

전자 전단 간섭법을 이용한 플랜지 용접부 내부 결함 측정에 관한 연구

A study on the detection of the internal defect at the flange weld by digital Shearography

*김정필¹, #강영준², 이동환², 유원재³, 한삼희⁴, 오정윤⁴

*J. P. Kim¹, #Y. J. Kang(yjkang@chonbuk.ac.kr)², D. H. Lee², W. J. Ryu³, S. H. Han⁴, J. Y. Oh⁴

¹ 전북대학교 기계설계대학원, ² 전북대학교 기계설계대학원, ³ 전북기계산업리서치센터, ⁴ 전북대학교 기계설계대학원

Key words : Internal defect, Shearography, Welded Zone

1. 서론

압력용기의 용접부분의 검사방법으로 크게 3 가지를 사용한다. 첫째, Mechanical examination 이 있고, 둘째로 Visual Examination 이 있다. 마지막 세 번째 방법으로 Radiographic examination 이 있다. 또한 압력용기의 용접 후 또는 유지보수를 위한 검사방법으로 RT 와 UT 를 많이 사용한다.^[1] 이 방법들은 접촉식 방법으로 공간적인 한계를 나타낸다. 이런 점을 극복하기 위해서 비 접촉식 검사방법의 필요하다. 간섭성 광원을 이용하는 방법 중 정렬이 쉽고, 진동 등 외란에 둔감한 전자 전단 간섭법이 산업현장에서 널리 쓰이고 있다. Shearography 는 홀로그래피나 ESPI 처럼 조사부위 전체의 검사가 가능하다. 기존 방법에 비하여 검사영역이 넓고 한 순간 정성적인 결함 검출이 가능하여 보다 빠르고 효율적인 검사를 할 수 있다.^[2] 본 연구에서는 십자형 압력용기의 용접부에 내부 결함을 방전가공 하였다. 결함 방향에 따른 fringe 패턴을 관찰하였다. 결함을 정성적으로 검출하고 결함의 길이에 대한 정량적인 검출을 수행하였다.

2. 이론

Fig.1 은 레터럴 전자 전단 간섭계의 개략도이다. 레이저에서 빔이 물체에 조사되고 반사된 빛이 광 분할기를 거쳐 하나는 위쪽은 거울을 통해 CCD 에 상이 맺히고 다른 하나는 오른쪽 거울을 통해 반사된 후 CCD 에 상이 맺히게 된다. 이때 그림에 나와 있듯이 오른쪽 거울을 살짝 회전시켜 CCD 에 맺히는 두 개의 상을 전단(shearing)시키게 된다. 이 상태에서 변형 전 물체의 정보를 가진 스펙클 패턴과 변형 후 물체의 정보를 가진 스펙클 패턴을 전자적으로 빼주게 되면 나비(butterfly)모양의 무늬가 생기게 된다.

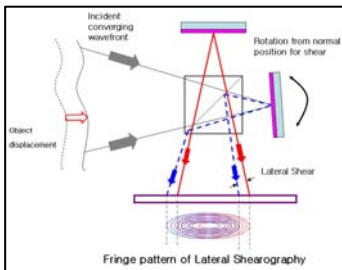


Fig. 1 Schematic diagram for a lateral digital Shearography

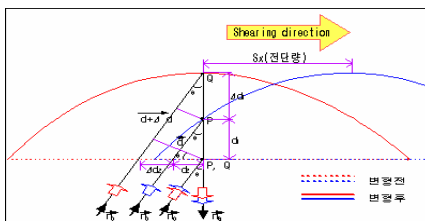


Fig. 2 Vector diagram to calculate Phase difference

P 점과 Q 점에서 변형 전후의 위상차를 Fig. 2 에서 직접

구해보면

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

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

식 (2)를 테일러 정리를 이용하여 그 값을 정리하면 다음과 같다.

$$\Delta\phi_Q = \frac{2\pi}{\lambda} [(1 + \cos \theta)(d_1 + \frac{\partial d_1}{\partial x} Sx) + \sin \theta (d_2 + \frac{\partial d_2}{\partial x} Sx)] \quad (3)$$

θ 가 작으면 $\sin \theta \cong 0$ 이므로

$$\Delta\phi = \Delta\phi_Q - \Delta\phi_p = \frac{2\pi}{\lambda} (1 + \cos \theta) \frac{\partial d_1}{\partial x} Sx \quad (4)$$

$$\Delta\phi \cong \frac{4\pi}{\lambda} \frac{\partial d_1}{\partial x} Sx \quad (5)$$

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 Sx 의 값이 0 에 가까울수록 식 (5)는 오차가 작은 정확한 식이 되지만, 결함을 검출 할 수 있는 간섭계의 민감도는 떨어진다고 할 수 있다.^[3,4]

3. 시편제작 및 실험장치 구성

시험용기는 Fig. 3 와 같이 제작되었다. 재질은 SUS-304 이며 외경은 110mm 이며 두께는 5mm 이다.

Table. 1 Specification of defects

specimen	Direction	Length(mm)	Depth(mm)
1	defect free	0	0
2	Axis	20	4
3	Circumference	20	4
4	Circumference	20	4

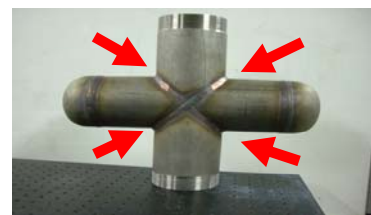


Fig. 3 photograph of specimen

광학계는 Fig. 4 와 같이 방진 테이블 위에 구성되었다. 광원으로는 COHERENCE 사의 모델명 DPSS 532 로서 레이저의 세기는 Max 500mW 이며, 파장은 532nm 인 Nd-YAG 이다. 변형 여기 방법으로 질소 가압을 선택하였다.^[5]

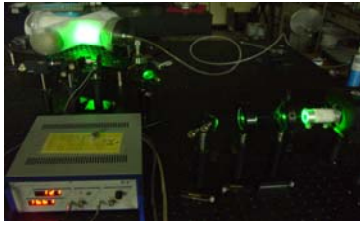


Fig. 4 Photograph of the Shearography

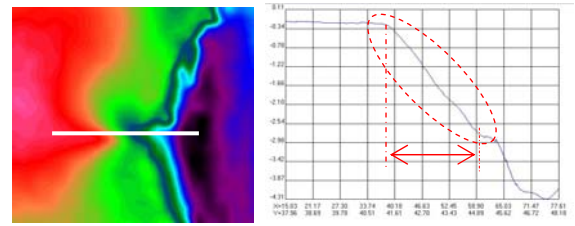


Fig. 8 color image

Fig. 9 line profile

4. 실험결과

가압은 P1 : $9.8 N/Cm^2$ 에서 P4 : $39.2 N/Cm^2$ 까지 가압하였다. P2 : $19.8 N/Cm^2$, P2 : $29.4 N/Cm^2$ 이다. 전단량은 10mm 를 x, y 방향으로 하였다. 실험결과는 왼쪽부터 P1, P2, P3, P4 이다.

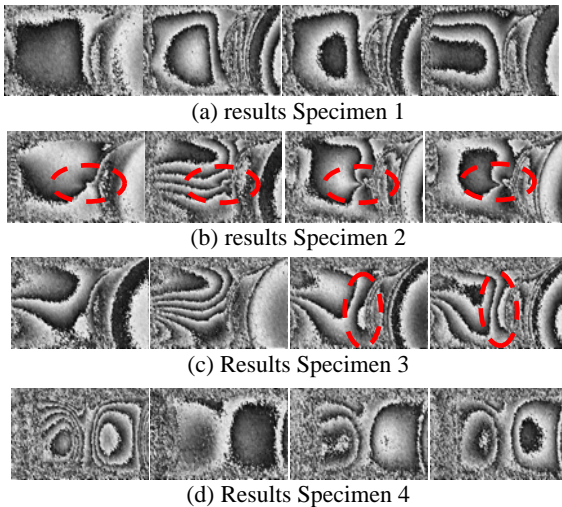


Fig. 5 results of x-direction shearing

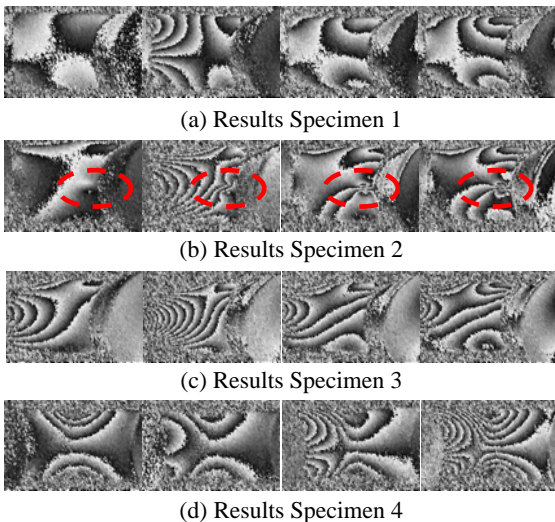


Fig. 6 results of y-direction shearing

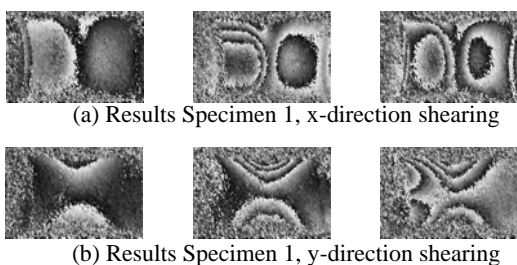


Fig. 7 results Specimen 1, Symmetrical measurement (사진 왼쪽부터 P1, P2, P3)

Fig. 5 ~ Fig. 7 에 보여지는 것처럼 축 방향 결함과 원주 방향 결함 모두 무결함과 다른 fringe 패턴을 확인하였고 결함이 있음을 확인 할 수 있다. Fig. 8 과 Fig. 9 는 축 방향 결함을 x 방향으로 전단하여 P3 일 경우의 결과이다. 결함 끝 단에서 응력집중이 발생함을 알 수 있다.^[6] 결함 길이를 측정하기 위해서 Phase map 에서 line profile 을 추출하여 최대, 최소점 사이의 화소수를 계산하여 길이를 측정하는 방법을 이용하였다. 축 방향 결함에 대해 X 축 전단을 하여 측정한 결과 결함의 길이를 구할 수 있었다. 이를 통하여 결함의 길이가 20mm 정도임을 알 수 있다.

5. 결론

축 방향 결함의 원주방향 파면넓이가 원주방향 결함의 것에 비해 크다. 결함이 받는 힘은 파면의 원주방향 넓이가 크면 비례하여 커진다. 용접으로 인하여 용접부와 열영향 부는 변형률이 작아진다. 이로 인하여 용접부와 열영향부의 결함에서 변형이 모재의 변형에 비하여 상대적으로 작아 fringe 패턴 검출이 어려웠다. 추후 논문에서는 결함의 다양한 종류와 크기를 측정하여 결함 정량화에 대한 연구가 필요하다.

후기

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술재단의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 연구 결과임.

참고문헌

1. D. L. Mader, "Holographic and nonholographic NDT for nuclear and coal-fired power plants", SPIE Vol.604, Holographic Nondestructive Testing, pp.37 ~ 56, 1986.
2. Y. Y. Hung, "Shearography: A Practical Nondestructive Testing Method", International Advances in Nondestructive Testing, Vol. 14, 1989
3. Wolfgang Steinchen, Lianxiang Yang, "Nondestructive testing of micro-cracks using digital speckle pattern shearing interferometry", SPIE, Vol. 3098, Holography and Shearography, pp.528 ~ 535, 1997
4. W. Steinchen, L. X. Yang, M. Schuth, G. Kupfer, "Electronic Shearography(ESPI) for direct measurement of Strains", SPIE, Vol. 2248, pp.210 ~ 221
5. 문상준, 강영준, 백성훈, 김철중, "실시간 홀로그래픽 간섭법을 이용한 압력용기의 내부결함 측정법", 대한기계학회, Vol. 20, No. 2, pp2237 ~ 2242, 1996. 4
6. Leland D. Melvin and Brooks A. Childers, James P. Fulton, "Quantitative Analysis of a Class of Subsurface Cracks Using Shearography and Finite Element Modeling", Review of Progress in Quantitative Nondestructive Evaluation, Vol. 12