

# 6K21-T4 알루미늄 합금 레이저 용접부의 기계적 성질에 미치는 필러 와이어의 영향

The effect of filler wire on the mechanical properties of 6K21-T4 aluminum alloy Nd:YAG laser welded

동의대학교 신소재공학과 강준일, 윤종원  
(주)기아자동차 박현성, 신현일

## I. 서론

차체경량화를 위해 기존의 강재보다 비중이 낮으면서 유사한 강도를 가지고 있는 알루미늄 합금판재의 적용이 활발히 연구되고 있다 <sup>1), 2), 3), 4)</sup>

본 연구에서는 기존의 강재와 유사한 인장강도를 가지는 알루미늄 합금중 성형성을 고려하여 연신율이 우수한 6K21-T4 알루미늄 합금을 선택하였다. 그러나 6000 계열 알루미늄 합금은 Mg, Si의 함유량 때문에 용접시 균열민감도가 높다. 6K21-T4 알루미늄 합금 레이저 용접시 Si의 함유량이 높은 filler wire를 사용하여 용접금속의 균열민감도를 제어하고 용접부의 기계적 성질 및 성형성을 개선하는 연구를 수행하였다.

## II. 실험방법

### 1 실험재료 및 시편준비

실험에 사용된 알루미늄 합금모재와 filler wire의 조성은 Table 1에 제시하였다. 6K21 알루미늄 합금은 T4(고용처리하고 자연시효)처리된 상태이며 두께는 각각 1mm, 2mm이다. 4043 filler wire는 지름이 1.2mm인 것을 사용하였다.

Alloy	Thickness (mm)	Dia (mm)	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
6K21-T4	1	-	1.05	0.11	-	0.07	0.60	0.02	0.01	0.02	Bal
6K21-T4	2	-	0.99	0.15	0.01	0.07	0.54	0.01	0.01	0.01	Bal
4043(Al-5Si)	-	1.2	4.5	0.228	0.034	0.005	0.016	0.004	0.011	0.02	Bal

Table 1 Chemical composition of aluminum alloy used(wt %)

### 2 레이저 용접

각 판재를 압연방향이 접합면에 수직하도록 하여 100mm×300mm의 크기로 절단하였으며, 이음부는 기계 가공 없이 I-square butt로 준비하였다. 각 판재를 이음부 간격 없이 지그에 고정시키고 최대출력 4kW 연속파 Nd:YAG 레이저를 사용하여 맞대기 용접하였다. 용접조건은 Table 2와 같고, 상부보호가스공급은 Fronius사의 TPS 5000을 사용해 공급하였으며, 하부보호가스는 지그의 보호가스채널을 사용해 공급하였다. 용가재를 사용한 용접시 용가재의 공급은 Fronius사의 TPS 5000을 사용하였다. 6K21 알루미늄 합금판재 1mm에 2mm를 용접시 두께가 달라 입열량 조절을 위해 박판 쪽으로 3°기울여서 후판에 입열량이 많게 하여 용접을 수행하였다.

Alloy	Thick ness. (mm)	Laser power (kW)	Shielding gas	Gas flow rate( $\ell$ /min)		Filler wire	Welding speed (m/min)	Wire feed welding speed (m/min)
				Upper	Back			
6K21-T4	1	4	Ar	20	10	No filler	4	-
	2	4	Ar	20	10	No filler	5	-
	1+2	4	Ar	20	10	4043	5	3 4
		3 5	Ar	20	10	No filler	4 8	-

Table 2 Laser welding condition

### 3 Metallography

6K21-T4 알루미늄 합금 레이저 용접부의 용접금속 횡단면, 종단면(centerline, off-center) 및 상부비드를 채취하여 polishing 후 Keller 용액으로 에칭하여 실제현미경과 광학 현미경을 이용하여 미세조직을 관찰하였다

#### 4. 인장시험, 경도시험 및 역압성형성(Bulge) 시험

6K21-T4 알루미늄합금 레이저 용접쿠폰으로부터 Fig 1과 같이 용접금속이 인장시편 gage 부 중심에 횡으로 위치하도록 하여 gage 길이가 50mm인 transverse-weld 인장시편을 채취하였으며 cross-head 이동속도는 25mm/min로 설정하여 각 용접쿠폰으로부터 3개이상의 인장시험을 수행하였다 Vickers 경도계를 이용하여 200g의 하중으로 용접금속 횡단면 1/2두께 위치에서 용접금속, 열영향부 및 모재에 걸쳐 0.25mm 간격으로 14초 동안 압입자를 가압하여 경도값을 측정하였다. 성형성 시험은 레이저 용접쿠폰을 Bulge 시험용 금형과 Erichsen 시험용 금형에 장착하고 시편이 파단될 때까지 유압을 가하였다 파단된 시편을 금형에서 제거한 후 height gage를 사용하여 파단된 돔(dome)의 높이를 측정하여 성형성의 지수로 사용하였다.

#### 5. EPMA

용가재의 사용유무에 따른 용접금속의 합금원소(Al, Si, Mg, Fe) 분포를 관찰하기 위하여 4043 용가재를 사용해 용접한 6K21 1mm+2mm 용접쿠폰과 용가재를 사용하지 않고 용접한 6K21 1mm+2mm 용접쿠폰의 횡단면을 polishing한 후 Keller용액으로 에칭하여 SHIMADZU(Japan)사의 EPMA-1600을 사용해 area mapping을 수행하였다. 6xxx 계열 알루미늄 합금의 용접 후 용접금속의 주요 합금원소인 Si, Mg의 wt%를 관찰하기 위해 EPMA-1600의 beam spot size를 100 $\mu$ m로 하여 정량분석하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1 Metallography

Fig 2의 횡단면에서 보듯이 4043 filler wire를 사용한 용접의 용접금속을 제외한 모든 용접의 용접금속에서 균열이 관찰되었다 그러나 Fig 2의 중심부에서는 filler wire 사용유무에 관계없이 균열이 관찰되지 않고 미세한 equiaxed grain이 관찰되었다 용접금속 중심에서 균열이 관찰되지 않은 것은 용력 흡수능력이 우수한 미세한 equiaxed grain에 의한 것으로 사료된다 이렇게 용접금속 중심에서 관찰된 equiaxed grain은 보호가스를 사용한 고압열, 고속의 용접에서 미세한 equiaxed grain이 용접금속 중심부에서 생성된다는 Kou의 이론과 일치한다<sup>5)</sup>.

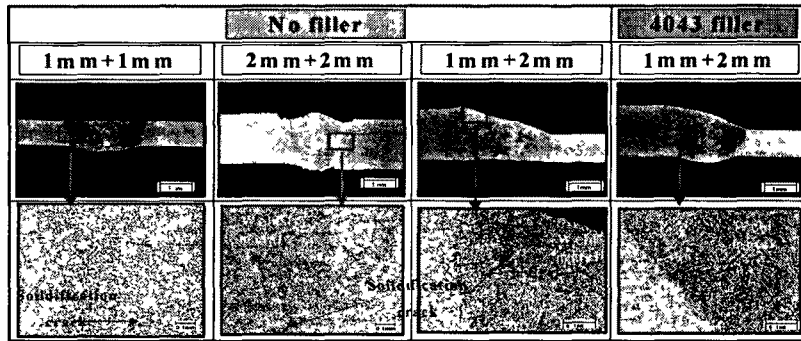


Fig 2 Cross section of laser welded 6K21-T4 aluminum alloy

2 인장시험, 경도시험 및 액압성형성(Bulge) 시험

6K21-T4 모재(1mm, 2mm)의 경도는 Fig 3의 기계적 성질에서 보듯이 각각 Hv 85, 인장강도는 255-260 MPa, Bulge 시험에서 파단시 돔의 높이는 33-34mm, Erichsen 시험에서 파단시 돔의 높이는 32mm이었다 Fig 3에서 보듯이 filler wire를 사용하지 않은 6K21-T4 1mm 및 2mm 판재의 맞대기 레이저 용접 과 1mm+2mm 맞대기 용접의 용접금속에서 경도는 각각 Hv 60, 인장강도는 175 MPa, 196 MPa, 209MPa이며 파단은 용접금속에서 발생하였으며 파단면에서 균열이 관찰되었다 Fig 3에서 보듯이 erichsen 시험 후 파단된 돔의 높이는 9mm, 11mm, 9mm로 모두 용접금속에서 파단되었다 그러나 4043 filler wire를 사용한 1mm+2mm 용접금속의 경도는 Hv 70, 인장강도는 235MPa, 성형성 시험시 돔의 높이는 15mm로 관찰되었고, 인장시험시 파단은 1mm 알루미늄 합금의 HAZ부에서 관찰되었으며 성형성 시험시 파단은 1mm 알루미늄 합금 모재에서 관찰되었다 이와 같이 filler wire를 사용하지 않은 용접에서 용접금속의 경도는 모재에 비해 현저히(Hv 85→60) 저하하였으며, 앞서의 Metallography에서 관찰된 고온균열에 의해 인장강도가 저하한 것으로 추정되며 같은 이유로 Erichsen 시험으로 측정된 성형성도 저하하였다. 4043 filler wire를 사용한 용접에서 경도(Hv 85→70)가 저하하였으나 용가재를 사용하지 않은 용접에 비해 개선된 것은 용가재에 의해 첨가된 Si에 의한 고용경화로 사료된다. <sup>6)</sup> 4043 filler wire에 의해 첨가된 Si로 인해 용접금속의 합금조성이 균열민감도가 낮은 영역으로 이동해서 고온균열 발생이 감소하여 인장강도가 용가재를 사용하지 않은 용접에 비해 개선된 것으로 추정되며 같은 이유로 Erichsen 시험으로 측정된 성형성도 개선된 것으로 사료된다 <sup>7), 8)</sup>

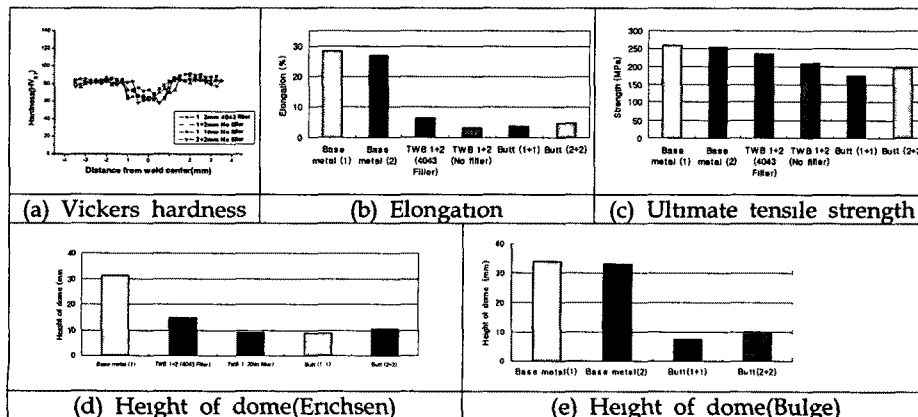


Fig. 3 Mechanical properties and formability of Nd YAG laser welded 6K21-T4 aluminum alloys.

### 3 용접금속의 Si함유량이 균열민감도에 미치는 영향

Filler wire를 사용하지 않은 용접의 용접금속에서 합금원소(Al, Si, Mg, Fe)들이 모재에 고르게 분포하고 있는 것을 관찰할 수 있었으나 4043(Al-5%Si) filler wire를 사용한 용접의 용접금속에서는 Al, Mg, Fe는 모재와 용접금속에 고루 분포하였으나 Si는 용접금속에 많이 분포하고 있는 것을 관찰할 수 있다 이것은 4043 filler wire에 포함되어있는 Si가 용접시 용융되어 용접금속내에서 응고된 것으로 사료된다. Fig. 4에서 보듯이 정량분석 결과 4043 filler wire를 사용한 용접의 용접금속에서 filler wire를 사용하지 않은 용접과 모재에 비해 1wt%정도 많은 2.6-2.9wt%의 Si 함유량을 나타내었다 이러한 4043 filler wire를 사용한 용접에서 Si의 함유량의 증가로 인해 균열민감도가 감소하여 기계적 성질 및 성형성이 향상된 것으로 사료되고 이러한 결과는 Jennings et al의 실험결과<sup>7)</sup>, H Yamaoka et al의 실험결과<sup>8)</sup>와 일치한다

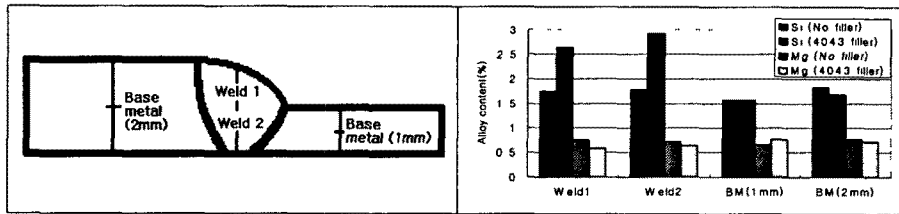


Fig. 6 Position of EPMA and Si, Mg composition.

## IV. 결론

6K21-T4 알루미늄 합금의 레이저 용접시 석출물의 재용해에 의해 석출경화효과의 소멸이 발생하여 기계적 성질 및 성형성이 저하하였다 4043(Al-5Si) Filler wire를 사용하여 레이저 용접한 경우, filler wire를 사용하지 않은 맞대기 용접에 비해 기계적 성질 및 성형성이 개선된 것을 관찰하였다 4043 filler wire의 첨가로 Al-Si 합금조성의 균열민감도가 낮은 영역에 위치하였으며 Si의 고용경화효과가 발생되어 기계적 성질 및 성형성이 개선된 것으로 사료된다 6K21-T4 알루미늄 합금의 레이저 용접시 Si 함유량이 많은 filler wire를 사용하여 용접하는 것이 효과적이었다

## V. 참고문헌

- 1 J W. Yoon et al, Laser Welding of Aluminium Alloys, TWI Report 517, The Welding Institute, UK, Jan 1995
- 2 J. W Yoon, Solidification cracking susceptibility of Al-Mg-Si alloy laser welds, International Journal of Korean Welding Society, Dec, 2002, pp 42~46
3. 오영근, 박현성, 자동차 산업의 레이저 용접적용, 고에너지 연구위원회 연구 발표회, 대한용접학회, Dec, 2001, pp 12~16
- 4 Gene Mathers, The welding of aluminum and its alloys, Woodhead Publishing Ltd & CRC Press LLC, Cambridge, pp 150~155, 2002
- 5 Sindo Kou, Welding Metallurgy (Second edition), A JOHN WILEY & SONS, pp 178~187, 2003
- 6 한봉희, 금속재료(개정판), 반도출판사, 1997, pp 206~208
- 7 Jennings, P H, Singer, A R E, and Pumphrey, W I, J Inst Metals, 74 227, 1948.
- 8 H Yamaoka et al, Study of prevention of solidification cracking in Al-Mg-Si alloy laser welds. CO2 laser welding of Al-Mg-Si alloys(1st Report), Welding International, 15(5) 370-378, 2001