

Shearography를 이용한 비파괴 검사 Nondestructive Testing with Shearography

장석원*
 Seogweon Chang*

초 록 광학적 비접촉 비파괴검사 방법인 ESPI, Shearography를 이용한 측정은 자동차나 항공기산업 등에서 최근 폭넓게 이용되고 있다. 빠른 측정 속도와 측정 대상의 전 영역을 한번에 측정할 수 있는 장점을 가진 Shearography를 이용한 비파괴검사 방법을 기존의 광계측법인 ESPI와 비교하였다. 또한 이러한 장점을 살려 산업현장에서 수행한 여러 가지 비파괴검사 사례를 제시하였다.

주요용어: 전자스펙클패턴간섭계, 전단간섭계, 스펙클간섭계, 전영역측정

Abstract Nondestructive testing(NDT) is one of the fundamental tools to improve the quality of commercial and industrial products. NDT is potentially a major application of interferometry. Interferometry(ESPI,Shearography,etc) has successfully been applied in various industrial environments such as high performance aircraft, home appliance, automotive, and laminates on engine structures, etc. Today's industry demands high-performance components with toughest mechanical features and ultimate safety standards. Especially in automotive and aircraft industry the development process focuses on tailor-made design and solutions to meet customer specifications. To reconcile economy, light-weight construction has become a key issue. Many companies are looking for new advanced NDT techniques to archive cost efficiency over the limitations of classical methods. ESPI and shearography allow a rapid, full field and 3D-measurement without contact. In this paper recent applications of ESPI and shearography for NDT are described. Advanced features of classical techniques are specified and new applications in material and component testing are presented.

Keywords: ESPI, shearography, speckle interferometry, full field measurement

1. 서 론

현재 그 신뢰성이 인정되어 사용되고있는 비파괴 검사 방법으로는 초음파나 X선 그리고 와전류를 이용하는 방법 등이 있다. 그렇지만 이러한 기존의 방법들은 검사하고자하는 대상과 근접하여 검사가 진행되는 방법으로 탐촉자나 필름이 위치하는 지점으로 그 검사 영역이 제한된다. 그러나 산업현장에서는 종종 그보다 넓은 영역에 걸쳐 단시간 내에 계측을 완료하여야하는 경우가

있다. 이러한 경우에 적용될 수 있도록 광학적 비접촉 시험방법에 관한 연구가 수행되어져 왔다.

지난 40여년동안 광학을 이용한 새로운 역학 실험이 많은 발전을 하였다. 광학적 측정방법은 빠른 반응 속도와 비접촉 그리고 full-field 측정의 장점으로 인해 많이 이용되었다. 광학적 방법은 두 부류로 나뉘는데 가간섭성 빛을 이용한 것과 이용하지 않은 것이다. 가간섭성을 쓰지 않은 것으로는 모아레 방법[1-3]이 있고 홀로그래피[4]와 스펙클 간섭계[5]는 가간섭성 광을 사용한 경우

이다. 여기서는 가간섭 광학 방법을 이용한 ESPI (electronic speckle pattern interferometry)와 Shearography에 대해서 소개한다. 특히 비파괴 검사에 많은 활용을 보이기 시작한 Shearography를 이용한 비파괴 검사 방법에 대하여 논하고자 한다. Shearography는 스펙클 간섭계로서 변위구배를 측정하는 방법이다. 이는 다른 스펙클 방법 보다 양질의 무늬를 얻을 수 있다.

2. Shearography의 측정원리

Fig. 1은 Shearography에 사용되는 이미지 전단 카메라 (image-shearing camera)를 나타낸 것이다. 얇은 유리 썸기가 카메라 렌즈 구경의 반을 가리는 위치에 있다. 이 썸기가 없다면 물체점 $P_0(x, y)$ 으로부터 산란된 빛이 한 점에 맺히질 것이다. 이 유리 썸기는 작은 각의 프리즘과 같이 빛을 분산시키면서 렌즈에 맺혀진다. 물체점에서 부터 온 광선은 썸기에 의해 상면 P_1, P_2 에 맺혀진다.

Fig. 1 (b) 같이 이웃한 점에서 δx 만큼의 전단 변위가 일어난 광선은 상면에 산란되어 맺힌다. 물체면에서 전단 된 양 δx 는 상면에서의 전단량 $\delta x'$ 과 다음과 같은 관계

가 있으며, 여기서 m 은 배율이다.

$$\delta x = \frac{\delta x'}{m} \tag{1}$$

썸기가 렌즈의 면에 위치한다고 가정한다면 $\delta x'$ 는 다음과 같이 주어지며, D_1 는 상거리, μ 는 썸기의 굴절률, α 는 썸기의 각도이다.

$$\delta x' = D_1(\mu - 1)\alpha \tag{2}$$

배율 m 은 상거리 D_1 와 물체까지의 거리 D_0 의 비율이므로 위의 식들을 다시 쓰면 다음과 같다.

$$\delta x = D_0(\mu - 1)\alpha \tag{3}$$

간단하게 말한다면 배율 m 은 전단 변형 량에 큰 역할을 하지 않는다.

3. Shearography와 다른 NDT와의 차이점

다른 비파괴 측정 방법과의 차이점은 결함 검출시험시 미세한 균열이 치명적인데 Shearography는 균열의 크기와 모양뿐만이 아니라 위치까지도 나타내어 준다. Shearography는 전영역(full-field) 광학적 측정 방법으로 스캐닝이나 접촉이 필요 없으므로 다른 측정법보다 검출능력이 뛰어나다. Fig. 2은 대표적인 Holography와 Shearography 무늬 형태이다. Shearography 무늬 형태는 나비모양(butterfly)을 나타낸다.

같은 전영역, 비접촉 측정방법으로써 홀로그래픽 방법 보다 뛰어난 점을 요약하면

- (1) 이 장비는 광학계가 매우 간단하며, 광학 정렬의 문제가 없다.
- (2) 진동에 독립적이어야 하는 것로부터 자유로우며, 이에 따라 실제의 작업환경에서의 결함 검출에 적합하다.
- (3) 가간섭성이 좋은 레이저를 쓰지 않아도 됨으로 가격이 저렴하다.
- (4) 민감도의 적용정도가 더 커짐으로 해서 더 큰 변형을 측정할 수 있다.
- (5) 홀로그래픽 필름만큼 저장 분해능이 높지 않아도 됨으로 빠르고 저렴하게 사용할 수 있다.
- (6) 위의 Fig. 2과 같이 변위를 측정하는 대신 변위구배를 측정함으로써 강체운동을 제거할 수 있는 큰 장점이 있다.

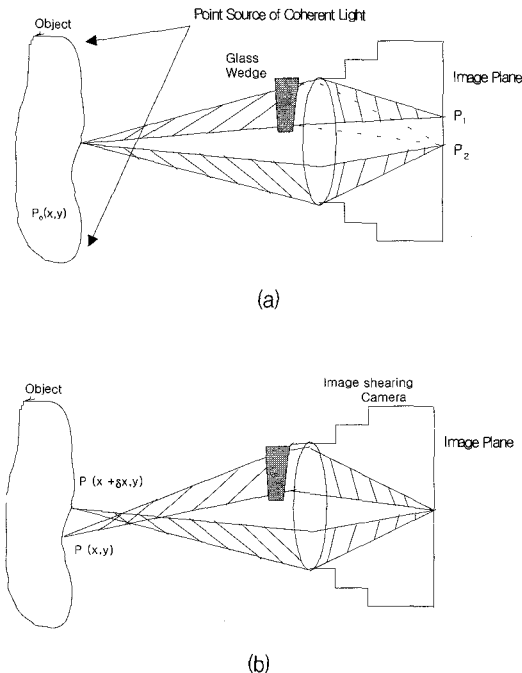


Fig. 1 Layout of optical image-shearing camera

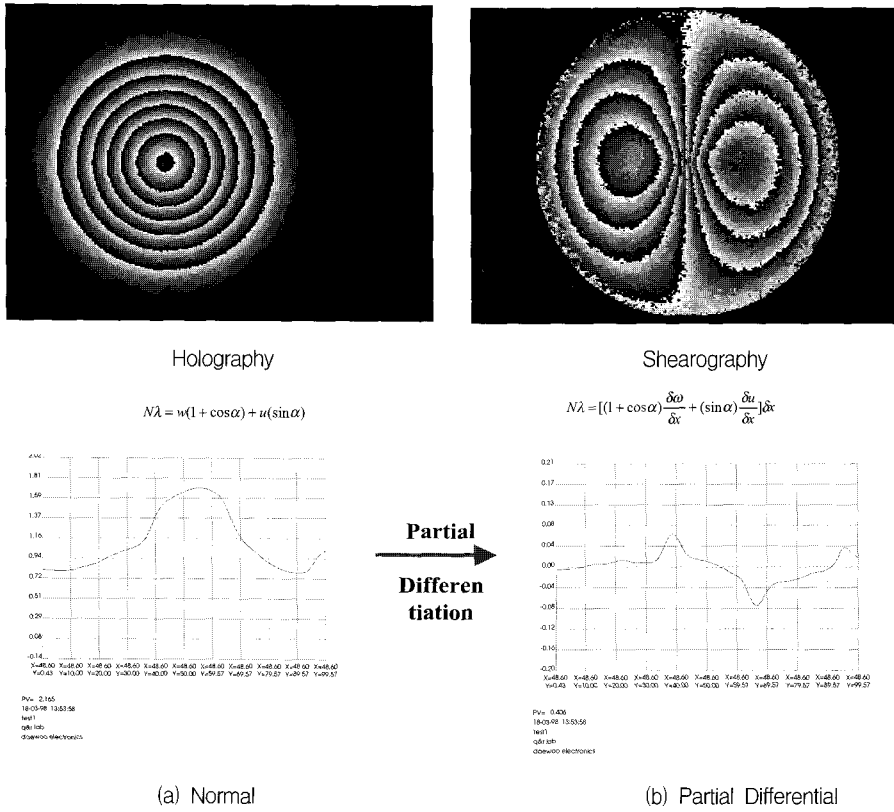


Fig. 2 Fringe pattern of ESPI vs. Shearography

4. 산업적 활용 사례

(1) 전자산업 활용 사례

Fig. 3는 대표적인 가전기기인 TV의 tuner부위의

solder crack 예상 부위 측정 결과로서 열변형에 의한 소자 주변의 변형을 ESPI를 이용하여 측정한 것이다. 다른 부위보다 열변형이 큰 부위는 solder crack이 빨리 발생한다

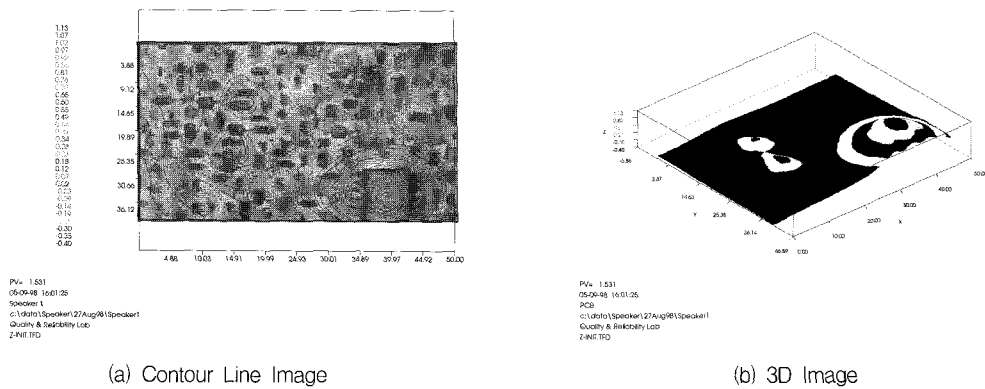
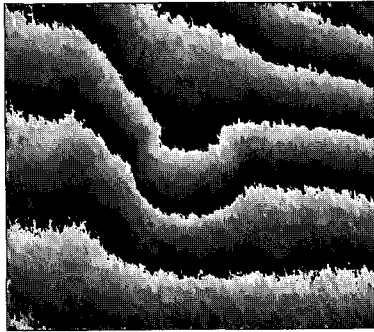


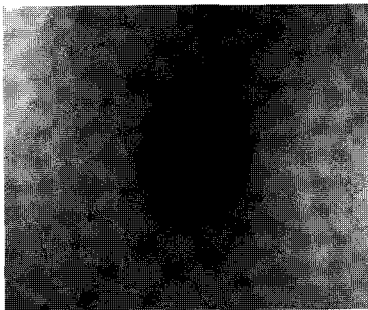
Fig. 3 Detection of solder crack

(2) 복합재료의 defect 검출결과

Fig. 4는 복합재료와 honeycomb 접착부분의 인공결함을 ESPI를 이용하여 측정한 결과로서 표면에 적외선으로 열변형을 주고 측정한 것이다.



(a) Phase Map



(b) B/W Image

Fig. 4 Field inspection of composite material

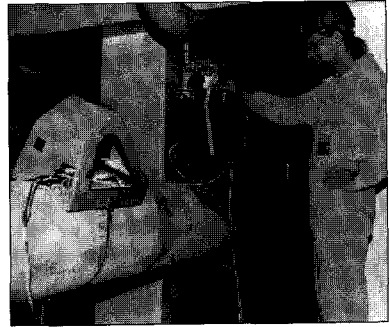


Fig. 5 Pipeline inspection system



Fig. 6 Portable inspection of composite fuselages

(3) Shearography를 이용한 NDE사례

아래 Fig. 5는 휴대용 Shearography를 이용한 파이프 내부의 결함을 측정한 예이다. 일정량의 압력(부압) 변화에도 쉽게 결함의 위치와 크기를 측정할 수 있으며, 이는 비전문가도 쉽사리 사용할 수 있고 정확한 결함검출 및 판정이 가능하여 비파괴 검사 장비로서 높은 신뢰성과 효율을 보이고 있다. Fig. 7는 파이프 내부의 결함에 따른 간섭무늬의 차이를 표시하고 있다. 아래 Fig. 6은 대형 항공기에 사용되는 복합재료 부품의 내부결함을 휴대용 Shearography와 3차원입체영상기술을 결합하여 실시간 현장검사에 활용하고있는 사례이다.

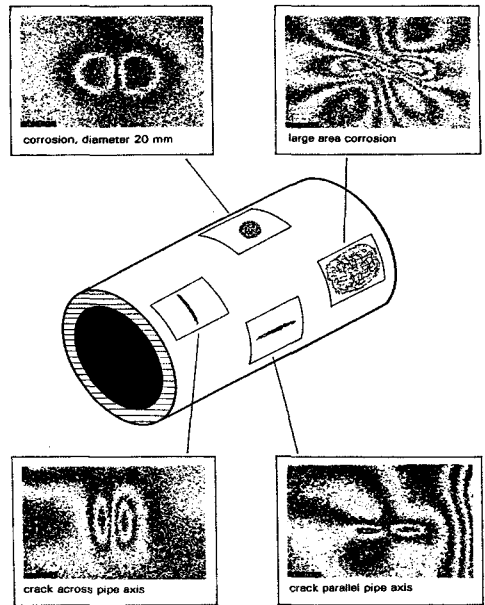


Fig. 7 Fringe pattern of pipeline inspection

5. 결 론

광학적 비접촉, full-field 측정 방법으로 홀로그래픽, ESPI, Shearography 등이 있으며 이러한 계측 방법을 이용하여 복합재료의 충격손상에 의한 층간분리를 신속하고 정확하게 파악할 수 있을 것으로 예측된다. 또, 층간분리뿐만 아니라 모재균열(matrix crack), 섬유 파단(fiber breakage)과 같은 다양한 형태의 복합재료 내부결함을 간단하고 신속, 정확하게 검출할 수 있을 것으로 예측된다. 이와 같은 많은 장점으로 인해 산업현장에서 실질적인 측정 도구로써 다양한 비파괴 검사분야에서 향후 더욱 발전될 것으로 예측된다.

후 기

본 연구는 2000년도 과학기술부 국가지정연구실 사업

(과제번호: 2000-N-NL-01-C-267)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Theocaris, P. S., *Moire Fringes in Strain Analysis*, Pergamon Press, (1969)
- [2] Durelli, A. J. and Parks, V. J., *Moire Analysis of Strain*, Prentice-Hall, (1970)
- [3] Chiang, F. P., *Experimental Stress Analysis Techniques SESA Monography*, edited by A. S. Kobayashi, Chap. 6, (1978)
- [4] Vest, C. M., *Holographic Interferometry*, John Wiley and Sons, (1979)
- [5] Erf, R. J., editor, *Speckle Metrology*, Academic Press, (1978)