

레이저 응용계측에 의한 용접부 스트레인 측정

성백섭(목포대학교 기계공학과)*, 차용훈(조선대학교 기계공학부)**, 박창연*, 김일수*,
김덕중(동아인재대학 자동차과)***, 이연신(송원대학 자동차과)****, 김인주*

The Strain Measurement of Butt Welded Zone by the Laser System

Back-Sub Sung(Mech. Eeng. Dept. Mokpo), Yong-Hoon Chai(Mech. Eeng. Dept. Chosun), Chang-Eun Park, Ill-Soo Kim,
Duck-Joong Kim(Auto. Eeng. Dept. Dong-a), Youn-Sin Lee(Auto. Eeng. Dept. Song-Won), Eun-Ju Kim

ABSTRACT

Currently knowledge of strain in welds has mainly been obtained from strain gaging method, that is directly attaching most of the material to the gage. The very few non-contact method are still in the early stage. One of the non-contact methods is by the use of the laser that has high-level of the accuracy for the measurement, and thus laser also has excellent characteristics on which many studies for its applications are focused throughout the many fields.

The dissertation is on the measurement of the strain caused by the characteristics and the temperature changes of the TIG welded zone which is used with 3D ESPI system that is functionally modified through the laser ESPI system. This system employed the aluminum sheet-metal which arc mainly used for the steel plate such as for the electronics, chemistry, food instrument and electronic appliances.

Key Word : Non-contact method(비접촉방법), ESPI(전자처리스케플간섭), TIG(Inert Gas Tungsten Arc Welding)

1. 서론

신소재들을 산업적으로 응용하기 위해서는 그 재료의 인장, 압축에 대한 변위 측정과 고온상태에서의 열변형 측정 등이 필요하다. 그러나 재료에 센서를 직접 부착하여 측정하는 스트레인 게이지법 수준에 머물고 있는 실정이다⁽¹⁻²⁾. 레이저는 산업분야에 널리 이용되고 있으며, 단색성, 가간섭성, 지향성 및 집속성이 좋고, 에너지의 공간적, 시간적 집중, 짧은 펄스폭의 발생이 가능하다는 특징이 있다⁽³⁻⁵⁾. 레이저 응용은 주로 이러한 성질을 이용한 것들이며 눈부신 발전을 하였으며 매우 넓은 범위를 포함하고 있다. 응용분야도 오늘날 광통신, 계측, 정보처리, 분광, 광디스크, 광전자기기, 재료가공 등 각방면에 걸쳐 급속히 확대되어가고 있으며, 레이저를 이용하여 용접부의 스트레인 측정에 응용할 필요성이 대두되고 있다⁽⁶⁻⁹⁾.

최근에 레이저광의 우수한 성질을 이용한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 많은 분야에서 레이저를

이용한 새로운 기술이 필요하다. 현재 생산되어 시판되고 있는 박판 알루미늄을 사용 TIG 용접함으로써 전체중량 줄이고, 생산단가를 낮출 수 있어 많이 이용하고 있다. 그러나 완제품이 되기까지는 많은 공정을 거치는데 불량률이 관급 용접부에서 많이 발생하여 이를 보완해야할 필요성과 문제점이 현장에서 제기 되었다.

따라서 레이저 응용계측 3D ESPI 시스템과 스트레인게이지로 용접부에 주어진 온도변화 따른 스트레인을 비교 측정하였다.

2. 변위 변위 계측이론

변위 변위 측정에서는 두 개의 레이저광(L1, L2)이 물체에 조사가 되어진다. 한쪽은 다른 한쪽의 참조광이라고 할 수 있으며, 변위 u에 대한 변형 전후의 광로길이의 변화 ΔL 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta = L_1 - L_2 = 2u \cos \theta \quad (1)$$

여기에서 θ 는 시험편에 입사되는 레이저 광의 조사각이며, 광로길이 변화 Δ 는 $n\lambda$ ($n=1, 2, 3 \dots$) 가 될 때, 간섭 줄무늬를 형성하기 때문에 줄무늬 차수를 n . 레이저 파장을 λ 로 하면, 변위 u 와의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$u = \frac{n\lambda}{2 \cos \theta} \quad (2)$$

결국 변위 u 는 레이저의 파장과 레이저 광의 조사각만으로 결정됨을 알 수 있다.

3. 실험

3.1 시험편

실험에 사용된 재료는 알루미늄 Al-1234H12이고 두께가 1.0 mm로 김치냉장고 내부에 사용하고 있는 재질이다. 재료의 화학적 성분과 기계적 성질은 Table 1과 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical compositions of base metal

(wt. %)

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Ti	Al
0.198	0.65	0.05	0.05	0.05	0.10	0.06	99.35

Table 2 Mechanical properties of base metal

Tensile strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Elongation (%)
98	89.18	24

용접시 용접부의 역학적 조건 및 시험편이 수축, 팽창을 받지 않는 무한평판의 최소 크기로 선정하였으며, 용접을 하고자 알루미늄판을 300 mm× 200 mm의 크기로 하여 제작하였으며 Fig. 1과 같이 150 mm × 50 mm인 인장 시험편을 제작하였다

또한 스트레인 게이지를 용접 비이드부를 경계로 일정한 간격 5mm, 15mm, 25mm, 35mm으로 부착하여 스트레인 변화를 측정하고자 하였다

Table 3은 맞대기 용접시험편의 용접조건이다

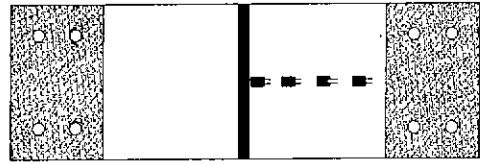


Fig. 1 The configuration to tensile specimen

Table 3 Welding conditions of butt welding

Thickness (mm)	Current (A)	Voltage (V)	Pulse (Hz)	Ar gas flow (l/min)
1	115	20	95	15

온도측정은 -50~300 ℃의 범위를 측정할 수 있는 온도측정 장비로 써모커플(Thermocouple)을 시험편 표면부에 부착하여 실제 시험편의 온도를 측정하였다. 실제의 온도를 2 초마다 체크하고 온도변화를 프린트 용지에 출력하여 온도의 고정을 체크하였다. Photo 1은 적외선 열 발생장치로 최대온도 300 ℃ 까지 발생할 수 있고, 열선에서 발생하는 빛이 실험에 영향을 미칠 수 있으므로 열선 표면부를 세라믹으로 도포하여 만들었다.



Photo 1 Infrared radiation heating system

3.2. 시스템 구성

Fig. 2는 3D ESPI 센서의 내부 구성도를 나타낸 그림이고, 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.

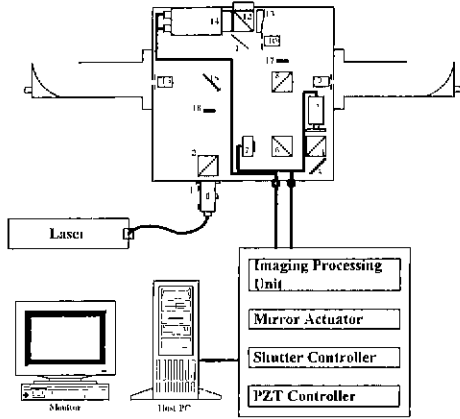


Fig. 2 Schematic diagram of three-dimensional ESPI system

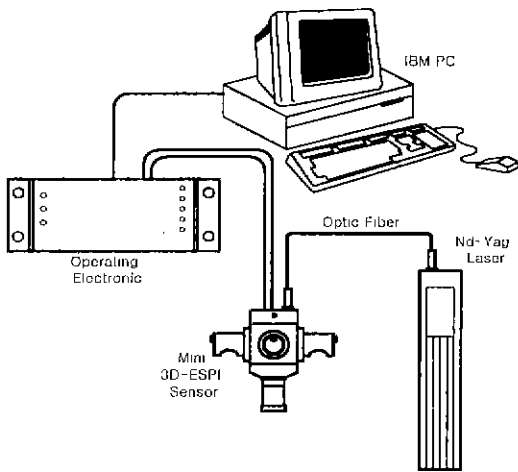


Fig. 3 Schematic diagram of total ESPI system employed

4. 실험결과 및 고찰

Photos 2~6에서는 시험편에 열을 가하여 온도변화에 따른 땀대기 용접부의 스트레인을 측정 한 사진이다 온도는 60℃, 90℃의 두 온도 변화를 주어 용접부의 스트레인 변화 폭을 스트레인 게이지와 비교 검토하였다 Table 4는 온도 60℃, 90℃에서 측정 한 실험값을 도표한 것이다. 실험에 있어서 하중을 108 N, 137 N, 167 N, 108 N, 206 N 등 5가지로 비교, 분석하였다.

Fig 4~8에서 보듯이 하중이 증가할 수록 스트레

인 변화가 높아짐을 알 수 있다. Fig. 4에서는 스트레인이 5 mm 근처에서 가장 작게 측정되었으며 25 mm 및 35 mm에서 가장 크게 스트레인이 측정되었다. 이것은 하중을 초기에 가할 때 상온에서의 실험과 같이 응력집중현상이 시험편 체결한데에서 작용한 것으로 사료되며, 땀대기 용접시험편에서의 저하중시 스트레인 변화가 용접부에 크게 영향을 미치지 않으며 용접시 열영향으로 용접부위가 모재부보다 정화되어 스트레인 영향이 크게 미치지 않은 것으로 사료된다. Figs. 5~8에서는 하중이 증가할수록 스트레인 게이지 5 mm의 근처에서 스트레인 값이 점점 커짐을 알 수 있다. 특히 저하중에서 스트레인 게이지 부착위치 35 mm에서 높게 측정되었던 것이 하중이 증가할수록 용접부에서 스트레인이 높아져 스트레인이 고하중에서 용접부에 집중됨을 알 수 있었다.

온도변화에 따른 스트레인 측정결과 상온에서의 측정과는 다르게 그 폭이 매우 크며, 저하중 108 N에서 60℃, 90℃일 때 5 mm에서는 57.14 $\mu\epsilon$, 80.68 $\mu\epsilon$ 이었다. 또한 온도가 증가할수록 크게 증가함을 볼 수 있었으며 고하중 206 N에서는 246.54 $\mu\epsilon$, 300.65 $\mu\epsilon$ 로 측정되었다. 용접 중심선상에서 가장 멀리 떨어진 위치인 35 mm의 위치에서는 60℃, 90℃일 때 123.75 $\mu\epsilon$, 188.88 $\mu\epsilon$ 로 측정되었다. 이것은 온도가 높고, 하중이 증가할 수록 스트레인 집중이 용접부에서 일어나 스트레인 변화량이 용접부 근방에 집중됨을 알 수 있다. 이러한 현상을 Photo. 7에 나타냈다. 용접시험편에 대한 ESPI와 스트레인 게이지에 의한 스트레인 비교결과 저하중시 온도변화 60℃, 90℃에서 4.5%, 5% 이내였으며, 고하중에서는 6%, 8% 이내로 상온에서보다 다소 높았으나 잘 일치하였음을 알 수 있었다

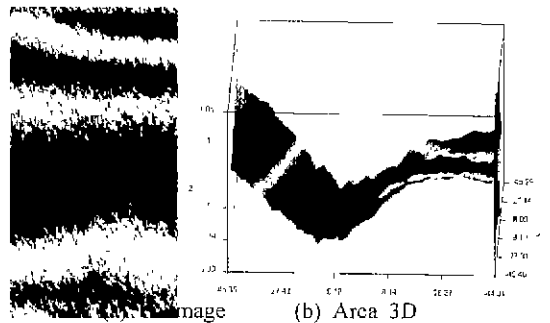


Photo 2 Fringe pattern and 3D shape of ESPI on the 108 N tension

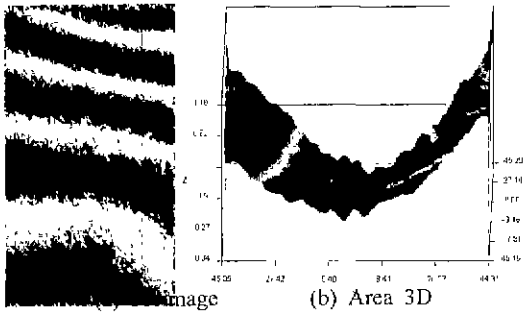


Photo. 3 Fringe pattern and 3D shape of ESPI on the 137 *N* tension

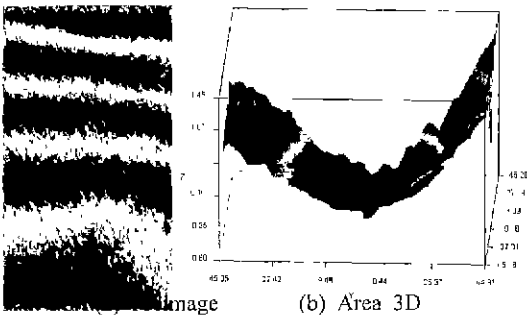


Photo. 4 Fringe pattern and 3D shape of ESPI on the 167 *N* tension

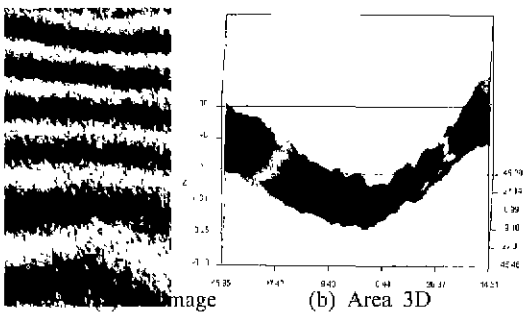


Photo. 5 Fringe pattern and 3D shape of ESPI on the 186 *N* tension

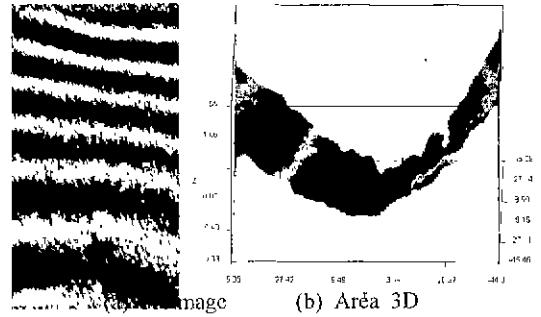


Photo. 6 Fringe pattern and 3D shape of ESPI on the 206 *N* tension

Table 4 Comparison of the results of the strain gauge with those of ESPI at the tension of butt welded specimen on the temperature variation

Loac (N)	Me	Strains at the position apart from welded center line ($\mu\epsilon$)							
		5 mm		15 mm		25 mm		35 mm	
		60°C	90°C	60°C	90°C	60°C	90°C	60°C	90°C
108	ESPI	57 14	80 68	70 22	84 26	72 72	88 37	66 37	80 58
	GAGE	56 22	78 22	69 36	82 02	71 12	86 22	65 23	79 33
137	ESPI	77 58	93 75	74 48	95 65	76 78	93 74	72 36	91 42
	GAGE	75 46	97 32	72 36	93 50	74 65	91 69	70 64	89 39
167	ESPI	137 47	158 65	94 86	128 11	95 70	120 85	93 08	102 25
	GAGE	134 13	154 32	91 43	121 08	94 53	117 73	90 15	95 90
186	ESPI	184 44	207 50	117 05	180 89	111 44	177 65	108 78	174 02
	GAGE	178 99	202 48	112 31	184 67	108 25	174 36	103 85	164 81
206	ESPI	246 54	312 65	154 38	244 62	128 43	201 22	123 75	188 88
	GAGE	235 31	290 23	148 05	230 34	123 32	191 91	118 37	179 57

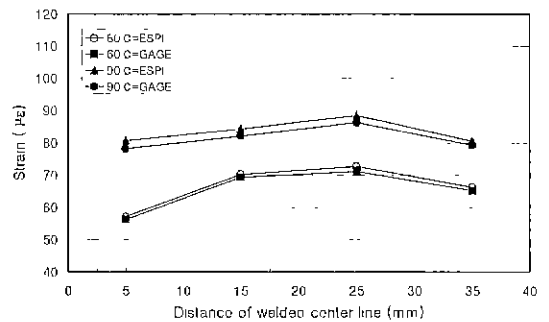


Fig. 4 Measured results in the 108 *N* tension on the temperature variation

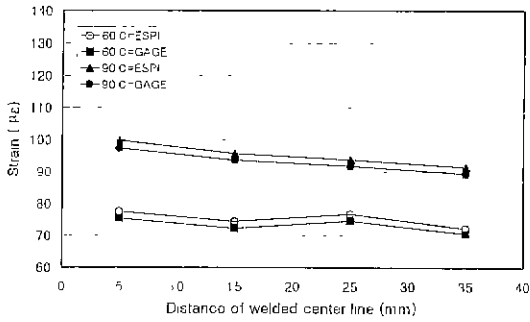


Fig. 5 Measured results in the 137 *N* tension on the temperature variation

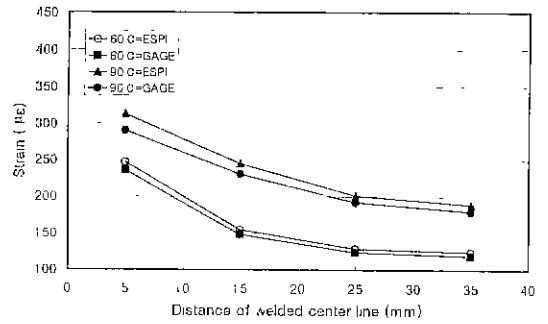


Fig. 8 Measured results in the 206 *N* tension on the temperature variation

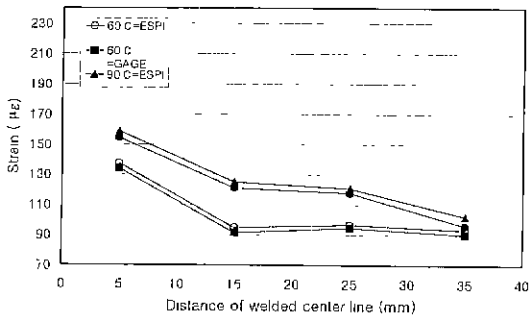
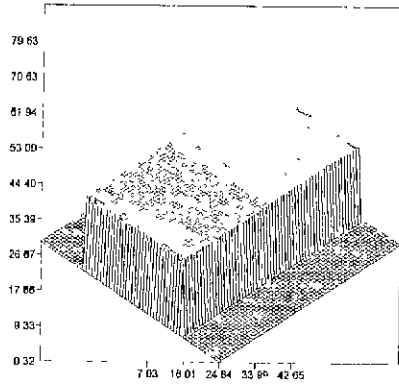


Fig. 6 Measured results of strain in the 167 *N* tension on the temperature variation



[108 *N*]

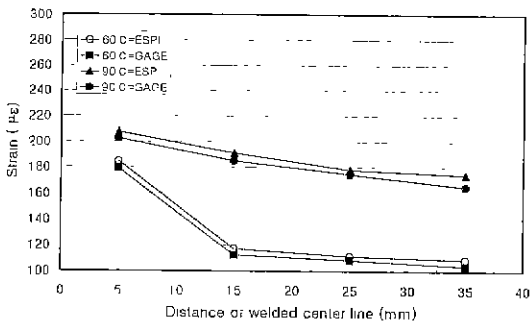
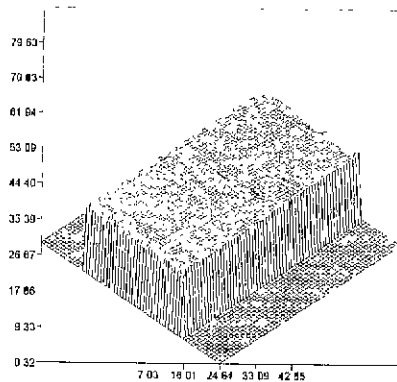
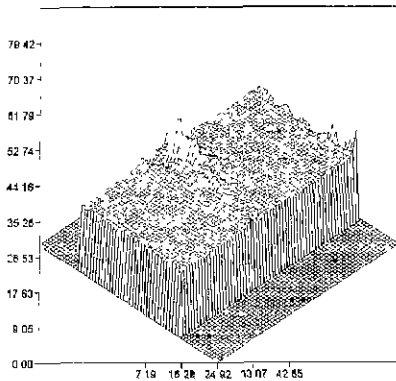


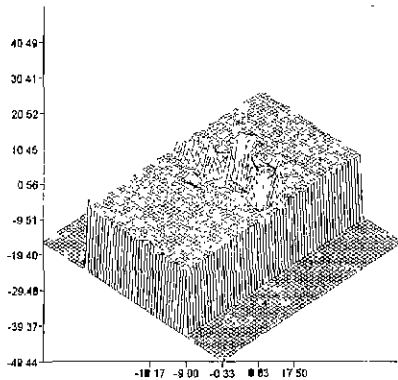
Fig. 7 Measured results of strain in the 186 *N* tension on the temperature variation



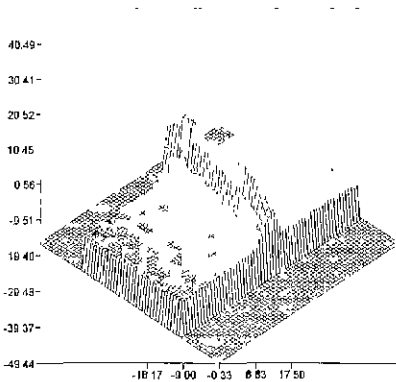
[137 *N*]



[167 N]



[186 N]



[206 N]

Photo 6 Strain concentration of butt welded specimen on the tension by the temperature variation

알루미늄 용접부를 온도변화에 따라 레이저를 이용한 3차원 스트레인 측정 시스템으로 스트레인을 측정하고, 게이지를 사용한 스트레인 값을 비교한 결과 다음의 결론을 얻었다.

(1) 용접시험편에 대한 ESPI와 스트레인 게이지에 의한 스트레인을 비교한 결과 스트레인의 정량적인 측정을 실시간적으로 수행할 수 있었다.

(2) 온도변화 60 °C, 90 °C 저하중에서 4.5 %, 5 % 이내였으며 고하중에서는 6 %, 8 % 이내로 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

(3) 용접시험편을 ESPI와 스트레인 게이지 실험법의 비교결과 저하중에서는 스트레인이 모체부와 용착금속부에서 차이가 크게 않았으나 고하중으로 증가함에 따라 스트레인이 용착금속부 쪽으로 점차 증가하였다

참고문헌

1. Cha, Y.H., Bang, H.S., Oh, Y.K., Ro, C.S. and Kim, J.M. "Numerical Analysis 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(1), pp 53-58.
4. Yang, S.P., "A study on the Vibration Behavior of Composite Laminate under Tensile Loading by ESPI", 2000
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
8. Hannah, R.L. and Reed, S.E. "Strain Gage Users' Handbook" Elsevier Applied Science Society for Experimental Mechanics, Inc. 1992
9. 韓應, "스트레인 게이지 理論과 應用", 浩成文化社, 1993.

5. 결 론