

## 광학 간섭을 이용한 형상 측정

심재위, 신율, 황보승  
호남대학교 전기공학과

### Shape measurement of three-dimensional object using interferometer

JaeWe Shim, Youl Shin, Soung HwangBo  
Dept. of Electrical Eng., Honam University

**Abstract** - 기존의 3차원 형상 측정법은 대부분 접촉식이기 때문에 광측정물이 손상이 입거나 Probe의 보정이 필요하거나 Probe가 측정면에 직접 닿지 않는 경우는 측정이 불가능하였다. 또한 많은 점을 측정할 경우 측정시간이 많이 걸린다. 물체의 크기가 크거나 측정하고자 하는 물체가 무를 경우에는 적합하지 못하다. 이러한 단점은 보완하기 위하여 비접촉식인 측정법 이용한 관측이 대두되게 되었다. 비접촉식에 의한 관측은 물체의 표면을 손상시키지 않으면서 정밀하고 고품질이 요구되는 제품 검사 및 자동화 기술의 발달로 인하여 생산 산업 분야에 이용되고 있다. 이에 비접촉식 방식에서도 광학 간섭의 하나인 마이켈슨 간섭계를 이용하여 간섭무늬 패턴으로 물체 이미지를 분석하고 CCD 카메라에서 영상을 얻어 3차원 물체를 해석하였다.

### 1. 서 론

고품질이 요구되는 제품의 검사를 위해 광학적 계측방식을 이용한 3차원 물체의 형상 측정은 여러 생산 산업 분야에서 오래 동안 사용되어 왔다. 3차원 물체의 형상 측정법에는 접촉식과 비접촉식으로 분류된다.<sup>(1)</sup> 접촉식 방법은 비교적 가격이 저렴한 반면, 측정점마다 수동으로 탐침을 접촉시켜야 하므로, 많은 점을 측정할 경우 시간이 많이 걸리며 물체의 크기가 크거나 움직이는 물체의 측정에는 부적합한 단점이 있다. 또한 물체의 표면이 무를 경우 물체가 변형되어서 올바른 데이터를 얻을 수 없게 된다. 비접촉식 방법은 주로 레이저 광원과 같은 빛을 이용하기 때문에 측정 속도가 접촉식에 비해 매우 빠르며 측정 중에 측정 대상물의 움직임이 적다. 또한 접촉식과 달리 복잡한 형상 측정할 수 있다는 장점이 있다. 또한 광학적 계측법에는 두 부류로 분류할 수 있는 데 가간섭성 빛을 이용한 것과 이용하지 않은 것이다. 가간섭을 쓰지 않은 것으로는 모아레(Moire) 방법이 있고 홀로그래픽(Holographic) 방식, 스페클(speckle) 방식은 가간섭성 광을 이용한 경우이다. 최근 가간섭성 광을 이용한 ESPI가 등장하여 비파괴 검사에 많이 활용되고 있다. 이와 함께 크게 물체의 표면을 계측하는 기술에는 마하젠더 간섭계(Mach-Zender interferometer)나 마이켈슨 간섭계(Michelson interferometer)를 이용한 파면 분할이나 진폭분할을 하여 표면의 굴곡이나 윤곽을 검출하는 방법이 있으며, 이러한 기술 중에서 특히 홀로그래피기술과 모아레기술, 그리고 스페클을 이용하여 표면을 계측하는 방법들이 활발히 연구되고 있다.<sup>(2)</sup>

본 연구는 비접촉식 방법 중의 하나인 레이저광을 이용한 마이켈슨 간섭계를 구성하여 간섭무늬 패턴을 물체에 조사하고, 위상 이동법<sup>(4)</sup>을 이용하여 3차원 물체의 형상 측정 분석하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 간섭무늬 패턴의 이론적 고찰

광학적 간섭계의 종류에는 마이켈슨 간섭계, 트와이만-그린 간섭계, 페브리-페로 간섭계<sup>(2)</sup>, 등 여러 가지가 있으나 본 실험에서는 가장 기본적인 마이켈슨 간섭계<sup>(4)</sup>를 사용하기로 하였다.

간섭무늬 패턴의 기준면상에서의 출력빛의 세기는 CCD 카메라와 같은 광 검출기로 얻을 수 있으며 다음과 같이 주어진다.

$$I_i(x, y) = I_0(x, y) \{ 1 + \gamma \cos [\phi(x, y) + \alpha_i] \} \quad (1)$$

식(1)에 의해  $\alpha_i = \frac{\pi}{2}$  쌍 위상 이동하여 4개의 간섭무늬를 빛의 세기로 구할 수 있다.

$$I_1(x, y) = I_0(x, y) \{ 1 + \gamma \cos \phi(x, y) \} \quad (2)$$

$$I_2(x, y) = I_0(x, y) \left\{ 1 + \gamma \cos \phi(x, y) + \frac{1}{2} \pi \right\} \quad (3)$$

$$I_3(x, y) = I_0(x, y) \{ 1 + \gamma \cos \phi(x, y) + \pi \} \quad (4)$$

$$I_4(x, y) = I_0(x, y) \left\{ 1 + \gamma \cos \phi(x, y) + \frac{3}{2} \pi \right\} \quad (5)$$

식(2), (3), (4), (5)를 조합하여 위상값  $\phi(x, y)$ 와 가시도  $\gamma(x, y)$ 를 구하면, 식 (6), (7)과 같이 쓸 수 있다.

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \left( \frac{I_4(x, y) - I_2(x, y)}{I_1(x, y) - I_3(x, y)} \right) \quad (6)$$

$$\gamma(x, y) = \sqrt{\frac{[I_4 - I_2]^2 + [I_1 - I_3]^2}{2I_0}} \quad (7)$$

위의 식 (6), (7)을 이용하여 위상 지도를 추출할 수 있다.

#### 2.2 전체 시스템 구성 및 위상 정보 추출

본 광학 간섭을 이용한 시스템 구성에서는 JDS Uniphase사의 제품의 He-Ne( $\lambda = 633\text{nm}, 10\text{mW}$ )레이저를 사용하였으며 마이켈슨 간섭계를 구성<sup>(4)</sup>하였고, CCD(BASLER, model a101)는 8 bit gray level의 카메라를 사용하였다.<sup>(1)</sup> 간섭 무늬를 물체에 직선형으로 비스듬히 투영하고 CCD 카메라에서 얻어지는 간섭무늬 패턴을 분석하기 위해 물체 기준면에 수직으로 설치하였다.

그림 1은 마이켈슨 간섭계를 이용한 측정시스템 구성도이다. 투영 간섭 무늬의 주기를 일정하게 유지하기 위해서 그림 1과 같이 Collimation Lens를 설치하였다.

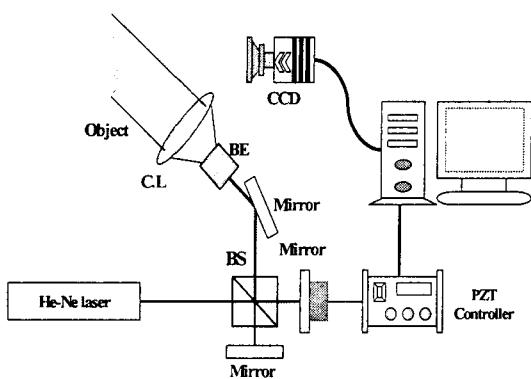


그림 1. 마이켈슨 간섭계를 이용한 측정시스템 구성도

또한, PZT Controller(PI, model E-501.00)를 사용하여 간섭무늬의 위상을  $\frac{\pi}{2}$ 씩 이동하여 그림 2와 같이 CCD 카메라를 이용하여 4장의 영상의 간섭무늬 패턴 정보를 얻을 수 있었다. 초기의 간섭무늬가  $I_1$ 이며, 각각 순서대로  $\frac{\pi}{2}$  만큼 위상을 이동하여 CCD 카메라에서 얻은 영상이다.<sup>[6]</sup>

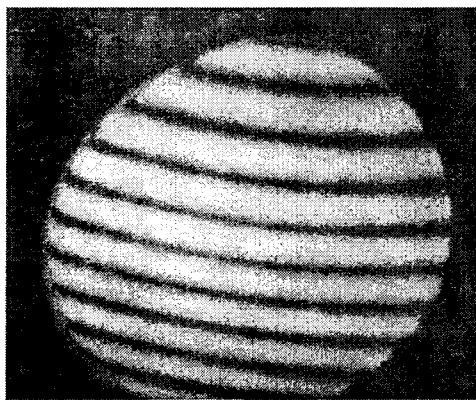


그림 2. 마이켈슨 간섭계를 이용한 간섭 무늬

### 2.3 간섭무늬 해석과 필터링

3차원 물체 형상 측정에 적용시키기 위해 얻은 위상지도를 적용시키기 위해 National Instrument사의 LabVIEW Vision Builder를 사용<sup>[6-7]</sup>하여 간섭무늬 패턴을 조합하고 이 4개의 영상을 분석하여 위상 지도를 만들 수 있었다. 각종 필터링 작업에 의해 보다 나은 위상 지도를 얻을 있다. 그림 3은 위상 지도를 추출하기 위해 Vision Builder browse를 사용하였다.

또한 그림 3은 영상들을 조합하여 PZT controller를 이용하여 Mirror의 변화에 의한 위상 지도를 추출한 그림이다. 이 위상 지도의 데이터 값을 알고 있으므로 3차원 물체의 형상을 분석할 수 있다.

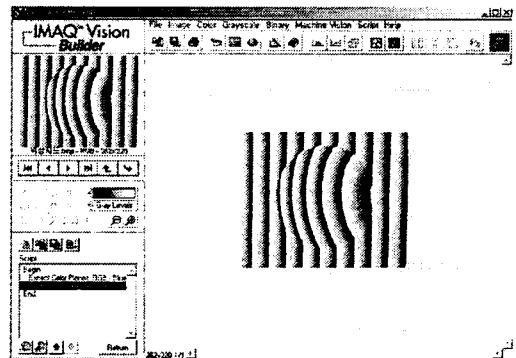


그림 3. LabVIEW Vision Builder를 이용한 영상 처리

그림 3의 위상지도의 수직을 선정하여 위상에 대한 픽셀 변위를 그래프에 옮기면 물체의 높이 정보를 알 수 있다.<sup>[8]</sup>

### 3. 결 론

간섭 무늬의 형상을 물체에 조사하여 CCD 카메라에서 영상을 수집하여 광 센서 역할을 하는 CCD 카메라 빛의 밝기와 위상 이동에 따른 물체의 간섭무늬를 분석하였다.<sup>[5]</sup>

간섭계를 이용한 물체 형상 측정법은 외부 환경, 즉 조명에 의한 간섭무늬의 밝기 변화나 진동에 의한 간섭무늬 패턴 변화 등에 의해 민감하므로 세심한 주의를 요한다.<sup>[1]</sup> 또한 카메라 조정기법<sup>[5]</sup>과 위상 이동법<sup>[4]</sup>이 의의 알고리즘을 보완하면 보다 좋은 결과가 도출될 수 있다 고 본다. 본 연구에서 광계측 시스템을 통해 얻은 데이터를 3차원적으로 재현함으로써 제품의 결함 진단을 보다 쉽게 할 수 있는 시스템 영상 노이즈 영향<sup>[8]</sup>을 극복할 수 있는 algorithm의 지속적인 개발함으로써 산업적 활용과 응용이 가능하리라고 본다.

### (참 고 문 헌)

- [1] A.Nussbaum, "Optical system design", Chapter 1-3 (1998)
- [2] E.Herget and K.Kaufwann, "Laser Focus World", March, S11 (1996)
- [3] 서울대학교 광학연구회, "현대광학", chapter 7-8, (2001)
- [4] U.Schnars and W. Jüptner, "Direct recording of Holograms by CCD target and numerical reconstruction", Appl. Opt., Vol 33, No.2 pp.179~181, 1994
- [5] 곽두영, "LabVIEW 컴퓨터기반의 제어와 계측 Solution", chapter 7-9, (2002)
- [6] 장현오, "그래픽 프로그램의 이해", chapter 8, 10, (2001)
- [7] 권준식 외 공저, "디지털 영상 처리 이론 및 응용", chapter 5-7, (2000)