

# 알루미늄 합금 판재 테일러드 블랭크 레이저 용접에 의한 경량차체 부품 개발

## Development of light weight autobody part using laser welding of tailored blank made of aluminum alloy sheet

윤종원\*, 이윤상\*, 이문용\*\*, 김종섭\*\*, 정태현\*\*

\* 동의대학교 재료금속공학과

\*\* (주)성우하이텍 기술연구소

### 1. 서 론

5xxx(Al-Mg)계열 알루미늄 합금은 일반적으로 우수한 기계적 성질 및 성형성을 가지고 있어 차체용 알루미늄 합금 후보재로 고려되고 있다<sup>1)</sup>. 본 실험에서는 Mg 함유량이 2.2~4.3wt.%인 5xxx계열 알루미늄 합금을 사용하여 레이저 용접한 뒤 Mg 함유량에 따른 용접부의 기계적 성질 및 액압성형성을 조사하였다. 그 결과를 바탕으로 기존의 Steel재 승용차용 센터필러를 알루미늄 합금의 TWB로 대체하기 위해 적정 알루미늄 합금 재료조합을 선정하고, 레이저 용접, 스텝핑 공정을 수행하여 알루미늄 합금재 경량 센터필러 시제품을 제작하였다.

### 2. 실험방법

Mg 함유량 변화에 따른 5xxx계열 알루미늄 합금의 레이저 용접성을 조사하기 위해 Table 1에 제시된 알루미늄 합금을 실험에 사용하였다.

두께 2mm 5052-H32, 5083-O 및 두께 1.9mm 5754-O 합금 판재를 Fig. 1(a)와 같이 각 판재의 압연방향이 접합면에 수직하도록 하여 100mm×200mm의 크기로 전단하였으며 이음부는 밀링(Milling) 처리하여 I-square butt으로 준비하였다. 한편 TB 용접을 위해 두께 1.3mm 및 1.5mm의 5052 및 두께 2mm의 5083 알루미늄 합금 판재를 Fig. 1(b)와 같이 전단하여 이음부는 기계가공 없이 준비하였다. 그 후 각 판재를 고정구에 고정시키고 이음부에서 단차발생 및 접합면 불일치 여부를 확인한 뒤 최대출력 4kW의 연속파 Nd:YAG 레이저를 사용하여 Table 2의 최적 용접조건으로 Coupon 용접 및 TB 용접을 실시하였다. 이러한 용접 Coupon으로부터 Fig. 1과 같이 Gage 길이 50mm의 인장시편을 채취하였다.

그리고 각 조건별로 용접시작점에서 100mm 떨어진 곳에서 채취한 용접부 횡단면을 연마, 에칭한 후 200g 하중으로 용접금속 횡단면 두께 1/2지점에서 0.25mm간격으로 압입자를 가압하여 Vickers 경도를 측정하였다. 액압성형성(Bulge) 시험은 레이저 용접된 용접쿠폰을 금형에 장착하고 용접 Coupon이 파단될 때까지 유압을 가한 뒤 파단된 돔(Dome)의 높이 및 파단시 하중을 측정하여 성형성의 지수로 사용하였다. 용접부의 미세조직을 관찰하기 위하여 용접 Coupon의 용접시작점으로부터 100mm인 지점에서 채취한 용접부 횡단면을 연마한 뒤 Barker 용액으로 전해에칭 후 편광현미경을 이용하였다.

### 3. 결과 및 토의

#### 3.1 Mg 함유량에 따른 기계적 성질 및 성형성

Fig. 2에서 보듯이 용접금속의 항복강도, 최대인장강도, 연신률 및 경도는 모재에 비해 저하되었으며, Fig. 2(b), (c)에서 보는 것과 같이 실험에 사용한 5xxx계열 알루미늄 합금 모재 및 용접부의 최대인장강도와 연신률은 Mg 함유량에 비례하여 증가하였다.

모재 대비 용접금속의 최대인장강도는 5052, 5754, 5083 모두 83~88.3%로 다른 연구결과와 유사하였다<sup>1)</sup>. Fig. 2(d)에서 보듯이 Mg함유량 변화에 따른 용접금속의 경도는 5052, 5754, 5083의 순으로 증가하여 용접금속 최대인장강도 결과와 일치하였다. 그러나 5083의 모재 및 용접금속 항복강도는 최대인장강도와 다른 경향을 보였으며 이 현상에 대해서는 조사가 필요하다<sup>2)</sup>. Transverse-weld 인장시험시 파단은 5052 및 5754의 경우 모두 용접금속에서 발생하였고, 5083의 경우 용접금속 또는 열영향부에서 발생하였다. 5052의 경우 용접시 H32(가공경화후 안정화처리) 효과가

사라져 용접금속의 경도가 모재에 비해 저하되어 용접금속에서 파단이 일어난 것으로 보이며, 5754 및 5083의 경우 모재가 Annealing 되어 있어 모재 및 용접금속의 경도값은 유사하였으나, 용접금속내 기공이 존재하는 경우에는 용접금속에서 파단이 일어나고, 기공이 발생하지 않은 경우 상대적으로 경도값이 낮은 열영향부에서 파단이 일어난 것으로 보인다. 액압성형성 시험결과 Fig. 3과 같이 용접 Coupon의 성형성은 모재에 비해 저하되었다. 파단은 모두 용접금속에서 발생하였으며 모재 및 용접 coupon의 성형성은 Mg 함유량이 높을수록 증가하여 연신률 결과 (Fig. 2(c))와 잘 일치한다.

### 3.2 용접금속 미세조직

5754 합금의 용접금속 횡단면 미세조직을 Fig. 4에 나타내었다. 단면관찰결과 용접금속 중심부에 등축정이 발달하였고 Mg 함유량이 증가할수록 등축정의 크기는 작아지며 그 수는 증가하는 경향을 보였다. 등축정이 발달한 미세조직은 용융 금속의 응고시 발생하는 국부적인 변형에 잘 견디며 그 결과 응고균열발생을 효과적으로 방지하는 것으로 알려져 있다<sup>3)</sup>. 한편 용접금속에 인접한 열영향부는 어닐링되어 조대화된 결정립들이 관찰되었으며 Fig. 2(d)에서 보듯이 경도가 국부적으로 저하된 곳과 일치한다.

### 3.3 TB 용접 Coupon의 물성

항복강도가 가장 낮고, 연신률, 성형성, 인장강도가 가장 큰 5083-O 알루미늄 합금을 Tailored blank중 성형이 많이 요구되는 부위의 재료로 선정하였으며 다른 부위에는 1.3mm 또는 1.5mm 두께의 5052-H32 알루미늄 합금을 선정하여 TB 용접 후 용접부의 인장성질 및 경도를 측정하였다.

두께 1.3mm 5052와 두께 2mm 5083합금을 접합한 TB 용접 coupon A (TWB(A))와 두께 1.5mm 5052와 두께 2mm 5083합금을 조합한 TB 용접 coupon B (TWB(B))의 Transverse-weld 인장시험결과를 Fig. 5(a), (b), (c)에 제시하였다. TB 용접 coupon A, B모두 항복강도, 인장강도가 5052 모재의 그것들과 거의 유사하였다. 모든 경우 두께가 얇은 5052 합금 열영향부에서 발생하였으며 이것은 경도값이 가장 낮은 5052 HAZ의 위치(Fig. 5(d))와 일치하며 이 구역에서는 레이저 용접시 결정립이 조대화된 것이 관찰되었다. 한편 두께 1.3mm 5052

와 두께 2mm 5083합금의 조합은 용접선이 길어질수록 작업성이 불리하여 시제품 Tailored blank를 제작하기 위해 두께 1.5mm 5052와 두께 2mm의 5083합금 조합을 선정하였다.

### 3.3 TB 용접을 이용한 알루미늄 합금재 센터 필러의 제작

이러한 결과를 바탕으로 용접선 길이가 410mm인 Tailored blank를 준비한 뒤 동일한 용접조건을 사용하여 TB의 레이저 용접을 성공적으로 수행하였으며 이후에 Stamping 공정을 거쳐 경량 알루미늄 합금재 센터필러 시제품 생산에 성공하였다. 알루미늄 합금 재질로 제작한 센터필러의 무게는 1.32kg이며 Steel재 센터필러의 무게는 2.85kg으로 53.7%의 중량감소 효과가 있었다.

## 4. 결 론

5xxx계열 알루미늄 합금 레이저 용접부에서 Mg 함유량이 증가할수록 모재와 용접부의 기계적 성질 및 성형성은 증가하였으며 용접금속 중심부에 미세한 등축정이 발달하였다. 5083-O합금과 5052-H32합금을 조합하여 Tailored blank 레이저 용접 후 Stamping하여 경량차체용 센터필러 시제품을 제작하였다.

## 후 기

본 연구는 2003년도 '부산테크노파크'의 연구 지원을 받아 수행되었습니다.

## 참고문헌

1. J. W. Yoon et al. : Laser Welding of Aluminium Alloys, TWI Report 517, The Welding Institute, UK, Jan. 1995.
2. J. E. Hatch, Aluminum : Properties and Physical Metallurgy, American Society for Metals, Metals Park, OH, 1984.
3. J.W. Yoon : Effect of the Mg content on the solidification cracking susceptibility of the Al-Mg alloy laser welds, International Journal of Korean Welding Society, Vol.1, No.1, May 2001, pp. 63~70.

Table 1. Chemical composition of the materials used(wt. %).

Base metal	mm <sup>t</sup>	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5052-H32	1.3	0.47	0.12	-	0.22	2.2	0.21	0.04	0.10	Bal.
5052-H32	1.5	0.5	0.44	0.09	0.04	2.4	0.15	0.06	0.11	Bal.
5052-H32	2.0	0.47	0.45	0.01	-	2.34	0.3	0.1	-	Bal.
5754-O	1.9	0.57	0.35	-	0.07	2.7	0.17	0.14	-	Bal.
5083-O	2.0	0.49	0.31	-	0.75	4.3	0.04	0.13	0.09	Bal.

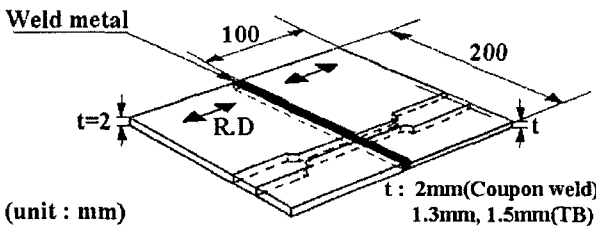


Fig. 1 Preparation of weld coupons for I-square butt joint welding.

Table 2. Laser welding condition.

(C : Coupon weld, T : TB weld)

	Laser power (kW)	Focal position (mm)	Welding speed (m/min)	Shielding gas	Gas flow rate (ℓ/min)		Heat input (J/mm)
					Upper	Back	
C	3.5	0	2.7	Ar	10	10	77.8
T			4.5				

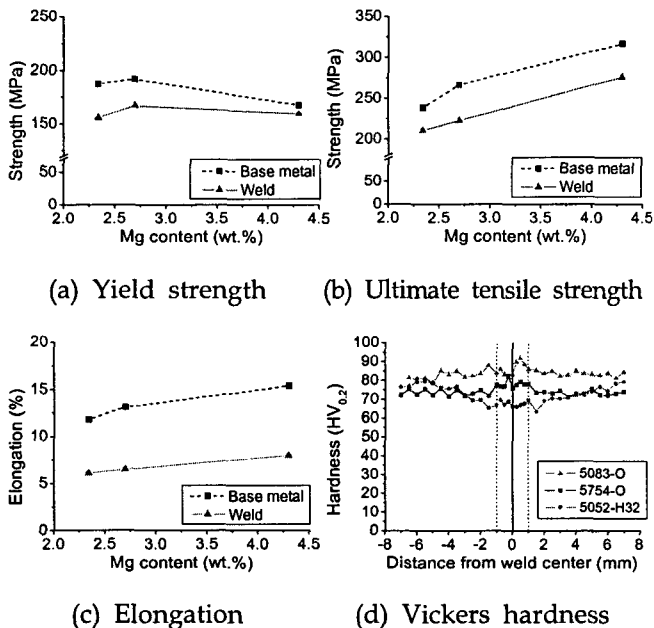


Fig. 2 Variation of mechanical properties with Mg content in the Nd:YAG laser welded 5xxx aluminum alloys.

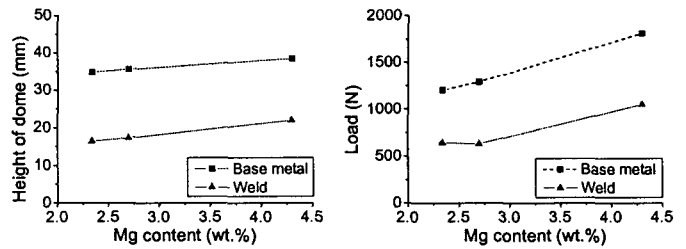


Fig. 3 Variation of formability with Mg content in the Nd:YAG laser welded 5xxx aluminum alloys.

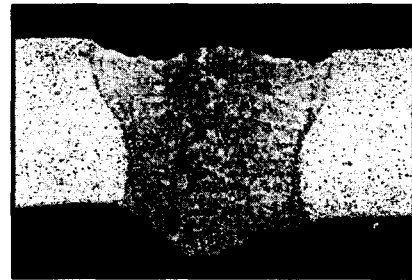


Fig. 4 Weld cross-section of laser welded 5754 alloy.

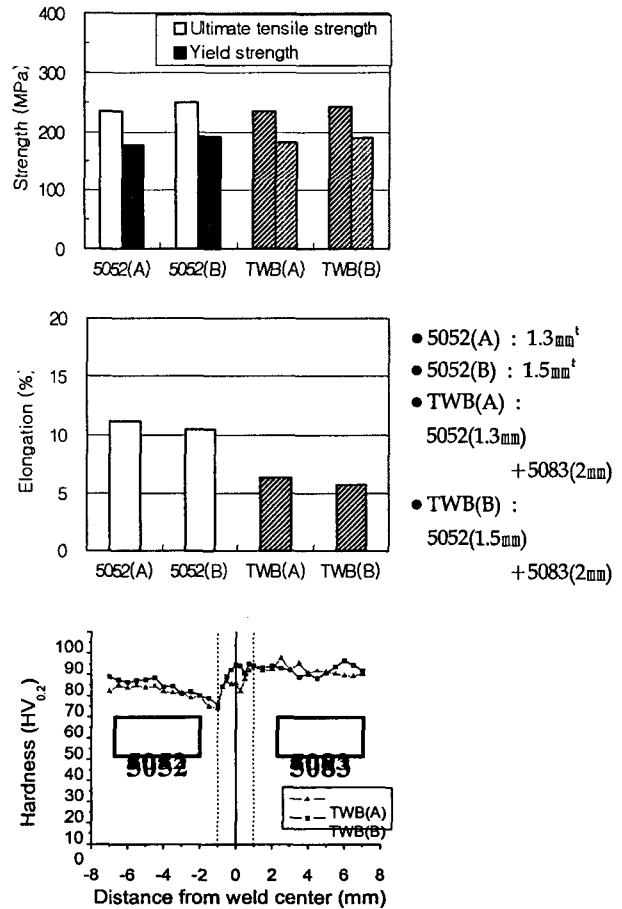


Fig. 5 Mechanical properties of tailored weld blank. (a) Yield and ultimate tensile strength, (b) elongation and (c) Vickers hardness