

# 수동적 적외선 열화상 기법을 적용한 120W급 LED조명등 건전성 평가

정윤수\*, 고가진\*, 김재열\*\*,#

\*조선대학교 일반대학원 기계시스템공학과, \*\*조선대학교 기계시스템미래자동차공학부

## Soundness Evaluation of 120W LED Lighting using Passive Infrared Thermal Imaging Method

Yoon-Soo Jung\*, Jia-Chen Gao\*, Jae-Yeol Kim\*\*,#

\*Dept. of Mechanical System Engineering, Graduate School of Chosun Univ.,

\*\*Dept. of Mechanical Systems and Automotive Engineering, Chosun Univ.,

(Received 17 July 2017; received in revised form 24 July 2017; accepted 28 July 2017)

### ABSTRACT

As energy conservation and environmental issues are emerging as a hot topic around the world, consumers are demanding high-efficiency, eco-friendly products.

In this study, the author proposed 120W LED lighting system that replace metal halide lamp (MHL) which is currently used in the industry. Furthermore, it would be possible to provide a perfect opportunity for Korea to rise as a global leader in the LED lighting industry through soundness evaluation of the LED lighting system that is applied.

**Key Words** : LED(엘이디), Infrared Imaging Camera(적외선열화상카메라), Soundness Evaluation(건전성 평가)

### 1. 서 론

조명은 인간이 삶을 영위해 나가는데 있어 반드시 필요한 도구로써 그 시대의 기술 수준과 시대적 요구에 따라 끊임없이 발전해왔다. 과거 등화(燈火) 시대에 단순히 불을 밝히는 수단에서 인간의 쾌적한 삶, 아름다움을 창조하는 수단으로 현재는 지구 온난화와 화석연료의 고갈 등 미래의 인간 삶 변화를 대비하는 수단으로 고효율 및 친환경적인 요구까지 조명에 대한 시대적 요구는 다양하고 광범위

하게 변화하고 있어 이를 충족시킬 수 있는 새로운 융·복합 조명기술과 신(新)광원에 대한 관심이 크게 높아지고 있다<sup>[1-3]</sup>.

하지만 조명은 전 세계 연간 이산화탄소 배출량 중 약 19억 톤을 차지하며 이는 전 세계 이산화탄소 배출량의 8퍼센트에 해당하면서 환경규제의 큰 이슈로 중 하나로 부각되고 있다. 전력 소모도 역시 전체의 약 25%를 차지하고 있어 기존 조명인 백열등은 현재 주요국에서 환경규제가 시작돼 사용이 크게 줄어들고 있으며, 2020년부터 본격적인 규제가 시작되는 형광등도 관련 시장이 크게 감소할 것으로 예상된다.

이러한 추세에 따라 조명의 고효율화와 수은, 납

# Corresponding Author : jykim@chosun.ac.kr

Tel: +82-62-230-7745, Fax: +82-62-230-7035

등을 함유하지 않은 친환경 조명 제품의 개발문제가 시장의 화두로 떠오름에 따라 LED 조명은 미래 조명 시장을 선도할 광원으로 부각되고 있다<sup>[4-7]</sup>.

현재 산업등에 적용되는 기존 조명은 재점등 시간이 길며, 낮은 내구성으로 문제가 많고, 조명 재교체의 번거로움으로 인해 공장의 제조, 생산 불량률이 높아지는 문제점으로 이어질 수 있다. 향후 공장과 같은 산업현장에서도 인간친화적인 조명 환경 개선이 필요하다. LED 조명의 경우 향후 경쟁력 있는 방열소재 확보와 최적화된 방열구조를 개발하는 것이 LED 조명 산업에서의 경쟁 당락에 결정적인 영향력을 발휘한다. 방열기술 적용을 통한 LED 조명의 수명 및 신뢰성을 확보하고 경량화로 시장 경쟁력을 갖춘 LED 전용 등기구 개발이 필요하다.

본 연구에서는 현재 산업현장에서 사용되는 메탈 할라이드 램프(MHL)등을 대체할 120W급 LED조명등을 제안하고, 써머커플(Thermocouple)과 적외선 열화상 카메라를 적용하여 온도분포를 체계적으로 측정하여 LED의 온도 균일도를 파악하고자 한다<sup>[8-11]</sup>.

## 2. 실험 장비 및 열화상 원리

### 2.1 Infrared Imaging Camera

적외선 열화상 카메라는 외부의 광원에서부터 측정하고자 하는 물체에 반사되어진 적외선 파장을 검출하는 측정기이다. Stefan-Boltzmann Law에 의한 온도와 파장의 관계식을 이용하여 적외선 detector로부터 검출된 적외선 파장을 온도의 함수로 나타내어 온도의 고저를 화상으로 보여주는 것이다.

Fig. 1에서와 같이 총 표준 복사에너지는 식 (1)과 같이 표현할 수 있다. 첫 번째 항은 Radiation

$$I_m = I(T_{obj}) \cdot \tau \cdot \epsilon + \tau(1 - \epsilon) \cdot I(T_{amb}) + (1 - \tau) \cdot I(T_{atm}) \quad \dots (1)$$

emitted by the surroundings and reflected in the object, 두 번째 항은 Radiation emitted by the object, 세 번째 항은 radiation emitted by the atmosphere.

### 2.2 적외선 열화상 탐상 기법

적외선 열화상 비파괴검사는 2가지의 다른 접근법인 능동적 방법(Active method)과 수동적 방법(Passive method)으로 크게 구분할 수 있다. 능동 서모그래피는 외부 가열이나 냉각 등에 의해 열 유동이 생산되어진다. 이러한 열 유동에 의해 일시적 또는 지속적인 자극에 의해 표면의 온도 패턴을 분석함으로써 내부결함까지 측정할 수 있다.

Fig. 1은 능동(액티브)방식이다. 능동 방식은 일반적으로 측정 대상물에는 전혀 열이 가해지지 않아 온도 분포가 없거나 온도 또는 온도차가 매우 미소한 경우 외부로부터 열을 가함으로써 측정 대상물의 표면의 미세 결함(크랙 등)이나 내부 결함(내부 크랙이나 보이드 = 공극)을 온도 분포로써 부상시켜 검출하는 방법이다.

Fig. 2는 수동(패시브) 방식이다. 수동 기법은 가열이나 냉각이 적용되지 않고, 측정 대상물로부터 자연스럽게 방사되고 있는 적외선 에너지를 검출하는 일반적인 측정방법이다. 수동적 열화상 기법은 일반적으로 온도 패턴을 기초로 산업 공정 및 제조 단계에서의 평가 및 모니터에 적용된다<sup>[12]</sup>.

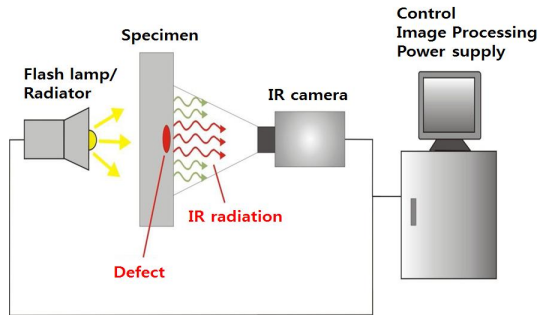


Fig. 1 Active method (jenoptik ag)

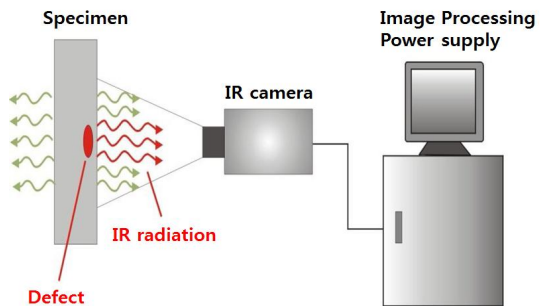


Fig. 2 Passive method (jenoptik ag)

### 2.3 Producing specimens

Fig. 3은 120W급 LED PCB Lay-out이다. Table 1은 실험에 사용된 LED 사양을 나타내었다. 재질은 알루미늄6061, 사이즈는  $\Phi 300*2T$ , LED 사이즈는  $3*3*0.6$ , 포인트는 98EA, LED용량은 120W이다. 고출력 LED 모듈은 COB(Chip-On-Board)형태로 한 개의 모듈에 수십개의 LED칩을 패키징한 형태이다.

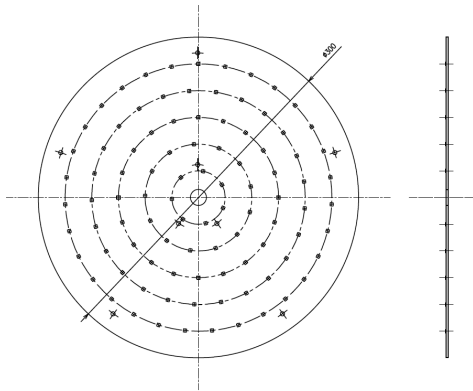


Fig. 3 120W PCB Layout

Table 1 120W LED specification

	Material	Size	LED Size (mm)	Point (EA)	Capacity (W)
120W PCB	AL6061	$\Phi 300 * 2T$	$3*3*0.6$	98	120

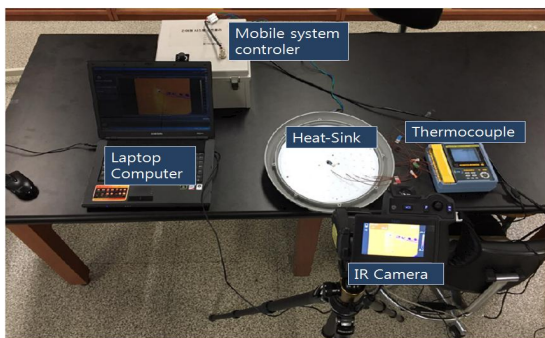


Fig. 4 Test jig Configuration

### 2.4 Experimental Component

외부 열원을 차단하고 최적의 실험 상태를 유지하기 위하여 암실에서 실험을 진행하였고, 실험 시스템 주변 온도는  $19^{\circ}\text{C}$ 로 일정하게 유지하며 실험을 진행하였다. 본 실험에서는 FLIR사 T640 모델의 적외선 열화상 카메라와 Yokogawa사의 XL100 모델의 써머커플(Thermocouple)을 적용하여 실험하였다. Fig. 4은 실험 장비 구성을 나타낸다.

## 3. 120W급 LED 조명등의 방열 특성 분석

본 연구에서는 LED조명등에서 방열문제를 해결하기 위해 120W급 LED조명등 시스템을 제안하였다. 또한 120W급 LED조명등에 건전성 평가를 하였다.

LED 칩의 온도가 지나치게 상승하면 효율이 떨어지고 성능이 열화되며, 납땜 부위가 떨어져 나가기도 한다. 이에 따라 LED조명등의 개발에서는 방열이 가장 큰 문제점으로 알려져 있다.

### 3.1 LED 접합온도 및 열저항

LED의 수명에 영향을 미치는 인자는 LED의 접합온도( $T_j$ )이다. LED의 접합온도는 주위의 온도( $T_A$ ), 열방출 통로의 열저항( $R_{th,J-A}$ ) 및 소모되는 전력( $P_D$ )에 의해 결정된다. 관계식은 식 (2)와 같다.

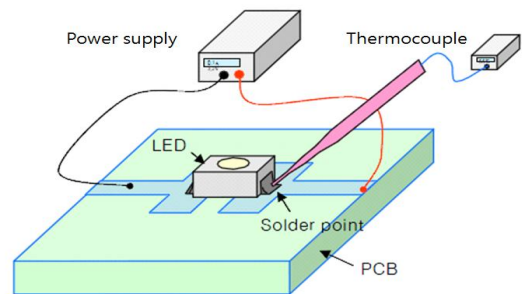


Fig. 5 Test jig for LED junction temperature measurement

$$T_J = T_A + R_{th,J-A} \times P_D = T_A + R_{th,J-A} \times (I_F \times V_F) \quad \dots (2)$$

소모전력( $P_D$ )은 LED에 인가하는 입력전류( $I_F$ ) 및 전압( $V_F$ )의 곱이다. 접합온도를 결정하는 요인 중 열저항(Thermal Resistance)은 패키지의 재료, 구조에 의해 결정된다. 열저항( $R_{th}$ )은 식 (3)과 같다.

$$R_{th} = \frac{1}{\rho} \times \frac{L}{A} \quad \dots (3)$$

$\rho$  : Thermal conductivity (W/mg · K)  
 $L$  : Length (m)  
 $A$  : Cross section (m<sup>2</sup>)

열저항은 열전도도( $\rho$ , Thermal conductivity) 및 열통로의 단면적에 역비례하고 열통로의 길이에 비례한다. 따라서 LED 패키지 설계시 위의 사항을 고려하여 설계하여야 한다.

접합온도의 측정은 직접 접합영역에서 측정이 불가능하며 솔더 포인트의 온도( $T_s$ )를 측정하고 접합온도와 솔더 포인트 사이의 열저항을 측정하여 계산할 수 있다. 접합온도 측정에 사용되는 식은 식 (4)와 같다.

$$T_J = T_s + R_{th,J-S} \times P_D \quad \dots (4)$$

Fig. 5는 LED의 접합온도를 측정하기 위한 테스트 장치이다. Power supply, Thermocouple, PCB, LED로 구성되어 있다. PCB 솔더 패턴 위에 LED 패키지를 실장한다. 전류를 인가하고 전류 및 전압을 측정할 수 있는 Power supply와 솔더 포인트의 온도를 측정하기 위한 Thermocouple이 필요하다.

### 3.2 LED조명등 방열 검증

정확한 온도분포 비교를 위해 적외선 열화상 카메라와 써머커플(Thermocouple)을 적용하여 LED 조명등의 온도분포를 확인하였다. 이러한 온도분포

촬영은 정상상태에서 발열부인 램프부의 온도를 확인하여 램프부를 덮고 있는 유리커버를 제거한 후 온도를 측정하였다. 또한 정상상태에 도달하는 시간과 정상상태 일 때의 온도분포를 확인하고자 하였다. 실험 시스템 주변 온도는 19°C로 일정하게 유지하여 실험을 수행하였다.

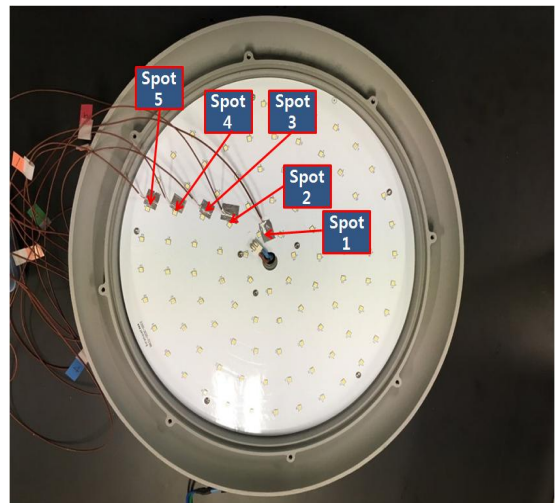


Fig. 6 Thermocouple wire attachment to LED module

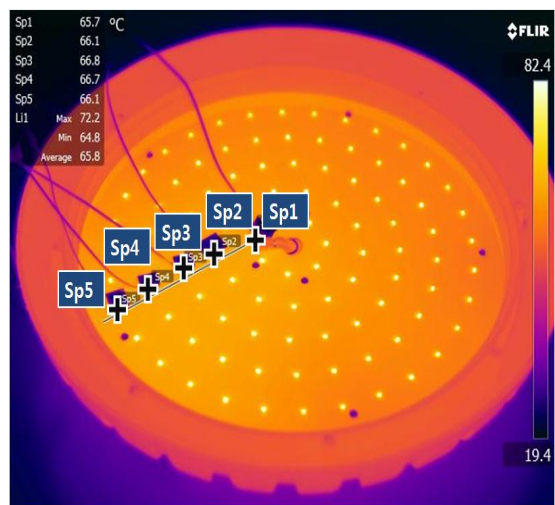


Fig. 7 After 120 minutes thermal image

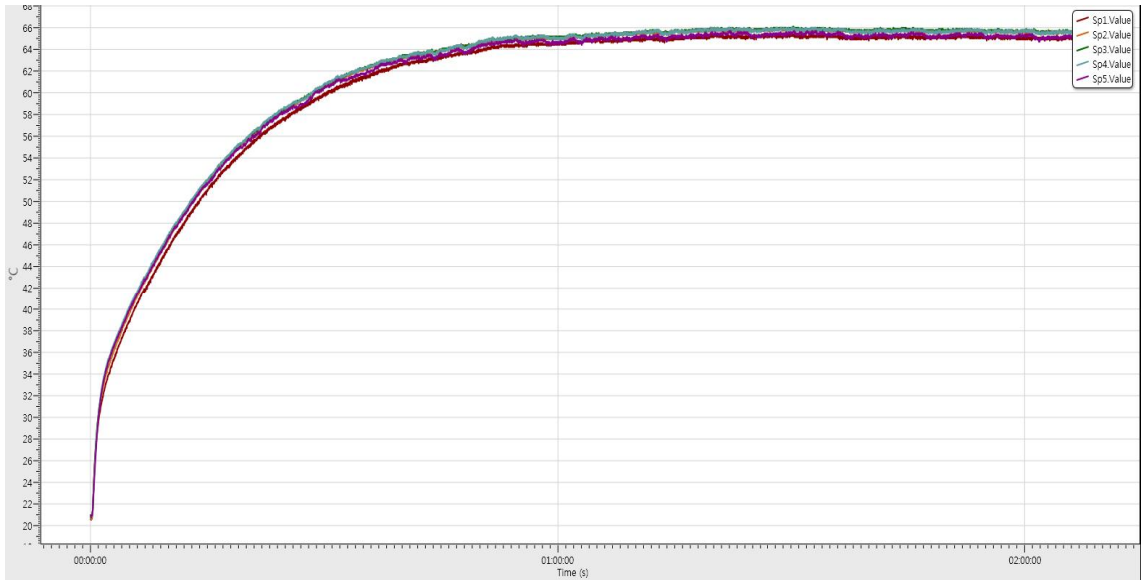


Fig. 8 LED module thermal image graph

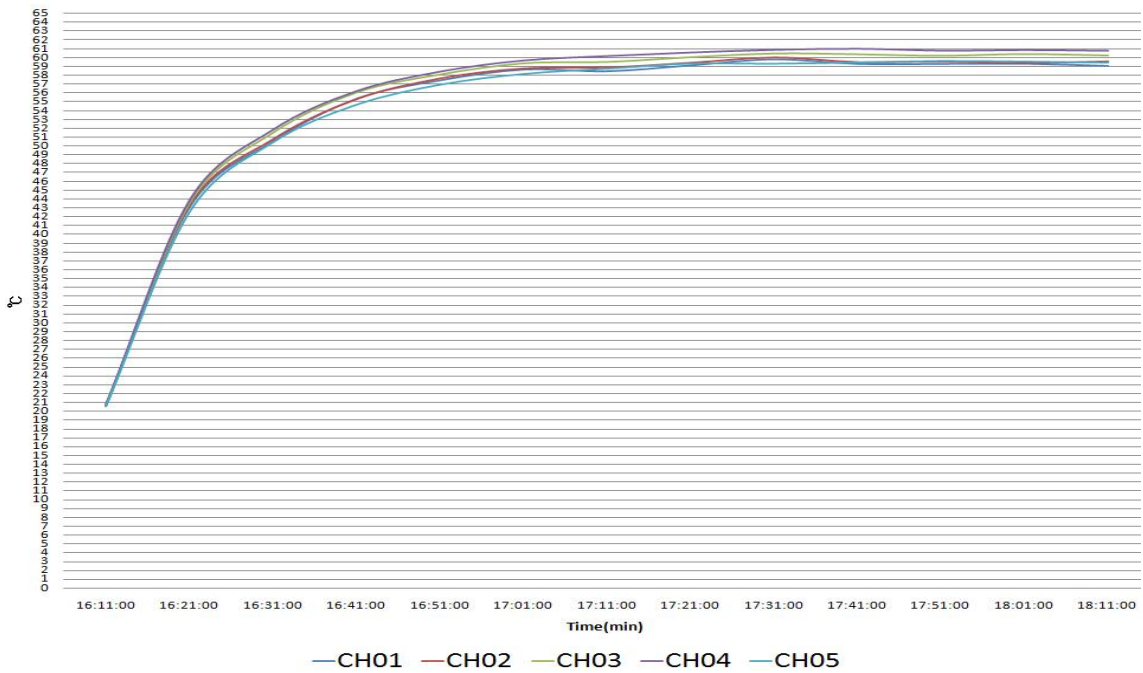


Fig. 9 LED module thermocouple graph

또한 온도 변화에 민감하기에 해가 진 오후에 실험을 수행하였고, 적외선 열화상 카메라와 LED조명 등의 거리를 50cm 이내로 하여 2시간 동안 촬영하여 640\*480의 해상도로 이미지 데이터와 그래프를 획득, 분석하였다.

Fig. 6은 LED 발열부에 열화상 스팟(Spot)과 같은 위치로 열전대 와이어를 부착하였다. 정확한 온도 측정과 열손실을 최소화하기 위해 알루미늄 테이프를 이용해 열전대를 고정하였다. 써머커플의 열전대 1~5번은 전면 LED 부분에 부착하였다.

Fig. 7은 열전대를 붙인 곳 바로 옆 Spot 5군데를 찍어 120분(min)간 열화상 카메라를 이용해 촬영한 열화상 이미지이다. Spot1은 65.7°C, Spot2는 66.1°C, Spot3은 66.8°C, Spot4은 66.7°C, Spot5은 66.1°C이다.

Fig. 8은 적외선 열화상 카메라를 이용하여 획득한 영상에서 LED 조명등에 5군데 스팟을 찍어 시간에 따른 온도변화를 나타낸 그래프이다. 확인결과 Spot1, Spot2, Spot3, Spot4, Spot5가 비슷한 온도 변화가 있었고, 약 50분 후부터는 실험 시작 2시간이 지나도 약 65°C에서 온도변화 없이 균일함을 확인하였다.

Fig. 9는 LED 조명등에 열화상 Spot과 같은 자리에 써머커플(Thermocouple)을 이용해 획득한 그래프이다. 열화상 카메라와 비교를 위해 동일 조건에서 동일하게 실험을 시작하였고, Fig. 9의 그래프도 마찬가지로 약 50분 후 60°C에서 온도가 크게 변함없이 일정함을 확인하였다. 하지만 열화상 그래프와 약 5°C가 차이가 났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 수동적 적외선 열화상 기법을 적용한 120W급 LED조명등 건전성 평가에 대해 연구하였고, 실험을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 적외선 열화상 카메라와 써머커플(Thermocouple)을 이용하여 120W급 LED조명등의 발열부의 온도분포를 2시간 가량 측정한 결과 약 50분 후부터는 크게 온도변화 없이 일정하게 유지하였으며, 이때 적외선 열화상 카메라로 촬영한 온도가

약 65°C, 써머커플로 측정한 온도가 약 60°C로 약 5°C로 차이를 보였다. 이에 따른 이유는 5°C의 열손실로 사료된다.

2. 써머커플(Thermocouple)을 이용하여 온도분포를 체계적으로 측정하여 LED의 온도 균일도를 파악하였다.

#### 후 기

“이 논문은 2016년 교육부와 한국연구재단의 지역 혁신창의인력양성사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (2014H1C1A1066959).”

#### REFERENCES

1. Jung, Y. S., “Optimal design and Soundness Evaluation of LED Integrated Lighting System That Is Applied with Remote Control Method,” A Thesis for a master degrees, Chosun Univ., Republic of Korea, 2017.
2. Song, H. C., “A Study on the Thermal Radiation of 50W COB LED Module for High Efficiency LED Lighting,” A Thesis for a master degrees, Chonbuk National University, Republic of Korea, 2016.
3. Cho, Y. T., Lee, C. H., “Performance Evaluation of Heat Radiant for 50W LED by the CNT Thermal Interface Material,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 6, pp. 23-29, 2014.
4. Cho, Y. T., Lee, C. H., “Heat Sink of LED Lights Using Engineering Plastics,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 12, No. 4, pp. 61-68, 2013.
5. Hwang, J. D., Ko, D. S., “Development of a High Efficient LED System for the Plant Growth,” J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 4, pp. 121-129, 2014.
6. Jang, H., Suh, J. S., 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.
7. Yun, H. Y., Ko, T. J., Kim, H. C., "Development of Stereolithography Apparatus by using UV-LED," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 2, pp. 15-20, 2014.
  8. Lee, S. H., Moon, H. J., Hue, S. B., Choi, S. D., "Development of LED Module Control-based PWM Current for Control of Heat-dissipation," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No. 6, pp. 129-135, 2015.
  9. Yoo, J. Y., Park, S. H., "Natural Cooling Characteristics of a Heat Sink for LED Headlight used in Passenger Cars," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 16, No. 2, pp. 142-148, 2017.
  10. Kim, J. S., Ryu, B. S., Kim, K. H., Song, K. H., Cho, M. W., "Development of Internal Laser Scribing System for Cutting of Sapphire Wafer in LED Chip Fabrication Processes" J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 14, No. 6, pp. 104-110, 2015.
  11. Lee, T. H., Choi, S. D., "Characterizations of Luminance for Varied LED Based Surface Lighting Designs" J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 15, No. 6, pp. 70-76, 2016.
  12. Yun, S. U., Kim, J. Y., Choi, S. H., Kim, H. W., "Inspection System of Coating Layers by Thermal Behavior Effect," J. Korean Soc. Manuf. Process Eng., Vol. 13, No. 6, pp. 1-7, 2014.