

1-11. 빛의 속도 측정

1. 실험목적

공기 중 빛의 속도를 변조 방법(modulation method)으로 측정하고, 투명 고체매질 안에서 빛의 속도를 측정하여 굴절률을 구해본다.

2. 이론 및 원리

빛의 속도는 Maxwell 방정식으로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}} \quad (1)$$

$$\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m} ; \text{진공의 유전율}$$

$$\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m} ; \text{진공의 투자율}$$

매질의 굴절률은 진공과 매질 안에서 빛의 속도의 비율이다. ($n = \frac{c}{v}$) 또한 n은 Maxwell 방정식에서

$$n = \sqrt{\epsilon \cdot \mu} \quad (2)$$

로 주어진다.

여기서 ϵ 은 매질의 상대유전율(relative permittivity), μ 는 상대투자율(relative permeability)이다. 대부분의 투명한 재질에서 $\mu=1$ 이다.

상대유전율과 굴절률은 원자와 분자의 공명 때문에 빛의 진동수에 의존한다(분산). 이 실험에서 붉은 빛의 광원(LED)이 광속측정에 사용되며, 광속 측정을 위해 주파수 약 50 MHz의 사인파 모양으로 변조시켜 내보낸다. 변조된 LED 빛은 렌즈로 시준되어(collimated) 거울 2개를 거쳐 광검출기로 들어와 빛의 세기에 비례하는 사인파의 전기 신호를 오실로스코프에 나타낸다(그림1). 이 수신신호와 기준신호 사이의 위상관계가 오실로스코프 상에 리사주 도형으로 표현된다는 것을 이용한다. 만약 리사주 도형이 직선 모양이면 기울기가 양일 때 위상차는 0이고 음일 때 π 가 된다.

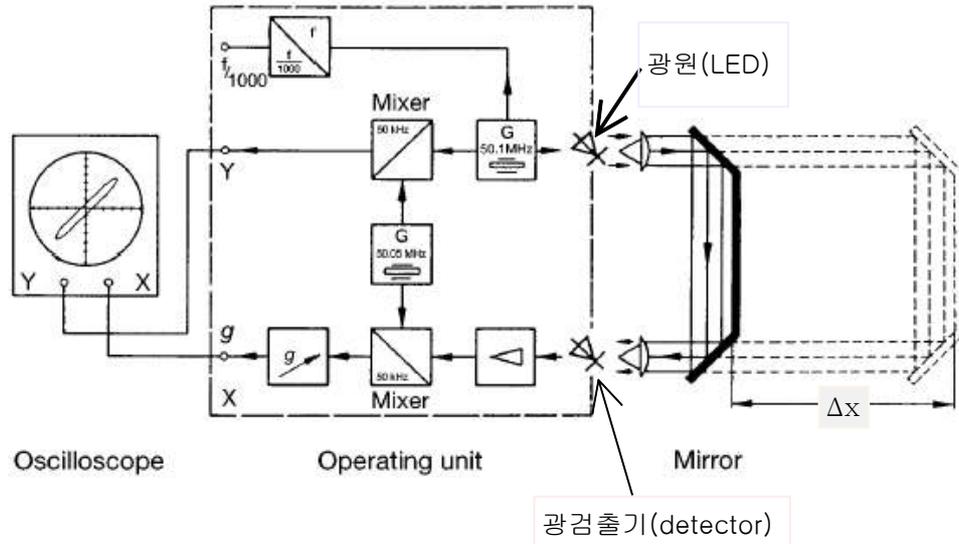


그림 1 공기 중에서 빛의 속도 측정 set-up.

공기 중에서 빛의 속도를 측정하기 위해 확장된 빛의 경로는

$$\Delta l = 2 \cdot \Delta x$$

즉, 빛이 길어진 거리 Δl 을 이동하는 동안(π 의 위상 변화 발생) 시간 Δt 가 걸린다. 따라서,

$\Delta t = \frac{1}{2f}$, $f=50.1$ MHz (변조된 진동수) 그러므로 공기 중에서 빛의 속도는

$$c_L = \frac{\Delta l}{\Delta t} = 4f \cdot \Delta x \quad (3)$$

이다.

굴절률 측정대상으로는 Synthetic resin block을 사용한다. Synthetic resin 안에서 빛의 속도 c_M 은 공기 중에서 빛의 속도 c_L 와 비교하여 측정된다.(그림2)

먼저 매질을 두고 빛이 시간 t_1 동안 거리 l_1 을 이동한다.(그림2)

$$t_1 = \frac{1}{c_L} (l_1 - l_m) + \frac{1}{c_M} l_m$$

그 다음은 매질 없이 이동하는데 t_2 의 시간이 걸린다.

$$t_2 = \frac{1}{c_L} (l_1 + 2\Delta x)$$

송수신 신호사이 위상관계를 두 경우 모두 같게 Δx 를 조절한다.

즉, $t_1 = t_2 + \frac{k}{f}$; $k=0, 1, 2, \dots$

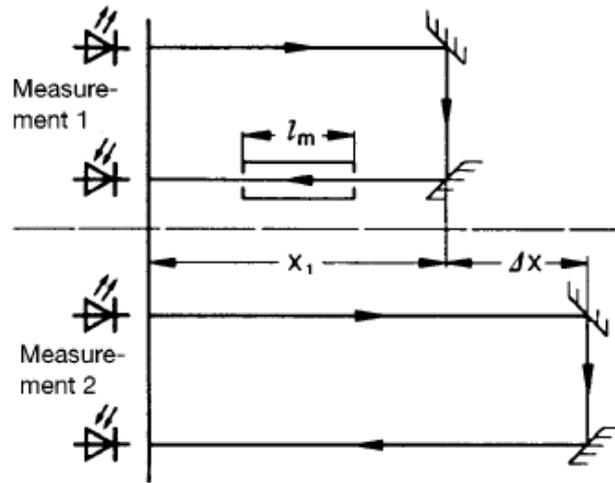


그림 2 다른 매질 안에서 빛의 속도 측정.

그러므로 굴절률은

$$n = \frac{c_L}{c_M} = \frac{2\Delta x}{l_m} + 1 + \frac{k \cdot c_L}{f \cdot l_m} \quad (4)$$

여기서, 가능한 r 값(0, 1, 2,...)에 대해 굴절률을 계산해보고, 적절한 굴절률 값을 택한다.

3. 실험장비

빛 속도 측정 장치(modulator, LED, detector in a box), 오실로스코프, Synthetic resin block

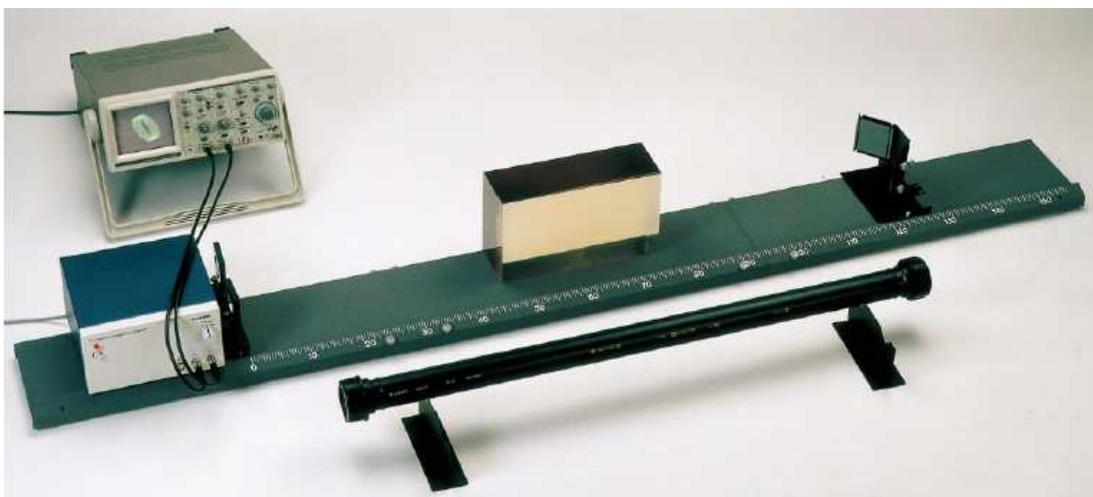


그림 3 빛의 속도 측정 set-up.

4. 실험방법

- ① 최대 신호가 수신 다이오드에 검출되도록 (투과한 빛이 바닥판에 평행하도록) 그림 1 과 같이 deviating mirror와 렌즈들을 정렬한다.
- ② 50.1 MHz의 변조 진동수는 내부 회로에 의해 대략 50 kHz로 낮추어져 오실로스코프로 출력된다. 송수신 신호를 각각 오실로스코프 ch1과 ch2에 표시하여 주파수가 50KHz임을 확인한다.(수평축 = 시간, 외부trigger사용.)
- ③ 거울은 가능한 조정기에 가까이 붙여 놓아라.(눈금의 0점에 맞춘) 조정기의 위상 손잡이를 사용하여 오실로스코프에 나타난 두 신호가 위상이 일치하도록 만든다. 그런 다음 수평축을 시간에서 Ch1로, 수직축을 Ch2로 바꾸어 리사주 도형(Lissajoux figure)을 만든다. 이 모양이 직선이 되도록 송신신호(기준파)의 위상을 조정한다.
- ④ 그 다음 위상이 π 만큼 변할 때까지 거울을 눈금을 따라 이동한다.(즉, 직선의 기울어진 방향이 90°변환 때까지) 거울의 이동거리 Δx 를 10회 반복 측정한다.
- ⑤ 물이 채워진 관이나 synthetic resin block을 광선의 경로 안에 놓아서 그 끝 면과 광축이 수직하게 한다. 거울은 그 바로 뒤에 놓는다.(그림 2,3)
- ⑥ 위상 손잡이를 사용하여 오실로스코프 상에 직선이 다시 나타나도록 한다. 그 다음 매질을 빛의 경로부터 제거하고, 리사주 모양이 다시 같은 위상차를 보일 때까지 거울을 움직여라. 거울의 이동거리 Δx 를 10회 반복 측정한다.



성 명: _____

학 번: _____

분반/조: _____

조 원: _____

담당교수: _____

담당조교: _____

실험일시: 년 월 일 요일 시

제출일시: 년 월 일 요일 시

