. 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



서해용(徐海龍)

1983년생, 2009년 한국해양 대학교기계시스템공학과 졸업 (학사), 2009. 3~현재 동대학원 기계공학과재학(석사)

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



윤종수(尹鍾守)

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