

탄소물질을 이용한 전자부품의 열 방출효과

엄윤용[†] · 노재승 · 안재상 · 강동수 · 서승국 · 김석환
금오공과대학교 신소재시스템공학부

Thermal Emission Effect of Electronic Parts Using Carbon Materials

Woon-Yong Eom[†], Jae-Seung Roh, Seung-Kuk Seo, Jai-Sang Ahn,
Dong-SuKang and Suk Hwan Kim

School of Advanced Materials and Systems Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Gumi,
Gyeongbuk 730-701

(2010년 4월 4일 접수 : 2010년 4월 11일 최종수정 : 2010년 4월 12일 채택)

Abstract Recent high efficiency electronic devices have been found to have heat emission problems. As for LEDs, an excessive increase in the device temperature causes a drop of the luminous efficiency and circuit lifetime. Therefore, heat release in the limited space of such electronic parts is very important. This is a study of the possibility of using a coating of carbon materials as a solution for the thermal emission problem of electronic devices. Powdered carbon materials, cokes, carbon blacks, amorphous graphite, and natural flakes were coated with an organic binder on an aluminum sheet and the subsequent thermal emissivity was measured with an FT-IR spectrometer and was found to be in the range of 5~20 μm at 50°C. The emissivity of the carbon materials coated on the aluminum sheet was shown to be over 0.8 and varied according to carbon type. The maximum thermal emissivity on the carbon black coated-aluminum surface was shown to be 0.877. The emissivity of the anodized aluminum sheets that were used as heat releasing materials of the electronic parts was reported to be in the range of 0.7~0.8. Therefore, the use of a coating of carbon material can be a potential solution that facilitates heat dissipation for electronic parts.

Key words thermal emissivity, electronic parts, carbon materials, coating.

1. 서 론

전자부품과 장비의 고성능화 및 초소형화로 제한된 공간에 더 많은 소자들이 집적되면서 전자부품의 단위 면적당 발열량이 급증하였다. 또한 최근 각광을 받고 있는 LED 등의 광소자 핵심 부품산업이 풀어야 할 중요한 과제 중 하나가 방열의 문제이다. LED의 발광 효율이 높아진 것은 사실이지만, LED 패키지의 발열량은 상당한 수준이며 방열 대책을 마련하지 않으면 LED 패키지의 온도 상승으로 인한 발광 효율의 저하, 칩의 단수명화를 초래하게 된다. 이처럼 전자부품의 소형화 및 새로운 응용제품의 적용은 열적 문제의 해결이 없이는 불가능하다.^{1,2)} 이렇게 전자제품의 발열을 최소화시킬 수 있는 방법으로는 소형 팬을 설치하는 등의 기계적 방법이 있고, 부피를 최소화하기 위하여 고방열 물질을 이용한 방열코팅방법이 있다.³⁻⁵⁾

그 중 흑연 및 탄소재료는 원자력이나 에너지 재료로 각광을 받고 있으며 전자기기 및 LED 등의 전자부품의 열방출을 위한 코팅재료로 그 이용 영역이 확대되고 있다. 흑연은 결합력이 큰 기저면을 따라 우수한 열전도도, 전기전도도 및 강성률 등을 나타내고 화학적으로 매우 안정하여 화학, 전기전자, 기계, 자동차, 원자로 등에 널리 사용되고 있다. 이러한 특성은 흑연의 결정구조에서 그 원인을 찾을 수 있다. 흑연의 결정구조는 육방정 구조로써 a-축 방향으로의 기저면(basal plan)은 강한 sp² 결합을 하고 있으며 c-축으로는 약한 Van der Waals 결합을 하고 있다. 따라서 a-축으로는 전기전도도, 열전도도 및 강성률 등이 우수하며 c-축 방향으로는 이러한 특성들이 상대적으로 미약하다.^{6,7)} 방사를 또한 이런 이방성 특성을 나타내고 있다고 알려져 있다.

열방사는 열에너지를 갖는 물체의 외부에서 나타나는 현상 중 하나이다. 열방사율은 이상적인 완전방사체인 흑체의 열방사를 1로 할 때, 이에 대한 방사 휘도의 비율로서 물체의 열방사 정도를 표현한다. 열방사율은 금속 재료, 세라믹재료, 플라스틱재료 등의 열적 물성을 표현

[†]Corresponding author
E-Mail : goodjob804@hanmail.net (W. -Y. Eom)

하는데 다양하게 이용되고 있으며, 상대적으로 저온 영역에서의 열전달에서도 열방사는 매우 중요한 역할을 한다고 알려졌다. 이를 이용하여 항공우주분야, 소방 안전, 건강의료, 플라스틱 가공, 섬유산업, 전기 전자부품 등 산업 전반에 걸쳐 많은 연구가 진행되고 있다.⁸⁻¹²⁾

열방사율은 재료표면의 형상, 기공의 유무, 표면거칠기, 산화 여부 그리고 측정온도 등에 따라 달라진다. 그러나 많은 보고에서 표면의 형상이나 거칠기의 경향에 따라 열방사율이 영향을 받는다는 언급만 있을 뿐 정량적인 데이터는 거의 찾아보기 힘든 실정이다.^{13,14)}

본 연구는 열방사 능력이 우수한 탄소 및 흑연분말을 유기바인더와 혼합하여 전자부품의 열방출을 위한 방열판 소재로 널리 이용되는 알루미늄 기판 위에 코팅하였으며, 탄소재료의 코팅 전과 코팅 후의 열방사율 변화를 비교하여 LED 및 태양광소자 등의 전자부품의 열방출 효과 가능성을 타진하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 원료분말

연구에 사용된 탄소 및 흑연은 카본블랙(REGAL 330R, Cabot, 평균입도 : 25 μm), 코크스(NP-COKE60, HYUNDAI COMA, 평균입도 : 30 μm , 순도 : >98%), 인상흑연(HC-398, HYUNDAI COMA, 평균입도 : 50 μm , 순도 : >98.5%), 그리고 토상흑연(HK-38, HYUNDAI COMA, 평균입도 : 30 μm , 순도 : >80%) 분말이었으며 ball milling(250rpm, 12h) 후 sieving(#500)을 실시하여 분말의 입도를 균일하게 조절하였다. 이렇게 얻어진 분말들의 입도분석기(MASTERSIZER200, MALVERN INSTRUMENT사)를 이용하여 측정된 평균입도는 13~18 μm 였다. 제조된 분말들은 Raman 분광분석기를 이용하여 결정화도를 측정하였으며, 본 연구에 사용된 탄소 및 흑연 분말의 기본 물성을 Table 1에 나타내었다.

2.2 페이스트 제조 및 코팅

각각의 분말과 유기바인더를 50°C에서 3시간 동안 교반시켜 페이스트를 제조하였고, 제조한 각각의 페이스트를 기판에 코팅 한 후 150°C에서 30분간 건조시켰다. 기

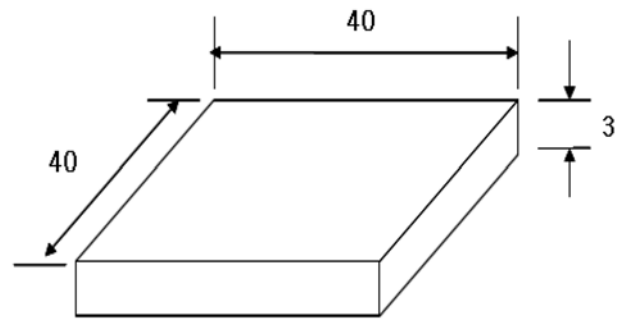


Fig. 1. Sample dimension for experiments (Unit : mm).

판으로는 알루미늄(Al 6061) 판을 이용하였으며, 열방사율을 측정기의 시료 장착실에 맞추기 위하여 Fig. 1과 같이 40 × 40 × 3(mm)의 크기로 하였다.

2.3 SEM 관찰

전자현미경을 이용하여 각각의 분말의 이미지와 기판에 코팅한 후 코팅층의 이미지를 관찰하였다. 관찰 배율은 5,000배였으며, 코팅 전 분말의 입자 형상과 코팅 후 코팅층의 표면의 입자 형상을 관찰하였다.

2.4 Raman 분석

본 연구에 사용된 분말의 결정성과 기판에 코팅한 후 코팅층의 결정성을 비교하기 위해 라만 분광분석을 실시하였다. 라만분광분석기(Invia system, Renishaw, UK)는 Ar 레이저(514 nm)를 광원으로 사용하였고, 레이저의 spot size는 0.5 μm 이었다. 라만분광분석으로 얻은 피크의 Id/Ig와 FWHM으로 시편의 결정성을 비교하였다.

2.5 열방사율 측정

원적외선 측정 장비를 이용하여 탄소와 흑연의 종류에 따른 열방사율을 비교하였다. 그리고 탄소 및 흑연 분말을 유기바인더와 혼합하여 금속 기판에 코팅하여 코팅 전과 후의 열방사율 변화를 측정하였고, 분말의 입도에 따른 열방사율 차이를 비교하였다. 열방사율은 50°C에서 측정하였다. 원적외선 분석에 사용된 FT-IR Spectrometer(M2400-C, MIDAC, USA)의 열방사율은 흑체(방사율=1) 대비 측정결과이다.

3. 결과 및 고찰

3.1 SEM 관찰

Fig. 2는 코팅 전 분말의 입자 형상이다. Fig. 3은 코팅 후 코팅층의 표면 SEM 사진이다. 카본블랙은 대부분의 경우에 있어서 5 nm에서 수백nm 크기의 일차 입자(primary particle)들이 응집된 형태로 존재한다. 이는 작은 입도에서 기인하는 넓은 표면적을 가지는 특성의

Table 1. Summary of the raw powders properties.

| Carbon Types | Average Size | Shapes | Id/Ig by Raman |
|---------------------|------------------|-----------|----------------|
| Carbon Black | 14 μm | Spherical | 0.91 |
| Cokes | 14 μm | Random | 0.79 |
| Natural Flakes | 18 μm | Flaky | 0.12 |
| Amorphous Graphites | 13 μm | Random | 0.29 |

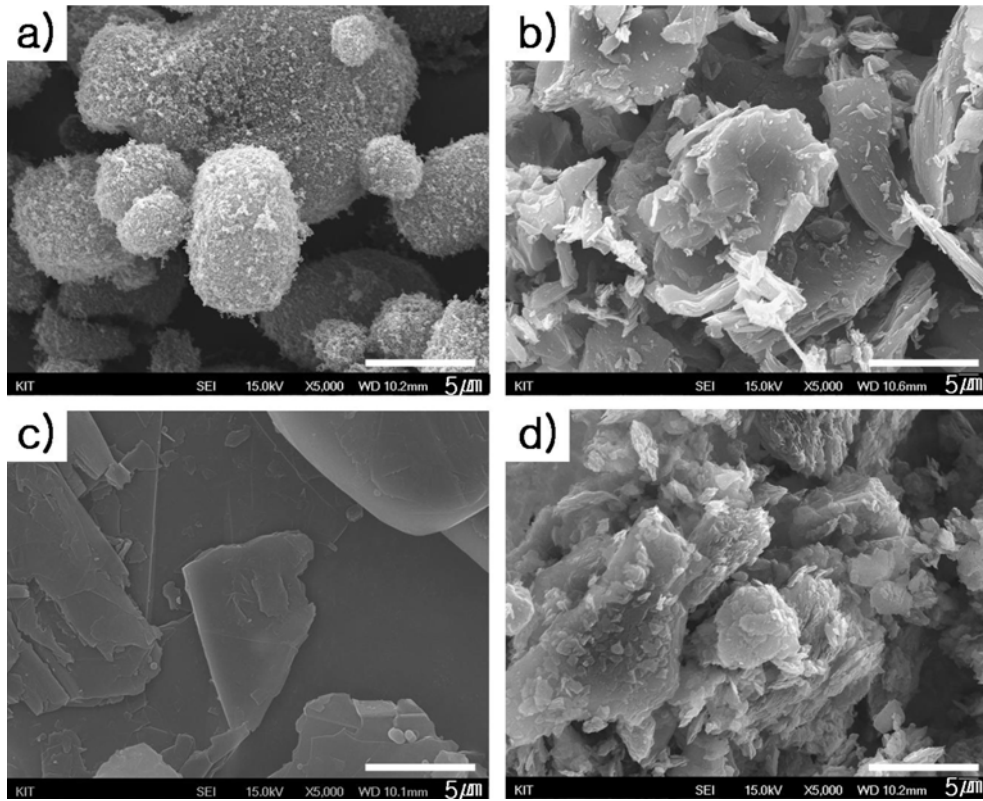


Fig. 2. SEM images of carbon and graphite raw powders; a) Carbon black, b) Cokes, c) Natural flakes and d) Amorphous graphites.

로 인하여 입자간 인력이 크게 작용하여 응집현상이 아주 잘 일어나는데 기인한다.¹⁵⁾ Fig. 2(a)의 SEM 이미지에서 이와 같은 현상을 잘 보여주고 있다. 카본블랙 입자들간의 응집현상에 의해 카본블랙 분말은 구형상을 보이고 있으며, Table 1의 입도 분석 결과에서도 카본블랙 분말의 평균입도는 $14 \mu\text{m}$ 였다. Fig. 3(a)은 카본블랙 분말을 유기바인더를 이용하여 알루미늄기판에 코팅했을 때 코팅층의 SEM 이미지이다. 구형상의 카본블랙 입자들을 바인더가 결합시켜주고 있으나, 카본블랙의 넓은 표면적으로 인해 카본블랙 입자가 바인더를 흡수(흡착)하여 코팅층의 표면으로 카본블랙 입자들이 많이 돌출된 형상을 보이고 있다. 반면 Fig. 2(c)의 인상흑연 분말의 SEM 이미지에서는 인상흑연 입자들이 판상을 하고 있는 것을 잘 보여준다. 이러한 판상의 인상흑연을 알루미늄 기판에 코팅한 경우 인상흑연 입자들이 정렬되어 알루미늄 기판 위를 덮고 그 위를 바인더가 덮고 있는 형상을 보인다. 따라서 인상흑연 입자들은 코팅층의 표면으로 돌출된 부분이 상대적으로 적다(Fig. 3(c) 참조). 반면 Fig. 2(b)의 코크스와 Fig. 2(d)의 토상흑연 분말의 SEM 이미지에서는 코크스와 토상흑연 분말의 입자 형상은 무정형에 가까운 것을 보여주고 있으며, Fig. 3(b)와 Fig. 3(d)의 코크스와 토상흑연을 알루미늄 기판에 코팅했을 때 코팅층의 SEM 이미지에서는 무정형의 코크

스와 토상흑연의 경우 판상의 인상흑연을 코팅한 경우보다 코팅층 표면으로 입자가 상대적으로 더 많이 돌출되어 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 코팅층 표면의 차이는 비표면적의 차이로 이어지는데, 비표면적은 열방사율에 영향을 미치는 것으로 판단된다.

3.2 Raman 분석

Fig. 4는 원료 탄소분말의 종류에 따른 라만 스펙트럼의 차이와 코팅 전과 후의 라만 스펙트럼의 변화를 보여주고 있다. 라만 스펙트럼의 1360 cm^{-1} 및 1580 cm^{-1} 피크가 각각 비결정성과 결정성의 척도가 된다. 따라서 I_{1360}/I_{1580} 은 결정성을 나타내는 척도가 되는데 연구에 사용된 코크스, 인상흑연 그리고 토상흑연 모두 코팅 후 G-peak 대비 D-peak의 강도가 증가하였다. 이는 코팅 후 탄소재료의 결정성이 떨어졌다고 할 수 있으나 실제 탄소재료의 결정성이 떨어졌다고 보다는 사용된 바인더가 원료분말을 가리는 효과 때문에 D-peak의 강도가 상대적으로 증가한 것으로 판단된다. Table 2는 분말 상태의 탄소재료를 기판에 코팅하기 전과 코팅한 후의 I_d/I_g 와 FWHM(D-peak)의 변화를 정리한 것이다.

3.3 Thermal emissivity

Fig. 5는 분말 상태의 탄소재료의 복사 특성을 나타내

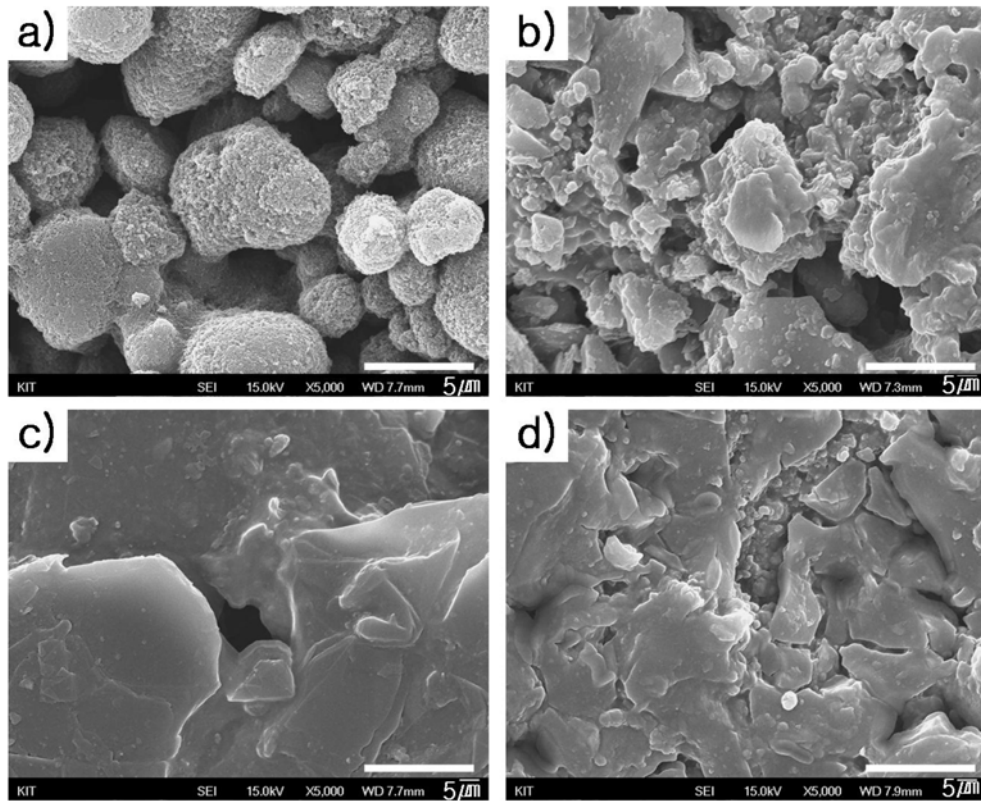


Fig. 3. SEM images of coated powders on aluminum sheet; a) Carbon black, b) Cokes, c) Natural flakes and d) Amorphous graphites.

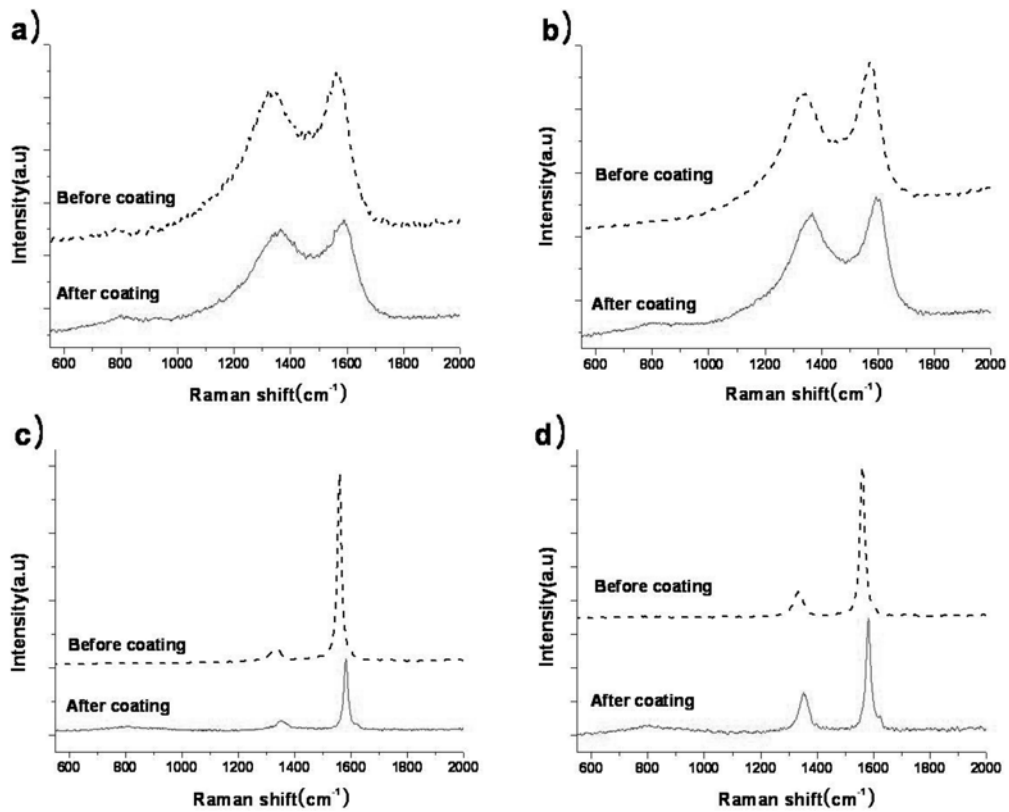


Fig. 4. Comparison of Raman Spectra between raw powders and coated powders; a) Carbon black, b) Cokes, c) Natural flakes and d) Amorphous graphites.

Table 2. Summary of Id/Ig and Full-width Half-maximum (FWHM) of raw powders and coated powders.

| Carbon Types | Id/Ig | | FWHM(D-peak) | |
|---------------------|---------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| | before coating (raw powders) | after coating (coated powders) | before coating (raw powders) | after coating (coated powders) |
| Carbon black | 0.91 | 0.96 | 230.1 | 299.6 |
| Cokes | 0.79 | 0.88 | 178.1 | 180.6 |
| Natural flakes | 0.12 | 0.16 | 63.1 | 75.0 |
| Amorphous graphites | 0.29 | 0.34 | 52.7 | 42.2 |

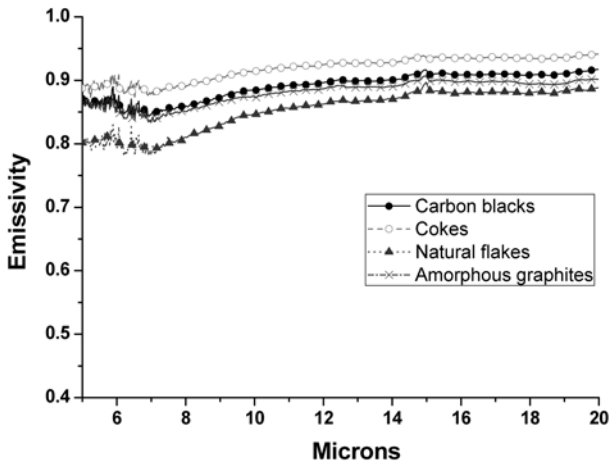


Fig. 5. Emissivity curves of raw powders at 50°C.

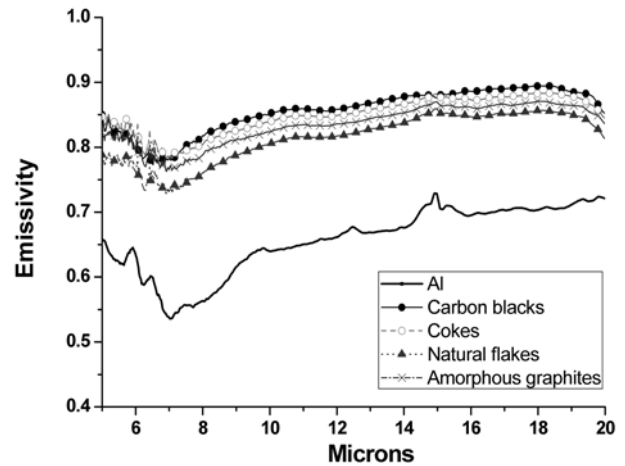


Fig. 6. Emissivity curves of coated powders at 50°C.

고 있다. 카본블랙, 코크스, 토상흑연 분말은 5~20 μm 전 영역에서 0.9 에 가까운 높은 복사 특성을 나타내고 있으며, 특히 단파장에서도 0.8이상의 높은 복사 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 일반적으로 결정성이 높은 흑연이 비결정성 탄소보다 열방사율이 높은 것으로 알려져 있다. 그러나 본 연구에서는 상이한 결과를 보여주고 있는데 이는 흑연 분말이 c-축에 수직인 면에서 가장 큰 방사율 값을 나타내므로 분말의 어느 면이 방사율 측정 표면으로 노출되느냐에 따라 그 값이 달라진다는 것을 알 수 있다.^{13,14,16)}

Fig. 6은 탄소재료를 유기바인더와 혼합하여 알루미늄기판에 코팅했을 때 기판의 복사 특성을 나타내고 있다. 50°C에서 실험에 사용한 모든 코팅된 탄소물질의 열방사율은 0.8이상이 얻어졌다. 열방사율은 카본블랙>코크스>토상흑연>인상흑연 순으로 감소하고 있으며 이는 분말 상태의 탄소재료의 열방사율과 같은 경향을 보여준다. 하

지만 코팅층의 방사율이 다소 감소하는 이유는 접합에 이용된 바인더가 원료 분말을 덮어버리는 효과 때문인 것으로 판단된다.

인상흑연의 경우 결정성이 가장 높았으나 열방사율 측정결과 가장 낮은 열방사율을 보였다. 천연인상흑연은 탄소로 이루어진 물질 중 가장 흑연구조에 가까운 물질로서 a-축 방향으로는 전기전도도, 열전도도 등이 우수 하나 c-축 방향으로는 이러한 특성이 미약하고 열방사율 또한 이러한 이방성을 나타낸다고 알려져 있다.^{17,18)} 따라서 알루미늄 기판에 인상흑연을 코팅할 경우 판상의 입자가 기판 표면에 납작하게 정렬되어 기판 표면에서 수직방향으로의 열방사율은 작은 값을 나타나게 된 것으로 판단된다. 분말 상태의 코크스, 인상흑연 그리고 토상흑연의 열방사율과 원료분말을 유기바인더와 혼합하여 알루미늄 기판에 코팅 한 후의 열방사율을 Table 3에 정리하였다.

Table 3. Results of thermal emissivity at 50°C.

| Carbon Types | Carbon black | | Cokes | | Natural flakes | | Amorphous graphites | |
|-------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------------|
| | before coating (powder) | after coating (coating layer) | before coating (powder) | after coating (coating layer) | before coating (powder) | after coating (coating layer) | before coating (powder) | after coating (coating layer) |
| Emissivity (5~20 μm) | 0.890 | 0.877 | 0.893 | 0.870 | 0.850 | 0.834 | 0.856 | 0.854 |

방열판으로 널리 이용되는 알루미늄 기판 위에 탄소재료를 코팅한 후 열방사율은 최고 0.887이 얻어졌다. 현재 전자부품의 열방출에 널리 이용되고 있는 아노다이징 처리된 알루미늄 방열판의 방사율이 0.7~0.8정도인 것을 감안할 때 탄소물질이 코팅된 방열판은 LED 및 태양광소자 등의 전자부품의 열방출에 효과가 클 것으로 판단된다.¹⁹⁾ 추후 전자부품의 알루미늄 방열판에 탄소물질을 직접 코팅을 실시하여 열방출 효과를 입증하고자 한다.

4. 결 론

코크스, 인상흑연 그리고 토상흑연 분말을 유기바인더와 혼합하여 알루미늄 기판에 코팅한 후 코팅 전 각각의 분말과 코팅 후 코팅층의 열방사율을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 코크스, 토상흑연 분말의 열방사율은 5~20 μm 파장대 전영역에서 0.9에 가까운 높은 복사특성을 보였으며, 각각의 분말을 알루미늄 기판에 코팅하여 열방사율을 측정한 결과 열방사율은 0.8이상을 나타내었다.

2. 인상흑연의 경우 결정성은 가장 높았으나 열방사율은 가장 낮았다. 이것은 Flake 형상의 인상은 결정립의 배향성이 열방사율에 영향을 미치기 때문인 것으로 판단된다.

3. 탄소재료의 열방사율에 영향을 미치는 요인으로는 탄소재료의 종류뿐 아니라 코팅된 분말의 형상에 따라 달라지는 것으로 나타났다.

4. Carbon black을 알루미늄 판에 코팅하였을 경우 방사율은 0.877을 나타내어 최고 값을 얻을 수 있었으며, 원료분말의 방사율(0.890)과 큰 차이가 없었다.

감사의 글

이 연구는 (재)구미전자정보기술원에서 시행한 「지역 밀착형 산학협동 기반 소재부품모듈 핵심기술 연구개발 사업」에 의해 수행되었으며, 이에 감사 드립니다.

참 고 문 헌

1. I. -G. Lee, S. -W. Lee, K. -M. Kang and S. -Y. Chang, Kor. J. Mater. Res., **14**, 870 (2004).
2. S. C. Lim, M. H. Lee and K. M. Kang, Kor. J. Mater. Res., **15**, 829 (2005) (in Korean).
3. X. J. Hu, M. A. Panzer and K. E. Goodson, J. Heat Transfer, **129**, 91 (2007).
4. S. P. Rawal, D. M. Barnett and D. E. Martin, Adv. Packag., **22**, 379 (1999).
5. A. Castellazzia, M. Honsberg-Riedlb, G. Wachutka, Microelectron. J., **37**, 145 (2006).
6. C. T. Lynch, Practical Handbook of Materials Science, p.393, CRC press, Florida (1989).
7. B. W. Gonser, Modern Materials, p.165, Academic Press, New York (1970).
8. C. Y. Zhao, T. J. Lu and H. P. Hodson, Int. J. Heat Mass Tran., **47**, 2927(2004).
9. J. Zueco and F. Alhama, J. Quant. Spec. Rad. Tran., **101**, 73 (2006).
10. M. Ball, H. Pinkerton and A. J. L. Harris, J. Volcanol. Geoth. Res., **173**, 148 (2008).
11. L. Gardner and K. T. Ng, Fire Saf. J., **41**, 185 (2006).
12. D. J. David, Thermochim. Acta, **4**(1), 41 (1972).
13. J. Yi, X. He, Y. Sun and Y. Li, Appl. Surf. Sci., **253**, 4361 (2007).
14. S. Bellayer, J. W. Gilman, S. S. Rahatekar, S. Bourbigot, X. Flambard, L. M. Hanssen, H. Guo and S. Kumar, Carbon, **45**, 2417 (2007).
15. M. Wissler, J. Power Sources, **156**, 142 (2006).
16. H. Yu, G. Xu, X. Shen, X. Yan, C. Shao and C. Hu, Progr. Org. Coating., **66**, 161 (2009).
17. J. -S. Roh, J. -S. Ahn, B. -J. Kim, H. -Y. Jeon, S. -K. Seo, S. H. Kim and S. -W. Lee, J. Kor. Inst. Surf. Eng, **42**, 95 (2009).
18. G. W. Autio and E. Scala, Carbon, **6**, 41 (1968).
19. D. A. Jaworske, Thin Solid Films, **290**, 278 (1996).