

## 빛변조방식에 의한 빛속도측정방법

김 철 준

빛의 전파속도를 측정하기 위한 여러가지 방법들이 제안되어 이미 그 속도는 정확하게 측정되었다.

한편 빛의 전파속도가 매우 빠른것으로 하여 빛속도를 직접 측정하는것은 공학적으로 어려운 문제이다.

논문에서는 학생들의 실험교육을 위한 빛속도측정장치제작을 위해 레이자광원[1, 2]에 고주파진폭변조기술을 적용하여 빛의 속도를 측정하는데서 나서는 문제들을 연구하고 그 결과를 분석하였다.

### 1. 고주파빛변조방식에 의한 빛속도측정원리

레이자빛은 전자기파로서 간섭성이 매우 좋은 특징을 리용하여 라지오파와 유사하게 필요한 정보를 자체에 태워 일종의 반송파로 만들수 있다.

빛속도측정체계구성도를 그림 1에 보여주었다.

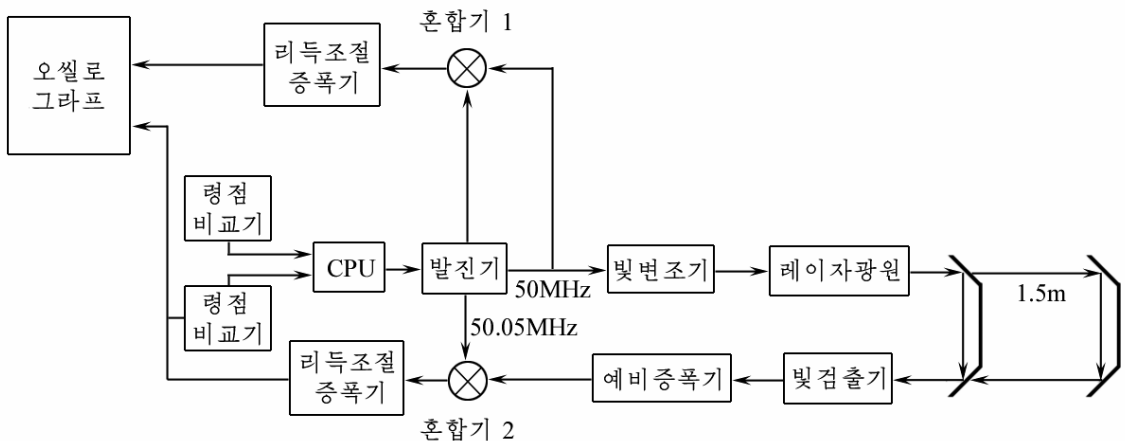


그림 1. 빛속도측정체계구성도

그림 1에서 보는바와 같이 체계는 한소편컴퓨터와 발진기로 이루어진 발진단, 빛변조기와 레이자광원으로 구성된 빛변조단, 빛검출2극소자와 예비증폭기로 구성된 빛수감단, 2개의 주파수혼합기로 되어있다.

빛변조방식에 의한 빛속도측정원리는 높은 주파수로 진폭변조된 레이자빛을 일정한 거리까지 복사시켜 되돌아올 때 생기는 빛신호의 지연시간 혹은 위상지연을 측정하고 빛 경로길이를 리용하여 빛의 속도를 계산할수 있다는것이다.

고주파발진기에서 발생하는 50.00MHz의 발진신호와 50.05MHz의 기준신호를 각각

$$V_m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (1)$$

$$V_{ref}(t) = A_{ref} \cos(2\pi f_{ref} t) \quad (2)$$

이라고 하자. 여기서  $A_m$  과  $A_{ref}$  는 변조진폭,  $f_{ref} = 50\text{MHz}$  ,  $f_m = 50.05\text{ MHz}$ 이며 분석을 간단히 하기 위하여 초기위상을 영으로 가정하였다.

변조된 레이자빛이 반사거울까지 갔다가 반사되어 돌아오면 광학적경로의 길이에 비례하는 시간지연  $\Delta t$  를 가진 다음과 같은 지연된 빛이 빔검출기에 들어오게 된다.

$$V_{rm}(t) = A_{rm} \cos[2\pi f_m(t - \Delta t)] = A_{rm} \cos(2\pi f_m t - \Delta\phi) \quad (3)$$

우의 세 신호의 동기가 일치한다고 할 때 변조된 신호와 기준신호를 첫번째 혼합기에 입력시키면 다음과 같은 신호를 얻게 된다.

$$V_{mix1}(t) = V_m(t) \times V_{ref}(t) = A_{mix1} \{ \cos[2\pi(f_m + f_{ref})t] + \cos[2\pi(f_m - f_{ref})t] \} \quad (4)$$

여기서

$$A_{mix1} = \frac{A_m A_{ref}}{2}$$

이다.

혼합기의 뒤단에 설계된 저역통과여파기를 통과시켜  $100\text{kHz}$ 이상의 고주파성분을 제거하면 우의 식에서 2개 주파수의 차성분만 남게 된다.

$$V_{mix1}(t) = G_{mix1} \cos[2\pi(f_m - f_{ref})t] = G_{mix1} \cos(2\pi\Delta f t) \quad (5)$$

여기서  $G_{mix1}$  은 증폭기의 증폭결수,  $\Delta f = 50\text{ kHz}$ 이다.

같은 원리로 지연되어 돌아온 신호와 기준신호를 두번째 혼합기에 입력시키면 다음의 신호를 얻게 된다.

$$V_{mix2}(t) = G_{mix2} \cos[2\pi(f_m - f_{ref})t - \Delta\phi] = G_{mix2} \cos(2\pi\Delta f t - \Delta\phi) \quad (6)$$

여기서  $G_{mix2}$  는 증폭기의 증폭결수이다.

식 (5)와 (6)을 통하여 알수 있듯이  $50\text{MHz}$ 로 변조된 변조신호와 반사되어 돌아오는 신호사이의 위상차는 혼합기를 거친 후에도 그대로 남아있게 된다. 따라서 2개의  $50\text{kHz}$ 의 신호들사이의 위상차를 통하여 빛의 속도를 잴수 있다는것을 알수 있다.

## 2. 공기속에서의 빛속도측정실험 및 결과분석

그림 2와 같은 실험장치를 리용하여 빛속도측정실험을 진행하였다.

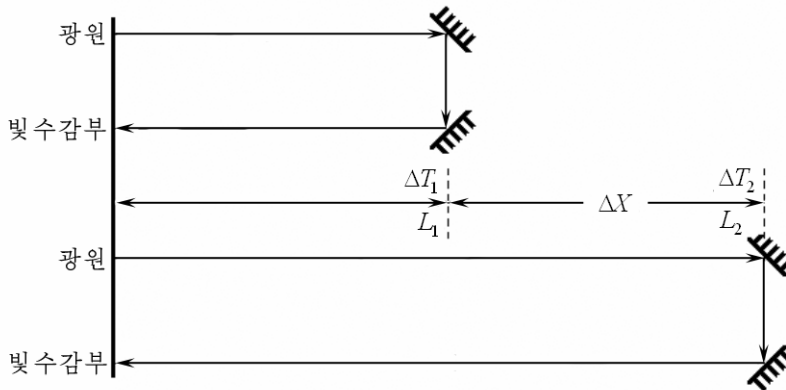


그림 2. 빛경로와 전파시간을 리용한 빛속도측정

그림 2로부터 알수 있는바와 같이 공기중에서의 빛속도는 다음의 식으로 결정된다.

$$v = \frac{2 \times (L_2 - L_1)}{\Delta T_2 - \Delta T_1} \cdot \frac{f_{50\text{kHz}}}{f_{50.05\text{MHz}}} \quad (7)$$

여기서  $L_1$  과  $\Delta T_1$  은 광학대의 시작점거리와 발진신호와 기준신호사이의 시간지연차,  $L_2$  와  $\Delta T_2$  는 광학대의 끝점거리와 시간지연차이다.

실험결과는 그림 3, 4와 같다.

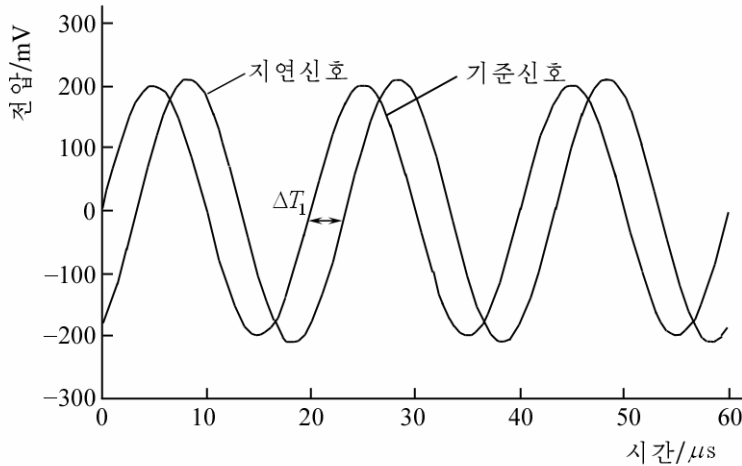


그림 3. 시작점에서의 발진신호와 수감신호사이의 위상차

그림 3에서 시작점  $L_1 = 25\text{mm}$  에서의 두 신호의 시간지연차는  $\Delta T_1 = 5.5\mu\text{s}$  이다.

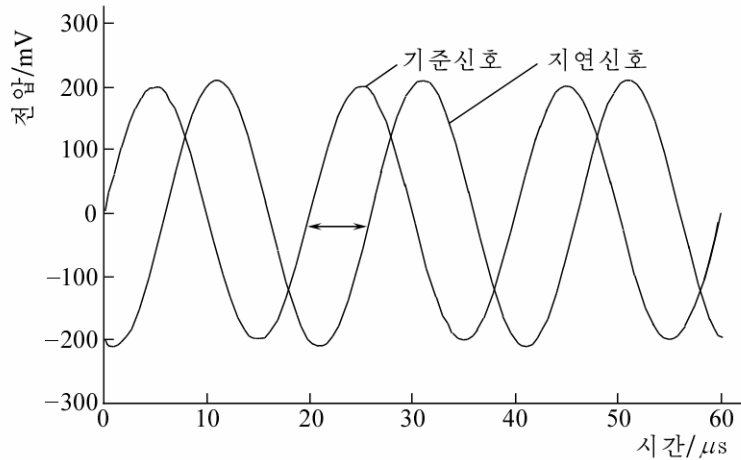


그림 4. 끝점에서의 발진신호와 수감신호사이 위상차

그림 4에서 광학대의 끝점  $L_2 = 1\,090\text{mm}$  에서의 시간지연차는  $\Delta T_2 = 12.4\mu\text{s}$  이다.

이와 같은 실험을 30번 반복측정하여 얻은 측정값들을 식 (7)에 넣어 계산한 평균속도값은  $v = 2.98 \pm 0.02 \times 10^8 \text{m/s}$  이다.

실험결과로부터 표준빛속도가  $c_L = 2.99 \times 10^8 \text{m/s}$  일 때 실험적으로 얻은 값은 99%의 정확도를 가진다는것을 알수 있다.

## 맺 는 말

LD고주파진폭변조방식에 의한 빛속도측정방법을 제안하고 PLL주파수합성기를 리용하여 50.00MHz와 50.05MHz신호를 발생시켜 두 신호사이의 위상지연을 측정하는 방법으로 빛속도를 결정함으로써 장치의 정확성과 믿음성을 확인하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 리준영 등; 레이자공학, 김일성종합대학출판사, 50~54, 주체99(2010).
- [2] Daqing Zheng et al.; IEICE Electronics Express, 11, 20, 1, 2014.

주체108(2019)년 11월 5일 원고접수

## A Method of Light Velocity Measurement Based on High Frequency Modulation Mode

*Kim Chol Jun*

We proposed a method of light velocity based on a high frequency modulation mode. The 50.00MHz frequency reference signal and the 50.05MHz frequency oscillating signal that is generated from PLL clock synthesizer are used to determine light velocity with phase delay between two signals.

Keywords: light velocity, modulation, synthesizer