

구조용강 맞대기 용접부의 면외변위 측정

차용훈 · 성백섭* · 박창언* · 김성현**

조선대학교 공과대학 기계공학과 · *목포대학교 공과대학 기계공학과

**조선대학교 대학원 기계공학과

1. 서 론

ESPI는 물체 표면의 광학적 거치기에 의해 집속성이 우수한 Laser 광원이 물체 표면에 조사 되면 미세하고 랜덤한 반점들로 관측된다. 이들은 밝고 어두운 반점 형태로 관측 위치나 렌즈와 상관없이 관측된다. ESPI법은 스트레인게이지, 홀로그래피 및 모아래 기법과는 달리 비접촉, 실시간, Whole-field, 레이저 파장 단위까지 측정이 가능하여 기존의 방법들의 문제점을 극복할 수 있는 신기술이라 할 수 있다. ESPI는 반도체와 같은 소형의 제품 뿐만 아니라 기존에 측정하지 못했던 초고온, 대형 구조물의 변형도 정확하게 측정을 할 수 있어 많은 분야에 응용이 가능하다. 또한 기존의 방법들을 대신하여 더욱 정밀한 측정을 할 수 있으며, 기존의 방법으로는 측정하지 못했던 특수한 경우에도 측정이 가능하다.

따라서 일반용접구조물, 교량, 산업기계, 건축, 해양구조물 등에 가장 널리 사용하고 있는 SS400재를 이용하여 맞대기 용접하고 용접 열영향부 근방에 대하여 레이저 계측시스템을 구성하고 변위를 측정하였다. 이것은 구조물 및 기계제작품의 용접부에 열적 및 응력의 변화로 인해 용접부에 손상을 주고있어 이를 실시간적으로 계측하여 결함 및 응력 집중부를 검토하는데 활용할수 있을 것이다.

2. 이론 및 실험

2.1 면외변위 계측이론

대상체에 변형이 발생하기 전에 위상량이 $\pi/2$ 만큼의 차를 갖는 스펙클 패턴 $I_1(x, y)$ 와 $I_2(x, y)$ 를 얻고, 대상체에 변형을 가한 다음 다시 위상량이 $\pi/2$ 만큼의 차를 갖는 스펙클 패턴 $I_3(x, y)$ 와 $I_4(x, y)$ 를 얻어 변형에 대한 변위 위상 $\Delta\phi_o(x, y)$ 를 구할 수 있다. 수식적으로 나타내면 다음과 같다.

$$I_1(x, y) = \alpha(x, y) + \beta(x, y) \cos \Psi(x, y) \quad (1)$$

$$\begin{aligned} I_2(x, y) &= \alpha(x, y) + \beta(x, y) \cos (\Psi(x, y) + \pi/2) \\ &= \alpha(x, y) - \beta(x, y) \sin \Psi(x, y) \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
I_3(x, y) &= \alpha(x, y) + \beta(x, y) \cos (\Psi'(x, y) + \pi/2) \\
&= \alpha(x, y) + \beta(x, y) \cos (\Psi(x, y) + \Delta\phi_o(x, y) + \pi/2) \quad (3)
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \alpha(x, y) - \beta(x, y) \sin (\Psi(x, y) + \Delta\phi_o(x, y)) \\
I_4(x, y) &= \alpha(x, y) + \beta(x, y) \cos (\Psi(x, y) + \Delta\phi_o(x, y) + \pi) \\
&= \alpha(x, y) - \beta(x, y) \cos (\Psi(x, y) + \Delta\phi_o(x, y)) \quad (4)
\end{aligned}$$

위 식들을 같은 위상에 대해 $I_1(x, y) - I_4(x, y)$ 와 $I_2(x, y) - I_3(x, y)$ 와 같이 정리하고 $I_2(x, y) - I_3(x, y)$ 를 $I_1(x, y) - I_4(x, y)$ 로 나누면

$$\begin{aligned}
\frac{I_2(x, y) - I_3(x, y)}{I_1(x, y) - I_4(x, y)} &= \frac{\sin(\Psi(x, y) + \Delta\phi_o(x, y)) - \sin \Psi(x, y)}{\cos \Psi(x, y) + \cos(\Psi(x, y) + \Delta\phi_o(x, y))} \quad (5) \\
&= \frac{\sin\left(\frac{\Delta\phi_o(x, y)}{2}\right)}{\cos\left(\frac{\Delta\phi_o(x, y)}{2}\right)} = \tan\left(\frac{\Delta\phi_o(x, y)}{2}\right)
\end{aligned}$$

과 같이 정리되므로 변위에 대한 위상 $\Delta\phi(x, y)$ 는

$$\Delta\phi_o(x, y) = 2 \tan^{-1} \left(\frac{I_2(x, y) - I_3(x, y)}{I_1(x, y) - I_4(x, y)} \right) \quad (6)$$

과 같다.

2.2 실험 방법

실험에 사용된 재료는 SS400이고 두께는 6.0mm이다. 재용접시 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 용접조건과 인장시험결과를 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1 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 2 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

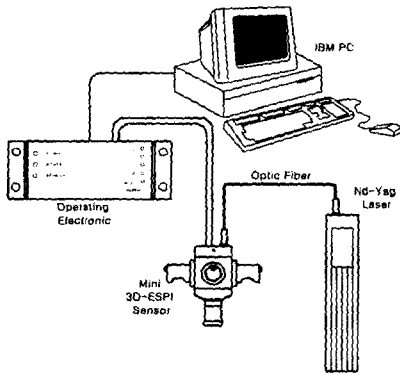
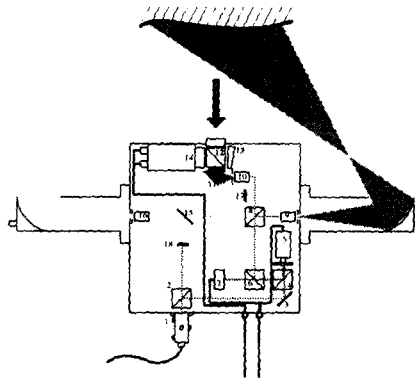


Fig. 3 Schematic diagram of total ESPI system employed



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. 4 Operating electronic device system of 3D ESPI sensor

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. 5~7에서는 맞대기 용접부의 변형정보인 면외변위를 측정된 그림이다. 측정 시험편 지그로 고정한 상태에서 하중을 용접시험편 뒷면에서 부과하여 용접부 쪽에서 변위를 측정하였다. 그림의 (a)는 ESPI 시스템으로 측정된 원시이미지이고, (b)는 집중된 변형정도를 분포 형태로 본 그림이며 (c)는 3차원적인 정보를 용접부 근방을 그림화한 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 맞대기 용접부 부근에서 변형의 집중 상태를 볼 수 있었고, 하중이 증가에 따라 그 정도가 더욱 크게 측정되었다. 또한 하중의 증가에 따라 변형정도의 차이가 매우 컸으며 이것은 일반구조물에 응력을 받는 용접부에 매우 크게 작용함을 예측할 수 있다. 또한 과거에 박판에서만 가능했던 변형 및 변형률 측정

이 후판에서도 가능하리라 본다. 따라서 맞대기 변형정보 얻기 위한 연구에서 구성한 시스템을 검증한 결과 응력 집중부, 크랙 발생부, 용접부를 실 시간적으로 측정할 수 있는 가능성을 본 연구에서 확보하였다.

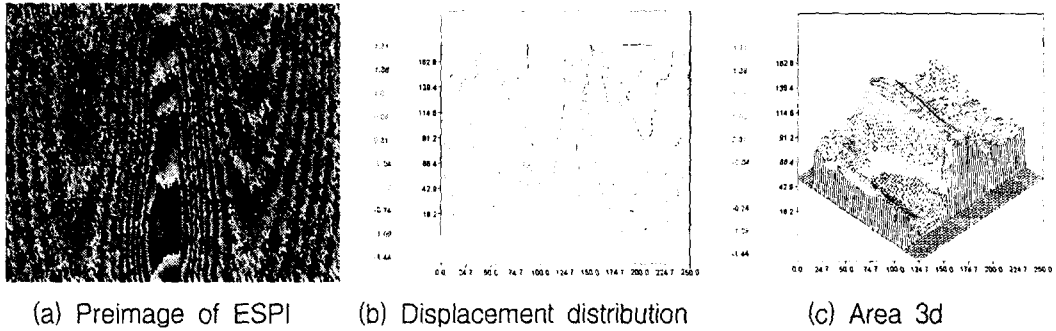


Fig. 5 Strain pattern of butt welded zone in the 196N tension

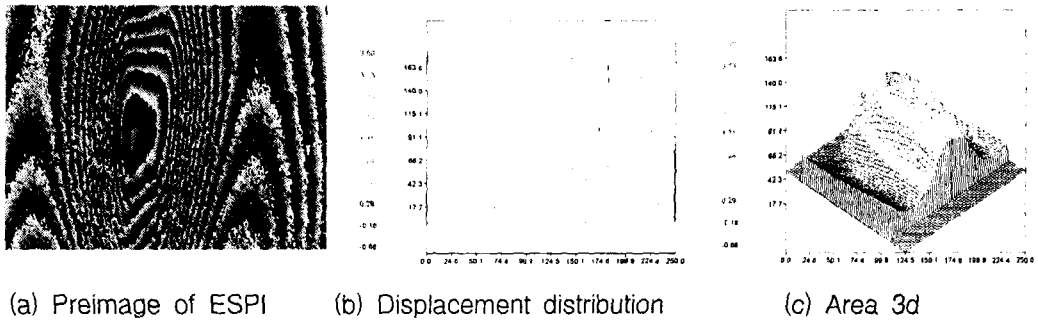


Fig. 6 Fringe pattern of butt welded zone in the 588N tension

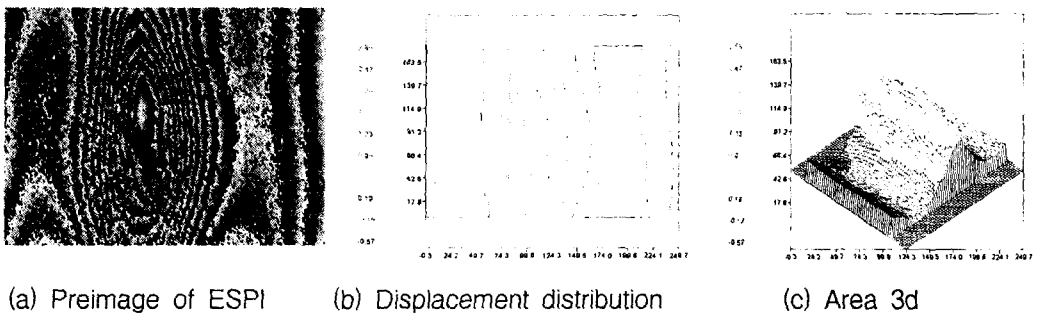


Fig. 7 Fringe pattern of butt welded zone in the 980N tension

4. 결 론

3D ESPI법에 의한 변형측정 시스템을 구성하여 SS400재 강판 맞대기 용접 열영향부의 면외변위를 측정된 결과 하중이 증가할수록 용접 열영향부 부근에서 변형이 집중된 상태를 볼 수 있었으며, 실 시간적으로 측정할 수 있었다. 이것은 본 논문에서 구성한 레이저 계측시스템을 이용할 경우 부가하중 증가에 따라 변형정도가 커질수록 용접부에 결함이 존재하면 응력집중으로 인한 파손을 쉽게 관측할 수 있을 것으로 판단된다.

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, pp. 113-123, 1997.
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, pp. 48-53, 1997.
3. 백성훈, 김철중, "실시간 홀로그래픽 간섭법을 이용한 압력용기의 내부결함 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, Vol.68, 1994.
7. Rastogi, P. K., "Holographic interferometry principles and methods" , Springer-Verlag, pp. 2-316, 1994.