

양극산화된 알루미늄의 적외선 복사특성 연구

강병철, 최정진, 김기호*

한국건설자재시험연구원, *충북대학교 재료공학과

A Study on the Infrared Radiation Properties of Anodized Aluminum

B. C Kang, J. J. Choi, K. H. Kim*

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

*Department of Materials Engineering, ChungBuk National University,
Cheongju 361-763, Korea

Abstract

Spectral emissivity depends on the surface conditions of the materials. The mechanisms that affect the spectral emissivity in anodic oxide films on aluminum were investigated. The aluminum specimens were anodized in a sulfuric acid solution and the thickness of the resulting oxide film formed changed with the anodizing time. FT-IR spectrum analysis identified the anodic oxide film as boehmite ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$). Both the infrared emissivity and reflectivity of the anodized aluminum were affected by the structure of the anodic oxide film because Al-OH and Al-O-Al have a pronounced absorption band in the infrared region of the spectrum. The presence of an anodic oxide film on aluminum caused a rapid drop in the infrared reflectivity. An aluminum surface in the clean state had an emissivity of approximately 0.2. However, the infrared emissivity rapidly increased to 0.91 as the thickness of the anodic oxide film increased.

Key words : Anodized aluminium, aluminium, boehmite, spectral emissivity, reflectivity, FTIR

1. 서 론

알루미늄의 양극산화막은 현대기술에서 폭넓은 응용 때문에 많은 관심을 끈다. 일반적으로 알루미늄 표면은 대기중에서 자연적으로 산화막이 형성되지만 양극산화에 의해 생성된 알루미늄의 결정구조는 구조가 매우 치밀하며 세공을 갖지 않는 베리어(barrier) 층과 세공이 잘 발달된 기공(porous) 층으

로 나눌 수 있다. 이와 같이 양극산화에 의해 알루미늄 표면에 생성되는 알루미늄산화막은 비표면적이 매우 큰 Al_2O_3 형태의 결정구조를 갖고 있어 부식으로부터 금속을 보호하고, 마모성을 개선하고, 전기적인 절연성을 주고, 부착성을 개선한다.

순수한 알루미늄표면은 가시광선 및 적외선의 스펙트럼에서 우수한 반사특성을 보이며 순수 알루미늄의 산화막은 가시광선과 적외선의 단파장 스펙트

럼에서 복사에 대해 투과가 일어나지만 장파장의 적외선 스펙트럼에서는 불투명체이다.¹⁾ 어느 물질표면에서 흡수되거나 복사되는 복사열은 그 물질의 표면처리의 선택에 의해 쉽게 영향을 받을 수 있다. 즉 표면처리는 선택적인 특성을 가지고 있으며, 그들의 흡수특성은 파장에 따라 80% 정도까지 변할 수 있다²⁾.

우주선에 대한 온도제어 코팅은 많은 연구의 주제가 되어 왔다. 열제어는 우주선의 외부표면의 광학적 특성에 의존한다. 열제어 코팅은 우주선표면에서 열을 반사하고 또 필요한 복사통로를 제공하여 우주선의 열제어에 중요한 역할을 한다. 이들 코팅에 대한 가장 흥미로운 두가지 특성은 태양에너지의 흡수율 α 와 열복사율 ϵ 이다.³⁾ 흡수율은 주위로부터 표면에 흡수된 열의 양을 결정하고 복사율은 표면으로부터 주위로 방출되는 열의 양을 결정한다. 우주선은 내부장치와 구조물을 일정한 온도범위로 유지하고 궤도선회와 방향전환 때문에 우주선에 흡수되는 열 흐름으로부터 많은 변동을 감소시키기 위해 표면은 태양열 스펙트럼에서는 낮은 흡수율을 갖고 적외선 스펙트럼에서는 복사율이 높아야 한다.¹⁾

Hay⁴⁾는 일정한 온도로 유지되는 알루미늄계질의 물탱크에서 표면의 양극산화막 두께가 두껍고 색상이 흑색일수록 주위로 열손실이 커지는 것을 발견하고 알루미늄표면의 결정구조 및 색상에 따라 적외선의 복사율이 변한다는 결론을 내렸다. Kohara⁵⁾는 양극산화된 알루미늄층은 표면에 많은 작은 기공들을 가지고 있기 때문에 비표면적이 매우 크며 양극산화된 알루미늄에서의 높은 적외선 복사율은 양극산화층의 넓은 표면적에 기인한다고 했다. Harald Mehling⁶⁾은 순수한 알루미늄표면은 대기중에서 자연산화막이 형성되어 Palik(1985)의 굴절율에 대한 자료로부터 계산된 복사율보다 실제 측정을 하였을 때 높은 것을 밝히고 533K까지의 온도에서는 복사율에 대한 큰 변화가 없으나, 773K에서는 가시광선과 근적외선 영역에서 복사율이 증가하는 경향을 보이고 있다고 밝혔다. Kollie⁷⁾등은 6061 알루미늄

표면 산화막의 복사율을 칼로리미터 (Calorimeter)로 측정하여, $Al_2O_3 \cdot H_2O$ 는 0.919~0.934의 값을 나타내며 755K에서 열처리한 Al_2O_3 는 0.863~0.891의 값을 나타내어 산화물구조에 따라 복사율 값이 다르다는 것을 알았다.

지금까지의 연구들은 물질표면의 적외선 반사율을 측정하여 간접적으로 적외선 복사율을 계산하였기 때문에 물질구조에 따른 적외선 복사파장의 특성이 명확히 밝혀지지 않았다. 이 연구에서는 알루미늄 양극산화막에서 복사되는 적외선을 직접적으로 측정하기 위해 FT-IR 분광광도계를 개조하였다. 알루미늄 양극산화막의 적외선 흡수 및 반사스펙트럼을 측정하여 결정구조를 분석하였고, 결정구조에 따른 표면의 광학적 특성을 조사하였다. 또한 알루미늄 양극산화막 두께에 따른 복사율 및 반사율을 측정하여 알루미늄 양극산화막 결정구조와 두께에 따른 적외선의 발생기구를 검토하였다.

2. 이 론

복사에너지가 어느 물체에 입사되었을 때 그 물체 표면에서의 광학적인 특성은 반사, 흡수, 투과 등으로 나누어 볼 수 있는데, 에너지보존 법칙에 의해

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad (1)$$

의 관계를 만족한다. 여기서 ρ 는 반사율, α 는 흡수율, τ 는 투과율이다. 금속표면에서는 열복사에 대해 $\tau = 0$ 이므로

$$\rho + \alpha = 1 \quad (2)$$

이 된다. 즉 물체표면에서 반사된 나머지는 물체내부로 모두 흡수된다.

Kirchhoff⁸⁾에 의하면 어느 온도에서 열평형에 있는 물체가 동일한 파장에서 복사되는 에너지와 흡수하는 에너지의 비는 물질의 종류와 성질에는 관계가 없이 온도에 의존하여 일정한 값을 가지며, 어떤 물체의 분광복사율과 분광흡수율의 관계는

다음과 같다.

$$\epsilon_s(T) = a_s(T) \quad (3)$$

어느 물체표면에서 분광복사율은 다음과 같이 정의된다.

$$\epsilon_s(\lambda, T) = \frac{E_s(\lambda, T)}{E_b(\lambda, T)} \quad (4)$$

여기서 $E_s(\lambda, T)$ 와 $E_b(\lambda, T)$ 는 물체표면과 흑체의 복사에너지이다. 흑체의 복사에너지는 플랑크의 복사법칙 (Planck's law)⁸⁾에 의해 구해진다.

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

여기서 $C_1 = 3.74 \times 10^{12} [W \cdot m^2 / \mu m^4]$, $C_2 = 1.44 \times 10^4 [\mu m \cdot K]$ 이다.

$E_b(\lambda, T)$ 는 온도 T[K]의 흑체표면의 단위면적에서 반구면의 공간에 단위시간당 복사되는 전자파중 파장 $\lambda[\mu m]$ 분의 에너지[W/m²· μm]를 나타내며, λ_1 에서 λ_2 까지의 에너지분포를 적분하면 온도 T에서 흑체의 복사에너지가 된다.

3. 실험방법

3.1 양극산화반응

알루미늄은 6063합금 압출재를 사용하였으며 먼저 알카리탈지, 알카리에칭, 산세등의 전처리 과정을 거친 후 황산농도 20wt%의 전해액에서 18~22℃의 온도 범위, 20V의 직류전압으로 15분에서 90분까지 양극산화를 실시하여 알루미늄표면에 양극산화막을 형성시켰다.

3.2 양극산화막의 분석

알루미늄 양극산화막의 두께는 시편의 단면을 현미경으로 관찰하여 측정하였으며, 알루미늄표면에 생성된 산화막의 결정구조를 알아보기 위해 X-선 회절분석기(D5005 X-Ray Diffractometer, BRU-

KER.AXS)를 이용하여 측정하였다. 이때 사용된 기조건은 전류 40kV, 전압 50mA, CuK α 의 target을 사용했으며 20°~90° 범위에서 측정하였다. 또한 양극산화막의 적외선 흡수스펙트럼을 얻기위해 KBr 펠렛(Pellet)법을 이용하였다. 먼저 양극산화막을 박리하여 KBr 분말에 1% 정도 혼합하여 가압성형으로 투명한 필름을 만들고, 4cm⁻¹의 분해능으로 100회 스캐닝을 실시하여 적외선 스펙트럼을 얻었다. 이때 후리에변환 적외선 분광광도계(FT-IR, MIDAC 2200)를 사용하였으며, 적외선 반사측정은 반사-흡수(Reflection-absorbance)법을 이용하였고 굵이 코팅된 거울을 반사기준물로 하여 양극산화된 알루미늄표면을 직접 측정하였다. 이때 어퍼쳐와 입사각이 30°가 되도록 하였다.

3.3 적외선의 복사율

본 연구에서는 후리에변환 적외선 분광광도계(FT-IR, MIDAC M2410-C)를 사용하였으며, 보조광학계, 복사율이 0.999인 흑체로(I.S.D. Corp. Model 563), 40~400℃까지 온도조절이 가능한 시편가열로를 추가적으로 부착하였다. 사용된 시편은 40×40mm의 양극산화된 알루미늄을 사용하였고 적외선 복사율의 측정범위는 3~20 μm 파장 범위이며, 모든 스펙트럼은 액체질소로 냉각된 MCT(HgCdTe)검지기 8cm⁻¹의 분해능으로 100회 스캔을 실시하여 수행하였다. 측정온도 범위는 423K로 일정했다. 측정장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 흑체와 시료를 동일온도로 설정하였으며 먼저 흑체를 광원

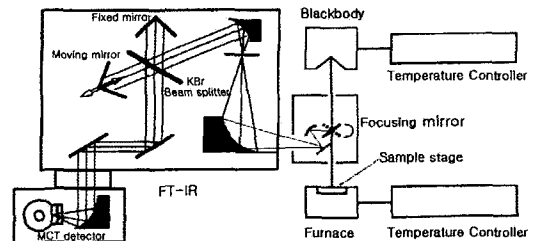


Fig. 1 Schematic diagram for measuring the infrared emissivity of a sample.

으로 하여 적외선 복사에너지 강도 E_{bi} 을 FT-IR로 측정하고, 시료의 적외선 복사에너지 강도 E_{bs} 을 측정하여 복사율을 계산하였다.

4. 결과 및 고찰

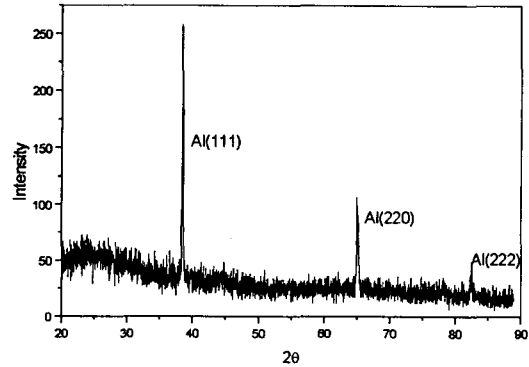
4.1 양극산화막의 결정구조

전해시간에 따른 알루미늄 양극산화막의 두께는 초기에는 Faraday 법칙에 따라 전류밀도가 일정할 때 전해시간에 따라 직선적으로 증가하였지만, 전해액의 양극산화막 용해작용에 의해 직선적인 관계에서 벗어났다. 전해시간이 15분일 때 $5\mu\text{m}$ 의 양극산화막 두께가 형성되었으며 $30\mu\text{m}$ 의 양극산화막 두께가 형성되는데는 90분 정도의 전해시간이 소요됐다.

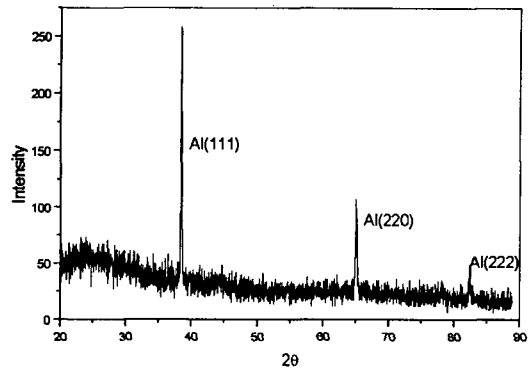
90분 동안의 전해처리에 의해 $30\mu\text{m}$ 의 양극산화막이 형성된 알루미늄 표면에 대한 X-ray 회절패턴을 그림 2에서 보여준다. 그림 2(a)에 나타난 바와 같이 $22\sim 24^\circ$ 부근에서의 브로드한 피크는 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 피크위치에 상응하지만, 날카로운 피크가 보이지 않는 것으로 보아 형성된 양극산화막은 비정질의 Al_2O_3 로 생각할 수 있다. 38.5° , 65° , 82.3° 에서 나타난 날카로운 Al의 피크는 알루미늄소지에서의 회절선으로, 양극산화막을 투과하여 강하게 나타나고 있다. 양극산화막을 알루미늄표면에서 박리하여 분말상으로 X-ray 회절분석을 하였을 때는 그림 2(b)에 나타난 바와 같이 Al의 회절선이 나타나지 않고 비정질의 패턴을 나타냈다. Toshiro⁹⁾는 황산, 크롬산, 슬폰산, 수산 등의 전해액에서 생성된 산화막에서의 X-ray 회절패턴은 모두 비정질이며, 황산전해액에서 처리된 양극산화막을 1000°C 에서 1시간 가열한 후에 $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$ 의 회절피크가 나타나는 것을 확인하였다. 따라서 이 연구에서 알루미늄의 표면에 형성된 양극산화막은 비정질이다.

4.2 적외선 흡수스펙트럼

양극산화막의 FT-IR 흡수스펙트럼을 그림 3(a)에



(a)



(b)

Fig. 2 X-ray diffraction patterns of anodized aluminum surface (a) and anodic oxide film (b).

서 $4000\sim 500\text{cm}^{-1}$ 의 범위에서 보여주고 있다. 흡수밴드는 대략 $3600\sim 2800\text{cm}^{-1}$, $1700\sim 1600\text{cm}^{-1}$, $1200\sim 1000\text{cm}^{-1}$, $1000\sim 500\text{cm}^{-1}$ 의 영역으로 나누어 볼 수 있다. 알루미늄 양극산화막은 $3600\sim 3400\text{cm}^{-1}$, 1658cm^{-1} 에서 Al-OH의 스트레칭진동(Stretching vibration)에 의해, 1625cm^{-1} 에서는 벤딩진동(Bending vibration)에 의한 흡수가 일어났다. Fripiat¹⁰⁾에 의하면 알루미늄의 양이온에 결합된 OH 적외선 스펙트럼이 3480cm^{-1} , 2965cm^{-1} , 2530cm^{-1} 에서 알루미늄에 직접 연결된 OH나 물분자와 강하게 결합된 수소원자에 의한 흡수밴드들이 각각 나타난다고 보고하고 있다. 1130cm^{-1} 에서의 밴드는 황산액에서의 전해로 인해 양극산화막에 포함되어 있는 SO_4^{2-} 이온의 S-O 스트레칭 진동에 의

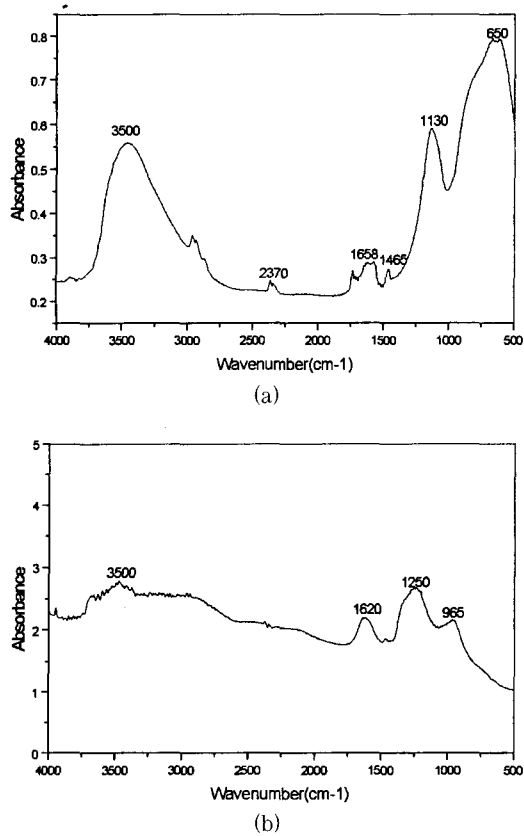


Fig. 3 IR spectrum of the anodic oxide film on aluminum : (a) normal transmission, (b) absorption-reflection.

한 밴드이다. $1000 \sim 500 \text{cm}^{-1}$ 에서 높은 흡수밴드가 나타나는데 Handke¹¹⁾에 따르면 이 흡수밴드는 Al-O-Al의 스트레칭진동과 Al-OH의 벤딩진동에 의한 싱글밴드들로 이루어져 있는 것으로 생각된다. 2370cm^{-1} 에서 관찰된 밴드는 공기중의 CO_2 의 비대칭 스트레칭진동에 의한 것이고 1465cm^{-1} 에서는 CH_2 의 흡수진동이 나타났다.

그림 3(b)는 적외선 반사·흡수 스펙트럼을 보여 준다. 1250cm^{-1} 에서 Al-O-Al의 스트레칭진동과 965cm^{-1} 에서 Al-OH의 벤딩진동이 나타나는데, Dorsey¹²⁾에 의해 이 두가지 진동모드는 베마이트(Boehmite)의 스펙트럼으로 확인되었다. 반사·흡수 스펙트럼에서 1620cm^{-1} 부근에서의 Al-OH 벤딩진동, 3500cm^{-1} 에서의 Al-OH 스트레칭진동은 흡

수 스펙트럼과 동일하게 나타났다. 위의 결과를 표 1에 나타내고 있다. Spooner¹³⁾에 의하면 황산전해액에서 생성된 양극산화막은 Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 등의 결정구조로 이루어져 있으며, 일반적으로 알루미늄의 양극산화 후 pH가 중성이고 온도가 80°C 이상으로 봉공처리를 하면 베마이트 형태의 $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ 가 생성될 때 체적이 팽창하여 양극산화막 표면의 미세공을 폐쇄하는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서 알루미늄 양극산화막의 적외선 스펙트럼의 흡수밴드를 확인한 결과, 생성된 결정구조는 베마이트와 일치하는 것을 알 수 있었다.

Table 1 Assignment of bands of anodized aluminum surfaces

Band (cm^{-1})	Vibration
3400-3600	Al-OH stretching vibration
1625-1658	Al-OH bending vibration
1465	CH_2 asymmetry stretching vibration
1250	Al-O-Al stretching vibration
1130	S-O stretching vibration
965	Al-OH bending vibration
650	Al-O-Al stretching vibration

4. 3 적외선 반사율

그림 4는 알루미늄의 무처리 시료와 두께가 다르게 형성된 양극산화막에 대한 적외선 반사율을 $4 \sim 12 \mu\text{m}$ 파장범위에서 보여주고 있는데, 무처리 시료의 경우에는 전파장영역에서 높은 반사율을 보여주고 있다. 일반적으로 금속은 내부의 자유전자가 자외선에서 X-선 영역의 전자파를 흡수하여 상위의 에너지 준위로 여기(Excite)하지만 이 영역들보다 장파장의 전자파는 모두 반사한다¹⁴⁾. 양극산화막이 형성된 시료들에서는 반사율이 급격히 저하됐지만 $4 \sim 8 \mu\text{m}$ 의 파장범위에서는 $8 \sim 12 \mu\text{m}$ 의 파장영역보다 반사율이 높은 것을 보여주는데, 이것은 적외선 투과스펙트럼 결과에서 $2700 \sim 1250 \text{cm}^{-1}$ 의 적외선은 양극산화막을 투과하는 것으로 나타났다. 즉 이 영역의 적외선이 양극산화막을 투과하여 알루미늄소지에 반사한 것으로 생각이 된다. 그렇지만 양극산화막의 두께가 증가함에 따라 반사율이 감소하고 흡

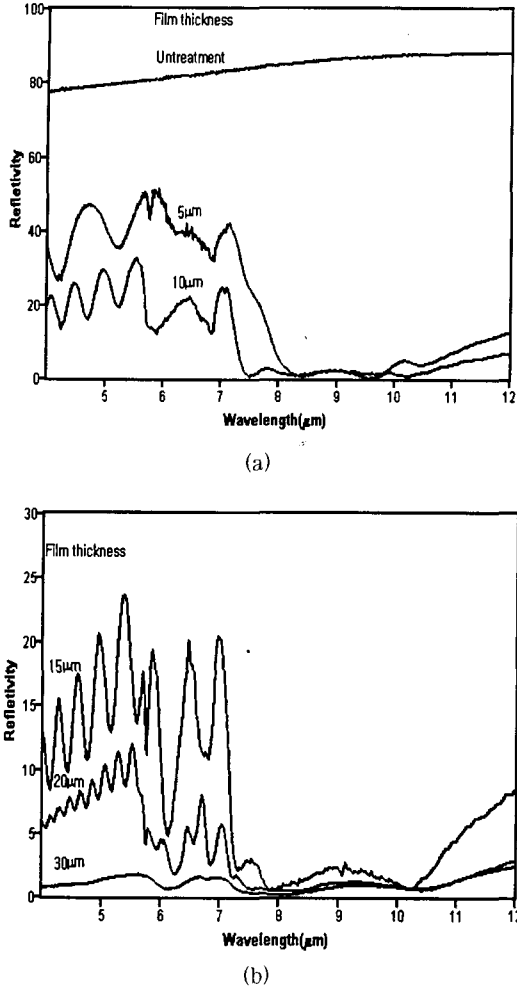


Fig. 4 IR reflectivity of the anodic oxide films with different thickness on aluminum : (a) thickness 0~10 μ m, (b) thickness 15~30 μ m.

수율이 증가하며 5 μ m 두께의 양극산화막에서 톱니모양의 현상이 나타났다. 15 μ m 두께의 양극산화막에서 가장 진폭이 심하고 양극산화막이 두꺼워질수록 이 현상은 약해졌으며, 무처리 시료와 30 μ m 두께의 시료의 표면에서는 나타나지 않았다. 이 현상에 대해 Norifumi¹⁵⁾는 양극산화막 표면과 알루미늄면의 거리차에 의한 간섭작용(Interference)으로 생각했다. 8~12 μ m의 파장영역에서는 적외선 스펙트럼의 분석결과 1130cm⁻¹의 S-O 스트레칭 진동과 1250

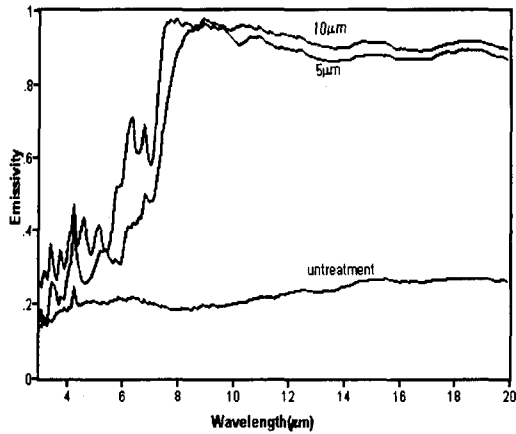
cm⁻¹부근의 Al-O-Al 스트레칭 진동에 의한 높은 적외선 흡수로 인해 반사율이 낮은 것으로 생각할 수 있으며, 이 영역에서는 양극산화막의 두께에 따른 변화는 없다.

4. 4 적외선 복사율

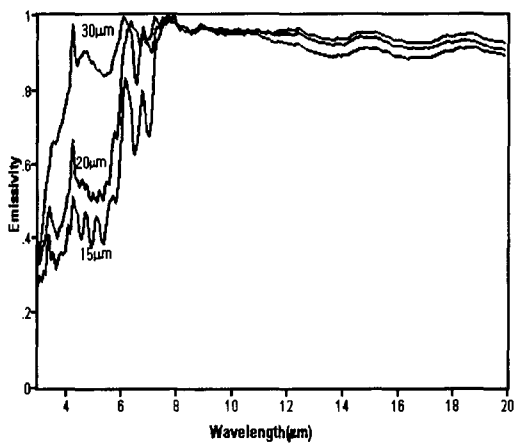
무처리 시료와 5~30 μ m 두께의 양극산화막이 형성된 알루미늄표면의 적외선 복사율은 그림 5에서 보여준다. 이 그림에서 양극산화막들의 적외선 복사율은 흑체의 복사에너지 비로서 나타내며, 1의 라인은 흑체의 적외선 복사율에 상응하고 실존 물체표면의 복사율은 0~1 사이의 값을 갖는다. 그림 5(a)에서 무처리 시료의 적외선 복사율은 전파장에서 모두 낮은 값을 나타내고 있으며, 이것은 적외선 반사 스펙트럼 결과로 보아 전파장에서 적외선 반사율이 높고 흡수율이 작은 결과이다. 따라서 흡수율은 복사율과 같은 값을 나타내는 키르호프 법칙⁸⁾에 잘 일치하고 있다.

양극산화막의 두께가 높아짐에 따라 적외선 복사율이 상승되었으며 적외선 복사율이 점차적으로 증가 할지라도 복사율의 형태는 양극산화막의 증가에 따라 큰 변화는 없다. 또한 양극산화막의 복사율 형태는 적외선 스펙트럼에서 밝혀진 양극산화막의 결정구조에 따른 적외선 흡수 및 반사 파장영역과 관련이 있다. 즉 3~8 μ m의 파장영역에서는 양극산화막의 적외선 투과에 의해 알루미늄 소지에 반사되어 적외선 흡수율이 적다. 따라서 적외선 복사율도 낮은 것을 알 수 있으며, 양극산화막 두께의 증가에 따라 적외선 반사율이 감소하고 적외선 복사율이 증가함을 보이고 있다. 또한 적외선 반사 스펙트럼에서 나타난 간섭현상에 의한 영향도 나타났다. 8~20 μ m의 파장영역에서는 적외선 흡수스펙트럼에서 1130cm⁻¹의 S-O의 스트레칭진동과 650cm⁻¹부근의 Al-O-Al의 스트레칭진동에 의해 적외선 흡수율이 높아 키르호프 법칙에 따라 높은 적외선 복사율을 보이고 있다.

그림 6은 양극산화막의 두께에 따라 3~20 μ m, 3



(a)



(b)

Fig. 5 IR emissivity of the anodic oxide films with different thickness on aluminum : (a) thickness 0 ~ 10 μ m, (b) thickness 15 ~ 30 μ m.

~8 μ m, 8 ~ 20 μ m 파장범위에서의 적외선 복사율에 대한 값의 변화를 나타내고 있다. 3 ~ 20 μ m의 전파장에서 무처리 시료는 0.20 정도였으며, 양극산화막이 30 μ m일때는 0.91까지 증가하였다. 3 ~ 8 μ m의 파장범위에서는 0.20에서 0.88까지 증가하여 적외선 복사율이 약 70% 정도 상승하였으며, 8 ~ 20 μ m의 적외선 파장범위에서는 무처리 시료는 0.22로 다른 파장영역과 비슷하지만, 5 ~ 30 μ m 두께의 양극산화막에서는 0.91 ~ 0.95 정도로서 두께에 따라 비슷한 값을 나타내고 있다. 이상의 결과로 8 μ m 이상의 적외선

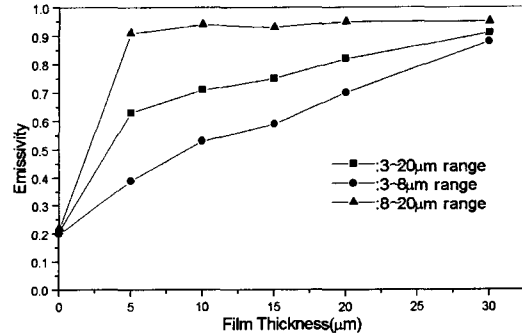


Fig. 6 Changes in ir emissivity of the anodic oxide film in different wavelength range.

파장영역에서는 5 μ m 두께 정도의 양극산화막 생성으로 적외선 복사율이 0.90 이상이 되는 것을 알 수가 있다. 이들의 결과를 표 2에 나타내고 있다.

양극산화막의 두께가 5 μ m일 때 4 ~ 20 μ m 파장영역에서의 적외선 반사율과 적외선 복사율의 상관관계를 그림 7에 보여주고 있다. 8 μ m 이하의 파장영역에서는 반사율이 높고 복사율이 떨어지는 것을 보이며, 8 μ m 이상의 파장영역에서는 반대로 반사율이 낮고 복사율이 상승한 것을 보여 복사파장과 반사파장이 키르호프 법칙⁸⁾에 잘 일치하고 있다.

알루미늄 양극산화막과 결정질 알루미늄의 적외선 복사율을 비교해서 그림 8에 나타내었다. 이 그림에서 양극산화에 의해 형성된 비정질 알루미늄의 적외선 복사율 곡선은 6 μ m 이하의 파장영역에서는 낮은 복사율을 나타내지만, 전파장의 적외선 복사율로 보아서는 결정질 알루미늄보다 적외선 복사율이 높은 것을 알 수 있다. 이때 결정질 알루미늄의 복사

Table 2 Emissivity of anodized aluminum surfaces.

Film Thickness (μ m)	Emissivity (3 ~ 20 μ m range)	Emissivity (3 ~ 8 μ m range)	Emissivity (8 ~ 20 μ m range)
Blackbody	1	1	1
Untreatment	0.21	0.20	0.22
5	0.63	0.39	0.91
10	0.71	0.53	0.94
15	0.75	0.59	0.93
20	0.82	0.70	0.95
30	0.91	0.88	0.95

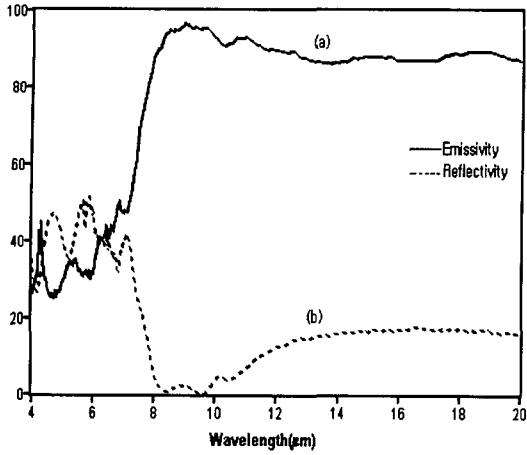


Fig. 7 Emissivity and reflectivity curves of the anodic oxide film with 5 μ m thickness.

율은 0.80이었다. 김¹⁶⁾에 의하면 베마이트를 여러 온도에서 열처리한 후 적외선 흡수스펙트럼을 측정 한 결과, 열처리 온도가 450 $^{\circ}$ C 이상일 때 3800~2400 cm^{-1} 에서의 OH 스트레칭 진동영역, 1300~1000 cm^{-1} 에서의 OH 밴딩 진동영역의 흡수밴드는 완전히 사라져 버리고 1000~400 cm^{-1} 에서 AlO_6 는 진동형태가 바뀌었으며 흡수강도도 약해졌다.¹⁶⁾ 이와 같이 비정질의 알루미늄에서 결정화 알루미늄으로 상전이 함에 따라 적외선 흡수밴드가 변하고 흡수강

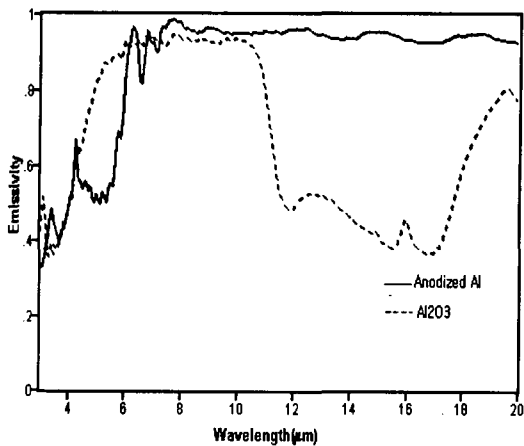


Fig. 8 IR emissivities of the anodized aluminum and alumina

도가 약해져 적외선 복사율 곡선에서도 복사율의 값이 낮아지고 형태도 변하였다.

그림 9는 플랑크의 복사법칙에 따른 적외선 복사 에너지 분포를 나타내고 있다. 여기서 흑체와 알루미늄의 양극산화막에 대한 적외선 복사에너지 분포는 식 (5)를 사용하여 3~20 μm 의 전파장에서 계산하였다. 흑체의 온도가 423K일 때 복사에너지의 최대 강도를 나타내는 파장은 빈법칙 (Wien's law)⁹⁾에 따라 5.5 μm 이고 이때 복사에너지 강도는 $5.03 \times 10^2 \text{ W/m}^2 \cdot \mu\text{m}$ 이다. 또한 3~20 μm 전파장 범위에서 흑체의

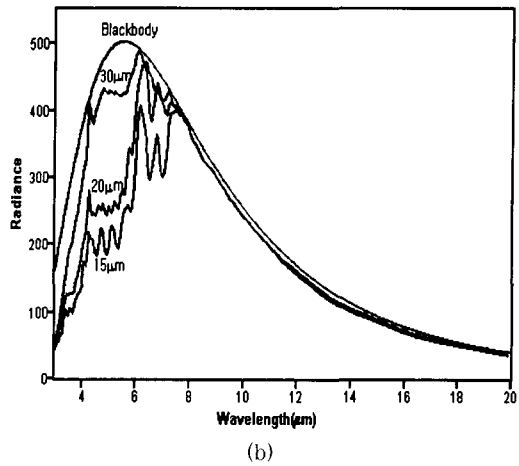
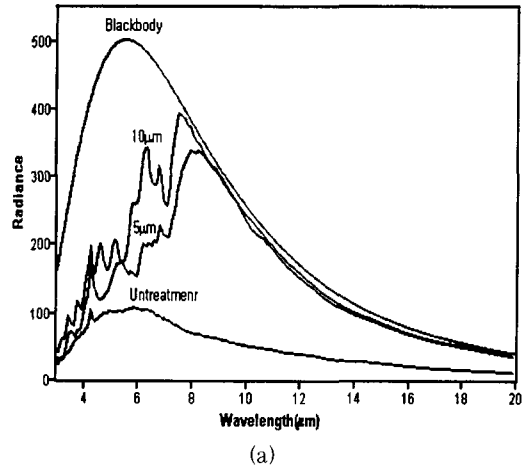


Fig. 9 Radiance curves of the anodic oxide films with different thickness on aluminum : (a) thickness 0~10 μm , (b) thickness 15~30 μm .

적외선 복사에너지 양은 $3.84 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ 이다. 이 그림에서 양극산화된 알루미늄의 적외선 복사에너지 분포도 양극산화막의 두께가 증가함에 따라 $8\mu\text{m}$ 이하의 장파장 영역에서 적외선 복사에너지가 상승하였다. 전파장의 적외선 복사에너지가 무처리 시료에서는 $8.02 \times 10^2 \text{ W/m}^2$ 이었고, $30\mu\text{m}$ 두께의 양극산화막에서는 $3.50 \times 10^3 \text{ W/m}^2$ 로 증가하였다. 따라서 양극산화막이 두께가 증가함에 따라 적외선 복사에너지 양이 많아지는 것을 알 수 있었다.

5. 결 론

황산전해액에서 알루미늄에 전해시간에 따라 양극산화막을 형성시키고 알루미늄 표면에 형성된 양극산화막에 대한 광학적인 특성을 알아보기 위해 적외선 흡수스펙트럼을 측정하여 결정구조에 따른 적외선 흡수, 반사 파장영역을 조사하고 적외선 복사특성을 연구한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 알루미늄의 양극산화막은 X-ray 분석결과 비정질로 나타났지만, 적외선 스펙트럼의 분석결과 베타 이트 구조로 확인되었다.

2) 알루미늄 양극산화막은 3500cm^{-1} 부근에서의 Al-OH의 스트레칭진동과 $1200 \sim 500\text{cm}^{-1}$ 사이 영역에서의 Al-O-Al의 스트레칭 진동에 의해 높은 적외선 흡수를 나타내고 있었다.

3) $3 \sim 8\mu\text{m}$ 파장의 적외선은 양극산화막의 적외선 투과로 인해 반사율이 높았지만, $8\mu\text{m}$ 이상의 장파장에서는 양극산화막의 두께에 관계없이 높은 흡수율로 인해 큰 변화가 없었다.

4) 표면 결정구조에 따라 적외선 흡수율이 높은 파장에서 적외선 복사율이 높아 키르호프 법칙에 잘 일치하였으며, 양극산화막의 두께에 따라 0.2에서 0.91까지 증가하였다.

5) $5\mu\text{m}$, $10\mu\text{m}$ 두께의 양극산화막일 때 장파장의 적외선 영역에서 높은 복사율을 나타내고 단파장에

서는 높은 반사율을 나타내어 우주선 표면에서의 광학적 특성을 충족시켰다.

참고문헌

1. J.H. Weaver : Plating, March (1969) 271.
2. R.M. Leedy : Product Engineering, Oct. (1954) 174.
3. D.A. Jaworske : Thin Solid Films., 290-291 (1996) 278-282.
4. A.C. Burr and R.H. Hay : Canadian Journal of Research., 28 (1950) 281.
5. S. Kohara and Y. Nimi : Materials Science Forum., 217-222 (1996) 1623.
6. H. Mehling and J. Kuhn : High Temperature-High Pressures., 30 (1998) 333-341.
7. T.G. Kollie and T.D. Radcliff : J. Heat Transfer., 113 (1991) 185.
8. 정태영, 박복춘, 박형구, 부준홍 : 열전달, 교보문고, 서울 (1999) 732.
9. T. Toshiro : 금속표면처리, 13 (1) (1980) 16.
10. J.J. Fripiat and C.F. Van : J. Phys. Chem., 69 (1965) 2458-2461.
11. M. Handke and W. Wyrwa : Mater. Chem., 5 (1980) 199-212.
12. G.A. Dorsey : J. Electrochem. Soc., 117 (1970) 1278.
13. R.C. Spooner : Proc. Amer. Electroplat. Soc., 44 (1957) 132-142.
14. D.A. Kouichi, E.G. Yohinobu and S.A. Hisao : 實用遠赤外線, 人間の歴史社, 東京 (1999) 192.
15. S. Norifumi : 東京都立工業技術センター-研究報告 第18號 (1988) 33.
16. 김종택, 김명철, 남우현 : 화학공학, 25 (3) (1987) 229.

2002-22

accepted days : 2002. 5.22.

received days : 2002. 7.2.