

전단간섭법과 수치해석을 이용한 압력용기 내부결함의 정량 계측

*김경석¹, 장호섭², 최태호², 김성식³, 이건정⁴

¹ 조선대학교 기계설계공학과, ² 조선대학교 산학협력단 레이저센터, ³ 목포과학대학 메카트로닉스과, ⁴ 조선대학교 대학원

Deformation Quantitative Measurement of Pressure Vessel with the Internal Defect Using Shearography and Numerical Analysis

*K. S. Kim¹, H. S. Chang², T. H. Choi², S. S. Kim³, K. J. Lee⁴

¹ Dept. of Mech. Dsgn. Eng. Chosun Univ, ² Chosun Univ. LARC, ³ Dept. of Mechatronics Mokpo Science College, ⁴ Chosun Univ. Grad. School.

Key words : Gradient, Numerical Integration, Pressure Vessel, Shearing, Shearography

1. 서론

산업현장에서 설비나 부재의 결함, 부식은 막대한 손실을 가져온다. 이러한 손실을 줄이고자 대상을 파괴하지 않고 결함을 검출하는 여러 가지 비파괴 기법을 사용하고 있다. 이러한 검사기법에는 초음파법, 자기탐상법 등 그 종류가 다양하다. 그러나 이러한 기법은 시간적, 공간적 절차 등이 매우 복잡하거나 제한이 있다. 이러한 제한을 극복하기 위하여 레이저 스펙클기법이 이용되고 있으며, 그 종류로는 전자처리스펙클간섭법(ESPI)과 전단간섭법(Shearography)이 있다. 이러한 스펙클 기법은 특별한 전처리 과정이 필요하지 않고, 실시간으로 화상영역 전체에 발생하는 변형 및 변형율을 측정할 수 있다. 그러나 ESPI는 외란에 민감하여 방진테이블이 없는 곳에서는 그 활용성에 제한되며, (1,2,3) 전단간섭법은 변형에 대한 기울기를 측정하기 때문에 간섭계의 특성상 방진테이블을 필요하지 않으며, 주로 산업현장에서 압력용기의 결함길이의 정량적 계측에 사용되고 있다. 본 연구에서는 이러한 전단간섭계의 장점을 이용하고, 수치해석을 적용하여 ESPI로만 측정이 가능하였던 대상물에 발생하는 면외변형을 정량적으로 측정하고자 한다.

2. 원리

2.1 전단 간섭계의 원리

Fig. 1는 전단간섭계의 원리를 나타내는 개략도로서, 전단간섭계를 이용하여 얻어진 간섭줄무늬를 해석하는 방법은 ESPI와 유사하며 차이점은 임의의 점 P에 조사된 두 점의 변형을 식 (1)에 표현한 바와 같이 d 와 d' 에 의한 차이로 표현한다.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} \cdot (\mathbf{n}_o - \mathbf{n}_s) \cdot (\mathbf{d} - \mathbf{d}') \quad (1)$$

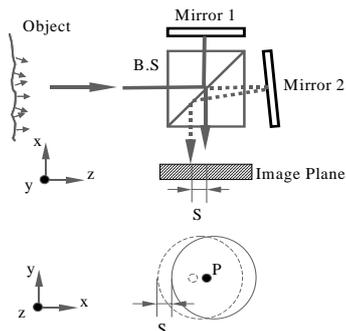


Fig.1 Shearography interferometry

수직하면 식 (1)을 식 (2)과 같이 표현할 수 있다.

$$\Delta\phi = \frac{4\pi}{\lambda} \cdot \Delta d \quad (2)$$

Δd 는 테일러급수에 의해 식 (3)와 같이 표현할 수 있으며, x 방향의 변형 Δx 는 상면에서 전단량 S 와 같고, 이 값은 매우 작기 때문에 식 (3)에서 2차 이상의 고차항은 무시하고, 식 (3)을 식 (4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta d = -\frac{\partial d}{\partial x} \frac{\Delta x}{1!} + \frac{\partial^2 d}{\partial x^2} \frac{(\Delta x)^2}{2!} + \dots \quad (3)$$

$$\Delta d = \frac{4\pi}{\lambda} \left(-\frac{\partial d}{\partial x} \right) S \quad (4)$$

2.2 변형계측에 적용되는 전단간섭법

대상물은 Fig. 2의 (a)의 프로파일과 같은 형태로 변형이 발생하며, Fig. 1의 전단거울(Mirror 2)이 임의의 각도를 가질 때 (b)와 같은 데이터의 이동이 발생한다. CCD를 통하여 변형 전, 후의 이미지가 저장된다. 이를 감산처리하면 (c)와 같은 기울기 곡선이 나타나며, 이를 평행 이동한 화소수로 나누고, 적분하면 원래의 변형과 거의 같은 (d)의 결과를 얻을 수 있게 되어 전단간섭계로써 대상물에 발생하는 면외변형을 측정할 수가 있다.

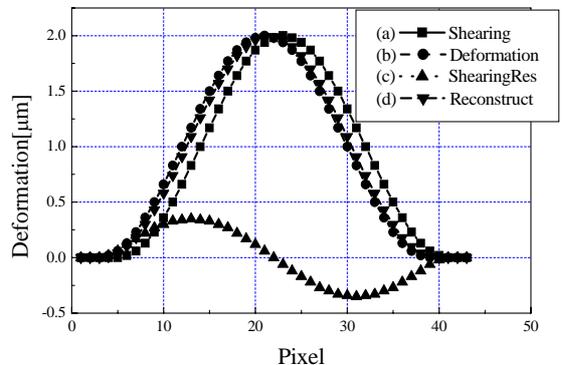
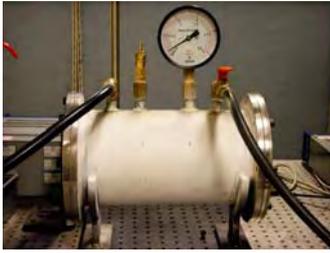


Fig. 2 Algorithm of deformation reconstruction

3. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 ESPI와 전단간섭계를 동시에 사용하였고, 파장이 532 nm인 Nd:YAG 레이저를 사용하였다. Fig. 3에 표현한 두께가 5mm인 압력용기의 내부에 결함의 길이를 10mm로 고정하고 결함의 깊이는 0.5mm부터 3.0mm까지 0.5mm증가 시키면서 내부결함을 제작하였다. 전단량을 동일하게 하고 결함이 있는

각 대상면의 압력차를 0.25MPa, 0.5MPa, 0.75MPa, 1.0MPa로 변화시키면서 실험하였다. 실험장치의 전체적인 구성과 내부결함의 위치는 Fig. 3과 같다.



용기 두께 t=5mm
결함 깊이 d=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0

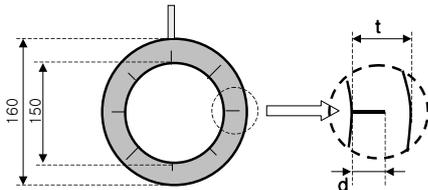


Fig. 3 Pressure vessel and Defect

4.결과 및 고찰

Table 1은 전단간섭계의 전단량을 10mm로 고정하고, 내부결함의 깊이가 2.0mm 부위에 대한 변형의 위상지도로써, 압력 차를 0.25MPa부터 1.0MPa까지 0.25MPa씩 일정하게 변화시키면서 실험한 결과이다. Table 1에서 보는 바와 같이 압력차의 증가에 따라 ESPI와 전단간섭계로 측정된 위상지도 줄무늬의 수가 증가함을 알 수 있다.

Table 1 ESPI and Shearography phase-map according to deformation variation

압력 (MPa)	ESPI (depth 2.0mm)	Shearography (Shearing 10mm depth 2.0mm)
0.25		
0.5		
0.75		
1.0		

Fig. 4는 결함의 깊이가 2.0mm부위의 압력차 변화에 따른 전단간섭계 측정결과를 위상 결편침한 후 최대변형에 대한 변형 프로파일로 나타내었다. Fig. 5는 압력차를 0.5MPa로 고정하고, 결함 깊이 변화에 대한 프로파일을 나타내었다. Fig. 4는 압력차의 변화에 따라 최대 변형 값의 일정하게 변화하고 있음을 알 수 있으며, Fig. 5는 결함 깊이의 변화에 따라 변형프로파일 곡선의 형태가 달라짐을 알 수 있다.

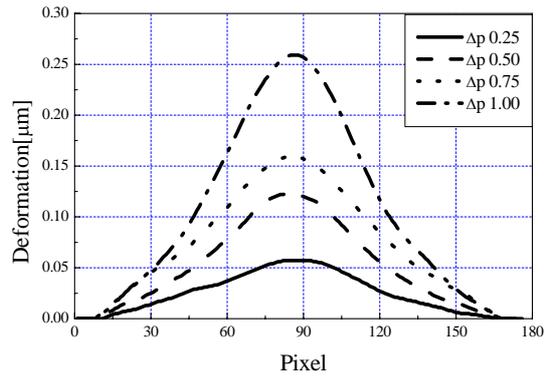


Fig. 4 Deformation profile in Depth 2.0mm of Shearography.

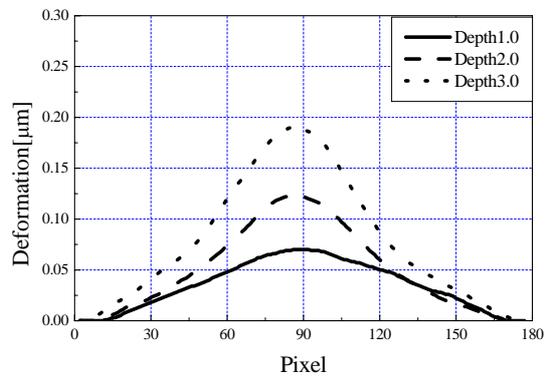


Fig. 5 Deformation profile in $\Delta P=0.5Mpa$ of Shearography.

5. 결론

본 연구 결과 결함이 있는 압력용기의 결함부위에 발생하는 변형은 압력차가 증가할수록 최대변형이 비례하여 증가하며, 결함의 깊이가 깊어질수록 변형이 증가하며, 변곡점이 뚜렷하게 나타남을 알 수 있다.

참고문헌

1. Sung-Hoon Baik, Seung-Kyu Park, Cheol-Jung Kim, "Applications of Speckle Interferometer," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 21, No. 5, pp. 14-18, 2004.
2. Young June Kang, Ju Sung Lee, Nak Kyu Park, Yong Ki Kwon, "Ideal Phase map Extraction Method and Filtering of Electronic Speckle Pattern Interferometry," Journal of the Korean Society of Precision Engineering, Vol. 19, No. 12, pp. 20-26, 2002.
3. Kim, Koungsuk, Kang, Kisoo, Kang, Youngjune, Jung, Seongkyun, "Analysis of an internal crack of pressure pipeline using ESPI and shearography," Optics & Laser Technology, Vo. 35, pp. 639-643, 2004.