

## Heterodyne 간섭계를 이용한 공기굴절율의 절대측정

엄태봉 · 엄천일 · 정명세

한국표준과학연구원 역학연구부

### 양 준 목

충남대학교 자연과학대학 물리학과

(1996년 1월 29일 받음)

횡자장하에서 Zeeman 안정화된 He-Ne 레이저를 광원으로 한 두 종류의 공기굴절율 측정용 간섭계를 설계·제작하였다. 제작된 간섭계는 레이저 광속이 진공조와 기체조를 2번 혹은 4번 지나도록 설계하여 분해능을 향상시켰으며 그 경로가 진공조를 중심으로 대칭적으로 지나도록 설계하여 열적인 변형 및 기계적인 진동에 강한 특성을 갖도록 하였다. 진공조와 기체조 사이의 광로차를 위상각 검출 방식의 heterodyne 간섭계로 측정하므로써 homodyne 간섭계에서 발생하는 간섭무늬 해석 오차를 최소화시켜 공기굴절율 측정의 정확도를 향상시켰다. 제작된 두 굴절율계를 이용하여 여러 조건에서 공기굴절율을 측정한 결과 평균값에서의 상호 편차는  $2 \times 10^{-8}$  이하였으며 Edlen공식을 이용한 굴절율계와의 편차는  $1 \times 10^{-7}$  이하였다.

### 1. 서 론

공기중의 광속도에 대한 진공의 광속도 비로 정의되는 공기굴절율 측정에 관한 연구는 오래전부터 진행되었으며 측정의 정확도 또한 다른 매질에 비해 매우 높은 수준을 얻고 있다. 공기굴절율 측정에 관한 연구가 다른 매질에 비해 활발한 것은 빛의 간섭현상을 이용한 정밀측정이 대부분 공기중에서 이루어지기 때문이다. 즉, 마이켈슨 간섭계에서 이동거울의 움직임 거리(L)는 다음 식으로 표현되는데 이 식 속에 공기굴절율 n이 포함 되기 때문에 n을 정확하게 측정해야 한다.

$$L = \frac{\lambda_{air}}{2} \cdot (N + \theta) = \frac{\lambda_{vac}}{2} \cdot \frac{1}{n} (N + \theta) = \frac{C}{2} \cdot \frac{1}{f} \cdot \frac{1}{n} (N + \theta) \quad (1)$$

여기에서  $\lambda$ 는 광원의 파장, C는 진공에서의 광속도, f는 광원의 주파수, N은 간섭무늬 변화계수량(정수)이고  $\theta$ 는 간섭무늬 위상차를  $2\pi$ 로 나눈 값이다.

윗 식에서 볼 수 있듯이 L의 정확도는 f, n, N,  $\theta$ 의 정확도와 관련되는데 N은 전자 계수기의 정확도로 무시가 가능하며  $\theta$ 는 간섭무늬의 세기를 분할하는 전자장치 및 간섭계의 비선형성에 의한 것으로 수 nm 수준의

값을 갖는다. f는 주파수 안정도에 의한 것으로 633 nm He-Ne 레이저의 경우  $5 \times 10^{-9}$  이상의 주파수 안정도를 쉽게 얻을 수 있다.<sup>[1,2]</sup> 그러나 공기굴절율의 경우 현재 세계적으로 얻을 수 있는 가장 높은 정확도는  $2 \times 10^{-8}$  수준으로 실용적인 길이 측정에서의 정확도는 공기굴절율 측정의 정확도에 의해 많은 제약을 받는다. 공기굴절율은 레이저간섭계를 이용하여 직접측정하는 방법과<sup>[3,4]</sup> 공기의 상태, 즉 온도, 습도, 기압, CO<sub>2</sub> 농도 등을 측정정한 후 Edlen 공식에 대입하여 간접적으로 구하는 방법이 있다.<sup>[5,6]</sup> 전자의 방법은 높은 정밀·정확도로 공기굴절율을 측정할 수 있으나, 장치 구성이 복잡하고 이동이 어렵기 때문에 대부분 실험용으로 제한되어 있다. 후자의 방법은 높은 정확도를 갖는 온도, 습도, 기압, CO<sub>2</sub> 농도 측정장치와 컴퓨터로 구성되어 있는데, 실험적으로 구한 계산식인 Edlen 공식에 각 측정량을 대입하여 공기굴절율을 계산한다. 이 방법은 각 측정기의 오차와 Edlen 공식의 정확도에 제약을 받으며 공기중에 특이 기체가 많이 포함되어 있을 경우 측정 정확도가 낮게 된다.

본 연구에서는 횡자장하에서 Zeeman 안정화된 He-Ne 레이저를 광원으로 사용한 두 종류의 공기굴절율 측정용 간섭계를 설계·제작하였다. 제작된 간섭계는 레이저 광속이 진공조와 기체조를 2번 혹은 4번 지나도록 설계되어 분해능을 향상시켰으며 그 경로가 진공조를 중

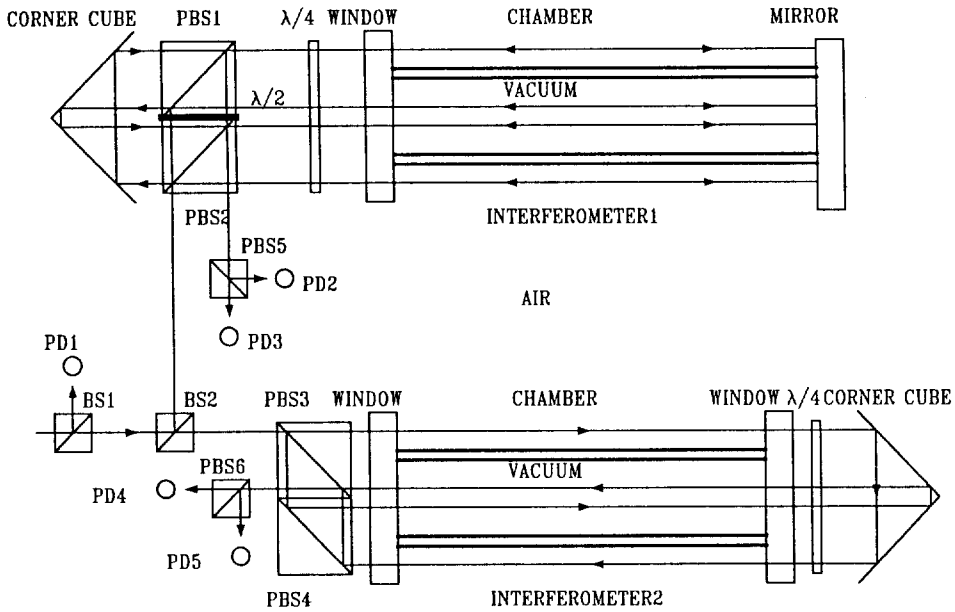


그림 1. 간섭계의 구조.

심으로 대칭적으로 지나도록 하여 열적인 변형 및 기계적인 진동에 강한 특성을 갖고 있다. 한편 진공조와 기체조 사이의 광로차를 위상각 검출방식의 heterodyne 간섭계로 측정하므로써 homodyne 간섭계에서 문제가 되는 간섭무늬 해석 오차를 최소화시켰으며 heterodyne 간섭계에서 발생하는 비선형 오차를 감소시킬 수 있는 방법을 적용하였다. 제작된 두 굴절율계와 Edlen 공식의 굴절율계를 이용하여 여러 환경 조건에서 공기굴절율을 측정하여 두 굴절율계의 정확도 및 Edlen 공식의 유효성을 평가하였다.

## II. 장치제작

### 1. 광학계

그림 1에 공기굴절율 측정용 간섭계의 개략도가 있다. 횡자장하에서 Zeeman 안정화된 He-Ne 레이저에서 발진된 레이저 광속(발진광속은 주파수가 서로 다른 수직, 수평의 두 편광성분으로 되어 있음)은 광속분할기(BS2)에서 둘로 분리되어 간섭계 1과 간섭계 2로 입사된다. 간섭계 1에 입사된 광속은 편광광속분리기(PBS3)에서 수직편광성분과 수평 편광성분으로 분리된다. 편광광속분리기를 통과한 수직편광성분은 기체조를 통과하고  $\lambda/4$  판을 지나면서 원형편광으로 바뀐다. 이 성분은 corner cube에서 반사되고  $\lambda/4$  판을 지나면서 수평편광성분으로

바뀐다. 이 광속은 기체조의 반대쪽을 지나고 편광광속분리기(PBS4)에서 반사된 후 다시 편광광속분리기(PBS3)에서 반사되어 광검출기에 입사된다. 한편 편광광속분리기에 반사된 수평편광성분은 다시 편광광속분리기(PBS4)에서 반사되어 진공조를 지나게 되는데 위에서 설명한 것과 비슷한 경로를 거쳐 최종 편광광속분리기(PBS3)를 통과하면서 기체조를 통과한 광속과 혼합한다.

한편 간섭계 2에 입사된 빛은 편광광속분리기(PBS2)에서 수직성분은 통과되고 수평 성분은 반사된다. 반사된 성분은  $\lambda/4$  판을 통과한 후 원형편광이 되어 기체조를 통과하고 chamber의 반사경에서 반사된다. 이 빛은 동일 입사경로를 거쳐  $\lambda/4$  판을 다시 통과하면서 수직편광성분으로 변환된다. 이 수직성분은 편광광속분리기(PBS2)를 통과한 후 코너 큐브에서 반사되어 편광광속분리기(PBS1)를 통과하게 된다. 편광광속분리기(PBS1)를 통과한 빛은 다시  $\lambda/4$  판, 기체조, 반사경, 기체조,  $\lambda/4$  판을 거치면서 수평편광성분이 되어 편광광속분리기(PBS1)에서 반사된다. 이 반사된 광속은  $\lambda/2$  판을 통과하면서 수직편광으로 바뀐 다음 편광광속분리기(PBS2)를 통과하여 광검출기에 입사된다. 한편 처음 편광광속분리기(PBS2)를 통과한 수직성분은  $\lambda/2$  판에 의해 수평성분으로 바뀌어 편광광속분리기(PBS1)에서 반사된다. 반사된 광속은  $\lambda/4$  판, 진공조, 반사경, 진공조,  $\lambda/4$  판을 거치면서 수직편광으로 변환되어 편광광속분리기(PBS1)를 통과한 후

코너큐브에 의해 반사된다. 이 광속은 편광광속분리기 (PBS2)을 통과하여  $\lambda/4$ 판, 진공조, 반사경, 진공조,  $\lambda/4$ 판을 거치면서 수평편광으로 변환되어 편광광속분리기 (PBS2)에서 반사된 후 광검출기에 입사된다.

간섭계 1은 2중 경로를 거치게 되고 간섭계 2는 4중 경로를 거치게 된다. 이렇게하므로써 광학적으로 분해능을 2배 혹은 4배 확장시켰다. 한편 검출기 쪽으로 입사된 빛은 수평·수직방향에 대해  $45^\circ$ 로 놓여진 편광광속분리기(PBS5, PBS6)에서 간섭되어 각각 두 개의 광검출기(PD2, 3과 PD4, 5)에 입사되어 맥놀이신호가 검출된다. 이 두 광검출기는 heterodyne 간섭계의 비선형성을 감소시키기 위해 사용된다. Heterodyne 간섭계의 비선형성은 레이저 편광의 비직교성 및 타원도, 편광광속분리기의 불완전성에 기인된다. 최근 Hou에 의해 비선형오차를 감소시킬 수 있는 방법이 제시되었는데 간섭계를 통과하고 나온 빛을 레이저 편광에 대해  $45^\circ$  기울어진 편광광속분리기에서 둘로 분리하여 각각 맥놀이신호를 검출한 후 얻어진 광 경로차를 평균하면 레이저 편광의 비직교성 및 타원도에 의한 비선형성이 감소된다.<sup>[7]</sup>

위의 두 간섭계는 진공조를 중심으로 대칭되게 레이저 광속이 통과하도록 하여 온도 변화에 따른 열적 변형 및 진동에 의한 영향이 최소화되도록 하였으며, 다른 구조의 간섭계를 두 종류 설계·제작하여 각각 굴절율을 측정하므로써 정확도를 상대적으로 비교 평가할 수 있도록 하였다.

## 2. Cell

간섭계의 두 팔로써 진공화시키거나 측정할 공기를 채우는데 사용되는 chamber는 간섭계 종류에 따라 길이가 다른 두 종류의 cell(간섭계 1: 153 mm, 간섭계 2: 172 mm)을 제작하였다. 그리고 길이가 다른 cell에 따라 모양이 다른(내측에 원통형 진공조와 외측에 측정하고자 하는 기체를 담을 수 있는 기체조를 위한 두 개의 원통이 동심으로 설치되어 있는 것과 내측의 진공조만 있고 외측 원통이 없는 것) 두 종류를 제작하여 총 4개의 cell을 제작하였다. 최종 실험에서는 기체를 따로 채울 기체조용의 원통이 없는 후자의 것을 사용하였다. 그림 2는 측정에 사용한 cell의 개략도이다. Cell은 내경 18 mm, 외경 21 mm의 pyrex관을 사용했으며 실제 만들고자 하는 길이보다 2 mm 크게 가공하였다. Window는 외경이 50.8 mm, 두께 10 mm의 fused quartz이며 양면의 평면도는  $\lambda/20$ , 평행도는 1분으로 제작하였다. Window의 한쪽 면은 내경 17 mm, 외경 22 mm의 ring 모양의 홈을

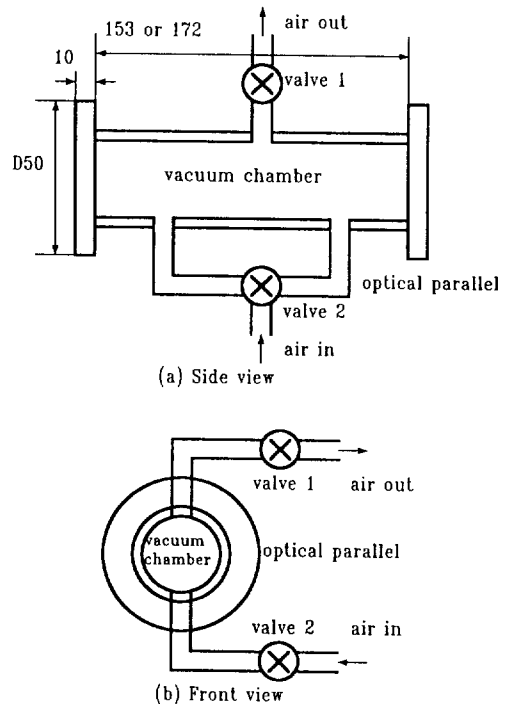


그림 2. Cell의 개략도.

깊이 1.5 mm로 가공하여 이 홈에 pyrex관이 정착되도록 하였다. 간섭계 1에 사용되는 두 개의 window와 간섭계 2의 한 window의 양 면은 모두 무반사 코팅을 하였으며 다른 한 window의 앞 면은 전반사 코팅을 하였다(전반사 코팅의 반사율은 99%로 투과되는 일부의 빛을 이용하여 광학계를 정렬하는데 사용하였다).

Window와 pyrex관의 고정방법은 다음과 같다. 우선 window 한쪽 면의 ring 홈에 진공용 torr seal을 바른 후 pyrex관을 정착시켰다. 이때 직각 block을 이용하여 window의 면과 pyrex관이 수직으로 고정되도록 하였다. 한쪽 window와 pyrex관이 완전히 고정된 후 만들고자 하는 길이의 게이지블록 두 개를 선택하여 window 한쪽 면의 두 곳에 각각 밀착시킨 후 그 게이지블록을 기준으로 다른 window를 pyrex관에 고정시켰다. 이때 게이지블록과 window 사이의 간섭무늬 갯수가 적게 되도록 조절을 하므로써 두 window의 평행도를 맞추었다. 접착이 완벽하게 이루어진 후 진공검사를 하였다(기체조가 별도로 있는 cell의 경우 접착에 어려움이 있어 진공검사시 새는 경우가 발생되었으며 두 window 사이의 거리를 평행으로 조절하는데 문제점이 있어 실제 실험에 사용하지 않았음).  $10^{-3}$  torr 이상의 진공도가 확인되면 window 사이의 거리를 삼차원측정기와 게이지블록을

로 비교측정하였다. 측정결과 길이는 153.004 mm와 172.004 mm였으며 평행도는 3 μm 미만이었다. 따라서 총 광경로는 306.008 mm(153.004 mm×2)와 688.016 mm(172.004 mm×4)이다.

3. 전자장치

본 실험에 적용한 heterodyne 광검출법의 원리는 다음과 같다. 그림 1에서 광소자 PD1에서 검출된 즉, 레이저 자체의 수직,수평 편광성분은 아래의 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} E_r(0^\circ) &= A_r(0^\circ) \exp[-i2\pi(f_1 t)] \\ E_r(90^\circ) &= A_r(90^\circ) \exp[-i2\pi(f_2 t)] \\ &= A_r(90^\circ) \exp[-i2\pi(f_1 + f_b)t] \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $A_r$ 은 진폭,  $f_1$ 과  $f_2$ 는 수직·수평 편광성분의 주파수,  $f_b$ 는 맥놀이 주파수로 본 장치의 경우 250 khz 정도이다. (2)식으로부터 광소자에서 검출되는 빛의 세기는 다시 아래의 식으로 표현된다.

$$I_r = 1/2[A_r(0^\circ)^2 + A_r(90^\circ)^2 + 2A_r(0^\circ) \cdot A_r(90^\circ) \cos(2\pi f_b t)] \quad (3)$$

한편 간섭계를 거쳐나온 후 광소자에 입사되는 두 편광성분은 아래의 식으로 표현 된다.

$$\begin{aligned} E_m(0^\circ) &= A_m(0^\circ) \exp[-i2\pi(f_1 t + L_1/\lambda)] \\ E_m(90^\circ) &= A_m(90^\circ) \exp[-i2\pi(f_2 t + L_2/\lambda)] \end{aligned} \quad (4)$$

여기서  $L_1, L_2$ 는 기체조와 진공조를 지나는 광경로이다. (3)식으로부터 광소자에서 검출되는 빛의 세기는 다시 아래의 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} I_m &= 1/2[A_m(0^\circ)^2 + A_m(90^\circ)^2 + 2A_m(0^\circ) \cdot A_m(90^\circ) \cos(2\pi f_b t + \delta)] \\ &= 1/2[A_m(0^\circ)^2 + A_m(90^\circ)^2 + A_m(0^\circ) \cdot A_m(90^\circ) (\cos 2\pi f_b t \cos \delta - \sin 2\pi f_b t \sin \delta)] \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $\delta$ 는  $2\pi(L_1 - L_2)/\lambda$ 인데 두 cell 사이에 광경로가 다르게 되면  $\delta$ 가 변하게 되어 기준신호  $I_r$ 과 측정신호  $I_m$  사이에 위상차가 발생된다. 따라서 두 맥놀이 신호의 위상차를 연속적으로 측정하여 누적하면 두 chamber 사이의 광로차 변화를 측정할 수 있다.

그림 3은 간섭계의 신호처리제이다. 기준신호  $I_r$ 은 90° divider에 의해 원래의 신호와 90° 위상이 다른 두 신호로 변환되고 측정신호  $I_m$ 은 0° divider에 의해 위상이 같은 두 신호가 된다. 한편 이 두  $I_m$  신호는 mixer에서  $I_r$ 의 두 신호와 곱해지고 시간 평균되어 low pass filter를

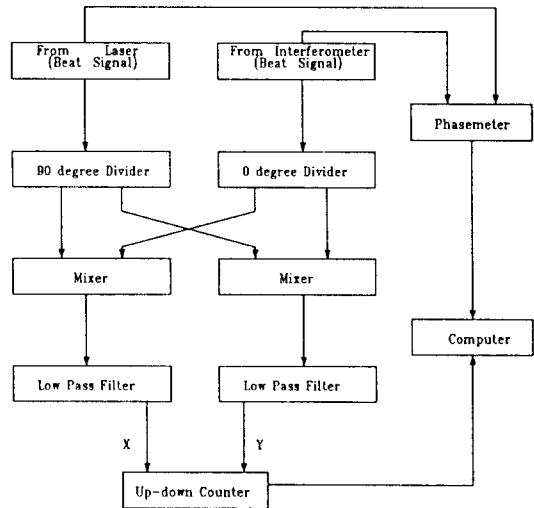


그림 3. 위상차 검출을 위한 전자제.

통과한 빛은 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} X &= A \cos \delta \\ Y &= A \sin \delta \end{aligned} \quad (6)$$

즉, 두 chamber 사이에 광로차가  $\lambda$  변하게 되면 X, Y 신호는 한 주기 변하게 되는데 이 위상이 90° 차이나는 X, Y 두신호가 양방향계수기에 입력되어 두 chamber 사이의 광로차 변화를  $\lambda$  단위로 측정할 수 있다. 한편  $I_r$ 과  $I_m$ 은 phase meter에 직접 입사되어  $\delta$ 가  $\lambda/360$  (1° 위상에 해당됨)의 높은 분해능으로 측정된다. 1절에서 설명했듯이 heterodyne 간섭계의 비선형오차를 줄이기 위해 간섭계를 통과한 빛은 45도 회전된 편광광속분리기에서 둘로 분리된 후 광소자에 각각 입사된다. 이 광소자에서의 두 맥놀이신호와 기준맥놀이 신호 사이의 위상차를 각각 측정하여 평균값을 취하였다. 본 실험에서는 4개의 광소자(PD<sub>2</sub>, PD<sub>3</sub>, PD<sub>4</sub>, PD<sub>5</sub>)에서 측정신호  $I_m$ 을 각각 검출하여 광로차를 검출하기 때문에 그림 3의 전자제어계를 4개 구성하였다.

4. 공기조절 및 환경측정장치

그림 4는 공기조절 및 환경측정장치의 개략도로 그림에서는 하나의 간섭계만을 그려 설명하고 있다. 실험에서는 공기 주입부와 진공부는 두 간섭계에 서로 연결되어 있어 두 간섭계에 동일한 환경조건이 설정되도록 하였다. 한편 각 간섭계의 chamber들은 온도변화 및 구배가 매우 적어야 하기 때문에 전체의 간섭계를 2중의 아크릴 박스로 둘러싸아 외부 공기와 차단시켰으며 얇은

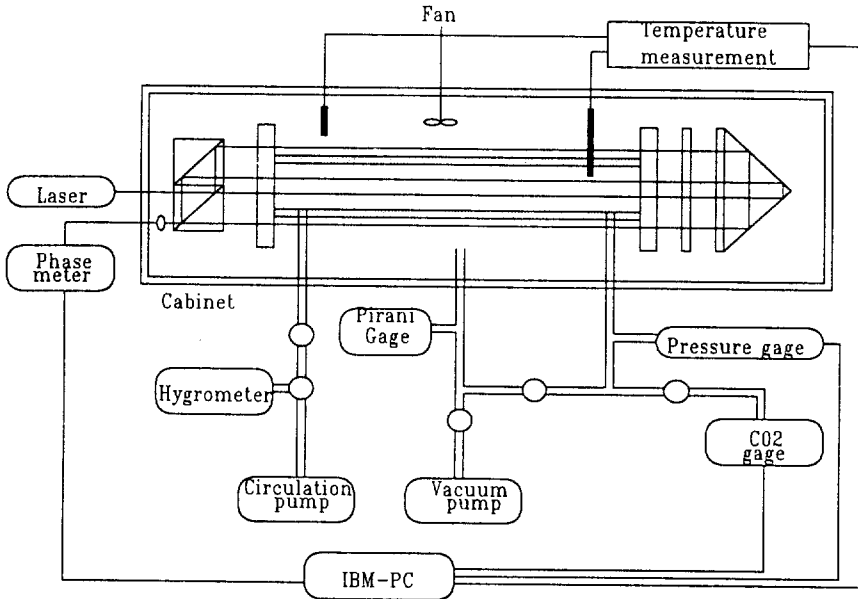


그림 4. 공기조절 및 환경측정장치의 개략도.

표 1. 환경측정장치의 오차에 의한 공기굴절율 측정의 오차요인.

항목	측정 불확도	굴절율 측정의 정확도
온도	$\pm 0.002^{\circ}\text{C}$	$\pm 0.2 \times 10^{-8}$
기압	$\pm 0.026 \text{ mbar}$	$\pm 0.7 \times 10^{-8}$
습도	$\pm 2\% \text{ RH}$	$\pm 2 \times 10^{-8}$
CO <sub>2</sub> 농도	$\pm 20 \text{ ppm}$	$\pm 0.3 \times 10^{-8}$
종합정확도		$\pm 2.5 \times 10^{-8}$

스티로폴로 외벽을 최종 마감처리하였다. 진공조를 진공으로 만들기 전의 진공조 공기 조건과 진공조 밖의 공기 조건이 같고 진공조 밖의 공기에 온도 구배가 매우 적어야만 정확한 측정이 가능하기 때문에 공기를 적당하게 순환시킬 필요가 있다. 따라서 진공조 내부의 공기 순환은 습도계에서 부착된 순환 펌프를 사용하도록 하였으며 항온상자 전체의 공기순환을 DC 모터에 부착된 소형 팬을 사용하도록 하였다.

한편 Edlen 공식의 정확도를 평가하기 위하여 공기의 상태를 측정하기 위한 계측기가 설치되어 있다. 측정표본의 온도, 압력, 습도, CO<sub>2</sub> 농도 값들은 프로그램에 따라 각 측정기들로 부터 컴퓨터에 전송되어 Edlen 공식에 의한 공기굴절율 값을 계산하여 간섭계에 의한 값과 비교된다. 본 실험에 사용된 각 측정기의 측정 불확도가 공기굴절율 측정에 미치는 정확도를 표 1에 있는데 종합

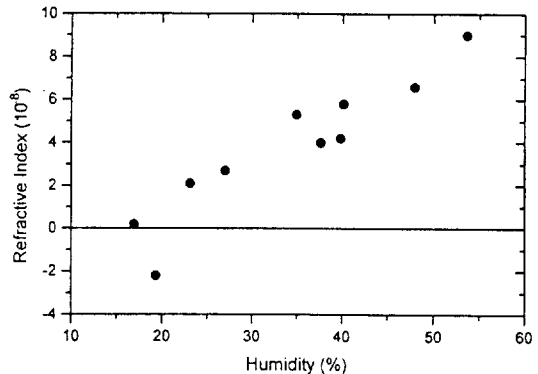


그림 5. 상대습도에 따른 공기굴절율 측정 결과.

정확도는 약  $2.5 \times 10^{-8}$  정도로 일반적으로 알려진 계산식의 정확도 보다 높다.

### III. 실험

실험은 온도와 습도가 조절되는 항온 항습실에서 수행하였다. 이 항온 항습실의 온도조절범위는 15~25°C, 습도조절범위는 40~60% RH이다. 실험실 전체의 온도구배는 0.5°C 미만이었으며, 측정지점에서의 온도구배는 0.02°C 미만이었다. 측정은 Edlen 공식을 이용한 굴절율계와 레이저 간섭을 이용한 공기굴절율계로 동시에 공기굴절율을 계산하여 상호 비교하였다.

측정방법은 아래와 같다. 처음 진공 chamber는 공기로 채워지고 천천히 외부 공기를 순환시켜 chamber 안과 chamber 바깥의 공기 조건이 같도록 만든 후 phase meter로 두 맥놀이 신호의 위상차( $\delta_1$ )를 측정한다. 다음 chamber 안을 천천히 진공으로 만들면서 양방향계수기로 위상차의 변화를  $\lambda$  단위로 계수한다. Chamber 안이 완전 진공이 된 후 다시 phase meter로 위상차( $\delta_2$ )를 측정하여 공기굴절율( $n$ )을 다음 식으로 계산한다.

$$L(n-1) = \lambda [N + (\delta_2 - \delta_1)/360^\circ] \quad (7)$$

여기서  $L$ 은 간섭계의 총광경로이고  $N$ 은 양방향계수기로 계수한 정수의 값이다. 한편 이 측정과 함께 Edlen 공식의 유효성을 파악하기 위해 공기의 온도, 습도, 기압, CO<sub>2</sub> 농도가 측정된다. 그림 5는 측정결과로 상대습도에 따른 간섭계 1, 2의 평균값과 Edlen 공식 차이를 보여 주고 있다. 습도에 대한 효과를 파악하기 위해 건조제로 내부공기를 건조시킨 후 매우 느린 속도로 가습을 하여 습도의 변화폭을 넓게 하였다. 측정결과 간섭계 1, 2의 경우 평균값에서의 상호 편차는  $2 \times 10^{-8}$  이하였으며 두 값 사이에 어떤 특별한 경향성이 없었다. 한편 간섭계와 Edlen 공식의 사이의 편차는  $1 \times 10^{-7}$  이하였는데 특히 습도가 높을 경우 Edlen 공식의 값과 간섭계의 값이 많이 차이 났다. 이런 현상은 Birch가 지적한 것과 유사하다.<sup>[8]</sup> 즉, 지금까지 사용하였던 Edlen 공식이 높은 습도에서는 잘 맞지 않는다는 것을 보여 주고 있다.

#### IV. 결 론

구조가 다른 2종류의 공기굴절율 측정 간섭계를 설계, 제작하였다. 이 간섭계는 heterodyne 검출법을 적용하므로써 일반 homodyne 간섭계의 간섭무늬 해석 방식에서 문제되었던 dc 잡음을 제거하였으며 heterodyne 간섭계에서 발생하는 비선형성을 제거할 수 있는 방법을 사용함으로써 공기굴절율 측정 정확도 향상을 기했다. 한편 이 굴절율계에 사용할 목적으로 633 nm에서 발진하는 내부 반사경형 He-Ne 레이저의 주파수를 횡자장 하에서 안정화시켜 2중 주파수 heterodyne 간섭계에

적용하였다.

두 개의 기체 chamber는 pyrex관과 그 양단에 fused quartz를 접착시켜 제작하였다. 각 chamber의 길이는 153 mm와 172 mm로 하였으며 전자의 것은 2중 path, 후자의 것은 4중 path를 거치도록 하여 총광경로는 306 mm와 688 mm가 된다. 한편 이 굴절율계는 대칭적인 double-beam interferometer로 레이저에서 발진된 광속 중 한 편광 성분은 측정할 공기속을 지나고 다른 편광 성분은 기준으로 사용되는 진공의 chamber 속을 지나는데 이 두 광경로가 진공조를 중심으로 대칭되게 설계하여 열이나 진동 등 외부 교란에 의한 불안정을 최소화하도록 하였다.

여러 공기 조건에서 측정한 결과 두 간섭계의 경우 평균값에서의 편차는  $2 \times 10^{-8}$  이하였으나 두 간섭계의 측정값과 계산에 의한 측정값은  $1 \times 10^{-7}$ 의 차이가 있었다. 이것은 지금까지 알려졌던 Edlen 공식의 정확도인  $\pm 5 \times 10^{-8}$ 과 비슷하며 특히 습도가 높을 경우 이 편차가 크게 나타났는데 이 현상 역시 최근 Birch가 지적한 사항과 잘 일치하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 엄태봉, 임재선, 원종욱, 정명세, 새물리, **26**, 26 (1985).
- [2] 엄태봉, 박진원, 정명세, 양준목, 한국광학회지, **4**, 493 (1993).
- [2] Downs M. J. and Birch K. P., Precision Eng., **5**, 105 (1983).
- [2] F. Reinboth and G. Wilkening, PTB-Mitteilungen, **95**, 317 (1985).
- [2] B. Edlen, Metrologia, **2**, 71 (1966).
- [2] D. J. Pugh and K. Jackson, Proc. SPIE, **656**, 244 (1986).
- [2] W. Hou and G. Wilkening, Prec. Eng., **14**, 91 (1992).
- [2] K. P. Birch and M. J. Downs, Metrologia, **30**, 155 (1993).

**Absolute Measurement of the Refractive Index of Air  
Using the Heterodyne Interferometer**

Tae bong Eom, Cheon Il Eom and Myung Sai Chung  
*Korea Research Institute of Standards and Science, Taejon 305-600, Korea*

Joon Mook Yang  
*Department of Physics, Chungnan University, Taejon 305-764, Korea*

(Received: January 29, 1996)

Two type interference air refractometers have been developed by using a frequency stabilized He-Ne laser in a transverse magnetic field. The refractometers were based on symmetric multiple pass interferometer. In this system, One part of the beams passed through air whose refractivity is to be measured and the other part of the beams passed through a vacuum chamber to be used as a reference. Several measurements were performed under normal air condition. Maximum difference between two interference refractometers was  $\pm 2 \times 10^{-8}$ .