

3차원 변위측정을 위한 홀로스펙클 간섭법 Holographic interferometry for measurement of 3-D displacement

박 승옥, 권 영하, 유 성규
한국표준연구소, 분광색채연구실, *힘연구실

Abstract

The combined technique of holographic interferometry and speckle photography, so called holospeckle interferometry, has been attention for the measurement of 3-D displacements. This new technique enables the researcher to obtain information of in plane and out-of plane displacements from one photographic plate. There is room for further development of special optical arrangement in order to apply holospeckle interferometry in specific field. In this study, the enlarged fringe pattern was obtained by specificical optical arrangement.

1. 서론

3차원 변위를 측정하고 응용하기 위한 광학적 방법으로는 홀로그래피 간섭법(Holographic interferometry), 스펙클 사진법(Speckle photography), 스펙클 간섭법(Speckle interferometry), 모아레 간섭법(Moire interferometry) 등을 들 수 있다. 여기서 홀로그래피 간섭법은 가장 높은 정밀도와 감도를 지니고 있고 임체적으로 물체를 재생할수 있는 장점을 지니고 있으나, 3차원 변위를 측정하기 위해서는 여러방향에서 홀로그램을 동시에 기록하여

분석해야 하므로 복잡한 광학시스템의 구성과 수학적 해석이 필요하다. 따라서 일반적으로 종방향의 변위(out-of plane displacement)는 홀로그래피 간섭법으로 결정하고 횡방향의 변위(in-plane displacement)는 광학적 시스템과 해석이 매우 간편한 스펙클 사진법을 사용하여 측정하고 있다.

최근에는 홀로그래피 간섭법과 스펙클 사진법을 결합하여 3차원 변위를 측정하는 방법이 연구되고 있다. 즉 물체의 변형에 따른 물체파의 위상과 새기의 변화에 관한 모든정보를 동일한 사진건판에 기록한 후, 사진건판을 홀로그래피 방법으로 재생시켜 종방향의 변위를 측정하고, 이를 다시 스펙클 사진법으로 처리함으로써 횡방향의 변위를 알아내는 방법이다. 1974년 Adams와 Maddux가 처음으로 이러한 방법을 제안한후,¹⁾ 1984년 F.P.Chiang에 의해 홀로스펙클 간섭법(Holospeckle interferometry)라는 이름으로 여러가지 다양한 방법이 개발되었다.^{2,3,4)}

홀로스펙클 간섭법의 개념은 비교적 간단하지만 이를 실제로 적용할 경우에는 그 목적에 따라 특수한 광학 시스템의 구성이 필요하다. 본 논문에서는 미소한 부분의 변위를 측정하기 위하여 보통의 image holography 시스템에 스펙클의 효과를 증대시켜서 동시에 홀로그래피 간섭무늬와 스펙클에 의한 Young의 간섭무늬를 얻을 수 있는 방법을

연구하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 실험장치의 구성도는 Fig.1과 같으며 시스템의 기본구성은 물체의 상을 기록하는 image holography로 이루어져 있다. 12 mW 출력의 He-Ne laser를 object beam과 reference beam으로 나누어 주기 위하여 adjustable 1/2 wave plate가 내장되어 있어 polarizing cube에 의해서 원하는 비율로 빛의 양을 나눌수있는 variable beam splitter를 사용하였다. 나뉘어진 빛은 각각 microscope objective lens와 pin hole로 구성된 beam expander로 퍼트려서 사용하였다.

물체로부터 산란된 빛을 렌즈 L(F=3)로 모아 형성되는 물체의 상이 reference beam과 간섭을 일으켜 사진건판에 기록되도록 하였다. 이때 사진건판에서의 스펙클의 평균크기가 약 10 μm 가 되도록 배율 M=4로 정하고, reference beam과 object beam의 비는 1 : 1로 하였다. 동일한 사진건판에 변형전과 후의 상태를 이중노출하여 화학처리한 후 홀로스펙클그램 (holospecklegram)으로 사용하였다.

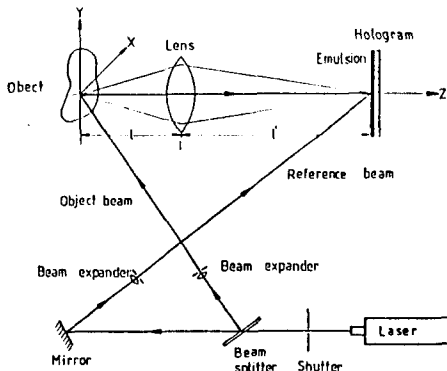


Fig.1 Optical arrangement for recording holospecklegram.

이와같이 얻은 홀로스펙클그램을 다음의 두 과정으로 처리함으로써 물체의 변형을 측정하였다. 즉 종방향의 변위는 홀로스펙클그램에 reference beam 만을 비추어 재생되는 홀로그래피 간섭무늬로부터 구하여 졌다. 이때 홀로스펙클그램 건판의 감광면이 관측자를 향하도록 180도 뒤집어 놓아 홀로스펙클그램 면에 형성되는 실상(real image)을 관측하였다. 또한 횡방향의 변위는 Fig. 2와 같이 홀로스펙클그램에 가는 쪽의 레이저 빛을 비추어서 Young의 간섭무늬를 얻는 pointwise filtering에 의해서 측정되었다.

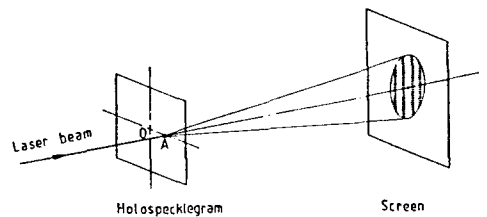


Fig.2 Optical arrangement for pointwise filtering.

측정물체로는 Fig.3의 외팔보 빔 (cantilever beam)을 사용하였다. 외팔보 빔의 아랫부분은 고정되어 있고 다른 한쪽끝을 micrometer로 눌러서 힘을 가하여 그림과 같은 종방향의 변위가 생기도록 하였다. 또한 이를 translator위에 부착시켜 전체가 X축 방향으로 횡이동 할수 있게 하였다. 이때 순수한 종변위와 횡변위를 각각 줄수 있도록 가능한한 물체가 광축에 수직하도록 설치하였다.

3. 결과 및 검토

광학적으로 거친 표면을 가진 물체에 레이저 광속을 비추면, 표면에서 산란된 빛들의 위상차로 공간상에 무질서한 형태의 간섭무늬인 스펙클이 형성된다. 따라서 물체에서 산란된 빛이 reference beam과 간섭을 일으켜서 기록되는

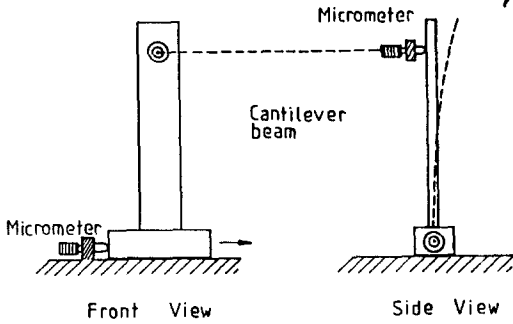


Fig. 3 Pure in - plane and out - of - plane displacements generating system.

홀로그래피에도 스펙클이 함께 기록되게 된다. Fig. 1의 실험장치로 기록한 사진건판의 현미경 사진(x800)이 Fig. 4에 나타나 있다. 두 빛의 간섭으로 형성된 격자와 스펙클 무늬가 중첩되어 기록된 것을 볼 수 있다.

상 기록시 배율 $M = 4$ 로하고 reference beam 의 비율 1 : 1로 하였으므로 보통의 홀로그래피에 비해 스펙클의 크기가 커지고 contrast 도 증가하였다. 따라서 pointwise filtering시 Young 간섭무늬의 가시도가 높아지게 된다. 반면에 홀로그래피 간섭무늬의 가시도가 떨어지게 되므로 이를 고려하여 적절한 배율이 결정되어야 한다.



Fig. 4 Microscopic photograph of holospecklegram.

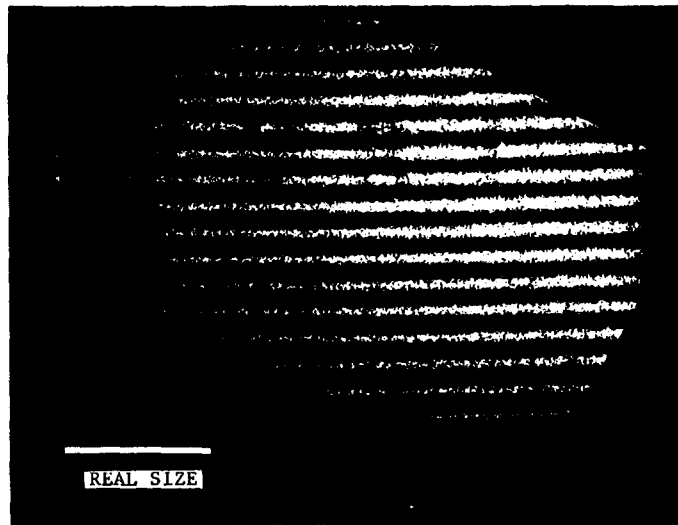
Fig. 5-a와 b는 외팔보 빔에 각각 종변위와 횡변위를 가했을때 얻어진 홀로그래피 간섭무늬와 스펙클에 의한 Young의 간섭무늬이다. Fig. 5-a는 외팔보 빔이 확대되어 재생된 상에 중첩되어 나타난 홀로그래피 간섭무늬이다. 사진에서 흰 실선은 외팔보 빔의 실제 폭(1 inch)을 나타내고 "K S R I" 는 외팔보 빔의 정면에 새겨진 글자가 재생된 것이다. 종변위에 의한 간섭무늬이므로 외팔보 빔의 가로방향에 평행하게 형성되었다. Fig. 5-b는 외팔보 빔을 X축 방향으로 이동시켰을 때 형성된 Young의 간섭무늬이며, 전체가 균일하게 이동되었으므로 홀로스펙클그램의 모든부분에 대해서도 같은 무늬를 얻었다.

4. 결론

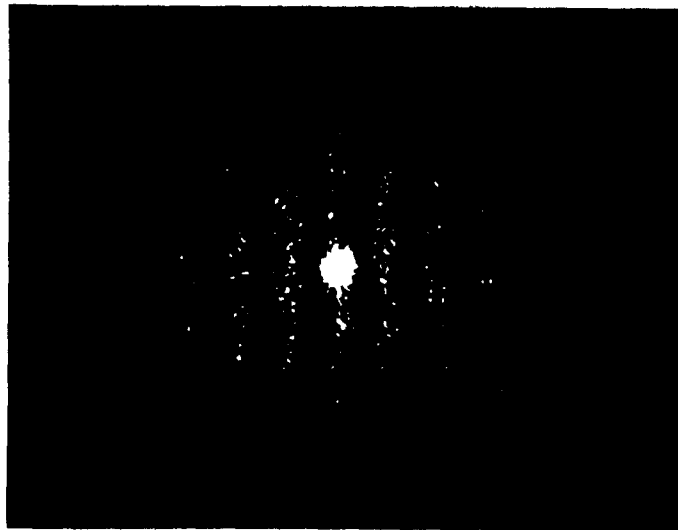
3-D 변위측정을 위한 홀로스펙클 간섭시스템이 연구되었다. 이종노출된 홀로스펙클 그래프로 부터 재생된 홀로그래피 간섭무늬로써 종변위를 측정하고, pointwise filtering에 의해 얻어진 Young의 간섭무늬로 횡변위를 측정하였다. 본 시스템은 장치가 매우 간단할 뿐만 아니라 기존의 홀로그래피 간섭법으로는 측정하기 어려운 횡변위의 측정을 손쉽게 이룰수 있는 장점을 지니고 있다. 또한 본 시스템의 특수성으로 local area에 밀집되어 일어나는 변형에 대해 명확한 간섭무늬를 얻을수 있으므로 contact deformation 측정에 응용이 가능하다.

References

1. F.D.Adams and G.E.Maddux, "Synthesis of holography and speckle photography to measure 3-D displacements," Appl. Opt. 13(2), 219-220 (1974)



a



b

Fig.5 Hologspeckle fringe patterns a)holographic interference pattern b) Young's fringe pattern.

2. Q.B.Li and F.P.Chiang, " Study of holospeckle interferometry," Opt. Eng., 27(3), 200-206 (1988)
3. X.P.Wu and F.P.Chiang, "Sandwich holospeckle interferometry for 3-D displacement determination," in International Conference on Speckle, H.H.Arsenault, ed., Proc. SPIE 556, 347-349 (1985)
4. F.P.Chiang and Q.B.Li, and J.B.Chen, "Measurement of velocity field by double exposure holo-speckle interferometry," in Thirteenth Congress of Int. Commission of Optics (ICO-13) (Sapporo, Japan), (1984)