

광학개론 (15)

〈굴절률의 측정〉

18.5 V-블록을 이용한 굴절률 측정

이미 굴절률을 알고 있는 유리재료로 만들어진 V-블록을 이용하여 이 V-블록의 V자 모양으로 된 부분에 측정하고자하는 시료를 두면 서로 직각이 되게 연마하여 끼우고 V-블록과 시료로 이루어진 평행평판에 의해 빛이 얼마나 꺾여져 나가는가를 측정하여 이로부터 굴절률을 알아내는 방법이다. 정밀도는 보통 소수 4째자리까지 측정이 가능하며, 소수 3째 자리까지 믿을 수 있다. 이 방법에서 필요로 하는 시료는 분광계를 이용하여 측정할 때와 같이 면을 완전히 연마할 필요가 없고, V-블록과 시료 사이를 시료와 비슷한 굴절률을 갖는 액체로 채워 줌으로써 빛이 잘 투과하게 만들 수 있으므로 현장용의 측정장비로 적합하다. 이 방법은 주로 광학유리나 투명한 플라스틱의 굴절률 측정에 사용된다.

18.5.1 측정 장치

측정 장치의 개략도는 그림 18-13과 같이 생겼다. ①은 스펙트럼 광원램프로서 측정하고자하는 파장의 스펙트럼선을 내는 방전관이 사용된다. ②는 콘덴서 렌즈로 광원램프에서 나온 빛을 ④번의 슬릿 위에 모아 주어 슬릿에서



삼양광학공업주식회사
부설연구소 정해빈

의 빛의 강도를 높여주는 역할을 한다. ③은 간섭필터로 광원램프에서 나오는 스펙트럼선 중에서 원하는 선만을 선택할 수 있게 해 준다. ④번의 슬릿에서 나온 빛은 ⑤번의 콜리메이터 렌즈에 의해 평행광이 된 후 V-블록의 한쪽 면에 입사하게 된다. 이 빛은 V-블록과 피측정물로 이루어진 두면이 서로 평행한 블록내에서 꺾여져서 V-블록 밖으로 나오게 된다. V-블록 밖으로 나온 망원경 대물렌즈에 의해 십자선이 새겨져 있는 유리판 위에 결상되며, 접안렌즈에 의해 확대해서 관찰하게 된다. 이때 망원경은 그림에서 보여주듯이 회전시킬 수 있게 되어 있으며, 회전된 각도를 측정할 수 있도록 각도기와 버니어(아들자)가 달려 있다. ⑩번은 오토콜리메이션을 위한 프리즘이다.

18.5.2 측정 원리

V-블록의 한 면에 수직하게 입사한 광선이 그림 18-14에 보인 바와 같은 경로를 거쳐서 반대편 면의 법선과 β' 의 각도를 이루면서 나

온다고 하자. 이때 V-블록을 이루는 유리의 굴절률 n 과 측정된 값 β' 은 알고 있는 값이 되므로 측정하고자하는 시료의 굴절률 n' 을 이 값으로부터 유도해보도록 하자.

스넬의 법칙으로부터

$$n \cdot \sin i = n' \cdot \sin i' \quad (18-39)$$

$$n \cdot \sin \alpha = n' \cdot \sin \alpha' \quad (18-40)$$

$$n \cdot \sin \beta = \sin \beta' \quad (18-41)$$

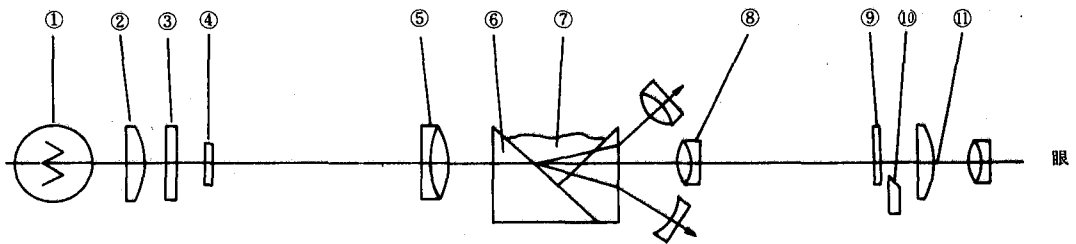
이 성립하며, i' 과 α' 사이에는

$$\alpha' = 90^\circ - i' \quad (18-42)$$

의 관계가 성립하므로

$$\begin{aligned} \sin \alpha' &= \sin(90^\circ - i') \\ &= \cos i' \end{aligned} \quad (18-43)$$

이 된다. 따라서 (18-40)식을 (18-43)식의 결과를 이용해서 다시 써주면



- ① 스펙트럼 광원 램프
- ② 콘덴서렌즈
- ③ 필터
- ④ 슬릿

- ⑤ 콜리메이터렌즈
- ⑥ V-블록 프리즘
- ⑦ 피측정물
- ⑧ 망원경 대물렌즈

- ⑨ 십자선
- ⑩ 오토콜리메이션용 프리즘
- ⑪ 접안렌즈

그림 18-13. 측정장치의 개략도

$$\begin{aligned} n\sin\alpha &= n'\sin\alpha' \\ &= n'\cos i' \\ &= n' \cdot \sqrt{1-\sin^2 i'} \end{aligned} \quad (18-44)$$

이 된다. (18-39)식으로부터

$$\sin i' = \frac{n}{n'} \sin i \quad (18-45)$$

이 된다. 이 결과를 (18-44)식에 대입하면

$$\begin{aligned} n\sin\alpha &= n' \sqrt{1 - \left(\frac{n}{n'}\right)^2 \sin^2 i} \\ &= \sqrt{(n')^2 - n^2 \sin^2 i}, \end{aligned} \quad (18-46)$$

$$n^2 \sin^2 \alpha = (n')^2 - n^2 \sin^2 i \quad (18-47)$$

이 된다. 이것을 n' 에 대한 표현으로 바꿔주면,

$$(n')^2 = n^2 (\sin^2 \alpha + \sin^2 i) \quad (18-48)$$

이 된다. α 와 β 사이에는

$$\beta + 90^\circ = \alpha + 45^\circ \quad (18-49)$$

$$\alpha = \beta + 45^\circ \quad (18-50)$$

의 관계가 성립하므로,

$$\begin{aligned} \sin\alpha &= \sin(\beta + 45^\circ) \\ &= \sin\beta \cos 45^\circ + \cos\beta \sin 45^\circ \\ &= \frac{1}{\sqrt{2}} (\cos\beta + \sin\beta) \end{aligned} \quad (18-51)$$

이 된다. 양변을 제곱해주면,

$$\begin{aligned} \sin^2 \alpha &= \left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)^2 (\cos\beta + \sin\beta)^2 \\ &= \frac{1}{2} (\cos^2 \beta + \sin^2 \beta + 2\cos\beta \sin\beta) \\ &= \frac{1}{2} + \cos\beta \sin\beta \end{aligned} \quad (18-52)$$

가 된다. 이 결과를 (18-48)식에 대입해주면,

$$(n')^2 = n^2 \left(\frac{1}{2} + \cos\beta \sin\beta + \sin^2 i\right) \quad (18-53)$$

이 되고, $i=45^\circ$ 이므로

$$\sin^2 i = \frac{1}{2} \quad (18-54)$$

이 되어 (18-53)식은

$$(n')^2 = n^2 (1 + \cos\beta \sin\beta) \quad (18-55)$$

이 되며, β 와 β' 사이에는

$$n\sin\beta = \sin\beta' \quad (18-56)$$

$$\sin\beta = \frac{\sin\beta'}{n} \quad (18-57)$$

의 관계식이 성립하므로,

$$\begin{aligned} (n')^2 &= n^2 \left(1 + \sqrt{1 - \sin^2 \beta'} \times \sin\beta\right) \\ &= n^2 \left(1 + \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \beta'}{n^2}} \times \frac{\sin\beta'}{n}\right) \end{aligned} \quad (18-58)$$

이 된다. 이 식을 정리하면,

$$n' = n \cdot \sqrt{1 + \sqrt{1 - \frac{\sin^2 \beta'}{n^2}} \times \frac{\sin\beta'}{n}}$$

$$= \sqrt{n^2 + \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta'}} \times \sin \beta' \quad (18-59)$$

이 된다. 따라서

$$n' = \sqrt{n^2 + \sin^2 \beta'} \sqrt{n^2 - \sin^2 \beta'} \quad (18-60)$$

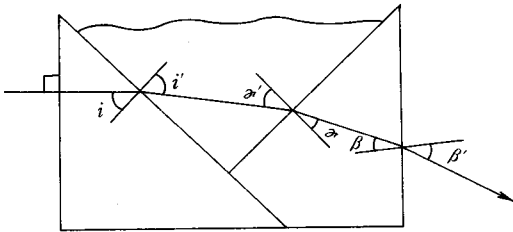


그림 18-14. 측정원리

18.5.3 측정 방법

(A) 시료의 준비

· 굴절률을 측정하고자하는 시료의 두 면을 그림 18-15와 같이 직각이 되도록 연마한다. 이때 직각을 이루는 두 면을 완전히 투명해질 때까지 연마할 필요는 없고, 메쉬 넘버(mesh number) 1000번 또는 이보다 다소 굵은 연마제를 사용하여 연마한 정도면 측정에 사용할 수 있다. 이때 두 면의 직각도는 1분 이내의 오차를 갖도록 하는 것이 바람직하다.

시료의 직각도는 그림 18-16과 같은 간이 직각 검사기를 써서 검사하는 것으로 족하다.

먼저 그림 18-16과 같이 기준 프리즘(두 면이 정확히 직각을 이루는 프리즘)을 놓고 다이얼 게이지의 눈금을 0에 맞춘다. 그 다음 기준 프리즘을 치우고 직각으로 연마한 시료를 바닥면에 밀착시키면서 앞으로 밀어 다이얼 게이지

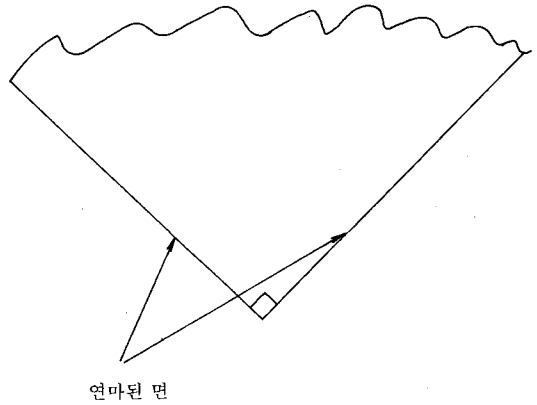


그림 18-15. 시료의 준비

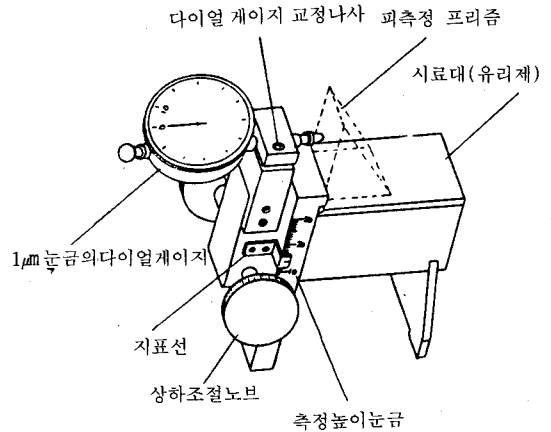


그림 18-16. 간이 직각도 검사기

의 눈금을 읽는다. 이 눈금값과 각도오차간의 관계식은 그림 18-17의 기호들을 써서 나타내면 다음과 같다.

$$\tan \theta = \frac{a}{h} \quad (18-61)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{a}{h} \right) \quad (18-62)$$

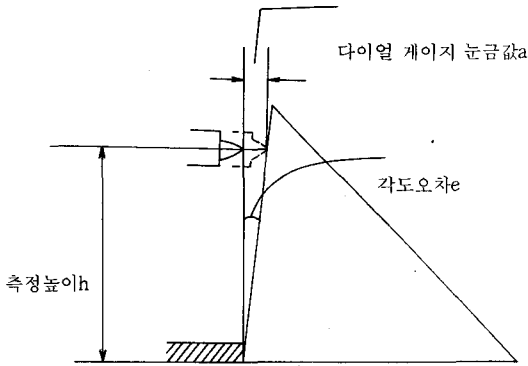


그림 18-17. 직각도 오차의 계산

(B) 측정 범위

통상적으로 V-블록 프리즘은 굴절률이 1.5인 것과 굴절률이 1.7인 두가지가 준비되어 있어서 굴절률이 1.5인 프리즘으로는 1.25~1.70의 범위를 측정하며, 굴절률이 1.7인 프리즘으로는 1.50~2.00의 범위를 측정할 수 있도록 되어 있다.

(C) 측정 순서

a) 광원의 점등

- ① 메인 스위치를 올린다.
- ② 헬륨 램프 또는 수소 램프의 스위치를 올린 후 스타트 버튼을 약5초간 눌러준다.
- ③ 램프 선택용 핸들을 밀거나 당겨서 슬릿을 조명해주는 광원의 종류를 선택한다.
- ④ 내장되어 있는 램프에 의해서 C, d, F선에 대한 굴절률을 측정할 수 있으나 e선등과 같은 다른 스펙트럼선에 대한 굴절률을 측정하

고자 할 때에는 별도의 외부광원을 사용해야 한다.

b) 0점의 확인

① V-블록 프리즘을 프리즘대 위에 설치한다. 프리즘의 높이는 V-블록 프리즘 아래의 빛이 통과하도록 되어 있는 부분이 콜리메이터의 광축에 맞도록 높이를 조절해준다.

② 망원경 십자선 위에 슬릿의 상을 일치시킨 후 그때의 각도를 읽는다. 이때의 값이 0점에 해당한다. 이 값이 45°00'이면 0점이 정확히 맞는 것이다. 만약 차가 있으면 측미(測微)나사를 써서 0.1'까지 측정한다. (계산식을 유도할 때에는 이 0점이 0도가 되는 것으로 계산했으나 이렇게 할 경우 음과 양의 각도가 모두 나오므로 0점을 45°로 이동시켰다.)

③ 0점에 오차가 있으면 측정값을 보정해주어야 한다. 이러한 보정을 피하기 위해서 다음과 같이 0점을 보정할 수 있도록 되어 있다. 각도기의 45°선과 버니어의 0이 되는 선을 일치시킨 후, 본체 커버위의 뚜껑을 열고 조정용의 나사를 돌려 망원경의 십자선 위에 슬릿의 상이 오게 한다.

c) V-블록 프리즘의 조정

- ① 오토 콜리메이션 램프 스위치를 올린다.
- ② V-블록 프리즘을 최대한 아래로 내린다.
- ③ 망원경은 0점 위치에 고정시킨 후 프리즘을 오토 콜리메이션 시킨다. 프리즘 홀더에 있는 2개의 나사를 써서 상의 상하 방향 벗어남을 수정한다. 이때 십자선과 콜리메이션된 상

간의 간격이 시야내에서 0.5mm 정도가 되게 한다.

d) d선 (파장 587.6nm)에서의 굴절률 측정

① 헬륨 램프를 켜고 587.6nm의 필터를 삽입구에 끼운다.

② 적당한 굴절률의 액체를 문힌 시료를 V-블록 프리즘에 올려 놓는다. 프리즘에 시료를 올려 놓을 때에는 위에서 약간 눌러준다. 이때 시료가 좌우로 흔들리지 않게 주의해야 한다. 시료가 흔들리면 V-블록에 흠집이 생기기 쉽다.

③ 각도기 미동나사의 고정나사를 풀어 망원경을 회전시켜 십자선에 슬릿의 상을 합치시켜 각도기와 버니어를 써서 각도를 측정한다.

e) C선(파장 656.3nm)과 F선(파장 486.1nm)에서의 굴절률 측정

① 광원을 헬륨 램프에서 수소 램프로 바꿔준다.

② 필터를 656.3nm의 것으로 바꾸고 C선에서 망원경의 십자선과 슬릿의 상이 일치하는 각도를 측정한다.

③ 필터를 486.1nm의 것으로 바꾸고 F선에서 망원경의 십자선과 슬릿의 상이 일치하는 각도를 측정한다.

f) 0점 오차의 보정 방법

0점을 기계적으로 보정해주지 않은 경우에는 아래의 식을 써서 수치적으로 보정해준다.

$$\text{(보정된 측정값)} = \text{(측정값)} - \text{(0점의 오차값)} \quad (18-63)$$

이때 0점 오차의 부호는 0점이 45°보다 큰 경우를 양으로, 45°보다 작은 경우를 음으로 한다.

e) 굴절률을 구하는 방법

통상적으로 측정된 각도값에 해당하는 굴절률값은 미리 계산해 놓은 수표(數表)를 사용하여 굴절률값을 알아내지만 수표가 없는 경우에는 (18-63)식에 의해 보정된 값에서 45°를 뺀 각도를 (18-60)식에 대입하여 값을 구해주면 된다.

f) 접촉액체

이 방법에 의해 굴절률을 측정할 때 정확도를 높이기 위해서는 접촉액과 시료간의 굴절률차를 작게 해야 한다. 이러한 목적으로 굴절률을 이미 알고 있는 여러 가지 액체들이 사용된다. 또한, 서로 굴절률이 다른 액체들을 혼합함으로써 그 중간 굴절률값을 갖는 액체를 만들 수 있다.