

거울면의 근적외선반사률측정정확도를 높이기 위한 방법

김성희, 리수범, 고명남

적분구는 자외-가시-근적외선-적외선구역에서 재료표면의 절대 및 상대반사률을 측정하여 여러가지 광학적파라미터를 얻기 위한 장치로 리용되고있다. 적분구의 구조에 따르는 반사률결정방법들에서 기본은 적분구의 직경과 포구구멍의 크기를 반영한 교환인자의 보정과 관련한 연구이며 많은 보정방법들이 적용되고있다.[2-5]

선행연구[1]에서는 확산반사률만 측정할수 있는 적분구에 거울반사률도 측정할수 있도록 보조시료들을 도입하여 총반사률을 결정하는 방법을 연구하였으나 교환인자들의 영향을 정확히 고려하지 못한것으로 하여 오차가 크고 푸리에변환분광기에서 측정한것으로 하여 재현성이 높지 못한 결함이 있다.

우리는 적분구에 보조시료들을 설치하여 적분구의 구조변화의 영향을 고려한 정확도가 높은 보정방법과 시간에 따르는 반사률측정의 재현성을 높이기 위해 실시간측정에 의한 변동을 보정하는 방법을 연구하여 거울면재료의 근적외선반사률측정의 정확도와 정밀도를 개선하였다.

실 험 방 법

장치로는 푸리에변환적외선분광기(《Nicolet 6700》)와 적분구(《Smart Integrating Sphere》)를, 측정재료로는 반사률이 알려져있는 알루미늄증착거울을 리용하였다.

마이클슨간섭계의 빛분할기를 CaF_2 로 교체하고 시료실에 적분구를 설치하여 배경스펙트르를 측정한 후 청옥창우에 8° 보조시료들을 설치하고 여기에 놓은 알루미늄증착거울(시편)의 적외선반사스펙트르를 측정한다. 측정조건은 마이클슨간섭계의 이동거울속도 0.629cm/s , 주사수 16, 분해능 32cm^{-1} 로 설정하였다. 시간에 따르는 측정값들의 변화와 통계학적처리는 omnic series 9.0으로 진행하였다. 실시간측정방식으로 설정하고 측정된 적외선반사스펙트르는 일정한 시간간격으로 보관하여 해석에 리용하였다.

실험결과 및 고찰

보조시료설치에 의한 적분구의 구조변화가 반사률측정에 주는 영향 적분구를 리용하여 결정된 반사률의 정확도는 적분구의 교환인자에 의하여 결정된다.[3]

확산반사률만 측정할수 있는 적분구의 청옥창우에 8° 보조시료들을 설치한 경우 빛경로는 그림 1과 같다.

그림 1에서 적분구의 직경을 $D(\text{mm})$, 청옥창의 반경(r)을 5mm 라고 할 때 교환인자는 다음식으로 표시된다.

$$f_r = r^2 / D^2 \quad (1)$$

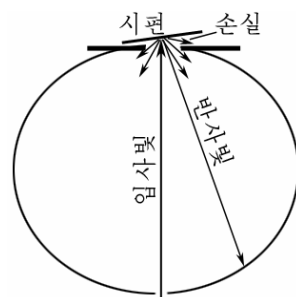


그림 1. 보조시료들을 설치한 경우 빛경로

청옥창우에 8° 보조시료틀을 설치한 경우에 교환인자는 다음식으로 표시된다.

$$f_s = \frac{\left(\frac{r}{\cos\theta}\right)^2}{D^2} \quad (2)$$

식 (2)에서 8° 보조시료틀을 설치한 후 증가된 적분구의 직경은 원래직경에 비하여 무시할 정도로 작으므로 그대로 리용하였다.

시편의 반사를 ρ_s 는 다음식으로 표시할수 있다.

$$\rho_s = \rho_r \cdot \frac{f_s N_s}{f_r N_r} = \rho_r \cdot \frac{1}{\cos\theta^2} \cdot \frac{N_s}{N_r} \quad (3)$$

여기서 ρ_r 는 적분구의 절대반사를, N_s 는 시편의 단일빛묶음세기, N_r 는 적분구의 단일빛 묶음세기이다.

선행연구[1]에서는 식 (3)에서 $\frac{1}{\cos\theta^2}$ 을 고려하지 않고 반사를 계산하였다.

보조시료틀우에 시편을 설치한 후 측정된 값은 대기흡수로 인하여 실제 시편의 진실한 값보다 작은 값으로 측정되므로 이것을 보정하여야 한다.[3]

청옥창우에 아무것도 놓지 않은 상태에서 대기의 반사를 ρ_a 는 다음식으로 표시된다.

$$\rho_a = \rho_r \cdot \frac{f_s N_a}{f_r N_r} \quad (4)$$

여기서 N_a 는 청옥창우에서 측정된 단일빛묶음세기이다.

보조시료틀에 시편을 설치한 후 대기의 반사를 ρ_a^s 는 다음식으로 표시된다.

$$\rho_a^s = (1 - \rho_a) \cdot (l_0 - l) \quad (5)$$

여기서 l_0 은 청옥창우에서 빛의 흡수경로길이로서 $l_0 = 5\text{mm}$, $l = \tan\theta \cdot l_0$ 이다.

시편의 총반사를 ρ_a^0 은 다음식으로 표시된다.

$$\rho_a^0 = \rho_s + \rho_a^s \quad (6)$$

식 (3)과 (5)로 ρ_s 와 ρ_a^s 를 계산하여 식 (6)에서 총반사를 결정한 방법과 식 (3)에서 $\frac{1}{\cos\theta^2}$ 을 고려하지 않고 식 (6)만을 리용하여 결정한 방법, 종전의 방법으로 결정한 총반사를 이미 알려진 알루미늄반사률값과 대비하여 상대오차와 표준편차를 결정한 결과는 표 1과 같다.

표 1. 보정방법에 따르는 상대오차와 표준편차

보정방법	상대오차/%	표준편차/%	상대표준편차/%
교환인자와 대기경로를 보정한 방법	0.50	1.53	1.59
대기경로를 보정한 방법	0.82	1.74	1.81
종전의 방법	1.14	2.71	2.85

표 1의 결과로부터 교환인자와 대기경로를 보정한 방법은 종전방법에 비하여 상대오차는 0.5%까지, 표준편차는 1.53%까지 작아졌지만 아직 재현성이 좋지 못하다는것을 알수 있다.

시간에 따르는 세기변화가 반사률에 주는 영향 교환인자와 대기경로를 보정한 방법의

재현성을 개선하기 위하여 시간에 따르는 반사률의 변동을 고찰하였다.

근적외선반사률측정에서 가장 큰 결함은 재현성이 높지 못한것이다. 그것은 측정이 비교법이 아니라 치환법으로 진행되기때문이다.

측정과정의 재현성을 평가하기 위하여 먼저 배경을 측정하고 보조시료틀우에 설치한 시간에 따르는 알루미늄증착거울의 근적외선반사스펙트르를 측정하였다.(그림 2)

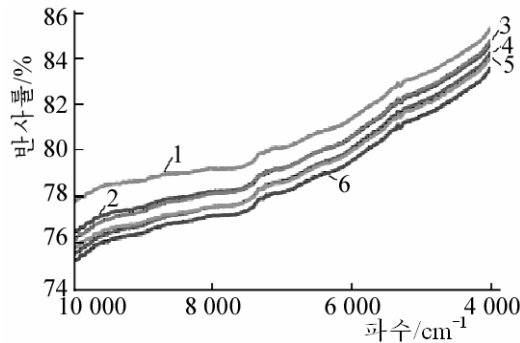


그림 2. 시간에 따르는 알루미늄증착거울의 근적외선반사스펙트르
1-6은 측정시간이 각각 26.34, 20.36, 22.34, 1.83, 15.07, 3.36s인 경우

그림 2에서 보는바와 같이 알루미늄증착거울의 반사률은 시간에 따라 변화된다는것을 알수 있다.

따라서 반사률의 재현성을 검토하기 위하여 같은 시편에 대하여 임의의 시각에 3번 반복측정한 경우 반사률의 표준편차는 그림 3과 같다.

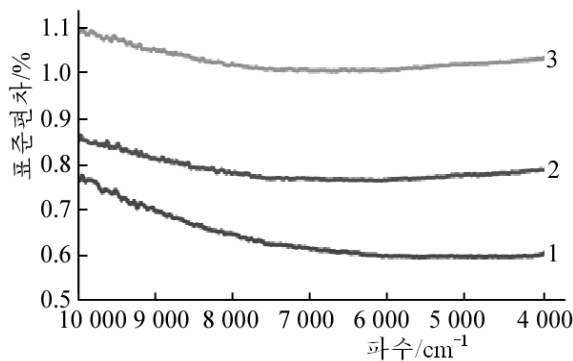


그림 3. 반사률의 표준편차($n=3$)

그림 3에서 보는바와 같이 같은 시편이지만 측정시점에 따라 반사률의 표준편차가 차이난다는것을 알수 있다.

이 원인을 해명하기 위하여 배경측정에 리용되는 적분구의 시간에 따르는 반사률의 표준편차를 그림 4에 보여주었는데 시편과 경향성은 같으나 표준편차는 시편에 비하여 크지 않다는것을 알수 있다.

이것은 배경측정과 시편측정시점이 차이하기때문이다.

우리는 시간변동으로 인한 영향을 최소화하기 위하여 시간분해법을 적용하였다. 시간분해법은 ns동안 일어나는 미세한 변화를 관측하기 위한 방법으로서 동력학적연구에 널리 응용되고있다.[5] 실시간신호변동을 고찰하기 위하여 측정파라미터들을 설정하고 omnic series 9.0의 series방식에서 시간을 30s로 하면 일정한 시간간격으로 스펙트르가 측정된다. 즉 시

간에 따르는 각이한 파수에서 반사률의 변화가 관측된다.(그림 5)

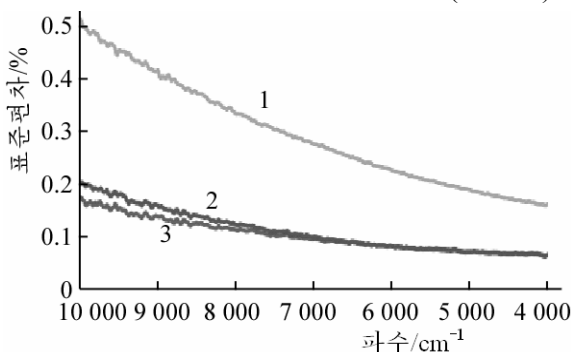


그림 4. 적분구의 시간에 따르는 반사률의 표준편차($n=3$)

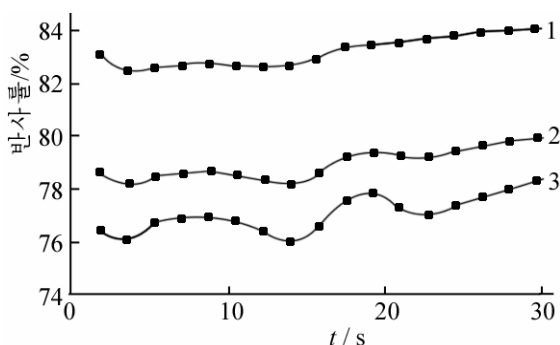


그림 5. 시간에 따르는 각이한 파수에서 반사률의 변화
1-3은 파수가 각각 4 458, 7 019, 9 448 cm^{-1} 인 경우

그림 5에서 보는바와 같이 시간에 따라 반사률이 차이난다는것을 알수 있다.

시간에 따르는 반사률변화로 인한 측정의 재현성을 높이기 위하여 각이한 시편에서 얻어진 시간분해스펙트럼들의 평균반사률(\bar{N})과 표준편차(σ)를 식 (7)에 따라 보정한 후 계산된 반사률(N)의 표준편차와 상대표준편차를 평가하였다.(표 2)

$$N = \bar{N} \pm \sigma \quad (7)$$

표 2. 반사률의 표준편차 및 상대표준편차

No.	표준편차/%			상대표준편차/%		
	\bar{N}	$\bar{N} + \sigma$	$\bar{N} - \sigma$	\bar{N}	$\bar{N} + \sigma$	$\bar{N} - \sigma$
1	1.15	0.94	1.94	1.68	0.98	1.97
2	0.92	0.90	1.14	1.57	0.96	1.22
3	1.26	0.98	1.68	1.80	0.97	1.82

표 2에서 보는바와 같이 측정 한 시간분해스펙트럼으로부터 측정된 평균반사률에 표준편차를 더하면 표준편차를 보정하지 않은 경우와 던 경우에 비하여 표준편차는 1%이하이며 상대표준편차는 시간변동을 고려하면 1.59%(표 1)로부터 1%이하로 작아진다는것을 보여 준다. 또한 실험결과는 적분구에 보조시료를설치로 인한 빛경로의 변화를 교환인자와 대기흡수에 의한 경로까지 고려하여야 하며 이와 함께 시간변동을 보정하여야 확립된 방법의 정확도와 정밀도를 높일수 있다는것을 보여준다.

맺 는 말

근적외선적분구에 8° 보조시료틀을 설치하고 효과적인 보정방법을 적용하여 거울면재료의 총반사률을 높은 정확도로 결정하기 위한 방법을 확립하였다.

보조시료틀설치로 인한 교환인자와 대기흡수경로에 의한 반사률손실을 보정하여 상대오차를 0.5%이하로, 시간변동으로 인한 계통오차까지 보정하여 상대표준편차를 1%이하로 개선하였다.

참 고 문 헌

- [1] 리명인; 물리, 3, 23, 주체107(2018).
- [2] T. Oribe et al.; Laser Therapy, 24, 4, 303, 2015.
- [3] J. L. Keef et al.; Applied Optics, 4, 47, 253, 2008.
- [4] A. R. Gentle et al.; Applied Optics, 30, 53, 7157, 2014.
- [5] Y. Song et al.; J. Raman Spectrosc., 42, 345, 2011.

주체109(2020)년 4월 5일 원고접수

Method to Improve the Accuracy of Near Infrared Reflectance Measurement of Mirror Surface

Kim Song Hui, Ri Su Bom and Ko Myong Nam

We introduced two methods to reduce the errors due to the auxiliary holder installation. One method is to correct the pathlength increment factor and the other is to correct the time fluctuation factor during measurement. The relative error is 0.5% and relative standard deviation is 1%.

Keywords: near infrared, reflectance, mirror surface