

전단 간섭법을 이용한 원통형 압력용기의 면외변형 정량계측 Quantitative Out-of-plan Deformation Measurement of Pressure Vessel Using Shearography

*정덕운¹, 장호섭², 아흐터 나심³, 박찬식¹, 홍성성¹, #김경석⁴

*D. W. Jung¹, H. S. Chang², Naseem Akhter³, C. S. Park¹, S. S. Hong¹, #K. S. Kim(gskim@chosun.ac.kr)⁴

¹ 조선대학교(원) 첨단부품소재공학과, ² 조선대학교 레이저센터, ³ 조선대학교 기계설계공학과, ⁴ 조선대학교 기계설계공학과

Key words : Shearography, Out-of-plane deformation, Pressure Vessel, Shearing

1. 서론

산업기계, 원자력 발전소, 항공기 등 배관 및 압력용기를 사용하는 많은 산업 분야에서는 설비 및 부재의 파괴로 인한 산업적 경제적 손실을 막기 위해서 결함의 정밀, 정량계측기술의 중요성을 인식하고 있다.

따라서 산업 설비의 파손 없이 정확한 결함의 검출을 위한 비파괴 검사 기술의 중요성 또한 커지고 있다. 현재 비파괴 검사 기술로는 초음파, X선, 와전류 등의 많은 검사 기법이 현장에서 적용되고 있다[1]. 이러한 방법들은 접촉식이거나 대상체에 특별한 처리를 통하여 검사를 행해야하는 문제점이 있다. 그러나 레이저를 이용한 계측 방법은 비파괴, 비접촉, 전 영역 실시간 검사라는 장점이 있으며, 특별한 표면처리 없이 검사를 행할 수 있는 검사방법 중에 하나로 산업적 활용성이 높은 비파괴 검사방법이다[2].

대표적인 레이저 변형측정 방법은 전단간섭계(Shearography)를 이용한 계측기법으로 간섭계의 특성상 대상물에 발생하는 변형의 구배를 측정하기 때문에 물체의 결함검출이 용이하고 진동 등과 같은 외란에 매우 강인하다는 장점을 바탕으로 산업현장에서 비파괴검사 기법으로 많이 사용되고 있다[3]. 그러나 전단간섭계는 결함부와 비결함 부의 변형 구배만의 차이를 확인하여 결함의 크기와 변형량을 정량적으로 계측하기 때문에 원통형 용기의 내압변화에 따른 면외변형을 정량적으로 계측할 때 압력용기 비결함 부의 면외변형량을 측정할 수 없어 정확성이 떨어진다[4].

따라서 본 연구는 전단간섭법을 이용하여 원통형 압력용기에 발생하는 면외변형을 전단량의 차이를 이용하여 정량적으로 계측하고, 압력 변화에 따른 비결함 부의 변형을 정량적으로 계측할 수 있는 새로운 계측기법을 제시하고자 한다. 또한, 이를 통해 전단간섭계의 산업적 활용성을 높이고자 한다.

2. 이론

Fig. 1은 전단간섭계의 원리를 나타내는 개략도이다.

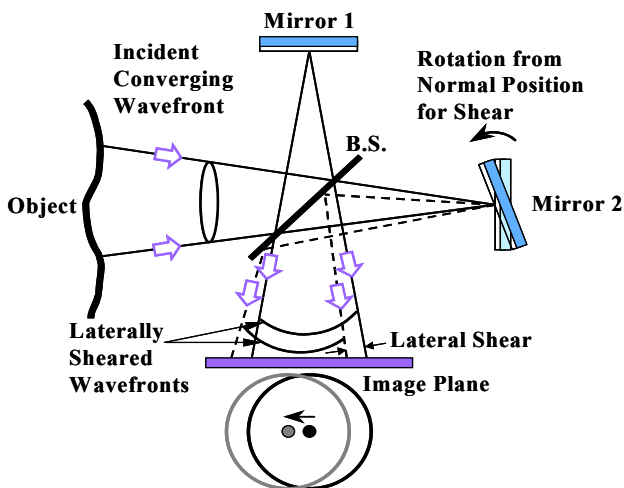


Fig. 1 Single-Beam shearography interferometer

하나의 확산광이 대상물에 조사될 때 대상물에 스페클이 발생하며, 난반사된 빛이 광분할기(Beam Splitter: B.S)에 의해 두 개의 빛으로 나뉘진 후, 하나는 Mirror 1에 입사/반사되어 상면에 맺히고, 다른 하나는 Mirror 2에서 반사되어 다시 광분할기를 통해 상면에 맺히게 된다.

이때, Mirror 2에 임의의 기울기를 주면 기울어진 거울에서 반사된 파면은 Mirror 1에서 반사된 파면에 대해서 수평으로 전단(Shearing)되어 CCD의 상면에 맺히게 된다. 이렇게 두 빛이 간섭하게 되며, 변형 전후 감산처리로 발생하는 간섭줄무늬는 대상물에 발생한 면외변형의 도함수의 결과를 표현하게 된다. Mirror 2를 전단거울이라고 부르며, Mirror 2가 기울어진 방향을 전단방향, 기울어진 각도를 전단량이라고 한다. 전단방향과 전단량 등에 영향을 받아 간섭줄무늬의 형태가 결정된다[5]. 통상적인 전단간섭계를 이용한 측정결과는 변형의 구배로 표현되며, 이를 평행 이동한 화소수로 나누고, 적분하면 원래의 변형과 거의 같은 값의 결과를 얻을 수 있다.

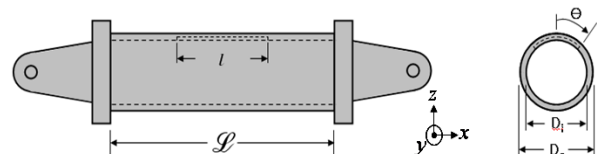
3. 실험 방법

본 연구에서는 인위적으로 내부 감육결함을 가공한 압력용기 시험편에 대해 전단량의 변화에 따른 변형량 분포를 측정하였으며, 시험편의 형상과 감육결함의 크기는 Table 1에 나타났다. 시험편 재질은 ASTM A106 Gr.B로써 항복강도는 240 MPa, 길이 방향 연신률은 30%이다. 시험편을 고정하기 위해 Bed를 제작하였으며, 내압을 가하기 위해 수동 가압장치를 이용하여 내압을 조절하였다. 변형량 분포는 덴마크 Dantec사의 Shearography 시스템을 사용하였다. 실험은 일정한 내압 변화 하에서 전단량을 다르게 하여 전단량 변화에 따른 결함부의 변형을 측정하였다. 압력변화는 0.2 MPa, 0.3 MPa 2가지로 실험하였으며, 각 압력 변화에서 원주방향으로 전단량을 변화시키며 변형량 분포를 비교하였다. Fig. 2에 시스템의 구성을 나타내었다.

본 연구에서는 일정한 압력 변화에 따른 결함부의 변형을 원주방향의 전단량 변화에 대하여 측정하고, 이를 분석하여 전단 간섭법을 이용한 원통형 압력용기의 비결함 부의 변형량을 측정하고자 한다.

Table 1 Shape and dimension of pipe specimen

- Length of pipe (L) : 342.0 mm
- Outside diameter (Do) : 113.4 mm
- Inside diameter (Di) : 99.0 mm
- Defect Thickness (tp) : 1.8 mm



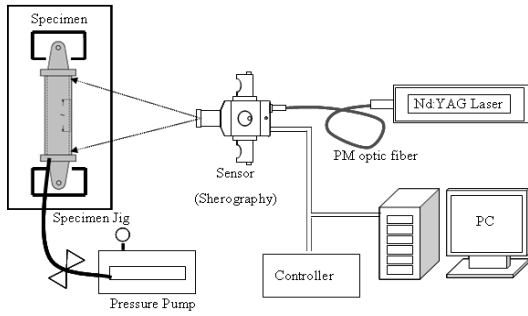


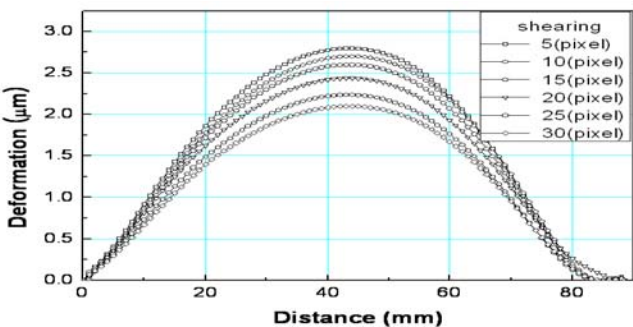
Fig. 2 Schematic of a pipe specimen and system setup

4. 실험 결과 및 고찰

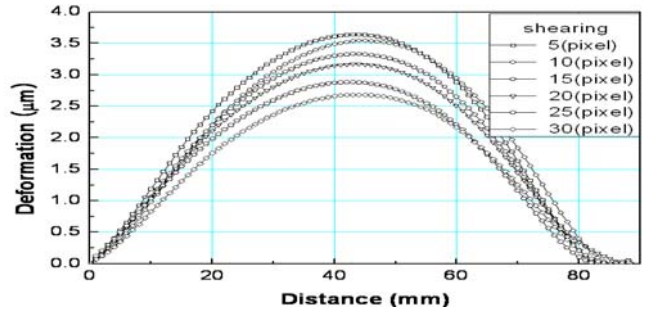
Shearography Sensor를 이용하여 결함부의 Phase-Map을 획득하고, 전단량 변화에 따른 결함부 변형의 구배를 적분한 후 전단 픽셀 값으로 나누어 결함의 정량적 변형 선도를 구하였다. Table 2에 전단량에 따른 Phase Map 결과를 Fig. 3에 전단량에 따른 결함부의 변형 선도를 나타내었다. 전단량 변화에 따른 최대 변형값의 비교를 통하여 전단량이 증가할 때 최대 변형은 선형적으로 감소함을 알 수 있다. Fig. 4에 전단량에 따른 최대 변형량 선도를 나타내었다. 이 결과를 토대로 전단량이 0일 때의 정량적인 최대 변형의 값을 유추 할 수 있으며, 이 전단량이 0일때의 변형값을 결함부와 비결함부의 변형량의 합이라 할 수 있다. 즉, 압력용기 비결함부의 정량적인 변형은 임의의 다른 전단량을 이용하여 결함부를 측정하고, 전단량 변화와 변형량 사이의 선형 구배를 계산, 이를 이용한 전단량 0인 점의 변형량 추정의 단계를 통하여 획득할 수 있다.

Table 2 Phase-map according to deformation at shearing

Shearing	$\Delta p=0.2$ MPa	$\Delta p=0.3$ MPa
5		
10		
15		
20		
25		
30		



(a) Internal pressure (Δp) : 0.2 MPa



(b) Internal pressure (Δp) : 0.3 MPa

Fig. 3 Deformation profile according to shearing of shearography

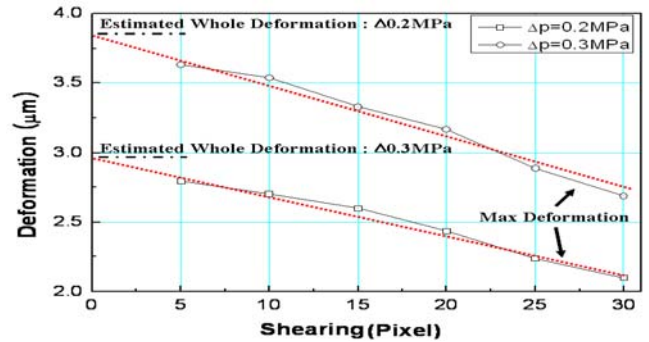


Fig. 4 Max deformation curve at each type of shearing

5. 결론

본 연구에서 전단간섭계의 전단량 변화를 이용한 원통형 압력 용기의 변형계측 실험을 통해 얻은 결과를 비교하여 압력 변화에 따른 비결함 부의 변형을 정량적으로 계측하는 새로운 계측기법을 제시하였고, 다음의 결과를 획득할 수 있었다.

- 1) 전단량 변화에 따른 최대 변형값의 비교를 통하여 전단량이 증가할 때 최대 변형은 선형적으로 감소함을 알 수 있으며, 이를 토대로 전단량이 0일 때의 정량적인 최대 변형의 값을 유추 할 수 있다. 전단량이 0일때의 변형량을 결함부와 비결함부의 변형량의 합이라 할 수 있다.
- 2) 정량계측의 정확성이 떨어지는 전단간섭법의 면외변형정량 계측의 정밀도를 향상시킬 수 있는 가능성을 제시하여 비파괴검사현장에 크게 활용되어질 수 있을 것이다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

1. W Steinchen, L Yang, G Kupfer and P Mäckel, "Non-destructive testing of aerospace composite materials using digital shearography," Proc Instn Mech Engrs, 212, 21 ~ 30, 1998.
2. M. Y. Y. Hung, K. W. Long & J. Q. Wang, "Measurement of Residual Stress by Phase Shift Shearography," Optics and Lasers in Engineering, 27, 61 ~ 73, 1997.
3. 장호섭, 백사규, 김경석, 정현철, "전단간섭계를 이용한 면외 변형의 정량적 계측," 한국 정밀공학회지, 24, 4, 131-137, 2007.
4. Steinchen, W. and Yang, L., "Digital Shearography," SPIE Press, 27-54, 2003.
5. Jones, R. and Wykes C., 1989, Holographic and Speckle Interferometry 2nd Edition, Cambridge University Press, London, pp. 165-196.