

홀로그래피 간섭무늬 해석을 위한 위상변위법 응용연구

Quantitative Analysis of Holographic Fringe by using Phase Shifting Method

박 승욱, 권 영하, 고 영욱, 강 대임

한국표준연구소

초 록

홀로그래피 간섭무늬로부터 변형의 요철방향을 구하기 위하여 위상변위방법을 응용하였다. 위상변위법에 의하여 물체파의 위상을 변화시켜 이에 따른 홀로그래피 간섭무늬의 이동을 측정하였다. 간섭무늬가 일정지점을 중심으로 좌우로 이동하는 현상으로부터 변형의 요철방향을 파악하고 최대지점의 위치를 구할수 있었다.

위상변위법은 두 파면사이의 위상차를 일정한 양만큼씩 변화시켜 이에 따른 간섭무늬의 이동을 기록하여 이들로 부터 위상을 알아내는 방법이다. 이러한 원리를 홀로그래피 간섭법에 적용하면 변형된 물체 각 지점에서의 위상을 구할수 있어 변위의 크기와 방향을 함께 결정할수 있을 뿐아니라 변형도(strain), 형상 윤곽 (shape contour) 등의 측정이 가능해 질수 있다.

1. 서론

물체의 변형을 측정하는 방법의 하나로 비접촉식 방법인 홀로그래피 간섭법이 널리 사용되고 있다. 그러나 변위의 방향과 크기를 정량적으로 측정하는데는 간섭무늬 차수결정의 어려움이 따르게 된다. 특히 변형이 그림1(a)와 같이 복잡하게 이루어지는 경우, 그림1(b)의 홀로그래피 간섭무늬를 그림1(c)에 나타낸 여러가지 경우로 해석 할수 있어 측정이 잘못될 수가 있다.

이와같은 홀로그래피 간섭법의 문제점인 간섭무늬 차수결정의 모호성(ambiguity)을 해결하기 위하여 차수변화법 (fringe order number variation)¹⁾ 기준무늬반송법 (fringe carrier technique)²⁾ 등이 연구되어 왔으며, 최근에는 화상처리 기술의 발달로 위상변위법 (phase shifting method)의 적용연구가 활발히 이루어지고 있다.^{3,4,5)}

본 연구에서는 그림1(a)와 같은 형태의 변형을 정확하게 측정하기 위하여 위상변위법에 의한 간섭무늬의 이동을 실시간으로 판독하였다. 홀로그래피 간섭장치에 PZT 가 부착된 거울을 설치하여 구동전압의 조절로 물체파의 경로를 변화시킴으로써, 물체의 변형전 후로 재생된 두파의 위상차를 변화시켰다.

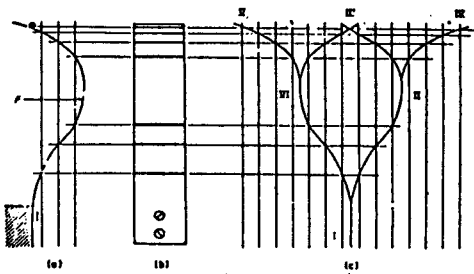


Fig.1. Four fringe reading possibilities(c) from one single fringe pattern(b) corresponding to the deformation mode(a).

2. 위상변위법

실시간 홀로그래피 간섭계에서 변형후의 재생상의 위상을 $\pi/2$ 간격으로 단계적으로 변화시키면 이에따라 변화되는 간섭무늬의 강도는 다음과 같이 표현될수 있다.

$$I_1(x,y) = I_0(x,y) |1 + \gamma \cos(\phi(x,y) + \alpha_1)| \quad (1)$$

여기서 I_0 는 간섭무늬의 평균세기이고, γ 는 무늬의 변조량을 이며, α_1 는 i 번째에 가해진 위상차이다. 식(1)에서 물체의 변형으로 주어진 위상 $\phi(x,y)$ 는 순차적으로 얻어진 5개의 간섭무늬로써 구해질수 있다. 즉,

$$\phi(x,y) = \tan^{-1} \left| \frac{2\{I_2(x,y) - I_0(x,y)\}}{2I_3(x,y) - I_0(x,y) - I_1(x,y)} \right| \dots (2)$$

여기서 위상 ϕ 는 arc tangent 함수값이므로 $-\pi/2$ 와 $\pi/2$ 사이의 값을 가지게 된다. 따라서 실제의 위상 $\phi(x,y)$ 를 구하기 위해서는 보정위상을 더해주어야 한다.

3. 변위측정

식(1)과 식(2)로부터 계산된 위상과 측정변위와의 관계는

$$D(x,y) = \frac{\phi(x,y)\lambda}{2\pi |2 \cos(\frac{\theta}{2})|} \quad (3)$$

으로 주어진다. 이때 λ 는 사용한 레이저의 파장이며, θ 는 그림2에 나타낸 바와 같이 빛이 물체에 비추어진 방향과 간섭무늬의 관찰방향이 이루는 각도이다. 식(3)으로 구해진 변위는 그림2의 bisector 방향의 성분이므로 실제로 변위가 일어난 방향의 크기는 $D(x,y)/\cos\psi$ 값이 된다.

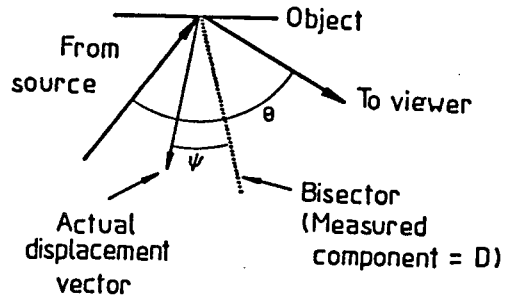


Fig.2. Object geometry for displacement measurement.

4. 실험장치 및 결과

실험장치의 개략도는 그림3과 같다. 홀로그래피 간섭장치를 구성하고 대상물체에 변형이 일어나기전의 물체파와 기준파의 간섭을 필름 (8E75HD, Agfa)에 기록하여 현상·처리한후 제자리에 놓고, 그림3의 F 방향으로 물체에 힘을 가하였다. 홀로그램은 F방향과의 일직선상에 직각이되게 놓았으며, 동일방향에서 실시간으로 간섭무늬를 관측하였다.

대상물체로써 의팔보를 제작하여 그림4(a)와 같이 힘을 가하여 변형을 발생시켰다. 실제로 가해진 변형은 이론적으로 그림4(c)와 같은 곡선을 이루고 있으며, 그림4(b)는 이에대한 홀로그래피 간섭무늬를 나타낸다. 이러한 간섭무늬 하나만으로는 그림4(c)와 같이 변형의 요철이 존재하는 경우에 요철의 오목과 볼록을 분간하는것이 불가능하다.

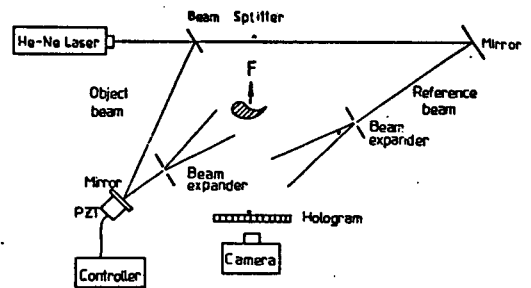
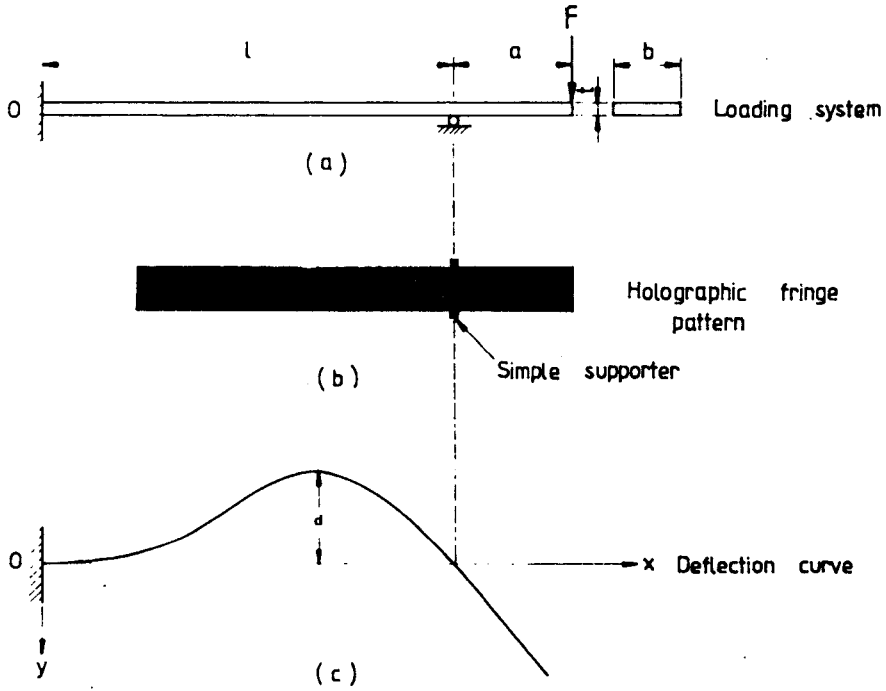


Fig.3. Optical arrangement with PZT mirror for real time holographic interferometry.



$$d = \frac{F a^2}{27 E I}$$

E : Young's modulus

I : Moment of inertia $(\frac{1}{12} b t^3)$

Fig.4. a)The loading system, b)the corresponding conventional real time holographic fringe pattern, c)the theoretical deformation curve.

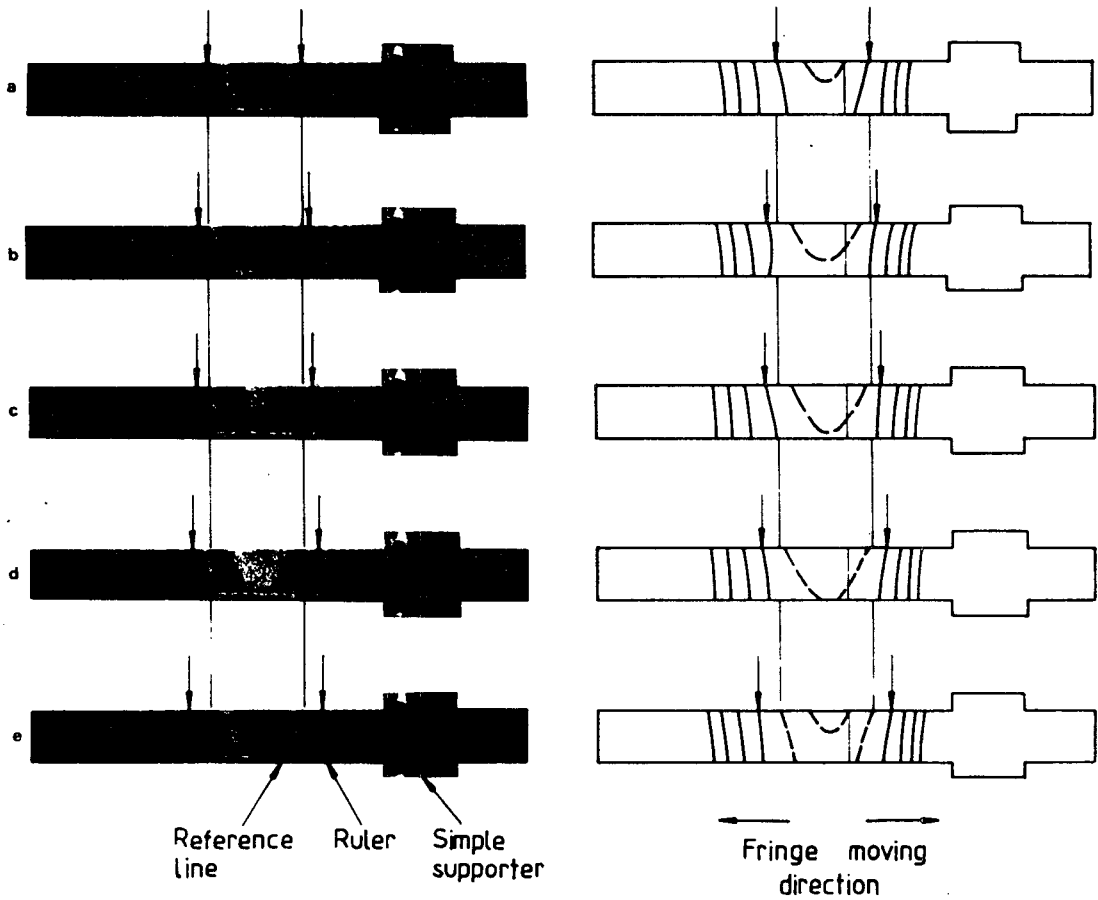


Fig.5. Holographic fringe patterns of cantilever beam. Fringe patterns are moved due to phase shifting by PZT mirror.

따라서 위상변위법을 적용하여 기준파와 물체파의 상대적 위상차를 주기 위하여 그림 3과 같이 PZT 구동 거울을 물체파의 진행경로에 설치하였다. 사용한 PZT의 인가전압에 따른 이동량을 Michelson 간섭계로 측정 한 결과 80 V 의 전압이 가해졌을때 2π 의 위상차가 생김을 알수있었다. 이에따라 20 V 씩 인가전압을 증가하여 거울의 위치를 변화시킴으로써 물체파의 위상을 $\pi/2$ 만큼씩 감소시켰다.

그림5(a)-(e)는 전압증가에 따른 간섭무늬의 변화를 실시간으로 기록한 사진이다. 사진 가운데의 직선은 간섭무늬의 이동을 볼수 있도록 설치한 임의의 기준선이며, 이동량을 정밀하게 측정하기 위하여 물체에 눈금자를 부착하였다. 전압이 증가됨에 따라 무늬가 일정지점을 중심으로 좌우로 이동하는 것을 볼수 있다. 그림5(a')-(e')는 중심부근의 간섭무늬를 추적하여 그린 그림이다. 물체파의 위상이 감소됨에 따라 무늬(1)은 왼쪽으로, 무늬(2)는 오른쪽으로 이동하여 2π 의 위상변화에 대해 정확하게 무늬 한차수가 이동됨을 그림5(a)와 그림5(e)의 비교로 확인할수 있다. 이러한 홀로그래피 무늬의 이동현상으로부터 중심부분이 변형의 최대점이 됨을 알수있다.

5. 결론

물체의 변형을 측정하기 위하여 위상변위법을 홀로그래피 간섭계에 적용하였다. 물체파의 위상변위에 따라 홀로그래피 간섭무늬가 이동하여 2π 의 위상변위에 대해 무늬 한차수가 이동됨을 확인하였다. 또한 간섭무늬가 일정지점을 중심으로 좌우로 이동하는것으로부터 변위가 위로 볼록하게 이루어짐을 알수 있었으며 최대점의 위치를 구할수 있었다. 이러한 간섭무늬의 변화를 video camera로 컴퓨터에 입력하여 low pass filtering, phase

unwrapping등의 영상처리를 거친후, 각 지점에서의 위상보정을 하고 zernike polynomial로 fitting을 하면 변위의 방향과 크기를 계산할수 있어 정확한 변위벡터를 구할수 있다.

참고문헌

1. Rober Jones and Catherin Wykes, "Holographic and Speckle Interferometry," PP.90-96 (1983).
2. Paul D. Plotkowski, "Improved fringe carrier technique for unambiguous determination of holographically recorded displacements," Opt. Eng. Vol. 24(5), PP. 754-756 (1985).
3. Katherine Creath, "Holographic contour and deformation measurement using a 1.4 million element detector array", Appl.Opt.vol.28(11), pp.2170-2175 (1989).
4. Thomas Kreis, "Digital holographic interference-phase measurement using the Fourier-transform method", J.Opt.Soc.Am.A, vol.3(6), pp.847-855 (1986).
5. William W. Macy, Jr., "Two-dimensional fringe-pattern analysis", vol.22(23), pp.3898-3901 (1983).