

## 광 간섭계를 이용한 표면 및 위상지도 분석에 관한 연구

박준도, 신수용, 황보승, 강용철  
호남대학교

### A Study on the surface and analysis of phase map using optical interferometer

June-Do Park, and Soo-Yong Shin, Seung Hwang-Bo, Yong-Chel Kang  
Honam Univ.

**Abstract** : 3-dimension object's feature measurement is used several industrial field to produce for examination of demanded high quality products by using optical measurement method. 3-dimension object's feature measurement is separated surface scanning and surface non-scanning. In this research, we illuminated interfero-pattern to object, it was constructed with Michelson interferometer by using laser is one of surface non-scanning method. And we extracted phase-map, it is one of featural measurement analysis of 3-dimensional object by using a phase shifting theory

**Key Words** : Surface, Phase map, Interferometer, Unwrapping, Shape measurement

## 1. 서 론

광 간섭계를 이용하여 3차원 물체의 미세표면 형상 측정은 산업분야 전반에 걸쳐서 많은 사용이 되고 있다. 광 간섭계를 이용한 3차원 물체 형상측정 기술은 현재 대표적으로 우주, 항공분야에서는 기체 표면의 변형 여부를 검사하는데 쓰이며 일반 가전제품이나 자동차 산업분야에서도 표면의 일그러짐과 휘어짐 등을 검사하기 위해 사용되며 기타 표면 계측관련 시스템에서 많이 사용되어지고 있다. 광 간섭계를 이용한 3차원 형상측정 기술의 보유와 효율적이고 정밀한 표면 측정을 위해서 많은 연구가 필요하다. 3차원 형상측정을 하는 방법은 거시적으로 기계적인 접촉식 계측과 광학 간섭계를 이용한 비접촉식 계측으로 구분이 된다. 접촉식 계측은 비접촉식 계측에 비해 비교적 가격이 저렴하다는 장점에 비해 측정 포인트마다 수동으로 탐침을 접촉시켜야하므로 높은 신뢰성을 얻기 위해서는 많은 측정 포인트를 가져야하므로 측정시간이 많이 필요하며 측정면의 면적이 넓거나 움직이는 물체의 측정에 대해서는 신뢰성을 확보하기 어렵다. 반면 비접촉식 계측방법은 주로 레이저광원과 같은 코히런트한 광원을 이용하기 때문에 측정 속도가 빠르고 측정물체에 크기에 따라 광원의 크기를 조절할 수 있고 빠른 시간에 측정이 가능하므로 움직이는 물체에 관해서도 측정이 가능하게 된다.

본 연구에서는 비접촉식 계측법중의 하나인 He-Ne 레이저 광원을 이용한 마이켈슨 간섭계를 구성하여 간섭패턴을 측정표면에 조사하고 위상이동법을 이용하여 3차원 물체의 형

상을 측정하여 추출된 위상지도를 해석한다.

## 2. 실험

### 2.1 실험장치

서론에 언급하였듯이 본 연구에서는 광 간섭계의 기본이 되는 마이켈슨 간섭계를 구성하여 위상을 획득하였다.

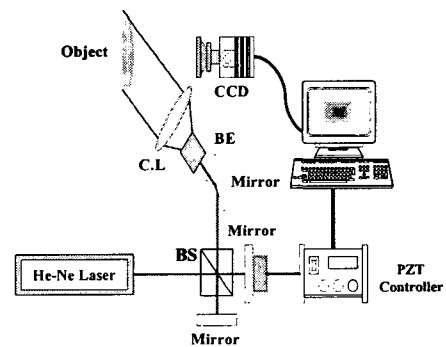


그림 1. 위상지도를 얻기 위한 마이켈슨 간섭계  
획득된 위상은 빔 스플리터의 한쪽 면에서만 반사가 일어나기 때문에 간섭무늬의 패턴이 반전된다. 이는 빛이 굴절율이 낮은 매질에서 높은 매질로 진행하다가 반사하면  $\pi$ 만큼의 위상이 Shifting되는 현상이 있으며 보강간섭이 일어날 지점에서 상쇄간섭이 발생하고 명암이 반전된 간섭무늬를 얻게 되며 다음과 같은 식(1)을 얻을 수 있다.

$$\cos\theta_n = m \frac{\lambda}{2d} \quad (1)$$

Mirror 간의 거리차  $d$ 의 변화에 따라 간섭패턴은 바뀌며 시작 차수  $m_0$ , 거리  $d_0$ 이면 거리를  $x$ 만큼 변화시켜서 다음 차수의 간섭패턴과 일치되었다면 다음과 같은 식(2)을 얻을 수 있다.

$$2(d_0+x)\cos = (m_0+1)\lambda \quad (2)$$

여기서  $x$ 값을 구하면  $\lambda/2$ 가 되며, 한 주기의 간섭패턴주기의 값이 됨을 알 수 있다.

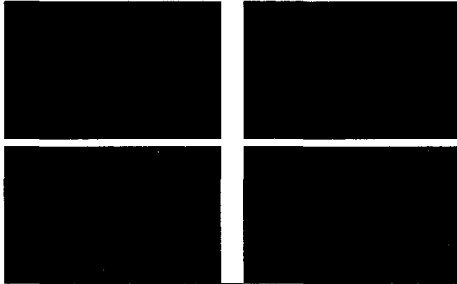


그림 2.  $\lambda/8$ 씩 Phase-Shifting된 간섭패턴

본 연구에서는 Phase shifting을 하기위해 PZT를 이용하였다. 그림 1에서와 같이 구성된 간섭계에서 CCD 카메라를 통해 얻어낸 간섭패턴을 아래 그림 2에서와 같이 획득하였다. 그림 4의 왼쪽 이미지는 실제의 스크린상의 간섭패턴이며 오른쪽 그림은 CCD 카메라를 이용하여 측정하고자 하는 대상영역을 설정한 ROI 영역에서 얻어낸 이미지이다.

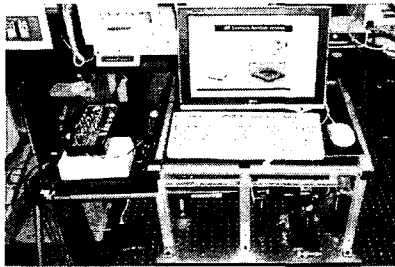


그림 3. 3차원 형상측정 시스템

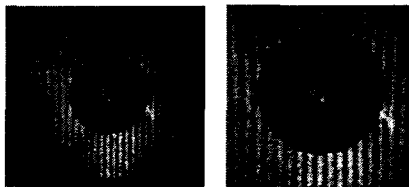


그림 4. 마이켈슨간섭계를 이용하여 얻어낸 간섭패턴  
(왼쪽: 실제 스크린상의 간섭패턴, 오른쪽: CCD를 이용한 측정대상의 간섭패턴 이미지)

그림 4에서와 같이 얻어낸 위상정보는 PSI(Phase-Shifting Interferometer) 간섭무늬 해석기법을 이용하여 분석이 가능하다. 위상을  $\pi/2$  만큼 이동하여 얻은 4-Frame 빛이 세기는 아래의 식(3)과 같다.

$$\begin{aligned} I_1(x, y) &= I_0(x, y) \{1 + \gamma \cos \phi\} \\ I_2(x, y) &= I_0(x, y) \left\{1 + \gamma \cos \left[ \phi(x, y) + \frac{1}{2}\pi \right]\right\} = I_0(x, y) \{1 - \gamma \sin \phi\} \\ I_3(x, y) &= I_0(x, y) \left\{1 + \gamma \cos \left[ \phi(x, y) + \frac{2}{2}\pi \right]\right\} = I_0(x, y) \{1 - \gamma \cos \phi\} \\ I_4(x, y) &= I_0(x, y) \left\{1 + \gamma \cos \left[ \phi(x, y) + \frac{3}{2}\pi \right]\right\} = I_0(x, y) \{1 + \gamma \sin \phi\} \end{aligned} \quad (3)$$

따라서 Phase map은 식(4)로 표현할 수 있으며

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \left[ \frac{I_4 - I_2}{I_1 - I_3} \right] \quad (4)$$

높이정보  $h$ 는 식(5)를 통해서 알 수 있다.

$$h(x, y) = \frac{\lambda}{4\pi} \phi(x, y) \quad (5)$$

위의 Algorithm을 LabVIEW를 이용하여 프로그래밍 하여 분석 및 Phase-Shifting 하였고 제작된 프로그램은 그림 5와 같다.

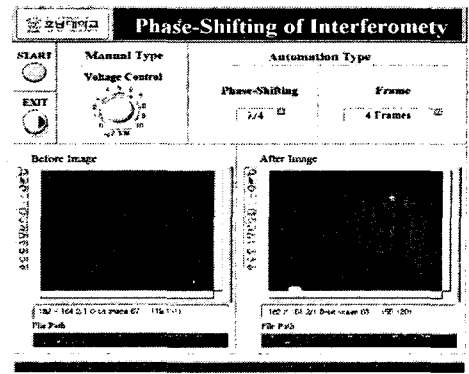


그림 5. Phase-Shifting Interferometry LabVIEW 프로그램

### 3. 결과 및 고찰

마이켈슨 간섭계에서 얻은 위상정보를 이용하여 위상지도 및 높이정보를 비교적 정밀하게 얻을 수 있었다. 하지만 실험을 반복하고 분석하는 과정에서 매번 동일한 실험조건에서 매번 약간씩 다른값을 나타내는 것을 확인하였다. 이는 간섭계의 특성상 약간의 미소진동에도 간섭패턴의 위치가 바뀐다는 것이다. 또한 간섭계를 동일한 조건으로 다시 정렬한다하여도 매번 같은 조건의 위상을 얻을 수 없다. 따라서 노이즈에 안정된 간섭계를 구성하는 것과 노이즈에 대한 필터링 알고리즘 개발이 본 연구에서의 또 다른 과제로 남아있으며 진행 중이다.

### 4. 결론

본 연구를 통해 광 간섭계, DAQ, Vision, Phase-Shifting, Image Filtering, Phase map, Phase Height, LabVIEW Programming, Unwrapping Algorithm 등의 3차원 형상측정 시스템 전반의 기술력을 확보하였고 각각의 Parameter와 Algorithm을 보유하게 되었고 직접 자체적으로 설계 및 제작을 완료함으로써 자체 기술 경쟁력 및 3차원 형상측정기술의 산업전반에 걸친 응용이 예상 된다

### 참고 문헌

- [1] E.Herget and K.Kaufmann, Laser Focus word, March, S11 1996
- [2] A. Nussbaum, Optical system design 1998
- [3] H.O. Saldner and J. M. Huntley, Temporal phase unwrapping: application to surface profiling of discontinuous object, appl. opt. 36~13, 2770, 2775, 1997
- [4] T. W. Choi and S. C. Yoo, "Electrical and mechanical properties of ceramics", J. Mater. Sci., Vol. 15, No. 1, p. 10, 2001.
- [5] Thomas Klinger, Image Processing with LabVIEW and IMAQ Vision, 2003