



알루미늄에 코팅된 SiO₂/Fe₂O₃막의 적외선 복사특성에 관한 연구

강병철^{a*}, 김기호^b

^a한국건설자재시험연구원, ^b충북대학교 재료공학과

A Study on the Infrared Radiation Properties for SiO₂/Fe₂O₃ Films Coated on aluminum

B. C. Kang^{a*}, K. H. Kim^b

^aKorea Institute of Construction Materials, Seoul 137-073, Korea

^bDept. of Materials Engineering, ChungBuk National University, Cheongju 361-763, Korea

(Received 16 September 2003 ; accepted 17 October 2003)

Abstract

FT-IR and thermography were used to investigate the infrared radiation characteristic of SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film coated on aluminum. Through FT-IR spectrum, SiO₂ film showed high infrared absorption in accordance with the stretching vibration of Si-O-Si, and as Fe₂O₃ was mixed additional absorption band appeared resulting from the stretching vibration of Fe-O at 590 cm⁻¹ and the bond of Si-O-Fe at 900 cm⁻¹. The two kinds of film measured by the integration method and the reflective method coincided with each other in the wavelength area of infrared absorption and radiation, and corresponded well with Kirchhoff's law as the infrared emissivity is high in wavelength where infrared absorption rate is high. The emissivity of SiO₂ film was 0.65 and that of SiO₂/Fe₂O₃ film was 0.77, so the addition of Fe₂O₃ raised the infrared emissivity by approximately 13%. SiO₂/Fe₂O₃ film is efficient as an infrared radiator at below 100°C. The temperature of heat radiation after 7 minutes was 117°C in aluminum plate and 155°C in SiO₂/Fe₂O₃ film, 38°C higher than the former.

Keywords : SiO₂/Fe₂O₃ film, Infrared absorption, Reflectivity, Infrared emissivity, FT-IR

1. 서 론

적외선은 온도를 가지고 있는 물질표면에서 방출되는 전자기파로서 에너지를 전달한다. 적외선에 의한 에너지를 전달은 직접 피 가열 물체에 도달하여 에너지 손실이 적고 열효율이 양호한 특징이 있다. 이것은 종래의 수증기, 열풍 등의 열 매개체를 필요로 하는 대류열에 의한 가열방식에 비해 적외선의 복사열에 의해 물체를 직접 발열시키는 것으로, 도장건조, 농수산물 건조, 식품가공, 가열가공, 난방 등의 여러 분야에서 이용되고 있다¹⁾. 이와 같이 적외선 복사에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 복사체의 적외선 복사특성이 매우 중요하다. 적

외선 복사체를 분류하면 전이금속 산화물을 주체로 한 고효율 복사체²⁾, Al₂O₃, SiO₂, ZrO₂, TiO₂ 등의 금속산화물을 이용하는 원적외선 복사체³⁾, 금속소재와 같은 저효율 복사체로 구분할 수 있다. 금속은 적외선 복사율이 금속의 전도율에 의존하여 전도율이 클수록 복사율은 작아지고 반사율이 높아 적외선 반사체로 사용된다⁴⁾. 적외선 복사체의 제조에는 주로 고온에서 복사율이 큰 재료들을 소결하거나 용융 용사 등의 세라믹스 성형기술을 이용한 경우가 많고 상온에서의 제조방법은 적다.

세라믹스의 상온 제조방법에는 졸겔법이 있으며, 이방법으로 부터 박막(thin film), 화이버(fiber), 유리, 고순도의 세라믹 분말 등과 같은 물질을 제조할 수 있기 때문에 더 많은 흥미를 끌고 있다. 특히 금속 산화물의 박막으로 반도체, 금속, 유리, 세

*Corresponding author. E-mail : kabych@kicm.re.kr

라믹 코팅은 졸겔법의 가장 중요한 응용 분야의 하나로서 많은 연구가 행해져 왔다⁵⁾. 어느 물질에 피복시켜 새로운 기능을 제공하며 이들 표면 특성을 개선한다. 즉 다른 물질에 피복시켜 기계적 또는 화학적 보호기능, 광학기능, 전자기기능, 촉매기능을 부여한다⁶⁾. 특히 광학적 특성으로는 유리의 착색, 광 흡수, 적외선 차단, 반사 방지막 등에 많이 연구가 되고 응용하여 왔다⁷⁾. 그러나, 이러한 특성들 중에서도 적외선 흡수 및 복사특성에 대한 연구는 아직 찾아 볼 수 없었으며, 따라서 적외선 흡수 특성 연구에 의해 적외선 복사체로서 사용될 많은 가능성이 있다.

본 연구에서는 상온 제조방법으로 졸겔법에 의해 SiO₂ 및 SiO₂/Fe₂O₃겔을 제조하여 적외선 복사율이 낮은 알루미늄 표면에 코팅처리하고 형성된 막에 대해 적외선 흡수 및 반사 스펙트럼을 측정하여 적외선 영역에서 SiO₂막의 광학적 특성과 Fe₂O₃첨가에 따른 특성변화를 찾아내고 적외선 복사특성과의 관계를 규명하였으며 적외선 복사율과 복사에너지에 대해 적외선 반사를 측정에 의한 간접적인 방법과 이들표면에서 방출되는 적외선을 직접 측정하여 비교하였다. 또한 알루미늄 표면, SiO₂막, SiO₂/Fe₂O₃막의 적외선 복사온도를 비교하여 그 특성을 규명하였다.

2. 실험방법

2.1 막 제조

SiO₂막의 제조에는 Aldrich사의 CH₃Si(OC₂H₅)₃ (MTEOS)과 에탄올을 3:1의 몰비로 하여 HCl을 촉매로 하고 증류수를 사용하였다. MTEOS와 에탄올을 칭량하여 500 ml 3구 플라스크에 넣고 30분간 교반시킨 후 증류수와 염산을 뷰렛을 통해 소정량을 적하시켜 90분간 교반하여 반응시켰으며 30°C의 건조기에 넣어 젤화하였다. SiO₂/Fe₂O₃막의 제조에는 Junsei Chemical사의 Fe₂O₃ 특급시약을 10wt%가 되도록 혼합한 후 지름 1 mm의 지르코니아 볼로 30분 동안 회전속도 3000RPM으로 분산교반시켰다. 그리고 전처리 과정을 거친 1100 알루미늄판에 스프레이 코팅으로 막을 형성하였다.

2.2 특성평가

얻어진 겔 시료의 결정구조를 알아보기 위해 열처리 후에 X-선 회절분석기(D5005 X-Ray Diffractometer, BRUNKER AXS)를 이용하여 측정하였다. 적외선 흡수스펙트럼을 확인하기 위해 코팅된 SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막에 대해 반사-흡수(reflection-Absorption)법을 이용하여 적외선 반사스펙트럼을

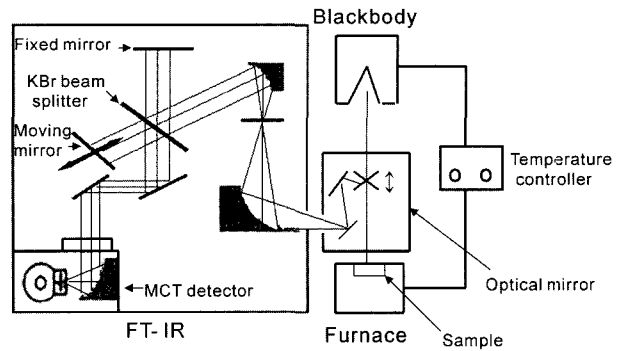


Fig. 1. Schematic diagram for measuring the infrared emissivity of sample.

얻었다. 금이 코팅된 거울을 반사 기준물로 하여 8 cm⁻¹의 분해능으로 20회 스캐닝을 실시 하였으며 FT-IR(2200, MIDAC, USA)를 사용하였다. 이때 어퍼처와 입사각이 30°가 되도록 하였다.

직접법에 의한 적외선 복사율은 FT-IR(M2410-C, MIDAC, USA), 외부광학계, 복사율이 0.999인 흑체로(I.S.D. Corp. 563), 시편 가열로로 구성되어 있는 장치를 제작하여 측정하였으며 개략도를 그림 1에 나타내었다. 흑체와 시료가 동일온도가 되었을 때 먼저 흑체의 적외선 복사에너지 강도 E_{bλ}를 측정하고, 시료의 적외선 복사에너지 강도 E_{sλ}를 측정하여 복사율을 식 (1)에 의해 계산하였다.

$$\epsilon_s(\lambda, T) = \frac{E_s(\lambda, T)}{E_b(\lambda, T)} \quad (1)$$

여기서 E_s(λ, T)와 E_b(λ, T)는 물체표면과 흑체의 복사에너지이다. 흑체의 복사에너지는 식 (2)의 플랑크의 복사법칙(Plank's law)⁸⁾에 의해 구해진다.

$$E_b(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left[\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right] \quad (2)$$

여기서 C₁ = 3.74 × 10⁸ [W · μm⁴/m²], C₂ = 1.44 × 10⁴ [μm · K]이다.

알루미늄 표면, SiO₂막, SiO₂/Fe₂O₃막의 열복사온도를 비교하기 위하여 적외선 열화상 카메라(Thermovision 550, Agema사, Swiss)를 이용하여 일정 온도로 가열된 열판(hot plate)위에 130×130 mm 크기의 시료를 놓고 시간 경과에 따른 열 복사온도를 측정하였다. 이때 모든 시료의 복사율은 동일한 값으로 하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 겔의 XRD분석

SiO₂겔과 SiO₂/Fe₂O₃겔을 200°C의 열처리 온도에

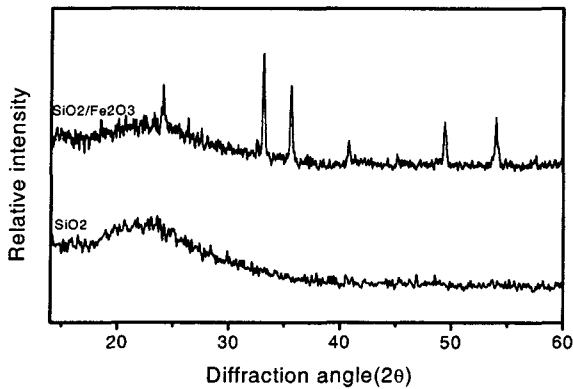


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of SiO₂ gel and SiO₂/Fe₂O₃ gel heated at 200°C.

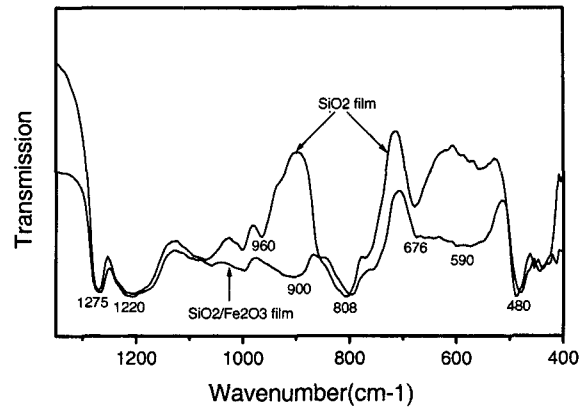


Fig. 4. IR spectrum of SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film in the range 1350~400 cm⁻¹.

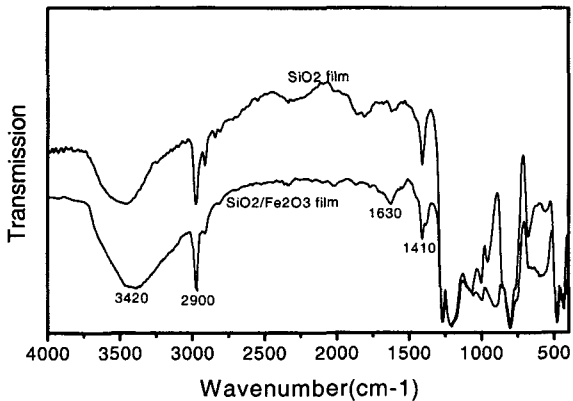


Fig. 3. IR spectrum of SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film heated at 200°C(absorption-reflection).

따른 X-ray 회절패턴을 그림 2에서 보여준다. SiO₂ 겔은 비정질 상태를 나타내고 있으며 회절각에서 23°부근에 넓은 산란대가 보이며 이것은 실리카 유리와 같이 원자배열이 불규칙한 것이 원인이다⁹. 철산화물이 첨가된 SiO₂겔에서는 Fe₂O₃의 Hematite(d=2.70, 2.52, 1.69, 1.84, 3.68, 2.21) 결정상이 나타났으며 θ=24.10, 33.16, 35.64, 40.82, 49.42, 54.04°에서 회절피크를 나타낸다.

3.2 적외선 흡수스펙트럼

그림 3은 알루미늄판에 코팅된 SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막의 열처리 온도를 200°C로 하였을 때 반사-흡수(reflection-absorption)법을 이용하여 적외선 반사스펙트럼을 측정된 결과를 나타내고 있다. 두 시료의 흡수스펙트럼에서 4000~1100 cm⁻¹의 범위는 같은 형태를 나타내지만 1100~400 cm⁻¹에서는 흡수밴드가 다르게 나타나고 있다. 3420 cm⁻¹에서는 O-H 신축진동과 1630 cm⁻¹에서 O-H 굽힘진동에 의한 흡수밴드가 보인다. 3000~2800 cm⁻¹에서의 흡수는 C-H 신축진동이고 1410 cm⁻¹에서는 C-O 신축진

동에 기인한 흡수밴드가 보이며 이들은 Si-OR 그룹의 불완전한 가수분해와 잔류 유기화합물에 의한 것이다¹⁰. 그림 4는 그림 3의 반사-흡수 스펙트럼에서 1350~400 cm⁻¹ 영역을 확대한 것으로 SiO₂막은 1300~400 cm⁻¹영역에서 많은 IR 흡수밴드를 나타내고 있으며 SiO₂ 네트워크의 Si-O-Si 신축진동이 대부분을 지배한다¹¹. Perry¹²에 의하면 1220 cm⁻¹는 Si-O-Si 비대칭 신축의 세로 광학(LO) 모드가 원인이고 1080 cm⁻¹은 같은 진동의 가로 광학(TO) 모드에 의한 것이다. 800 cm⁻¹은 Si-O-Si 대칭 신축진동에 의한 흡수 밴드이며 480 cm⁻¹은 Si-O-Si 굽힘진동이다¹³. Si-CH₃ 그룹의 C-H 비대칭 굽힘진동에 상응하는 1275 cm⁻¹의 흡수밴드와 C-Si의 대칭 신축진동에 해당하는 676 cm⁻¹의 흡수밴드가 보인다¹⁴.

SiO₂/Fe₂O₃막도 SiO₂막과 거의 같은 흡수대를 나타내고 있지만 590 cm⁻¹은 Fe-O-Fe 결합에서 Fe-O의 신축진동에 의한 것이고 900 cm⁻¹은 Si-O-Fe 결합을 나타내는 흡수밴드가 보인다¹⁵. SiO₂막에서는 Si-OH 신축진동에 해당하는 960 cm⁻¹의 흡수밴드가 나타나지만 SiO₂/Fe₂O₃막에서는 관찰할 수 없다. 3300~1500 cm⁻¹영역에서는 적외선의 투과영역으로 볼 수 있으며 SiO₂막이 SiO₂/Fe₂O₃막에 비해 약 30% 정도의 높은 투과율을 나타내고 1300~400 cm⁻¹ 영역에서는 같은 흡수율을 나타내고 있다.

3.3 적외선 반사율

그림 5는 알루미늄 표면, SiO₂막 및 SiO₂/Fe₂O₃막에 대한 적외선 반사율을 3~25 μm 파장범위에서 보여주고 있다. 알루미늄은 높은 적외선 반사율을 나타내고 있으며 일반적으로 금속은 가시광선의 일부와 자외선을 흡수하여 구조내의 자유전자가 상위의 에너지 준위로 여기(excite)하지만 적외선 파장 이상의 낮은 에너지 영역에서는 반사한다¹⁶. 그러

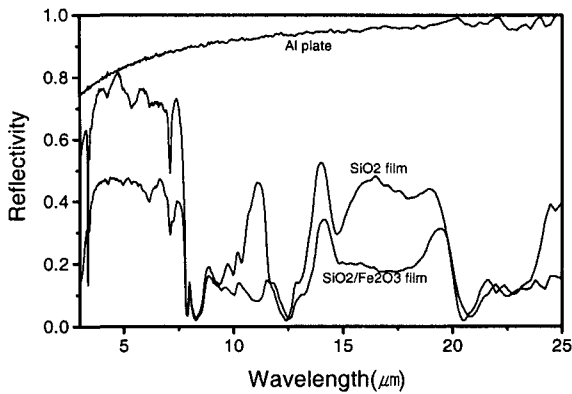


Fig. 5. IR reflectivity of Al surface, SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film.

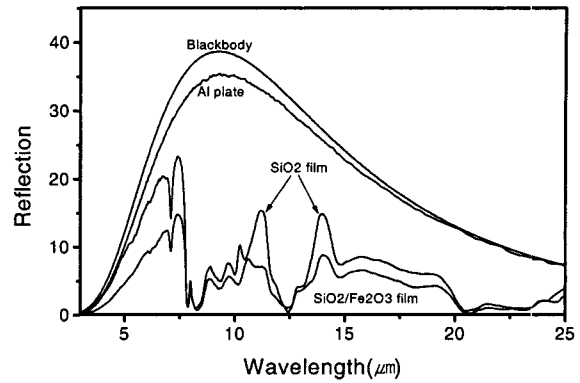


Fig. 6. IR reflection of Al surface, SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film.

나, 알루미늄 표면상태 즉 표면 조도, 표면에 생성된 산화물 등에 따라 적외선 반사율은 변한다¹⁷⁾. SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막은 3~7 μm의 파장영역에서는 비교적 반사율이 높으며 SiO₂막이 약 30% 정도 높은 반사율을 보이고 있다. SiO₂막에서 10~11 μm, 13~20 μm의 파장영역에서 적외선 반사율이 높으며 7~10 μm, 12~13 μm, 20~24 μm의 파장영역에서는 적외선 흡수율이 높다. 이와같이 반사·흡수 파장이 나타나는 것은 그림 2의 반사스펙트럼에서 3000~1300 cm⁻¹, 1000~800 cm⁻¹, 700~500 cm⁻¹ 범위에서 적외선이 투과하여 알루미늄 표면에서 반사되는 영역과 1220~1000 cm⁻¹의 Si-O-Si 비대칭 신축진동, 800 cm⁻¹의 Si-O-Si 대칭 신축진동, 480 cm⁻¹의 Si-O-Si 굽힘진동에 따른 흡수에 의한 것이다.

반면에 SiO₂/Fe₂O₃막은 SiO₂막에 비해 11~12 μm, 15~19 μm 파장영역에서도 적외선 흡수율 높은 이유는 900 cm⁻¹에서 Si-O-Fe결합을 나타내는 흡수밴드와 590 cm⁻¹에서 Fe-O의 신축진동에 의한 흡수밴드에 기인한다.

그림 6은 FT-IR 내부의 적외선 광원을 흑체로 가정하고 알루미늄 표면, SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막에서 각각 반사된 적외선량을 나타낸 것이다. 알루미늄 표면은 전 파장 영역에서 적외선 반사량이 높은 것을 알 수 있으며, SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막은 파장에

따라 선택적인 반사특성을 나타내고 있다. 40°C의 온도에서 식 (2)에 의해 각 시료표면의 반사량을 구하면 3~23 μm 파장영역에서 흑체는 445 W/m², 알루미늄 표면은 412 W/m², SiO₂막은 151 W/m², SiO₂/Fe₂O₃막은 86 W/m²이다. 따라서 흑체의 반사율을 1.0로 가정하여 계산하면 알루미늄 표면은 0.93, SiO₂막은 0.34, SiO₂/Fe₂O₃막은 0.19의 반사율을 갖게 된다. 이들의 값을 파장영역에 따라 표 1에 정리하였다. 이의 결과로부터 SiO₂/Fe₂O₃막이 SiO₂막에 비해 전파장 영역에서 반사율이 낮은 것을 알 수 있으며 알루미늄 표면은 전파장에서 높은 적외선 반사특성 때문에 적외선 반사재료로 사용되고 있다¹⁸⁾.

3.4 적외선 복사율

3.4.1 간접법에 의한 측정

복사에너지가 어느 물체에 입사되었을 때 그 물체표면에서의 광학적인 특성은 반사, 흡수, 투과 등으로 나눌 수 있으며, 에너지보존 법칙에 의해

$$\rho_{\lambda}(T) + \alpha_{\lambda}(T) + \tau_{\lambda}(T) = 1 \tag{3}$$

여기서 ρ는 반사율, α는 흡수율, τ는 투과율이다. 불투명 물체표면에서는 열복사에 대해 τ=0이므로

$$\rho_{\lambda}(T) + \alpha_{\lambda}(T) = 1 \tag{4}$$

Table 1. IR reflection properties of Al, SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film

Sample	Reflectivity				Reflection(W/m ²)
	(3~8 μm)	(8~15 μm)	(15~20 μm)	(3~23 μm)	(3~23 μm)
Blackbody	1	1	1	1	445
Al plate	0.870	0.924	0.959	0.926	412
SiO ₂ film	0.592	0.245	0.423	0.339	151
SiO ₂ /Fe ₂ O ₃ film	0.384	0.127	0.208	0.193	86

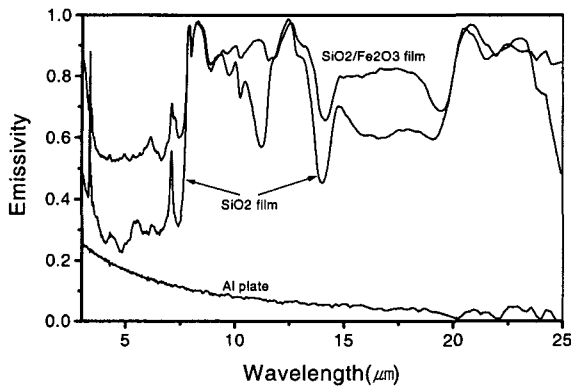


Fig. 7. IR emissivity of Al surface, SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film by reflective method.

이 된다. 즉 물체표면에서 반사되고 난 나머지는 물체내부로 모두 흡수된다. 키르호프(Kirchhoff)⁸⁾에 의하면 어떤 물체의 분광복사율(ϵ)과 분광흡수율의 관계는 다음과 같다.

$$\epsilon_{\lambda}(T) = \alpha_{\lambda}(T) \quad (5)$$

알루미늄 표면, SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막에 대해 반사-흡수법을 이용하여 적외선 반사 스펙트럼을 측정하고 식 (4)와 식 (5)에 의해 전환한 복사율 그래프를 그림 7에 보여주고 있다. 알루미늄 표면, SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막에 대한 적외선 반사율 값은 표 1에 나타내었으며 식 (5)에 의해 알루미늄 표면은 0.07, SiO₂막은 0.66, SiO₂/Fe₂O₃막은 0.81의 적외선 복사율 값이 된다. 이때 알루미늄 표면은 33 W/m², SiO₂막은 294 W/m², SiO₂/Fe₂O₃막은 359 W/m²의 적외선 복사량을 나타내었다. 그리고 각 시료에서 복사율이 높은 파장과 낮은 파장이 나타나는 이유는 3.3절에서 설명을 하였다.

3.4.2 직접법에 의한 측정

그림 8은 알루미늄 표면에 코팅되어 있는 SiO₂막

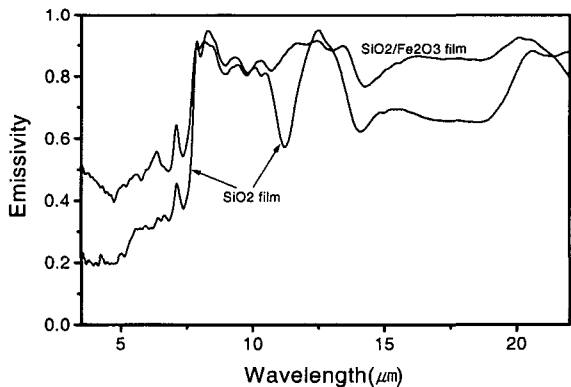


Fig. 8. IR emissivity of SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film by integration method.

과 SiO₂/Fe₂O₃막을 100°C로 가열하여 표면에서 방출되는 적외선량을 직접법에 의해 측정된 것으로 이 코팅막에 대한 적외선 복사율은 흑체의 복사에너지와의 비로서 나타내며, 1.0의 값은 흑체의 적외선 복사율에 상응하고 실존 물체표면의 복사율은 0~1 사이의 값을 갖는다. 직접법에 의해 측정된 SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막의 복사파장은 반사법에 의해 측정된 복사파장과 일치한다. 7 μm에서의 복사파장은 적외선 반사스펙트럼에서 1410 cm⁻¹의 C-O 신축진동에 의한 흡수, 8~10 μm와 13 μm에서 적외선 복사율이 높은 것은 1080~1300 cm⁻¹, 800 cm⁻¹의 Si-O-Si 신축진동에 의한 흡수대에 기인한다. 20 μm 이상의 파장에서는 480 cm⁻¹에서 Si-O-Si 굽힘진동 흡수에 의한 것이다. 그리고 SiO₂/Fe₂O₃막에서 11~12 μm과 15~19 μm은 900 cm⁻¹의 Si-O-Fe결합을 나타내는 흡수밴드와 590 cm⁻¹에서 Fe-O의 신축진동에 의한 흡수밴드에 의해 SiO₂막보다 높은 복사율을 나타내고 있다. 이와 같이 흡수파장과 복사파장이 일치하는 것은 어느 온도에서 열평형에 있는 물체가 동일한 파장에서 복사되는 에너지와 흡수하는 에너지의 비는 물질의 종류와 성질에는 관계가 없이 온도에 의존하여 일정한 값을 갖는다는 키르호프(Kirchhoff)⁸⁾법칙으로 설명이 된다.

그림 9는 100°C에서 측정된 SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막에 대해 플랑크의 복사법칙(Planck's law)에 따른 적외선 복사에너지 분포를 3~22 μm의 파장영역에서 나타내고 있다. 흑체의 온도가 100°C일 때 복사에너지의 최대강도를 나타내는 파장은 빈법칙(Wien's law)⁸⁾에 따라 7.7 μm이고 이때의 복사에너지 강도는 93 W/m² · μm이다. 또한 3~22 μm 전파장 범위에서 흑체의 적외선 복사에너지 총량은 947W/m²이다. 이 그림에서 알루미늄에 코팅된 SiO₂막은 전파장에서 적외선 복사에너지가 616 W/m²이고 적외선

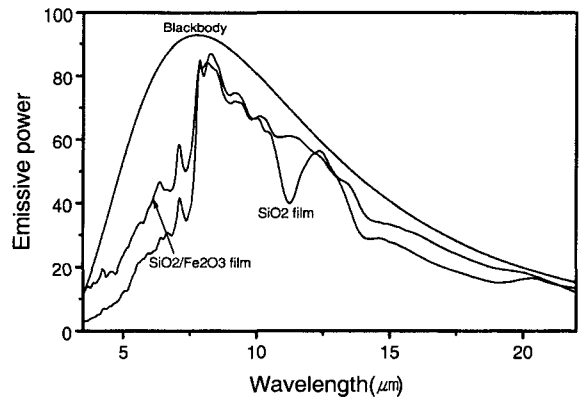


Fig. 9. IR radiance of SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film measured at 100°C.

복사율은 0.65로서 반사법에 의해 측정된 복사율 값과 일치한다. 8~10 μm 파장영역에서 가장 많은 적외선이 방출되며 8.3 μm 파장에서 87 W/m²·μm의 최대 복사강도를 나타낸다. 100°C에서 측정된 적외선 복사에너지 분포의 결과로 보아 온도가 100°C 이하이고 8 μm 파장 이상에서 적외선 흡수율이 높은 물질을 대상으로 한 적외선 복사체로서 효율성 있게 사용이 가능하다고 판단할 수 있다. SiO₂/Fe₂O₃ 막은 복사에너지가 730 W/m²이고 적외선 복사율은 0.77으로서 반사법에 의해 측정된 값보다 약 3% 정도 낮은 값을 보이고 있다. SiO₂막에 비해 8~10 μm 파장영역에서 복사에너지가 높아짐을 알 수 있다.

이 두가지 시료를 250°C로 가열할 때의 적외선 복사에너지 분포를 그림 10에 나타내고 있다. 250°C의 흑체의 복사에너지 분포에서 최대강도를 나타내는 파장은 5.5 μm으로 이동을 하였으며 이파장에서 복사에너지 강도는 503 W/m²·μm이다. 3~22 μm의 전파장 범위에서 흑체의 적외선 복사에너지 총량은 3900 W/m²이며 SiO₂막의 적외선 복사에너지는 2100 W/m²로서 적외선 복사율은 0.54이다. SiO₂/Fe₂O₃막은 2600 W/m²의 적외선 복사에너지를 나타내고 있으며 적외선 복사율은 0.67으로서 SiO₂막보다 0.13 정도의 높은 복사율을 보이고 있다. 두가지 시료가 100°C에서 측정된 값보다 떨어지는 이유는 흑체의 복사율은 1.0이기 때문에 온도가 상승함에 따라 플랑크의 복사법칙(Planck's law)⁸⁾에 따라 단파장 쪽에서 복사에너지 분포를 이루고 있고, 반면 SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막의 최대 복사파장은 고정되어 있기 때문이다. 100°C와 250°C에서 SiO₂/Fe₂O₃막이 SiO₂막에 비해 높은 적외선 복사율을 나타내어 적외선 복사체로서 더 효율적인 것을 알 수 있다.

3.5 적외선 복사온도 측정

알루미늄 표면, 알루미늄에 코팅된 SiO₂막과 SiO₂/

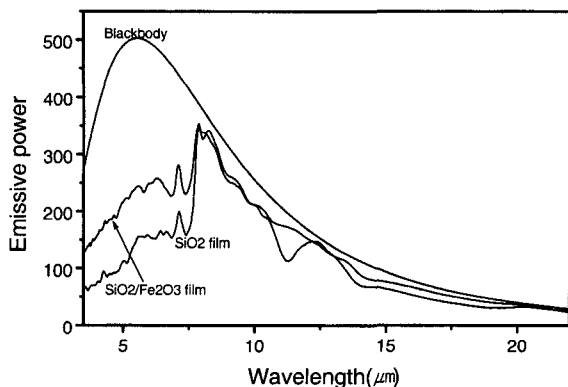


Fig. 10. IR radiance of SiO₂ film and SiO₂/Fe₂O₃ film measured at 250°C.

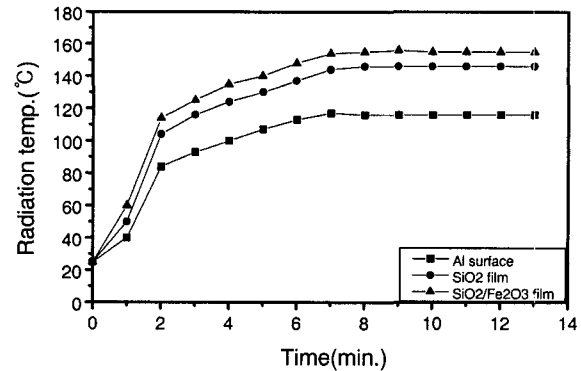


Fig. 11. Changes of radiation temperature with heating.

Fe₂O₃막의 적외선 복사율 차이에 따른 열복사 온도를 알아보기 위해, 시료들을 200°C로 가열된 핫플레이트(hot plate) 위에서 가열하고 70 cm 거리에서 적외선 열화상 카메라를 이용하여 표면온도를 측정하였다. 이때 시간 경과에 따른 시료표면들의 온도 상승 곡선을 그림 11에 나타내고 있다. 시료 표면들의 초기 복사온도는 같지만 상승온도와 도달온도는 큰 차이가 있으며 7분 경과 후 도달온도에 이르고, 이때 알루미늄 판은 117°C지만 알루미늄에 코팅된 SiO₂막은 146°C이고 SiO₂/Fe₂O₃막은 155°C를 나타내어 알루미늄판과 38°C 정도의 차이가 있다. 이와같이 온도 차이가 발생하는 것은 시료 표면들의 적외선 복사율에 따라 복사되는 적외선 에너지량의 차이를 나타내는 것이다. 또한 시간이 경과 후에도 시료표면에서 복사온도 차이는 변화 없이 계속 유지가 되고 있다.

4. 결 론

알루미늄에 코팅된 SiO₂막 및 SiO₂/Fe₂O₃막에 대한 광학적인 특성을 알아보기 위해 적외선 스펙트럼을 측정하여 원소 결합에 따른 적외선 흡수, 반사 파장영역을 조사하고, 직접법과 간접법으로 적외선 복사특성을 비교 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) SiO₂막은 1220 cm⁻¹, 1080 cm⁻¹에서 Si-O-Si의 비대칭 신축진동과, 800 cm⁻¹에서의 대칭 신축진동에 의해 높은 적외선 흡수를 나타내었으며 SiO₂/Fe₂O₃막은 590 cm⁻¹에서 Fe-O의 신축진동과 900 cm⁻¹에서 Si-O-Fe결합을 나타내는 추가적인 흡수밴드가 보인다.

2) SiO₂막은 Si-O-Si의 신축진동 파장영역에서 적외선 복사율이 가장 높았으며 Fe₂O₃의 첨가로 인해 Fe-O의 신축진동과 Si-O-Fe결합에 의한 흡수 파장에서도 복사율이 높게 나타났다.

3) 간접법 및 직접법으로 측정된 적외선 복사율은 적외선 흡수가 높은 파장에서 적외선 복사율이 높았으며 반사특성을 나타내는 파장에서는 낮은 적외선 복사율을 나타내고 있다.

4) SiO₂막은 간접법과 100°C의 직접법에 의해 측정된 복사율은 0.65로서 일치하며 SiO₂/Fe₂O₃막은 간접법과 직접법에 의한 복사율 값은 0.03의 차이가 있으며, SiO₂막에 Fe₂O₃의 첨가로 인해 복사율은 약 13% 상승하였다.

5) SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막은 250°C 온도보다 100°C에서 높은 복사율을 나타내어 100°C 부근의 온도에서 적외선 복사체로서 이용 가능하며, 250°C에서는 복사에너지가 8 μm 이하의 파장영역에서 분포를 이루고 있어 비효율적이라고 판단되었다.

6) 알루미늄판, SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막이 코팅된 알루미늄판을 200°C의 가열판에 올려 놓았을 때 열복사 온도는 알루미늄판은 117°C이지만 알루미늄에 코팅된 SiO₂막과 SiO₂/Fe₂O₃막은 146°C, 155°C를 나타내어 복사율에 따라 최대 38°C의 열복사 온도 차이를 나타내었다.

참고문헌

1. S. A. Hujjiya, *Painting Technology*, 3 (1990) 95.
2. H. Dakagima, *Journal of the Ceramic Society of Japan*, 90(7) (1982) 39.
3. S. Kawakuchi, *Ceramics*, 23 (1988) 301.
4. K. Kawamoto, *Eletro-Heat*, 22 (1985) 14.
5. L. M. Thomas, *Sol-Gel Technology for Thin Films, Fibers, Performs, Electronic and Specialty Shapes*, New Jersey (1988) 51.
6. N. Tohge, *New Ceramics*, 7 (1995) 11.
7. F. Geotti-Bianchini, M. Guglielmi, P. Polato and G. D. Soraru, *J. Non-Crystal. Solids*, 63 (1984) 251.
8. F. P. Incropera and D. P. Dewitt, *Fundamentals of heat and mass transfer*, 4th ed., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore (1996) 672.
9. The ceramic society of japan, *Handbook of ceramic engineering*, Tokyo (1989) 296.
10. N. Primeau, C. Vautey and M. Langlet, *Thin Solid Film*, 310 (1997) 47.
11. J. Gallardo, A. Duran, D. D. Martino and R. M Almeida, *J. Non-Crystalline Solids*, 298 (2002) 219.
12. C. C. Perry, X. Li and D. N. Waters, *Spectrochim., Acta* 47 (1991) 1487.
13. C. J. Brinker and G. W. Scherer, *SOL-GEL SCIENCE*, Boston, San Diego, New York, London, Sydney, Tokyo, Toronto (1990) 552.
14. A. Jitianu, M. Crisan, A. Meghea, *J. Mater. Chem.*, 12 (2002) 1401.
15. E. M. Moreno, M. Zayat, M. P. Morales, C. J. Sera, A. Roig and D. levy, *Langmuir*, 18 (2002) 4972.
16. D. A. Kouichi, E. G. Yohinobu and S. A. Hisao, *Far Infrared Ray*, Ningentorekishisha, Tokyo (1999) 192.
17. B. C. Kang, J. J. Choi and K. H. Kim, *Journal of the Korean Institute of Surface Engineering*, 35(3) (2002) 149.
18. N. S. Sena, *Eletro-Heat*, 22 (1985) 32.