

◆특집◆ 정밀계측제어

## CNT 열전달 물질에 의한 50W LED의 방열 성능평가

조 영 태<sup>\*#</sup>, 이 충 호<sup>\*</sup>

(#, \* 전주대학교 기술융합디자인학과)

### Performance Evaluation of Heat Radiant for 50W LED by the CNT Thermal Interface Material

Young-Tae Cho<sup>\*#</sup>, Choong-Ho Lee<sup>\*</sup>

(Received 16 December 2014; accepted 26 December 2014)

#### ABSTRACT

In this study, cooling and heat-transfer tests are performed to compare and evaluate the thermal conductivity in a prepared CNT TIM (thermal interface material). A polymerized CNT heat-transfer resin and commercial thermal grease (Shinetsu G-747) were applied for a comparison test in both cases. Cooling experiments with an aluminum foil specimen were performed in order to measure the temperature distribution using an infrared camera, and in heat radiation experiments, performance testing of the thermal conductivity was conducted using high-power LEDs. Carbon resin with the polymerization of graphite and carbon black, and CNT-polymerized CNT resin with graphite and carbon black were tested and compared with using G-747. It was found that the cooling performance and the heat transfer ability in both the carbon resin and the CNT-polymerized CNT resin were greater than those of G-747 because the temperature by 5.0°C in both cases appeared lower than that of the G-747.

**Key Words :** Thermal Conductivity(열전도도), Thermal Interface Material(열전달물질), Carbon Nano Tube(카본나노튜브), Thermal Grease(서멀 그리스), LED Heat Radiant(엘이디 방열), Infrared Thermography Test(열화상 테스트)

#### 1. 서 론

LED(Light-Emitting Diode)조명은 최근 표준화와

LED기술의 급성장으로 조명뿐만 아니라 각종 전자제품의 디스플레이로의 채용이 확대되어 널리 사용되고 있다. 또한 각종 조명 기기로 확대되어지고 있고, 세계 각국 정부는 광 효율이 낮은 기존 조명을 LED 조명으로 대체하기 위한 정책들을 지속적으로 발표하고 있으며, 국내·외의 LED조명 및 관련 시장이 급격하게 커지고 있다<sup>1-3)</sup>.

고출력 LED 모듈은 COB(Chip-on-Board)형태로 한 개의 모듈에 여러 개에서 수십 개의 LED 칩을 패키징화한 형태로 제작된다. LED 모듈은 기존 조명들과 달리 인가

\* Department of Manufacturing Technology & Design Engineering, Jeonju UNIV.

# Corresponding Author :

Department of Manufacturing Technology & Design Engineering, Jeonju UNIV.

E-mail : choyt@jj.ac.kr

에너지 대비 70~85%가 열에너지로 전환되므로, 사용 중에 내부에서 발생하는 열로 인해 LED칩의 온도가 상승하여 발광효율이 떨어지고 에너지 소모가 커지며, LED 칩과 주변 회로들의 수명이 짧아지는 문제가 있다. 따라서 모듈 내부에서 발생하는 열을 효과적으로 배출하기 위한 방열기술을 개발하는 것이 LED칩 제조분야의 주요과제로 부상하고 있다. 또한 LED칩 내부에서 발생하는 열을 얼마만큼 빨리, 효율적으로 방열시키는가에 따라 LED의 광 효율과 수명이 좌우되므로, 칩 내부의 방열에 따른 열을 효율적으로 배출하고, 방열시키기 위한 다양한 형태의 방열기술에 대한 연구 및 특허출원이 급증하고 있다.

LED의 방열을 위한 기존 기술은 LED칩의 뒷면에 방열판을 부착하거나, LED칩의 패키지 바닥에 열전도 특성이 좋은 재료를 사용하여 열전달 통로를 형성하는 방식이 대부분이었으나, 최근에는 기존 방식의 개선과 동시에 칩에 전원을 공급하는 금속제 리드프레임의 형태를 변형시켜서 방열에 이용하거나, LED칩에서 발생한 빛을 특정 방향으로 반사시키는 구조의 반사판을 방열 수단으로 이용하고, 금속제 패키지 재료를 사용하는 등 다양한 방식의 방열기술이 개발되고 있다<sup>4,6)</sup>.

LED 모듈의 효율을 100으로 가정할 때 등기구의 효율은 50%정도 밖에 되지 않는다. 따라서 광원인 모듈의 온도 상승으로 10~20%의 효율이 상실되기 때문에 모듈로부터 빠르게 열을 빼낼 수 있는 열전도성 소재를 사용하고 방열판 또는 조명 하우징으로 열을 전달하여 방열시키는 것이 필요하다. LED 모듈은 기판위에 칩이 올라가고 PCB(Printed Circuit Board)가 히트싱크에 접촉되어 여러 층으로 이루어지는 구조로서 이 또한 열 저항으로 방열에 어려움을 주고 있다. COB타입의 고휘력 LED 모듈의 방열을 위해서 기존의 알루미늄 방열판을 대체하는 소재 및 구조에 대한 연구로 CNT(Carbon Nano Tube)방열소재와 금속, 세라믹, 탄소나노튜브 등의 열전도성 소재를 이용한 방열 플라스틱에 대한 연구도 진행되고 있으며<sup>7-13)</sup>, 방열판에 관한 다양한 연구들이 활발히 진행되고 있다.

LED모듈을 사용할 때 방열하는 모듈의 사용 효율을 높이기 위해 다양한 형태의 방열판을 장착되게 되고, 모듈의 방열부와 방열판 사이의 열 저항을 줄이기 위해서 열전달물질(TIM; Thermal Interface Material)인 열전도 그리스를 도포하고 조립하게 된다. 이때 다양한 종류의

열전도 그리스는 제조사에 따라 가격 및 열전도도가 다르다. 따라서 열전도 성능이 우수한 열전달물질을 사용하여 열 저항을 최소화시켜서 열전달을 향상시키는 것이 장치의 성능 및 수명 향상에 무엇보다 중요하며, 열전도성이 우수한 열전달물질이 요구된다.

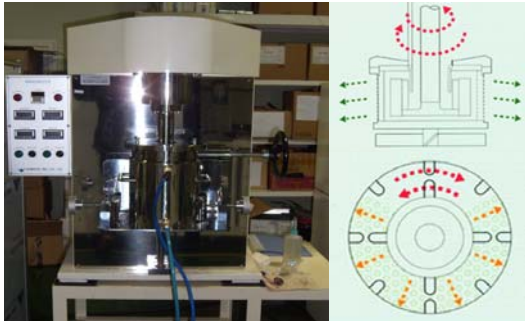
본 논문에서는 고휘력 LED모듈의 방열을 위해 방열판으로 열전달을 향상시키기 위한 연구로서, 카본을 이용한 열전도 CNT 수지를 중합하였고<sup>1)</sup>, 이를 열전달물질로 사용하여 기존에 시판되고 있는 열전도 그리스와의 비교 냉각실험과 50W LED모듈에 적용하여 비교 방열시험을 실시하여 열전도 성능을 비교 검토하였다.

## 2. CNT 열전달 수지

### 2.1 CNT 열전달 수지 중합

CNT 열전달 수지의 제조를 위해서 필러로는 CNT, 그라파이트(Graphite)와 카본블랙(Carbon black)이 사용되었다. 기지재로 사용된 에폭시 수지는 국도화학(주) 이관능성 에폭시 올리고머인 DGEBA(Diglycidylether of bisphenol-A)계 YD-128 (e.e.w.: 184~190 g/eq, 점도: 11500~13500cps)을 사용하였고, 경화제는 TCI사 제품인 4,4'-DDM (Diaminodiphenylmethane)을 사용하였으며 YD-128의 고 점도를 낮추기 위해 MEK(Methyl Ethyl Ketone)가 희석제로 사용되었다. 에폭시 수지와 경화제 DDM을 당량비 1:1로 혼합하여 70°C에서 녹이고, MEK를 에폭시 수지와 무게비 1:1로 첨가하여 희석시켰다. 중합된 CNT 열전달 수지의 성분 조성은 CNT 2%, 그라파이트 25%, 카본블랙 50%, 에폭시 23%로 합성하여 열전달매체로 활용하였다. CNT 첨가 유무에 따라 제조된 방열 수지와 Shinetsu사의 상용제품인 G-747 실리콘 서멀 그리스(Silicon thermal grease)와의 냉각성능 시험 및 LED 방열 실험을 통하여 열전달 성능을 비교하였다.

CNT의 열전도 특성 및 기계적인 특성을 동시에 응용하여 열전달 수지를 제조하기 위해서는 분말상태인 탄소나노튜브를 분산시켜 균질의 분산액 제조 기술 확보가 중요하다. 탄소나노튜브는 튜브가 서로 얽혀있는 상태로 존재하게 되며, 서로간의 반데르발스(van der waals)힘에 의하여 단일 튜브형태가 아닌 다발의 형태로



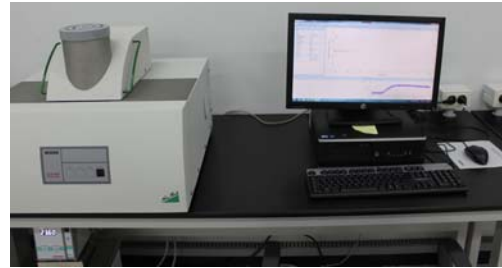
**Fig. 1 Schematic of the device and the CNT dispersion**

존재하기 때문에 이들을 각각 개별형태로 분리하여 용액의 형태로 제조하는 것은 상당히 기술적으로 난관이 있다. 현재까지 탄소나노튜브를 용해시킬 수 있는 용제는 보고된 바가 없으며, 여러 가지 물리적, 화학적 방법들을 통하여 균일하게 분산된 탄소나노튜브를 얻고자 하는 여러 가지 연구가 진행되고 있다.

탄소나노튜브 복합체 열전달 수지 제조의 핵심기술은 탄소나노튜브를 에폭시수지에 잘 분산시키는 것이 중요하다. 이를 위해 초음파처리를 이용한 분산, 3롤밀(Roll Mill)을 이용한 분산 등 많은 방법들이 연구되고 있다. 초음파를 이용한 분산의 경우는 기포가 발생하여 용매를 사용한 후 이를 제거해야 하는 문제점이 있다. 본 연구에 이용된 기술은, 이러한 문제점을 해결하는 대안으로 탄소나노튜브를 PG(Propylene glycol)/EG(Ethylene glycol) 등의 원료에 분산한 후 불포화 폴리에스터를 중합하는 방법으로 이를 위한 분산방법으로 나노마이저(Nanomizer)를 이용하였다. 나노마이저 바스켓에는 비드가 있으며, 바스켓과 바스켓 내부의 회전축은 서로 반대방향으로 고속 회전하고 이를 이용하여 탄소나노튜브를 분산하는 원리로 Fig. 1에 장치 및 회전 개략도를 나타내었다.

## 2.2 열전도도 측정

중합된 CNT 열전달 수지를 이용하여 비교 실험을 하기 위해서는 우선 열전도도의 측정이 필요하여 대기 중에서 경화시키고, 측정 장비의 규격에 적합하도록 12.7×12.7×2.4(mm)의 고체상태의 사각시편으로 제작하였다. 열전도도 측정에 사용된 장비는 Netzsch사의 LFA 447 Nanoflash 모델인 Fig. 2(a)를 이용하였으며, 이 장비

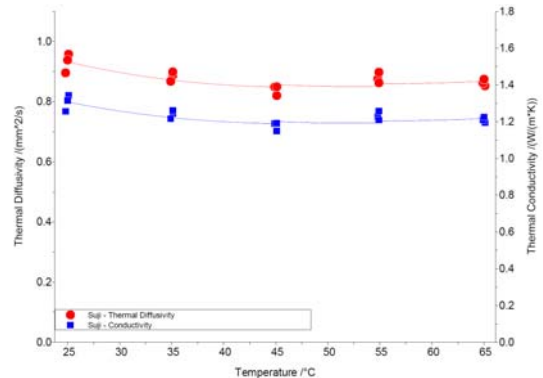


**(a) Laser flash system**



**(b) Installation of test specimen**

**Fig. 2 Thermal conductivity measurement apparatus**



**Fig. 3 Results of thermal conductivity and thermal diffusivity for the CNT resin**

는 열확산율, 비열, 열전도율 등의 열적특성 분석이 가능한 장비로, 열전도도의 측정 범위는 0.01~2,000(W/m·K)에서 가능하다. 측정을 위해 Fig. 2(b)와 같이 제작된 시료를 장치에 장착하고, 에너지 소스를 최대 10(J)을 가할 수 있는 제논 플래시 램프에 의해 열을 가한 후 시편의 열확산율과 열전도율을 측정하였다. 측정 결과의 정확성 및 재현성을 높이기 위하여 각각 3번씩 측정하였으며, Table 1에 평균값을 나타내었고, Fig. 3은 측정 결과의 그래프로서 좌측 세로축은 열확산율, 우측 세로축은 열전도율을 나타내었다. 또한 CNT수지의 열전도

도를 사용 온도 대에 따라 열확산율 및 열전도율의 특성을 파악하기 위하여 25℃부터 65℃ 까지 10℃ 단위로 측정하였다. 실온 25℃에서 1.305(W/m·K)로 가장 높고, 45℃에서 1.178(W/m·K)로 가장 성능이 떨어졌으나, 평균 1.233(W/m·K)으로 열확산율 및 열전도율이 거의 일정한 값을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

### 3. 냉각과 방열 성능 테스트 및 고찰

#### 3.1 열전달물질의 냉각성능 테스트

제조된 카본 방열 수지 및 CNT 방열 수지(1.233 W/m·K)와 열전도그리스(Shinetsu사 G-747 silicon thermal grease, 1.09 W/m·K)에 대한 냉각 성능 시험과 LED 방열 실험을 실시하였다. 냉각 성능 시험은 상온 대류조건에서 그라파이트, 카본블랙 합성 열전달 수지(①, 이하 카본 열전달 수지), CNT, 그라파이트, 카본블랙 열전달 수지(②, 이하 CNT 열전달 수지)와 상용 서멀그리스(③)를 이용하여 시험편을 제작하였다. 시험편 제작은 유리판에 열전달물질(①, ②, ③)을 각각 10 $\mu$ m로 도포하고, 30 $\mu$ m의 알루미늄 박판을 접착한 후 열화상카메라 측정을 위해 흑색 무광 페인트를 도포하는 과정을 거쳐 Fig. 4와 같이 시험편을 제작하였다. 냉각 시험을 위한 가열은 Fig. 5와 같은 항온장치에서 가열하였다. 시험편을 80℃까지 가열한 후, 각각 시험편이 냉각되는 과정을 적외선 열화상(Infrared Thermography) 카메라(FLIR-SC620)를 이용하여 온도변화를 측정하여 냉각 성능을 확인하였다. 또한 열전달물질 ② 및 ③을 적용한 50W 고출력 LED모듈(BridgeLux사의 BXRA-C5000)을 사용하여 Fig. 8과 같이 방열성능 비교 실험을 실시하였다.



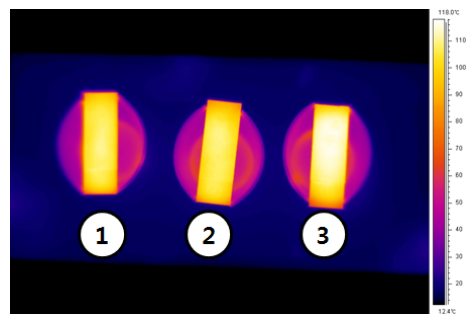
Fig. 4 IRT test pieces



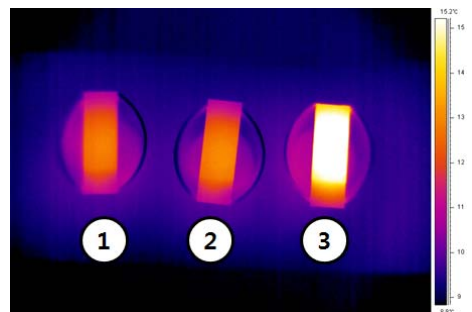
Fig. 5 Constant temperature device



(a) IRT process of the specimen



(b) The initial infrared images



(c) Infrared images of 360 seconds

Fig. 6 Results of the IRT

Fig. 4의 3개의 시험편에 대해 적외선 열화상 카메라를 이용한 냉각성능 측정과정(a)과 시험의 초기 가열직후(b)와 360(sec) 경과 후(c)의 열화상 이미지를 Fig. 6에 나타내었다. 열화상 이미지에서도 알 수 있듯이 시험 표면 온도변화(b), (c) 이미지를 보면 ①, ②번 시험편보다 ③번 시험편이 확연히 온도가 높은 것을 알 수 있다. 이는 그래파이트, 카본블랙 합성 열전달수지(①)와 CNT, 그래파이트, 카본블랙 열전달수지(②) 시험편이 서멀 그리스(③) 시험편보다 빨리 냉각 되어 낮은 표면온도를 나타내고 있음을 의미한다. 또한 ①, ②의 열전달 물질이 시험 내부의 열을 빨리 전달하여 방열시켰다고 말할 수 있다.

시험편의 온도변화는 내부의 시험편이 최대로 냉각되어 일정한 온도를 유지할 때 까지 열화상 카메라를 이용하여 측정을 계속하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 카본 열전달 수지(①) 시험편과 CNT 열전달 수지(②) 시험편의 냉각 성능은 최대 1°C 이내로 미소한 차이를 보이는 반면, G-747 상용 실리콘 서멀그리스 ③번 시험편과는 최대 5°C 정도의 냉각성능의 차이를 보였다. 이 결과는 알루미늄 박판의 두께가 약 30 $\mu$ m 정도에서의 열용량이 적은 경우의 냉각성능으로서 열용량이 큰 방열판에서의 냉각 성능은 더욱 향상될 것으로 예상된다.

### 3.2 50W 고출력 LED모듈 방열 테스트

Fig. 8과 같이 방열테스트를 위한 전체 시스템을 구성하였다. LED 방열 실험을 위해 50W 고출력 LED모듈(BridgeLux사의 BXRA- C5000)을 220×150×60(mm) 알루미늄 방열판의 중앙에 부착하였다. 이때 열전달을 위해 Fig. 9(b)와 같이 그래파이트와 카본블랙에 CNT를 첨가하여 중합(②)하여 열전도도가 1.233(W/m-K)인 CNT 열전달 수지와 Shinetsu사 G-747로 열전도도가 1.09(W/m-K)인 상용 서멀 그리스(③)를 LED MCPCB와 방열판 사이에 각각 도포하여 열전달매체(TIM)로서 사용하였으며, 구성된 장치를 1,800×1,800×1,800(mm) 암막 내부의 중앙에 위치하도록 하였다. LED 모듈의 전원공급은 파워서플라이(Regulated DC Power Supply; G-TEC GP5010)로 45.4W (23.9V, 2.1 A)의 DC 전력을 일정하게 유지하였으며, 온도 측정은 멀티 레코더(Yokogawa

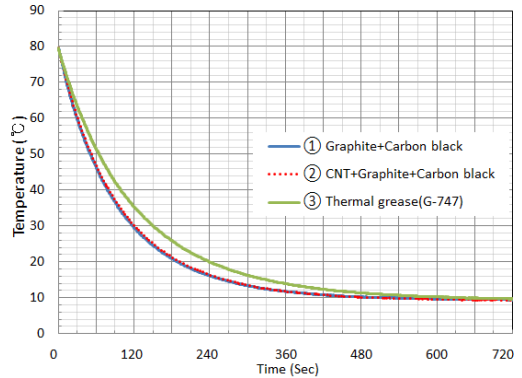


Fig. 7 Cooling Rate Curve of the Specimen by the IRT

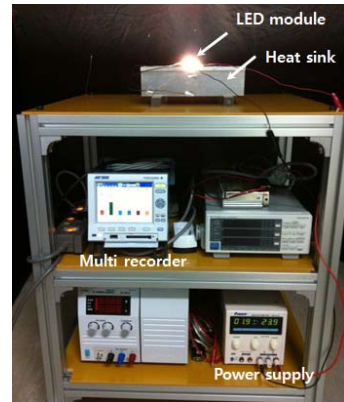


Fig. 8 Experimental setup of heat radiation test

MV-1000)로 Fig. 9(a)와 같이 구성하여 각 포인트에서 온도 변화를 측정하였다. 이때 암막 내부의 측정 모듈 주위 온도는 22.0±1.0(°C) 범위를 유지하도록 하였다.

LED 모듈의 방열 테스트에 따른 온도분포 측정 포인트는 총 5개소로 P1~P5의 온도 변화를 측정하였다. P1은 LED 모듈의 MCPCB Metal과 방열판 접촉면(MCPCB Metal 하부), P2는 LED 모듈의 MCPCB Metal 상부, P3는 방열판 핀(Pin) 상단의 220mm의 중앙부분, P4는 방열판 핀 하단의 온도를 변화를 측정하였으며 그 결과를 Fig. 10에 나타내었다. P5는 암막 내부의 주위 온도 변화를 측정하였다.



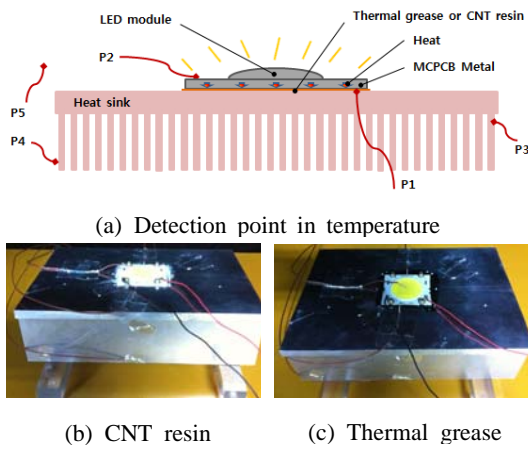
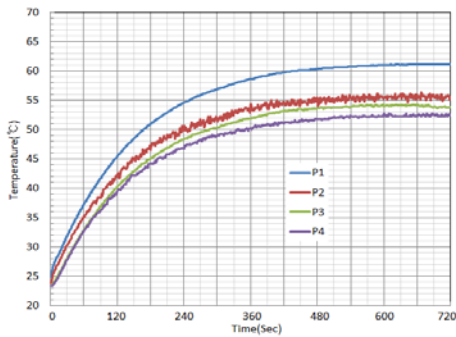
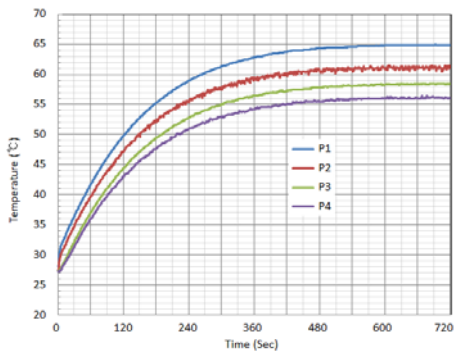


Fig. 9 Test of heat radiation of LED module with CNT resin and thermal grease



(a) CNT resin



(b) Thermal grease(G-747)

Fig. 10 Test results in heat radiation of LED module with CNT resin and commercial thermal grease

고출력 LED 모듈에 45.4W의 DC전원 공급하고, LED 모듈 방열테스트 시간은 LED 조명의 전원 및 방열 등의 안정화를 고려하여 2시간 동안 실시하였다. 테스트 후 60분 정도 지나면서 LED 모듈의 P1, P2 포인트의 온도가 안정화됨을 알 수 있었으며, 안정화 이후 LED의 MCPCB Metal의 상부(P1) 및 하부(P2)의 온도는 CNT 열전달 레진을 적용한 경우가 Shinetsu 열전 그리스를 적용한 것 보다 4.0~5.5°C 정도 낮게 측정되었다. 이는 CNT 수지가 사용 서멀 그리스보다 열저항이 낮고, LED모듈의 MCPCB Metal로부터 알루미늄 방열판으로 열을 빨리 전달시킨다고 할 수 있으며, 이는 열전도도가 서멀 그리스 보다 높다고 말 할 수 있다.

이는 CNT 레진의 열전도도가 높은 것을 입증하는 것으로, CNT 레진의 열전도도 측정 결과인 Table 1에서 CNT 레진의 열전도도가 25.0(°C)에서 1.305(W/m·K)으로 Shinetsu사 G-747 서멀그리스의 열전도도 1.09(W/m·K)보다 0.215정도 높은 결과 나타났다.

또한 방열판 핀 상부(P3) 및 하부(P4)의 경우도 온도가 3°C정도 낮게 측정되어, CNT 레진을 사용한 경우가 서멀 그리스 보다 빠르게 방열됨을 알 수 있었다. 이는 중합된 CNT 레진이 열전도도가 높고, 빠르게 열을 전달시켜 LED 모듈의 성능 및 수명 향상에도 큰 영향을 줄 것이다.

#### 4. 결론

본 연구는 CNT를 첨가한 열전달물질을 제조하여 열전도도를 측정하고, 성능 테스트를 위하여 CNT 열전달 수지와 상용 서멀그리스를 적용하여 비교실험을 실시하였다. 적외선 열화상 카메라를 이용한 시편의 냉각 성능 측정 실험과 고출력 LED를 이용한 방열 테스트를 통해 열전달 성능 테스트를 진행하였다.

그라파이트와 카본블랙을 중합한 카본 열전달 수지, 그라파이트와 카본블랙에 CNT를 첨가하여 중합한 CNT 열전달 수지와 Shinetsu G-747 사용 서멀그리스에 대한 냉각성능 비교 테스트를 실시한 결과, 카본 방열 수지와 CNT 방열 수지는 상용 서멀

그리스 보다 5.0℃ 낮게 측정되어 냉각 성능 및 열전달 능력이 우수하게 나타났으며, 중합한 CNT 방열 수지의 열전도도를 측정한 결과에서도 1.233(W/m·K)로 상용 서멀 그리스 보다 0.143(W/m·K) 높게 측정되었다.

또한 50W 고출력 LED를 이용한 CNT 열전달 수지와 서멀그리스의 열전달 성능을 평가를 위한 방열 테스트 결과 LED 조명의 안정화 후에 CNT 열전달 수지를 적용한 경우가 4.0~5.5℃정도 낮게 측정되었다. 이는 CNT 열전달 수지가 LED의 MCPCB Metal로부터 알루미늄 방열판 쪽으로 열을 빨리 전달시킴으로서 중합된 CNT 열전달 수지가 상용 열전그리스 보다 열저항이 낮고 열전도도가 높다고 할 수 있다.

본 연구에서 그래파이트와 카본블랙에 CNT를 첨가하여 중합한 CNT 레진과 Shinetsu사 G-747 상용 서멀그리스와의 비교 냉각 실험 및 방열 테스트 결과 본 연구에서 제조한 CNT 수지가 우수한 열전달 성능을 보였으며, 두 실험에서 동일한 결과가 얻어짐으로서 비교 실험 또한 유효하다 할 수 있다.

## REFERENCES

1. Bruce S., "Technologies that Deserve to Die," MIT's Technology Review, October 2003.
2. "Light Emitting Diodes(LEDs) for General Illumination," OIDA Technology Roadmap 2002.
3. "LED Lighting Technology Lessons from the USA," Report of a global watch mission March 2006.
4. Yoo, J. Y., "Patent technology Trends of LED Heat Radiation Technology," IOD Report, KISTI, April 2005.
5. Kim, G. H., Yoon, G. S., Heo, Y. M., Jung, D. S., and Cho, M. W., "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, 2008.
6. Lee, K. Y., "A Study on the Performance Enhancement of Heat Sink Using Heat Pipe," A Thesis for a Master, Pukyong National University, Republic of Korea, 2007.
7. Cho, Y. T., "Heat Radiation of LED Light using Cu Plating Engineering Plastic Heat Sink," Korean Society of Manufacturing Technology Engineers, Vol. 20, No. 1, pp. 81-85, 2011.
8. Cho, Y. T., "Heat Sink of LED Lights Using Engineering Plastics," Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 12 No. 4, pp. 61-68, 2013.
9. Xie, H., Li, Y., Chen, L., "Adjustable Thermal Conductivity in Carbon Nanotube Nanofluids," Phys. Lett., A 373 pp. 1861-1864, 2009.
10. Yu, A. P., Ramesh, P., Itkis, M. E., Bekyarova, E., Haddon, R. C., "Graphite Nanoplatelet-epoxy Composite Thermal Interface Materials," J. Phys. Chem., C 111, pp. 7565-7569, 2007.
11. Yu, A., Ramesh, P., Sun, X., Bekyarova, E., Itkis, M. E., Haddon, R. C., "Enhanced Thermal Conductivity in a Hybrid Graphite Nanoplatelet-carbon Nanotube Filler for Epoxy Composites," Adv. Mater., Vol. 20, pp. 4740-4744, 2008.
12. Nan, C. -W., Birringer, R., Clarke, D. R., Gleiter, H., "Effective Thermal Conductivity of Particulate Composites with Interfacial Thermal Resistance," J. Appl. Phys., Vol. 81, pp. 6692-6699, 1997.
13. Huxtable, S., Cahill, D., Shenogin, S., Xu, L., Ozisik, R., Barone, P., Usrey, M., Strano, M., Siddons, G., Shim, M., Koblinski, P., "Interfacial Heat Flow in Carbon Nanotube Suspensions," Nat. Mater., Vol. 2, pp. 731-734, 2003.