

스테인리스강 금속 표면에 내열 저방사 산화물 코팅제 적용과 방사 특성 평가

임형미[†] · 권태일 · 김대성 · 이상엽* · 강동필** · 이승호

한국세라믹기술원 에코복합소재센터

*연세대학교 화학생명공학과, **한국전기연구원 나노융합에너지소재연구센터

Heat Resistant Low Emissivity Oxide Coating on Stainless Steel Metal Surface and Characterization of Emissivity

Hyung Mi Lim[†], Taeil Kwon, Dae Sung Kim, Sang-Yup Lee*, Dong-Pil Kang** and Seung-Ho Lee

Eco Composite Materials Center, Korea Institute of Ceramic Engineering and Technology, Seoul, 153-801 South Korea

*Department of Chemical & Biomolecular Engineering, Yonsei University, Seoul 120-749, South Korea

**Nanohybrid & Energy Materials Research Center, Korea Electrotechnology Research Institute,
Changwon 641-120, Korea

(2009년 10월 13일 접수 : 2009년 11월 18일 최종수정 : 2009년 11월 18일 채택)

Abstract Inorganic oxide colloids dispersed in alcohol were applied to a stainless steel substrate to produce oxide coatings for the purpose of minimizing emissive thermal transfer. The microstructure, roughness, infrared emissive energy, and surface heat loss of the coated substrate were observed with a variation of the nano oxide sol and coating method. It was found that the indium tin oxide, antimony tin oxide, magnesium oxide, silica, titania sol coatings may reduce surface heat loss of the stainless steel at 300°C. It was possible to suppress thermal oxidation of the substrate with the oxide sol coatings during an accelerated thermal durability test at 600°C. The silica sol coating was most effective to suppress thermal oxidation at 600°C, so that it is useful to prevent the increase of radiative surface heat loss as a heating element. Therefore, the inorganic oxide sol coatings may be applied to improve energy efficiency of the substrate as the heating element.

Key words low emissivity coating, stainless steel, thermal resistance, radiative heat transfer.

1. 서 론

최근 에너지 원료비 상승과 환경규제 등에 의해 에너지 사용의 고효율화에 대한 관심이 높아지고 있다. 에너지 사용의 고효율화는 전도, 대류, 복사 메커니즘에 의한 열전달 제어를 통해 가열 설비에 사용되는 방열장치의 에너지 효율을 높이는 것이 가능하다. 전도에 의한 열전달은 소재의 열전도율 특성을 고려한 선택으로 제어 가능하고, 대류열전달은 유동의 기하학적 형태, 경계조건, 또는 유체의 열전도율의 변화 등에 의해 수동적으로 증진시킬 수 있다. 한편, 복사에 의한 열전달은 소재의 방사율로 평가할 수 있으며, 물질의 종류 뿐 아니라, 표면 거칠기, 파장, 표면 불순물의 영향을 받는다.¹⁾

스테인리스강은 표면에 Cr 성분을 함유하고 있어, 고온에서의 산화가 어느 정도 억제되지만, 600°C 이상 수

분이 존재하는 분위기에서는 내산화성이 점차로 손실된다. 고온에서 사용되거나 발열부로 사용되는 스테인리스강은 고온에서 장시간 노출되면, 서서히 부식이 일어나고 부식에 따라 표면방사 특성에도 변화가 일어날 수 있다. 예를 들어 스테인리스강 표면 상태에 따른 방사율 변화는 연마된 표면의 경우 300°C 기준으로 방사율 약 20%, 연마되지 않은 일반 표면의 경우 약 22%, 산처리 후에는 약 60%, 샌드블러스트 또는 1200°C 산화처리하면 84% 까지도 증가하는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 따라서 스테인리스강 표면이 열 혹은 가혹한 조건에 장시간 노출되는 경우에도 산화에 대한 저항성 및 내열 특성을 높이고, 금속의 고유한 저방사 특성을 유지하는 저방사 코팅은 복사열 손실의 제어를 통해 에너지 사용의 고효율화를 실현할 수 있을 것으로 기대된다.

흑체의 방사에너지는 스테판-볼츠만 법칙에 따라 온도의 4승에 비례하며, 물체의 방사율(emissivity)은 흑체 대비 복사체의 방사에너지 비율로, 현재까지 알려진 방사율 측정방법은 크게 방사측정법, 반사측정법, 및 열량측정

[†]Corresponding author

E-Mail : lim@kicet.re.kr(H. M. Lim)

법 등 3가지로 분류할 수 있다. 방사측정법(radiometric emissivity method)은 시편 자체가 출사하는 열방사를 방사검출기로 검출하고 같은 온도의 흑체방사와 비교하는 측정법이다.²⁾ 반사측정법(reflectivity measurement method)은 다른 방사원으로부터의 열방사를 시편 표면에 입사시켜 시편에 의해 반사된 방사의 강도를 방사 검출기로 검출하고, 시편의 반사율로부터 방사율을 구하는 방법이다. 열량측정법(calorimetric method)은 시편 표면으로부터 시편 주위로 손실된 열량을 측정하고 Stefan-Boltzmann 법칙을 이용하여 반구 총방사율을 구하는 방법이다.

복사에너지가 어느 물체에 입사되었을 때 에너지 보존법칙에 의해

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

여기에서 ρ_{λ} 는 반사율, α_{λ} 는 흡수율, τ_{λ} 는 투과율, T 는 온도이다.

물체의 두께가 어느 정도 이상이면 투과율은 매우 낮으므로($\tau_{\lambda} = 0$)

$$\rho_{\lambda}(T) + \alpha_{\lambda}(T) = 1 \quad (2)$$

Kirchhoff 법칙에 의하면 온도 T 에서 물체의 복사 스펙트럼 방사율(ϵ)은 같은 온도에서 흑체가 방사한 복사에 대한 물체의 흡수율(α)과 같다. 즉, 복사 스펙트럼 방사율은

$$\epsilon_{\lambda}(T) = \alpha_{\lambda}(T) = 1 - \rho_{\lambda}(T) \quad (\tau_{\lambda} = 0 \text{ 일때}) \quad (3)$$

로 나타낼 수 있다. 따라서 반사율(ρ_{λ})을 변화시키면, 흡수율(즉, 방사율)도 조절이 가능하다. 이것이 표면에서 일어나므로 표면 방사율이라 하고 이에 따른 열전달 메커니즘은 아래와 같다.

$$E_T = E_{\text{conv}}(T) + E_{\text{cond}}(T) + E_s(T) \quad (4)$$

여기에서 E_T 는 표면 열전달률, E_{conv} 는 대류 열전달률, E_{cond} 는 전도 열전달률, E_s 는 복사 열전달률(= 표면 방사율)이다. 특히, 대류 및 전도에 의한 열전도율이 동일한 조건인 경우 표면 방사율이 낮아지면, 표면 열전달률은 낮아지는데, 이는 단열성(열차단성)이 높아진다는 것을 의미한다. 즉, 방사율이 낮은 물질을 사용하여, 방사율(ρ_{λ})이 높은 표면 구조로 표면 처리를 하면, 표면의 열 전달율은 떨어지므로 단열성이 더욱 향상된다.³⁾

에너지 절약을 목적으로 주로 유리 표면에 ITO, ATO, ZnO, TiO₂, Bi₂O₃, SiO₂ 등 금속 산화물 스퍼터링 혹은 졸-겔 코팅으로 형성된 투명 코팅막을 적용한다. 높은 반사율을 가지는 저방사 소재를 건물 유리 내부에 적용하여 장파장 적외선 반사를 통해 복사선의 방사를 줄이는 것이 가능한데, 저방사 소재의 종류에 따른 특

성과 내구성 향상에 대하여 많은 연구가 있다.^{4,6)} 태양광 차단성 및 저방사 소재를 통한 창유리의 단열성을 높이는 것을 목적으로 적용이 가능하며, 태양열 흡수체용 흡수관의 방사손실을 줄이기 위한 목적으로 사용될 수 있다. 이러한 금속 산화물의 저방사 특성을 스테인리스강 발열 기관의 배면에 적용하면, 발열 효율을 극대화할 수 있을 것으로 기대된다.

금속 표면에 코팅막을 형성하여 부식방지, 산화방지, 연마 저항성, 에너지 제어, 등 다양한 목적의 특성 제어가 가능하다.⁷⁻¹⁰⁾ 특히 졸-겔 공정을 통한 세라믹 코팅막의 형성은 광학적 특성, 절연성, 내산성을 높이는 코팅제로 졸-겔 유리질 코팅,⁸⁾ 실리카 하이브리드 코팅,⁹⁾ TiO₂ 코팅,¹⁰⁾ 알루미나 코팅¹¹⁾ 등에 대한 연구에서 크롬 코팅을 대체할 만한 우수한 보호코팅제로의 가능성이 제시된 바 있다. 본 연구에서는 다양한 세라믹 나노입자 졸을 다양한 코팅 방법으로 금속표면에 적용하여, 코팅막의 균일성 및 형상을 관찰하고, 코팅 소재 및 코팅 방법에 따른 표면 방사 특성의 변화를 관찰하였다. 열량측정법을 통해 표면에서 복사열손실을 평가하였고, 표면 방사손실의 상대적인 비교를 통해, 적외선 분광계를 이용한 방사측정법으로 측정된 방사율과 비교하여 열량 측정법을 통한 방사손실 평가의 유효성에 대하여 검토하였다. 또한 600°C 가속내구성 시험을 통해, 산화물의 종류 및 코팅 방법에 따른 열 산화에 대한 부식저항성을 관찰하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서 사용된 기관은 100 mm × 100 mm × 2 mm 크기의 스테인리스강(스테인리스강430)이었다. 코팅제로 사용된 각종 무기산화물 졸은 KICET에서 제조한 ZnO와 MgO, SiO₂(평균입경 33 nm, IPA) 외 시판 제품 ATO(주화인줄테크, 30 nm), ITO(미지테크(주), 80 nm), TiO₂(주)나노팩, 30 nm), Au 졸(주)나노리더, 5 nm)을 적절한 농도(0.7~5wt%)로 희석하여 사용하였다. 비교 시편으로 사용된 유리 기관은 샌드블라스트 미처리 또는 처리된 일반 슬라이드 글라스를 사용하였다.

스테인리스강 기관 위에 여러 가지 산화물 콜로이드 소재 ATO, ITO, ZnO, MgO, TiO₂, SiO₂ 등을 딥 코팅, 스핀 코팅, 스프레이 코팅 등의 방법으로 코팅하였다. 딥 코팅에서는 스테인리스강 기관을 0.7 wt%의 졸에 5 초간 500 mm/min의 속도로 넣고 20 초간 딥 후에 동일한 속도로 꺼내어서 코팅하였고, 스핀 코팅에서는 0.7 wt% ~ 4.85 wt%의 졸을 2 ml 정도를 떨어뜨린 후 3000 rpm의 속도로 20초 동안 회전시켜 코팅하였으며, 스핀 코팅 횟수 증가에 따른 영향을 비교하였다. 스프레이 코팅에서는 스테인리스강 위에 0.7 wt% ~ 4.85 wt%의 SiO₂

와 TiO₂ 코팅제를 10 ml/s의 양으로 5 초간 뿌려주면서 스프레이 코팅하여 농도 변화에 따른 영향을 비교하였다. 최종적으로 제작된 시편들을 전기오븐을 사용하여 100°C에서 10 분 동안 건조한 후, 300°C에서 10 분 동안 열처리하였다.

한편, 저방사 특성이 우수한 비교시편 확보를 위해 Au 콜로이드 코팅(0.05%, 딥 코팅) 및 은경 코팅막을 도입하여, 은(Ag) 중간층이 생성된 박막을 제조하고, 방사 특성을 측정하였다. 은경 코팅 방법(쥬씨 에프 티) 은 기관 표면을 표면처리제로 처리하고, 은 용액에 담지한 후 환원제를 넣고 반응시켜 기관 표면에서 환원된 은경막을 생성하였다. 이것을 80°C에서 30분간 열처리하여 은경 코팅막을 형성한 다음, 은경 코팅막을 보호하기 위해 중량 1%의 ITO 졸을 딥 코팅 방법으로 코팅하고 5 분간 건조한 뒤, 250°C(승온속도 : 5°C/min)로 30 분간 열처리하여 비교용 시편을 제작하였다.

스테인리스강 기관에 유리질막이 코팅된 시편은 glass frit 슬러리(EGCT112N2, 이글래스)를 스프레이 방법으로 코팅하고 950°C에서 30분간 열처리하여 제작하였다.

표면 미세구조, 거칠기, 코팅막의 두께, 방사율, 표면 열손실 특성, 및 내부식 내열 특성을 평가하였다. 표면 특성은 SEM(SM-300, TOPCON)을 통해 accelerating voltage 20 kV에서 관찰하고, 표면의 거칠기 상태는 표면조도계(Kosaka Laboratory Ltd.) [측정범위 X축-100 mm, Y축-600 μm(최대 1.2 mm까지 가능), 분해능 Z축-0.1 nm(최대), 진직도 X축-0.2 μm//100 mm]에 시편을 넣고 시편당 2 회 측정하여 평균값을 취하였다. 코팅막의 내화학 및 내열 내구성은 내산성(0.5% H₂SO₄, 24 h), 내알칼리성(5% Na₂CO₃, 24 h), 가속 내구성(600°C, 15, 30, 60 h)을 평가하여 코팅막의 내화학 및 내열 내구성을 비교하였다.

적외선 방사율은 적외선 분광광도계(FT-IR Emission Spectrometer, M2400-C, Midac)를 이용하여, 시편의 크기를 40 mm × 40 mm로 하여 흑체로의 온도를 300°C로 하고, 파장 7800 ~ 350 cm⁻¹ 범위에서 측정하여 비교하였

다. 시료의 방사율은 적외선 분광기의 대비측에 흑체로를 두고 시료의 표면 온도를 흑체로와 동일 온도로 하여 double beam 광학적 영위법에 따라 흑체로의 방사율을 1.0로 할 때의 적외선 방사스펙트럼으로부터 구한다. 즉, 일정 온도에서 방사체의 방사 에너지와 같은 온도인 흑체의 방사 에너지의 비로 표기된다.

표면에서의 열손실량은 코팅 전후 시편에서 전도나 대류로 인한 손실이 일정하다는 가정 하에 특정온도(300°C)를 유지하는 데 소모되는 전력량을 측정하여, 코팅 후 방사율의 크기 변화량으로 비교하였다. 표면 손실열(surface heat loss, SHL)은 100 mm × 100 mm 크기의 시편을 넣고 300°C까지 가열한 다음 안정화를 위해 1 시간 동안 온도를 유지시킨 후에 300°C로 유지되며 소모되는 전력을 30분(3초 간격으로 총 600번)동안 측정하여 평균값을 취하였으며, 표면 손실열 차이(surface heat loss change, ΔSHL)는 코팅 전, 후 시편의 표면 손실열의 차이 값으로 정의하여 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

각종 무기산화물 졸의 물성을 Table 1에 정리하였다. 사용된 졸은 1차 입경이 10~70 nm 이고, 전기영동광산란법으로 측정한 평균입경은 30~200 nm 범위의 알코올 분산상(ethanol 혹은 isopropyl alcohol) 콜로이드이다. 주어진 Fig. 1은 적용한 몇 가지 무기산화물 졸의 대표적인 TEM 형상을 보여준다. 즉, 일부에서 응집상이 보이지만, 대체로 분산성이 우수한 나노 분산 콜로이드임을 알 수 있다.

각종 산화물을 적용한 시편에 대해 원적외선 방사 에너지와 방사율을 측정된 결과(Table 2)에 의하면, 코팅제의 성분에 따라 방사에너지와 방사율 값이 상이하다. 흑체의 방사율을 1.0로 할 때, 은경코팅의 방사율은 0.11, 금 콜로이드 코팅의 방사율은 0.13으로, 본 연구에 기관으로 사용된 스테인리스강 기관의 방사율 0.22 보다 낮은 값이다. 한편 은경코팅 위에 ITO 보호코팅

Table 1. Primary particle size by TEM and secondary particle size by electrophoretic light scattering(ELS) method for various inorganic oxide sols.

Sample	Average primary particle size by TEM (nm)	Average secondary particle size by ELS (nm)	Dispersing medium
ATO	10	30	Isopropylalcohol
ITO	30	80	Ethanol
MgO	20	120	Ethanol
ZnO	70	200	Ethanol
TiO ₂	30	60	Ethanol : 2-Butoxyethanol = 4 : 6
SiO ₂	16	33	Isopropylalcohol

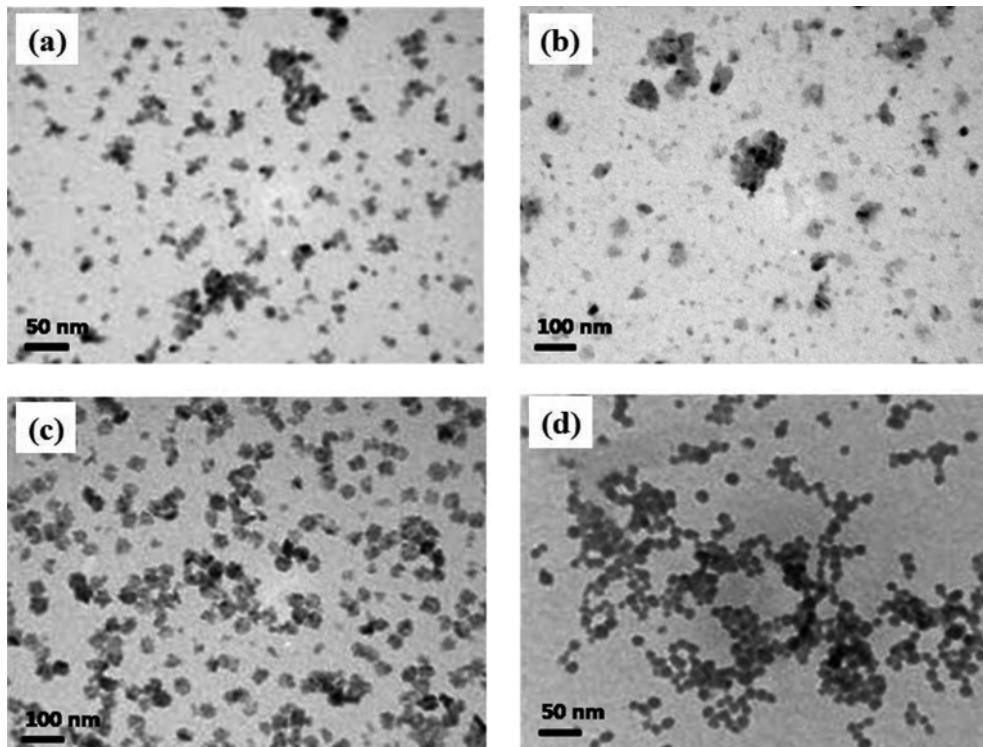


Fig. 1. TEM images of selected inorganic oxide sols; (a) ATO, (b) MgO, (c) TiO₂, and (d) SiO₂.

Table 2. Far-infrared emissive energy and emissivity of various substrates (a) stainless steel and (b) glass with different surface roughness, and (c) coatings on stainless steel at 300°C in the range of 2.5~25 μm.

Sample		Emissive energy (W/m ²)	Emissivity (3~20 μm)
(a) Stainless steel	Polished	12.17×10^2	0.22
	Sand blast	33.71×10^2	0.61
(b) Glass	Polished	49.31×10^2	0.89
	Sand blast	49.82×10^2	0.90
	ATO	11.63×10^2	0.21
	ITO	12.31×10^2	0.22
	ZnO	14.24×10^2	0.26
	MgO	12.12×10^2	0.22
	SiO ₂	13.49×10^2	0.24
(c) Coating on stainless steel	TiO ₂	13.92×10^2	0.25
	Au	7.17×10^2	0.13
	ITO / Ag	6.10×10^2	0.11
	ITO / Ag / ITO	8.93×10^2	0.16
	Glass frit coating	29.78×10^2	0.54

을 한 경우 0.16으로 높아지지만, 여전히 스테인리스강 기판보다 낮은 값을 보인다. 스테인리스강 기판에 코팅된 각종 산화물 시편의 방사율은 0.2~0.38 수준으로 은경 코팅 혹은 금 콜로이드 코팅 시편의 방사율보다는 높아지는 것을 관찰하였다. 그러나, glass frit type 코팅의 방사율은 0.54로 높아진 것을 알 수 있다. 이것은 산화물 졸 코팅에 비해, glass frit의 방사율이 높고, 코

팅 두께가 두꺼울수록 glass frit 코팅이 방사율 상승에 기여하는 폭이 커지고, 기판 대비 거칠기도 높아지기 때문으로 추정된다. 산화물 졸 코팅은 서브마이크론 수준의 박막 코팅인 반면, glass frit coating의 경우 10 μm 이상의 유리질 코팅이다.

한편, 표면 손실열(surface heat loss)은 전도, 대류, 복사로 인해 일어나는 열 손실량의 합으로 표현될 수 있

Table 3. Surface heat loss change and roughness in the samples relative to the polished stainless steel, depending on the substrates and type of oxide coatings.

Sample	Δ SHL (W/m ²)	Surface roughness (μ m)
(a) Stainless steel	Polished	0
	Sand blast	5.0×10^2
	Oxidized(600°C, 30h)	9.7×10^2
(b) Glass	Polished	12.6×10^2
	Sand blast	12.8×10^2
	ATO	-2.3×10^2
	ITO	-0.4×10^2
	ZnO	$+0.2 \times 10^2$
	MgO	-2.1×10^2
(c) Coating on stainless steel	SiO ₂	-1.4×10^2
	TiO ₂	-1.2×10^2
	Au	-6.5×10^2
	Glass frit coating	$+4.0 \times 10^2$

는데, 각 시편에 대해 전도와 대류로 인한 손실은 같다는 가정 하에 스테인리스강 기판 대비 복사 열손실의 차이(surface heat loss difference, Δ SHL)를 비교하였다. 즉, Table 3(a), (b)의 기판 소재별 표면 상태에 따른 표면 손실열을 비교해 보면, 광택면보다는 sand blast로 인해 표면적이 증가한 시편에서 5.0×10^2 W/m² 더 높은 값이 관찰되었고, 600°C에서 약 30시간동안 열처리로 표면에 산화막이 형성된 시편은 9.7×10^2 W/m² 더 높은 값을 나타내었다, 즉 광택면의 스테인리스강 표면보다는 거친 면을 가진 스테인리스강 표면이 복사로 인한 열 손실이 높고, 열로 인해 산화막이 형성된 스테인리스강 기판의 경우 복사로 인한 열손실은 더 높아진다. 그러나, glass 기판의 경우 스테인리스강 기판 표면보다는 복사열손실이 12.6×10^2 W/m² 더 높지만, 거칠기 변화에 따른 복사 열손실의 증가는 0.2×10^2 W/m²로 그 폭이 작다. 따라서 표면 거칠기 변화에 따른 방사율의 증가는 소재의 종류에 따라 그 증가폭이 다르다는 것을 알 수 있다.

표면 손실열(SHL)은 스테인리스강 표면에 각종 산화막을 코팅한 시편들과 glass frit 코팅 시편에 대해 설정온도 300°C에서 측정하였고, 코팅 전 스테인리스강 기판의 표면손실열의 차이(Δ SHL)로 Table 3(c)에 정리하였다. 이를 통해서 스테인리스강 기판에 산화물을 코팅하면 산화물의 종류에 따라 Δ SHL은 낮아지거나 높아지는 것으로 나타났다. Au 줄을 코팅한 시편의 경우에는 Δ SHL이 -6.5×10^2 W/m²로 스테인리스강 기판 대비 감소하는 것을 알 수 있었다. 특히 ATO, MgO, SiO₂, TiO₂, ITO 코팅된 시편의 경우 Δ SHL가 -2.3×10^2 , -2.1×10^2 , -1.4×10^2 , -1.2×10^2 , -0.4×10^2 W/m²로 상대적으로 우수한 저방사 특성을 나타내었다. 한편, 스테인리스

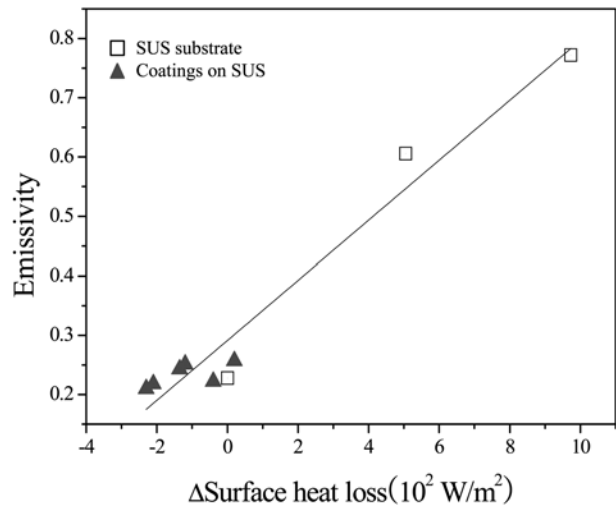


Fig. 2. Correlation of surface heat loss change (Δ SHL) compared to polished stainless steel substrate and far-infrared emissivity of coatings on stainless steel.

강 위에 glass frit 타입의 코팅을 한 경우 Δ SHL는 4.0×10^2 W/m²로 스테인리스강 기판보다 높은 복사 에너지 손실이 나타났고, 이것은 Table 2에서 관찰된 기판 대비 높은 방사율과도 일치하는 결과이다.

전도와 대류로 인한 손실이 같다는 가정 하에 표면 손실열 변화량(Δ SHL)은 코팅 전 기판 대비 코팅시편의 복사로 인한 열손실의 변화를 반영하는 것으로 볼 수 있는데, 그 상관관계를 보면, 상관관계수 0.95의 선형적인 관계를 이루고 있는 것을 알 수 있다(Fig. 2). 이로써, Δ SHL의 상대적인 비교를 통해 동일한 기판 범위 내에서는 방사율의 변화를 추정하는 것이 가능할 것으로 사료된다.

Fig. 3에서와 같이 표면 거칠기 변화에 따른 Δ SHL

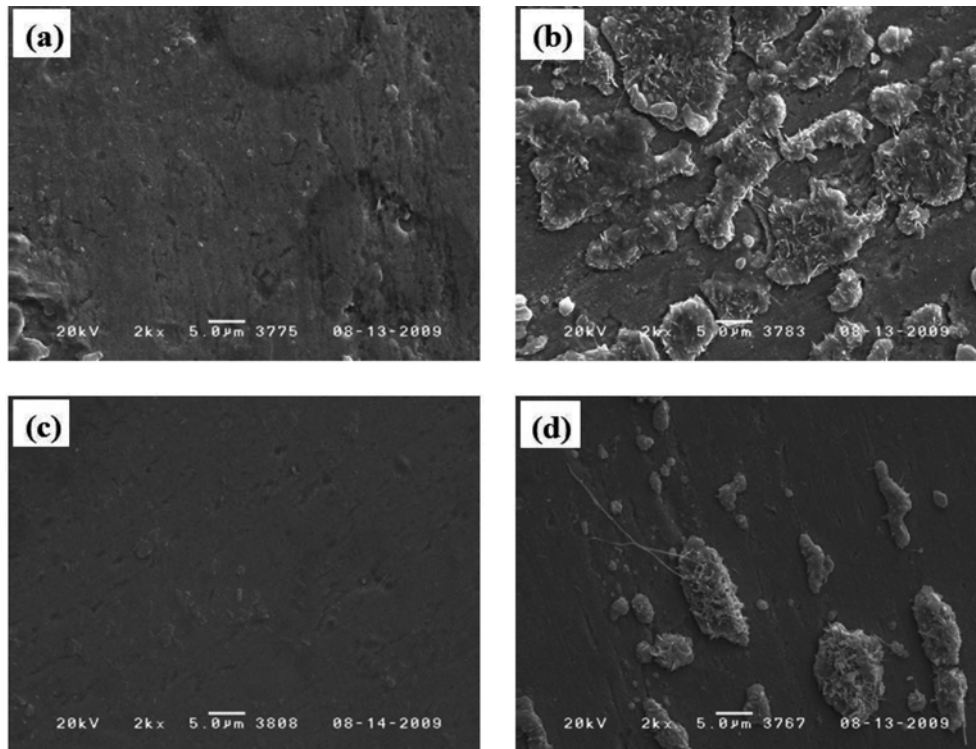


Fig. 4. SEM images of (a) stainless steel substrate before heating and (b) stainless steel after heating, (c) SiO₂ coating on stainless steel after heating, and (d) TiO₂ coating on stainless steel after heating at 600°C.

다(Fig. 4). 60시간 가속 내구성 실험 결과 SiO₂ 만이 유일하게 가속 내구성 실험 전과 후에 ΔSHL이 비슷했고, 다른 코팅제가 적용된 시편은 초기 방사율은 다소 낮거나 유사하여도, 600°C 고온에서 산화되어 생성된 산화물로 인해 ΔSHL이 증가하며, SiO₂, TiO₂, ATO, MgO, ITO, ZnO 순서로 증가하는 폭이 커졌다. 스펀 코팅한 시편 뿐 아니라, 덩 코팅한 시편에서도 600°C, 15시간 시점에서는 SiO₂ 및 TiO₂, 코팅막의 지방사 특성 및 내열성에 차이가 거의 없으나, 30시간 이상 노출에서는 SiO₂ 코팅막의 내열 내부식성이 가장 우수한 것으로 관찰되었다.

4. 결 론

SiO₂, TiO₂, ATO, MgO, ITO, ZnO 6종의 무기산화물 졸을 졸-겔 타입의 습식 코팅으로 스테인리스강 기관에 적용하여, 원적외선 방사율과 표면 손실열 측정으로부터 구한 상대적인 표면 손실열 차이의 비교 분석을 통해 소재 종류, 농도, 코팅 방법 등 요인이 방사특성에 미치는 영향을 연구하였다. 산화물은 일반적으로 방사율이 0.8 이상으로 높은 것으로 알려져 있으나, 박막 코팅으로 금속 기관의 지방사 특성을 유지하는 것이 가능한 것을 관찰하였다. 600°C 가속 내구성 실험에서 일반 스테인리스강 기관은 산화막 형성에 따라 방사율이 증가하

는데, 실리카 코팅제를 적용하면 방사율 변화가 억제되므로 내산화 지방사 코팅제로 적용하는 것이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지평가원 에너지자원기술개발사업(과제번호 2006E1011P401000)으로 (주)아프로시스템의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. R. Siefel and J. Howell, Chapter 5 in Thermal Radiation Heat Transfer, p.122, McGraw-Hill Book Company, USA (1992).
2. S. -C. Bae and G.-S. Oh, Transactions of KSME A(in Korean), **27**(6), 789 (2003).
3. G. -S. Oh and S.-C. Bae, Transactions of KSME A(in Korean), **21**(7), 65 (2003).
4. J. Mohelnikova, Construction and Building Materials, **23**(5), 1993 (2009).
5. E. T. Johnson, Low-e glazing design guide, p.28, Butterworth Architecture, Boston (1991).
6. L. S. Roman, R. Valaski, C. D. Canstraro, E. C. S. Magalhaes, C. Persson, R. Ahuja, E. F. da Silva Jr., I. Pepe and A. da Silva, Appl. Surf Sci., **252**(15), 5361 (2006).
7. D. -P. Kang, H.-Y. Park, M.-S. Ahn, I.-H. Myung, T.-J. Lee, J.-H. Choi and H.-J. Kim, Polymer(in Korean), **29**(3),

- 242 (2005).
8. M. Simes, O. B. G. Assis and L. A. Avaca, *J. Non-Cryst. Solids* **273**(1-3), 159 (2000).
 9. Y. Casatro, B. Ferrari, R. Moreno, A. Duran, *Surf. Coat. Technol.*, **191**(2-3), 228 (2005).
 10. H. Yun, J. Li, H.-B. Chen and C.-J. Lin, *Electrochim. Acta*, **52**, 6679 (2007).
 11. J. H. Yu, S. H. Jung, B. R. Jo, G. P. Hong, J. S. Mun, J. B. Kang, *Kor. J. Mater. Res.*, **18**(8), 417 (2008).