

# 알루미늄 합금 레이저 용접부 성질에 미치는 Ar 보호가스의 영향

## Effect of Ar shielding gas on the laser weld properties of aluminum alloys

동의대학교 신소재공학과 윤종원, 이윤상  
성우하이텍 기술연구소 이문용, 정병훈

### I. 서 론

최근 자동차 차체 경량화를 위해 냉간 압연 알루미늄합금 판재 중 5xxx, 6xxx 계열 알루미늄 합금의 사용이 고려되어지고 있으며, 빔 전송이 편리한 Nd:YAG 레이저를 이용하여 이들 재료의 알루미늄 합금 레이저 용접의 적용이 시도되고 있으나, 실제 산업현장에 적용을 위한 적절한 용접조건에 관한 연구가 충분하지 않다. 본 실험에서는 레이저 용접시 Ar 보호가스가 용접부 결함의 한 요소인 기공의 수와 크기에 어떻게 영향을 끼치고 이것이 인장성질 및 액압 성형성과 어떤 연관성이 있는지 살펴보았다. 그리고 고품질의 용접부를 얻기 위한 기공 크기의 한계를 제안하고자 한다.

### II. 실험방법

#### 1. 실험재료

실험에 사용된 재료는 비열처리형 알루미늄 합금인 5052 와 열처리형 알루미늄 합금인 6061을 사용하였다. 재료의 두께는 2mm이며 화학성분은 표 1에서 나타내었다.

AA	Chemical composition (wt.%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Cr	Ti	기타	Al
5052	0.128	0.263	0.015	0.037	2.554	0.009	0.180	-	0.050	Bal.
6061	0.68	0.5	0.28	0.01	1.0	0.00	0.19	0.02	-	Bal.

표 1. 5052 및 6061 알루미늄 합금의 화학조성

#### 2. 실험방법

##### 2.1 시편준비 및 레이저 용접

레이저 용접을 하기 위하여 아래 그림 1과 같이 각 판재를 압연방향이 접합면에 수직하도록 하여 100mm×200mm의 크기로 절단하였으며 이음부는 밀링가공을 하여 I-square butt로 준비하였다. 레이저 용접은 최대출력 3kW와 4kW의 연속파 Nd:YAG 레이저를 사용하였고 밀링가공한 면을 아세톤으로 세척한 뒤 고정구에 시편을 고정시키고 양 시편간 단차발생 및 접합면 불일치 여부를 확인한 뒤 맞대기 레이저 용접을 하였다. 각 판재에 대한 용접조건은 표 2와 같고, 보호가스 공급장치는 상부의 경우 직경이 12.6mm인 구리튜브를 용접선을 기준으로 위로 2cm, 각도 40°로 설치하였고, 하부는 동일 직경을 가진 구리튜브를 사용하여 용접선 아래에 파인 홈의 끝부분에 용접선과 수평하게 설치하였다.

##### 2.2 인장시험

각 조건별로 레이저 용접된 5052 합금과 6061 합금의 인장시편은 용접금속이 인장시편의 gage부 중심에 위치하도록 하여 gage 길이가 50mm인 cross-weld 인장시편을 사용하였다. 인장시험은 Instron사의 Series IX Automated Materials Testing System을 이용하였으며 cross-head 이동속도는 2.5mm/min로 설정하였다.

AA	용 접 조 건						입열량 (J/m)
	레이저 출력 (kW)	초거 (mm)	접리 (mm)	용접 속도 (m/min)	보호 가스	유량(ℓ/min) 상부 하부	
5052-	3.2	+1	3.6	-	Ar	10 10	53.3
H32	3.0	+1	3.7	-	-	- -	48.7
6061-	3.2	0	3.3	-	Ar	10 10	58.2
	3.0	0	3.3	-	-	- -	54.6
T6	3.8	0	4.1	-	-	- -	56.6
	2.8	0	2.1	-	-	- -	80

표 2. 사용된 판재에 적용된 레이저 용접조건

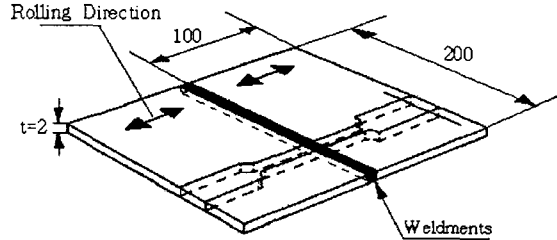


그림 1. 용접시편 형상 및 인장시편채취 방법

### 2.3 액압 성형성 시험(Bulge Test)

레이저 용접된 200mm×200mm의 용접된 판재시편을 Bulge 시험용 금형에 장착하고 시편이 파단 될 때까지 유압을 가하였다. 파단된 시편을 꺼낸 뒤 height gage를 사용하여 파단된 돔(dome)의 높이를 측정하여 성형성의 지수로 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 5052 알루미늄 합금

인장시험 및 성형성 실험결과 그림 2 에서 나타낸 것과 같이 Ar 보호가스를 사용했을 때 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부의 항복강도 및 최대인장강도는 보호가스를 사용하지 않았을 때에 비해 6~8% 향상되었고 연신률은 Ar 보호가스를 사용할 경우 보호가스를 사용하지 않은 조건에 비해 15~17% 향상되었다. 액압 성형성 역시 Ar 보호가스를 사용할 경우 그렇지 않은 경우에 비해 약 13% 정도 개선되었다.

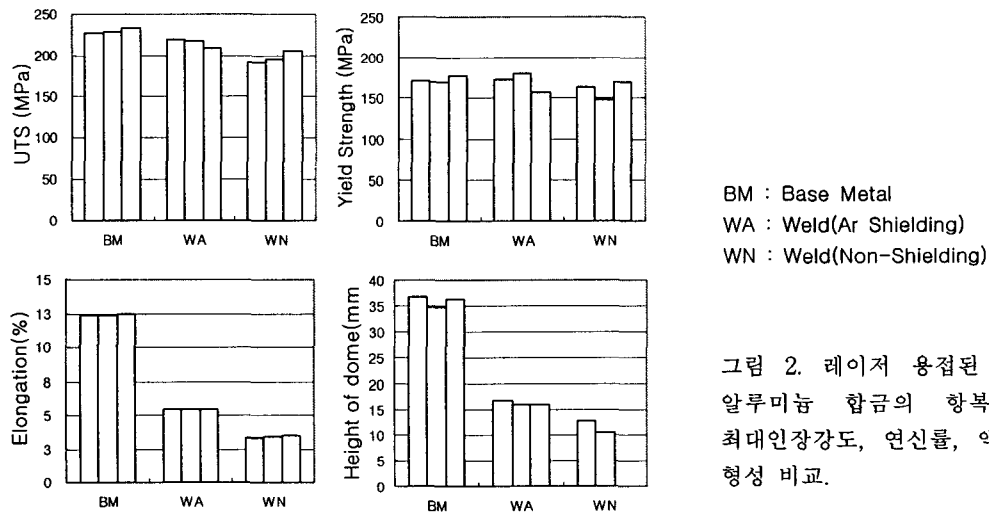


그림 2. 레이저 용접된 5052 알루미늄 합금의 항복강도, 최대인장강도, 연신률, 액압성형성 비교.

인장시편 파단면을 분석한 결과 그림 3과 같이 Ar 보호가스 사용시 보호가스를 사용하지 않은 경우에 비해 기공의 수와 크기가 감소하였으며, 특히 기공의 크기에 더욱 많은 영향을 끼친 것으로 확인되었다. SEM 파면 관찰시 100 $\mu$ m이하의 크기를 가지는 기공의 양은 두 조건 모두 비슷하였지만, 인장시편 파단면에서 관찰된 각각의 기공 최대직경 및 최소직경을 측정하여 정리한 그림 4 에서 보는 것과 같이 Ar 보호가스를 사용한 시편의 경우(그림 4 (a)) 기공의 직경은 500 $\mu$ m이하인데 반해, 보호가스를 사용하지 않은 경우(그림 4 (b)) 직경 ~1000 $\mu$ m까지의 기공들이 인장시편 파단면에 존재하였다. 따라서 직경 500 $\mu$ m~1000 $\mu$ m 크기의 기공이 인장성질 및 성형성을 저하시키는데 직접적인 영향을 주는 것으로 생각된다.

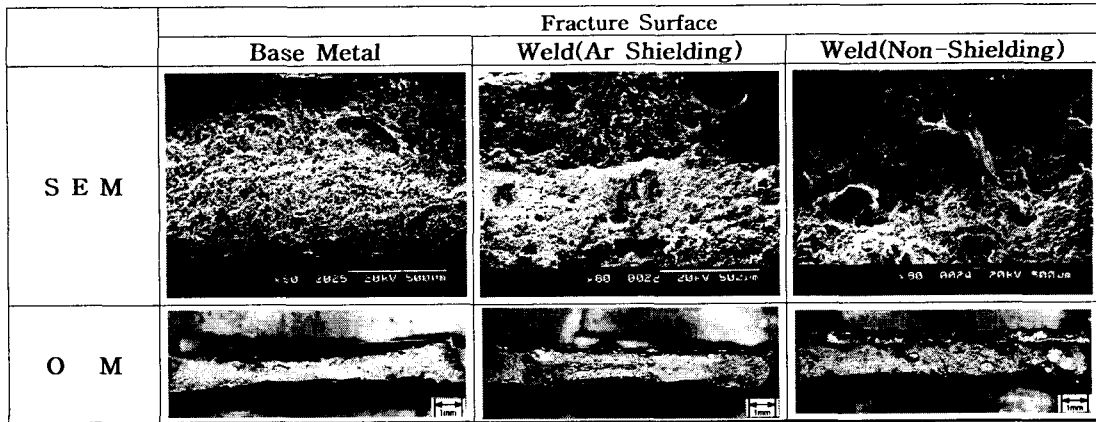


그림 3. 레이저 용접된 5052 알루미늄 합금의 인장시편 파단면

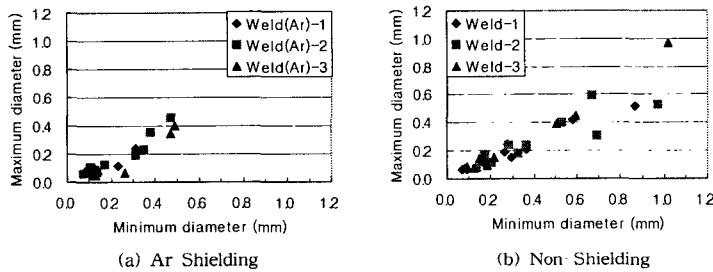


그림 4. 레이저 용접된 5052 알루미늄 합금의 인장시편 파단면에 나타난 기공의 크기.

## 2. 6061 알루미늄 합금

인장시험 및 성형성 실험결과 그림 5 에서 나타난 것과 같이 Ar 보호가스를 사용유무에 관계없이 모재에 비해 현저히 낮은 인장성질 및 성형성을 보였다. 이런 결과의 원인으로 용접금속중에 석출상들이 재용해되어 시효경화 효과가 소멸됨으로써 나타난 현상으로 추정된다.

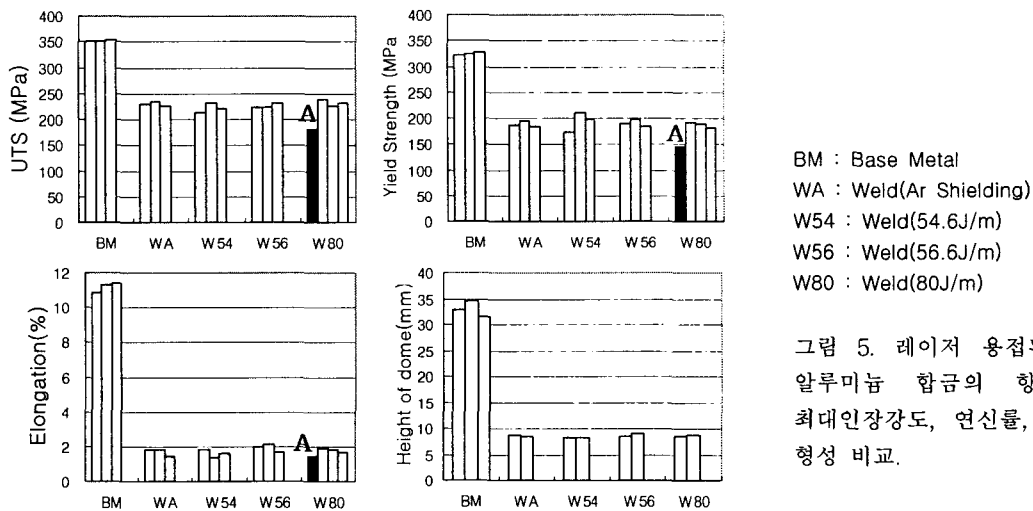


그림 5. 레이저 용접된 6061 알루미늄 합금의 항복강도, 최대인장강도, 연신률, 액압성형성 비교.

인장시험 후 파단면에서 측정된 기공은 그림 7과 같이 Ar 보호가스를 사용할 경우 직경 200 $\mu$ m 이하의 크기로 존재하였으며(그림 7 (a)), 보호가스를 사용하지 않았을 경우 기공의 직경은 대략 500 $\mu$ m 이하였다. 그리고 56.6J/m인 용접조건(출력 : 3.8kW, 용접속도 : 4.1m/min)에서는 보호가스를 사용하지 않았으나 상대적으로 기공의 크기가 작았으며(그림 7 (c)) 빠른 용접속도에 의해 기공성장에 필요한 시간적 여유가 없어서 나타난 결과로 볼 수 있다. 즉 기공의 직경이 500 $\mu$ m 이하에서는 기공 크기에 상관없이 인

장성질에 큰 영향을 주지 못하는 걸로 판단된다. 한편 그림 5 에서 80J/m으로 용접한 용접시편에서 채취한 인장시편 A는 같은 용접시편에서 채취한 다른 인장시편에 비해 상당히 낮은 기계적 성질을 보였으며, 이 인장시편 파단면에서 589 $\mu$ m의 기공이 발견되었다(그림 6, 그림 7 (d)). 따라서 파단면에 500 $\mu$ m 이상의 기공이 존재하면 인장성질이 급격히 저하됨을 알 수 있다.

6061의 경우 5052에 비해 기공의 크기가 작은 이유는 낮은 비등점을 가지는 Mg 함유량이 6061에서 더 낮고(표 1) 그로 인해 높은 열에 의해 발생하는 Mg 증기압이 5052에 비해 6061이 더 낮음으로써 기공생성 및 크기가 영향을 받았을 것이라 추정할 수 있다.

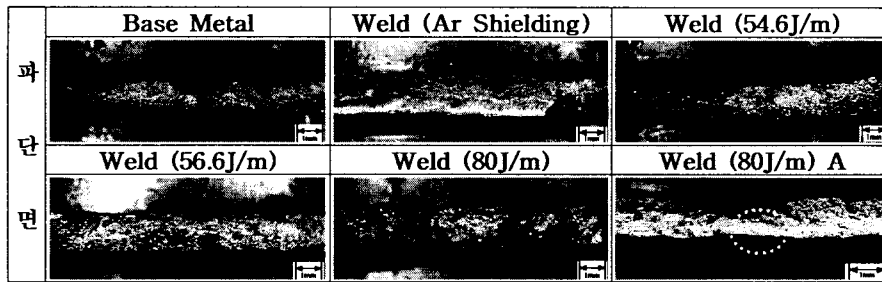


그림 6. 레이저 용접된 6061 알루미늄 합금의 인장시편 파단면.

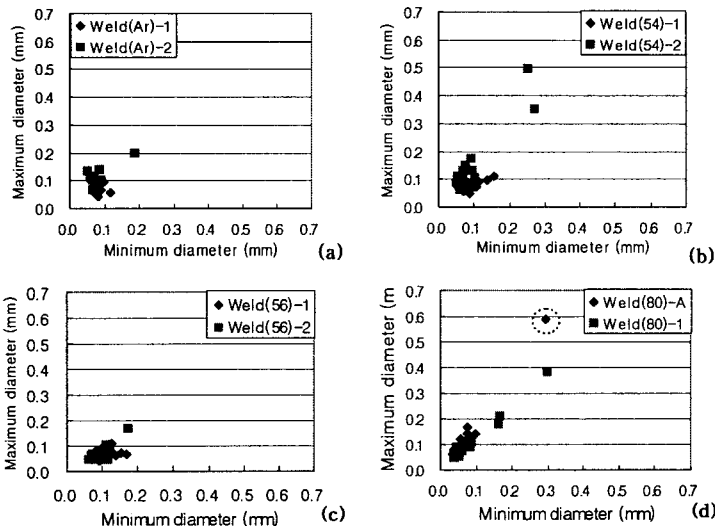


그림 7. 레이저 용접된 6061 알루미늄 합금의 인장시편 파단면에 나타난 기공의 크기.

#### IV. 결론

5052 알루미늄 합금을 Ar 보호가스를 사용하여 Nd:YAG 레이저 용접한 결과 항복강도, 인장강도, 연신률, 성형성 모두 보호가스를 사용하지 않았을 때 보다 개선되었다. 6061 알루미늄 합금의 경우 5052 알루미늄 합금과 달리, Ar 보호가스를 사용한 결과 기계적 성질 및 성형성은 개선되지 않았다. 두 재료 모두 Ar 보호가스 사용으로 기공의 수 및 크기가 감소하였으며, 6061 알루미늄 합금은 5052 알루미늄 합금 레이저 용접부에 비해 기공의 크기가 작았다. 직경 500 $\mu$ m이하의 기공이 5052 및 6061 알루미늄 합금 레이저 용접부의 인장시편 파단면에 존재할 경우 기공은 기계적 성질에 크게 영향을 미치지 않으나, 직경이 500 $\mu$ m이상인 기공이 인장시편 파단면에 존재할 경우 두 합금의 레이저 용접부의 기계적 성질은 저하된다.

#### V. 참고문헌

- (1) J W Yoon et al., Laser Welding of Aluminium alloys, The Welding Institute, UK, Jan. 1995, pp.26~27.
- (2) 윤종원, "알루미늄 합금 레이저 용접부 기공발생에 관한 연구", 동의논집, 2001, Vol.34, pp 467~471.
- (3) Moon D.W et. al., "Laser beam welding of aluminium alloy 5456", W.J., Vol.62, No.2, 1983, pp.535~585.