알루미늄 합금의 복사방열향상을 위한 코팅연구

서미희, 김동현, 이정훈, 정원섭*

부산대학교 재료공학과

The Study on Coatings to Improve the Radiative Heat Dissipation of Aluminum Alloy

Mihui Seo, Donghyun Kim, Junghoon Lee, Wonsub Chung*

Department of Materials Science and Engineering, Pusan National University, Busan 609-735, Korea

(Received October 2, 2013 ; revised October 23, 2013 ; accepted October 25, 2013)

Abstract

The aim of the present study was to improve the radiative heat dissipation of aluminum alloy, Al 1050. Resin/CuO coating and Cu/CuO composite plating were applied on aluminum alloy to improve the radiative heat dissipation. Resin/CuO coating was made using thermosetting silicon resin and Cu/CuO composite plating was made in pyrophosphate copper plating bath. Radiant heat flux(W/m²) was measured by self-produced radiant heat measurement device to compare each specimen. The cross section of specimen and chemical bonding of surface were analyzed by FE-SEM, XPS and FT-IR. As a result, radiant heat of Resin/CuO coating was higher than Cu/CuO composite plating due to the adhesion with aluminum plate and the difference in chemical bonding. But, Both of them were higher than aluminum alloy. In order to confirm the result of experiment, aluminum plate, Resin/CuO coating and Cu/CuO composite plating sample were applied LED and measured the LED temperature. As a result, LED temperature of samples were matched previous results and confirmed coated samples were lower about 10 degrees than the aluminum alloy.

Keywords : Radiation, Radiative heat transfer, Resin/CuO coating, Cu/CuO composite plating

1. 서 론

열전달 기구에는 전도, 대류, 복사 3가지 종류가 있다.

$$Q_{\text{Total}} = Q_c + Q_v + Q_R \quad (1)$$

여기서 Q_{Total} 는 전체 열량, Q_c 는 전도에 의한 열량, Q_v 는 대류에 의한 열량, Q_R 는 복사에 의한 열량이다.

그 중 복사는 물질을 구성하는 원자들이 열에 의해 들떠서 전자기파를 방출하는 현상이다. 전자기파는 전하 주위의 전기장의 진동에 의해 생기므로 유한한 온도에 있는 모든 물질은 분자의 진동과 회전, 원자의 진동, 그리고 전자의 천이와 같은 원자

단위의 운동에 기인한 열복사선을 방출한다. 따라서 열복사는 전자기파로 전해지므로 별도의 매질이 필요하지 않고 빛의 속도로 전달되므로 3가지 열전달 방법 중 가장 빠른 열전달 방법이다. 또한 Stefan과 Boltzmann에 의하면 식 (2)에 나타낸 것과 같이 복사에너지는 절대온도의 4제곱에 비례하여 증가한다고 알려져 있으며, Plank 분포, Wien의 변칙 등 다양한 이론들이 연구되어 왔다¹⁾.

$$Q_R = \epsilon \sigma A T^4 \quad (2)$$

여기서 ϵ 는 복사율, σ 는 상수, A 는 면적, T 는 절대 온도이다.

이러한 복사열전달은 고온의 환경에서는 대류와 전도와 마찬가지로 방열에 막대한 영향을 끼칠 수 있고, 고 진공 환경에서는 복사만이 유일한 열전달

*Corresponding author. E-mail : wschung1@pusan.ac.kr

방법이다. 따라서 현재 우주항공 기술의 개발과 함께 복사를 이용한 다양한 기술이 개발되고 있는 실정이다.

하지만 지금까지 현재 수많은 전자 및 산업기계 등의 방열에 상용되고 있는 방열방법에는 대류와 전도만 사용될 뿐 복사를 이용하는 방열방법은 무시되어 이용하지 않는 실정이다. 그 이유는 금속의 방사율(Emissivity)은 0.02로 매우 작기 때문에 전도나 대류에 비해 방열에 미치는 영향이 작기 때문에 금속소재의 방열판(Heat sink)의 방열에서는 복사의 효과가 거의 존재하지 않기 때문이다. 최근 반도체, LED 등의 산업발전으로 인해 방열문제가 대두되면서 표면적과 대류효율을 증가시키기 위해 복잡한 형상의 방열판이 많이 개발되어 사용되고 있다²⁾. 하지만 여전히 방열문제는 기기안정성에 심각한 문제를 일으키고 있는 것이 현실이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 복사와 대류, 전도를 모두 고려한 고효율 방열 방열판을 제작하고자 하였다. 이를 위하여 물질의 표면처리를 통해 복사 열전달의 증가시켜 복잡한 표면형상의 방열판의 형태를 조금 더 단순한 형태로 만들어 공정비용을 절감할 수 있는 효과와 기기의 안정성을 확보하고자 하였다.

본 연구에서는 복사열전달을 향상시킬 수 있는 표면처리의 방법으로 2가지 복사방열코팅법인 수지/CuO 코팅법과 Cu/CuO 복합도금을 선택하여 알루미늄 모재와의 차이점을 비교하고자 하였다. 또한, 최적의 복사방열코팅조건을 알아보기 위해 알루미늄 모재에 각각의 방법으로 여러 두께의 시편을 코팅한 다음, 자체 제작한 방열량 측정기를 통해 방열량을 측정하고 실제 기기에 적용하여 결과를 검증하고자 하였다. 그리고 SEM과 XPS, FT-IR 분광분석을 통해 시편의 형상과 표면화학결합 등을 토대로 그 원인에 대해 고찰하는 것이 본 연구의 목표이다.

2. 실험 방법

2.1 시편 및 재료

본 연구에서는 우수한 내식성, 높은 열 및 전기 전도성 그리고 우수한 작업성으로 알려진 순수 알루미늄계열인 Al 1050을 사용하였으며 그 조성은 표 1에 나타낸 바와 같다. 시편은 두께 1.5 mm, 면적 3000 mm × 3000 mm인 알루미늄 판을 두께

Fig. 1. FE-SEM micrograph of copper oxide (CuO) powders pulverized by planetary milling for 12 hours.

1.5 mm, 50 mm × 50 mm의 형태로 제작하였으며, 표면의 불순물의 제거를 위해 아세톤에 30초간 초음파 세척한 뒤, 알루미늄 표면의 산화막과 흡집을 제거를 위해 50°C의 10 wt% NaOH 용액에서 1분간 침지하는 과정 후 증류수로 세척하였다.

코팅에 사용되는 물질로는 25°C에서 방사율이 0.9 이상이라고 알려진 CuO(Junsei Chemical Co., LTD, Japan) 분말을 사용하였고³⁾, 균일한 표면형상을 얻기 위해 CuO 분말 입도를 선형 밀링(Pulverisette5, FRITSCH, Germany)으로 12시간 동안 분쇄하여 1 μm 이하로 제한하여 사용하였으며 1 μm 이하로 분쇄된 CuO의 형상을 그림 1에 나타내었다.

2.2 실험방법

2.2.1 수지/CuO 코팅

수지/CuO 코팅에는 실리콘계 열경화성 수지(S11301, 건설화학주식회사)를 사용하였으며, 코팅은 실리콘 수지 : CuO : 희석제 = 5.3 : 15.5 : 2-10의 무게비를 사용하였다. 혼합된 paste ink는 10분간 초음파로 분산시킨 다음, 그림 2와 같은 방법으로 코팅하였다. 그림 2에 나타낸 것처럼 코팅은 원활한 두께 제어를 위해서 알루미늄 시편에 코팅하고자 하는 두께의 PET(poly-ethyleneterephthalate) 테이프를 붙이고, paste ink를 흘려 슬라이드 글라스(Slide glass)로 paste ink를 밀어주는 방식으로 시행하였다. 코팅된 시편은 대기 중에서 1시간 동안 자연건조한 다음 첨가된 희석제 제거를 위해서 80°C에서 1시간, 마지막으로 수지 경화를 위해 250°C에서 1시간 열처리하였다.

Table 1. Chemical composition of Al 1050

Chemical composition (wt%)							
Cu	Si	Mg	Zn	Mn	Fe	Ti	Al
< 0.05	< 0.25	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.40	< 0.03	Bal.

Fig. 2. Schematic diagram of the Resin/CuO coating process.

2.2.2 Cu/CuO 전해복합도금

본 연구에서는 피로인산 동 도금욕을 사용하여 복합도금을 시행하였다. 대표적인 동 도금욕인 황산 동 도금욕을 사용하지 않고 피로인산 동 도금욕을 사용한 이유는 CuO의 제타전위(zeta potential) 값이 pH 9일 때 0에 근접한 값을 나타내기 때문에⁴⁾, 약 알칼리 도금욕인 피로인산 동 도금욕을 사용하였다. Cu/CuO 복합도금은 활성과정 그리고 2차 징케이트

처리(Zincate treatment) 과정을 거친 뒤 도금을 진행하였다⁵⁾. 용액의 조성 및 전해도금조건은 표 2와 같다.

2.3 평가방법

시편의 방열량을 측정하기 위해 사용한 방열량 측정기기는 그림 3(a)와 같다. 방열량 측정기기는 ASTM D5470, Standard Test Method for Thermal Transmission Properties of Thermally Conductive Electrical Insulation Materials을 변형하여 제작한 것으로 기준이 되는 알루미늄 모재의 방열량을 우선 측정한 후 복사코팅된 샘플을 측정하여 그 차이를 통해 방열량의 증가를 확인할 수 있도록 제작하였다⁶⁾(그림 3(b)). 방열량 측정기기는 열원을 통해 일정한 열량이 공급되고, Meter bar(Stainless steel 304, $\lambda = 16.2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ at 200°C)를 통해서 열이 이동을 하며 표면 측정부위($50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$)를 제외한 주위는 보온재로 차단했다. 표면으로부터 10 mm 간격으로 T-type 열전대(Thermal couple)를 Meter bar 중심에 삽입하여 온도를 측정하였다. 열량(Q) 값은 전도, 대류, 복사의 합으로 나타낼 수 있고, 측정에

Table 2. Cu/CuO composite plating conditions

		Condition		
Zincate Treatment	1st dipping	ZnO	40 g/dm ³	25°C, 30 s
		NaOH	400 g/dm ³	
	acid dip	HNO ₃	50%	25°C, 60 s
	2nd dipping	ZnO	40 g/dm ³	25°C, 30 s
		NaOH	400 g/dm ³	
Pyrophosphate Copper plating		Cu ₂ P ₂ O ₇ ·3H ₂ O	70 g/dm ³	50°C, 3ASD, 200 rpm
		K ₄ P ₂ O ₇	250 g/dm ³	
		NH ₄ OH	3.75 ml

Fig. 3. Radiative heat measurement device; (a) real image of produced device, (b) schematic illustration of the radiative heat measurement.

Fig. 4. (a) Image of LED before attached samples, (b) image of LED applied radiative coated specimen.

사용된 시편이 같은 재료이며, 대기중의 조건이 동일한 공간에서 측정된다면 전도와 대류에 의한 열량은 동일하다고 보았다. 결국 식 (3)에 나타낸 것처럼 방열 코팅(Q_{Coating})과 알루미늄 시편(Q_{Aluminum})의 열량 차이로 표면처리에 의해서 향상되는 방열량을 측정하는 방법이다. 측정 시, 열원 온도는 200°C 로 고정하였고, 방열코팅 된 시편의 반대편은 SiC paper #80으로 균일하게 표면을 연마한 후에 thermal grease(Evercool Baikal Grease, Taiwan)로 시편과 측정기기 사이의 접촉면을 충분히 도포하여 열저항으로 인한 열손실을 최소화 하였다. 방열량 측정은 온도변화가 없을 때까지 유지하였고, 4개의 열전대에서 측정된 T_1 에서 T_4 사이의 ΔT 값을 계산하여 식 (4)와 (5)를 사용하여 방열량을 구하였다.

$$\text{Radiant heat flux (W/m}^2\text{)} = Q_{\text{Coating}} - Q_{\text{Aluminum}} \quad (3)$$

$$\text{Heat flow (}Q_{xy}\text{)} = \frac{\lambda_{xy} \times A}{d_{xy}} [T_x - T_y] \quad (4)$$

$$\text{Heat flow (}Q\text{)} = \frac{Q_{12} + Q_{23} + Q_{34} + Q_{13} + Q_{24} + Q_{14}}{6} \quad (5)$$

여기서 λ 는 열전대 x와 y 사이의 열전도도, d는 열전대 x와 y 사이의 거리이다.

그리고 이러한 방열실험결과를 검증하기 위하여 실제 방열판을 사용하는 제품인 LED(신성 ECO LED, 16W)의 뒷면에 코팅하지 않은 알루미늄 모재와 복사코팅한 시편을 각각 붙인 다음 40분이 경과한 후 열화상 카메라(testo 875i, TESTO, Germany)와 열전대를 이용하여 LED표면온도 및 기관온도 변화를 측정하여 실제로 방열판을 제품에 적용했을 때의 방열특성을 확인하였다. 측정에 사용된 LED는 그림 4(a)와 같으며 측정위치는 그림 4(b)와 같이 각 조건 모두 동일한 위치의 LED의 온도를 측정하였다.

또한 각 조건의 조성 및 결합상태가 다르기 때문에 XPS, FT-IR 분광분석을 시행하였다. XPS(ESCALAB 250 XPS System, Thermo Fisher Scientific, U.K)는 단일파장 Al K α (1486.6 eV)의 X-선원을 사용하였으며 $500\text{ }\mu\text{m}$ 의 면적을 분석하였다. 또한 흡수파장을 알아보기 위하여 표면처리한 각 시편의 코팅층 물질을 채취하여 FT-IR(Spectrum GX, Perkin Elmer Limited, U.S)를 이용하여 MID-IR KBr 분석으로 $4000\text{--}400\text{ cm}^{-1}$ 의 파장 영역을 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

복사코팅한 시편의 방열량 차이를 알아보기 위해 자체 제작한 방열량 측정기기로 방열량을 측정하였다. 그림 5는 수지/CuO 코팅과 Cu/CuO 복합도금 시편의 두께에 따른 방열량을 나타낸 것이다. 수지/CuO 코팅의 경우 $200\text{ }\mu\text{m}$ 부근에서 가장 높은 방열량인 635.04 W/m^2 을 나타내었고, Cu/CuO 복합도금의 경우에는 $25\text{ }\mu\text{m}$ 부근에서 가장 높은 방열량

Fig. 5. Radiant heat flux (W/m^2) according to coating thickness of radiative coating specimen.

인 489.51 W/m^2 을 나타내었다. 2가지 복사방열코팅의 최대값을 비교했을 경우에는 그림 5에 나타난 것과 같이 수지/CuO 코팅이 Cu/CuO 복합도금보다 방열량이 145.53 W/m^2 만큼 더 크다는 것을 확인할 수 있었다. 수지/CuO 코팅의 경우 코팅층의 두께가 $200 \mu\text{m}$ 부근에서 최대값을 나타내다가 $200 \mu\text{m}$ 이상일 경우에는 약간 감소하면 일정값 값으로 유지되었으며, Cu/CuO 복합도금의 경우 도금층의 두께가 $25 \mu\text{m}$ 부근에서 최대값을 보인 뒤 도금층의 두께가 증가할수록 급속도로 낮아지는 것을 확인할 수 있었다. 그림 6은 복사방열코팅된 시편의 단면을 FE-SEM으로 관찰한 사진이며 이를 통해 그 원인을 확인할 수 있다. 수지/CuO 코팅층의 경우 그림 6(a)와 두께가 두꺼워도 조밀한 층을 가지는 반면 Cu/CuO 도금층의 경우에는 그림 6(b)에 표시한 것처럼 porous한 단면이 형성된 것을 확인할 수 있었다. 수지/CuO 코팅시편은 코팅층의 두께가 $200 \mu\text{m}$ 부분에서 최대값을 보인 뒤 방열량이 감소하는 이유는 복사열전달은 재료의 표면성질이기 때문에 일정한 두께 이상이 되면 너무 두꺼운 코팅층으로 인하여 열전도성이 나빠지기 때문에 열저항이 증가하여 방열량이 감소하였을 것으로 추정할 수 있다. Cu/CuO 복합도금의 경우에는 도금층 안에 갇힌 공기는 열전도율이 극히 낮기 때문에 복합도금층의 열전도도가 감소했을 것이라고 예상할 수 있다. Cu/CuO 복합도금에 porous한 단면이 형성되는 이유로는 알루미늄 표면을 균일하게 만들기 위해 NaOH에 침지시키는 과정을 거쳐도 표면을 요철이 없는 완벽한 상태로 만들 수 없고 도금조 안의 모든 부분에 균일한 교반을 줄 수 없는 한계가 존재하기

때문이다. 또한, 전해도금 과정에서 발생하는 수소 가스 등 여러 조건들을 모두 제어할 수 없었기 때문에 이상적으로 균일한 도금층을 가질 수 없다.

복합도금은 그림 6(d)와 같이 구리금속이 도금되면서 CuO 입자를 잡아주는 역할을 하기 때문에 CuO 입자 사이에는 구리금속이 도금된다. 여기서 구리금속은 복사장벽(radiation shield)⁷⁾의 역할을 하게 되는데, 복사장벽은 알려진 낮은 방사율의 물질이 두 개의 복사면 사이에 놓이면 그 면들 사이의 복사열전달은 감소하는 게 만드는 물질을 말하며, 이러한 복사장벽은 작은 복사율에 의해 저항이 크게 증가함을 의미한다. 따라서 Cu/CuO 복합도금의 경우 구리의 우수한 열전도도에 의한 열전도효과와 CuO의 높은 방사특성을 이용하여 방열이 우수할 것으로 예상하였으나 도금층의 기공과 복사장벽으로 인해 방열효율이 떨어진 것을 확인할 수 있었다.

복사열전달은 재료의 표면성질에 많이 지배되기 때문에 XPS 분석을 통해 코팅층 표면의 화학결합을 알아보고자 하였다(그림 7). 그림 7에서 나타내었듯 수지/CuO 코팅시편의 표면에는 102.7 eV , 530.9 eV , 532.3 eV 의 결합에너지가 존재하였고, 이는 모두 Si=O 결합이었다. Cu/CuO 복합도금의 경우 표면결합은 Cu-O와 Cu=O, Cu-OH, Cu의 4가지 경우가 존재하였다. XPS 분석결과를 바탕으로 복사방열코팅된 시편의 표면 모식도를 그림 7(e)와 (f)에 나타내었다. 수지/CuO 코팅된 시편의 경우 표면에 CuO 결합이 나타나지 않았기 때문에 그림 7(e)와 같이 CuO 입자가 수지에 둘러싸여 표면에 노출되지 않고 있는 반면 Cu/CuO 복합도금의 경우에는 CuO와 Cu 결합이 존재하기 때문에 그림 7(f)와 같이 CuO 입자와 Cu 금속입자가 동시에 노출되어 있음을 알 수 있다. 따라서 실리콘 수지에 비해 매우 낮은 방사율을 갖는 Cu 금속으로 인해 Cu/CuO 복합도금의 방열량이 떨어지게 만드는 요인이 되었음을 짐작할 수 있었다³⁾.

Kirchhoff⁸⁾에 의하면 어느 온도에서 열평형에 있는 물체가 동일한 파장에서 복사되는 에너지와 흡수하는 에너지의 비는 물질의 종류와 성질에는 관계 없이 온도에 의존하여 일정한 값을 가지며, 물체의 분광복사율과 분광흡수율의 관계는 동일하다고 하였다. 그 의미는 결코 흡수되는 에너지보다 방사되는 에너지가 클 수 없다는 의미를 가진다. 따라서 XPS 분석결과를 바탕으로 표면의 흡수 피크를 알아보기 위한 FT-IR 분광분석결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에 보이듯 수지/CuO 코팅의 투과율이 Cu/CuO 복합도금보다 낮은 것을 확인할 수 있다. 즉 수지/CuO 코팅이 Cu/CuO 복합도금에 비

Fig. 6. FE-SEM micrographs of radiative coating samples (a) cross section of the Resin/CuO coating; (b) cross section of the Cu/CuO composite plating; (c) surface of resin/CuO coating; (d) surface of Cu/CuO composite plating.

Fig. 7. XPS spectra of the Resin/CuO coating (a) Si_{2p} , (b) O_{1s} , XPS spectra of the Cu/CuO composite plating (c) Cu_{2p} , (d) O_{1s} , the materialization of cross section (e) Resin/CuO coating, (f) Cu/CuO composite plating.

Fig. 8. FT-IR spectra of the resin/CuO coating and Cu/CuO composite plating.

해 더 많은 양의 에너지를 흡수할 수 있기 때문에 더 많은 에너지를 전달할 수 있음을 확인할 수 있었다. 대표적인 흡수밴드는 수지/CuO 코팅의 경우 $3600\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$, $2400\text{--}2300\text{ cm}^{-1}$, $1700\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$, $1200\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ 이고, Cu/CuO 복합도금의 경우 $3600\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$, $1200\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$, $900\text{--}700\text{ cm}^{-1}$ 이다. 두 시편의 공통된 영역인 $3600\text{--}3300\text{ cm}^{-1}$ 는 보통 넓은 피크($3650\text{--}3200\text{ cm}^{-1}$ 영역)를 나타낸다고 알려진 -OH 신축진동(stretching vibration)에 의해 흡수가 일어났다. 그리고 공통된 흡수영역을 가지는 $1200\text{--}1100\text{ cm}^{-1}$ 는 약간 다른 흡수 피크모양을 나타내는데, 이는 수지/CuO 코팅의 경우 Si-O-Si 신축진동에 의해 흡수가 일어나고 Cu/CuO 복합도금은 Cu=O

신축진동에 의해 흡수가 일어났기 때문이다. 신축진동의 경우 식 (6)를 통해 이론적으로 흡수파장을 구할 수 있다.

$$\text{wave number (cm}^{-1}\text{)} = 4.12 \sqrt{\frac{K}{\mu}} \quad (6)$$

여기서 K는 힘 상수(dynes/cm) [$1 \text{ dyne} = 1.020 \times 10^{-3} \text{ g}$], μ 는 환산질량이다.

그리고 수지/CuO 코팅은 $2400\text{--}2300 \text{ cm}^{-1}$ 에서 Si-C 신축진동에 의해 흡수가 일어났고, $1700\text{--}1600 \text{ cm}^{-1}$ 에서는 -OH 굽힘진동(bending vibration)에 의한 흡수가 일어났다. Cu/CuO 복합도금은 $900\text{--}700 \text{ cm}^{-1}$ 에서는 Cu-OH 변형(deformation)에 의해 흡수가 일

어났다⁸⁻¹¹⁾.

Johan¹²⁾에 따르면 CuO 입자의 흡수피크는 657 cm^{-1} , 532 cm^{-1} 에서 발생한다. 그리고 식 (6)에 의해 이론적으로 계산된 Cu-O 신축진동의 경우 814.9 cm^{-1} , Cu=O 신축진동의 경우 1152.5 cm^{-1} 의 값을 갖지만 복사방열코팅된 시편의 경우 CuO 흡수피크가 크게 두드러져 보이지 않는 것을 확인할 수 있었다. 그 원인은 앞서 설명했듯이 수지/CuO 코팅의 경우 수지가 CuO 입자를 완전히 덮었기 때문이고, Cu/CuO 복합도금의 경우는 구리의 복사장벽으로 인해 CuO의 복사열전달을 막는 것으로 추정할 수 있다.

실험결과와 검증의 위해 실제로 방열을 위해 적용할 수 있는 LED를 선택하여 LED기판 뒷면에 알

Fig. 9. (a) Image of LED after 40 minutes, (b) temperature profile of LED substrate.

Fig. 10. Pictures taken by Thermo-graphic camera (a) real image of LED applied each sample, (b) thermo-graphic image of LED, (c) aluminum 1050, (d) Resin/CuO coating, (e) Cu/CuO composite plating.

루미늄 모재와 수지/CuO 코팅 및 Cu/CuO 복합도금으로 표면처리한 방열판을 LED 기판과 거의 동일한 면적인 50 mm × 50 mm 방열판으로 제작하였다. 시편은 LED 기판의 뒷면에 부착하여 40분간 LED 표면온도와 기판온도변화를 측정하여 그림 9에 나타내었다. 40분 뒤 알루미늄을 부착한 LED 표면온도는 60°C이었고, 수지/CuO 코팅과 Cu/CuO 복합도금을 부착한 LED 온도는 각각 47°C와 54°C를 나타내었다. 수지/CuO 코팅은 13°C의 온도감소를 나타내었고 Cu/CuO 복합도금은 6°C의 온도감소를 보였다. 그림 9(b)의 LED 기판온도변화양상을 보면 알루미늄과 Cu/CuO 복합도금은 온도가 2~3°C 정도의 변동을 보이는 반면 수지/CuO 코팅은 거의 일정한 온도변화를 보여준다. 기판의 온도는 알루미늄이 약 74°C, 수지/CuO 코팅이 70°C, Cu/CuO 복합도금의 경우 72°C를 나타냈다.

또한 열화상카메라를 사용하여 40분 뒤의 LED를 측정하여 그림 10에 나타내었다. 측정은 동일한 LED를 사용하였기 때문에 동일한 설정(방사율 0.9, 반사온도 20°C, 대기온도 25°C)에서 측정하였다. 그림 10(b)에 나타나듯 알루미늄을 부착한 LED의 온도가 복사코팅한 시편을 부착한 LED보다 높음을 확인할 수 있다. 그림 10(c), (d), (e)는 각각 알루미늄, 수지/CuO 코팅, Cu/CuO 복합도금이 부착 LED의 열화상 사진을 나타낸 것이다. 각 시편의 동일한 위치의 LED(M1)의 온도를 측정한 결과 알루미늄이 110.5°C로 가장 높았고, 수지/CuO 코팅이 96.2°C로 가장 낮았으며, Cu/CuO 복합도금은 102.1°C의 값을 나타냈다. 수지/CuO 코팅은 14.3°C의 온도감소, Cu/CuO 복합도금은 8.4°C의 온도감소를 나타내었다. 이와 같은 우수한 방열을 통해 기기의 안정성과 고수명화에 기여할 수 있을 것이라고 예상된다.

4. 결 론

복사 열전달을 향상시킬 수 있는 표면처리의 방법으로 2가지 복사방열코팅법인 수지/CuO 코팅법과 Cu/CuO 복합도금을 선택하여 알루미늄 모재와의 차이점을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 복사열전달을 향상시키기 위해 표면처리가 필요하며, 복사방열코팅으로 인해 증가된 방열량의 최대값은 수지/CuO 코팅 635.04 W/m², Cu/CuO 복합

도금 489.51 W/m²으로 Cu/CuO 복합도금보다 더 좋았다. 또한 수지/CuO 코팅의 경우 200 μm의 코팅층을 갖을 때 방열량이 가장 컸으며, Cu/CuO 복합도금의 경우에는 25 μm 부근에서 가장 컸다.

2. 수지/CuO 코팅의 경우 CuO 입자를 수지가 둘러싼 형태로 표면에 CuO가 노출되지 않았고, Cu/CuO 복합도금의 경우 표면에 CuO 입자가 노출되어 있지만 Cu 금속으로 인해 방사특성이 감소하였다.

3. 복사코팅한 시편을 LED 기판 뒷면에 부착하여 열전대와 열화상카메라를 통해 LED 표면온도와 LED 기판온도변화를 확인한 결과 수지/CuO 코팅이 가장 우수한 방열특성을 나타낸 것을 확인하였다. 이러한 결과로부터 표면처리를 통해 방열특성을 향상시킬 수 있다. 또한 자체제작한 방열량 측정기기의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

References

1. D. Heroedu, Basic Far-infrared Radiation Engineering, Gyeongjisa, Seoul (1997).
2. C. J. M. Lasance, Electronics Cooling, November (2005).
3. Scigene Corporation, IR Thermometers & Emissivity (2005) 1.
4. C. C. Lia, M. H. Chang, Mater. Lett., 58 (2004) 3903.
5. Ewa Rudnik, Tomasz Jucha, Surf. Coat. Technol., (2013) SCT-18573.
6. ASTM (American Society for Testing and Materials) D5470 : Standard Test Method for Thermal Transmission Properties of Thermally Conductive Electrical Insulation Materials.
7. David. R. Gaskell, Introduction to Transport Phenomena in Materials Engineering, Prentice Hall, U.S (2000).
8. Pavia, Donald L. Brooks, Introduction to Spectroscopy, 3/E 672, Harcourt-Brace, U.S (2008).
9. M. R. Johan, M. S. M. Suan, Nor Liza Hawari, Hee Ay Ching, Int. J. Electrochem. Sci., 6 (2011) 6094.
10. Danilo C. Pereira, Dalva Lúcia A. de Faria, Vera R. L. Constantino, J. Braz. Chem. Soc., 17(8) (2006) 1651.
11. B. Shokri, M. Abbasi Firouzjah, S. I. Hosseini, In Proceedings of 19th International Symposium on Plasma Chemistry Society (2009).
12. Markova-Deneva, Journal of the University of Chemical Technology and Metallurgy, 45(4) (2010) 351.