

## 내열성 세라믹스 재료의 분광복사특성 Spectral Radiative Characteristics of Heat Resisting Ceramics Materials

상 희 선\*  
Sang-Hie Sun\*

< Abstract >

A spectral measurement system for reflection and transmission properties by using an optical fiber and an ellipsoidal mirror was newly developed. The hemispherical reflectance and transmittance spectra of several heating resisting ceramics materials were measured from visible to middle infrared region. The directional characteristics of reflection and transmission were also investigated in consideration of the absorptance. The measured data were analyzed by using a four flux model of radiation transfer. The radiation properties could be estimated by the obtained scattering and absorption coefficient spectra.

*Key Words* : Heat resisting Ceramics Material, Radiative Properties, Reflection Properties, Transmission Properties.

### 1. 서 론

내열성 세라믹스 재료의 열복사 물성을 구하는 것은 전열 및 단열 등을 목적으로 한 열설계, 열제어를 수행하는데 필요하게 된다. 특히 우주선 재료 등은 복사가 지배적인 물질의 열복사특성과 지구환경의 온난화의 해석을 비롯한 항공재료 등을 포함한 환경구성재료의 열복사특성을 규명하여 설계에 응용하는 데에 아주 중요하다<sup>1~2)</sup>.

일반적으로, 물질의 복사특성은 물질의 종류나 표면상태, 내부구조에 따라서 매우 다르다. 같은 물질이라도 복사특성은 복사를 입사할 때의 조건에 의해서 달라진다. 예로써 물질의 복사특성은 입사에너지에 대한 반사·투과에너지의 비율, 파장 의존성 및 각도 의존성을 들 수가 있다. 가시광은 인간의 눈으

로 확인할 수 있기 때문에 물질 표면에서의 복사특성에 대한 물성은 쉽게 얻을 수 있으나 적외광은 인간의 눈으로 인식할 수 없기 때문에 그 복사특성을 판단하는 것은 불가능하다. 그러나 인간의 감각으로 알 수 없는 복사특성은 물리적으로 정의 되어있는 반사율·투과율을 측정함에 의해 명확하게 구할 수 있다<sup>3~4)</sup>.

본 연구에서 개발된 측정장치에는 광로 중에 조임장치를 설치하고 있기 때문에 반사각·투과각의 각도 특성도 측정할 수 있으며 시료에 광을 입사하는 수단으로서 광 화이버를 이용하기 때문에 광 화이버를 이동시키는 것만으로도 반사율과 투과율의 측정을 바꿀 수 있다. 이들의 장치를 이용하여 고온 환경하에서 사용되는 세라믹스를 반사율과 투과율을 측정하여 열복사를 지배하는 물성계수를 산출하였다.

\* 정희원, 경일대학교 안전공학과 교수, 工博  
E-mail : hssang@bear.kyungil.ac.kr  
경북 경산시 하양읍 부호리 33번지, 053-850-7341

Professor, Dept. of Safety Engineering, Kyungil University, ph.D

(이 논문은 2000학년도 경일대학교 연구비 지원에 의한 것임)



## 2. 측정장치 및 측정법

Fig. 1에는 지향입사-반구반사율·투과율스펙트럼 측정장치의 개요를 나타낸다. 광원에는 발광부 1×3mm의 광원램프(50W, 12V)를 사용하여, 회전타원체면경(장축44.3mm, 단축 29.2mm, 초점거리 11.0mm, 내경  $\phi$ 58.5mm, 알루미늄 증착면경)의 제 1 초점에 할로겐 램프를 설치한다. 이 회전타원체면경에서 반사된 광을 회전타원체면경의 제 2 초점에 설치한 렌즈(외경  $\phi$ 20mm, 초점거리 19.7mm)를 이용하여 평행광속에 가깝게 한다.

그리고 광학초파(주파수6.2Hz)를 통과하여 단속광으로 한 후, 평렌즈(외경  $\phi$ 40mm, 초점거리 50mm)로 집광하여, 광학필터와 회절격자분광기(고리미터초점거리 100mm, 역분산[파장순도] $\pm 7\text{nm/mm}$ ,  $\pm 14\text{nm/mm}$ )로 단색광으로 변환 한다. 분광기 출구 슬릿의 폭은 3mm로 하였다.

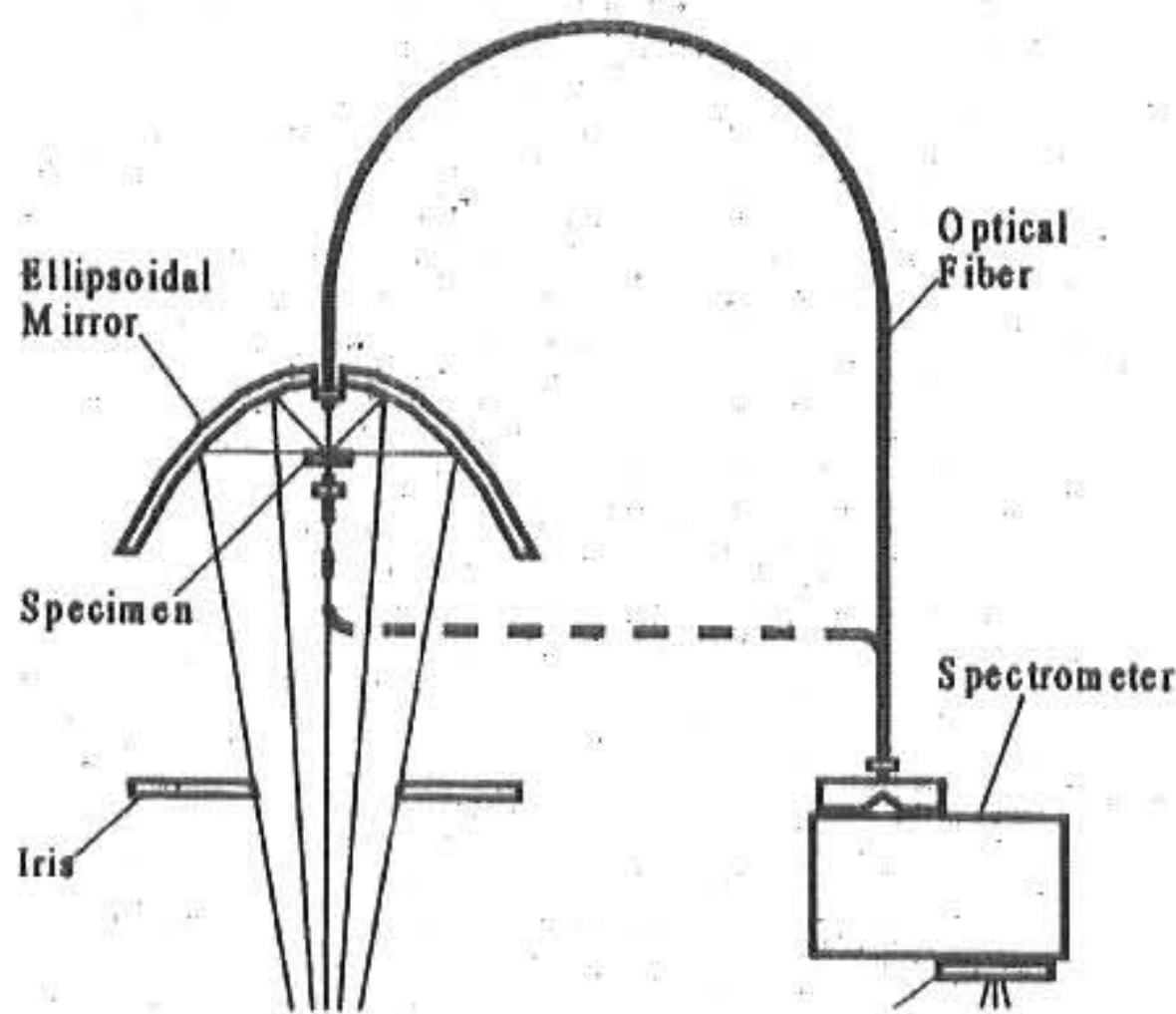


Fig.1 Reflectance and Transmittance measurement apparatus

배경광의 영향은 로크인 앰프를 사용함에 따라 제거할 수 있다. 또 광학필터를 사용함으로써 고차의 회절광 혼입을 방지한다. 회절격자분광기에서 나온 단색광은 셀포크마이크로렌즈부광화이버(화이버 : 코아경  $\phi$ 200 $\mu\text{m}$ , 그랫드경  $\phi$ 250 $\mu\text{m}$ , 길이2m, 다성분계유리화이버, 렌즈:직경  $\phi$ 1.8mm, 길이 4.634mm, 일본板硝子주식회사제공)를 통하여 실험대(홀더직경  $\phi$ 14mm)중에 설치한 시료에 지향 입사된다. 광화이버는 반사측정일 때는 그림중의 실선위치에, 투과측정일 때는 점선 위치에 설치된다.

회전타원체면경(장축239.5mm, 단축 132.6mm, 초점거리 40.1mm, 438.8mm, 구경  $\phi$ 206.1mm, 알루미늄증착면경)제 1 초점에 설치한 시료에서 반사 또는 투과한

광은 회전타원체면경으로 반사한 후, 제 2 초점에 집광되어 설치한 검지기에 의해 검지 된다. 시료홀더는 y축 스테이지 위에 설치하고 그 스테이지에 의해 입사방향에 대한 시료의 위치와 회전타원체 면경의 제 1 초점의 위치를 미조정 한다.

또한 검지기는 xyz축스테이지위체 설치하고 검지기를 그 출력이 최대가 되는 포인트에 설정하여 측정을 한다. 검지기에는 측정과장범위에 맞는 실리콘화트다이오드(수광부10mm×10mm), 또는 게르마늄화트다이오드(수광부 직경  $\phi$ 10mm)를 사용한다. 검지기에서 전류 출력은 전압변환 한 후, 로크인업에 의해 位相검파 증폭되어 디지털 멀티미터에 출력된다. 디지털 멀티미터에서 출력이 정상상태로 된 후 전압치를 기록한다.

회전 타원체면경은 1/2구면의 범위를 차지하고 있기 때문에 천정각  $\theta=0\sim 90$ 도, 방위각  $\psi=0\sim 360$ 도의 반구반사광을 얻을 수 있다. 경면 방향의 반사광, 투과광이 시료홀더에 의해서 차폐되는 것과 회전타원체면경의 중심구멍(직경  $\phi$ 20mm)에서 나가는 것을 방지하기 위해 시료홀더를 수직에서 15도 기울게 한다. 광로 중의 조절은 시료를 반사 또는 투과한 광의 천정각 각도특성을 측정하기 위해 크기를 변화시켜서 사용한다. 시료홀더를 회전시켜서 시료에 대한 광의 입사 천정각을 0도에서 45도 정도까지 변화시킬 수 있기 때문에 시료의 입사 천정각 의존성을 측정할 수 있다.

## 3. 측정방법

### 3.1 지향입사-반구반사율

지향입사-반구반사율의 측정에 있어서는 먼저 시료홀더에 알루미늄 증착평면경을 설치하여 그 경면 반사광의 에너지를 측정한 검지기 출력을  $E_m$ 이라 한다. 시료홀더에 시료를 놓고 반사천정각  $\theta_r=0\sim 90$ 도로 반사한 확산반사광을 측정한 검지기 출력을  $E(0\sim 90)$ 로 하고, 크기를 변화시켜서 반사천정각  $\theta_r=0\sim 30$ 도의 범위로 반사한 확산반사광을 측정한 검지기 출력  $E(0\sim 30)$ 로 한다. 반구반사율  $R_h$ 는 다음 식이 된다.

$$R_h = \frac{[(C_{sr} \cdot E(0\sim 90) + C_{or} \cdot E(0\sim 30)) / (C_m \cdot E_m)] \cdot R_m}{C_{or} \cdot C \cdot E(0\sim 30)} \quad (1)$$

여기서  $R_m$ 이란 알루미늄 증착평면경의 절대반사율이고,



광학정수에 의해 입사각, 파장에 의하여 계산된다. 또, C는 보정정수이고 회전타원체면경의 중심구멍에서 도망하는 반사광이나, 회전타원체면경에서 반사한 후에 시료홀더에 의해 차단되는 광을 고려한 것이다. C<sub>st</sub>, C<sub>ot</sub>, C<sub>m</sub>은 검지기로의 집광상태를 보정하는 계수이다.

### 3.2 지향입사-반구투과율

지향입사-반구투과율의 측정에 있어서는 먼저 시료 홀더에 아무것도 두지 않은 상태에서 회전타원체면경으로 반사된 검지기 출력을 측정하여 검지기 출력을 E<sub>d</sub>라 한다. 다음에 시료홀더에 시료를 설치하여 투과천정각 θ<sub>t</sub>=0~90도로 확산한 투과광을 측정하여 검지기 출력을 E(0~90)라고 한다. 다시 크기를 변화시켜서 투과천정각 θ<sub>t</sub>=0~30도의 범위로 확산한 투과광을 측정하여 검지기 출력을 E(0~30)로 한다. 반구투과율 T<sub>h</sub>는 다음식이 된다.

$$T_h = \{C_{st} \cdot E(0 \sim 90) - C_{ot}(0 \sim 30) + C_{ot} \cdot C \cdot E(0 \sim 30)\} / (C_d \cdot E_d) \quad (2)$$

여기서 C<sub>st</sub>, C<sub>ot</sub>, C<sub>d</sub>는 검지기로의 집광상태를 보정하는 계수이다.

### 3.3 지향입사-지향상대반사율

지향입사-지향상대반사율의 측정은 먼저 시료홀더에 알루미늄 증착평면경을 설치하여 그 경면반사광의 에너지를 측정하여 검지기 출력을 E<sub>m</sub>이라 한다. 다음에 반사천정각 θ<sub>r</sub>=0~θ<sub>j</sub>(θ<sub>j</sub>=0, 30, 45, 60, 75, 90도)의 범위로 반사한 확산반사광을 교차의 크기를 변화시켜서 각각 측정하여 검지기 출력을 E(0~θ<sub>j</sub>)로 한다. 각각의 반사천정각에 있어서 반사율은 다음식이 된다.

$$R(0 \sim \theta_j) = \{E(0 \sim \theta_j) - E(0 \sim 30) + E(0 \sim 30) \cdot C\} / E_m \cdot R_m \quad (3)$$

지향상대반사율 ρ는 어느 반사천정각에 있어서 강도반사율이고 같은 반구반사율을 가진 완전확산반사면에 대한 상대치로서 정의된다. 지향상대반사율 ρ와 반구반사율 R<sub>h</sub> 사이에는 다음의 관계가 있다.

$$R_h = \int_0^1 \rho(\theta) d(\sin^2 \theta) \quad (4)$$

복사강도 I는 일반적으로 천정각 θ의 함수이므로 반구방향으로의 방사에너지는

$$E = \int_0^{\pi/2} I \cos \theta \cdot 2\pi \sin \theta d\theta = \int_0^1 \pi I d(\sin^2 \theta) \quad (5)$$

으로 나타난다. 단, 방위각에 대한 의존성은 없다고 가정하였다. 입사에너지를 E<sub>o</sub>로 하면

$$R_h = (\int_0^1 \pi I / E_o) \cdot d(\sin^2 \theta) = 1/E_o \int \pi I (\theta_{out})(\sin^2 \theta_{j+1} - \sin^2 \theta) \quad (6)$$

여기서 θ<sub>out</sub>는 다음 식으로 주어진다.

$$\sin^2 \theta_{out} = (\sin^2 \theta_{j+1} + \sin^2 \theta_j) / 2 \quad (7)$$

알루미늄증착평면경과 교차의 크기를 변화시킬 때의 시료의 측정에서,

$$E_o = \alpha (E_m / R_m), \quad \pi I(\theta_{out}) = \alpha \{E(0 \sim \theta_{j+1}) - E(0 \sim \theta_j)\} / (\sin^2 \theta_{j+1} - \sin^2 \theta_j) \quad (8)$$

여기서 α는 비례정수이고 알루미늄증착평면경과 시료의 측정에서 광학계가 같으므로 동일한 값이라고 생각할 수가 있다. 식(3), (6), (8)의 관계에서 지향상대반사율 ρ는

$$\rho(\theta_{out}) = \{R(0 \sim \theta_{j+1}) - R(0 \sim \theta_j)\} / (\sin^2 \theta_{j+1} - \sin^2 \theta_j) \quad (9)$$

로 나타난다. 지향상대반사율을 종축, sin<sup>2</sup>θ를 횡축으로, 지향상대반사율을 곡선으로 나타내면 곡선의 하부면적이 대응하는 θ의 영역에 반사하는 에너지의 비율을 나타낸다. 이 때문에 곡선의 하부면적의 합계가 반구반사율이 되고 시료면이 완전확산면일 경우의 그래프는 횡축과 평행이 된다. 또 종축에 지향상대반사율 ρ를 반구반사율 R<sub>h</sub>로 나눈 값을 하면 곡선의 하부 총면적이 1이 되고 다른 반구반사율을 가진 시료의 반사광 각도 특성을 용이하게 비교할 수 있다.

### 3.4 지향입사-지향상대투과율

지향입사-지향상대투과율의 측정에 있어서는 먼저 시료홀더에 아무것도 두지 않은 상태에서 회전타원체면경으로 반사된 검지기 출력을 측정하여 검지기 출력을 E<sub>d</sub>로 한다. 다음에 투과천정각 θ<sub>t</sub>=0~θ<sub>j</sub>(θ<sub>j</sub>=0, 30, 45, 60, 75, 90도)의 범위에 확산한 투과광을 교차의 크기를 변화시켜서 각각 측정하여 검지기 출력치를 E(0~θ<sub>j</sub>)로 한다. 각각의 투과천정각에 있어서 투과율은 다음식이 된다.



$$T(0 \sim \theta_j) = \{E(0 \sim \theta_j) - E(0 \sim 30) + E(0 \sim 30) \cdot C\} / E_d \quad (10)$$

지향상대투과율  $\tau$ 은 어느 투과천정각에 있어서 강도투과율이고 같은 반구투과율을 가지고 투과광이 완전 확산하는 가상물질에 대한 상대치로서 정의된다. 지향상대투과율  $\tau$ 는 지향상대반사율을 구할 때와 같이 하여 식(6) 식(8)에 있어서  $R_h$ 를  $T_h$ ,  $E_m$ 을  $E_d$ ,  $R_m$ 을 1로 변화하여 이들의 관계와 식(10)에서 다음식이 된다

$$\tau(\theta_{out}) = \{T(0 \sim \theta_{j+1}) - T(0 \sim \theta_j)\} / (\sin^2 \theta_{j+1} - \sin^2 \theta_j) \quad (11)$$

지향상대투과율을 증축,  $\sin^2 \theta$ 를 횡축으로 하여 지향상대투과율을 곡선으로 나타내면 곡선의 하부면적이 대응하는  $\theta$ 의 영역으로 투과하는 에너지의 비율을 나타낸다. 이 때문에 곡선의 하부면적의 합계가 반구투과율이 되고 시료를 투과한 광이 완전 확산하는 경우 그래프는 횡축과 평행이 된다. 또 증축에 지향상대투과율  $\tau$ 을 반구투과율  $T_h$ 로 나눈 값을 잡으면 곡선의 하부총면적이 1이 되고 다른 반구투과율을 가진 시료의 투과광의 각도 특성을 용이하게 비교할 수 있다.

#### 4. 측정결과 및 수치해석

##### 4.1 시료

시료는 치밀질의 알루미나, 지르코니아 세라믹스를 선택하였다. 시료의 크기는  $\phi 13\text{mm}$ 로 하였다. 각각의 시료 색상, 두께 및 밀도는 다음 Table 1에 나타내고 있다.

Table 1 Properties of specimen

	Color	Thickness(mm)	Density(kg/m <sup>3</sup> )
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (dense)	white	0.5, 2.0	3.85 × 10 <sup>3</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (porous)	white	0.5, 2.0	2.37 × 10 <sup>3</sup>
ZrO <sub>2</sub>	white	0.5, 2.0	6.05 × 10 <sup>3</sup>

##### 4.2 반사와 투과특성

Fig. 2에는 알루미나 소결체의 지향입사-반구반사율  $R_h$ , 지향입사-반구투과율  $T_h$  스펙트럼을 나타낸다. 그림 중에서  $\bigcirc, \bullet, \triangle, \blacktriangle, \diamond, \square$ 는 각각 치밀질의 두께 0.5mm, 치밀질의 두께 2.0mm, 다공질의 두께 0.5mm,

다공질의 두께 2.0mm의 경우이다. 백색인( $\bigcirc, \triangle, \diamond, \square$ ) 것이 반구반사율, 흑색인( $\bullet, \blacktriangle$ )이 반구투과율이다. 그림중의 표에서, S는 structure, m은 minute, p는 porous의 생략형이고 각각 구조가 치밀질, 다공질을 의미하고 z는 두께(mm)를 나타낸다. 다공질에 관해서는 투과가 인정되지 않기 때문에 반사율을 나타낸다. 반사율은 모두 파장 0.85 $\mu\text{m}$ 까지 증가하고 그 이상의 파장에서는 감소한다. 치밀질, 다공질 모두의 시료에서도 가시역에서는 두께에 의한 반사율의 차이는 보이지 않는다. 이것은 산란이 약하고 흡수가 강해져 표면근방의 상태와 성질의 영향을 강하게 받기 때문에 두께의 영향이 작아진 것으로 생각된다. 치밀질은 2.0 $\mu\text{m}$ 이상의 적외역에 있어서도 투과성을 나타내고 가시, 근적외역보다도 작아지지만 내부산란에 의한 영향도 남아있고 반사율도 두께 의존성이 인정된다. 치밀질 시료의 투과율은 두께의 영향이 크고 두께가 클 수록 투과율이 작다. 모든 시료도 중간적외역 5.0 $\mu\text{m}$  부근에서 흡수율이 1.0이 되지 않고 장파장역에 있어서도 역시 같은 경향이 계속될 가능성이 높다. Fig. 3에는 지르코니아 소결체의 지향입사-반구반사율  $R_h$ , 지향입사-반구투과율  $T_h$  스펙

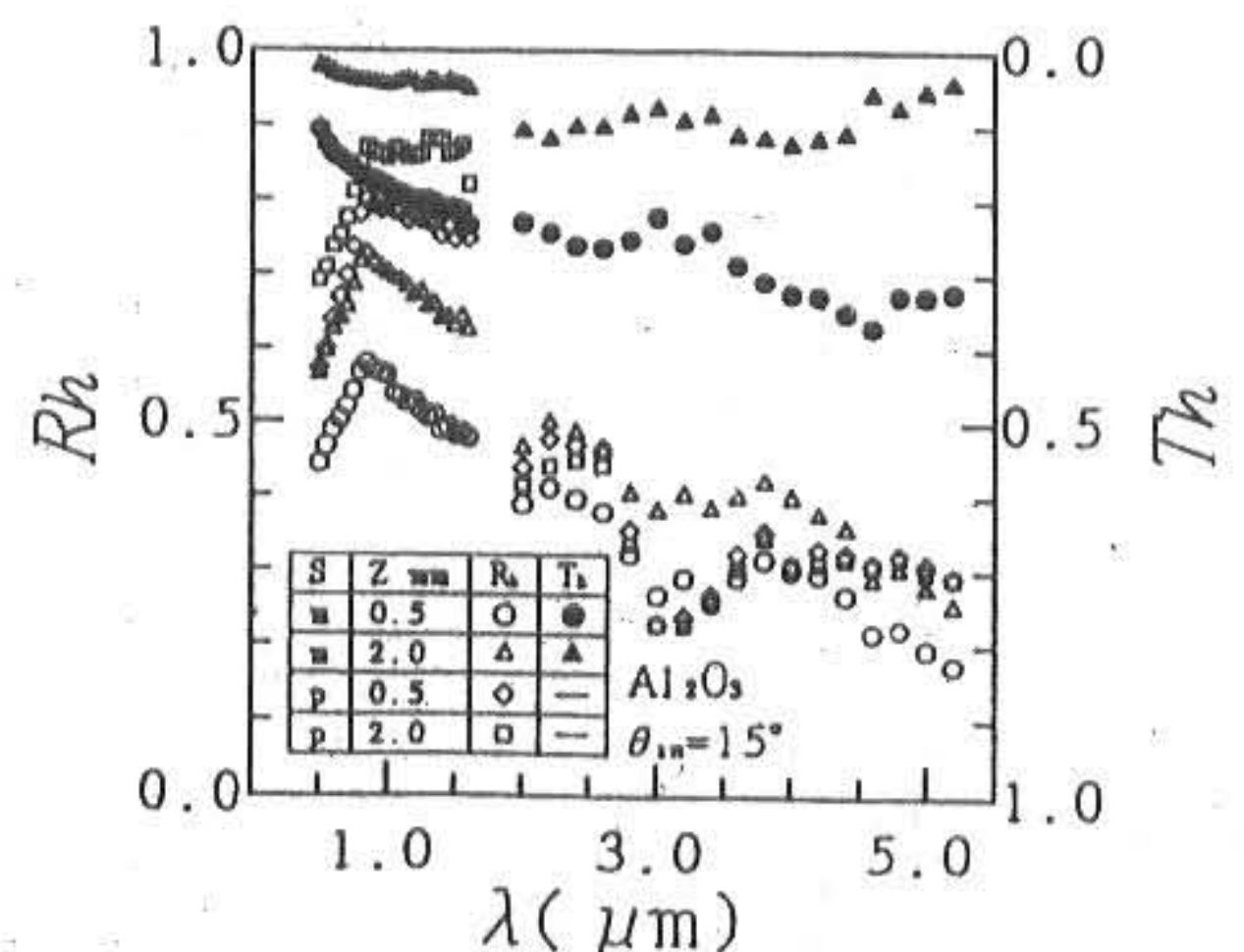


Fig.2 Reflectance and Transmittance of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

트럼을 나타낸다. 그림 중  $\bigcirc, \bullet, \triangle, \blacktriangle$ 는 각각 두께가 0.5mm, 2.0mm를 나타낸다. 흰색인( $\bigcirc, \triangle$ )이 반구반사율, 흑색인( $\bullet, \blacktriangle$ )이 반구투과율이다. 그림중 표에서 z는 두께(mm)를 나타낸다. 반사율, 투과율 모두 치밀질의 알루미나 소결체와 거의 같은 경향을 나타낸다. 반사율은 두께에 상관하지 않고 파장 0.85 $\mu\text{m}$ 까지 증가하고 그 이상의 파장에서는 감소한다. 투과율은 두께가 큰 것이 투과율이 작아지고 있다. 모든 파장역에 있어서도 강한 흡수는 특별하게 볼 수 없다.



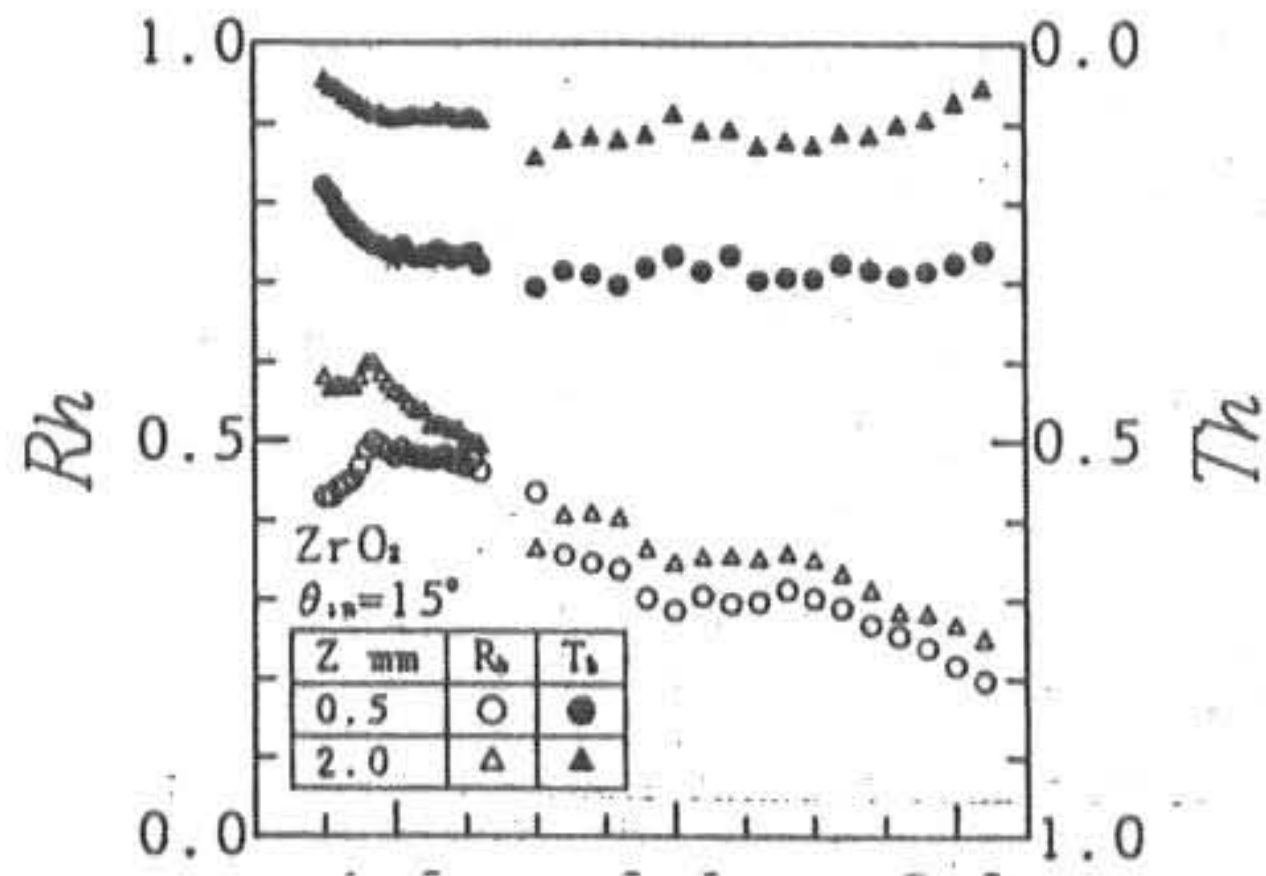


Fig.3 Reflectance and Transmittance of ZrO<sub>2</sub>

4.3 4유속모델의 이론

매질의 광학적 성질을 평가하기 위해 방사수송에 관한 4유속모델을 이용하여 해석 하였다. 4유속모델에서는 매질중 광의 감쇄는 흡수와 산란의 작용에 의한 것으로 고려하여 반구반사율과 반구투과율의 측정치에서 흡수계수와 산란계수를 구하였다<sup>5)</sup>.

균질이며 등방적인 반투과·산란·흡수성매질의 무한 평행 평판층 내에서의 1차원적인 방사수송을 생각할 수 있다. 또 매질에서 자기방사는 없는 것으로 한다. 매질 내에서 방사유속을 확산유속 F<sub>D</sub><sup>+</sup>, F<sub>D</sub><sup>-</sup>와 평행유속 F<sub>C</sub><sup>+</sup>, F<sub>C</sub><sup>-</sup>로 나누어서 고려한다. 여기서 첨자 +, -는 유속의 방향을 나타낸다. 평행유속에서 흡수계수, 전방산란계수, 후방산란계수를 각각 K<sub>C</sub>, S<sub>C1</sub>, S<sub>C2</sub>라고 하고 확산유속에 있어서 흡수계수, 후방산란계수를 각각 K<sub>D</sub>, S<sub>D2</sub>라고 한다. 이때의 기초 방정식은 다음과 같다.

$$dF_C^+/dZ = -K_C F_C^+ - S_{C1} F_C^+ - S_{C2} F_C^+ \quad (12)$$

$$dF_C^-/dZ = K_C F_C^- + S_{C1} F_C^- - S_{C2} F_C^- \quad (13)$$

$$dF_D^+/dZ = -K_D F_D^+ - S_{D1} F_D^+ + S_{D2} F_C^- + S_{C1} F_C^+ + S_{C2} F_C^- \quad (14)$$

$$dF_D^-/dZ = K_D F_D^- + S_{D2} F_D^- - S_{D2} F_D^+ - S_{C1} F_C^- - S_{C2} F_C^+ \quad (15)$$

4.4 재료의 흡수계수, 산란계수

Fig. 4에는 치밀질의 알루미나 소결체, 지르코니아 소결체의 반구반사율, 반구투과율에서 계산한 흡수계수 K와 산란계수 S를 나타낸다. 횡축에 파장을 잡고 좌중축에 흡수계수, 우중축에 산란계수를 잡고 있다. 그림에서 ○●, △▲는 각각 알루미나 소결체,

지르코니아 소결체에서의 계산결과이고 흰색인(○△)이 흡수계수이고 흑색인(●▲)이 산란계수이다. 모두 같은 경향을 나타내고 가시역은 산란계수가 크고 내부 산란이 지배적이다. 적외역이 되면 산란계수가 저하, 흡수계수가 상승하는 경향을 나타내고 내부산란의 영향이 작아짐과 더불어 흡수가 파장이 길어질수록 강하게 되는 것을 알 수 있다.

4.5 반사율, 투과율의 예측

얻어진 흡수계수, 산란계수를 이용하여 실의 두께가 변화할 때의 반사율, 투과율이 예측을 행하였다. Fig. 5 및 6에는 알루미나소결체, Fig. 7 및 8에는 지르코니아 소결

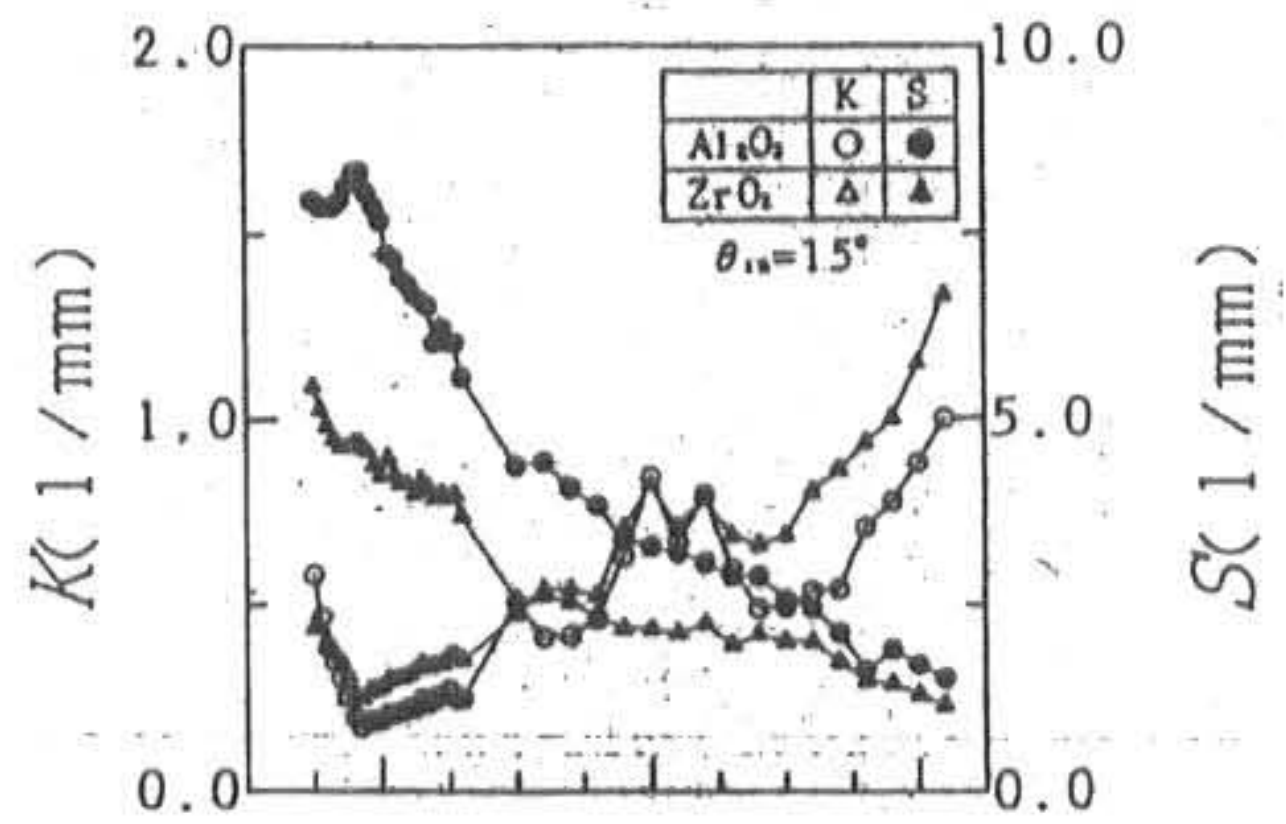


Fig.4 Absorption and Scattering Coefficient of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>·ZrO<sub>2</sub>

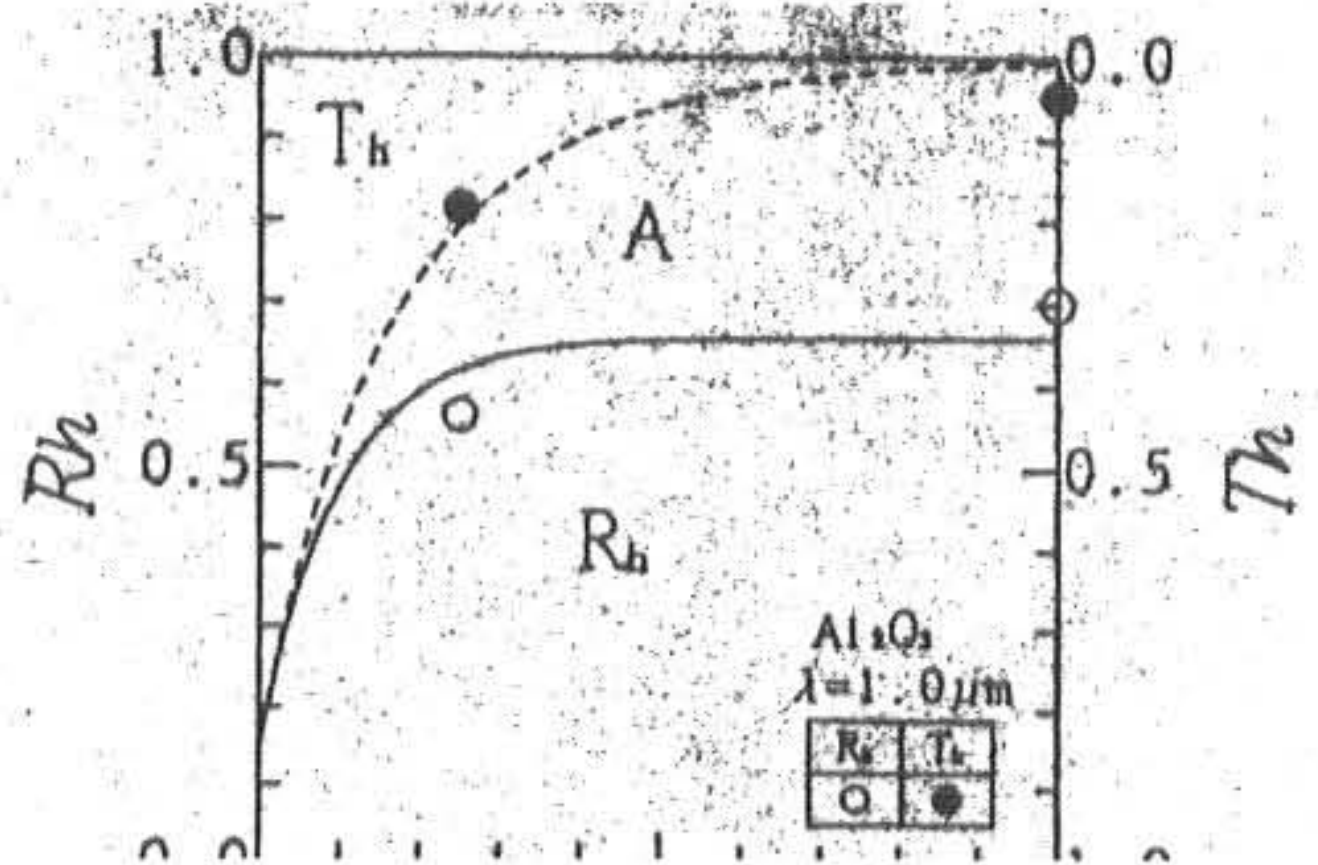


Fig.5 Comparison of Simulation and measurement value of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reflective-Transmittance (by wavelength 0.1 μm)

체의 각각 파장 1.0μm, 3.2μm에서 흡수계수, 산란계수를 이용하여 계산한 반사율, 투과율과 측정된 반구반사율, 투과율의 비교결과를 나타내고 있다. 횡축에 두께를 잡고, 종축에 반사율, 투과율을 잡았다. 또 ○●는 각각 반구반사율, 투과율의 측정치를 나타내고 실선은 반사율, 점선은 투과율의 계산치이다. 반사율과 투과율에 겹쳐지는 부분이 흡수율을 나타낸다. 모든 물질의 파장에서 계산치와 측정치는 거의 일치한다. 계산치에서 두께 1.0mm를 초과



하면 반사율이 일정치, 2.0mm부근에서 투과율이 거의 0이 되고 있으며 어떤 두께 이상에서는 복사특성이 변화하지 않게 될 것으로 예상된다.

### 5. 결 론

본 연구에서는 회전타원체면경, 광화이버를 이용한 분광반사율, 투과율 측정 장치를 개발하였다. 이 장치를 이용하여 가시역에서 중간적외역에 있어서 세라믹스 재료의 분광복사 특성을 측정하였다. 또한 측정결과를 복사수송의 4유속모델을 이용하여 해석을 행하고 환경 구성재료의 복사특성의 평가를 행하였다. 이상의 결과에서 다음의 결과를 얻었다.

(1) 개발한 반구반사율 및 투과율 스펙트럼장치를 사용하여 산란성이 강한 세라믹스 재료의 반사율과 투과율을 측정할 수 있음이 확인되었으며, 모든 파장영역에 걸쳐서 유용하게 응용할 수 있음이 확인되었다.

(2) 반투과 산란성 재료의 반사는 흡수가 약한 경우 가시역에서는 그 내부 산란이 지배요인이 되고 확산반사가 크다. 근적외, 중간적외역에서는 재료의 표면 특성 영향이 크다. 투과율은 파장에 의한 영향이 적으나 입사방향에 대한 지향성은 강하다.

(3) 4 유속모델을 이용한 해석에서 얻어지는 흡수계수, 산란계수의 값으로 투과성이 있는 재료의 두께와의 관계, 복사 특성치를 구할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) 吉田篤正 : 분광2방향반사율법에 의한 무충진밀도의 연속측정, 계측자동제어학회논문집, Vol. 30, No. 10, pp.1134~1135, 1139 (1994)
- 2) 藤村貞夫 編: 광계측의 기초, 삼북출판, pp.121~131 (1993)
- 3) 牧野俊郎 : 고체의 열복사성질의 측정법, 신편전열공학의 진전 제2권, 일본기계학회편, pp.205~212.(1996)
- 4) 松崎敏滿 : 반투과·산란·흡수성 매질의 분광반사·투과특성의 평가, 岡山大學工學部기계공학과 석사논문(1998)
- 5) Sang Hie Sun, Radiation Conduction Property of Heat Resisting Fibrous Thermal Insulation, Kyungil University, Annual Report of the Mechanical Engineering and the Technical Research Institute, Vol. 1, No. 1 (1977)

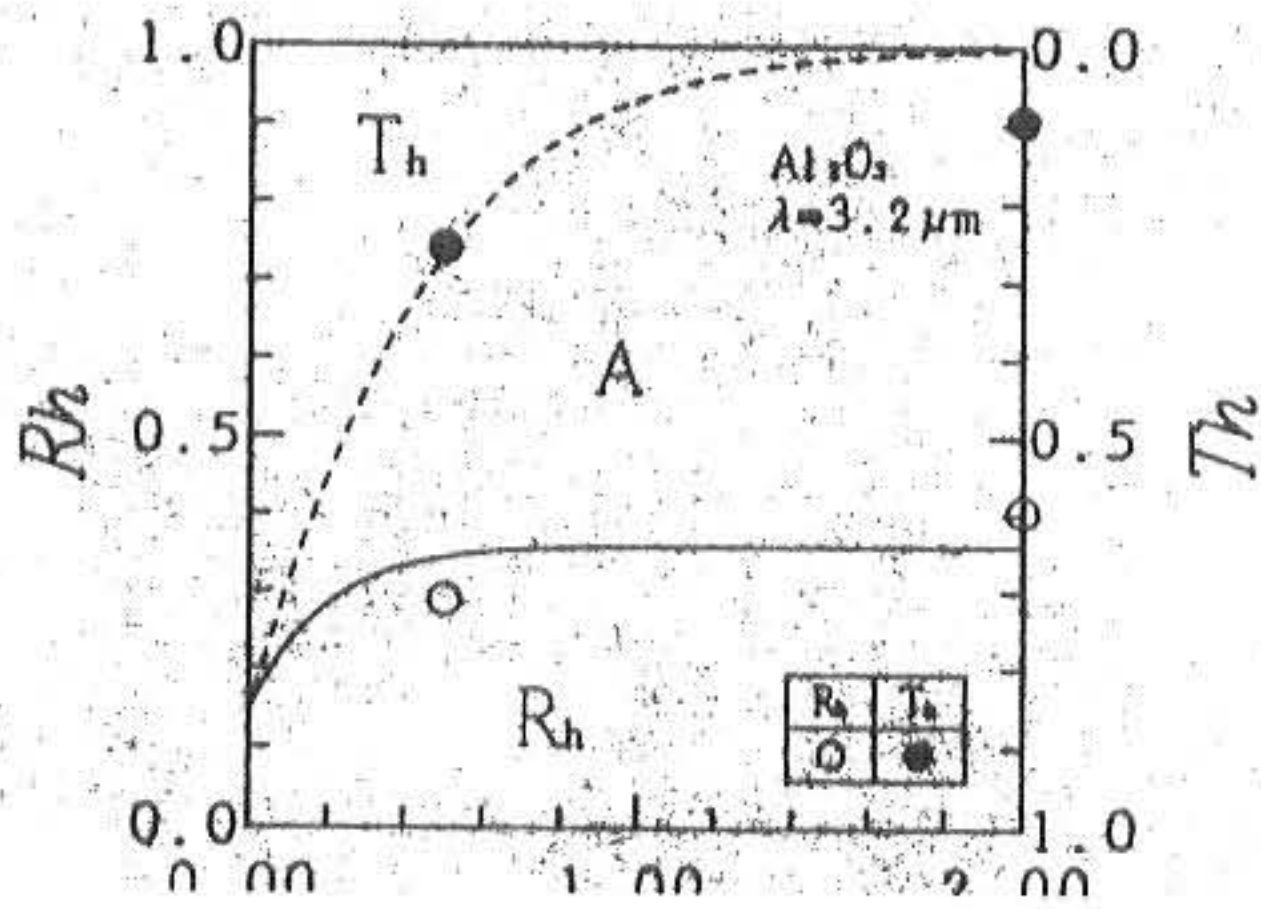


Fig.6 Comparison of Simulation and Mea Value of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Reflective-Transmitta wavelength 3.2μm)

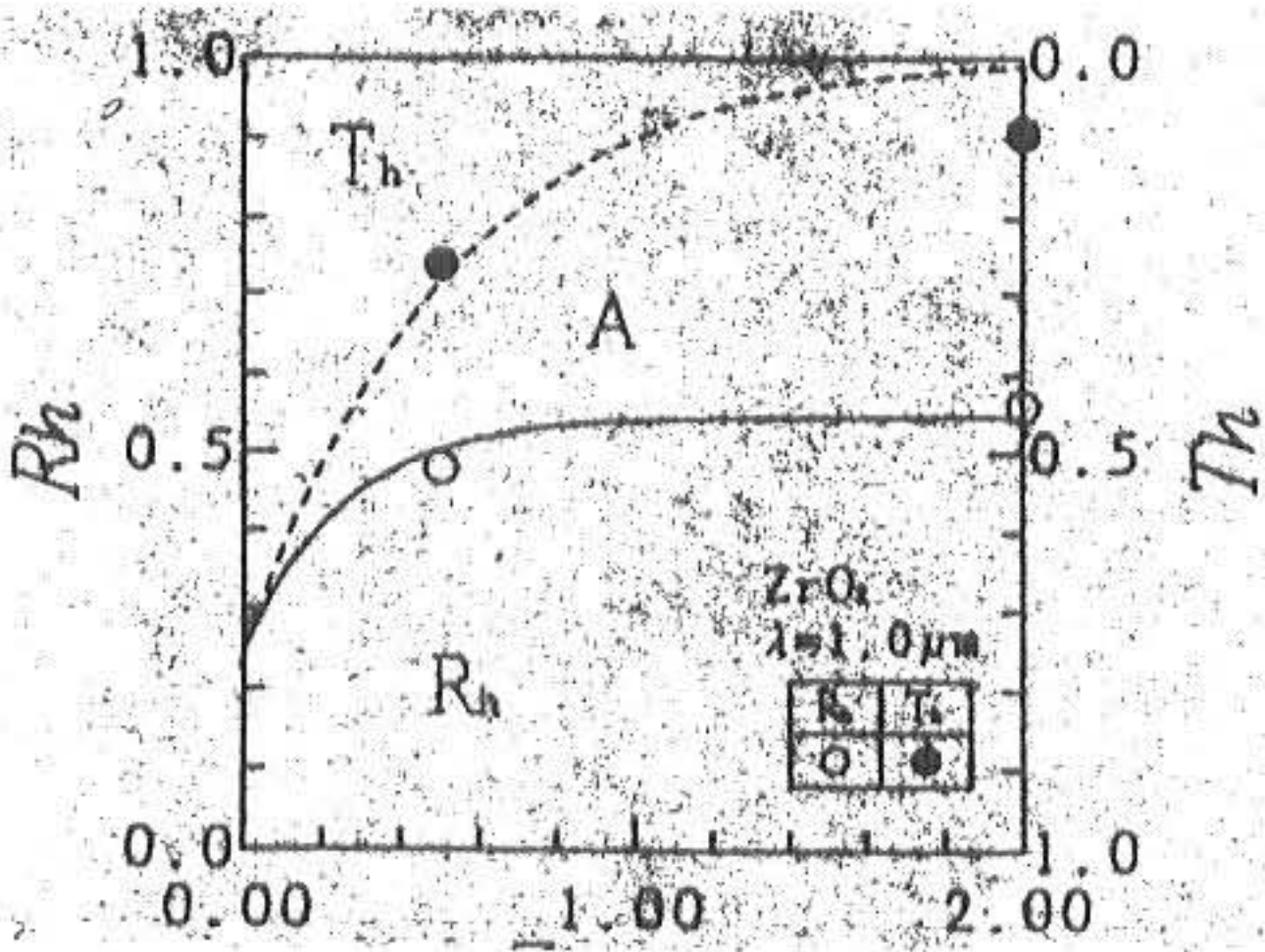


Fig.7 Comparison of Simulation and Measurement Value of ZrO<sub>2</sub> Reflective-Transmittance wavelength 0.1μm)

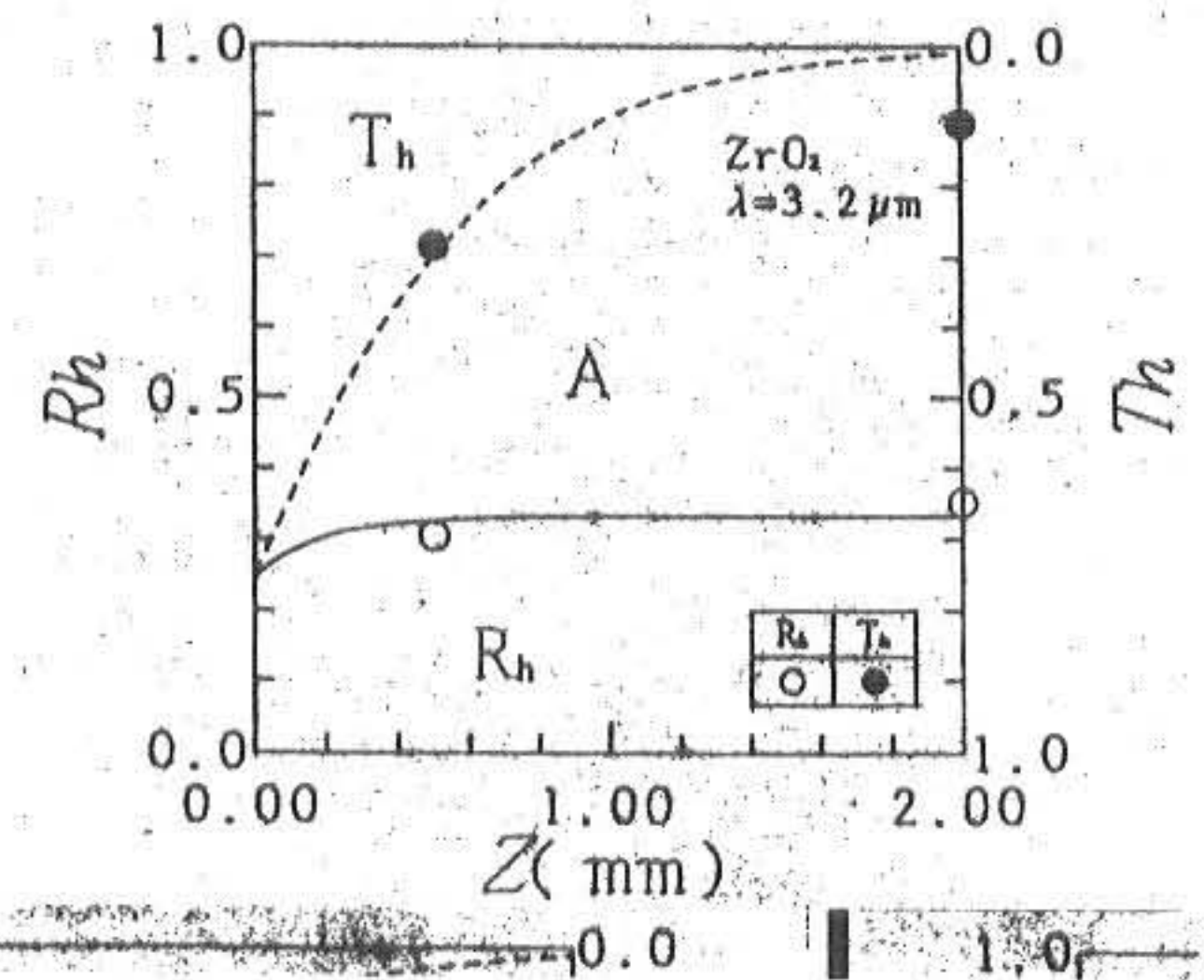


Fig.8 Comparison of Simulation and Measurement Value of ZrO<sub>2</sub> Reflective-Transmittance wavelength 3.2μm)

(2000년 11월2일 접수, 2001년 2월 22일 채택)