

Application News

A525AK

UV/VIS/NIR-Spectrophotometer, UV-3600 Plus

ISR-1503 대형 적분구를 이용한 플라스틱 시트 및 필름의 헤이즈(Haze, 탁도) 측정

Haze Evaluation of Plastic Sheets and Films - Haze Measurement Using ISR-1503 Integrating Sphere Attachment -

■ 서론

플라스틱은 크게 열경화성과 열가소성 플라스틱으로 분류되며, 열가소성 플라스틱은 내열성 및 기계적 강도와 같은 특성에 따라 추가로 분류된다. 플라스틱에는 이러한 기계적, 열적 특성 외에도 투과율, 반사율 및 헤이즈(Haze, 탁도)와 같은 광학 특성이 있다. 헤이즈는 총 투과율에 대한 확산 투과의 비율을 의미하며 거칠기, 무광 같은 재료의 표면 처리를 평가하는 데 사용된다. 또한, 태양전지에 사용되는 재료들은 분산성을 높이고 빛을 흡수하기 위해 표면을 주기 구조(텍스처 구조)로 하기도 한다. 플라스틱 재료의 헤이즈 측정은 국제 표준 ISO 14782에 의해 규정되어 있으며, 일본 산업 표준 JIS K 7136에도 동일한 내용이 명시되어 있다. 본 뉴스레터는 ISR-1503 대형 적분구를 장착한 Shimadzu UV-3600 Plus UV/VIS/NIR 분광 광도계를 이용하여 다양한 성질의 플라스틱을 분석하여 헤이즈와 태양광 투과율을 산출하는 과정을 설명하고자 한다.

■ ISR-1503 광학 시스템과 헤이즈 측정

그림 1은 UV-3600 Plus와 ISR-1503의 모습을, 그림 2는 ISR-1503 광학 시스템을 보여준다. ISR-1503의 광학 시스템은 투과율 및 0도 반사율을 측정할 때 시료를 수평으로 장착하여 별도의 고정작업 없이 표면 경사가 있는 시료나 필름을 측정할 수 있도록 설계되었다. 헤이즈 산출에 필요한 특성인 총 투과율과 확산 투과율을 측정하는 방법은 그림 3에 도식화 하였다. 총 투과율은 시료를 직진으로 통과하는 빛과 시료 내부를 지나면서 확산되는 빛을 함께 측정하여 얻어진다. 확산 투과율은 그림 3의 하단 이미지처럼 적분구에서 표준 백판을 제거한 후 확산 광만을 측정하여 얻을 수 있다. JIS K 7136에서 τ_1 과 τ_2 는 측정된 총 투과율에 해당한다(τ_1 은 시료를 장착하지 않은 상태에서의 100% 투과율이다).^{주1} τ_3 와 τ_4 는 측정된 확산 투과율에 해당한다(τ_3 는 시료를 장착하지 않은 상태에서의 거의 0% 확산투과율).^{주1} 헤이즈는 총 투과율에 대한 확산 투과율의 비율로 정의되며, 다음과 같은 수식으로 산출할 수 있다.

$$\text{Haze (\%)} = [(\tau_4 / \tau_2) - (\tau_3 / \tau_1)] \times 100$$



그림 1. ISR-1503이 장착된 UV-3600 Plus

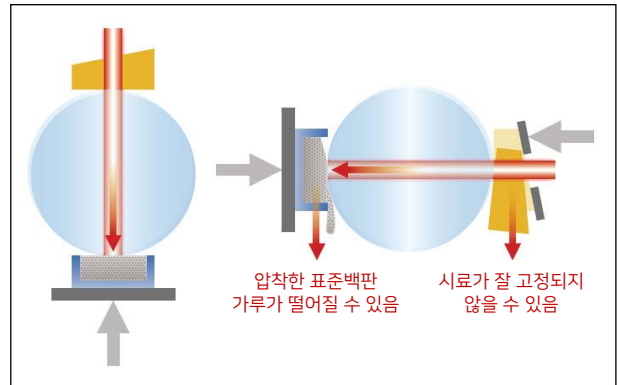


그림 2. 적분구의 단면도
(좌) ISR-1503의 광학 시스템, (우) 통상적인 적분구의 광학 시스템

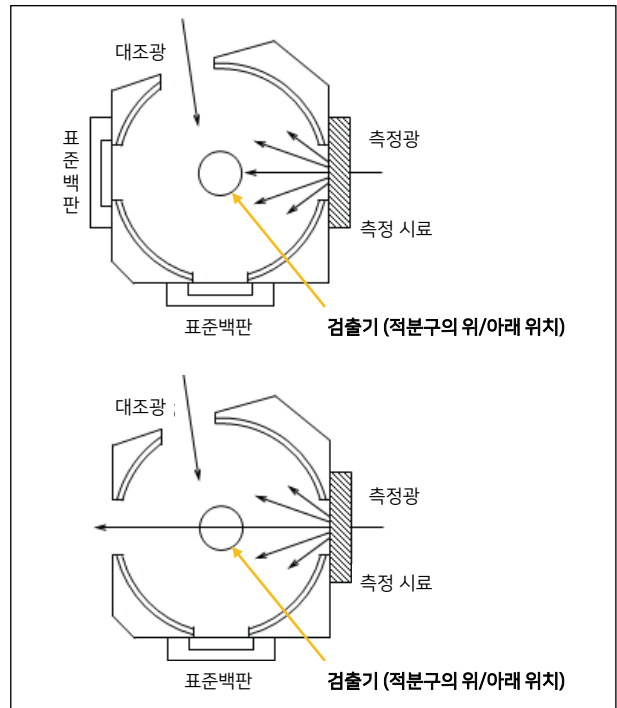


그림 3. 적분구의 단면도
(상) 총 투과율의 측정 (JIS K 7136의 τ_2 측정 방법에 해당)
(하) 확산 투과율의 측정 (JIS K 7136의 τ_4 측정 방법에 해당)

■ 시료의 스펙트럼 측정

그림 4는 분석에 사용된 여러 소재의 플라스틱이며, 각각 다른 표면처리를 한 것이다. 시료 1번부터 5번까지는 약 (2 ~ 3) mm 두께의 시트이다. 1번 ~ 3번 시료는 폴리메틸메타아크릴레이트 (PMMA)로 만들어진 것으로, 2번 시료는 무광 처리를, 3번 시료는 줄무늬 패턴의 텍스처 구조로 처리되었다. 4번은 폴리에틸렌-테레프탈레이트(PET), 5번은 폴리염화비닐(PVC)로 제조되었다. 6번과 7번은 모두 가소제 첨가제(phthalate ester)가 포함된 PVC로 만든 약 0.3 mm 두께의 필름으로, 7번 시료만 표면 처리가 되어 있다. 8번과 9번은 약 0.03 mm 두께의 필름이며, 8번은 폴리프로필렌(PP), 9번은 폴리에틸렌(PE)으로 제조되었다. 시료를 ISR-1503으로 분석할 수 있는 크기(최대 치수 W176 × D168 × T20 mm)로 잘라 표 1의 기기 조건에서 분석 하였다.

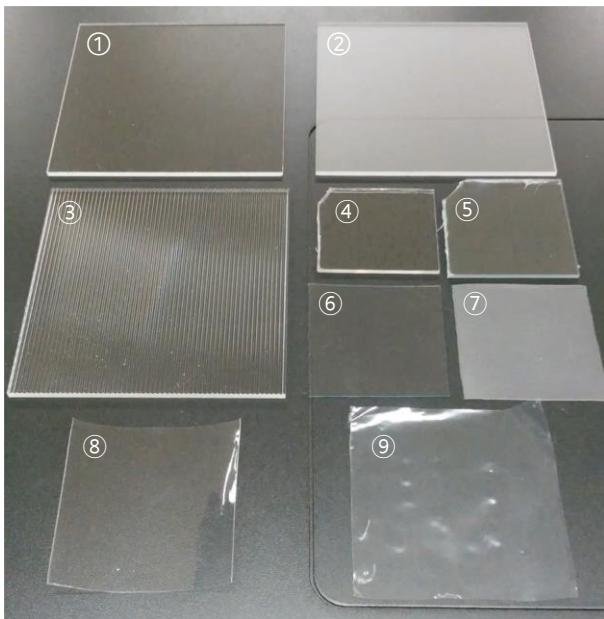


그림 4. 소재와 표면 처리가 다른 플라스틱 시료
1: PMMA(투명), 2: PMMA(무광), 3: PMMA(패턴), 4: PET, 5: PVC, 6: PVC(투명), 7: PVC(표면가공), 8: PP, 9: PE

표 1. 기기 분석 조건

Instruments Used	: UV-3600 Plus & ISR-1503
Measurement Wavelength Range	: 200 nm to 2500 nm
Scanning Speed	: Intermediate
Sampling Pitch	: 1.0 nm
Photometric Value	: Transmittance
Slit Width	: (20) nm
Light Source Switching Wavelength	: 290 nm
Detector Unit	: External (3 Detectors)
Detector Switching Wavelength	: 870 nm/1650 nm
Grating Switching Wavelength	: 850 nm
S/R Changeover	: Reverse
Stair Correction	: Effective

그림 5는 시료 1번 ~ 3번의 총 투과율 스펙트럼과 확산 투과율 스펙트럼을 나타낸다. 1번 ~ 3번 시료는 모두 PMMA로 제작되었으며, 3개 시료 모두 총 투과율 스펙트럼은 400 nm 이상의 장파장 영역에서 약 90 %의 투과율을 보여준다. 확산 투과율 스펙트럼은 무광 처리 시료(2번)는 약 40 %의 투과율을, 줄무늬 패턴 시료(3번)의 경우 약 70 %의 투과율을 나타냈다. 이것은 시료의 표면 처리가 빛을 확산시키는 결과로 이어진다는 것을 보여준다. 그림 6은 (200 ~ 2500) nm 범위의 총 투과율 스펙트럼을 나타낸다. 결과는 PMMA가 1000 nm 이상의 장파장에서 빛을 흡수한다는 것을 보여준다. 1번에서 3번 시료는 같은 재료로 만들어졌기 때문에 거의 같은 파장에서 흡수를 나타낸다.

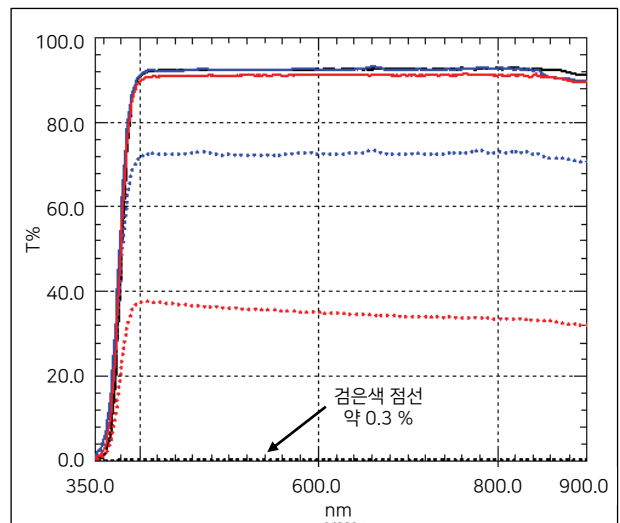


그림 5. PMMA 시료의 투과율 스펙트럼
직선: 총 투과율, 점선: 확산 투과율
검정: 시료 1(투명), 빨강: 시료 2(무광), 파랑: 시료3(패턴)

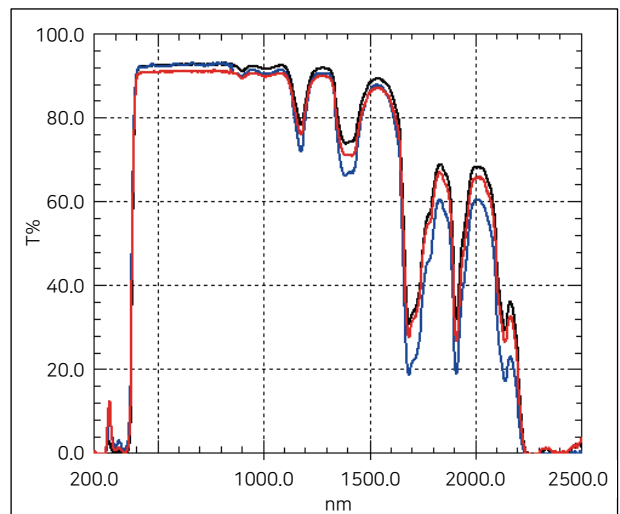


그림 6. PMMA 시료의 총 투과율 스펙트럼
검정: 시료 1(투명), 빨강: 시료 2(무광), 파랑: 시료3(패턴)

그림 7은 5번 ~ 7번 시료의 총 투과율 및 확산 투과율 스펙트럼을 나타낸다. 시료 5번부터 7번까지 사용된 주 재료는 PVC이다. 필름 시료의 총 투과율 스펙트럼은 400 nm 이상의 장파장 영역에서 약 90 %의 투과율을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 시트 시료는 약 600 nm에서 빛을 흡수하는 것으로 나타났다. 표면 처리된 7번 시료의 확산 투과율은 약 40 %인 것으로 스펙트럼에 나타나 광 확산의 근거를 보여준다.

그림 8은 (200 ~ 2500) nm 범위의 총 투과율 스펙트럼을 나타낸다. 결과는 같은 소재의 시료가 거의 동일한 파장의 빛을 흡수했으며, 시료 두께에 따라 흡수 정도가 다르다는 것을 보여준다.

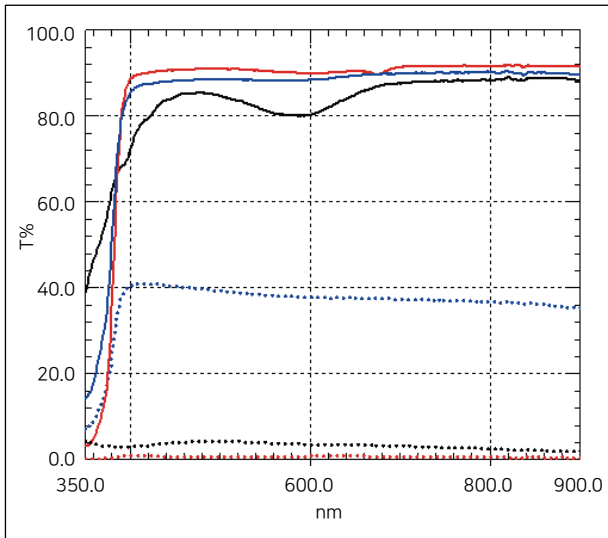


그림 7. PVC시료의 투과율 스펙트럼
 직선: 총 투과율, 점선: 확산 투과율
 검정: 시료 5(시트), 빨강: 시료 6(투명), 파랑: 시료 7(표면처리)

그림 9는 4번, 8번, 9번 시료에 대한 총 투과율 및 확산 투과율 스펙트럼을 나타낸다. 3개 시료 모두 총 투과율 스펙트럼은 400 nm 이상의 장파장 영역에서 약 90 %의 투과율을 보여준다. 또한 스펙트럼으로부터 (350 ~ 400) nm 파장에서 박막 시료(8번과 9번)의 투과율이 약 90 %인 것을 알 수 있다. 또한 모든 시료의 스펙트럼에서 확산 투과율은 낮게 나타났다.

그림 10은 (200 ~ 2500) nm 범위의 총 투과율 스펙트럼을 나타낸다. 결과로부터 4번 시료에 있는 성분이 1000 nm 이상의 긴 파장에서 빛을 흡수했다는 것을 알 수 있다. 또한 박막 시료는 거의 모든 파장에서 높은 투과율을 보여주었다.

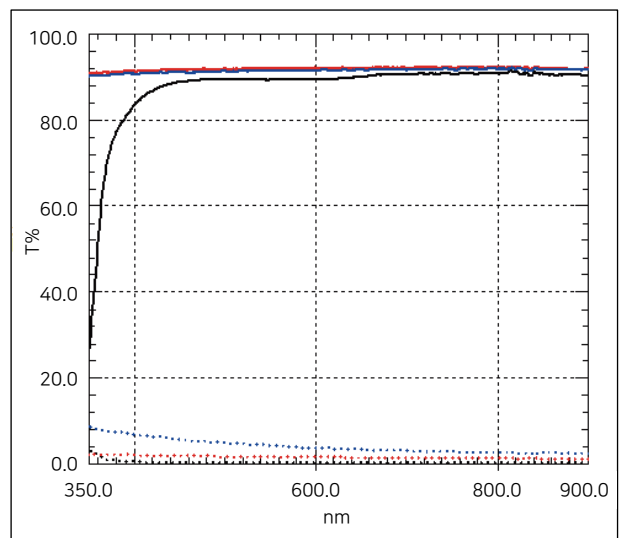


그림 9. 기타 플라스틱 시료의 투과율 스펙트럼
 직선: 총 투과율, 점선: 확산 투과율
 검정: 시료 4(PET 시트), 빨강: 시료 8(PP 필름), 파랑: 시료 9(PE 필름)

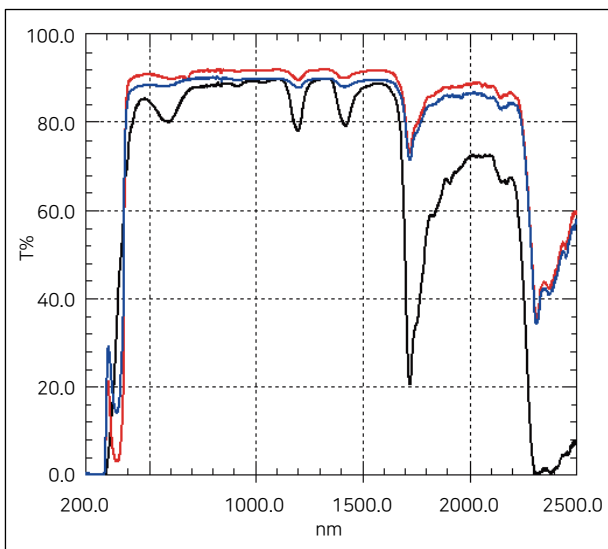


그림 8. PVC시료의 총 투과율 스펙트럼
 검정: 시료 5(시트), 빨강: 시료 6(투명), 파랑: 시료 7(표면처리)

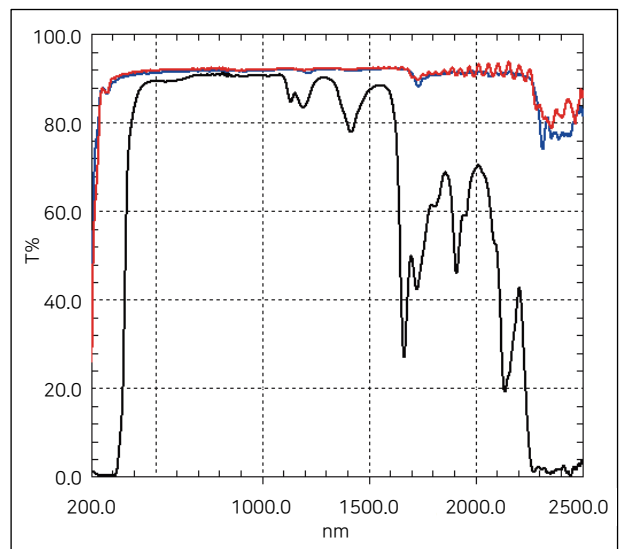


그림 10. 기타 플라스틱 시료의 총 투과율 스펙트럼
 검정: 시료 4(PET 시트), 빨강: 시료 8(PP 필름), 파랑: 시료 9(PE 필름)

표 2. 헤이즈(Haze) 및 가시광선/태양광 투과율

시료 종류	No.	소재	두께 (mm)	헤이즈 (%)	가시광선 투과율 (%)	태양광 투과율 (%)
Plate	1	PMMA (투명)	2.08	0.17	92.49	87.92
	2	PMMA (무광)	2.16	38.74	91.06	86.32
	3	PMMA (줄무늬, 텍스처)	3.15	78.26*3	92.36	86.85
	4	PET	1.99	0.11	89.38	86.53
	5	PVC*1	2.15	4.42	81.93	83.63
Film	6	PVC (투명)*2	0.303	0.48	90.35	89.04
	7	PVC (표면처리)*2	0.303	43.09*3	88.46	87.58
	8	PP	0.031	1.52	91.92	91.95
	9	PE	0.035	4.36	91.41	91.55

*1: Carboxylated, *2: Phthalic ester, *3: 참조용 값, JIS K 7136은 40 % 이하의 헤이즈 시료 측정에 적용 가능

색 분석 소프트웨어를 이용하여 총 투과율 및 확산 투과율 스펙트럼을 기준으로 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ 를 산출하였다. 색 분석 소프트웨어는 $L^*a^*b^*$, Munsell, XYZ 색표계 등 다양한 형식으로 결과를 얻을 수 있다. $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4$ 는 D65 표준광원을 기준으로 계산된 XYZ 색좌표의 Y값(색상 값)에 해당한다. 각 τ 값을 기준으로 산출된 헤이즈의 결과는 표 2와 같다. 표면 처리된 2번과 7번 시료는 결과는 약 40 %의 헤이즈 수치를 보였다. 또한 패턴 구조의 표면을 가진 3번 시료는 더 높은 헤이즈 수치를 나타냈음을 확인할 수 있다. 5번 PVC 시트 시료, 8번과 9번의 박막시료에서도 일부 헤이즈 수치가 측정되었다.

태양광 투과율 소프트웨어를 이용하여 계산한 가시광선/태양광 투과율 결과도 표 2에 함께 기술하였다. 주2 표면 처리된 시료를 포함한 모든 시료는 가시광선 및 태양광 투과율이 약 (80 ~ 90) %로 확인되었다. 이에 따라 시료에서 광도는 거의 변화되지 않으면서 빛이 확산되는 정도는 달라질 수 있다는 것을 짐작할 수 있다.

■ 결론

서로 다른 플라스틱의 총 투과율과 확산 투과율을 Shimadzu UV-3600 Plus에 ISR-1503 대형 적분구를 장착하여 측정 하였다. 각 시료의 헤이즈와 가시광선/태양광 투과율도 소프트웨어를 이용한 분석 결과로서 산출하였다. 스펙트럼 및 헤이즈, 가시광선/태양광 투과율 측정은 향후 더욱 정교한 재료와 제품의 특성을 평가하고 확인하는 데 적용할 수 있을 것으로 예상된다.

주 1: JIS K 7136은 Single beam의 사용을 가정하기 때문에 적분구에 보상 포트가 필요하다. UV-3600 Plus는 Double beam을 사용하고 ISR-1503에는 보상 포트가 없기 때문에 본 뉴스레터에서 사용된 방법은 JIS K 7136과 완전히 일치하지 않는다. 이러한 요인들이 헤이즈 측정 결과에 영향을 미치지 않는다는 가정하에 진행하였다. 헤이즈 계산 공식은 2010년 6월 1일에 작성된 에라타(Errotum)를 참조하십시오.

주 2: 태양광 투과율 소프트웨어는 (300 ~ 2100) nm 범위의 태양광 투과율을 계산한다. 사용자 정의 함수는 태양 투과율을 (300 ~ 2500) nm 범위에서 계산 가능하도록 할 수 있다.

■ 참고 문헌

- 1) ISO 14782, Plastics — Determination of haze for transparent materials
- 2) JIS K 7136, Plastics — Determination of haze for transparent materials