

# 히트파이프 및 스택핀을 이용한 50W급 옥외용 LED 모듈개발

(Development of Outdoor 50W-LED Module using Heat-pipe and Stack-fin)

홍석기\* · 정희석 · 염정덕\*\*

(Seok-Gi Hong · Hee-Suk Jeong · Jeong-duk Ryeom)

## Abstract

We proposed 50W-LED modules of using Heat-pipe and Stack-fin and produced LED modules was evaluated heat dissipation characteristics with comparison of the conventional die-casting type. It verified the application of products by applying it to 150W-LED road luminaires through simulation. The LED module was measures aimed design temperature of the Stack-fin and showed 26% upward heat dissipation effect than a conventional die-casting type. The luminous efficacy of 150W-LED road luminaires using this LED module reached over 112lm/W, and the simulation results showed average of horizontal luminance, overall luminance uniformity( $U_0$ ) and lane luminance uniformity( $U_l$ ) that is suitable for five-lane road with the KS standards.

Key Words : Heat-Sink, Heat-Pipe, Stack-Fin, Led Module, Outdoor Luminaire

## 1. 서 론

최근 조명용 LED 시장에서는 고출력화, 소형화, 경량화, 저가격화를 요구하고 있으며, 옥외용 LED 조명 기구의 경우 장수명 및 유지보수의 장점으로 기존 HID방전램프의 시장을 대체하며 빠르게 성장하고 있다[1]. 이러한 옥외용 조명기구는 도로환경에 적합한 배광형태를 구현하여야 하므로 렌즈를 비롯한 2차 광학계의 추가 사용이 불가피한 상황이다. 또한 예측하

기 어려운 다양한 옥외환경에서 LED조명기구의 수명에 대한 신뢰성을 보장하고, 안정적인 상용화 제품을 생산하기 위해서는 핵심기술인 방열기술의 확보가 필요하다.

LED조명의 방열기술 개발 현황은 LED 패키지 레벨에서의 원천기술인 소재부품 기술개발이 대기업 중심으로 이루어지고 있으며 중소 및 중견기업에서는 모듈이나 완제품 레벨에서의 구조개선 및 추가부품 채용 등의 방법으로 방열기술 개발이 활발히 진행되고 있다[2].

옥외용 LED조명기구의 경우 도로환경에 적합한 배광형태를 구현하기 위해서 리플렉터나 렌즈를 사용하며, 기존 메탈헬라이드 램프와 고압 나트륨램프의 광속을 대체하기 위해서는 고출력 LED패키지를 사용하여 100W급 이상의 등기구를 설계한다.

\* Main author : Doctor's course, Department of Electrical Engineering, Soongsil University  
\*\* Corresponding author : Professor, Department of Electrical Engineering, Soongsil University  
Tel : 02-828-7267, Fax : 02-826-5125  
E-mail : cosmos01@ssu.ac.kr  
Received : 2015. 9. 14.  
Accepted : 2015. 10. 5.

초기에는 도로조건에 적합한 배광 및 고출력을 구현하기 위해서 PCB 전면에 다수의 LED패키지를 배열하였으나 일부 패키지에 불량 발생하면 전체를 교체해야 하는 유지보수의 문제점이 발생하였다. 또한 100W급 이상의 등기구의 경우 신뢰성을 확보하기 위한 방열설계를 하다 보니 크기가 커지고 중량이 무거워져 안전성의 문제가 지적되었다. 따라서 방열, 방수, 중량 및 유지보수 등을 고려한 적절한 출력의 LED 모듈 개발은 매우 중요하다.

본 논문에서는 옥외용 조명기구에 사용이 가능하도록 방열특성이 개선되고 신뢰성이 확보된 50W급 LED 모듈을 개발하였다. 이를 위해 히트파이프(Heat-pipe)와 스택핀(Stack-fin)을 이용한 방열구조를 제안하고 제작된 LED 모듈을 종래의 다이캐스팅 방열구조와 비교 평가하였다. 또한 제안된 LED 모듈을 사용하여 150W급 가로등기구를 제작하고 배광 분포를 측정하였다. 이 배광 데이터를 사용하여 도로 조명 시뮬레이션을 실시하고 제품 적용 가능성을 검증하였다.

## 2. 히트파이프 및 스택핀을 이용한 옥외용 50W급 LED 모듈개발

### 2.1 PCB 및 2차 광학계 설계

본 연구에 사용된 LED 패키지는 LG Innotek社 3.4×3.4mm 크기로 주요사양은 표 1과 같다.

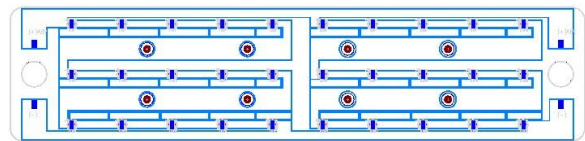
Table 1. White LED Package Specification

$I_f$	$V_f$	Power
700mA	3.06V	2.142W
CCT	CRI	$\Phi_v$
5700K	75Ra	281lm

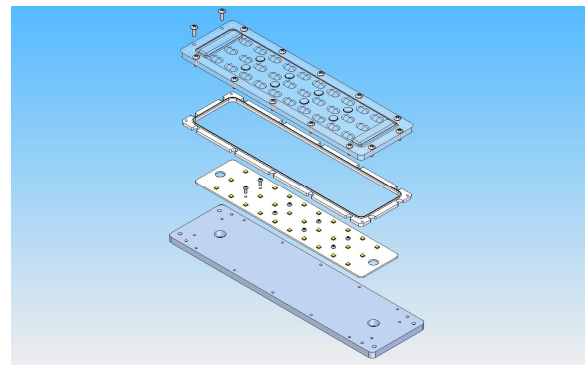
LED의 정격동작전압은 3.06V이고 동작전류는 700mA이다. 또한 열저항은 6°C/W@350mA, 정선온도는 150°C@1,500mA이다[3]. PCB는 그림 1 (a)와 같이 1.6mm의 알루미늄 기판에 백색 LED 패키지 30개

를 15직렬 2병렬로 실장하였다.

도로조명과 같이 직사각형 형태를 가진 영역을 조명하는 경우에는 등기구의 효율이 높다고 하여도 균제도의 문제가 남게 되어 등기구의 효율만으로 도로조건에 부합하는지의 여부가 불확실하게 된다. 따라서 도로조명에서 배광 설계 시 기본 LED모듈만의 120° 램버시안(Lambertian) 방사에서 가지지 못한 균제도 특성을 위해 배트윙(Bat-wing) 배광을 설계한다[4-5].



(a) LED PCB Structure



(b) Optic Lens and Module Structure

Fig. 1. LED PCB and Lens

따라서 LED 가로등기구에 적용 가능한 비대칭(Asymmetric)의 배트윙 배광을 구현하기 위한 렌즈는 15mm 크기로 30개를 일체형 구조로 설계하였다. 또한 그림 1 (b)와 같이 모듈단위의 방수 및 방진을 위하여 실리콘 패키징을 제작하여 알루미늄 베이스와 조립하였다.

### 2.2 히트파이프 설계

히트파이프는 연속적으로 일어나는 작동유체의 증발과 응축에 의해 액체와 증기 간 상변화 시의 잠열(latent heat)을 한쪽에서 다른 한쪽으로 이송시키면서 높은 열전도 성능을 얻는 효율적인 열전달 장치이다.

히트파이프(Heat-pipe)에 적용되는 Wick의 종류는 구리소결 Wick(Copper Sintered Wick), 그루브 Wick(Grooved Wick), 스크린 메시 Wick(Screen Mesh Wick)의 각 제조업체별로 고유한 Wick들이 있다. 일반적으로 그루브 Wick과 스크린 메시 Wick은 저비용으로 제작이 용이하여 널리 사용되고 있으나 모세관력이 상대적으로 작고 열 수송 능력이 떨어진다. 반면에 소결Wick은 금속 분말을 파이프 내부에 소결시켜 일체형으로 제작하기 때문에 높은 모세관 압력을 발생시키며 중력의 반대 방향을 포함해서 어느 방향으로든 높은 효율로 동작할 수 있는 장점이 있다. 또한 열유속을 수송할 수 있는 능력과 더불어 작동유체의 증발에 유리한 넓은 표면적을 보유한다[6].

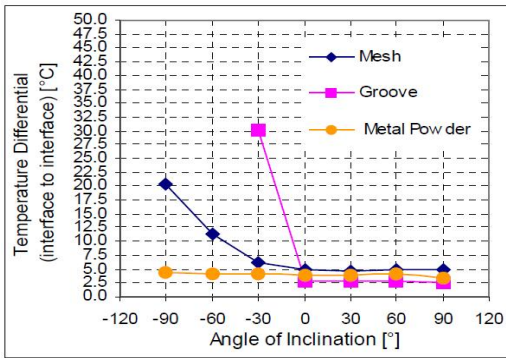


Fig. 2. Thermal performance with Different wick structures at different inclination angles[7]

히트파이프에서 열전도의 안정적인 성능을 보장하기 위해서는 설치되는 각도의 변화와 상관없이 일정한 성능을 발휘해야 한다. 그림 2는 기울기에 따른 Wick의 종류별로 양끝단 온도차이를 비교 평가한 것이다. 히트파이프의 응축부가 위로 올라가면 각도가 +90도이고, 응축부가 내려가면 -90도이다. 그래프에서와 같이 구리소결 Wick이 기울기에 따른 성능이 일정함을 알 수 있다[7]. 따라서 히트파이프는 구리소결 Wick으로 외경 6mm, 246mm로 설계하였다.

### 2.3 스택핀을 이용한 방열설계

스택핀의 구조는 그림 3과 같이 계단형 인터록킹 결

합부를 통해 조립이 가능하다. 또한 중앙부에 공간을 설계하여 자연대류를 용이하게 하였다.

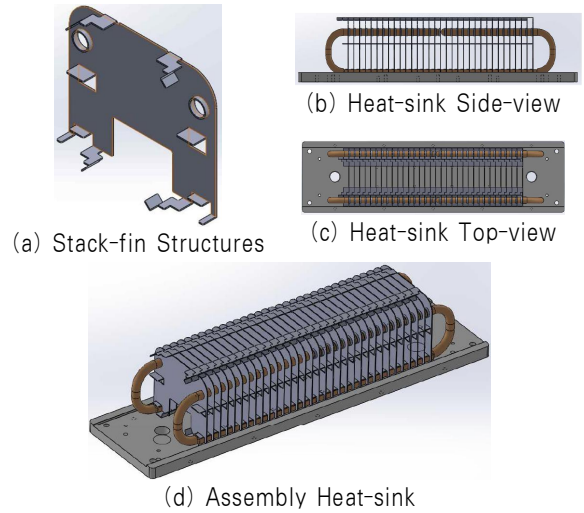


Fig. 3. Heat-sink Structure

스택핀의 수직방향의 높이( $H_{fin}$ )는 49.5mm이고, 수평방향의 길이( $L_{fin}$ )는 61mm로 설계하였다. 대류가 가장 잘 일어날 수 있도록 공기의 저항을 최소화해서 열 전달을 최대화 할 수 있는 최적의 핀 간격은 핀이 등온이고 핀의 두께가 핀 사이의 간격에 비해 상대적으로 작을 때 이다. 그러므로 스택 핀의 간격은 최적 핀 간격을 구하는 히트싱크 설계 이론식을 통해 설계하였다[8-9].

$$S_{opt} = 2.714 \frac{H_{fin}}{Ra_L^{0.25}} \quad (1)$$

$$Ra_L = \frac{g\beta(T_s - T_\infty)L_{fin}^3}{\nu^2} \times P_r \quad (2)$$

- $S_{opt}$  : 최적 핀 간격
- $H_{fin}$  : 방열핀의 수직방향의 높이
- $L_{fin}$  : 방열핀의 길이
- $Ra$  : 레일리(Rayleigh) 수
- $P_r$  : 프렌틀(Prandtl) 수
- $g$  : 중력가속도
- $\beta$  : 대기의 체적팽창계수

$T_s$  : 핀의 표면온도  
 $T_\infty$  : 유체의 온도  
 $\nu$  : 유체의 동점계수

여기서 중력가속도  $g \approx 9.8\text{m/s}^2$ , 대기의 체적팽창계수  $\beta = 0.00366$ , 대기의 동점계수  $\nu = 1.89 \times 10^{-5}\text{m}^2/\text{s}$ , 프렌틀 수는  $P_r = 0.708$ , 방열핀의 목표온도  $T_s = 45^\circ\text{C}$ , 유체의 온도(주위온도)  $T_\infty = 25^\circ\text{C}$ 라고 가정하고, 식 (1), (2)에서 계산하면 최적 방열핀 간격  $S_{opt} = 5.2\text{mm}$ 이다. 따라서 방열핀은 5.2mm 간격으로 33개의 방열핀을 배치하였다.

### 2.4 방열특성 비교평가

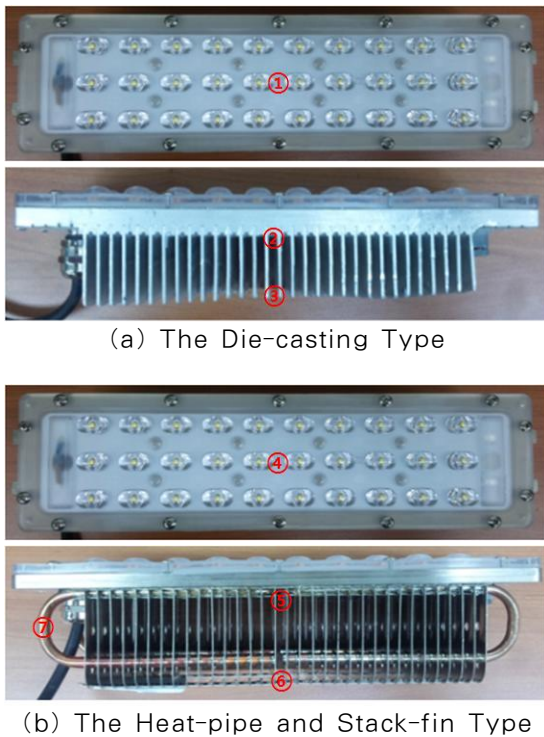
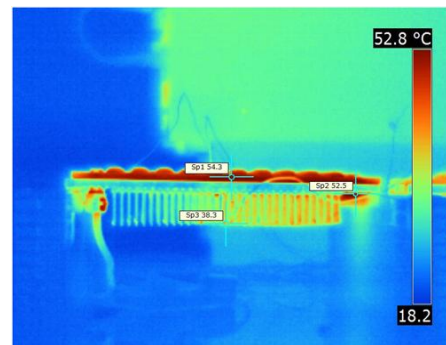


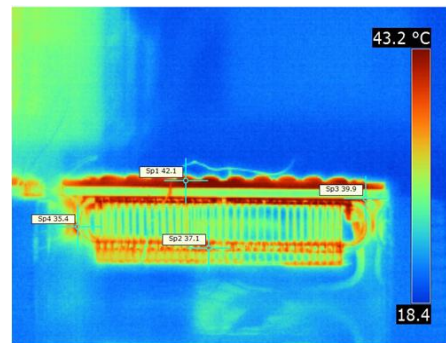
Fig. 4. Heat dissipation comparative assessment

히트파이프와 스택핀을 적용한 LED 모듈의 방열특성을 평가하기 위해서 동일한 LED PCB에 다이캐스팅 타입의 히트싱크를 제작하여 온도특성 및 광특성을 비교 평가하였다. 각각의 LED모듈에 직류 전원장치(TCE 8951, TOELLNER社)로 정격전류(1.1A)를

공급하여 전기적 특성의 편차가 0.5% 이하로 안정화되었을 때 온도타점기록계(MV2000, Yokogawa社), 열화상카메라(FLIR-P20, FLIR System社), Gonio-photometer(C-type, PSI社)를 이용하여 측정하였다. 온도측정 위치는 아래 그림과 같이 패키지, 히트싱크 상단 ① ④, 히트싱크 하단 ② ⑤, 히트파이프 ③ ⑥를 측정하였다.



(a) The Die-casting Type



(b) The Heat-pipe and Stack-fin Type

Fig. 5. Measurement Result of LED Module

각각의 LED 모듈의 온도 및 광특성 측정 결과를 그림 5와 표 2에 나타내었다. 다이캐스팅 타입의 경우 전체적으로  $59^\circ\text{C}$  이상의 온도가 측정되었다. 패키지 단의 온도가  $69.3^\circ\text{C}$ 이며, 히트싱크 상단과 하단의 온도차이는  $10^\circ\text{C}$ 로 열전도 및 열방사가 이루어지지 않아 잠열이 존재한다. 히트파이프와 스택핀 타입의 경우 전체적으로  $51.5^\circ\text{C}$  이하로 측정되었으며, 패키지 부분의 경우 다이캐스팅 타입보다  $17.8^\circ\text{C}$ 가 낮아 26%의 방열효과가 나타났다. 스택핀의 구조 설계 시 목표 온도로 설정했던  $45^\circ\text{C}$ 와 근사한 온도가 측정되었으며,



히트싱크의 균일한 열분포 특성을 나타내므로 방열특성이 안정적인 것으로 평가되었다. 또한 광특성을 측정한 결과 히트파이프와 스택핀을 적용한 방열판을 장착할 경우 종래의 다이캐스팅 타입 대비 광속은 2.6%, 광효율은 2.7lm/W가 향상되었다.

Table 2. Measurement Result of LED Module

구분	다이캐스팅 타입	히트파이프와 스택핀 타입	증감치(Δ)
전압	44.9V	45.1V	-
전류	1.1A	1.1A	-
전력	49.4W	45.1W	-
광속	5 893lm	6 049lm	156lm
광효율	119.2lm/W	121.9lm/W	2.7lm/W
패키지	① 69.3℃	④ 51.5℃	17.8℃
히트싱크 상단	② 61.2℃	⑤ 46.8℃	14.4℃
히트싱크 하단	③ 59.3℃	⑥ 44.4℃	14.9℃
히트파이프	-	⑦ 44.9℃	-

### 3. 150W급 LED 가로등기구 제작 및 평가

히트파이프 및 스택핀을 이용한 50W급 LED 모듈을 3개를 적용하여 그림 6와 같이 150W급 가로등기구를 제작하였다. LED 가로등기구 설계 시 다음과 같은 조건을 검토하여 제작하였다.

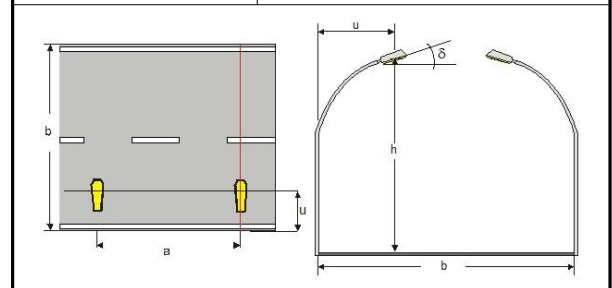
1. 총광속, 광효율, CRI, CCT를 고려한 LED 패키지 선정
2. 전기적 특성, 배광 및 광효율을 최적화 할 수 있는 PCB 설계
3. 도로환경 및 설치조건에 따른 평균노면휘도, 종합균제도( $U_0$ ), 차선축 균제도( $U_1$ ) 등을 고려한 광학계 설계
4. 방수, 방진, 중량 및 유지보수를 위한 구조설계
5. 신뢰성 보증을 위한 방열설계



Fig. 6. 150W road luminaires for applying Heat-pipe and Stack-fin

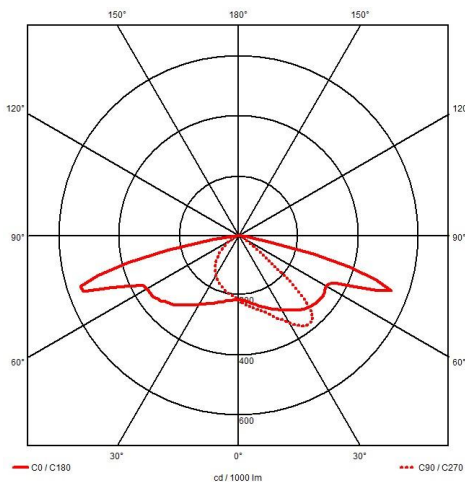
Table 3. Condition of the Simulation

도로조명등급	M3
노면 등급	R3
설치높이(h)	12.0m
조명기구배열	마주보기
오버행(u)	2.5m
경사각도( $\delta$ )	5°
등기구 간격(a)	48.0m
도로폭(b)	5차선(19.75m)
보수율	0.70

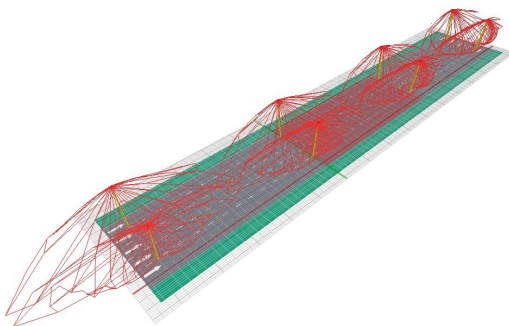


제작된 LED가로등기구를 KS C 7658(LED 가로등 및 보안등기구)을 적용하여 평가하였다[10]. 배광측정 시 150W급 LED 전용 컨버터를 장착하여 측정하였으며, Goniophotometer(C-type, PSI社)를 이용하여 배광측정 후 IES 포맷파일로 시뮬레이션 소프트웨어(Relux Pro, Relux Infimatik AG社)를 이용하여 등기

구 광효율, 평균 노면휘도, 종합 균제도( $U_0$ ), 차선축 균제도( $U_I$ )를 평가하였다[11]. 시뮬레이션 조건은 표 3 과 같으며, 도로조건(M3)은 상하행선이 분리되고 교차부는 모두 입체교차로로써, 출입이 완전히 제한되어 있는 고속의 도로, 자동차 전용도로 또는 고속도로이다. 노면조건(R3)은 어두운 색의 혼합재를 갖는 아스팔트 도로 표면으로 차선당 3.95m씩 5차선으로 총 19.75m이다. 등기구 설치조건은 12m 높이에 48m 간격으로 설치되었음을 가정한다.



(a) Light Distribution Curve



(b) 3D Light Distribution Image

Fig. 7. Measurement Result of Light Distribution

측정결과 LED 가로등기구 광속은 16 406lm, 광효율은 112lm/W 로 측정되었다. 시뮬레이션 결과는 표4과 같이 평균 노면휘도는 1.23cd/m<sup>2</sup>, 종합 균제도는 0.40, 차선축 균제도는 0.68로 KS표준에 적합함을 확인할 수 있었다.

Table 4. Result of the Simulation

구분	KS 기준치 (최소허용치)	시뮬레이션 결과	
평균 노면휘도 $L_{avg}$ (cd/m <sup>2</sup> )	1.00	1차선	1.23
		2차선	1.24
		3차선	1.25
		4차선	1.24
		5차선	1.23
종합 균제도 $U_0(L_{min}/L_{avg})$	0.40	1차선	0.41
		2차선	0.44
		3차선	0.49
		4차선	0.44
		5차선	0.40
차선축 균제도 $U_I(L_{min}/L_{max})$	0.60	1차선	0.79
		2차선	0.89
		3차선	0.85
		4차선	0.85
		5차선	0.68

#### 4. 결 론

본 논문에서는 히트파이프(Heat-pipe) 및 스택핀(Stack-fin)을 이용한 50W급 방열구조를 제안하고 제안된 LED 모듈을 종래의 다이캐스팅 방열구조와 비교 평가하였다. 또한 제안된 LED 모듈을 사용하여 150W급의 가로등기구를 제작하고 배광분포를 측정하였다. 이 배광데이터를 사용하여 도로조명 시뮬레이션을 통한 제품적용 가능성을 검증하였다.

PCB 및 2차 광학계는 직사각형 형태의 도로영역을 조명하기 위해서 패키지의 광효율 뿐만 아니라 균제도 특성을 위해 배트윙(Bat-wing) 배광을 설계하였다. 방열을 위한 히트파이프는 설치되는 각도의 변화와 상관없이 열전도의 안정적인 성능을 보장하기 위해서 구리소결 와를 채용하였다. 또한 스택 핀의 간격은 최적 핀 간격을 구하는 히트싱크 설계 이론식을 통해 설계하였으며, 스택핀의 목표온도로 설정했던 45°C와 근사한 온도가 측정되었다. 개발된 LED 모듈을 종래의 다이캐스팅 방열구조와 비교평가한 결과 기존 다이캐스팅 타입보다 26% 향상된 방열효과가 나타났

으며, 히트싱크의 균일한 열분포 특성을 나타내므로 방열특성이 안정적인 것으로 평가되었다. 또한 광특성을 측정된 결과 히트파이프와 스택핀을 적용한 방열판을 장착할 경우 종래의 다이캐스팅 타입 대비 광속은 2.6%, 광효율은 2.7lm/W가 향상되었다.

개발된 LED 모듈을 사용하여 150W급의 가로등기구를 제작하여 배광분포를 측정된 결과 112lm/W의 등기구 광효율과 5차선 도로조건에서 평균 노면휘도, 종합 균제도, 차선축 균제도가 KS규격에 적합함을 확인하였다.

### References

- [1] U. S. Department of Energy, "Multi-Year Program Plan", Solid-State Lighting Research and Development, April, 2014.
- [2] S. B. Song, "LED Lighting Component Technology Trends and Forecasts", Proceeding of the KIEE, Vol 29, No. 2, pp 22-34, March. 2015.
- [3] LEMWA33X75GX1000 LG Innotek LED data sheet.
- [4] W. J. Jang, Y. S. Jeon, "FTE Applying to the SSL outdoor luminaires", Proceeding of the KIEE, Vol 24, No. 2, pp 42-46, March. 2010.
- [5] B. J. Jung, S. W. Jang and Y. G. Roh, "Development of Optical System for 50W LED Security Lamp" Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 13, No. 1 pp. 296-305, Jan. 2012.
- [6] K. B. Kim and Y. Kim, "Analysis of Heat Transport Limitations of the Heat Pipe for Structural Characteristics of Sintered Metal Wick", KSAS, Vol 33, No. 9, pp 97-103, Sep. 2005.
- [7] C. K. Loh, E. Harris and D. J. Chou, "Comparative Study of Heat Pipes Performances in Different Orientations", proceedings of the 21th IEEE SEMI-THERM Symposium, pp 191-195, March, 2005.
- [8] K. S. Kim, "Study on the development of module type LED street light for the optimization of heat dissipation and light", Ph.D. dissertation, Univ. Seoul Venture, Korea, 2012.
- [9] A. Messac, R. S. Birthwright, T. Harren-Lewis, and S. Rangavajhala, "Optimizing Thermoelectric Cascades to Increase The Efficiency of Thermoelectric Windows", 49th AIAA/ASME/ASCE Structures, Structural Dynamics and Material Conference, April, 2008.
- [10] KS 7658, LED Luminaires for Road and Street Lighting, 2014.
- [11] Relux Professional 2007 Manual.

### ◆ 저자소개 ◆



#### 홍석기 (洪錫基)

2005년 서울과학기술대학교 전기공학과 졸업. 2008년 한양대학교 대학원 졸업(석사). 현재 숭실대학교 전기공학부 박사과정. 1982~2012년 한국토지주택공사 본부장. 2012년~현재 (주)레젠 대표이사.



#### 정희석 (鄭熹錫)

2002년 광운대학교 전기공학과 졸업. 2009년 광운대학교 대학원 전자물리학과 졸업(석사). 현재 숭실대학교 전기공학부 박사과정. 2002~2015년 한국조명연구원 디자인표준연구본부 융합표준팀 팀장. 2015년~현재 (주)레젠 기술연구소장.



#### 엄정덕 (廉正德)

1987년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 숭실대학교 전기공학부 교수.