

PCM을 이용한 LED 가로등의 방열에 관한 연구

정의찬* · 장성호*[†] · 강석원** · 김민호** · 노권학*** · 이영욱**** · 최유복*****

*금오공과대학교 산업시스템공학과

**LG전자

***LG 디스플레이

****지텍

*****Top Run Family

A Study on the Heat Dissipation of LED Streetlight Using PCM

Eui Chan Jung* · Sung Ho Chang*[†] · Seoug Wan Kang** · Minho Kim** · Kwonhak Nho***
Young Wook Lee**** · Yu Bok Choi*****

*Department of Industrial and Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology

**HE Procurement Engineering Department, LG Electronics

**Chief Research Engineer, PDP Quality Engineering Group, LG Electronics

***Manager, Fab Environment System Technology Team, LG Display

****CEO, G Tech

*****Director, Top Run Family

In recent years, conventional streetlight is replaced by LED streetlight to reduce power consumption dramatically and to maximize lighting effects. However the characteristic of power LED itself driven by high current to increase the illumination, we need to develop effective heat release device.

This study suggests new concept of heat dissipation device using PCM (Phase Change Material) and shows an experiment results to investigate thermal effects of PCM.

Keywords : LED, PCM, Streetlight

1. 서 론

18세기 말 에디슨이 필라멘트를 이용한 전구를 발명하면서 조명이라는 일상의 혁명을 얻게 되었다. 이후 130년간 전구와 형광등을 이용한 광원은 인류의 생활에 커다란 변화의 발전을 불러왔다. 발광다이오드(Light Emitting Diode

: LED)는 1962년 GaAs 화합물 반도체를 이용하여 최초로 소개되었다. 초창기 LED는 낮은 광 효율로 적색의 단순한 색상으로 주로 표시용 소자로 사용되었다. 1990년도 초반에 들어서야 반도체 박막 성장 기술의 발달로 인해 고휘도 LED 생산이 가능하게 되었다.

1990년도 후반에 들어서 나카무라 슈지 박사에 의해

논문접수일 : 2010년 09월 12일 논문수정일 : 2010년 11월 15일 게재확정일 : 2010년 11월 18일

[†] 교신저자 changsh@kumoh.ac.kr

※ 본 연구는 금오공과대학교 교내연구비지원에 의한 연구임.

GaN 기반의 청색 LED가 개발되었고, 고휘도 청색 LED의 상용화가 이루어짐에 따라, 하나의 칩에 형광체를 접목시키는 방법으로 청색 LED로부터 발산하는 청색광과 그 빛의 일부를 이용해 $Y_3Al_5O_{12} : Ce_3 + (YAG : Ce)$ 형광체를 여가시켜 얻어지는 황색광(560nm)을 사용함으로써 백색을 발산하는 백색 LED가 처음으로 등장하게 되었다. 최근 Cree사에서 370[lm/W] 고효율을 나타내는 LED 멀티 칩 패키지가 개발되었으며, 이런 메이저 업체들의 지속적인 기술 경쟁으로 고효율의 LED 칩과 고휘력 LED 패키지의 연구가 활발히 진행되고 있다.

또한 환경안전에 대한 세계적인 관심이 높아지면서 RoHS 등의 환경관련 규약에서는 2006년 7월부터 Co_2 나 Hg 등의 유해물질을 사용하지 않는 친환경 광원을 사용하도록 시행하고 있다.

현재 LED는 실외조명과 광색가변 및 색온도 제어 감성조명 및 경관조명, 다리조명, 분수조명 등 장식용 조명으로 각광받고 있으며 실내조명용 10W 이내의 MR16이나 PAR 형태의 광원개발과 도로조명의 가로등 및 보안등에 적용 개발로 인해 그 영역을 확대해 나가고 있다.

특히 가로등은 가로 교통의 안전과 보안을 위하여 가로를 따라서 설치한 조명시설로서, 고속도로, 시가지의 주요도로, 상업지구 도로, 주택지구 도로, 공원 등 설치장소에 따라 다양한 종류의 가로등이 설치되어 있으며, 광원으로는 고압수은등, 형광등, 나트륨등, 메탈 할라이드램프 등이 사용되고 있었으나, 최근 들어 세계적인 에너지 절약 추세에 따라, 가정이나 사무실에서 지금까지 사용되고 있었던 조명등은 물론 가로등에도 전력소모를 획기적으로 줄이면서도 조명효과를 극대화시킬 수 있는 LED를 사용한 가로등으로 교체되고 있는 것이 대세이다.

하지만 LED는 전력을 빛으로 변환시키는 효율이 좋은 반면, 그 발광부위가 반도체 소자로 이루어져 있으므로 필라멘트를 사용하는 백열등이나 음극선을 이용한 형광등 또는 형광램프 등의 발광소자에 비해 상대적으로 열에 취약하다는 단점이 있다. 다시 말해서, LED는 장시간 사용 시 그 발광소자로부터 발생하는 자체 열에 의한 열적 스트레스로 인하여 반도체소자가 쉽게 열화되어 그 성능이 떨어지게 된다. 따라서, LED에 대용량의 전류를 흘려 보내주기 위해서는 그로부터 발생하는 열을 효과적으로 방출하기 위한 방열구조가 대단히 중요한 요소가 된다.

최근 경쟁적으로 개발하고 있는 LED를 이용한 가로등은, 조도를 높이기 위해서 LED 소자의 광출력을 높여야 하기 때문에 기존의 LED 조명등에서 주류를 이루고 있는 20~90mA 구동에서 탈피하여 수백mA의 높은 전류로 구동시키고 있어서 방열이 심각한 문제로 대두되고 있다.

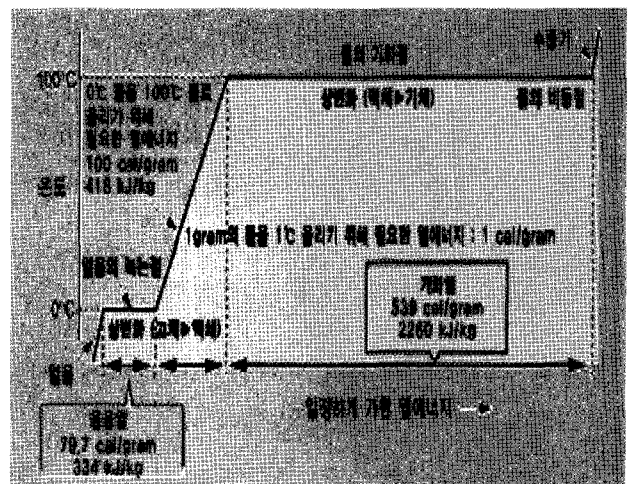
하지만 현재 사용되고 있는 LED 가로등의 방열판은 열전도도가 높은 알루미늄소재를 이용하여 다이캐스팅을 통한 복잡한 형상을 하고 있다. 복잡한 형상의 이유는 방열면적을 최대한 넓히기 위한 방법이며 이로 인해 최종제품의 형상에 영향을 미치며 방열판의 무게를 가중시키고 있다. 또한 현재의 방법으로는 방열효과에 한계가 있어서 일정시간이 흐르게 되면 앞에서 언급한 열화 현상이 발생하게 되어 가로등의 수명에 심각한 영향을 미칠 수 있다.

따라서 본 연구에서는 상변환물질(Phase Change Material : PCM)을 이용하여 광원으로 LED를 사용하는 가로등을 점등 시켰을 때 LED 소자로부터 발생하는 고온의 열을 신속하고 효율적으로 방열시키고자 하는 방열판 설계를 목적으로 한다. 이를 위하여 기존의 다이캐스팅에 의한 중량증가와 형상의 복잡성을 피하기 위하여 본 연구에 사용된 방열판은 압출에 위한 방식으로 제작함으로써 형상의 단순화와 열전도에 막대한 영향을 미치는 벽두께를 원하는 대로(최소 3mm) 만들 수가 있도록 하였다.

2. 실험환경

상변화물질(Phase Change Material : PCM)은 온도에 따라 액체에서 고체로 고체에서 액체로 변하면서 잠열(열을 저장)하거나 방열(열을 방출)하는 자동 온도조절 기능성 물질을 의미하며, 0도에서 얼고 녹는 물과 얼음의 이치와 같다.

고체상태의 상변화물질에 열을 가하면 용융점, 즉 녹는점에 도달하게 된다. 이때 상변화물질은 고체에서 액체로 상이 변하면서 용융엔탈피로 알려진 일정한 양의



<그림 1> 물과 얼음의 상변화

열을 흡수하기 시작한다. 이 물질은 열이 투입 되었음에도 불구하고 일정한 온도로 머물게 된다.

이를 두고 그 물질은 잠열을 가지고 있다고 하며 반대로, 액체에서 고체로 상변화가 일어나는 경우에는 저장한 잠열을 방출하여 일정한 온도를 유지하게 된다.

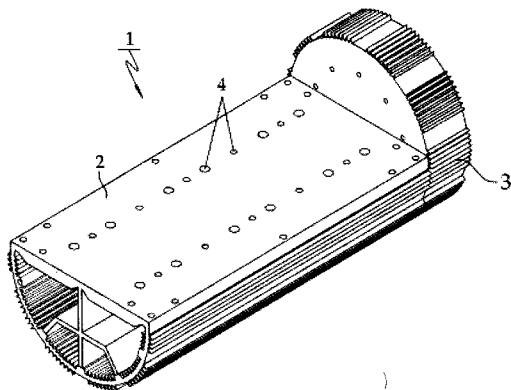
본 연구에서는 이러한 상변화물질의 특성을 이용하여 LED를 이용한 가로등 방열판의 방열효과에 대한 실험을 통하여 방열판설계를 하고자 하는 것이다.

3. 연구내용 및 실험방법

본 장에서는 제안하고자 하는 방열판에 PCM을 사용하였을 때와 사용하지 않았을 때의 방열효과에 대하여 알아보하고자 한다.

3.1 개선 방열판 제안

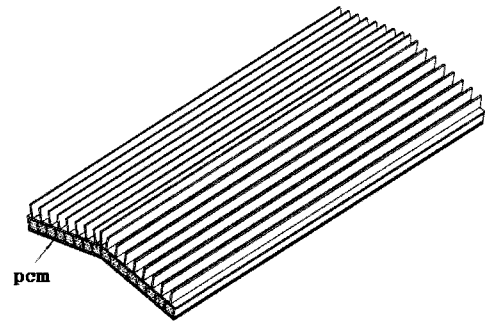
LED를 사용한 가로등에서 발생하는 열을 효과적으로 방출시키기 위하여 출현한 기술 중의 하나가 자연냉각식 방열핀으로 구성된 방열판인데, <그림 2>를 간략히 설명하면, 방열기(1)는, LED 모듈에 결합되는 반원기둥 형상의 제 1방열부(2)와, 일측이 밀폐된 원기둥 형상의 제 2방열부(3)로 구성되는데, 제 2방열부(3)는 밀폐된 측으로는 제 1방열부(2)에 결합되고, 타측(밀폐된 측의 반대측)으로는 소켓부가 결합된다. LED 모듈이 결합되는 제 1방열부(2)의 평판부에는 LED 소자에서 발생하는 열을 방출시키기 위하여 다수의 방열구멍(4)이 형성되고, 반원기둥의 구면부에는 일측 단부가 개방되고 내부와 외부로 다수의 방열핀이 형성되며, 방열효과를 높이기 위하여 구면부에는 길이방향으로 3~5개의 슬릿이 형성되어 있다. 또한 제 2방열부(3)는 일측이 밀폐된 원기둥 형상이고, 원기둥의 외주면으로는 다수의 방열핀이 형성되어 있다.



<그림 2> 자연냉각식 LED 가로등 방열판

그러나 위와 같은 자연냉각식 방열핀으로는 LED 소자에서 발생하는 열을 신속하고 효율적으로 방출시킬 수 없어서, 결국 LED 소자가 열화되어 LED의 수명이 단축되고, 전력소비가 많아지며, 발광효율 저하의 직접적인 원인이 되고 있다.

위와 같은 문제를 해결하기 위하여 제안된 개선안은 PCM의 잠열을 이용한 방열판이다(<그림 3>). 제안하는 방열판의 구조는 상부에 등간격으로 다수의 방열핀이 돌출 형성된 상판과 하부에는 PCB 기판에 다수의 LED 소자가 실장된 LED 모듈이 부착된 하판으로 구성된다. 상기 상판과 하판 사이에 액상에서 고상, 또는 고상에서 액상으로 변하면서 열에너지를 흡수 또는 방출하는 PCM을 충전하고, 상부에 돌출 형성된 방열핀은 방열판의 길이 방향을 따라 형성되어 있는 것을 특징으로 한다.

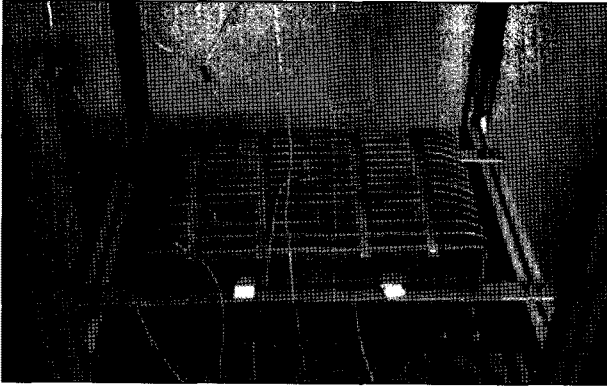


<그림 3> 잠열을 이용한 방열판

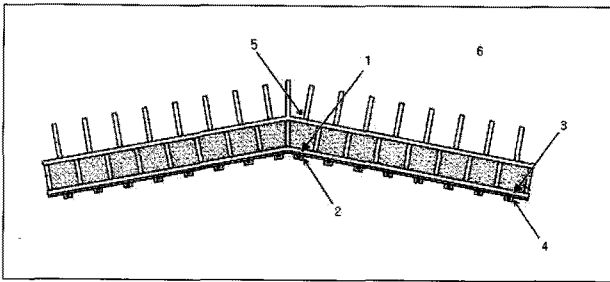
3.2 PCB 기판과 방열판의 온도측정방법

방열효과를 알아보기 위해 LED소자가 실장된 PCB 기판과 방열판에 온도센서를 부착한다. 정확한 온도측정을 위해 측정하려는 위치와 온도센서를 납땜을 하였다. 여러 종류의 온도센서가 있지만 DR130에 적합한 K-type 온도센서를 사용하였다. 실험목적에 맞게 온도센서를 부착하였다.

- 온도센서 부착위치(일반 방열판, <그림 4>)
 - 1) 방열판상부 중앙
 - 2) PCB 기판 중앙
 - 3) 방열판상부 모서리
 - 4) PCB 기판 모서리
 - 5) 주위온도 측정위한 실험실 내
- 온도센서 부착위치(PCM을 충전한 방열판, <그림 5>)
 - 1) PCB 기판 뒷면 중앙 LED 소자 위치
 - 2) PCB 기판 앞면 중앙 LED 소자 옆
 - 3) PCB 기판 뒷면 좌측끝 LED 소자 위치



<그림 4> 일반 방열판 온도센서 부착위치



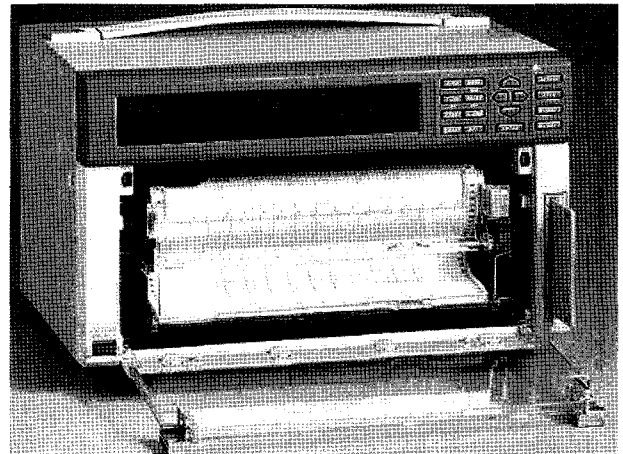
<그림 5> PCM을 충전한 방열판 온도센서 부착위치

부착한 온도센서의 온도를 측정하기 위해 사용된 온도레코더는 DR130 하이브리드 기록계(Hybrid Recorder)이다(<그림 6>).

DR130 하이브리드 레코더는 DAQ32 프로그램을 사용 시 이용하는 온도레코더로서 온도 및 전압의 다채널을 기록할 수 있고, 최대 300채널까지 확장이 가능하며 입력부의 Noise 문제를 해결하였고 채널수에 구애받지 않는 데이터 수집속도로 신뢰성이 뛰어나다.

이제 잠열을 이용한 개선된 방열판을 사용하여 방열의 효과를 알아보기 위해 PCM이 없을 때와 방열판에 PCM을 삽입했을 때, LED가로등을 점등시켜 온도 변화를 실험해보았다.

정확한 효과를 보기 위해 한 번 실험할 때 마다 최소



<그림 6> DR130 하이브리드 기록계

30시간은 가동시켰으며, 평상시 도로에서의 온도를 고려해 상온은 30℃가 되게 히터기를 이용하여 맞추었고 LED에서 밑으로 방출되는 열을 막기 위해 LED 모듈 아래를 유리판으로 덮었다.

최대 5초에 1회 데이터 값을 출력 할 수 있지만 엑셀로 변환 시 너무 데이터 양이 방대해 보기 어려우므로 5분에 1회 출력값으로 설정하였고 모니터상 출력값은 30초당 1회로 설정하였다.

LED소자의 수명을 극대화하기 위해 실험에 사용한 PCM은 용융점이 54℃인 PCM을 사용한다. 실험에 PCM은 2kg이 삽입되었다. 방열판에 PCM이 없을 때와 방열판에 PCM을 삽입했을 때의 실험은 실험환경의 오차를 고려해 각각 10회씩 실시하여 측정이 잘된 2개씩의 실험결과를 얻도록 하였다.

4. 결과 및 분석

개선된 방열판에 PCM을 넣었을 때와 PCM을 넣지 않은 기존의 방열판을 비교실험후 실험환경의 오차를 고려해 각각 10회씩 20번의 실험 중 주변 환경 등의 오차로 인한 실험을 제외하고 측정이 잘 된 두 개씩의 실험을 뽑아 비교 분석하였다.

측정결과 데이터는 가로등 점등 시부터 온도상승구간과 유지구간으로 나누어 볼 수 있다. 가로등 점등 시 기온기 감소 형태로 온도가 증가하기 시작해 방열유지 온도에 도달하여 온도가 일정하게 유지되었다. 이렇게 온도상승구간과 방열유지구간으로 나눈 것은 온도상승구간의 데이터를 제외시켜 방열유지구간 데이터만으로 평균비교 분석을 하기 위해서이다(<표 1>, <표 2>).

실험 결과 데이터는 통계분석 없이 직관적으로 온도가 떨어짐을 판단할 수 있으나 방열유지구간 데이터로

두 집단 간의 평균을 비교하기 위해서 같은 위치의 데이터로 짝을 이뤄 독립표본 t-검정을 실시하였다<표 3>.

<표 1> PCM이 없는 방열판온도

| | 온도상승 구간 | 방열유지구간 | | | | |
|------------|------------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| 평균 시간 | 2시간 48분 | • | | | | |
| graph type | 기울기 감소 그래프 | 기울기 = 0인 그래프 | | | | |
| 평균 온도 | • | Ch.1 | Ch.2 | Ch.3 | Ch.4 | Ch.5 |
| | | 58.53 | 70.34 | 59.29 | 75.30 | 31.32 |
| 표준 편차 | • | 0.80 | 0.80 | 0.85 | 0.95 | 2.32 |

- Ch.1 : 방열판상부 중앙
- Ch.2 : PCB 기판 중앙
- Ch.3 : 방열판 상부 좌측
- Ch.4 : PCB 기판 좌측
- Ch.5 : 주위온도 측정위한 실험실 내

<표 2> PCM을 삽입한 방열판온도

| | 온도상승 구간 | 방열유지구간 | | | | | |
|------------|------------|--------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 평균 시간 | 2시간 45분 | • | | | | | |
| graph type | 기울기 감소 그래프 | 기울기 = 0인 그래프 | | | | | |
| 평균 온도 | • | Ch.1 | Ch.2 | Ch.3 | Ch.4 | Ch.5 | Ch.6 |
| | | 51.50 | 63.09 | 53.01 | 61.13 | 41.08 | 31.04 |
| 표준 편차 | • | 0.42 | 0.82 | 0.53 | 3.27 | 1.06 | 2.21 |

- Ch.1 : PCB 기판 뒷면 중앙 LED 소자 위치
- Ch.2 : PCB 기판 앞면 중앙 LED 소자 옆
- Ch.3 : PCB 기판 뒷면 좌측 끝 LED 소자 위치
- Ch.4 : PCB 기판 앞면 좌측 끝 LED 소자 옆
- Ch.5 : 방열판 상부 중앙
- Ch.6 : 주위온도 측정위한 실험실 내

집단통계량을 보면 PCM을 사용한 효과를 알아보기 위해 부착한 곳 모두에서 온도가 최소 7℃에서 최대 17℃까지 떨어짐을 확인할 수 있다.

<표 3> T-검정표

Group Statistics

| Experiment | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|------------|---|------|----------------|-----------------|
| 1 | 1 | 600 | 58.5390 | .80454 |
| | 2 | 600 | 41.0845 | 1.06042 |
| 2 | 1 | 600 | 70.3415 | .80322 |
| | 2 | 600 | 63.0937 | .82135 |
| 3 | 1 | 600 | 75.3073 | .95638 |
| | 2 | 600 | 61.1307 | 3.27843 |

Independent Samples Test

| | Levene's Test for Equality of Variances | | Independent Samples Test | | | | | | |
|---------------------------|---|------|--------------------------|------|-----------------|-----------------|-----------------------|---|----------|
| | F | Sig. | t | df | Sig. (2-tailed) | Mean Difference | Std. Error Difference | 95% Confidence Interval of the Difference | |
| | | | | | | | | Lower | Upper |
| 1 Equal variances assumed | 434.647 | .000 | 188.939 | 1198 | .000 | 7.03483 | .03723 | 16.96178 | 17.10788 |
| | | | | | | | | Equal variances not assumed | 188.939 |
| 2 Equal variances assumed | 304.658 | .000 | 154.537 | 1198 | .000 | 7.24783 | .04690 | 7.15582 | 7.33985 |
| | | | | | | | | Equal variances not assumed | 154.537 |
| 3 Equal variances assumed | 8205.162 | .000 | 101.683 | 1198 | .000 | 14.17667 | .13942 | 13.90313 | 14.45020 |
| | | | | | | | | Equal variances not assumed | 101.683 |

1의 독립표본 검정 결과를 보면 T통계량 값은 188.939이고 유의확률은 0.000이다. 단측 대립가설(PCM을 사용한 실험의 온도가 사용하지 않은 실험의 온도보다 낮다)을 세우면 1%의 유의수준에서도 귀무가설을 기각하고 대립가설을 채택하게 된다. 즉 PCM을 사용한 실험의 온도가 사용하지 않은 실험의 온도보다 낮다는 결론을 내릴 수 있다. 표준편차는 1미만으로써 크게 온도 변동 없이 온도가 유지됨을 알 수 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구는 LED 가로등 점등 시 발열하는 LED 소자의 온도를 60℃로 유지시켜 높은 광효율과 긴 수명을 유지할 수 있도록 하기 위해 실시되었다.

잠열과 방열을 하는 자동 온도조절 기능성 물질인 PCM을 이용하여 LED 소자로부터 발생하는 고온의 열을 효율적으로 방열시킬 수 있음을 확인하였다. 이번 실험에

서는 실험이라는 제약으로 인해 1회 실험을 길게는 4일이라는 시간동안 가동을 하여 data를 얻었다. 가로등이라는 특성상 좀 더 정확하게는 짧게는 1년이라는 시간동안 연속가동을 해 볼 필요가 있다.

개선된 방열판에 PCM을 삽입하는 과정에서 PCM을 담을 유용한 용기를 개발하는 것도 앞으로의 과제가 될 것이다. 54℃에서 녹는점을 가지는 PCM을 사용하였는데 좀 더 효과적인 연구결과를 얻을 수 있는 PCM이 있는지도 실험해보아야 할 것이다. 또한 2kg의 PCM을 투입하였는데 적정량을 검토해 볼 필요가 있다.

참고문헌

- [1] 이승민; “도로조명용 LED 광원의 히트싱크 설계와 열적/광학적 특성에 관한 연구”, 원광대학교, 2009.
- [2] 이인호; “발광다이오드(LED)조명에 관한 연구”, 서울산업대학교, 2008.
- [3] 박갑중 외; “LED 제조설비 제어기술” 성학당, 2007.
- [4] 황성민; “LED 기술 개요 및 시장동향”, 전자부품연구원, 2008.
- [5] 정재열; “LED : Green 에너지”, 굿모닝 신한증권, 2008.
- [6] 이석훈; “조명용 LED 기술시장 현황 및 응용 사례”, LG이노텍, 2008.
- [7] 씨에스텍; “LED 가로등의 잠열을 이용한 방열판”, 특허출원, 2009.
- [8] ThermoArt(써모아트); “PCM 소개자료”, 2009.
- [9] <http://artemis.kitech.re.kr/teag/pcm/2/2-1.htm>, 열에너지이용 기술연구그룹.
- [1] 이승민; “도로조명용 LED 광원의 히트싱크 설계와