

스펙클 간섭법을 이용한 플랜지 용접부 내부결함 측정에 대한 연구 stud on the measurement of internal defects at flange elded zone using pec le Interferometr Methods

*김정필¹, #강영준², 이동환², 유원재³, 김성종⁴, 이남권⁵, 박종혁⁵

*J. P. KIM¹, #Y. J. Kang² (yjkang@chonbuk.ac.kr), D. H. Lee², W. J. Ryu³, S. J. Kim⁴, N. K. Lee⁵, J. H. Park⁵

¹전북대학교 기계설계대학원, ²전북대학교 기계항공시스템공학부, ³전주 기계 산업 리서치센터, ⁴전북대학교 기계설계대학원, ⁵(주)가나엔지니어링

Key words : Internal Defects, Shearography, Flange, Welded Zone

1. 서론

용접부 내부결함에 대한 비파괴검사(NDT)방법으로는 현재 RT(Radiographic Testing)과 UT(Ultrasonic Testing)이 일반적으로 사용되고 있다. 그러나 RT는 형상. 공간적인 제약으로 플랜지 용접부 결함 검사에 단점을 가지고 있다. UT또한 검사표면이 거친 경우 측정의 어려움을 가지고 있다. RT와 UT의 단점을 보완하기 위해 speckle 간섭법의 하나인 shearography를 이용하여 압력용기 플랜지 이음부분의 내부 결함에 대한 검사방법을 연구하였다. shearography방법을 사용하는 비파괴검사는 기존의 다른 검사법으로는 어려운 복합재, 용접부위 등의 검사에 많이 사용되고 있으며, 특히 자동차 및 항공기타이어, 항공기의 복합판재 등의 내부 결함 검사에 검증된 방법으로 사용되고 있다. 그래서 본 연구는 shearography를 이용한 플랜지 용접부의 내부결함 검출을 목적으로 하고 있다.

2. 원리

2.1 shearography의 기본 원리

Fig. 3은 lateral digital shearography의 개략도이다. 레이저에서 나온 빛이 물체면에 조사된 후 반사되어 나와서 광 분할기에서 두 개의 빔으로 나누어진 후 하나는 위에 있는 거울에 반사되어 상면에 맺히고, 나머지 하나는 옆에 있는 거울에서 반사되어 다시 광 분할기로 들어가서 상면에 맺히게 된다. shearography에서 거울을 살짝 회전시켜주면 회전된 거울에서 반사된 파면은 회전하지 않은 거울에서 반사된 파면에 대해서 수평으로 전단되어 상면에 맺히게 된다. 이렇게 변형된 물체의 정보를 가진 스펙클 패턴과 물체에 변형을 준 후 위에서와 같은 방식으로 저장한 스펙클 패턴을 전자적으로 빼주게 되면 나비모양의 간섭무늬가 형성된다.

2.2 shearography의 이론

P점과 Q점에서 변형 전과 후의 위상차를 구해보면

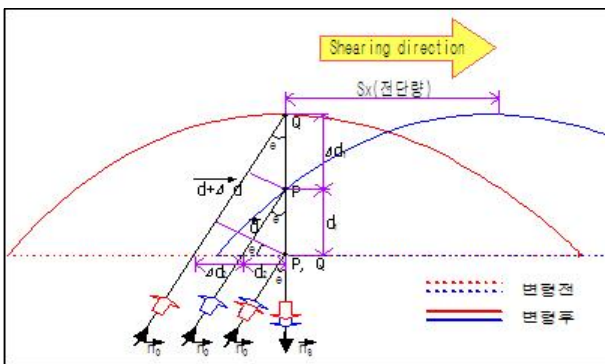


Fig. 1 Vector diagram to calculate phase difference

P점에서의 위상차는

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

Q점에서의 위상차는

$$\Delta\Phi_Q = \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_o - \vec{n}_s) \cdot [(\vec{d} + \Delta\vec{d})] \quad (2)$$

래터럴 전자 전단 간섭계는 두 점 P와 Q사이에서의 변형의 차이를 측정하기 때문에 간섭계에서 간섭무늬가 나타내는 위상차 $\Delta\Phi$ 는 식(2)에서 식 (1)을 빼 것과 같다. 그래서

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{\lambda} (\vec{n}_o - \vec{n}_s) \cdot [(\vec{d} + \Delta\vec{d}) - \vec{d}] \quad (3)$$

P점과 Q점에서 변형 전후의 위상차를 Fig.1에서 직접 구해보면

$$\Delta\Phi_P = \frac{2\pi}{\lambda} [(1 + \cos\theta)d_1 + \sin\theta d_2] \quad (4)$$

$$\Delta\Phi_Q = \frac{2\pi}{\lambda} [(1 + \cos\theta)(d_1 + d_2) + \sin\theta(d_2 + \Delta d_2)] \quad (5)$$

식 (3)에서 Δd 는 테일러 정리를 이용하여 다음과 같이 전개 할 수 있다.

$$\Delta d = \frac{\partial d}{\partial X} \frac{\Delta X}{1!} + \frac{\partial^2 d}{\partial X^2} \frac{(\Delta X)^2}{2!} + \dots \quad (6)$$

ΔX 는 상면에서 S_X 와 같고 이 값은 충분히 작기 때문에 위의 식에서 2차 이상의 고차 항은 무시할 수 있다. 따라서 식 (6)은

$$\Delta d = \sum_j \frac{\partial d_j}{\partial X_j} S_X, \quad i=1,2,3 \quad (7)$$

그러므로 식 (7)에서 Δd_1 과 Δd_2 를 구해서 이 값을 식 (5)에 대입하면

$$\Delta\Phi_Q = \frac{2\pi}{\lambda} [(1 + \cos\theta)(d_1 + \frac{\partial d_1}{\partial X} S_X) + \sin\theta(d_2 + \frac{\partial d_2}{\partial X} S_X)] \quad (8)$$

θ 가 작으면 $\sin\theta \cong 0$ 이므로

$$\Delta\Phi = \Delta\Phi_Q - \Delta\Phi_P = \frac{2\pi}{\lambda} (1 + \cos\theta) \frac{\partial d_1}{\partial X} S_X \quad (9)$$

$$\Delta\Phi \cong \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\partial d_1}{\partial X} S_X \quad (10)$$

따라서 간섭계에 의해 측정되는 간섭무늬는 인접한 두 점에서의 변형률인 $\partial d_1/\partial X$ 의 값이 일정한 등고선을 나타냄을 알 수 있다. 또 식에서 알 수 있듯이 전단량 S_X 의 값이 0에 가까울수록 식 (10)은 오차가 작은 정확한 식이 되지만, 반대로 S_X 의 값이 0에 가까울수록 결함을 검출할 수 있는 간섭계의 민감도가 반비

레해서 감소함을 알 수 있다.

3. 시편제작및 실험장치

실험에서 사용된 플랜지 용접부분은 ASME code section IX에서 나와 있는 용접에 대한 규정에 의거해 제작하였고, 결함의 생성은 방전가공법을 이용하여 내부 용접부의 용접 결함의 길이를 다르게 하여 제작하였다. 시편에 대하여 변형을 여기 시키는 방법은 질소가스를 사용하여 내부를 가압하는 방법을 사용하였다. 시험편에 2, 4, 6 kgf/cm²의 압력으로 가압하였다.

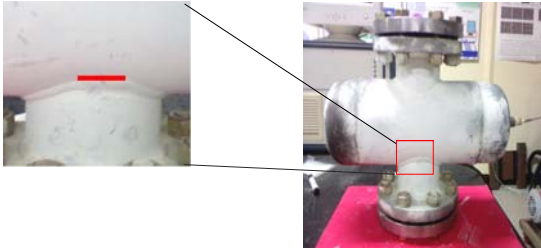


Fig 2 The shape of defect

Table 1 Specification of defects (단위 : mm)

Specimen	Length	depth	thickness
1	no defect		
2	10	3	0.4
3	15	3	0.4
4	20	3	0.4

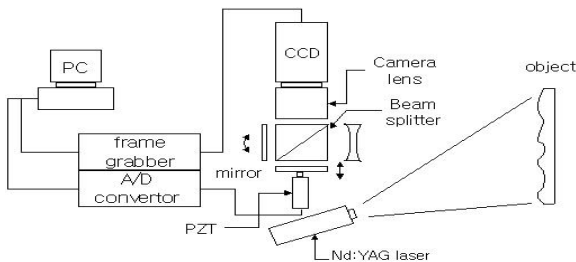
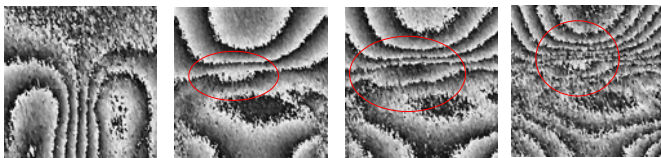


Fig. 3 shearography setting

4. 실험결과



(a) no defect (b)2 kgf/cm² (c)4 kgf/cm² (d)6 kgf/cm²
Fig. 6 detect of defect (length : 20 mm)

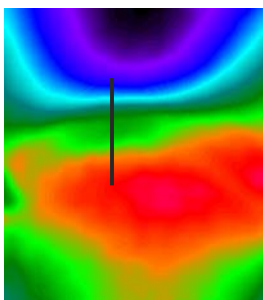


Fig. 7 color image

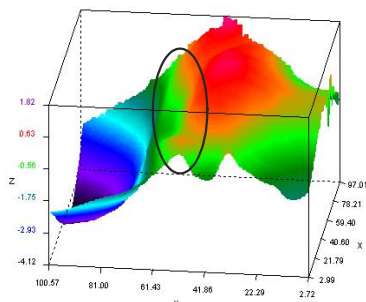


Fig. 8 3D image

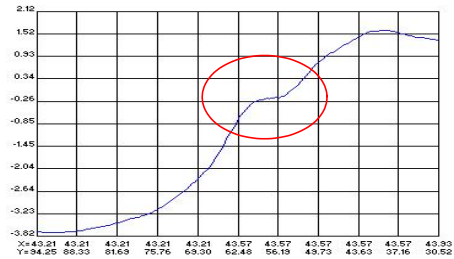


Fig. 9 Line profile

Fig.5(a)는 결함이 없는 압력용기의 위상도이다. 이를 기준으로 Fig.5(b)~(d)는 결함 길이가 20 mm인 압력용기에 각각 2, 4, 6 kgf/cm²의 가압을 하여 얻은 위상도이다.

결함길이 10 mm, 15 mm는 결함 변형보다 압력용기 자체의 변형이 상대적으로 크기 때문에 Butterfly무늬가 생성이 어렵다. 따라서 결함이 20 mm인 결과 값을 나타내었다. 또한 Fig. 7에서 Line profile을 얻은 결과는 Fig.9와 같은 Line profile을 나타낸다. Fig.9는 Fig.8의 3-D image에서도 나타나듯이 Line profile가운데 완만한 변형 부분에 결함이라고 할 수 있다.

4. 결론

스펙클 간섭법중 shearography방법을 이용하여 압력용기 플랜지 용접부의 내부결함 측정에 관한 내용이다. 결함에 의한 변형보다 가압을 통한 압력용기 자체의 변형이 더 크기 때문에 Butterfly모양을 얻을 수 없었다. 큰 결함을 가공하여 측정을 한다면 결함에 대한 크기 측정까지 가능할 것이다. 스펙클 간섭법을 이용하여 결함의 크기뿐 아니라 결함의 모양까지 측정이 가능하리라 생각이 된다. 본 연구를 발전시켜 스펙클 간섭법을 이용하여 용접부의 내부결함에 대한 정량적 측정을 통한 오차 분석에 관한 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 인력양성 사업(GJ-05-1-015)의 연구비로 지원되었다.

참고문헌

- Lekberg, O. j. and Maimo, J. T. "Detection of Defects in Composite Material by TV Holography", NDT International, Vol. 21, No. 4, pp. 223-228, 1988.
- Wykes, C. "Use of Electronic Speckle Pattern Interferometry in the Measurement of Static and Dynamic Surface Displacement", Optical Engineering, Vol. 21(3), pp. 400-406, 1982.
- P. K. Rastogi, "Holographic Interferometry", Springer Series in Optical Science, pp. 27-31, 1994.
- 강영준, 강형수, 채희창, "전자 진단 간섭법과 유한요소법을 이용한 압력용기의 내부결함 측정에 관한 연구", 한국공작기계학회논문집, Vol. 10 No.2, 2001.
- 남궁재관, "용접부 결함검출에 관한 실험적 연구", 한국공작기계학회논문집, Vol.12 No.6 2003