

3D ESPI를 이용한 Butt용접 열영향부의 변형 측정

The Strain Measurement of Butt Welded Heat Affected Zone by 3D ESPI

차용훈*, 이연신**, 성백섭***, 정영재***, 김성현****, 박영문****

* 조선대학교 공과대학 기계공학과, ** 송원대학 자동차과

*** 목포대학교 공과대학 기계공학과, **** 조선대학교 대학원 기계공학과

1. 서 론

최근에 레이저광의 우수한 성질을 이용한 응용연구가 활발히 진행되고, 산업분야에서도 널리 이용되고 있으며 매우 넓은 범위를 포함하고 있다⁽¹⁻²⁾. 응용분야도 오늘날 광통신, 계측, 정보처리, 분광, 광디스크, 광전자기기, 재료가공 등 각방면에 걸쳐 급속히 확대되어가고 있으며, 레이저를 이용하여 용접부의 스트레인 측정에 응용할 필요성이 대두되고 있다. 또한 많은 분야에서 레이저를 이용한 새로운 기술이 필요하다.⁽³⁻⁷⁾

현재 일반용접구조물, 교량, 산업기계, 건축, 해양구조물 등에 가장 널리 사용하고 있으며, 흡수식 냉온수기(Absorption Chiller-Heater)에 사용하고 있는 SS400의 재료를 용접하여 제작하고 있다. 따라서 흡수식 냉온수기 용접부의 열적 및 응력의 변화로 인한 용접부에 손상을 주고있어 레이저를 이용하여 용접부의 면외거동을 측정하였다.

2. 이론 및 실험

2.1 면외변위 계측이론

Fig. 1은 실시간법에서 줄무늬 형성원리를 보여주는 그림이며, 복소 진폭의 합은

$$U_S = U_O + U_{OR} = KA(x, y)e^{i\phi}[-1 + e^{i\Delta\phi(x, y)}] \quad (1)$$

$$I_S = U_S U_S^* = K^2 A^2(x, y)[2 - e^{i\Delta\phi(x, y)} - e^{-i\Delta\phi(x, y)}] \quad (2)$$

$$I_S = 2KA^2(x, y)[1 - \cos \Delta\phi] \quad (3)$$

어두운 줄무늬는 다음의 위치에서 점의 궤적으로 형성된다.

$$\Delta\phi = n\pi, \quad n=0, 2, 4, \dots \quad (4)$$

실시간법의 장점은 무엇보다도 물체의 변형에 대한 줄무늬 패턴을 변형이 일어나는 시점에서 관측할 수 있으며, Fig. 2는 면외변위 정보를 설명하는 개략도 그림이다.

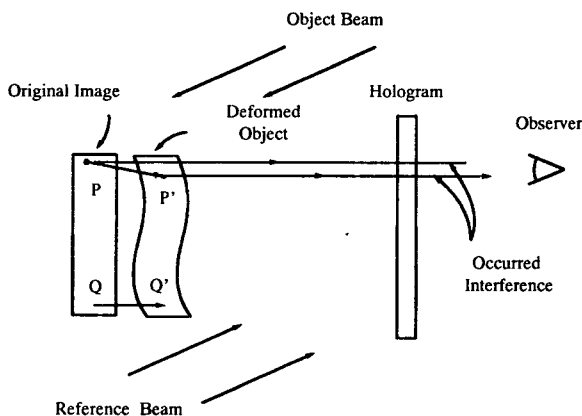


Fig. 1 Fringe formation in real-time holographic interferometry

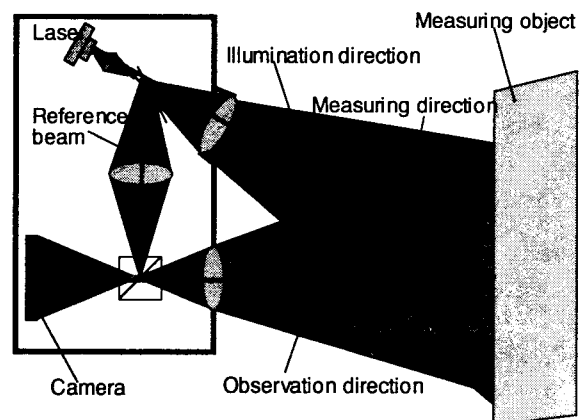


Fig. 2 Out-of-plane displacement interferometry of ESPI

2.2 실험 방법

실험에 사용된 재료는 SS400이고 두께는 6.0mm로 흡수식 냉온수기에 사용하고 있는 재질이다. 재료의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of base metal

(Wt. %)

| C | Si | Mn | P | S | S.AL | Cr | Ni | NB | V | TI | CEQ |
|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|-------|-------|-------|------|
| 0.14 | 0.27 | 0.57 | 0.018 | 0.010 | 0.046 | 0.03 | 0.01 | 0.002 | 0.001 | 0.001 | 0.25 |

Table 2 Mechanical property of base metal

| Tensile strength (N/mm ²) | Yield strength (N/mm ²) | Elongation (%) |
|--|--|-------------------|
| 883.96 | 368.97 | 27 |

용접시 용접부의 역학적 조건 및 시험편이 수축, 팽창을 받지 않는 무한평판의 최소 크기로 선정하였다. SS400판을 300×180 크기로 하여 용접하였으며, 개선각을 V 형태로 하였다. 사용된 와이어는 Ø1.2mm인 현대 SF-71 Flux core wire이고 용접조건은 Table 3과 같다.

Table 3 Welding conditions of butt welding

| Thickness (mm) | Pass | Current (A) | Voltage (V) | Welding speed (mm/s) |
|-------------------|------|----------------|----------------|-------------------------|
| 6 | 1 | 100 | 20 | 2.25 |
| | 2 | 280 | 26 | 4 |

Table 4 Mechanical property of Welded specimen

| Tensile strength (N/mm ²) | Yield strength (N/mm ²) | Elongation (%) |
|--|--|-------------------|
| 436.1 | 366.814 | 33 |

2.3 시스템 구성

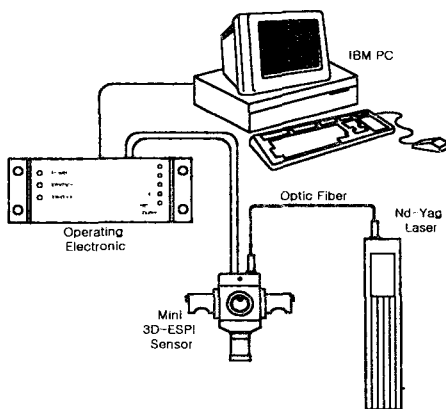


Fig. 3 Schematic diagram of total ESPI system employed

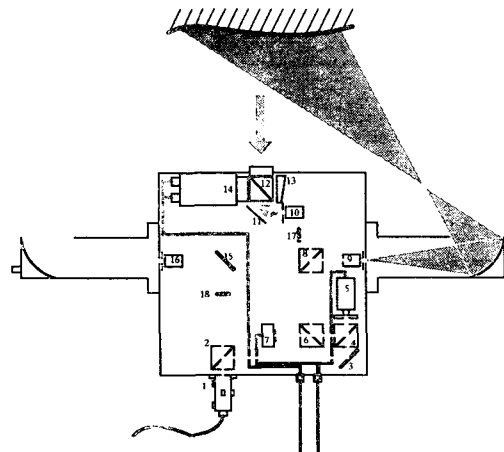


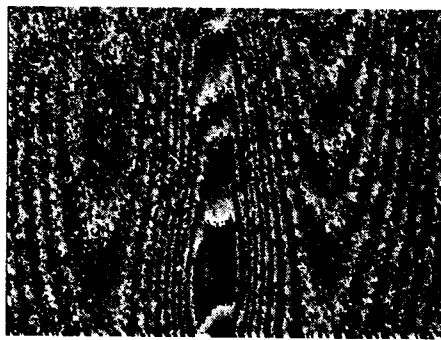
Fig. 4 Operating electronic device system of 3D ESPI sensor

| No. | Component | Working |
|-----|------------------|---------|
| 1 | Laser Source | o |
| 2 | Beam Splitter 1 | o |
| 3 | Fixed Mirror 1 | o |
| 4 | Beam Splitter 2 | o |
| 5 | PZT | o |
| 6 | Beam Splitter 3 | o |
| 7 | Detector | o |
| 8 | Beam Splitter 4 | o |
| 9 | Spatial Filter 1 | o |
| 10 | Spatial Filter 2 | o |
| 11 | Rotation Mirror | o |
| 12 | Beam Combiner | o |
| 13 | Tilting Mirror | x |
| 14 | CCD Camera | o |
| 15 | Fixed Mirror 2 | x |
| 16 | Spatial Filter 3 | x |
| 17 | Shutter 1 | x |
| 18 | Shutter 2 | o |

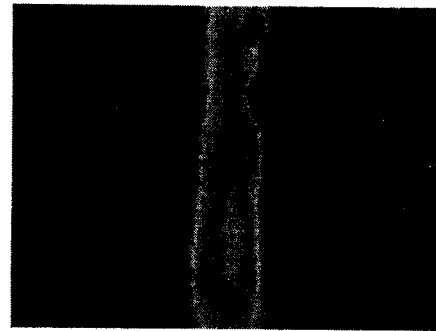
Fig. 3은 ESPI 장치의 전체 시스템 구성도를 도식적으로 나타낸 그림이다. Electronic 장치는 화상을 위상이동 시키기 위한 장치이며 PZT에 전기적 신호로 보내 위상을 이동시킨다. 컴퓨터에는 Frame Grabber 카드가 설치되어 화상의 입력과 계산을 수행하여 얻고자 하는 화상을 모니터를 통하여 2차원과 3차원 그래프로 보여주며, 화상을 처리하여 변형 값과 스트레인을 정량적으로 보여주는 역할을 한다. Fig. 4는 3D ESPI 센서의 내부 구성도를 나타낸 그림이며, 시스템의 각종 사양리스트를 나타냈다.

3. 실험결과 및 고찰

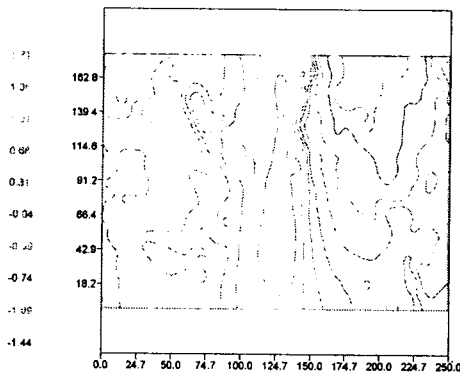
Fig. 5~6에서는 맞대기 용접부의 변형정보인 면외변위를 측정된 그림이다. 측정시 시험편지그로 고정된 상태에서 하중을 용접시험편 뒷면에서 부과하여 용접부 쪽에서 면외변위 측정하였다. 그림의 (a)는 ESPI 시스템으로 측정된 원시이미지이고 (b)는 Phase map 처리된 그림이다. 또한 (c)는 집중된 변형정도를 분포 형태로 본 그림이며 (d)는 3차원적인 정보를 용접부 근방을 그림화 한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 용접부 부근에서 변형의 집중 상태를 볼 수 있었고, 하중이 증가에 따라 그 정도가 더욱 크게 측정되었으며, 본 연구에서 구성한 시스템을 검증한 결과 응력 집중부, 크랙 발생부, 용접부를 실시간적으로 측정할 수 있었다.



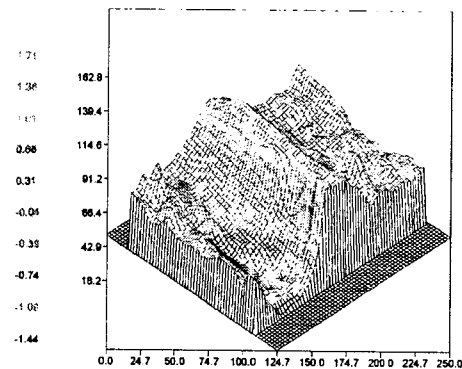
(a) Preimage of ESPI



(b) Phase map calculation

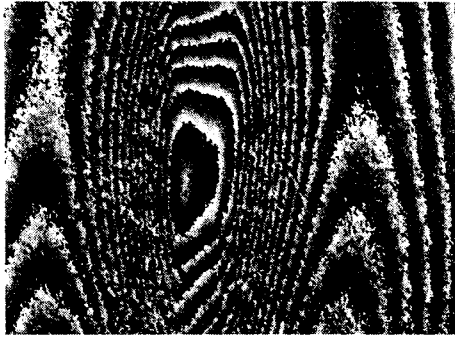


(d) Displacement distribution by the ESPI

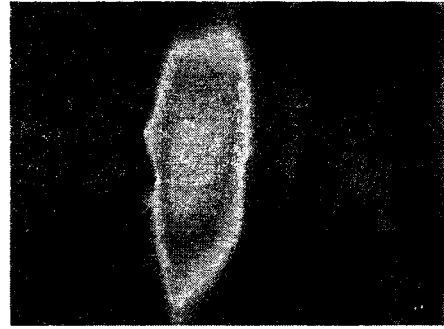


(e) Area 3d

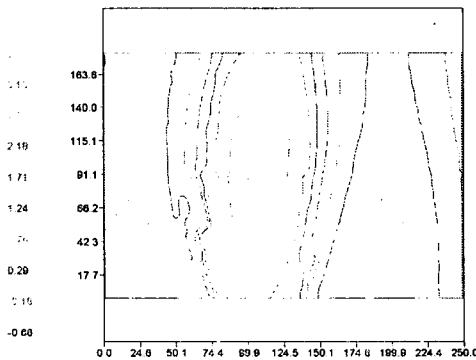
Fig. 5 Strain pattern of butt welded zone in the 196N tension



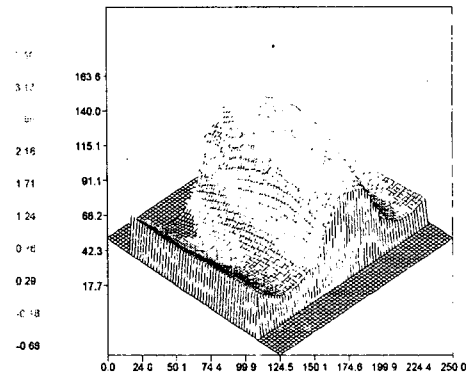
(a) Preimage of ESPI



(b) Phase map calculation



(d) Displacement distribution by the ESPI



(e) Area 3d

Fig. 6 Fringe pattern of butt welded zone in the 588N tension

4. 결 론

3D ESPI법에 의한 변형측정 시스템을 구성하여 흡수식 냉온수기(Absorption Chiller-Heater) Butt 용접부의 면외변위를 측정된 결과 용접열영향부 부근에서 변형이 집중된 상태를 볼수 있었으며, 실제 부과 하중시 용접부에 변형률이 집중됨을 실 시간적으로 예측할 수 있었다. 또한 부가하중 증가에 따라 변형정도가

5. 참고문헌

1. Cha, Y.H., Bang, H.S., Oh, Y. K., Ro, C. S. and Kim, J. M. "Numerical analysis is of post welding heat treatment base on the thermal", Journal of Ocean Engineering and Technology, Vol.11, No.1, (1997), pp. 113-123.
2. Cha, Y. H., Sung, B. S. and Kim, D. J., "A study on the in-plane displacement measurement of spot welded joints by electronic speckle pattern interferometer method", The Korean Society of Machine Tool Engineers, (1997), pp. 48-53.
3. 백성훈, 김철중, "실시간 홀로그래픽 간섭법을 이용한 압력용기의 내부결합 측정법", 95 추계학술대회논문집(I), pp. 53-58.
5. David L. Andrews, "Lasers in Chemistry", Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, (1990).
6. Rastogi, P. K. "Holographic interferometry - principles and methods: Springer Series in Optical Sciences, Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, (1994), Vol.68.
7. Rastogi, P. K., "Holographic interferometry principles and methods", Springer-Verlag, (1994), pp. 2-316.