

방열특성 제어를 위한 PWM 전류제어 기반 LED 모듈 개발

이승현*, 문한주**, 허성범***, 최성대***,#

*(주)디오시스, **고려대학교 바이오의공학부, ***금오공과대학교 기계시스템공학과

Development of LED Module Control-based PWM Current for Control of Heat-dissipation

Seung-Hyun Lee*, Han Joo Moon**, Seong-bum Hue***, Seong-Dae Choi***,#

*D0sys CO. LTD., **School of Biomedical Engineering, Korea Univ.

***Department of Mechanical System Engineering, Kumoh institute of Tech.

(Received 5 December 2015; received in revised form 9 December 2015; accepted 9 December 2015)

ABSTRACT

This paper shows significant methods that improve the lifespan of LED modules as well as efficiently using an aluminum heat-sink for LED module in high power. It proposes a method that raises stability and lifespan to protect LED modules and the power unit when the LED module has been used for a long hours at high temperatures. During the research, we applied a method of pulse-width modulation (PWM) in order to prevent the phenomenon that the entire power of a system is turned off and the lifespan is reduced when the LED module reacts to the high temperatures. To protect the LED module and SMPS based on high efficiency, a temperature sensor is attached underneath the circuit board and the sensor measures the temperature of circuit board when the LED module is powered on. The electrical power connected to SMPS is controlled by PWM when the temperature of the LED module reaches a particular temperature.

Key Words : Pulse-width Modulation(PWM, 펄스폭 변조), Heat-sink(방열판), Switched Mode Power Supply (SMPS, 전원공급장치), Heat-dissipation(방열), Asymmetric Flood-Light Module(비대칭 투광등모듈)

1. 서 론

LED에서 방열은 LED 성능과 수명을 좌우하는 매우 중요한 요소이고 LED 구조상 여러 부분에 걸쳐 관계되는 다양한 기술이 접목되어 졌다. 근래 LED 조명 시장 확대를 위해 다양한 시도가 이루어지고 있으며 그중 효율을 극대화 시키는데 그 초점이 맞추어지고 있다. 효율 향상을 위해서는

광 출력을 현재보다 더 높여야 하는데 이때 LED 광원에 전력을 높이 인가할수록 기기 또는 LED 조명에서 발생하는 열 특성이 높아지게 된다. LED에서 인가되는 열 특성은 효율과 밀접한 관계를 갖는다. LED 내부 열은 일반적으로 알루미늄 재질의 Heat-sink를 이용하여 방열을 시키는데 이는 제작성 및 가격, 방열 특성이 우수하기 때문이다. [1][2] LED 내부에서 생성된 열을 내부에서 지속적으로 지니게 되면 소자의 온도가 상승 하게 되어 효율적 광 방출을 저해하게 되어 이에 따라 급격하게 수명이 저해하게 된다. 따라서 LED모듈 내부에서 발생하는 열적 스트레스를 외부로 열마

Corresponding Author : sdchoi@kumoh.ac.kr
Tel: +82-54-478-7396, Fax: +82-54-478-7319

나 잘 방출시킬 수 있는가 하는 것이 전기적, 광학적 특성과 함께 중요한 요소가 된다. LED 칩 방열을 위하여 종래에는 LED 칩의 뒷면에 방열판을 부착하거나, LED칩의 패키지 바닥에 열전도 특성이 좋은 재료를 사용하여 열전달 통로를 형성하는 방식이 대부분 이었다. 하지만 이 기술은 LED 칩의 고효율성과 규격 면에서 한계성을 지니는 단점이 있다. 특히 방열을 위해 Heat-sink을 크게 설계를 하게 되면 제작에 따른 비용 상승과 설치 위치의 제약을 받게 된다. 특히 고온에 노출되어 있는 경우에는 그 형상 및 특성이 현저하게 나빠지므로 이를 보완하기 위해 방열판이 매우 크게 설계 개발되어지는 단점이 발생된다. 최근에는 기존방식의 개선과 함께 LED칩에 전원을 공급하는 금속제 프레임의 형태를 다양하게 변형시켜서 방열에 이용하거나, LED칩에서 발생한 빛을 특정방향으로 반사키는 구조의 반사판을 방열수단으로 이용하거나, 금속 패키지 재료를 사용하는 등 다양한 방식의 방열기술이 개발되고 있다.^[3]

본 개발에 사용되어지는 제품의 경우 역시 앞서 설명한 내용과 같이 열에 해한 특성이 매우 취약한 제품이다. 특히 고휘도 LED 사용으로 인해 열에 대한 특성이 매우 민감하게 작용하는 제품이다. 본 논문에서는 비대칭 투광등 렌즈 설계를 바탕으로 LED 소자의 방열 방출 메카니즘 설계를 하였다. 또한 열 방출을 위한 LED PCB설계와 고온에서 장시간 노출되어지면 수명이 짧아지고, 전원 전체가 나가는 현상 방지를 위한 Pulse-width modulation 기법을 적용^[4], 고온에 장시간 작동시 LED 모듈을 보호하고 POWER을 보호함으로써 안정성 및 수명을 향상시킬 수 있는 방법을 제시 하였다.

2. 투광등 설계

2.1 광 특성 분석 및 렌즈설계

LED 횡단보도조명은 타 조명과는 달리 횡단보도를 비출수 있는 LED 등기구가 한쪽방면으로 치우쳐진 상태로 고정되어 있다. 그 이유는 기존 LED 등기구와는 달리 횡단보도 보행자와 운전자 모두를 고려하여 설치되어야 하는 조건 때문이다.

Fig. 1은 LED 투광등에 대한 설치 및 제작조건을 바탕으로 광 시뮬레이션 한 결과에 대한 그림이다. Fig. 2는 광 시뮬레이션을 바탕으로 광학 LED 렌즈를 설계한 결과 값이다. 위 그림에서와 같이 기존 제품들은 좌우 대칭형상으로 광 시뮬레이션 분포가 이루어져 있다. 본 연구에서는 좌우 방향은 상호 대칭구조로 이루어지며 전 후 방향으로는 한쪽 방향으로 광량을 집중 시키므로써 Fig. 1의 특성을 만족하도록 설계 하였다 기본 성능검토를 위해 적용한 패키지는 S사 LH351B Warm White(3,000K)을 적용하였으며, 적용광속은 3,200lm을 적용 cut off 하였다. 시뮬레이션 결과 평균조도는 60.1 lx, 최대조도는 73.9 lx, 최소조도는 30.2 lx, 균일도는 0.5로 KSC 7717기준인 광속 3,200~3,800 lm을 만족하는 결과 값을 가졌다. LED을 선정함에 있어 LED power에 따라 열적 특성이 매우 달라지며 외부 밝기 등이 달라지는 특징을 갖는다. 본 연구에서는 일반적으로 가장 보편적으로 사용하는 LED 모듈로 3W의 LED을 사용함으로 이 조건을 시뮬레이션 하여 알루미늄 Heat-sink가 제대로 설계되었는지를 확인하였다.

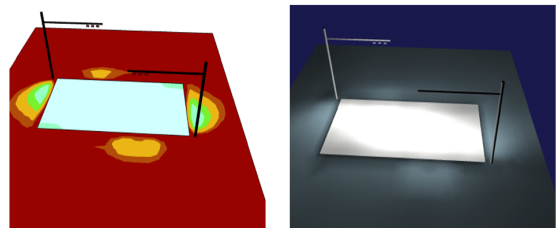


Fig. 1 Light distribution of LED luminaires

Table 1 The result of light distribution curve for LED lens

Item	Target value	Measured values
Average illuminance	60lx over	60.1 lx
Maximum illuminance	90 lx below	73.9 lx
Minimum illumination	24lx over	30.2 lx
Uniformity	0.4 over	0.5

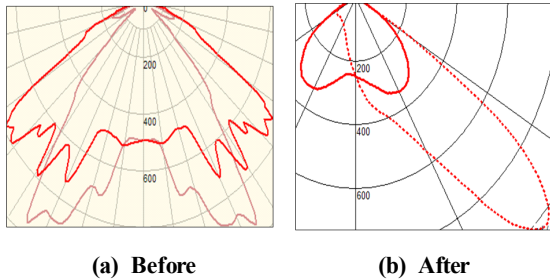


Fig. 2 Light distribution curve of LED lens

2.2 시험편 및 실험방법

광 시뮬레이션 및 열유동 해석 결과를 바탕으로 Fig. 3과 같이 금형을 설계 개발하였으며, 렌즈를 사출하여 실험하였으며, 렌즈 Size는 2열로 배열할 수 있는 구조로 설계하였다. 우선 투광등 기준이 40W 이하로 규정되어 있으므로 현재 가장 널리 활용되고 있는 3W LED를 사용하여 제품 설계 하였다. 제작되어진 제품 Size는 35 x 200mm 로 설계 하였으며 이는 무게 및 외부 돌출되어진 디자인 등을 고려하여 선정하였다. 설계 시 렌즈 Size의 최소화를 위해 고무실링 돌출부를 최소화 하고 평면 고무실링 채택하여 제품에 대한 외관과 방수에 대한 신뢰도를 높일 수 있는 구조로 설계 제작 하였다. 본 연구에서는 구조 시뮬레이션 해석 결과를 바탕으로 시제품을 제작하여 실험하였다. Fig. 4와 같이 LED Schematic 회로 및 기판을 제작한 후 Heat-sink를 제작 실험 하였다. 첫 번째 시료는 직렬로 연결하여 온도 특성을 K-Type 열전대 센서를 이용하여 온도를 측정하였다. 부착 위치는 LED 보드 후면부위와 Heat sink 중앙부위, 측면부위 3곳을 측정하였다. 대기온도는 약 25도로 일반 상온온도 조건에서 실험 실시 하였다. 첫 번째 시료는 12개를 모두 직렬로 연결한 2열 12줄 구조의 LED 보드로 시험 하였으며, 두 번째 시료는 Fig. 5에 나타난 것과 같이 LED 모듈을 총 24개로 설계하였으며 1번에서 12번까지 13번에서 24번까지 직렬 구조로 2개의 병렬 구조가 되도록 실험 하였다. 사용되어지는 시편은 총 6개 시편을 사용하였으며 반복 시험에 의한 평균치를 확인하였다.

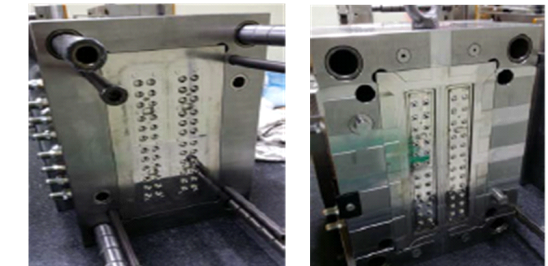
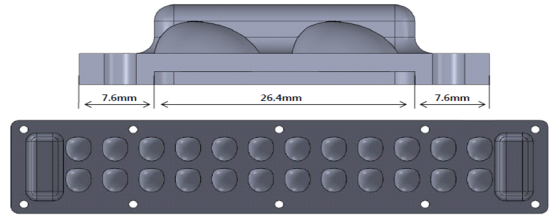


Fig. 3 Modeling & mold of LED lens

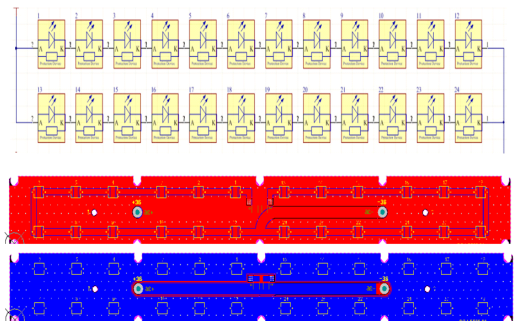


Fig. 4 The schematic of LED board serial arrangement

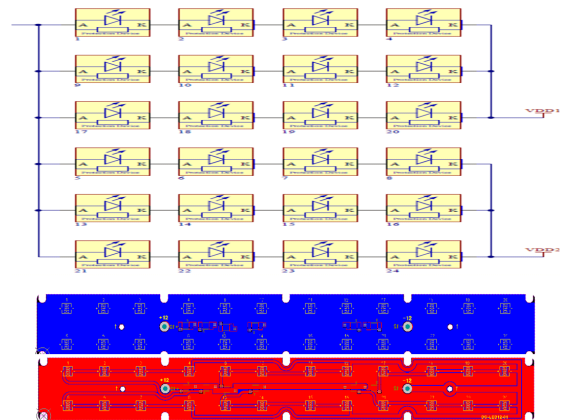


Fig. 5 The schematic of LED board parallel arrangement

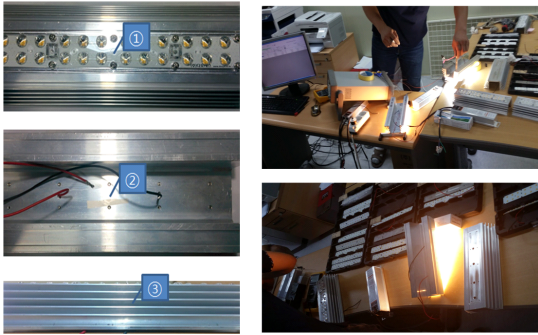


Fig. 6 Mounting position & heat transfer experiment

Fig. 6은 실험을 실시 부위 및 실험과정을 나타낸 그림이다. 2열 12줄 LED 보드와 4열 6줄 LED 보드 모두 이론적으로는 72W의 전원이 인가되는 시편이다.

$$[32V \times 1A] \times 2array = 72W \quad (1)$$

$$[12V \times 1A] \times 6array = 72W \quad (2)$$

사용되는 SMPS는 위 특성에 맞추어 2개를 준비하여 실험 실시하였다. 실험시간은 평균적으로 온도가 안정되는 시간을 기준으로 시험하였으며 각 모듈에 따라 안정되는 시간이 달랐다. 제품은 안정시간 보다 온도의 안정적 지속온도가 더 중요함으로 이를 기준으로 실험 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 온도보정 회로 적용 전 온도상승

직렬로 2열 배열한 시험편 경우 온도가 최고 90도 가까운 온도를 보임을 확인할 수 있다. 또한 방열판과 온도차가 비교적 크게 나타남을 확인할 수 있었다. 이는 사용 SMPS 종류 및 스펙에 따라 조금씩 차이를 보일 수는 있지만 그래프 상에 나타나 있듯 병렬로 연결한 LED 보드가 더 LED에 직접적인 스트레스를 덜 주는 것으로 확인 되었다. 현재 안정적인 온도 분포를 보이는 제품이 2

번째 4배열 6줄 LED 모듈의 시험편이다. 이 경우는 현재 내부 온도가 25도에 실험을 한 상태이므로 실제 filed에서는 이와 같은 온도가 지속되기는 어려운 조건이다. 국내 논문에서는 여름철 태양열에 의한 복사온도가 약 50도 가까이 올라가고 야간을 기준 약 35도 가까이 온도가 상승하는 것을 알 수 있다. 이와 같은 2번째 시료 역시 고온에서는 불안정한 특성을 지닐 수 있음을 알 수 있다. 앞서 실험한 LED 온도 그래프를 바탕으로 실제 온도에 영향을 주는 인자 및 변환요소를 찾기 위해 열 유동해석 등을 통해 확인 하였다. Fig. 9는 LED모듈에 3W의 열원을 인가하여 해석한 결과 실제 실험값과 다소 차이를 보임을 확인할 수 있었다. 3W을 인가했을 때 열원은 약 100도 가까운 분포를 보였으며 이는 실제 실험값의 오차를 감안 하더라도 차이가 있음을 알 수 있다.

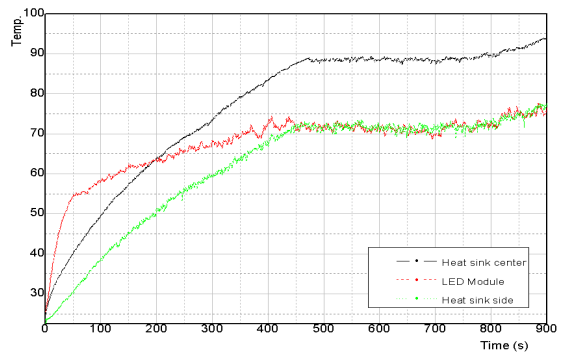


Fig. 7 The result of LED board serial arrangement

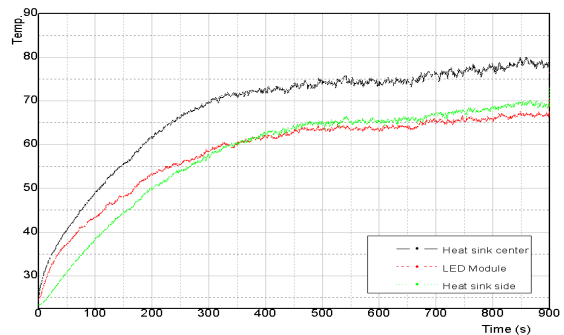


Fig. 8 The result of LED board parallel arrangement

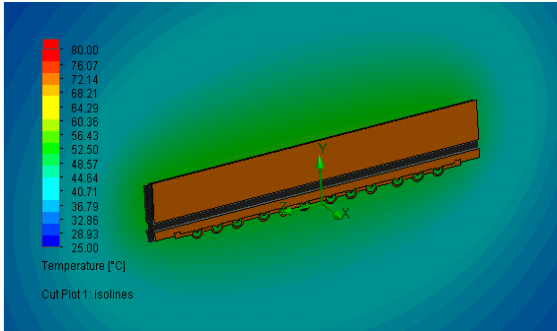


Fig. 9 The result of LED module power (3W)

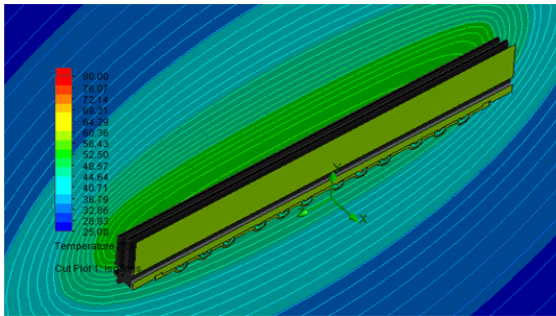


Fig. 10 The result of LED module power (2.2W)

이 결과를 바탕으로 실제 LED보드에 인가되는 전류를 측정할 결과 실제 제품 spec과는 다르게 약 2.2W의 전류만 흐르는 것을 확인할 수 있었다. 또한 실제 2.2W의 열원만 인가했을 때 실제 측정 값과 비슷한 결과를 같음을 확인 하였다. Fig. 10 은 2.2W의 전원인가에 대한 시뮬레이션 결과에 대한 그래프이다. 이와 같은 결과를 바탕으로 식 (3)으로 나타낼 수 있다

$$12V \times 1A \times 6array \times t = 72W \times a \quad (3)$$

a : Resistance Factor

t : Temperature Coefficient (25°C=0)

실제 온도 실험을 통하여 전류저항계수를 유추 하였으나 실험조건이 상온이여서 field에서 적용하기에는 다소 어려움이 있다. 본 논문에서는 이와

같은 사항을 해결하기 위해 여름철 및 고온 상황에서도 안전하게 회로를 보호 할 수 있는 보호 회로를 삽입하여 2차 보존 회로를 구성하였으며 이를 통해 고온에서도 사용할 수 있도록 3차 실험을 실시하였다.

3.2 온도보정 회로 적용 후 온도상승

실제 전류 인가되는 LED 모듈의 전력을 파워메타를 통해 측정할 결과 약 40W 파워만 인가됨을 확인할 수 있었다. 이는 식(3)을 기준으로 했을 때 외부로 소비되는 다른 인자인 저항계수를 유출할 수 있다. 본 연구에서는 저항계수가 약 0.55 임을 알 수 있었다. 식(3)은 저항계수와 온도 보정 계수를 고정한 후 계산한 식이다. 하지만 실제 온도가 올라갈 때 이 값은 많은 차이를 나타내었다. 실제 고온에서 실험을 실시한 결과 약10-15W 씩 증가함을 확인할 수 있었다. 제품에 따라 동일한 특성을 보이지는 않지만 전체적으로 온도에 대한 요소가 제품 파워에 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 위 결과를 통해 다음과 같은 식을 유추할 수 있다. 즉, 저항계수와 온도계수가 높을수록 LED 스트레스가 크게 작용함을 알 수 있다.

$$12V \times 1A \times 6array \times t \times a = 72W \times a \times t \quad (4)$$

a: Resistance Factor

t: Temperature Coefficient

이와 같이 실제 온도계수를 최소화 할 수 있는 방안으로 온도센서에 의한 LED 전류 제어 방법을 선택하였으며 이를 통해 다음과 같이 온도 보정 회로를 구성하였다. 온도 보정 회로는 LED 보드

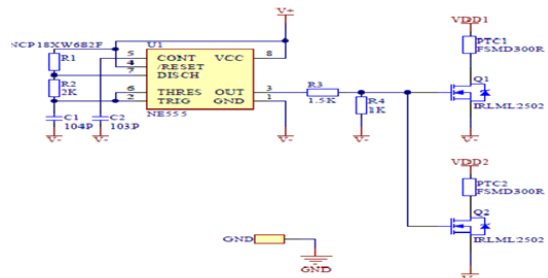


Fig. 11 Temperature correction circuit

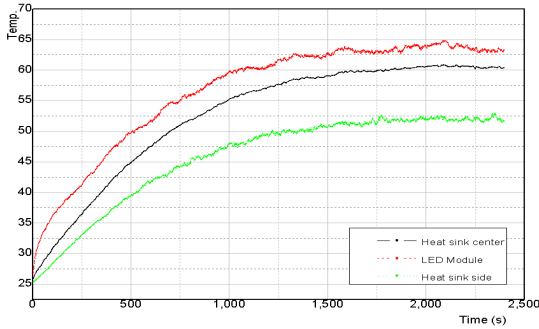


Fig. 12 Result of LED board parallel arrangement with temperature correction circuit

Table 2 Results of Serial/Parallel LED Module

Item	High Temp' (LED)	Low Temp' (Heat sink)
Serial Module	92 °C	73.6 °C
Parallel Module	78 °C	60.5 °C

Table 3 Results of before/after PWM Circuit (12V)

Item	High Temp' (LED)	Low Temp' (Heat sink)
before PWM	78 °C	60.5 °C
after PWM	62.5 °C	45.5 °C

뒷면에 구성하였으며 방열특성 등을 고려하여 적당한 위치를 선정 부착 적용하였다. Fig. 11은 12V 전압이 걸리도록 4열 6줄로 설계한 LED 보드에 삽입한 온도보정 회로도를 나타낸 것이다.^[5-9]

3.3 LED 방열에 미치는 온도보정 회로 적용 방법

본 실험은 2개 변수를 단계적으로 풀어가는 방법을 통해 실제 적용성 높일 수 있는 제품을 생산할 수 있도록 하였다. 첫 번째 실험에는 실제 사용되어지는 LED보드에 대해 같은 LED를 사용하여 직렬로 연결했을 때 와 병렬로 연결했을 때 사용되는 전력량이 상호 달라짐을 확인하였으며

이를 통해 다음과 같은 결과를 확인 하였다. 그 결과는 Table 2와 같다. 또한 여름철 고온에 장시간 노출되었을 때 이를 LED 수명이 급격히 저하하게 되는 데 이를 방지하고 LED 수명을 늘리기 위해 온도 센서에 의한 PWM 제어를 하여 회로 적용 실험 하였다. 그 결과는 Table 3과 같다. 또한 다음 실험을 통해 LED 파워에 대한 저항계수 및 온도계수를 유추하여 같은 SMPS에서 인가되는 전류량을 확인할 수 있었으며 온도계수를 적용 온도에 따른 LED 전류를 미세하게 조정하여 LED 보드에 인가되는 전체 전류를 미세하게 조정할 수 있도록 하였다. 다음 실험을 통해 구한 온도계수 및 저항계수의 합은 온도 25도일 때 약 0.733을 나타냈으며 32도일 때 0.82가 나타만을 확인할 수 있었다. 온도계수와 저항계수가 낮게 분포될수록 파워가 안정적으로 작용함을 확인할 수 있었다.^[10-12]

4. 결론

본 연구는 LED 투광등의 회로에 따른 온도특성 변화와 LED광원에 전력을 높이 인가할수록 LED 조명에서 발생하는 열 특성이 높아지는 현상을 줄이고자 온도에 따른 PWM 기법을 적용 다음과 같은 결과를 도출 하였다.

- 1) LED소자 및 보드 설계기 회로배열에 따른 온도 특성이 달라짐을 확인하였고 직열 특성보다 직렬과 병열 구조를 적절히 혼합하여 사용했을 때 광 효과가 커짐을 확인 하였다.
- 2) LED 제어보드 설계시 실제 LED에 사용되는 전원은 온도계수와 저항계수 등을 별도로 설정하여 이들 변수값을 최소화 할 수 있도록 하였을 때 제품 수명이 높이를 실험을 통해 확인할 수 있었다.
- 3) 저항계수의 특성은 외부전원을 거쳐 들어오는 SMPS의 성능에 의해 달라지고, 온도계수는 방열판에 의해 달라짐을 확인할 수 있었다.
- 4) LED 모듈 사용시 적정 전류만으로도 광원 제어할 수 있으며 이는 온도특성을 최소화 할

수 있는 변수임을 확인하였고 이를 통해 LED 수명을 오래가게 할 수 있음을 실험을 통해 밝혔다.

후 기

“이 논문은 2014년도 중소기업청 산학연협력기술개발사업의 지원에 의하여 연구되었음.”

REFERENCES

1. Jung, T. S. and Kang, H. K., “Evaluation on the Cooling Performance to Design Heat Sinks for LED lightings,” J. Korean Soc. Precis. Eng., Vol. 29, No. 7, pp. 778-784, 2012.
2. Lee, S. M., Lee, S. I., Yang, J. K., Lee, J. C. and Park, d. H., “Optimization of Heatsink and Analysis of Thermal Property in 75W LED Module for Street Lighting,” Trans. Korean Inst. Electr. Eng., Vol. 59, No. 3, pp. 609-613, 2010.
3. Park, S. H., An, J. C., Heo, J. W., Choi, H. K. and Choi, S. D., “A Study on Light Quality of LED for Control of Light Intensity”, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 11, No. 6, pp. 175-182, 2012
4. Ku, G. M., Kim, K., Park, S. H., Choi, S. D. and Heo, J. W., “Cooling Performance Study of a Impinging Water Jet System with Heat Sink for High Power LEDs”, J. Korean Soc. Manuf. Technol. Eng., Vol. 12 No. 6, pp. 152-158, 2013.
5. Hwang, J. M., Choi, S. D. and Kim, C. G., “Thermal Performance Evaluation of the Projector Module by the LED Output”, KSMTE Annual Autumn conference, p. 310, 2015.
6. Kim, D. G., Kim, I. K., Yu, S. Y., Kwon, W. and Kil, G. S., “Comparative Analysis on Heat Radiation of LED Luminaires”, The Korea Society for Railway Annual Autumn conference, pp. 1530~1535, 2011.
7. Yoon, J. S., Choi, H. S., Shin, H. Y. and Lim, T. W., “Temperature and Sound Noise Control for LED Lamp”, J. Korean Soc. Mar. Eng., Vol. 35, No. 8, pp. 1078-1084, 2011.
8. Choi, H. S., Shin, H. Y., Oh, J. Y. and Lee, s. S., “Temperature Control for LED Lamps using RF Communication”, KSOME Annual Autumn Conf., pp. 130-132, 2012.
9. Seo, B. S., Lee, K. J., Cho, Y. S. and Park, d. H., “Analysis on Thermal and Optical Characteristics to the Optimal Design Heat Sink of 30W COB LED Down Light”, KIEE Annual Autumn Conf., pp. 1223-1224, 2012.
10. Jang, H., Suh, J. S. and Yi, C. S., “A Study on the radiant Heat Characteristic According to Type and Array of LED Lighting Heatsink,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 12, No. 3, pp. 54-60, 2013.
11. Cho, Y. T., “Heat Sink of LED Lights Using Engineering Plastics”, J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 12, No. 4, pp. 61-68, 2013.
12. Hwang, H. D. and Ko, D. S., “Evaluation of Plant Growth according to the Wavelength Characteristics of the LED Light Source,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 5, pp. 98-106, 2014.