

## 마이켈슨 간섭계의 원리를 이용한 파장변화형 절대 거리측정기의 기초 연구

### A Study for Absolutely Distance Measurement System of Wavelength Variable Type by Using Pinciple of the Michelson Interometer

김철한\*, 신영록, 양윤석, 김한근, 사공건  
(Chul-Han Kim\*, Young-Rok Shin, Yun-Suk Yang, Han-Kun Kim, Geon Sa-Gong)

#### Abstract

In this study, a distance-measurement system was proposed by using principle of the Michelson Interferometer and a fundamental research was carried out. In case of the michelson interferometer, relativity distance was measured by relativity-difference of two course of light. But wavelength of light source were changed in this system in order to use interference phenomenon of michelson interferometer in measuring absolutely distance. Wavelength of input signal were changed periodically and were interfered electrically. So absolute distance can be calculated by using  $\Delta\lambda$  and measuring  $n_{\Delta}$  in electric interference. Nose by a external factor was small in this system because a absolutely distance was measured by phase difference. And a dispersion of noise was small in pulse-echo response because a error was occurred in range of phase difference of signal. Also very wide range can be measured by only single system because informations of distance were acquisited in wavelength level.

**Key Wards(중요용어)** : 음향임피던스 정합(Acoustic Impedance Matching), 마이켈슨 간섭계(Michelson Interferometer), 절대거리(Absolute Distance)

#### 1. 서 론

공학적인 측면에서 거리의 측정은 매우 중요하며 거리의 측정에 대한 많은 연구가 선행되었다. 거리의 측정은 기본적으로 비접촉식과 접촉식으로 구분할 수 있다. 비접촉식의 경우 펄스-에코응답특성을 이용하는 경우와 마이켈슨 간섭계의 경우와 같이 광원의 파장을 이용하는 두 가지로 구분되며, 접촉식은 측정기구를 이용한 직접적인 측정을 말한다. 현재 산업체에서는 일반적으로 펄스-에코응답특성을 이용하는 측정방법이 널리 사용되고 있다.

그러나 초음파의 펄스-에코응답특성을 이용하는 시스템의 경우 외부환경이 열악할 경우 사용하기가 힘들다. 특히, 기계적 진동이나 외부소음이 심할 경우는 시스템의 오동작을 유발하여 산업체의 활동에 지대한 손실을 초래하게 된다. 이러한 오동작은 노이즈가 펄스-에코응답특성의 임의의 지점에서 발생

하므로 그 심각성을 더하며, 그 해결역시 쉽지가 않은 실정이다. 이러한 문제점은 외부작업환경에 의한 것이므로 그 보완이 쉽지가 않으며, 노이즈에 강한 광원의 파장을 이용하는 방법에 대한 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 마이켈슨 간섭계의 원리를 이용한 새로운 방식의 거리측정 알고리즘을 제안하고자 한다. 이러한 알고리즘은 초음파 거리측정기의 적용은 물론 매질속으로 진행하는 모든 진행파에 대해 적용되는 방법론의 제시로써 일반적인 마이켈슨 간섭계의 경우와는 다르게 두 경로의 상대적인 차이에 의한 광원의 간섭에 의해 미소거리를 측정(상대거리측정)하는 것이 아니라 절대거리에 대해 마이켈슨 간섭계와 같은 간섭현상을 거리측정에 이용하기 위하여 광원(초음파)의 파장을 변화시켰다. 이와 같은 방법은 송·수신 신호의 위상차에 의한 전기적 간섭을 이용하므로 송·수신 신호의 위상차에 의한 간섭영역에서만 오차가

발생하여 노이즈의 임의성을 줄일 수 있다. 또한 파장 단위의 레벨에서 거리에 대한 정보를 산출하므로 미소한 거리측정뿐 아니라 먼 거리의 측정까지 광범위하게 한 시스템을 가지고도 측정 가능한 장점이 있다.

## 2. 이 론

### 2.1 마이켈슨 간섭계

그림 1은 마이켈슨 간섭계의 측정장치도를 나타내는 것으로써 그 원리는 다음과 같다. 동시성이 있는 레이저를 광원으로 사용하고, 레이저의 앞에 초점거리가 짧은 볼록렌즈를 설치하여 평행광선이 초점거리 지점에서 집속되도록 하며, 집속된 후에 다시 방사상으로 퍼져나간다. 원래의 레이저가 결이 잘 맞아 있는 평면파이기 때문에 방사상으로 퍼져 나가는 빛도 완전한 구면파를 이룬다. 이 구면파는 두 거울에 의해 광로차가 생긴 후에 다시 만나서 서로 간섭이 일어나게 되며, 스크린에서 두 광원의 간섭을 관찰할 수 있다. 따라서 이러한 두 구면파의 간섭을 관측하여 두 경로의 미소거리를 측정할 수 있다.

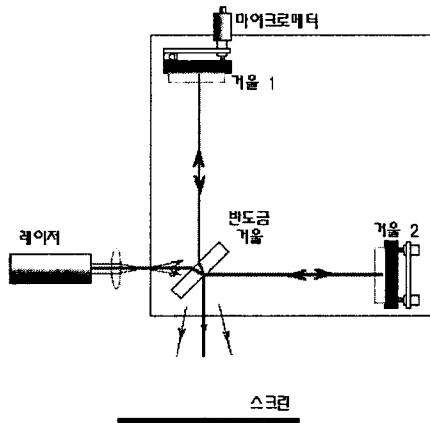


그림 1. 마이켈슨 간섭계의 측정장치도

식(1)은 마이켈슨 간섭계에서의 미소거리 측정을 나타내고 있다.

$$\Delta m = 2 \Delta d / \lambda \text{ ----- (1)}$$

여기서,  $\Delta m$  : 간섭무늬의 움직인 거리

$\Delta d$  : 경로차

$\lambda$  : 광원의 파장

이다.

그러나, 마이켈슨 간섭계는 경로차에 의한 프렌지 변화와 미소거리의 광원의 파장  $\lambda$  범위내에서만 측정이 가능하므로 광원을 기준좌표로 하는 절대거리의 측정이 불가능하다.

### 2.2 파장변화형 절대 거리측정기의 원리

본 연구에서는 마이켈슨 간섭계의 이러한 원리를 이용하여 피측정물과의 절대거리를 측정하고자 하였다. 그러나, 본 시스템에서는 마이켈슨 간섭계의 경우와는 다르게 두 경로의 상대적인 차이에 의한 광원의 간섭에 의해 미소거리를 측정하는 것이 아니라 절대거리(측정거리)에 대한 간섭현상을 이용하기 위하여 광원(초음파)의 파장을 변화시킴에 의해 거리를 측정하고자 하였다.

그림 2는 마이켈슨 간섭계형 절대 거리측정기의 개략도이다.

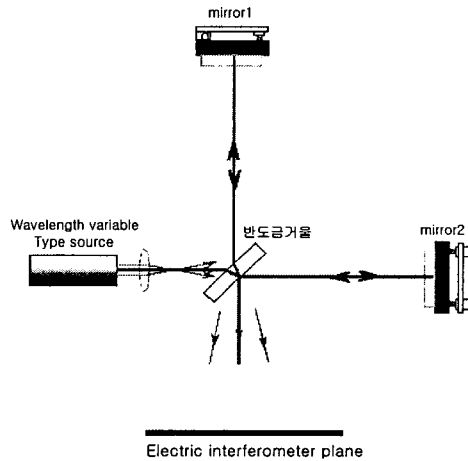


그림 2. 마이켈슨 간섭계의 원리를 이용한 파장변화형 절대거리 측정기

$\lambda_1$ 일 때 왕복거리  $d$ 사이 파장의 개수  $n_1$ 은 식(2)와 같다.

$$n_1 = \frac{2d}{\lambda_1} \text{ ----- (2)}$$

또한, 광원에서  $\lambda_2$ 로 파장을 변화시킬 때 왕복거리  $d$ 사이의 파장의 개수  $n_2$ 는 식(3)과 같다.

$$n_2 = \frac{2d}{\lambda_2} \text{ ----- (3)}$$

그러므로 광원의 파장을  $\lambda_1$ 에서 서서히  $\lambda_2$ 로 변화시킬 때의 간섭 무늬의 변화는 다음과 같다.

$$\Delta n = n_1 - n_2 = \frac{2d}{\lambda_1} - \frac{2d}{\lambda_2} = \frac{2d(\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_1 \lambda_2}$$

$$\therefore d = \frac{\Delta n(\lambda_1 \lambda_2)}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} \text{ ----- (4)}$$

여기서,  $\lambda_1$ 과  $\lambda_2$ 는 주어지는 값이고  $\Delta n$ 는 간섭계의 파장이  $\lambda_1$ 에서  $\lambda_2$ 로 변화할 경우의 간섭무늬의 변화를 나타낸다. 그러므로 간섭무늬의 변화를 관찰함으로써 절대거리  $d$ 를 측정할 수 있다.

또한,

$f = \frac{v}{\lambda}$ 이므로 (여기서  $v$ 는 매질이 일정) 식(5)와 같은 관계가 성립한다.

$$\lambda_1 = \frac{v}{f_1}, \lambda_2 = \frac{v}{f_2} \text{ ----- (5)}$$

여기서, 식(5)를 식(4)에 대입하면

$$d = \frac{\Delta n(\lambda_1 \lambda_2)}{2(\lambda_2 - \lambda_1)} = \frac{\Delta n(\frac{v^2}{f_2 f_1})}{2(\frac{v}{f_2} - \frac{v}{f_1})}$$

$$= \frac{\Delta n v}{2(f_1 - f_2)}$$

로 주어진다. 이러한 파장의 변화를 간섭무늬로 표시하기 위해서는 다른 경로 차에 의한 간섭이 필요하며 위의 식의 경우 한변의 경로차를 무시하고 소스와 간섭시킨 경우이다.

이러한 이론적 근거는 주파수의 변화의 속도가  $t = \frac{2d}{v}$ 보다 매우 커야만 성립할 수 있다.

특히 매질속으로 진행되는 탄성파의 경우 센서의 신호와 소스의 전기적인 신호를 간섭할 경우에 발생 할수있다.

### 3. 고찰 및 결론

위에서 언급한 마이켈슨 간섭기 원리를 이용한 파장변화형 절대거리 측정기는 매질속으로 진행되는 모든 파동에 대해 성립하며, 그 응용은 측정기를 구성하는 테크날리지와 응용의 용이성에 의해 제한될

뿐이다. 이러한 제한은 소스의 파장변화의 용이성과 간섭무늬의 측정 용이성이다. 광을 소스로 하는 경우에 있어서는 대부분의 경우 파장을 원할히 변동시킬 수 있는가의 여부에 따라 제한을 받을 것이다.

이에 반해 매질속을 진행하는 탄성파의 경우 일반적으로 매질 속에서의 진행 속도가 광의 속도에 비해 매우 느리므로 그로 인해 소스파동과 반하여 도달한 파동의 주파수와 파장이 경로차와 파동의 속도로 결정되는 지연 시간에 의해 바뀌므로 파장을 스위프 시키는 주기가 이로 인해 제한된다. 그리고 트랜스듀서의 대역폭도 파장의 변위폭을 결정하는 요소가 된다. 그러나 본 연구에 있어서 새로운 제안은 펄스-에코의 방법과는 달리 소스쪽의 신호와 도달한 신호를 변화하는 파장에 대해 분석가능함으로써 펄스-에코의 방법으로 제한되었던 여러 가지 요인을 해결하는 대안책으로 제시될수 있을것이다.

### 참고 문헌

- [1]. 성백능외 번역, "기초물리학", 이우출판사, 40장 6절, pp 684~685.
- [2]. Hecht저, "Optics", Addison Wesley, 9장 8.3절, pp 382~385.
- [3]. Gasiorowicz저, 김정흠외 역, "현대물리학", 종로, 1장, pp 11~15.