

## 동도금 EP방열판에 의한 소형LED조명등 방열

조영태\*

(논문접수일 2010. 12. 14, 심사완료일 2011. 1. 12)

### Heat Radiation of LED Light using Cu Plating Engineering Plastic Heat Sink

Young-tae Cho\*

#### Abstract

Recently, the electronic parts are to be thinner plate, smaller size, light weight material and CPU, HDD and DRAM in all the parts have been produced on the basis of the high speed and greater capacity. Also, conventional goods have replaced a LED (Light-Emitting Diode) in lighting products so; such industry devices need to have cooling. To maximize all the performance on the heat-radiated products, the area of heat-radiated parts is required to be cooled for keeping the life time extension and performance of product up. Existing cooling systems are using radiant heat plate of aluminum, brass by extrusion molding, heat pipe or hydro-cooling system for cooling. There is a limitation for bringing the light weight of product, cost reduction, molding of the cooling system. So it is proposed that an alternative way was made for bringing to the cooling system. EP (Engineering Plastic) of low-cost ABS (Acrylonitrile butadiene styrene Resin) and PC (Polycarbonate) was coated with brass and the coating made the radiated heat go up. The performance of radiant heat plate is the similar to the existing part. We have studied experimentally on the radiated heat plate for the light-weight, molding improvement and low-cost.

From now on, we are going to develop the way to replace the exiting plate with exterior surface of product as a cooling system.

**Key Words** : Engineering plastic(엔지니어링 플라스틱), Copper plating(동 도금), Heat radiation(방열), Heat sink(방열판), LED light(엘 이디 조명), PC(폴리카보나이트)

### 1. 서론

최근 전자제품들은 박판의 소형 및 경량화 추세이며, 데이터 저장 및 데이터 처리 고속화 등으로 고성능화 되고 있다. 또한 조명관련 제품들도 친환경적이고, 고급 및 저능화 되고 있으며, 최근 들어 LED(Light Emitting Diode)로 기존 조명들의

교체가 진행되고 있다. 그러나 LED 및 많은 산업 장치들은 구동 시에 많은 발열로 인해 그 성능 및 수명에 큰 영향을 받게 된다. 따라서 냉각 또는 방열이 반드시 필요하다. 방열을 하는 모든 장치 및 제품들에 있어서 그 성능을 극대화하기 위해서는 방열부위에 대한 냉각 또는 방열을 실시하여 최적의 온도 조건을 유지하는 것이 제품의 성능 향상과 수명연장에 있어서 매우

\* 전주대학교 생산디자인공학과 (choyt@jj.ac.kr)  
주소: 560-759 전주시 완산구 효자동3가 1200

중요하다. 이때 장치 및 부품의 냉각 및 방열시스템은, 대부분 방열판(heat sink)이 필요하게 되는데, 방열판은 일반적으로 알루미늄(Al) 또는 동(Cu)으로 제작되고 있다<sup>(1,2)</sup>.

기존 방열시스템들은 알루미늄 또는 동을 압출성형 또는 여러 공정을 거쳐 조립제작한 방열판을 사용하거나, 히트 파이프(heat pipe)로 방열하고 있다<sup>(3)</sup>. 특히 전자제품에서 일반적으로 사용되고 있는 알루미늄 방열판은 압출성형 또는 다이캐스팅에 의한 제작으로 그 최적 형상 구현에는 한계가 있으며, 동의 경우 알루미늄보다 열전도율이 높아 방열효과는 뛰어나지만 가격이 높다는 단점이 있다. 또한 제품의 소형화 및 경량화를 위해서는 방열판 소재의 경량 및 성형성이 필요한데, 기존 소재들은 원가절감, 경량화, 성형성 등에 한계가 있어 많은 걸림돌이 되고 있다. 따라서 기존의 소재를 대체하거나 방열방식의 변화를 필요로 하게 되었다.

따라서 본 연구에서는 기존 소재 및 방식을 대체할 수 있는 방법으로, 가볍고 성형성이 우수한 ABS(Acrylonitrile Butadiene Styrene), PC(Polycarbonate) 등의 플라스틱 또는 엔지니어링 플라스틱(Engineering Plastic; EP)으로 대체하여 방열판 형상을 제작하고, 여기에 동을 도금함으로써 표면열전달에 의해서 방열하는 방열판을 제안하고 실현하기 위한 기초연구로서, 장착되어 있는 기존 알루미늄 방열판을 동도금 PC방열판으로 대체하고, 비교테스트를 통해 동도금 방열판의 방열성능 검토 및 적용 가능성을 확인하였고, 기존 방열판의 원가절감 및 경량화 실현이 가능한 EP활용 방열판의 적용 및 구현 방안을 제안하였다.

## 2. 방열 실험을 위한 LED조명

### 2.1 LED조명

LED 기술의 발전이 급격한 속도로 빨라짐으로서, 기존에 정보표시 소자로 주로 사용되던 LED의 응용분야가 크게 확대되어 녹색성장의 새로운 분야인 조명산업으로서 신 성장동력 시장을 창출할 꿈의 광원으로서 주목을 받고 있다. 지난 10여 년간 LED 칩은 매우 빠른 기술발전 속도로 광효율 증가와 함께 칩의 면적과 구동 전류가 지속적으로 증가하고 있으며, LED소자의 고출력에 따른 LED소자(패키지)의 개발 경쟁 역시 치열하게 진행되고 있다. 또한 국가적 차원에서 에너지 절약을 위한 “LED조명등 제품 개발 및 보급”이 추진되고 있어 조명용 LED의 고성능화 및 사용화를 위한 노력들이 활발하게 진행되고 있다.

LED의 광전환 효율은 최고 90%로 백열등 5%, 형광등 40%에 비해 매우 우수하며, 발광효율 및 장수명으로 기존 조명 대비 50~90%의 에너지 절약이 가능하고, 일반조명 뿐만 아니라 각종 특수목적용 조명 및 산업용 등으로 적극적인 활용이 진행되고 있다. 지구상에서 사라져야 할 10대 제품에 백열전구

가 선정되고, LED조명으로 대체될 것이라는 예견과 함께 고효율, 친환경 조명이라는 장점 때문에 세계적으로 핵심기술 확보와 거대 시장을 선점하기 위한 각국의 기술개발 경쟁이 치열하다<sup>(4-6)</sup>. 그러나 LED는 광 반도체 소자로서 기존의 형광등, 백열등 등의 다른 광원들과는 달리 입력된 전력 중 약 70~80% 이상이 열에너지로 전환되고 있는데 이를 효과적으로 방출하는 기술이 매우 중요하다. 발열에 의한 LED패키지의 온도 상승은 단기적으로는 광 효율의 저하 및 수명을 감소하게 하는 요인이 되며, 패키지의 온도를 10°C만 낮추어도 수명이 2배로 늘어날 수 있다. 따라서 발열에 대한 적절한 방열기술의 개발은 LED광원의 효율향상과 수명 연장을 위해서 가장 중요한 요소 기술 중의 하나이다<sup>(7,8)</sup>.

최근 들어 고출력의 특수목적용 LED조명의 활용 및 개발이 요구되고 있으나, 특성상 높은 발열에 따른 방열문제로 인한 방열판의 대형화로 제품 전체의 중량이 증가하게 되고, 높은 장소에 설치되어야 하므로 중량에 따른 설치비용, 구조물의 강도 및 내구성에 좋지 않는 영향을 미치게 된다. 따라서 방열판의 경량화를 실시하고 이에 따른 고성능의 방열효과를 기대할 수 있는 방열판의 최적설계 및 개발이 필요하다. 이를 위해 Fig. 1과 같은 10W이하로 저출력의 3W 및 6W LED 조명에 장착된 알루미늄 방열판을 대신하여 동도금 EP방열판을 장착하고 발열에 대한 비교 테스트를 실시하여, 기존 방열판을 대체할 수 있는 새로운 방열판의 제작 및 방법에 관한 대안을 제시하고자한다.

### 2.2 동도금 EP 방열판 제작

일반적으로 사용되는 기존의 알루미늄 방열판은 비중이 2.7 정도이고, 압출 또는 다이캐스팅에 의해 제조되며 여러 공정을 필요로 한다. 또한 경량화, 제조 원가 절감 등의 여러 이유로 다양한 대책들이 요구되어지는데 이를 위한 하나의 제안으로서 비중이 1.08~1.2정도 되는 플라스틱 재질(EP)로 대체하면 제조공정을 줄일 수 있고, 다양한 형상 구현과 이로 인한 방열 표면적을 향상시켜 최적효율을 낼 수 있는 디자인의 다양성과 원가 절감을 꾀할 수 있을 것으로 본다.

실험을 위해 Fig. 1과 같이 시판되고 있는 3W, 6W LED 전등의 방열판을 대상으로 하였으며, 장착된 알루미늄 방열판의 형상과 유사하게 PC판재를 이용하여 형상 및 홀을 가공하고, 여기에 동을 도금하는 과정으로 Fig. 2와 같은 방열판을 제작하였다. Fig. 3은 AI 및 동도금 방열판과 동도금 방열판을 적용한 LED 사진이다. 동도금 방열판은 AI 방열판에 비해 아주 단순한 형상으로 가공하여 제작된 것을 알 수 있으며, 동의 도금 두께는 20 $\mu$ m이다. 27°C에서 동의 열전도도는 386 W/m·K로 알루미늄의 204 W/m·K보다 약 1.9배정도 빠르다.

동 도금이 가능한 소재로는 PC를 비롯해 PP, ABS, PE, 복합

체 등 몇 가지 재료가 있으나, 본 연구에서 PC를 사용하게 되었는데, 이는 동 도금 과정에서 도금업체의 기술력 차이로 인해 방열판 형상을 초기 상태로 유지할 수 있는 재료를 선정하는 과정에서 선택하게 된 것으로 큰 의미는 부여하지 않았다. PC의 경우 재질의 특성상 가공성이 좋지 않고, 장시간의 제작기간 및 가공비 상승 등의 많은 애로사항이 발생하여 핀 수를 줄이거나 형상을 단순화 하였다. 그러나 실제 제품적용 시에는 도금 가능하고, 내열성으로 성형성이 뛰어난 소재를 선택하여 사출 성형에 의한 형상을 제작한다면 저가로 제작이 가능할 것이다.

제작된 PC방열판 형상에 동 도금을 하게 되는데 PC는 열전도도가  $0.19 \text{ W/m} \cdot \text{K}$ 로 매우 낮다. 그러므로 알루미늄 방열판과 동일한 형상으로 제작하여 동 도금시 LED 광원에서 발열된

열이 방열판의 밑면으로 전달되면 동이 도금된 표면을 따라 열이 전달되어 방열하게 되므로 방열 효과가 떨어지게 된다. 따라서 이를 어느 정도 해결할 수 있는 방안으로 발열 원과 접하는 방열판의 밑면에 관통 홀을 뚫고, 홀 내부에도 동 도금이 되도록 하여 발열원과 접하고 있는 방열판 밑면에서 바로 위쪽의 방열 핀 쪽으로 열전달이 이루어져 방열이 가능하도록 하였다. 이렇게 가공한 관통 홀은 열전달 뿐 만 아니라 방열 표면적을 증가시킨다. 단 관통 홀의 직경과 홀(hole)수에 관한 부분은 논문에서는 검토하지 않았으며, 추후 추가 연구를 통해 이러한 요소들에 대한 검토를 진행하고자 한다.

### 3. EP방열판의 방열 실험

실험에 필요한 동도금 EP방열판의 적용을 위해서 기존 제품의 AI 방열판을 제거하고, Fig.2(d)와 같이 제작된 EP방열판을 장착하였다. 실험은 LED 광원으로부터 발생하는 열원에 대한 EP방열판의 방열성능에 주안점을 두고 실험을 실시하였으며, LED전구의 광 효율은 무시하고 방열판과 LED광원 후면의 온도변화에 대한 방열 실험으로서, 기존 AI 방열판이 장착된 시판제품과 동도금 EP 방열판장착 시제품과의 온도변화 비교 테스트를 실시하였다. Fig. 4에 방열판의 온도측정 포인트에 대한 위치 개요도를 나타내었다. 온도 측정 부위는 LED방열부와 여기에 밀착되는 방열판 밑면 사이( $P_1$ ), 방열판 밑면 바로위의 반대쪽 면( $P_2$ )과 방열 핀 외측( $P_3$ )으로 3곳의 온도를 측정하였다. 각 부위의 온도변화에 대한 데이터는 현재 LED관련 기업에서 주로 사용하고 있는 Yokogawa사 MV1000으로 12채널의 실시간 데이터 저장이 가능한 멀티 레코더를 사용하였다. Fig. 5에 실험을 위한 장치의 구성과 각각의 방열판에 열전대를 부착한 사진을 나타냈다. LED전구는 3W, 6W로 좌측에는 시판제품이며, 우측에는 동도금 EP방열판 적용 시제품제품을 설치하였다. 각 전구의 방열판 온도측정 포인트에 12개의 열전대를 부착하고 MV1000의 각 채널에 연결하여 실시간 온도변화를 기록한다. 실험은 LED가 점등된 상태로 6시간 동안 각 측정 포인트의 온도변화를 확인하였다.

앞에서도 기술한 것처럼 LED 전등은 방열과 밀접한 관계를 가지고 있으므로 방열에 따른 각 부위의 온도 변화, 그리고 그에 따른 광 효율이 중요하지만, 본 연구에서는 시제작한 방열판의 방열 효과에 만 중점을 두고 실험을 실시하였다. 향후 동도금 두께, 방열판 밑면의 관통홀 직경 및 수 등에 관한 다양한 변수와 조도 변화 등을 고려한 추가 연구를 진행하고자 한다.

### 4. 실험 결과 및 고찰

Fig. 5와 같이 시제작한 동도금 EP 방열판을 장착한 LED와 기존 3W 및 6W LED에 각각 온도 측정 센서를 설치하고 실험

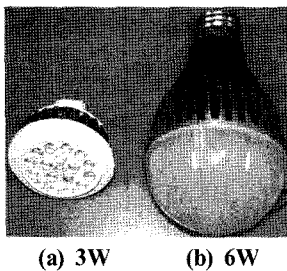


Fig. 1 LED Light and AI heat sink

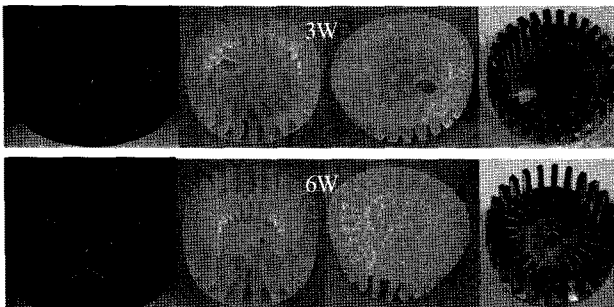


Fig. 2 Manufacturing process of EP heat sink

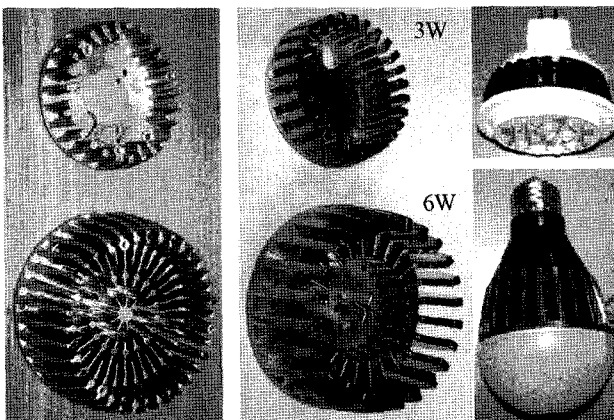


Fig. 3 Shape comparison of heat sink

한 결과를 Fig. 6과 Fig. 7에 온도 변화에 관한 그래프로 나타내었다.

Al 방열판과 PC에 동도금한 방열판의 경우 열전달 방식이 서로 다르다. Al의 경우는 방열판 체적 전체가 열을 흡수, 전달 및 방열하지만, PC의 경우는 열전도도가 매우 낮아 Al에 비하면 열전도가 거의 안 된다고 할 수 있으므로 20 $\mu$ m로 도금된 동을 통해서만 열이 전달 및 확산되므로 표면 열전달에 의한 방열이 일어난다고 할 수 있다. 그러므로 동도금 EP 방열판의 경우는 Fig. 2(c)처럼 방열판 밑면에 관통 홀을 뚫고 여기에 도금된 동을 따라서 열이 바로위쪽으로 전달되어 방열 핀으로의 열전달 속도를 높였다.

Fig. 6 및 7에서 알 수 있듯이 1시간이 지나면 포화온도 상태에 도달하게 된다. 여기서 P<sub>1</sub>의 온도가 중요하며, LED광원의 수명 및 광효율과 직결되게 된다. 또한 방열효과는 P<sub>3</sub>의 온도가 높을수록 방열이 잘 되어 P<sub>1</sub>의 온도가 내려가게 되므로 P<sub>1</sub>, P<sub>3</sub>의 온도가 동시에 내려가게 되고 적정온도를 유지하여 방열효과가 좋아지게 된다. 두 그래프에서 방열실험 3시간 경과 후(주변온도 22.1 $^{\circ}$ C, 습도 44.1%) 각 부분의 온도 분포결과를 Table 1에 나타내었다.

3W, 6W LED전등 방열실험 결과인 두 그래프 Fig.6, 7 및 Table 1에서 알 수 있듯이 Al 방열판의 경우 P<sub>1</sub>과 P<sub>2</sub>의 온도차가 0.7 $^{\circ}$ C와 0.4 $^{\circ}$ C로 거의 없고, P<sub>1</sub>과 P<sub>3</sub>의 온도차가 3.0 $^{\circ}$ C와 3.5 $^{\circ}$ C정도 낮다. 여기서 알 수 있듯이 3개의 온도 분포의 차가 적은 것을 알 수 있다. 그러나 EP 방열판이 경우는 P<sub>1</sub>과 P<sub>2</sub>의 온도차가 3.7 $^{\circ}$ C와 7.5 $^{\circ}$ C로 알루미늄에 비해 크고, P<sub>1</sub>과 P<sub>3</sub>의

온도차가 8.0 $^{\circ}$ C와 33.2 $^{\circ}$ C로 크게 나타났으며 특히 6W의 경우 9.5배 정도 높았다. Al에서의 P<sub>1</sub>과 P<sub>2</sub>의 온도차는 매우 적지만, 동도금 PC의 경우는 큰 차이를 보이는데, 이는 LED광원의 발열량에 비해 충분한 열전달이 이루어지지 않아 열전달량이 부족하여 P<sub>1</sub>의 온도가 상승하고, P<sub>1</sub>과 P<sub>2</sub>의 온도차가 커지는 결과를 초래하였다. 이는 열전도도가 매우 낮은 PC가 열저장체 역할을 하고, 표면에 도금된 소량의 동으로만 열이 전달되므로 열전달량이 적게 된다. 즉 P<sub>1</sub>과 P<sub>3</sub>의 온도차가 작을수록 열전달이 원활하게 이루어져 방열 효과가 높다고 말할 수 있다.

LED발열부의 온도 P<sub>1</sub>의 경우 3W는 Al과 동도금 EP에서 43.8 및 49.2 $^{\circ}$ C로 5.4 $^{\circ}$ C의 차를 보였고, 6W는 54.0 및 82.8 $^{\circ}$ C로 28.8 $^{\circ}$ C로 큰 차이를 보이고 있다. 이는 PC의 열저장체 역할과 가공의 어려움으로 Fig.3과 같이 핀 형상을 단순화하였으며, 특히 6W의 경우 Al보다 핀 수가 12개 줄었고, 형상 단순화를 심하게 하여 제작함으로써 3W에 비해 6W의 경우 차가 크게 나타났다. 또한 Table 2의 방열판의 열전달 부분인 Al과 도금된 동의 체적비에서 알 수 있듯이 동이 열전도도가 1.9배정도 빠르지만 Al대비 동의 체적비가 3W의 경우 1/40, 6W의 경우

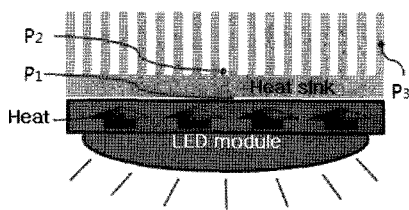


Fig. 4 Temperature detection point

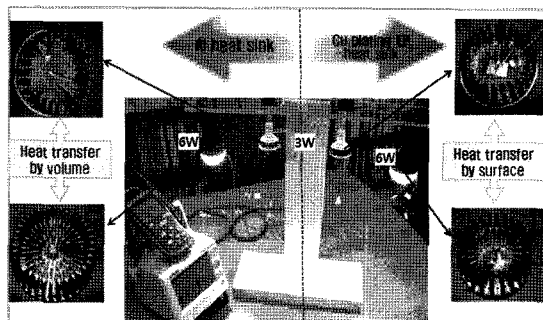


Fig. 5 Experimental setup of LED light

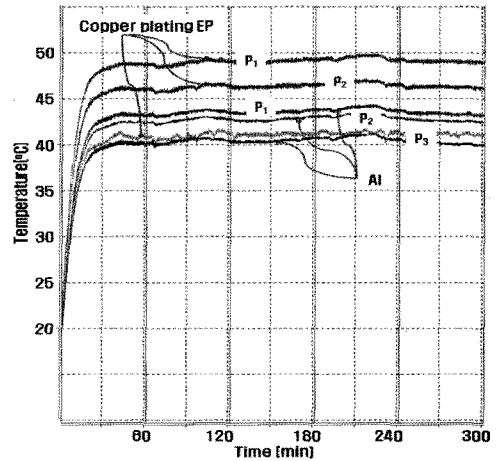


Fig. 6 Temperature comparison of heat sink in 3W LED light

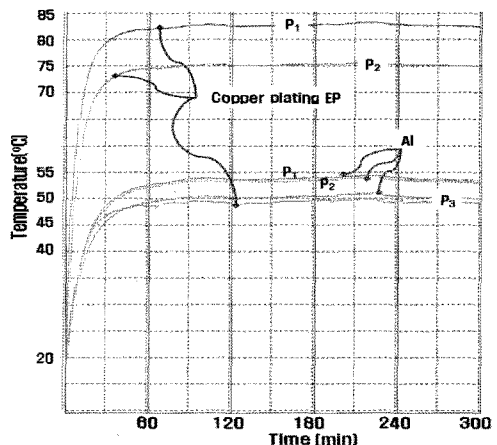


Fig. 7 Temperature comparison of heat sink in 6W LED light

**Table 1 Temperature comparison of LED Light (After 3 hours)**

Heat sink		P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	P <sub>3</sub>	Room Temp.
3W	Al	43.8	43.1	40.8	22.1(°C) 44.1(%)
	Cu plating	49.2	46.5	41.2	
6W	Al	54.0	53.6	50.5	
	Cu plating	82.8	75.3	49.6	

**Table 2 Volume comparison of Al and Cu**

Heat sink		Volume (cm <sup>3</sup> )	Volume ratio (Al/Cu)
3W	Al	6.0	1
	Cu plating	0.15	1/40
6W	Al	29.2	1
	Cu plating	0.28	1/104

1/104로 매우 적어 P<sub>3</sub>의 방열량이 낮아 P<sub>1</sub>와 P<sub>2</sub>의 온도가 높게 나타나 방열효과가 떨어지게 되는 것으로 판단된다.

Fig. 3에 나타난 것처럼 3W는 동일 핀 수로 거의 유사한 형상으로 제작되었으나, 6W는 PC 가공의 어려움으로 실제 핀 수보다 12개가 적고 아주 단순하게 제작되어 3W 보다 온도가 많이 나고 있으나 형상을 거의 유사하게 하거나, 방열 면적을 향상시키는 형상 개발 또는 동도금 두께의 최적화, 방열원의 열전달 속도 및 전달량을 향상시킨다면 충분히 방열 성능이 향상 되리라 사료되며, 향후 추가 연구를 통해 이를 확인하고자한다. 본 실험의 방열판은 단순한 형상으로 제작 되었으나, 방열판의 열전도도 향상을 위한 방열표면적 향상에 필요한 형상제작, 도금기술력 향상, 방열효과 향상을 위한 저렴한 열전도 향상 코팅 등을 개발 적용한다면 저온발열 또는 그 이상의 경우에도 동도금 EP를 방열판으로서 충분히 사용 가능할 것으로 사료되며, 이 기술을 응용하면 제품의 외장재 표면 자체를 방열판으로 활용할 수 있을 것이다.

본 연구 결과를 바탕으로 성형성이 뛰어난 EP에 동도금 및 열전도향상 코팅, 열전달이 가능한 카본 또는 세라믹 필러를 함유하는 수지복합재료 플라스틱, 이에 동도금 또는 열전도향상 코팅을 한다면 성형성이 우수한 경량의 플라스틱 또는 EP방열판의 개발이 가능할 것이다.

### 5. 결론

본 연구는 LED 전등의 Al 방열판을 대체할 수 있는 EP동도금 방열판의 적용 가능성을 확인하고, 방열판의 경량화 실현을 위한 기초연구이다. 이를 위해 시판되고 있는 3W, 6W 소형 LED전등의 알루미늄 방열판 형상과 유사하게 3D모델링을 실시하고 PC소재를 가공하여 방열판 형상을 제작하였다. 여기에

동을 도금하여 시제품을 제작한 후 Al 방열판과의 비교 방열 실험을 실시하여 다음과 같은 결과 및 가능성을 확인하였다.

- (1) 3W LED전등의 경우 Al 대체 동도금 PC방열판으로도 방열기능이 충분히 작용하고 있다고 말할 수 있다.
- (2) 6W의 경우 동 도금량 비율이 3W에 비해 현저하게 낮아 3W에 비해 성능이 떨어지지만 열전달 속도 및 전달량을 높이는 방열면적 향상을 위한 형상 제작 및 최적의 도금 두께, 기타 기술 등을 활용한다면 3W, 6W 모두 Al과 유사한 성능 발휘가 가능할 것이다.
- (3) 동도금이 가능한 엔지니어링 플라스틱을 이용한 저발열의 LED전등 등의 전자제품의 방열판으로 활용할 수 있고, 원가절감 및 경량화가 가능하다.
- (4) 추가 연구 및 본 기술을 응용한다면 발열부에 방열판을 부착하여 방열시키는 기존방법 대신하여 외장 케이스를 대체 방열판으로 활용 가능하며, 방열판 제작 비용절감, 내부구조 간소화로 제품의 슬림화가 용이하고 다양한 분야로의 응용이 가능할 것이다.

### 참고 문헌

- (1) Yoo, J. Y., April 2005, *Patent technology Trends of LED Heat Radiation Technology*, IOD Report, KISTI.
- (2) Kim, G. H., Yoon, G. S., Heo, Y. M., Jung, D. S., and Cho, M. W., 2008, "A Study on the Micro-cutting Process Characteristics of Copper for Manufacturing a Subminiature Radiation Plate", *Proceedings of the KSMTE Spring Conference 2008*, pp.296~301.
- (3) Lee, K. Y., 2007, *A Study on the Performance Enhancement of Heat Sink Using Heat Pipe*, A Thesis for a Master, Pukyong National University, Republic of Korea.
- (4) Bruce S., October 2003, *Technologies that Deserve to Die*, MIT's Technology Review.
- (5) Light Emitting Diodes(LEDs) for General Illumination, OIDA Technology Roadmap 2002.
- (6) LED Lighting Technology Lessons from the USA, Report of a global watch mission March 2006.
- (7) Hu, J., Yang, L., and Shin, M. W., 2008, "Electrical, Optical, and Thermal Degradation of High Power GaN/InGaN Light-Emitting Diodes", *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 41, no.3, pp. 035107~035111.
- (8) Narendran, N., and Gu, Y., 2005, "Life of LED-based White Light Sources", *Journal of Display Technology*, Vol.1, No. 1, pp. 167~170.