

## 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 기계적 성질에 관한 연구

윤 종 원\* · 이 윤 상\*\* · 이 문 용\*\*\* · 정 병 훈\*\*\*

\*동의대학교 공과대학 재료금속공학과

\*\*동의대학교 대학원 신소재공학과

\*\*\*(주)성우하이텍 기술연구소

### Study on the mechanical properties of 5052 aluminum alloy laser welds

J.W. Yoon\*, Y.S. Lee\*\*, M.Y. Lee\*\*\* and B.H. Jeong\*\*\*

\*Dept. of Materials Science and Engineering, Dongeui University

\*\*Dept. of Advanced Materials Engineering, Graduate School, Dongeui University

\*\*\*Technical Institute, Sungwoo Hitech Co., Ltd.

#### Abstract

5052 aluminum alloy sheets of 2mm thickness were butt welded using a continuous wave Nd:YAG laser with and without Ar shielding gas. Vickers hardness, transverse-weld tensile and bulge tests were carried out to investigate the effect of Ar shielding gas on the mechanical properties and formability of laser welds. Porosity in the weld metals was investigated using an optical microscope. Mechanical properties and formability of 5052 aluminum alloy laser welds were degraded compared to those of base metal. However, those properties were improved due to the reduced size and number of porosity when Ar shielding gas was used.

**Key words** : Laser welding, 5052 alloy, Ar shielding gas, Mechanical properties, Formability

## 1. 서 론

최근 자동차 차체 경량화를 위해 Nd:YAG 레이저를 이용한 5xxx계열 알루미늄 합금 판재의 레이저 용접 적용이 시도되어 왔다.<sup>1-4)</sup>

5xxx계열 알루미늄 합금 레이저 용접시 직면하는 문제점중의 하나는 기공 발생이며 용접금속에 존재하는 기공의 크기, 수량, 분포, 형상등에 의해 용접부의 인장성질 및 성형성이 영향을 받는 것으로 알려져 있다.<sup>5-7)</sup> 알루미늄 합금 용접시 기공 발생 원인으로서는 다음과 같은 인자들이 알려져 있다. 첫째, 용융금속 응고중 액상과 고상 상태에서 수소용해도의 현격한 차이에 의해 응고 온도 이하에서 급격히 생성되는 기체 상태의 수소가 용접금속 외부로 배출되지 못하고 응고금속 내부에 갇히게 되거나, 둘째 keyhole의 불완전한 붕괴로 인해 불규칙한 형상의 기공이 생성되거나, 셋째, 비등점이 낮고 증기압이 높은 Zn, Mg과 같은 합금원소가 용접 중 고밀도 열원인 레이저 빔에 의해 증기화하여 용융금속의 응고 중 내부에 갇혀 기공이 발생하는 경우 등이 있다.<sup>5-13)</sup> 아울러 5xxx계열 알루미늄 합금 레이저 용접시 합금 강화원소인 Mg와 같은 저비등점 합금원소의 증발 손실로 인해 용접부의 기계적 성질이 감소하기도 한다.<sup>13-19)</sup>

본 연구는 5052 알루미늄 합금 압연 판재의 연속과 Nd:YAG 레이저 용접시 Ar 보호가스를 사용하는 경우와 사용하지 않은 경우 용접성을 조사하였다. 경도시험, 인장시험, 액압성형성시험을 통하여 기계적 성질 및 성형성을 평가하였으며, 이러한 성질에 영향을 끼치는 기공을 금속광학현미경을 이용하여 관찰하였다.

## 2. 사용재료 및 실험방법

### 2.1 실험재료

실험에 사용된 비열처리형 알루미늄 합금인 5052-H32 판재의 두께는 2mm이며 화학성분은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 The chemical composition of 5052 aluminum alloys (wt. %).

Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	Al
0.128	0.263	0.015	0.037	2.554	0.009	0.180	-	Bal.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 시편준비 및 레이저 용접

Fig. 1과 같이 압연방향이 접합면에 수직하도록 판재를 100mm×200mm의 크기로 절단하고 접합면은 밀링 가공을 하여 I-square butt 이음부를 준비하였다. 밀링가공한 면을 아세톤으로 세척한 뒤, 용접시편 구속치구에 시편을 고정시킨 상태에서 최대출력 4kW의 연속과 Nd:YAG 레이저를 사용하여 맞대기 레이저 용접을 하였다.

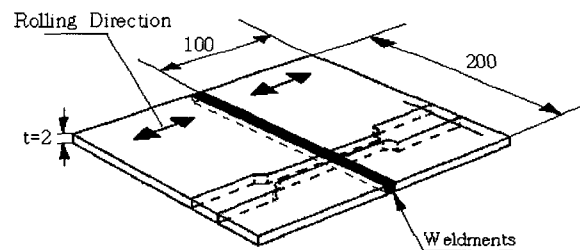


Fig. 1 The weld coupon and the extraction of the transverse-weld tensile specimens.

Table 2 Laser welding condition.

레이저 출력 (kW)	초점 위치 (mm)	용접 속도 (m/min)	보호 가스	유량 (ℓ/min)		입열량 (J/mm)
				상부	하부	
3.0	+1	3.7	-	-	-	48.7
3.2	+1	3.6	Ar	10	10	53.3

용접조건은 Table 2와 같고, 레이저 빔 조사 축과 50° 각도를 이루며 설치된 직경 12.6mm인 구

리 튜브를 이용하여 Ar 보호가스를 공급하였다. 한편 용접쿠폰 아래 위치한 고정지그에서 용접선을 따라 파인 홈을 통하여 하부 비드에도 보호가스를 공급함으로써 용접이음부 상·하부 모두에 10 l/min의 유량으로 Ar 보호가스를 공급하였다.

### 2.2.2 인장시험 및 경도시험

각 조건별로 레이저 용접된 5052 알루미늄 합금 용접쿠폰으로부터 Fig. 1과 같이 게이지 길이 50mm의 transverse-weld 인장시험편을 채취하였다. 인장시험은 Instron사의 Series IX Automated Materials Testing System을 이용하였으며 cross-head 이동속도는 2.5mm/min로 설정하여 각 용접조건별로 3개 이상의 인장시험편을 시험하였다.

경도시험은 Mitutoyo사의 MVK-H1 Vickers 경도계를 이용하여 200g의 하중으로 용접금속 횡단면 1/2두께 위치에서 용접금속, 열영향부 및 모재에 걸쳐 0.25mm 간격으로 압입자를 가압하여 경도값을 측정하였다.

### 2.2.3 액압 성형성 시험 (Bulge Test)

레이저 용접된 200mm×200mm의 용접쿠폰을 Bulge 시험용 금형에 장착하여 유압을 증가시키며 이 평판의 용접쿠폰이 돔 형태로 성형되어 파단되는 순간까지 유압을 가하였다. 비교를 위해 같은 크기의 모재 판재도 같은 방법으로 시험하였다. 파단된 시험편을 꺼낸 뒤 height gauge를 사용하여 파단된 돔(dome)의 최고 높이를 측정하여 성형성의 지수로 사용하였다.

### 2.2.4 Metallography

용접금속 내부에 생성된 결함 관찰을 위하여 5052 알루미늄 합금 레이저 용접쿠폰 용접시작점으로부터 각각 100mm, 70mm, 60mm지점에서 횡단면, 종단면 및 상부비드를 채취한 후 각각 연마하여, Keller 용액을 사용하여 에칭한 후 Olympus CK40M 금속현미경과 Olympus SZ3060 저배율

금속현미경을 이용하여 관찰하였다.

## 3. 결과 및 검토

### 3.1 비드형상

Fig. 2에 5052 알루미늄 합금 용접 비드 형상을 보이고 있다. 보호가스를 사용하지 않은 용접쿠폰의 하부 비드에서는 불규칙한 비드 돌출이 관찰되었다 (Fig. 2 (a)). 레이저 용접시 기화된 Mg의 증기압과 더불어 용융 금속의 증력으로 인해 날카로운 비드 돌출 현상(spiky 현상)이 발생한 것으로 보인다.<sup>5-6)</sup> 반면 Ar 보호가스를 사용하여 레이저 용접한 경우 Ar 보호가스 흐름에 따라 상부비드 표면에 물결무늬가 발생하였으며, 하부에서도 완만한 비드가 형성되어 날카로운 비드 돌출 현상이 사라졌다 (Fig. 2 (b)). 따라서 이음부 아래쪽에서 Ar 보호가스를 공급하는 것이 하부 비드 형상 제어에 효과적임을 알 수 있다.

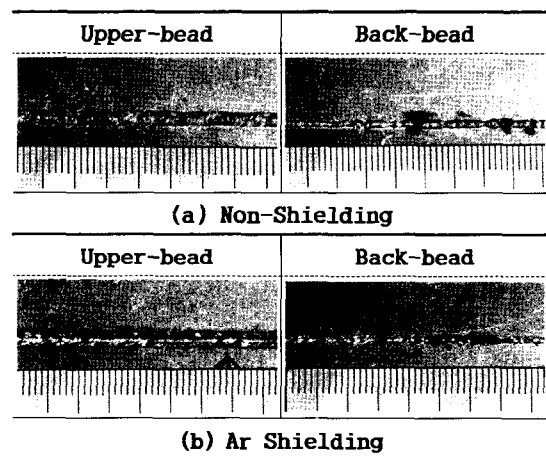


Fig. 2 Upper and back beads of 5052 aluminum alloy laser welds made with and without Ar shielding gas.

### 3.2 인장성질 및 성형성

5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 transverse-weld 인장시험 및 액압성형성시험시

Fig. 3 및 Fig. 4에서 보듯이 Ar 보호가스 사용 여부에 관계없이 모든 시험편의 파단은 용접금속에서 발생하였으며, 따라서 용접금속이 모재에 비해 취약함을 알 수 있다. Fig. 5 (b), (d)에서 보듯이 Ar 보호가스 사용 여부에 관계없이 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 항복강도, 인장강도 및 액압성형성이 모재의 그것보다 감소된 결과가 이를 반영한다.

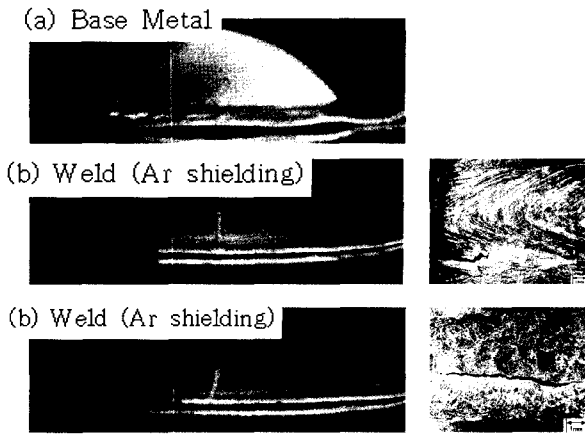


Fig. 4 Bulge test coupons and fracture areas of Nd:YAG laser welds in 2mm thick 5052 aluminum alloy.

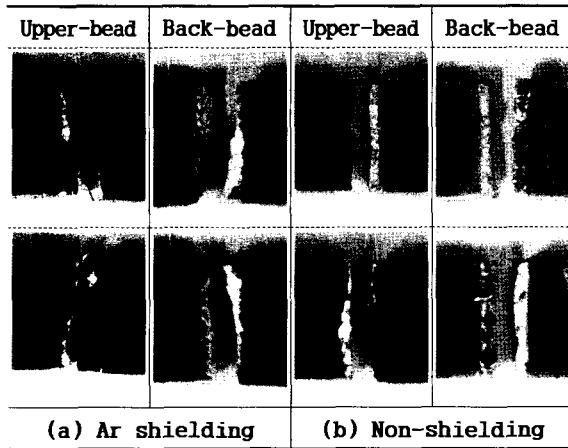
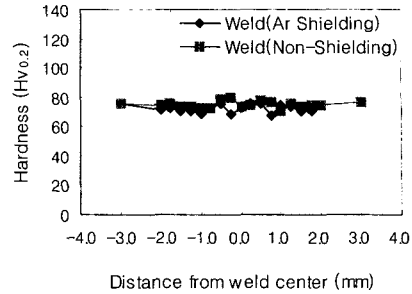
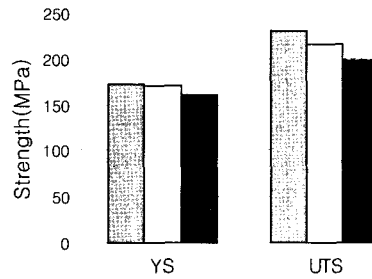


Fig. 3 Fracture areas in the transverse-weld tensile specimens of 5052 aluminum alloy laser welds.

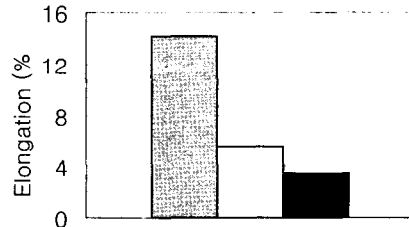
(a) Vickers hardness



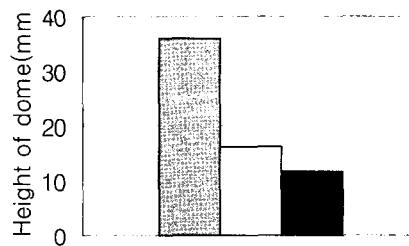
(b) Yield and ultimate tensile strength



(c) Elongation



(d) Formability



■ Base Metal □ Weld (Ar Shielding)  
 ■ Weld (Non-Shielding)

Fig. 5 Mechanical properties and formability of Nd:YAG laser welds in 5052 aluminum alloy.

한편 Fig. 5 (a)에서 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부 경도값은 모재의 경도값에 비해 약간 감소하였으나, 이들 용접부의 경도값은 Ar 보호가스 사용 여부에 관계없이 서로 유사하였다. 5052 알루미늄 합금모재는 H32 (1/4 변형경화시킨 후 안정화 처리함) 처리되어 약 25% 경화되어 있으나 응고조직의 용접금속에서는 이러한 가공경화 효과가 소멸되었으며, 또 주요 합금원소인 Mg이 일부 증발 손실되어 고용경화 효과가 저하되기 때문에 용접금속의 경도값이 약간 감소한 것으로 추정된다.<sup>5, 9, 11, 17)</sup>

Fig. 5 (c)에 제시된 용접부의 연신률은 본 연구에서 사용한 transverse-weld 인장시험 특성상 용접금속의 진정한 연신률을 나타내는 것이 아니므로 모재의 연신률과 직접 대비하기는 곤란하나 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 연신률 역시 모재에 비해 감소하였다. 또한 Fig. 4 및 Fig. 5 (d)에 제시된 바와 같이 모재에 비해 저하된 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부부의 액압성형성 결과는 Fig. 5 (c)의 일축 하중 상태에서 측정된 연신률 결과와 잘 일치하고 있다.

한편 Ar 보호가스를 사용한 경우 Ar 보호가스를 사용하지 않은 경우에 비해 Fig. 5 (b), (c), (d)에서 보는 바와 같이 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 항복강도, 최대인장강도, 연신률 및 액압성형성은 각각 6%, 8%, 16% 및 13% 향상되었다. 그런데 앞에서 기술한 바와 같이 Ar 보호가스 사용 여부에 관계없이 용접금속의 경도값이 유사하므로 (Fig. 5 (a)), Ar 보호가스 사용시 인장성질과 성형성이 향상된 것은 용접금속의 금속학적인 요인에 의해서가 아니라 용접금속내의 결함발생과 관련이 있는 것으로 보인다.

Ar 보호가스를 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 용접부 횡단면, 상부비드 및 종단면을 각각 Fig. 6 (a), (b), (c) 및 (d)에 나타내고 있다. Ar 보호가스 사용시 보호가스를 사용하지 않은 경우와 마찬가지로 작은 크기의 기공 발생은 여전하나 큰 직경의 기공 발생은 관찰되지 않았다. Ar 보호가스를 공급한 경우에도 관찰되는 작은 크기의 기공은 5052 알루미늄 모재 표면에 존재

하는 다공성의 산화피막에 흡착되어 있던 수분으로부터 해리된 수소에 기인된 것으로 보인다. 보

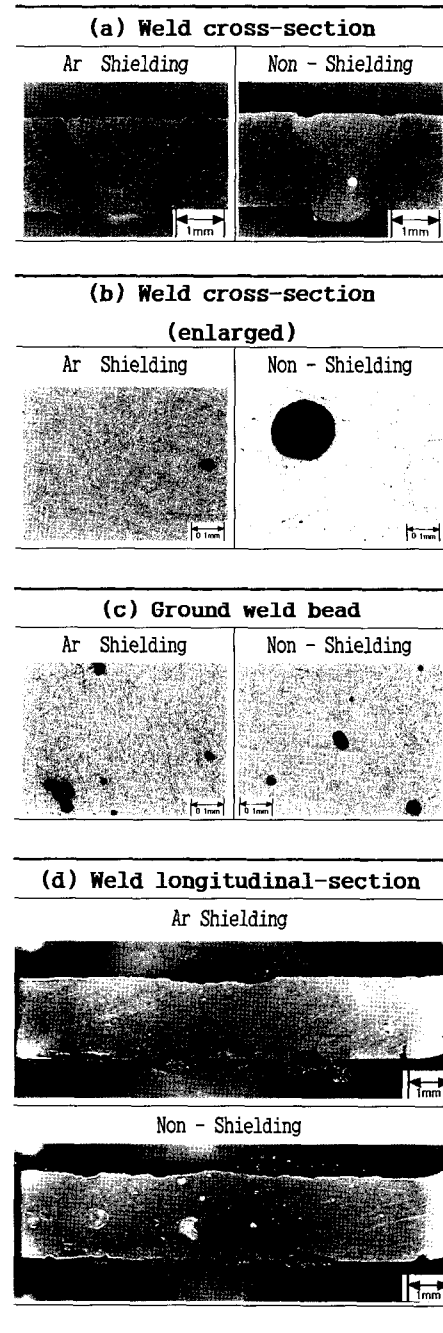


Fig. 6 Polished, etched weld sections and beads of 5052 aluminum alloy laser welds.

호가스를 사용하지 않은 경우에 특히 관찰되는 큰 직경의 기공은 대기중의 수분이 용접분위기에 혼입되어 이 수분이 레이저 열원에 의해 해리될 때 생성된 수소에 의한 것으로 추정된다.<sup>5-6), 11)</sup>

따라서 Ar 보호가스를 사용하는 경우 대기중으로부터 수분 유입이 차단되므로 큰 기공 발생이 감소된 것으로 보인다. 그러므로 5052 알루미늄 합금 레이저 용접시 Ar 보호가스 사용으로 인해 용접금속내에 형성된 기공의 수와 크기가 감소하여 항복강도, 인장강도, 연신률 및 성형성이 향상되었다.

#### 4. 결 론

Ar 보호가스 사용 여부에 관계없이 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 경도, 항복강도, 최대인장강도, 연신률 및 성형성은 모재에 비해 열화되었다.

Ar 보호가스를 사용하여 레이저 용접한 경우 보호가스를 사용하지 않은 경우에 비해 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 항복강도, 최대인장강도, 연신률 및 성형성이 개선되었으며, 이것은 Ar 보호가스 사용으로 용접금속중의 기공의 크기와 수량이 감소하였기 때문이다.

#### 후 기

본 연구는 2002년도 (재)부산테크노파크의 연구지원을 받아 수행되었으며, 연구수행을 위해 협조해 주신 고등기술연구원 관계자 여러분께 깊은 감사를 드린다.

#### 참고문헌

1. B. Irving, The auto industry gears up for aluminum, *Welding Journal*, Vol.79, No.11, Nov. 2000, pp63~68

2. H. Zhao et. al., Current issues and problems in laser welding of automotive aluminium alloys, *International Materials Reviews*, Vol.44, No.6, 1999, pp238~266
3. B. Kinsey et. al., Forming of aluminum tailor welded blanks, SAE 2001 World Congress, Detroit, Michigan, March 5~8, 2001, Report No.2001-01-0822
4. P. A. Friedman et. al., Microstructural and mechanical investigation of aluminum tailor-welded blanks, *Journal of Materials Engineering and Performance*, Vol.9, No.5, Oct. 2000, pp541~551
5. J. W. Yoon et al., Laser welding of aluminium alloys, The Welding Institute, UK, Jan. 1995, pp26~27
6. J. W. Yoon, Laser welding of aluminum alloys, *Journal of KWS*, Vol.18, No.2, April, 2000, pp147~153 (in Korean)
7. B. Thorstensen, Laser welding of aluminum, *Industrial Laser Annal Handbook*, 1989, pp64~79
8. K. Y. Park et. al., Al5052 welding by CO<sub>2</sub> laser using filler wire, *Journal of Korean Society of Laser Processing*, Vol.5, No.1, May 2002, pp13~22 (in Korean)
9. M. Kutsuna et. al., CO<sub>2</sub> laser welding of A2219, A5083 and A6063 aluminum alloys, *Journal of International Institute of Welding*, Vol.31, No.2, 1993, pp126~135
10. G. Sepold et. al., CO<sub>2</sub> laser beam welding of aluminum alloys for transport systems, IIW DOC IV-539-90
11. J. W. Yoon, Study on the porosity formation in the laser welds of aluminum alloys, *Research Journal of Dongeui University*, Vol.34, 2001, pp467~471 (in Korean)
12. C. Y. Kang et. al., CO<sub>2</sub> laser weldability of high strength Al alloy A5083 and A7N01, *Journal of Korean Society of Laser*

- Processing, Vol.4, No.2, Aug. 2001, pp1~12  
(in Korean)
13. T. DebRoy et. al., Porosity, underfill and magnesium loss during continuous wave Nd:YAG laser welding of thin plate of aluminum alloys 5182 and 5754, *Welding Journal*, Vol.78, No.6, June, 1999, pp207s~216s
  14. W. W. Duley, *Laser Welding* (1st Edition), Jone Wiley & Sons Inc., 1998, pp33~35
  15. D. W. Moon et. al., Laser beam welding of aluminum alloy 5456, *Welding Journal*, Vol.62, No.2, Feb. 1983, pp53s~58s
  16. P. W. Fuerschbach et. al., On the weldability, composition, and hardness of pulsed and continuous Nd:YAG laser welds in aluminum alloys 6061, 5456 and 5086, *Metallurgical Transaction B*, Vol.19B, April, 1988, pp319~329
  17. T. DebRoy et. al., Weld metal composition change during conduction mode laser welding of aluminum alloy 5182, *Metallurgical and Materials Transaction B*, Vol.32B, Feb. 2001, pp163~172
  18. S. Katayama et. al., Character of melting and evaporation in laser beam welding of two aluminum alloys, *Welding Journal*, Vol.76, No.2, Feb. 1997, pp70s~73s
  19. J. F. Santos et. al., Surface and microstructural characterization of laser beam welds in an aluminum alloy, *Journal of Vacuum Science and Technology*, Vol.20, No.4, July/Aug. 2002, pp1416~1419
  20. C. E. Albright et. al., CO<sub>2</sub> laser beam welding of aluminum 5754-O and 6111-T4 alloys, *Welding Journal*, Vol.76, No.7, July, 1997, pp275s~282s