

1. 서론

최근 여러 분야에서 원적외선(遠赤外線) 방사(放射)재료의 효과에 대해서 관심이 높아지고 있다. 그러나 점점 다양화 되어가고 있는 방사 재료의 응용 제품, 제조 및 사용조건 등에 대해서 방사 특성이나 방사(放射) 효율에 대한 평가 기술이 현재로서는 충분히 대응되지 못하고 있는 실정이다. 특히 방사(放射) 특성은 피사체의 흡수(吸收)특성과의 관계도 포함하여 방사(放射)재료의 효율을 평가해야 하기 때문에 재료혼합(材料混合), 제품성형(製品成形)을 하는데 있어서도 아주 유용한 정보를 제공해 주고 있다. 그러나 측정 데이터의 신뢰성, 해석의 타당성에 관한 공통적인 확인이나 이해가 없이 분광(分光) 방사율 스펙트럼 데이터만 독보해 사용자 사이에서 혼란이 일어나는 경우도 배제를 할 수가 없다. 원적외선 측정에 있어서 어려운 점은 광원의 방사 에너지가 약하고, 측정시 수증기를 제거해야하는 문제점이 생기므로 원적외선 분광 광도계의 개발 발전이 늦었다. 따라서 방사(放射)스펙트럼 측정에 관해서 데이터의 신뢰성을 의문시하는 견해도 일부 있었으나, 현재는 FT-IR이나 고감도(高感度)의 검출기(檢出器)를 이용한 측정장치의 보급이 진행되어 상온 부근의 측정

및 저온 상태에서의 측정도 어느 정도 가능하게 되었다. 또한 적외선(赤外線) 분광계 본체뿐만 아니라 방사(放射) 광(光) 도입부의 구성이나 데이터 처리 방법에 있어서도 여러 방식이 채용되기에 이르렀다. 이러한 측정방법, 측정 조건의 다양화는 적외선 스펙트럼 취급에 있어 혼란을 조장할 염려도 있기 때문에, 조기에 공통의 지표로 평가가 이루어 질 수 있는 가이드라인을 설정하는 것이 바람직하다고 본다. 본고에서는 이들을 근거로 하여 방사(放射) 스펙트럼의 특성과 응용에 대해서 살펴보기로 한다.

2. 원적외선(遠赤外線) 기초(基礎) 이론

2.1 원적외선(遠赤外線)이란

1800년에 허셀(F.W.Herschel)이 가시스펙트럼의 끝에서 장파장 측에 열효과가 큰 부분이 있다는 것을 발견을 하고, 1835년에 앙페르(A.Ampere)는 이것이 가시광선과 같은 종류의 광파라는 것을 가르켜 오늘날의 적외선에 관한 기초를 구축하였다. 적외선 영역을 CIE 국제 조명집에 따르면 $0.78[\mu\text{m}] \sim 1.4[\mu\text{m}]$ 영역을 근적외선, $1.4[\mu\text{m}] \sim 3[\mu\text{m}]$ 영역을 중적외선, $3[\mu\text{m}] \sim 1,000[\mu\text{m}]$ 영역을 원적외선이라고 일반적으로 분류를 하고 있다. 이적외선은 전기적 성분과 자기적

성분으로 구성이 되어있으며, 같은 속도와 파장을 갖는 전자기 복사선이다.

복사(輻射) 또는 방사(放射)의 에너지의 한 형태인 이 전자기 복사선(輻射線)은 전기적인 성분과 자기적인 성분으로 이루어진 전자파(電磁波)의 집단 또는 다발의 한 흐름으로 생각할 수 있다. 가가 집단은 개개의 입자(粒子) 또는 광양자(光量子)로 행동하며 또한 광양자(光量子)는 파동(波動)으로 기술할 수 있는 양면성을 가지고 있다. 이들 모든 파동(波動)은 동일한 속도(速度) 즉, 광속도(光速度) C로서 공간을 전파하고 있다. 파동(波動)은 파장(波長) λ , 진동수(振動數) ν 또는 주파수(周波數) ν 의 3 가지 종류의 단위를 써서 그가 지닌 에너지를 정의하고 있으며, 전파방향, 파장(波長), 편위(Polarization)에 의해서 그 특성을 나타내게 된다. 광양자가 가지는 에너지를 표시하는 3가지 단위 사이에는 다음의 관계가 성립되고 있다.

$$c = \lambda \nu$$

$$E = h\nu = h \cdot \frac{c}{\lambda}$$

h : 플랑크 상수(6.63×10^{-34} J·s)

ν : 진동수

c : 빛의속도(2.997×10^8 m/s)

λ : 파장

상기 식에서 파장이 길면 에너지가 작아지는 것을 알 수가 있다. 또한 방사 에너지는 방사선(放射線) 광속(光速)의 전체 에너지의 각 광양자들의 에너지를 합한 것과 같다. 광양자는 다 같지는 않으며 각각의 파동(波動)으로서의 성질에 따라서 구별되며, 그 에너지 E는 진동수(振動數) 비례한다는 것을 알 수가 있다. 적외선 방사는 분자의 진동(振動)을 촉진하는 적외선 흡수와 밀접한 관계가 있다. 진동의 파수는 분자(分子)를 구성하는 원자(原子)의 질량(質量)과 이것을 결합을 시키는 결합력에 의해서 정해진다. 적외

선을 흡수하여 신축진동을 일으킬 때 주파수(周波數)와의 관계를 후크의 법칙(Hooks law)에 따라 다음과 같이 표현을 할 수가 있다.

$$\nu = \frac{1}{2\pi C} \sqrt{\frac{K}{\mu}}$$

μ : 환산질량($\mu = \frac{m_1 \times m_2}{m_1 + m_2}$)

k : 두 원자간의 힘의 상수(force constant, dyne/cm)

상기 식에서 μ 는 클수록 k 는 작을수록 진동수(振動數)는 작아지는 것을 알 수가 있다. 이와 같이 물질에 적외선을 조사시키면, 어떤 파장을 흡수 하는가 또 가지고 있는 에너지를 어떠한 파장으로 방사하는 것을 원자간의 진동으로 설명을 할 수가 있다. 적외선을 흡수하는 세기, 방사하는 세기는 진동의 진폭 크기와 흡수, 방사 밀도(密度)의 크기에 의존하게 된다는 것을 알 수가 있다.

2.2 물체의 방사(放射)와 방사율

흑체(黑體)란 조사된 전자파를 100% 흡수하는 물질 또는 물질의 표면을 이상적(理想的)으로 설정한 가상의 물체(物體)이다. 실제로 흑체(黑體)에 매우 가까운 물체를 만든다해도 실존의 물체에서는 흑체(黑體)와는 차이가 있게 된다. 물체로부터 방출되는 열복사(熱輻射)를 정량적으로 표현하기 위해서는 복사에 관계되는 각 종량을 사용해도 되겠지만, 열복사(熱輻射)에 관해서는 흑체복사(黑體輻射)를 기준으로 해서 그에 대한 상대적인 값으로 양을 표현하는 것이 편리하기 때문에 이에 대한 방사율이 널리 쓰이고 있다.

2.3 적외선(赤外線)과 열에너지의 이동

물체의 온도는 이 물질이 놓여있는 주위의 환경온도(環境溫度)와 같아지는 방향으로 상승 또는 하강한다. 따라서 물체와 주위환경(周圍環境) 사이에는 항상 열에너지의 출입이 계속 되어 물체는 에너지를 흡수 또는 방출하여 주위의 온도와 같아 지고자 한

다. 이렇게 되어 물체는 열 평형에 이르게 된다. 따라서 모든 물체는 주위보다 온도가 높은 동안은 열 에너지를 방출하게 되고, 반대로 낮은 상태에서는 열 에너지의 흡수체(吸收體)로 작용을 하게 된다.

물체가 에너지의 방사체(放射體)로 작용을 하게 되느냐 또는 흡수체(吸收體)로 작용을 하느냐를 결정하는 것은 오로지 물체와 주위온도 상황에 달려있다.

물체에 있어서 에너지의 방출 또는 흡수는 다음 3가지 즉 전도(傳導), 대류(對流) 및 방사(放射)중의 한가지 이상의 과정을 통해서 일어난다. 전도와 대류는 접촉되는 매체를 통해서 일어나는 에너지의 이동인데 반해서, 방사능은 매체와 관계없이 방사원(放射原)으로부터 방사되는 에너지를 물체(피사체)가 받을 때 피사체를 구성하고 있는 물질의 성질에 따라서 에너지가 선택적으로 흡수되는 상태이다. 적외선(赤外線)은 전자파(電磁波) 중에서 일정한 진동수(振動數)를 가진 부분이며 원자(原子)의 진동(振動) 및 분자(分子)의 회전에너지가 이 영역에 속한다. 적외선(赤外線)은 자외선(紫外線) 및 가시광선(可視光線)과 마찬가지로 광선(光線) 진로에서, 그 과정 영역에 해당하는 흡수 물질이 있을 때는 흡수되면서 그 진행이 차단된다. 물체의 온도가 주위와 같아질 때까지 계속된다. 이때 물체는 방사에 의해서 뿐만 아니라 전도, 대류 등을 통해서 그 일부의 에너지를 잃게 된다. 적외선은 다른 광선과 마찬가지로 전파방향, 파장, 편위에 의해서 그 특성을 나타나게 된다. 적외선을 정량적으로 규정하는데 사용되는 양으로는 방사광속(Velocity), 방사광도(Intensity), 방사휘도(Luminosity), 방사율(Emissivity), 방사에너지(Energy) 등이 있다.

3. 원적외선 방사측정

3.1 FT-IR장치 구성과 측정법

FT-IR장치는 광학계와 데이터 처리 및 광학계 제어 위해 컴퓨터 시스템에 의해 구성되어 있다. 광

학계는 광원, 간섭계, 검지기 및 시료실 4개로 구성되어 있고 시료실은 광원에서 검지기 사이에 설치되어 있다.

그림3에 시판되고 있는 FT-IR장치(Bio Digital FTS -40)의 구성과 인터페로그램 구성도를 나타내었다.

광원에서의 빛은 입사구멍을 통해 간섭계로 들어온다. 빛은 간섭계에 의해 빛의 파수에 비례해서 주파수로 변조된 후 시료실을 통과해서 검지기에 도달한다. 검지기에서는 간섭계에 의해서 변조된 결과를 검지한 후 변환기에서 데이터화하여 컴퓨터에 보내지게 된다.

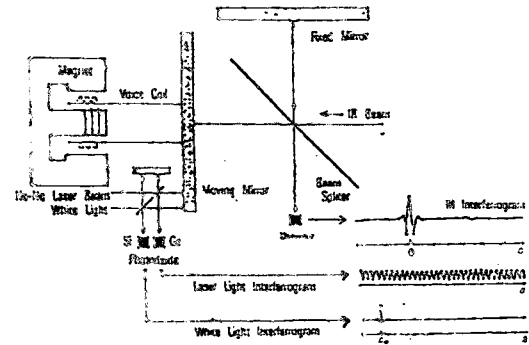


그림1. FT-IR 분광계의 구성과 interferogram

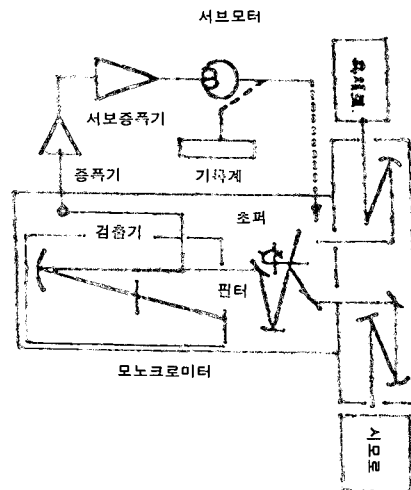


그림 2. 고속형 적외분광계를 이용한 분광방사율 측정장치

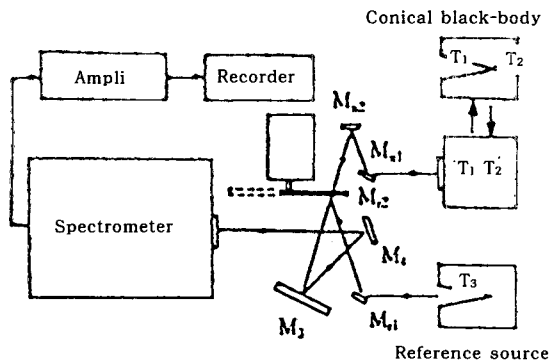


그림 3. 저온기준 방사율을 이용한 분광방사휘도 측정장치

특히 FT-IR에 있는 입사구멍은 간섭계에 들어오는 빛의 입사각도(비평행성)을 제어하는 역할을 담당한다. 분산형 분광기의 경우에서 분산소자에 분산된 빛을 공간적으로 분리하기 위한 것은 아니다. FT-IR은 분산형 분광기에 비해서 우수한 여러 가지 특성을 가지고 있다. 그 특징을 살펴보면

(1) 고감도이다.

이와 같은 특징을 2가지로 살펴보면 하나는 입사구멍이 분산형에 비해서 대단히 크다. 즉, 큰 에너지를 이용할 수 있다. 다른 하나는 전파장 영역을 동시에 검지할 수 있다. 다른 하나는 전파장 영역을 동시에 검지할 수 있다. 분산형의 경우에는 빛을 분산시켜도 어느 시간에는 파장의 일부밖에 검지기에 도달하지 않는 단점이 있다.

(2) 짧은 시간에 측정을 행할 수 있다.

(3) 고분해능의 스펙트럼이 얻어진다.

(4) 투과, 반사 이외에 적외선 방사스펙트럼 측정이 가능하다.

(5) 컴퓨터가 연결되어 있어 각종 데이터 처리가 가능하다.

(6) 측정되는 파장영역이 광범위하여 데이터의 확대, 축소가 가능하다.

3.2. 원적외선 방사 측정

3.2.1 직접방사 측정법

적외분광계에 의해 직접적으로 분광방사율을 측정

할 경우에는 방사광 도입부의 장치적인 제약이나 흑체조건증시 등에서 분리흑체법이 이용되는 경우가 많다. 기본적으로는 같은 온도로 유지한 시료와 참조흑체의 방사광강도를 측정하기 때문에 Ratio법으로 불리워지고 있는데 분광기의 방사광 수용방법의 차이에 따라 몇가지로 분류된다.

(1) 단광속형 적외분광계에 의한 방사 스펙트럼 측정 단광속(single beam)형은 가장 기본적인 측정방식으로 하나의 방사원으로부터 외형상의 에너지분포밖에 측정할 수 없으므로 분광방사율을 구하는데는 시료 및 흑체의 파워스펙트럼을 각각 측정한 후 그 비를 계산할 필요가 있다. 따라서 분산형 분광기로는 측정에 시간이 걸리고 그 사이의 방사원에서의 방사광 강도나 검출기의 감도 등의 변화에 의해 정확한 측정을 행하기는 어려울 것으로 생각된다.

McMabon은 프리즘형의 단광속형 분광기에 의해 유리의 방사율을 측정하고 있는데 투과성이 있는 시료의 측정 때문에 흑체로 속에 시료를 설치하여 샘플링방법을 고안하고 있다.

또한 근래 보급이 두드러진 간섭계를 이용한 FT-IR도 거의가 이 측광방식을 채용하고 있는데 단 시간에 고감도 측정을 할 수 있어 정확한 측정이 가능하고 연산기능에 따라 분광방사율의 계산도 용이하다. FT-IR에 의한 방사스펙트럼(적외발광 스펙트럼) 측정에 관해서는 Low나 Griffith에 의해 선구적인 연구가 이루어지고 그 뒤에도 많은 보고가 있지만 박막시료의 고감도 측정 등 정성적인 해석에 이용되는 예가 많다. 실제로 정확도 높은 측정을 하기 위해서는 여러 가지 인자를 고려할 필요가 있다.

(2) 복광속형 적외분광계에 의한 방사 스펙트럼 측정 복광속(double beam)형은 시료광속측과 참조광속측에서의 방사광을 섹터에 의해 상호 분광기에 수용한다.

회절격자형 적외분광계의 설치한 빛 모양의 감광기를 움직이는 광학적 영위법(optical-null system)을 채용하고 있어, 감광기와 기록계의 펜 움직임을 연동

시킴에 따라 직접방사율 스펙트럼이 얻어진다. 이 경우에는 같은 파수에 있어 시료측과 흑체측의 방사광 수용이 거의 동시에 이루어지기 때문에 단광속형과 같은 측정시간의 차이에 따른 영향은 해소되지만 측정감도면에서 저온역 측정은 어렵다.

이 방식에 의한 분광 방사율 곡선의 측정에 관해서는 高嶋이 상세한 보고를 하고 있으며 그 장치구성을 그림 4에 나타내었다. 측정온도는 500°C가 기준이며 시료는 가열로의 단면에 설치되어 있다.

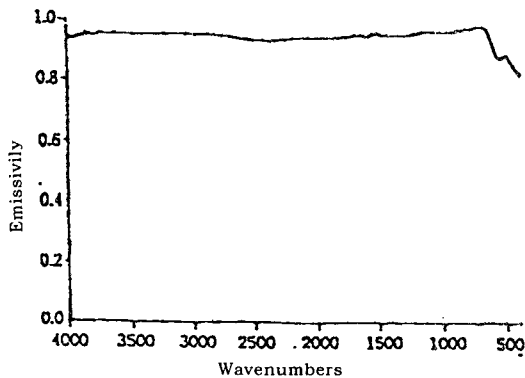


그림 4. 표준시료의 원적외선 방사특성(500°C)

牧野内 팀은 금속표면 박막의 적외발광 스펙트럼을 측정하고 있는데 방사율 측정이 목적이 아니기 때문에 분광계의 표준광원을 감광하여 참조광으로 하고 있다. 川口 역시 적외분광계의 표준광원을 참조광으로 하고 있으나 시료 및 표준흑체에 대해 똑같이 측정을 하고 그 비로 분광방사율을 구하고 있다. 또한 시료는 가열로내에 설치하고 있다.

복광속형 분광기에 빗모양 감광기를 이용하지 않으면(완전히 열린상태로 한다.)

참조광속과 시료광속의 파워스펙트럼의 비교 스펙트럼이 얻어진다. 松井 팀은 이 방법에 의해 저온의 기준방사원을 대조하여 시료 및 흑체의 방사스펙트럼 측정을 2 수준의 온도로 하고 실온 부근의 고체 분광방사율을 측정하고 있다. 그림 3에 그 측정장치의 구성을 나타낸다.

이 예에서는 기준방사원으로서 0°C의 콘형 흑체를

사용하고 있는데 액체질소를 방사원으로 하는 방법도 있다. 또한 섹터를 기준방사원으로 할 수도 있는데 이 경우는 오히려 단광속형에 가까운 구성이 된다.

尾谷은 분광필터를 사용한 리모트 센싱형의 방사 측정장치에 의해 방사특성의 평가를 하고 있지만 원리적으로는 이와 유사한 구성이라고 할 수 있다.

복광속형에는 이 밖에 감광기를 이용하지 않은 전기적직접비 방식(ratio-recording system)이라 불리는 측광법이 있다. 이 방식은 시료광속과 참조광속을 상호 섹터를 기준방사원으로 하여 측정하고, 얻어진 각각의 파워 스펙트럼을 전기적으로 나눈셈한다. 따라서 광학적 영위법과 같이 측정시간차의 영향이 해소됨과 동시에 FT-IR로 까지는 할 수 있는데, 컴퓨터에 의한 데이터처리 기능을 부가할 수 있고 적산에 의한 감도 향상의 잇점도 있다. 이 방식을 채용하고 있는 적외분광계는 종류가 한정돼 있으나 Bilien이나 Derkosch 팀이 방사스펙트럼 측정에 관해 검토를 진행하고 있다.

(3) 반사법에 의한 간접적인 방사율 측정

반사법에 의한 간접적인 분광방사율 측정에 관해서는 사용하고 있는 방사율 측정장치가 매우 특수한 것이어서 현시점에서는 실제로 이러한 측정이 가능한 기관은 극히 제한되어 있는 것으로 판단된다. 일반 기관에도 도입이 가능한 보급형 장치의 개발이 요망되지만 당분간은 비교적 손에 넣기 쉬운 분광계를 이용한 직접 측정법의 검토수단으로 이용될 것으로 기대된다. 또한 각종 성질의 시료에 대해 실제로 어느 정도까지 정량적으로 방사율스펙트럼과 반사율 스펙트럼의 대응관계가 얻어질 것인지의 확인도 필요하다.

4. 원적외선 방사재료의 효능평가

절대온도(-273°C) 이상의 온도를 가진 물체에서는 적외선이 방사되고 있고 물질에 있어 물체의 표면온도가 동일하여도 방사특성이 각각 다르게 된다. 원적

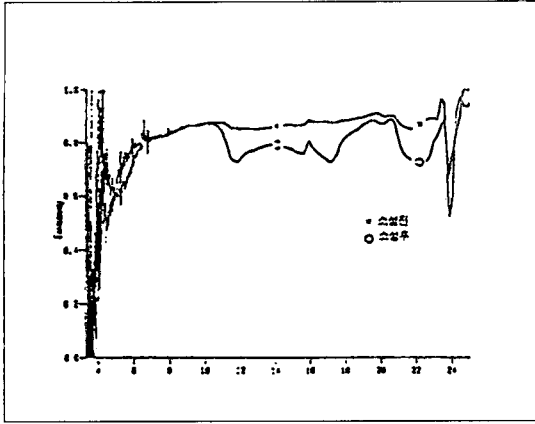


그림 5. 산화알루미나 소성전, 후의 원적외선 방사특성

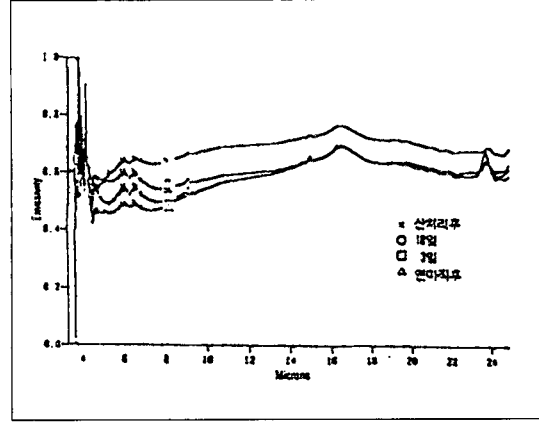


그림 6. 철판소지의 표면상태에 따른 원적외선 방사특성

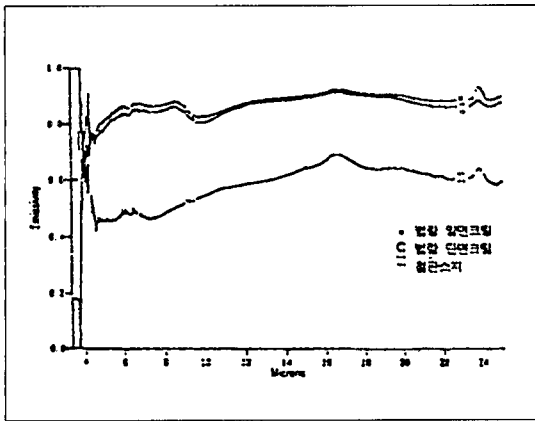


그림 7. 철판소지에 세라믹 한면 코팅 및 양면 코팅의 원적외선 방사특성

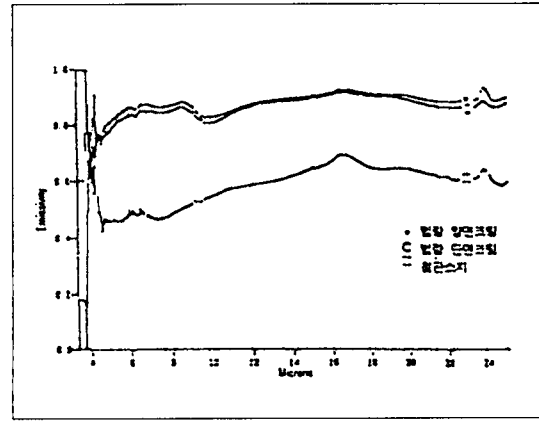


그림 8. 세라믹 혼입 함유량별 원적외선 방사특성

외선 방사재료로서 세라믹스를 사용하는 경우 각각의 특성을 가지고 있다. 세라믹스 재료에 있어서는 장파장 영역에의 방사율이 높은 것이 많지만 개개의 재료에 대해서도 파장특성은 달라서 재료선택에 주의할 필요가 있다.

이와 같이 세라믹 분체, 소결체의 원적외선 방사특성을 안다는 것은 보다 효율 좋은 방사체를 제조하기 위한 중요한 자료가 된다.

그림 5~10는 산화알루미나의 소성전과 1800°C 소성후, 철판소지의 표면상태에 따른 방사특성, 철판소지에 세라믹을 한면 코팅한 것과 양면 코팅과의 차

이점, 세라믹 혼입 함유량 함유 및 플라스틱제품, 그리고 플라스틱 위에 세라믹코팅 등 여러 분야에서 현재 응용되고 있는 제품을 대상으로 원적외선 방사특성을 확인하여 보았다.

특히, 금속소지의 표면상태에 따른 방사특성 변화 확인에 있어서는 시간이 경과할수록, 즉 표면에 산화가 진행될수록 방사특성이 약간씩 상승되는 것을 확인할 수 있고 금속표면에 산처리하여 방치한 것은 더욱 방사율이 향상되는 것을 알 수 있다.

일반적으로 금속표면과 같이 매끈하고 광택이 나는 쪽보다 거칠고, 무광택을 나타내며 산화물이 존

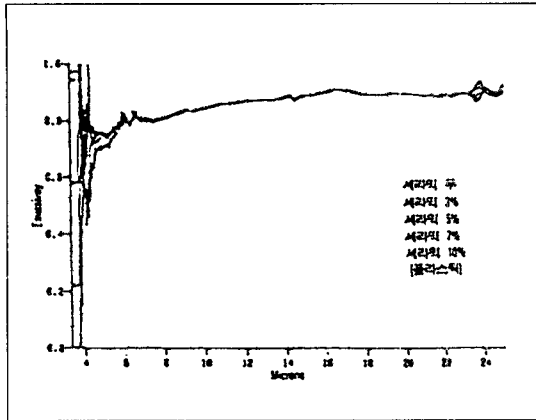


그림 9. 세라믹 혼입 함유량별 원적외선 방사특성

재하는 쪽에 방사율이 좋은 것을 보여주는 결과라 할 수 있다.

또한 철판소지에 세라믹을 한면 코팅한 것과 양면 코팅한 것의 원적외선 방사특성에서는 양면 코팅쪽이 방사율이 약간 상승하는 경향을 보이고 있으며 이와 같은 결과로 미루어 목적·용도에 따라 각종 가공상태를 개선할 필요가 있다고 생각된다.

그러나, 세라믹 코팅 두께에 따른 방사율에서는 거의 변화가 일어나지 않고 있는 것을 확인할 수 있다.

한편, 섬유 및 플라스틱의 응용제품에 있어서는 세라믹의 혼입방법에 따라 결과가 다르게 나오고 있는데 플라스틱 resin에 세라믹을 적량 혼합하여 사출 제품한 경우에는 방사특성에 있어서는 거의 적외선 방사율이 변화가 없음을 보여주고 있으며 섬유제품의 도포처리 방법에 있어서는 같은 결과를 보이고 있는데 실제 측정에 있어서 투과성이 있는 시료나 섬유와 같이 결합과정에 공간이 있는 시료에 대해서는 세심한 주의가 필요하다. 그림 8과 같이 플라스틱 표면에 같은 함량의 세라믹을 도포하였을 경우에는 함량이 증가할수록 방사특성이 점차 향상되는 것이 확인되었다.

FT-IR을 이용하여 원적외선 방사특성을 평가하기 위해서는 분광방사율 뿐만 아니라 방사에너지, 분포

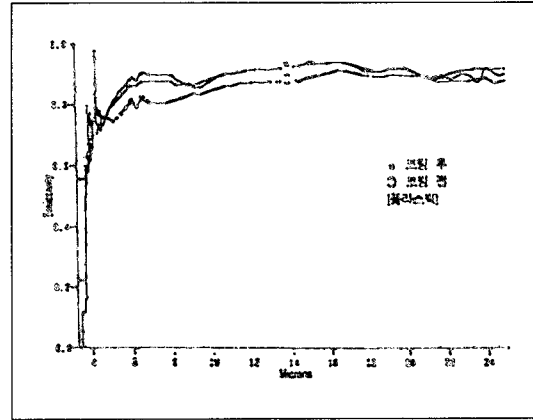


그림 10. 플라스틱 위에 세라믹 코팅한 원적외선 방사특성

곡선 혹은 적분방사율에 의한 정상적인 효율평가를 병용하는 것이 바람직하며 표시단위의 차이에 의한 외관상의 스펙트럼 패턴 차이에도 주의할 필요가 있다. 분광방사율을 정확히 구하기 위해서는 측정원리, 계산에 있어서의 전제조건, 오차요인 등을 잘 이해해둘 필요가 있다. 특히 저온측정에 있어서 주위환경으로부터의 방사영향에 관해서는 개개의 장치구성이나 측정시스템에 따라 정도가 다르기 때문에 그 보정의 필요성에 관해서 확인해 두는 것이 바람직하다.

저온역에 있어서의 방사스펙트럼 측정에 관해서는 더욱 정상적인 정밀도, 정확도의 검사가 필요하다고 판단된다. 또 고온측정에 있어서는 온도제어 온도측정방법에 보다 획기적인 연구가 필요하다고 생각된다.

측정대상이 다양화하는 가운데서 측정자와 의뢰자 혹은 데이터의 이용자는 그 목적을 잘 확인하고 나서 적절한 시료형태, 측정방법을 선정하고 또 얻어진 데이터의 적절한 해석, 평가를 하는 것이 바람직하다. 측정데이터의 신뢰성을 효율적으로 향상시키기 위해서는 개개의 장치, 측정시스템에 관해서 특징, 성능을 잘 이해하여 두는 것이 필요하다고 생각되며 측정방법의 표준화를 도모하거나 가이드라인 설정 방향에서 검사가 이루어지는 것이 요망된다.

참 고 문 헌

- (1) 정해상, 1997, 기초 원적외선 공학, 검지사.
- (2) 지철근, 2000, 원적외선의 특성과 응용, 한국 원적외선 협회.
- (3) 오오모리 도요아기, 1997, 적외선 기술의 기초와 그 응용, 월간 전기, 10월호, p.22~34.
- (4) 이모토 다게시, 야미노 데쓰시, 1997, 산업 `분야에서의 적외선 이용의 현상과 전망, 월간 전기, 10월호, p.42~47.
- (5) 田隅三生, 1992, FT-IRの基礎 と 實際, 東京化學同人, p.147~154.
- (6) 최태섭, 2000, 원적외선 자료집, 한국 원적외선 협회.

◇ 著 者 紹 介 ◇



김진목

1983. 2 서울산업대학교 학사졸업.
1987. 2 단국대학교 화학과 석사졸업.
1998. 8 광운대학교 박사졸업.
1999. 1~현재 동해산업 기술이사.