

## 박판형 레이저 용접재의 저주기 피로 특성

김웅찬\*, 곽대순, 김석환(경희대원), 오택열(경희대 테크노공학대학)

The Low Cycle Fatigue behavior of Laser Welded Sheet Metal

Woong Chan. Kim\*, Dai Soon. Kwak, Seog Hwan. Kim (Mechanical Eng. Dept., KHU), Taek Yul. Oh  
(Advanced Technology Col., KHU)

### ABSTRACT

In this paper, we studied low cycle fatigue behavior of laser welded sheet metal that used automobile body panel. Specimens were manufactured as weld condition and sheet metal using automobile manufacturing company at present. For to know mechanical properties, micro Vicker's hardness test was performed of specimens. But, we can't confirm mechanical properties of weld bead and heat affected zone because laser weld makes very narrow weld bead and heat affected zone than other welding method. Therefore, we performed low cycle fatigue test with similar weldment, dissimilar weldment, similar thickness and dissimilar weldment, and dissimilar thickness and dissimilar weldment for fatigue properties of thickness and welding direction. As well, we analysis stress distribution of base metal, weld bead, and heat affected zone according to strain load using finite element method.

**Key Words** : 저주기피로(low-cycle fatigue), 레이저 용접(Laser Weld), 용접박판(welded sheet metal)  
유한요소법(finite element method)

### 1. 서론

실제의 기계구조물과 부품들은 거의 대부분 반복 하중을 받고 있으며, 그들의 파괴나 파손은 직접적으로 피로에 의한 것이거나, 또는 피로에 의한 결함 또는 균열의 발생 및 성장이 원인이 되어서 다른 형태의 파괴를 유발하는 경우가 대부분이라고 알려져 왔다.(1) 따라서 신뢰성 있는 기계구조물의 설계를 위해서는 피로파손에 대한 안전성의 확보를 위한 피로강도 평가가 중요하다. 그 동안 재료의 피로나 파괴에 관한 많은 이론적인 연구 및 시험적인 연구가 행하여져 왔으나, 그 연구 결과들이 체계적으로 수집되지 못하고, 피로 관련 실험들은 매우 많은 노력과 시간, 비용을 요구하기 때문에 재료 성질과 피로성질에 관련된 정보를 수집해서 데이터 베이스화 하기 위해서 많은 노력이 이루어져 왔다.(2)

그러나, 극한 조건에서 사용되는 재료들이나 표준 시험편에 대한 피로시험을 통해 피로 물성치를 얻

구 결과들은 다소 있지만(3-5), 현재 자동차 제작에 사용 되고 있는 박판형 레이저 용접재에 대한 피로 시험 연구는 미미한 실태이다. 이에 본 연구는 박판형 레이저 용접재 피로 시험을 통해 얻은 실험 결과들을 기존 연구자들에 의해 제안된 식들에 적용하여 피로파손에 대한 강도 평가의 안전성을 검토하여 보고, 박판형 레이저 용접재에 대한 보다 정확한 피로 시험 데이터를 확보하는데 목적을 두고 있다.

레이저는 등장 이후 산업현장에 다양한 형태로 응용되어 왔으며, 자동차 산업분야에서 차체용 강판용접, 부품용접, Tailored Blank 용접 등으로 응용되어 비약적인 발전을 이루고 있다. 특히, 레이저 용접된 소재를 목적에 맞추어 프레스 성형하는 Tailored blank 용접은 자동차 차체 패널(body panel) 제조 공정에 있어서 틀 이상의 부품을 일체화하여 프레스 작업을 하는 것으로 경량화, 생산성 및 정밀도 향상에 유효한 방법으로 알려져 있다.(6) 또한 일체화된 형태로써 성형할 경우, 강도, 강성, 내부식성 등의 차

체 각 부의 요구 성능에 따라 판 두께, 재질 등의 변경요구 조건에 대응할 수 있으므로 원료에 대한 제품의 생산 비율이 증가되고 생산 공정을 줄일 수 있다.(7-9) 본 연구에서는 현재 자동차 제작사에서 사용하고 있는 박판 재료와 용접조건을 이용하여 시험편을 제작하고, 시험편에 변형을 부하하여 변형을 제어 방법으로 저주기 피로특성을 시험하였다. 동일한 두께의 판재가 용접 되었을 경우, 이종 두께의 판재가 용접되었을 경우, 냉연강판과 아연도금강판, 고장력 강판이 용접되었을 경우 저주기 피로 특성을 시험하였다. 또한 용접 방향에 따른 피로 특성 시험을 위해 변형방향과 용접방향이 평행한 경우, 수직인 경우 피로 시험을 실시하였다. 또한 변형을 부하에 따른 레이저 용접비드, 열 영향부 및 모재 부분의 응력 분포를 유한 요소법을 이용하여 해석하였다.

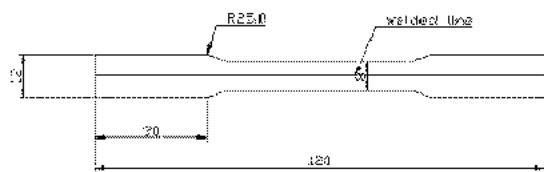
## 2. 실험 방법

### 2.1 시험편 제작 및 용접조건

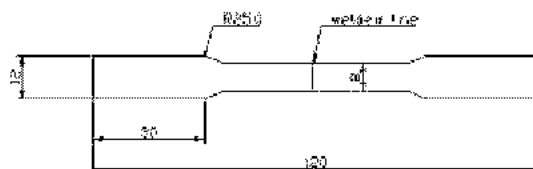
본 연구에 사용된 시험편의 재질은 냉간 압연 강판재(KSD 3512)로 냉연 강판 SPCEN 0.8mm와 고장력 강판 SP3114 1.2mm, 아연 도금 강판 GAL. 0.8mm 두께의 재료가 사용되었으며, 사용된 재료의 화학적 성분은 Table 1 과 같다.

Table 1 Chemical composition (Wt %)

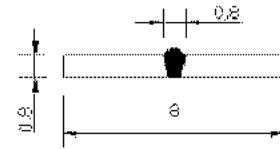
Element	C	Mn	Si	P	S
냉연강판 SPCEN(0.8)	0.003	0.19	0.029	0.019	0.006
고장력강판 SP3114(1.2)	0.079	0.94	0.078	0.007	0.003



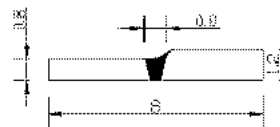
(a) Parallel



(b) Perpendicular



(c) Cross section of similar weldment.



(d) Cross section of heterogeneous weldment.

Fig.1 Specimen for Fatigue Test

연구에 사용한 용접조건은 현재 자동차 제작사에서 차체 제작에 사용하고 있는 용접조건을 사용하였다. Laser Welding Machine DLW400 기종을 사용하여 0.8mm 두께 강판을 4KW의 출력으로 5.5m/min의 속도로 맞대기 용접하였다. 레이저는 CO<sub>2</sub> 레이저를 사용하였고, 보조가스(assist gas)로는 헬륨(He)가스를 사용하였다. 용접 결과는 육안검사와 비파괴검사 결과 모두 양호한 상태를 나타냈다.

모재의 기계적 성질과 레이저 용접된 시험편의 기계적 성질은 Instron 8501에 의한 인장시험을 통해 측정되었으며, 결과는 Table 2와 같다.

Table 2 Mechanical properties of specimens

Speciman		Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Elong -ation (%)
Base Metal	SPCEN	157.6	290.1	49
	SP3114	321.3	472.5	33
	GAL	171.8	295.4	38
Laser* Weld	SPCEN + SPCEN	194.9	295.5	40
	SPCEN + SP3114	327.9	487.9	23
	SPCEN + GAL	208.2	310.8	29

\* Loading direction is parallel to welded line

### 2.2 실험 방법

피로수명 실험은 서보 유압식 피로 시험기인 Instron 8501을 이용하였으며, 실험 조건은 상온에서 변형률비 0.8% ~ 2.2% 범위에서 실시, 변형률 주파수 0.5Hz로 Sine파 파형으로 부하 하였다. 피로시험기의

제어 모드는 변형을 제어방식을 채택함으로써 Lower Fatigue Testing의 수행을 용이하게 하였다. 실험의 종결조건은 시험편이 완전히 분리파단 될 때까지로 하였으며, 파단되지 않을 경우  $10^4$  Cycle에서 실험을 종료하고 데이터 범주에 포함시키지 않았다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 용접부의 강도 평가

Fig.2는 본 연구에서 레이저 용접비드 부분이 인장강도의 증가에 기여한 것으로 판단되어 레이저 용접 시험편의 모재부와 용접부를 마이크로 비커스 경도기를 이용하여 용접비드 부분을 관통하는 방향으로 0.05mm간격으로 측정된 결과이다. 선도의 왼쪽부분은 모두 SPCEN이고, 오른쪽은 각각 SPCEN, GAL, SP3114의 경도를 나타내고 있으며, 중앙부의 경도 값은 용접 비드부분을 나타내고 있다.

SPCEN 모재의 경도는 110HV로 측정되었고, 용접된 비드의 경도는 209HV로 측정되어 비드부는 모재보다 약 2배 정도 향상된 경도 값을 나타냈다. 또한, SP3114 모재는 183HV, 용접된 비드부는 336HV, GAL 모재는 148HV, 용접된 비드부는 280HV로 측정된 비드부의 경도 값이 모두 모재보다 약 2배 정도 향상된 값을 나타내고 있다.

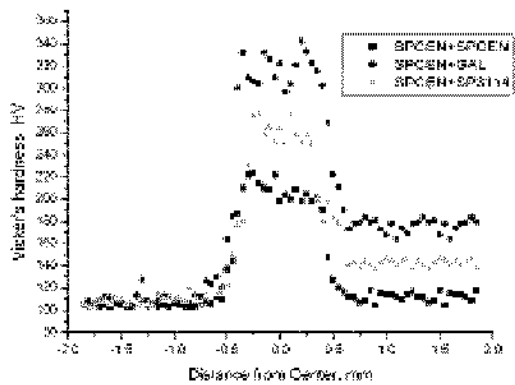


Fig.2 Variation of micro Vicker's Hardness

경도 측정 결과 열 영향부등에서 보일 수 있는 미소한 경도값의 변화를 명확하게 관찰하기는 어렵지만, 열 영향부는 비드 측면에 약 1mm내외의 폭을 가지고 좁게 나타난다고 알려지고 있다.(1) 한편, 용접비드 부분에서 급격한 경도값의 향상을 보이고 있는데, 이는 레이저 용접의 특징인 좁은 부분에 직접적으로 열에너지를 가하는 레이저 용접의 특징을 잘 반영하고 있다고 할 수 있다.

#### 3.2 피로 특성

Fig.3, 4, 5은 대표적인 변형을 진폭과 반복수 사이의 관계를 나타내는 곡선을 보여주고 있다. Plastic strain의 값에 대한 결과를 통해 Coffin-Manson 식의 피로 물성치인 피로 연성 지수(Fatigue ductility exponent)  $c$ , 피로 연성계수(Fatigue ductility coefficient)  $\epsilon_f$ 를 확인하였다.

피로 연성 지수  $c$ 값이나 피로연성계수  $\epsilon_f$ 은 SPCEN+SP3114 > SPCEN+SPCEN > SPCEN+GAL 순이었으며, 이는 재료의 항복강도나 인장강도의 크기와도 일치하는 것을 알 수 있다. 현재까지 제안된 피로 특성 예측 식들 중 Manson의 공률경사법(Manson's Universal Slopes method)(1)이나 Mitchell's method(2)에서 가정한 값( $c = -0.6$ )보다는 다소 과대하게 나타난다. 이로 미루어 볼때 피로 수명 예측시 저주기 수명 영역에서 매우 안전할 것으로 예상된다.

그러나, 변형량을 응력으로 환산하여 비교한 결과 응력제어 실험결과보다 수명의 저하를 보인다.(10)

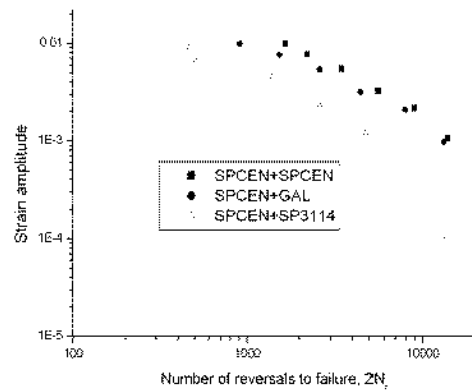


Fig.3 Plastic strain( $\epsilon_f$ ) - N curve for fatigue test

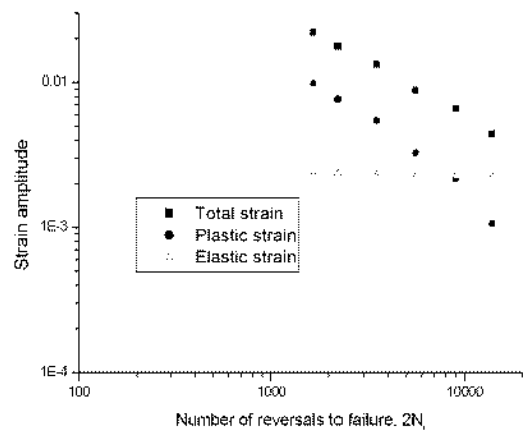


Fig.4 Strain( $\epsilon$ ) - N curve of SPCEN+SPCEN

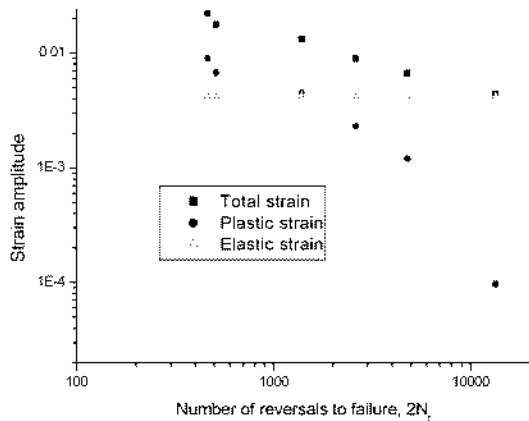


Fig.4 Strain( $\epsilon$ ) - N curve of SPCEN+SP3114

#### 4. 결론

본 연구에서는 박판형 레이저 용접재에 대한 저주기 피로시험을 실시하여 용접부 및 피로물성에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 레이저 용접된 비드부분은 급격한 경도향상을 나타내는데 모재와 비교하여 약 2배 정도의 경도값의 향상을 보인다.

2. 동일재료 및 이종재료 용접시 열영향부가 명확하게 나타나지는 않으나, 존재를 확인할 수 있다..

3. 모재 사이의 강도차이에 의한 응력구배로 인해 강도값의 차이가 큰 이종재료 레이저 용접재가 강도값의 차이가 작은 이종재료 레이저 용접재보다 제안된 피로수명 예측식의 물성치와의 오차가 컸다.

4. 저주기 피로시험 결과 하중방향과 평행하게 레이저 용접된 재료에서는 용접부에서 피로가 발생하여 강도가 큰 모재부근으로 치우쳐 균열이 발생, 전파 되었고, 하중 방향과 수직으로 용접된 재료는 강도가 약한 모재의 중앙부에서 균열이 발생, 전파 되어 직선형의 파단형상이 형성되었다.

#### 후기

본 연구는 한국과학재단의 지역대학 우수과학자 지원 사업에 의해 수행되었습니다.

(과제번호 R05-2003-000-11383-0)

#### 참고문헌

1. Fuchs, H.O. and Stehphen ,R.L, Metal Fatigue in Engineering , Wikey Interscience, 1980

2. Kaufman, J.G. and Glazman, J.S.Eds., Computerization and Networking of Materials Databases ASTM STP 1017, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1989.
3. Hurdson, C.M.and Seward,K.S., "A Compendium of Sources of Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Data for Metallic Alloy-Part I," Int.J.of Fracture, Vol.14,R151-R184,1978
- 4.Hurdson, C.M.and Seward,K.S., "A Compendium of Sources of Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Data for Metallic Alloy-Part II," Int.J.of Fracture, Vol.20,R59-R177,1982
- 5.Hurdson, C.M.and Seward,K.S., "A Compendium of Sources of Fracture Toughness and Fatigue Crack Growth Data for Metallic Alloy-Part III," Int.J.of Fracture, Vol.39,R43-R63,1982
- 6.Andy P.Lee, Erick Feltham and Jon Van Deventer. "Tailor Welded Blank Thechnology for Automotive Applications" SAE 960817
- 7.이충호, "박판금속 성형 공정에서의 블랭크 설계 및 변형을 예측." 대한기계학회, 제20권, 제6호, PP.1810-1818, 1996
- 8.김기철, "테일러드 블랭크용 박판강재의 레이저 용접성1 - 용접부 형상에 미치는 공정변수의 영향." 대한용접학회지, 제16권, 제1호, pp.77-87, 1998
9. 김재용, "Al-7020의 Pulse-GMA 용접에 관한 연구1 - 용접변수가 용접부 형상에 미치는 영향." 대한용접학회지, 제6권, 제2호, pp.47-45, 1225-6153, 1988
10. 권응관, 오택열, 팽대순, 이종재, "이종재료 레이저 용접부의 피로거동." 한국정밀공학회 추계 학술 대회 논문집, P759-764, 2001