

레이저 계측을 이용한 곡관 감육부의 변형 해석

김경석*(조선대 기계설계공학과), 정현철(조선대 기계설계공학과),
정성욱(조선대 LARC), 곽재호(조선대 대학원 기계설계공학과)

Deformation Analysis of Wall Thinning Pipe by Using Laser Measurement

K. S. Kim(Mech. Dsgn. Eng. Dept., CSU), H. C. Jung(Mech. Dsgn. Eng. Dept., CSU),
S. W. Jung(LARC, CSU), and J. H. Kwag(Mech. Dsgn. Eng. Dept., CSU)

ABSTRACT

This study performs to investigate deformation of wall thinning pipe and to find out the position of the internal thinning defect by shearography. Shearography is one of optical methods those have applied to nondestructive testing (NDT) and the strain/stress analysis. This technique has the merit of the directly measuring the first derivative of displacement, sensitivity of which can be adjusted by the handling of optical component in interferometer. In this paper, we tested carbon steel pipe locally wall thinned and loaded internal pressure and developed the nondestructive out-of-plane deformation analysis technique for internal thinning defect of elbow by shearography. From the results, it was confirmed that this technique is proper to the practical application on the pipe line system with internal defect.

Key Words : Wall thinning pipe (감육배관), Internal thinning defect (내부 감육결함), Shearography (전단간섭계), Out-of-plane deformation (면외변형), Internal pressure (내압)

1. 서론

일반적으로 곡관은 그 쓰임새에 따라 사용되는 재질이 달라진다. 특히 발전소나 화학공장 등에서 쓰이는 곡관은 강도와 재질면에서 우수하다. 그러나 이러한 곳에 사용되는 곡관들도 곡관의 건전성을 저하시키는 대표적인 결함인 국부적인 감육현상은 내부에서 발생하기 때문에 발견하기가 어렵고, 손상에 대한 징후를 예견하기 힘들다는 특징이 있다. 따라서 이러한 배관들은 지속적으로 관리하고 있지만, 내부의 치명적인 결함 때문에 장비의 지속적인 사용, 정비, 교체 등을 판단하기 위한 평가 방법이 요구되고 있다. 최근들어 원전 배관의 감육 결함에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹ 그러나 대부분 직관의 감육현상에 대한 연구이며, 곡관에 대한 적절한 평가 방법은 제시되지 못하고 있는 실정이다. 따라서 곡관에 대한 결함 측정방법 개발이 절실히 필요한 상태이며, 이 때 곡관부에 적용되는 하중과 결함의 형상에 따른 손상 정도와 기준 등에 대한 파악이 필요하다. 따라서, 이러한 곡관의 감육결함을 계측하기 위한 방법으로 Shearography 기법을 이용하여 곡관의 손상 정도와 기준 등을 판단하고자 한다.

2. Shearography 이론

본 연구에서는 기존 레이저를 이용한 비접촉식 방법중의 하나인 Shearography 기법²을 기본 이론으

로 하고 있다. Shearography 광학 간섭계에서는 물체의 표면 정보를 가지고 있는 기준 광위상 (Reference optical phase) 신호와 그 기준 영상에 전단거울을 이용하여 형성된 전단영상이 겹치면서 간섭을 일으킨다.

전단거울에 의한 이미지는 전단거울의 기울기 각도에 비례하여 일정한 전단량(Shearing amount)을 가지고 기준 이미지와 겹쳐져서 제2의 스펙클 패턴을 형성하게 된다. 스펙클상관간섭법(Speckle correlation interferometry)은 변형 전후의 스펙클 패턴의 감산처리로부터 스펙클상관 간섭무늬(Speckle correlation

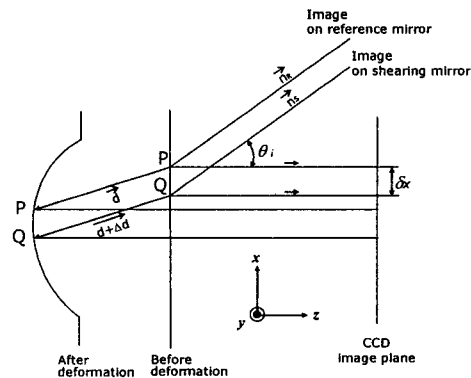


Fig. 1 Optical path trace in Shearography.

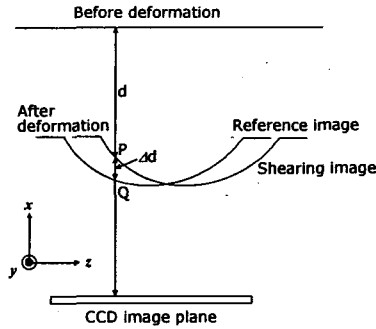


Fig. 2 Superposition of wavefront by shearing.

fringe pattern)를 얻게 되며, 간섭무늬는 물체의 변형 정보를 나타내게 된다. Fig. 1은 물체 위의 임의의 점 P 와 전단량에 의해 점 P 가 이동한 점 Q 에서 물체의 변형에 따른 광로 변화를 나타냈다. Fig. 2는 전단량에 의한 두 점의 중첩을 나타낸다. Fig. 1에서 점 P 와 Q 가 물체의 변형 \vec{d} 에 의해 점 P' 과 Q' 으로 이동할 때 위상차는 식(1)에 의해 식(2)와 같이 쓸 수 있다.

$$\Delta\Phi_P = \frac{2\pi}{\lambda} [d_z(1 + \cos\theta_i) + d_x \sin\theta_i] \quad (1)$$

$$\Delta\Phi_P = \frac{2\pi}{\lambda} \left(d_z + \frac{\partial d_z}{\partial x} \delta x \right) (1 + \cos\theta_i) + \left(d_x + \frac{\partial d_x}{\partial x} \delta x \right) \sin\theta_i \quad (2)$$

Shearography에서는 전단량에 의해 Fig. 2(b)에서 점 P' 과 점 Q' 의 중첩으로 인한 두 점의 위상차를 측정하며, 물체에 조사되는 조사각이 $\theta_i \approx 0$ 이 된다면 d_x 의 성분을 무시할 수 있으며, 식(3)으로 쓸 수 있다. 물체의 상대변위, $\partial d_z / \partial x$ 는 물체 변형위상을 대입함으로써 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$\Delta\Phi = \Delta\Phi_Q - \Delta\Phi_P \cong \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\partial d_z}{\partial x} \delta x \quad (3)$$

$$\frac{\partial d_z}{\partial x} = \frac{\lambda}{4\pi} \Delta\Phi \frac{1}{\delta x} \quad (4)$$

식(4)에서 알 수 있듯이 Shearography는 작은 전단량의 면외변위량에 대한 미분값 $\partial d_z / \partial x$ 를 직접 측정할 수 있음을 알 수 있다. 전단량 δx 가 작을수록 도함수에 가까워지며, 전단량에 의해 광학계의 민감도(상대변위량)를 조절할 수 있다.

3. 실험 및 결과

곡관의 내부에 감육부가 존재하는 경우, Shearography를 이용하여 감육부의 존재 여부 및 위치 파악과 이들 감육부에서 발생하는 변형량을 정량적으로 분석하고자 하였다. 이를 위하여 감육곡관 시험편과 내압을 줄 수 있는 가압장치를 제작하여 연구를 수행하였다. 곡관의 재질은 Butt 용접용 연강인 A234 WPB (SCH XS 80S)이며, 두께는 8.56 mm, 직경은 114.3 mm이다. 파이프와 곡관부(Elbow)는 용접이음하였으며, 곡관부도 동일한 재질을 사용하였

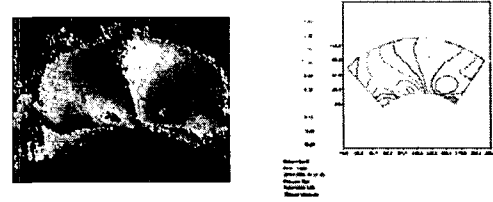


Fig. 3 Result of intrados wall thinned defect. (a) phase map, (b) 2D deformation distribution.

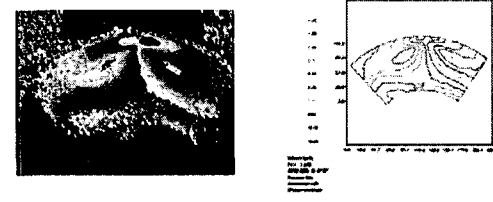


Fig. 4 Result of extrados wall thinned defect. (a) phase map, (b) 2D deformation distribution.

Fig. 3은 곡관의 내호면에 감육부가 존재할 때의 실험결과이며, Fig. 4는 외호면에 감육부가 존재할 때의 실험결과이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 외호면에 감육부가 있는 경우, 시험편 상부, 즉 외호면에 변형이 크게 발생하고 있음을 알 수 있었으며, 특히 감육이 가장 심한 상부 끝단에서 가장 큰 변형이 발생하고 있음을 알 수 있었다. 압력변화는 내호면과 외호면에 대해 1 MPa로 설정하였으며, 이 때 외호면의 경우 최대 변형량은 1.37 μm 로 측정되었다.

ESPI를 이용한 비교 실험에서는 x -방향으로 레이저를 조사한 상태에서 감육결함의 위치에 따른 결과를 비교하였다. 내압이 작용하기 때문에 면외변위가 크게 작용하고 있는 상태이며, 따라서 정확한 면외 변위량을 측정했다고 보기는 어렵다. 이때 면외 변위를 고려한 면내변위의 최대값은 외호면의 경우 7.09 μm , 내호면의 경우 8.37 μm 로 측정되었다.

4. 결론

본 연구에서는 Shearography를 이용하여 곡관의 감육결함에 대한 변위를 정량적으로 계측하였다. 측정 민감도는 ESPI에 비해 낮지만 외란의 영향을 덜 받는 Shearography의 현장 적용성을 확인할 수 있었다.

참고문헌

1. Jin-weon Kim : An Evaluation of the Effect of Internal Thinning Defect on the Failure Pressure of Elbow: The Korean Institute For Industrial Safety 2003, vol.18 no.4 p28
2. Steinchen, W., Yang, L.: Digital Shearography: Theory and Application of Digital Speckle Pattern Shearing Interferometry, SPIE Press, 2003