

판상형 무기소재인 Mica의 표면개질 및 차열페인트의 특성 평가

박정민* · 김희정** · 유중환*,†

*한국세라믹기술원 에코복합소재팀, **성균관대학교 신소재공학과
(2015년 9월 25일 접수, 2015년 11월 12일 심사, 2015년 11월 18일 채택)

Surface Modification of Flake-Shaped Inorganic Mica and Their Cool Paint Performances

Jeong Min Park*, Hee Jung Kim**, and Jung Whan Yoo*,†

**Eco Composite Materials Team, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Jinju 52851, Korea*

***School of Advanced Materials Science & Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 16419, Korea*

(Received September 25, 2015; Revised November 12, 2015; Accepted November 18, 2015)

초 록

본 연구에서는 차열소재로 사용되는 mica의 소수성을 향상시키기 위해 실란커플링제인 octyltriethoxysilane (OTES)으로 개질하였다. 개질한 mica의 FT-IR spectrometer, 젖음성 및 수 접촉각 평가를 한 결과 OTES가 mica 표면에 화학적으로 잘 결합되어 있고, 소수성도 크게 향상된 것으로 평가된다. mica와 OTES/mica를 이용하여 제조한 차열페인트의 반사율은 각각 73.9% (mica) 및 86.4% (OTES/mica)로 OTES/mica의 경우가 12.5% 증가하였다. 차열성능평가 결과는 OTES로 개질한 페인트가 개질 전과 비교하여 약 7.2 °C 감소되어, 소수성 실란커플링제로 개질된 mica가 페인트의 차열성능을 향상시키는데 효과가 있음을 확인하였다.

Abstract

In this study, the mica used as a thermal-insulation material was modified with a silane coupling agent, octyltriethoxysilane (OTES), to improve its hydrophobicity. The modified mica was characterized using FT-IR spectrometer, water wettability test, and water contact angle measurement. The analysis exhibits that OTES for the modified mica sample was well bonded chemically and drastically enhanced the hydrophobicity. The reflectance observed as 73.9% (mica) and 86.4% (OTES/mica), respectively, for OTES/mica was improved about 12.5% before any modifications. Also the modified mica sample showed 7.2 °C decrease in the thermal-insulation performance of cool paints compared to that of using unmodified mica, indicating that the modification of mica with silane coupling agents could be effective in enhancing the thermal-insulation performance of the cool paint.

Keywords: cool paint, energy efficiency, flake shaped material, silane coupling agent, surface modification

1. 서 론

에너지는 경제의 움직임과 국가 발전을 위한 핵심 요소로 전 세계 경제 발전에 중요한 역할을 하고 있다. 현재 국내 총 에너지 수요의 97%가 수입에 의존하고 있는 실정이며, 특히 건물부분의 에너지 소비는 전체 대비 약 22%로 상당 부분을 차지하며 점차적으로 증가하고 있어 에너지 소비 절감을 위한 노력이 절실히 요구되고 있다[1].

정부에서는 에너지 소비 절감 및 효율을 증가시키기 위해서 대형건물의 실내온도를 규제하는 등의 다양한 제도와 정책을 시행하고 있으며, 학계에서는 건물 실내온도를 저감시켜 에너지 소비 감소와 효율 증가를 위한 다양한 연구가 진행 중이다. 일반적으로 건물의 실내온도를 낮추기 위하여 건물 외벽에 페인트를 도포하고 있다. 최근에는

일반 페인트 대신 차열기능이 있는 페인트를 건물 외벽에 도포하는 방법이 더 효과적인 것으로 알려져 있어 시도 중이다[2]. 이러한 차열 페인트는 복사열을 차단하여 건물 외벽과 실내의 온도를 감소시켜 에너지 효율을 높이기 때문에 유럽, 미국 및 일본 등 전 세계적으로 꾸준히 적용되고 있다[3].

일반적으로 차열페인트에는 중공 유리 비드[4] 및 중공형 세라믹 비드[5,6]와 같은 다공성 소재로 열전달을 억제하여 태양광을 차단하는 방법이 사용되고 있다. 그러나 이와 같은 다공성의 소재는 페인트와 혼합 시 페인트나 용제가 중공 벽(wall) 세공을 통해 확산되고, 고비중으로 인해 차열 효과가 현저하게 저하되는 문제점을 가진다[7,8]. 이에 반해 제올라이트[9], pearl[7] 및 mica[10]와 같은 태양광에 대한 반사율이 높은 소재를 페인트와 혼합하여 많이 사용되고 있으며, 또한 페인트 표면의 광택도를 높이는 방법[11]으로 반사율을 높여 차열 성능이 우수한 페인트의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 반사율이 높은 다양한 무기 소재 중에서 mica는 판상형 구조로 표면에 도달한 태양광을 많이 반사시켜 열에너지로의 전환을 억제시킬 수 있는 장점 때문에 차열페인트의 소재로서 관심의 대상이 되고 있다.

† Corresponding Author: Eco Composite Materials Team, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Jinju 52851, Korea
Tel: +82-55-792-2452 e-mail: jwyoo@kicet.re.kr

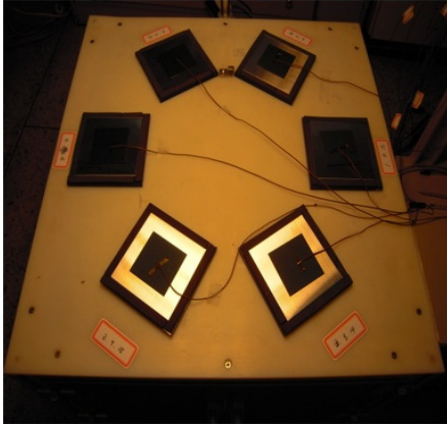


Figure 1. Thermo-insulation evaluation apparatus for measuring temperature of painted samples temperature.

하지만, mica와 같은 차열페인트에 사용되는 무기 소재들은 물보다 비중이 높고 분산성이 낮기 때문에 페인트와 혼합하여 도포하는 경우, 페인트에 침강되어 반사효율이 떨어져 차열효과가 저하되는 문제가 있다. 따라서 본 연구에서는 차열 소재의 침강 및 분산성 문제를 해결하기 위해 소수성을 가진 실란커플링제를 이용하여 판상형태의 mica 표면을 개질하였으며, 이 차열 소재가 페인트에 균일하게 분포되어 태양광을 효과적으로 반사시킬 수 있는 적외선 반사용 차열페인트를 제조하였다. 또한, 표면 개질 전과 후의 mica 특성 및 이를 페인트에 적용한 후 도포하여 차열페인트의 성능을 측정하였다.

2. 실험

2.1. Mica의 표면개질 및 특성평가

무기소재 mica (Rexm, MC400)를 표면개질하기 위하여 500 mL 등근바닥 플라스크에 dichloromethane (Daejung, EP) 100 mL와 실란커플링제 octyltriethoxysilane (OTES)을 0.3 g 넣고 상온에서 300 rpm에서 10 min 동안 교반한 후, mica를 10 g 넣어 다시 30 min 동안 교반하였다. dichloromethane은 rotary evaporator (TOKYO RIKAKIKAI Co. Ltd., N-1000)를 이용하여 일정한 조건에서 분리하였으며, OTES가 담지된 mica는 120 °C에서 12 h 동안 열처리하고, 이 입자를 120 °C에서 2 h 동안 건조시켜 OTES로 표면개질한 mica (OTES/mica)를 제조하였다.

표면개질 전과 후의 무기소재 mica 분말 입자 구조는 FT-IR (Shimadzu Prestage IR spectrometer), 입자 이미지는 SEM/EDS (SM-300, TOPCON/Thermo)를 이용하여 확인하였다. 소수성 평가는 표면장력 측정기(Biolin Scientific, Sigma700)를 이용하여 물에 젖음성 평가를 통해 측정하였다(wettability test). 차열소재를 포함한 차열페인트의 반사율은 UV-VIS-NIR 분광광도계(Jasco V-570)를 활용하여 측정하였다.

2.2. 차열페인트 제조 및 차열성능평가

차열페인트를 제조하기 위하여 수성 백색 페인트(Hyundai Paint, CA white) 30 g에 개질 전 mica와 개질 후 OTES/mica를 각각 3 g을 넣어 mechanical stirrer를 이용하여 600 rpm으로 6 min 동안 혼합한 후, 공자전 탈포기로 3 min 동안 교반 및 탈포하였다. 제조한 각각의 차열페인트는 400 μm의 applicator를 이용하여 10 cm × 10 cm의 SUS 판에 도포하였다.

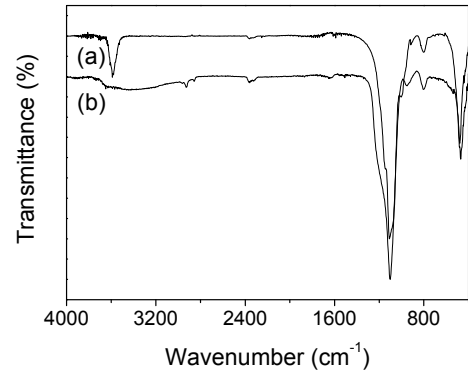


Figure 2. FT-IR spectra of mica modification with OTES agent : (a) mica (b) OTES/mica.

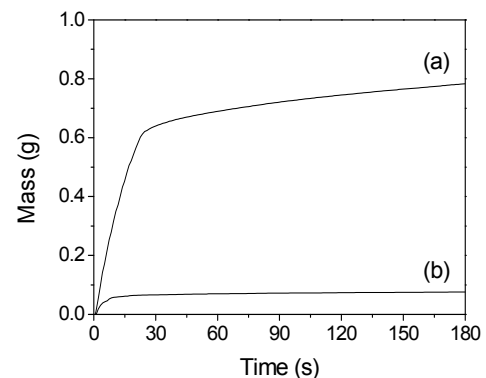


Figure 3. Wettability test of mica modification with OTES agent : (a) mica (b) OTES/mica.

차열성능평가 장치는 상부에 광원이 위치하고, 일정한 거리에 샘플이 놓여 있는 형태로 제작되었다(Figure 1). 일정한 거리에서 적외선 램프(Infrared Lamp, OSRAM사, 100 W)를 조사하면서 샘플의 표면 중앙에 온도 측정 센서를 설치하여 시간에 따른 샘플의 외부표면온도 변화를 측정하였다. 온도 측정 장치는 미들 로거(Middle logger, Graphtec사, GL820)와 온도 데이터 로거(Data logger, 스캔 스피드를 1 s 단위로 세팅)로 측정 온도 변화를 분석하여 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 표면개질의 영향

친수성을 갖는 무기소재 mica 표면에 소수성을 부여하고 물 분위기 조건에서의 입자 floating 효과를 위하여 소수성 작용기를 가지고 있는 실란커플링제 OTES로 mica 표면을 개질하였다(Figure 2). Figure 2는 mica와 OTES로 개질된 mica의 FT-IR 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 보듯이 mica의 경우 1,109 cm^{-1} 에서 Si-O 피크, 3,583 cm^{-1} 에서 -OH 피크가 관찰되어 mica의 주성분이 SiO_2 임을 확인하였다. 한편, OTES로 개질한 mica의 경우에도 1,109 cm^{-1} 에서 Si-O 피크가 mica의 결과와 유사한 결과를 보였으나, -OH 피크를 나타내는 3,583 cm^{-1} 에서 피크 값이 크게 감소되었다. 또한, mica에서는 관찰할 수 없었던 3,000~2,850 cm^{-1} 에서 새로운 피크가 관찰되었다. 이러한 결과는 mica의 -OH기가 실란커플링제의 $-\text{OC}_2\text{H}_5$ 기와 결합하면서 mica의 -OH가 감소하고 OTES의 C-H 피크로 인해 새로운 피크가 관찰되는 것이다. 이 결과로부터 OTES가 mica 표면에 화학적으로 잘 결합되었

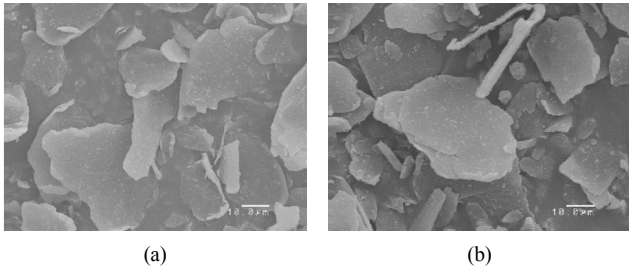


Figure 4. SEM images of (a) mica and (b) OTES/mica particles ($\times 1,000$).

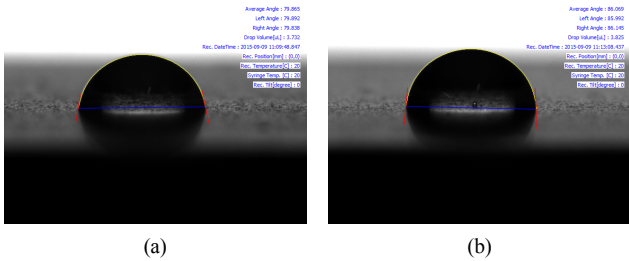


Figure 5. Contact angle of (a) mica+WP and (b) OTES/mica + WP samples.

음을 확인할 수 있었다.

Figure 3은 개질 전 후 소수성을 평가하기 위한 방법으로 물에 접촉하였을 때 시간에 따른 mica와 OTES/mica의 무게변화를 나타낸 것이다. mica 입자의 무게는 약 30 s까지 무게가 빠르게 증가하다가 그 이후에는 증가 속도가 서서히 감소하여 180 s에 약 0.8 g 증가하였다. 그러나, OTES/mica의 경우에는 전반적으로 무게가 증가하지 않고 일정했으며, 180 s에 약 0.1 g 증가하였다. mica가 0.8 g 무게가 증가한 데 반해, OTES/mica는 0.1 g 증가하여 OTES로 개질 후 mica는 개질 전 mica 보다 소수성이 크게 향상되었음을 확인할 수 있었다.

Figure 4는 mica와 OTES/mica 입자를 1,000배 확대한 경우의 SEM 사진을 나타낸 것이다. mica 입자는 약 20~30 μm 의 판상형 구조를 가지며, OTES/mica의 경우에도 개질 전의 mica 입자와 유사한 크기의 판상 구조를 확인하였다.

Figure 5는 일정량의 mica와 OTES/mica를 각각 수성페인트(WP)와 혼합·분산한 후 일정한 두께로 도포한 차열페인트 도막의 물에 대한 접촉각을 나타낸 사진이다. mica가 포함된 차열페인트 샘플의 경우 수 접촉각은 79.9°이고, OTES/mica의 접촉각은 86.1°로 OTES로 개질한 차열페인트의 접촉각이 6.2° 증가하였다. 이는 앞에서 나타난 바와 같이 소수성이 증가한 OTES/mica 입자가 페인트와 혼합해도 향상된 소수성을 유지된다는 결과이다.

3.2. 차열페인트의 특성분석 및 차열성능평가

Figure 6은 mica와 OTES/mica를 각각 포함한 차열페인트 샘플의 적외선 반사율(780~2,500 nm)을 나타낸 것이다. mica와 OTES/mica가 포함된 차열페인트 샘플 모두 전 구간에서 높은 반사율을 가지며, 특히 OTES/mica의 경우에는 780~2,300 nm 영역에서 mica의 경우보다 반사율이 높았다. 한편, 2,300~2,500 nm에서 약 40% 정도 낮은 반사율을 갖는데 이는 페인트에 포함되어 있는 고분자의 C-H 결합 때문으로 여겨진다[12]. Figure 6에서 얻은 각 샘플의 반사율 값을 평균으로 계산하여 Table 1에 나타내었다. mica와 OTES/mica 차열페인트의

Table 1. Reflectance of mica + WP and OTES/mica + WP Samples

	mica + WP	OTES/mica + WP
R (%)	73.9	86.4

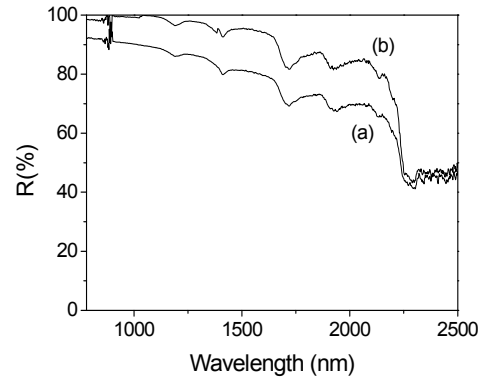


Figure 6. UV-VIS-NIR spectra of (a) mica+WP and (b) OTES/mica + WP samples.

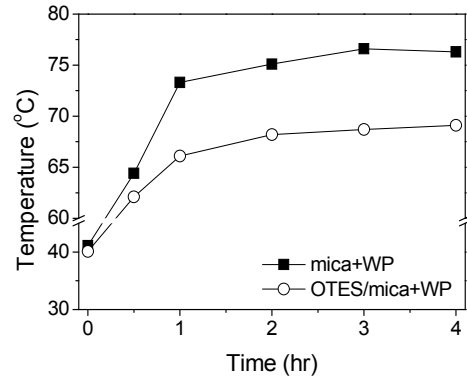


Figure 7. Outer surface temperature of mica + WP and OTES/mica + WP samples.

반사율은 각각 73.9%와 86.4%로 OTES/mica의 경우 mica의 반사율보다 12.5% 증가하였다. 이러한 결과는 OTES로 mica를 개질함으로써 페인트 내에서의 mica 입자가 잘 분산되었을 뿐만 아니라, 페인트의 표면에 규칙적으로 배열되어 많은 양의 적외선을 반사하였기 때문이라고 생각된다.

차열페인트를 도포한 샘플은 차열성능평가 장치를 활용하여 외부 표면온도를 측정하였으며, 그 결과를 Figure 7에 나타내었다. mica와 OTES/mica의 외부표면온도는 모두 적외선 조사시간이 경과함에 따라 서서히 증가하다가 약 4 h 후에는 안정화 상태에 도달하였다. 조사시간 4 h에서, mica의 외부표면온도는 76.3 $^{\circ}\text{C}$, OTES/mica는 69.1 $^{\circ}\text{C}$ 로 OTES로 개질한 경우 약 7.2 $^{\circ}\text{C}$ 감소되어, 차열성능이 향상되었다. 이는 반사율 결과(Figure 6)와 유사하게 OTES로 개질함으로써 mica의 소수성이 개선되어 수성페인트와 혼합 시 입자들이 표면에 평행으로 위치하는 경향 때문인 것으로 판단된다. 또한, 반사율이 12.5% 증가하는 것에 비례하여 표면온도는 7.2 $^{\circ}\text{C}$ 감소된 것으로 보아 차열성능의 대부분은 적외선 반사로 인해 발생된다고 판단된다. Uemoto 등 [13]도 차열페인트와 일반페인트를 비교해 본 결과, 차열페인트의 반사율이 16.3% 증가한 경우에 도막의 표면온도는 약 7 $^{\circ}\text{C}$ 감소되어 본 연구 결과와 유사한 경향을 나타내었다. 이러한 결과를 바탕으로 반

사율을 증가시킬 수 있는 차열소재 설계를 통해 에너지를 저감하는 차열성능이 우수한 페인트 제조가 가능할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 차열소재로 사용되는 무기소재 mica의 차열성능을 향상시키기 위하여 mica 입자를 실란커플링제 OTES로 개질하였다. OTES로 개질한 mica의 FT-IR spectrometer와 젖음성 평가를 수행한 결과 OTES로 개질한 경우가 mica보다 우수한 소수성을 확인할 수 있었다. 또한, mica와 OTES/mica를 페인트에 혼합하여 도포한 경우 수 접촉각은 각각 79.9°와 86.1°로 OTES/mica의 접촉각이 증가하여 페인트에 적용해도 개선된 소수성이 유지됨을 관찰하였다. 차열페인트 반사율은 mica가 73.9%, OTES/mica 86.4%를 나타내었고, 차열성능평가 결과는 mica와 OTES/mica가 각각 76.3 °C 및 69.1 °C의 표면온도를 나타내어 OTES로 개질된 페인트가 우수한 차열효과를 나타내었다. 이 결과로부터 OTES로 개질이 되면서 mica의 소수성이 증가하고, 페인트 도막의 반사율이 증가하여 차열페인트의 차열성능이 개선되는 결과를 확인하였다.

감 사

본 연구는 한국산업기술평가관리원 에너지효율향상기술개발(과제 번호 : 1415137054)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. J. Chaiyosburana, W. Rakwichiana, N. Ketjoy, and P. Intanon, Energy savings by using insulating microspheres ceramic paint, *Int. J. Renew. Energy*, **3**(1), 53-62 (2008).
2. W. Guo, X. Qiao, Y. Huang, M. Fang, and X. Han, Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone, *Energy Build.*, **50**, 196-203 (2012).
3. A. Synnefa, A. Dandou, M. Santamouris, and M. Tombrou, Cool colored coatings for passive cooling of cities, *International Workshop on Energy Performance and Environmental Quality of Buildings*, July, Milos Island, Greece (2006).
4. Z. Zhang, K. Wang, B. Mo, X. Li, and X. Cui, Preparation and characterization of a reflective and heat insulative coating based on geopolymers, *Energy Build.*, **87**, 220-225 (2015).
5. A. Synnefa, T. Karlessi, N. Gaitani, M. Santamouris, D. N. Assimakopoulos, and C. Papakatsikas, On the optical and thermal performance of cool colored thin layer asphalt used to improve urban microclimate and reduce the energy consumption of buildings, *Build. Environ.*, **46**(1), 38-44 (2011).
6. W. C. Wan, W. N. Hien, T. P. Ping, and A. Z. W. Aloysius, A study on the effectiveness of heat mitigating pavement coatings in Singapore, *J. Heat Isl. Inst. Int.*, **7**(2), 238-247 (2012).
7. J. W. Yoo, S. H. Lee, O. H. Jung, H. S. Lee, G. C. Park, and J. I. Han, Thermo shield paint composition, *Korean Patent*, 10-1123151 (2012).
8. D. C. Ki, Thermally insulating and water-soluble paint composition and method of manufacturing coating layer using the same, *Korean Patent*, 10-1167108 (2012).
9. Z. Fereshteh, M. R. Loghman-Estarki, R. S. Razavi, and M. Taheran, Template synthesis of zinc oxide nanoparticles entrapped in the zeolite Y matrix and applying them for thermal control paint, *Mater. Sci. Semicon. Proc.*, **16**(2), 547-553 (2013).
10. P. Jeevanandam, R. S. Mulukutla, M. Phillips, S. Chaudhuri, L. E. Erickson, and K. J. Klabunde, Near infrared reflectance properties of metal oxide nanoparticles, *J. Phys. Chem. C*, **111**(5), 1912-1918 (2007).
11. S. G. Park, Adiabatic coating paint, *Korean Patent*, 10-0440804 (2004).
12. A. Synnefa, M. Santamouris, and K. Apostolakis, On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment, *Sol. Energy*, **81**(4), 488-497 (2007).
13. K. L. Uemoto, N. M. N. Sato, and V. M. John, Estimating thermal performance of cool colored paints, *Energy Build.*, **42**, 17-22 (2010).