

## 이종 알루미늄 합금의 로봇 미그 용접 시 용접재료에 따른 기계적 및 전기화학적 특성 평가

김성종<sup>†</sup> · 한민수 · 우용빈

목포해양대학교 기관시스템공학부  
(2013년 9월 23일 접수, 2013년 10월 25일 수정, 2013년 10월 29일 채택)

### Mechanical and electrochemical characteristics with welding materials in robotic MIG welding of dissimilar Al alloys

Seong Jong Kim<sup>†</sup>, Min Su Han, and Yong Bin Woo

Division of Marine Engineering, Mokpo Maritime University, Haeryangdaehak-Ro 91 Mokpo city, Jeonnam, Korea  
(Received September 23, 2013; Revised October 25, 2013; Accepted October 29, 2013)

In this study, mechanical and electrochemical characteristics with welding material in MIG welded with ROBOT for dissimilar Al alloys were investigated using various experiment methods. The MIG welding by ROBOT with ER5183 and ER5556 for the 5456-H116 and 6061-T6 Al alloy were carried out. The hardness of welding zone was lower than that of base metal. In electrochemical experiment, ER5183 welding material presented excellent characteristics. The yield strength and maximum tensile strength in welding with welding material of ER5183 presented lower value than those of ER5556. The elongation and time-to-fracture showed the opposite results.

**Keywords :** MIG welding, Al alloy, electrochemical experiment, welding material

#### 1. 서론

알루미늄 합금은 비강도가 높고, 인성과 내식성이 우수하며, 재활용이 가능한 친환경 재료이다. 그래서 자동차, 우주항공, 선박 및 각종 생활용품 등에 많이 사용되고 있으며, 그 적용분야는 매년 증가하는 추세이다<sup>1-3</sup>). 중·소형선박에서 많이 사용되고 있는 FRP선은 대부분 크기가 작고, 레이더파를 반사시키는 강도가 약하여 충돌에 의한 해난사고가 다발하고 있으며, 소형 선박의 해양사고가 전체 해양사고의 70% 이상을 차지하고 있다. 또한 2004년부터 해상화재로 인한 인명피해를 사전에 예방하기 위해 종전에 임의 적용하던 해양인명 안전협약의 국제 고속선 기준을 수용하고, 이를 개정하여 강제 적용하였다<sup>2</sup>). 그리고, FRP 선박은 화재에 대한 취약성과 폐선 시 환경유해 물질이 발생한다. 이에 반해 알루미늄 선박은 경량화, 추진용 연료의 절감, 내식성 및 폐선 시 재활용이 가능한 환경 친화적이므로 다른 선박 재료에 비해 많은 장점을 가지고 있다<sup>4</sup>). 알루미늄 선박용 재료인

5000계열은 Mg을 주첨가 성분으로 한 강도가 높은 비열처리 합금이며, 용접성이 양호하며, 해수분위기에서도 내식성이 좋다. 6000계열은 Al-Mg-Si계 합금으로 적당한 강도를 유지하면서 내식성과 성형가공성이 우수한 전신재료로 그 활용도가 대단히 높다<sup>5</sup>). 선진국은 이미 수 십년 전부터 선형, 건조공법, 용접시공법 개발등의 관련 연구도 활발하게 진행 중에 있으나 국내에서는 알루미늄 선박을 건조할 수 있는 조선소가 소수에 불과하며, 자체 기술력 축적과 기술개발은 기대하기 힘든 실정이다<sup>6,7</sup>). 전 연구에서 다양한 알루미늄 합금에 대하여 마찰교반용접을 실시하여 기계적, 전기화학적 특성을 평가한 적이 있다<sup>8-12</sup>).

본 연구에서는 알루미늄 선박의 선체 재료인 5456-H116과 상부 구조물에 사용되는 6061-T6인 재료를 선정하였다. 또한 용접재료 ER5183과 ER5556으로 이종 알루미늄 합금에 로봇을 이용하여 MIG 용접 시 기계적 특성과 전기화학적 특성을 평가하였다.

<sup>†</sup> Corresponding author: ksj@mmu.ac.kr

**Table 1. Comparison of chemical composition**

(a) Base metals (wt.%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Al
5456-H116	0.13	0.31	0.06	0.62	4.90	0.09	0.05	0.02	Bal.
6061-T6	0.71	0.44	0.24	0.01	1.06	0.13	0.01	0.01	Bal.

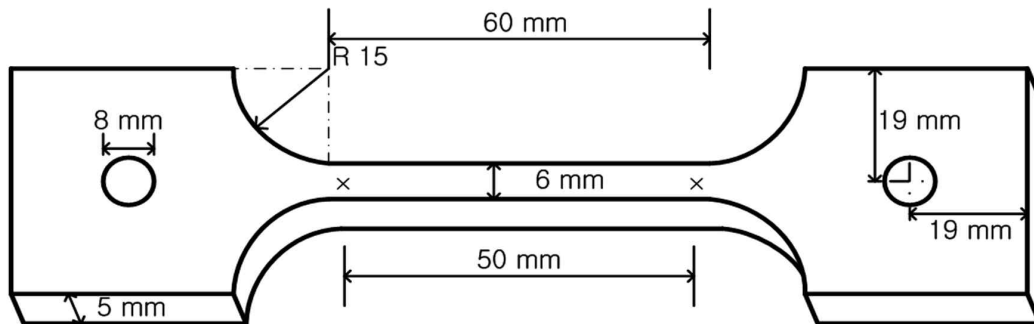
(b) Welding materials(wt.%)									
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	
ER5183	0.40	0.40	0.10	0.5-1.0	4.3-5.2	0.05-0.25	0.25	0.15	
ER5556	0.25	0.40	0.10	0.5-1.0	4.7-5.5	0.05-0.20	0.0285	0.20	

**Table 2. Welding parameters in MIG welded by ROBOT**

	Welding material	Welding current (A)	Welding voltage (V)	Welding speed (CPM)
5456H116-6061T6	ER5183	140	19.5	42
	ER5556	143	19.8	42

**2. 실험재료 및 실험방법**

본 연구에 사용된 알루미늄 합금은 5456-H116과 6061-T6이며 용접재료는 ER5183과 ER5556으로 MIG 용접을 실시하였으며, 그 화학조성은 Table 1과 같다. 경도 측정 실험은 마이크로 비커스 경도기로 횡단면에 대하여 인가 하중 9.807 N, 유지시간 10초, 측정 간격은 1 mm로 실시하였다. 인장 실험은 평행부의 길이 60 mm, 표점거리 50 mm, 두께는 5 mm와 곡률 반경 R15로 가공하였으며 그 형상은 Fig. 1에 나타냈다. 인장시험은 대기 중에서 0.2 mm/min의 인장속도로 3회 실시하여 최대인장강도, 항복강도, 연신율과 파단되는 데 걸리는 시간 등을 상호 비교하였다. 로봇을 이용한 MIG 용접 시의 용접조건은 Table 2에 나타냈으며, 그루브(groove)는 Y개선, 그루브 각도(angle of groove)는 30도와 루트갭(root gap)은 1 mm 조건에서 1 패스 맞대기 용접을 실시하였다. 자연전위 측정은 에머리 페이퍼 2000번까지 연마를 한 후



**Fig. 1. Specimen dimension for tensile test.**

아세톤과 증류수로 세척하여 드라이로 건조한 시험편을 사용하였다. 천연해수 용액 조건에서 86,400 초 동안 실시하였으며, 노출 면적은 1 cm<sup>2</sup>로 하였다. 전기화학적 실험의 경우, 기준전극은 은/염화은 전극(SSCE)을, 대극은 백금전극을 사용하여 2 mV/s의 주사속도로 양극분극 실험은 개로전위에서 -0.5 V에서 3.0 V까지, 음극분극 실험은 개로전위에서 -2.0 V까지 실시하였다. 타펠 분석을 위한 분극실험은 개로전위에서 ±0.25 V까지 1 mV/s의 주사속도로 분극실험을 실시하였으며, 타펠 외삽법을 이용하여 부식전류밀도 값을 구하였다.

**3. 실험결과 및 고찰**

**3.1 기계적 특성 평가**

Fig. 2는 이중알루미늄 합금 5456-H116과 6061-T6에 대하여 로봇을 이용하여 ER5183과 ER5556 용접재료로 용접한 경우, 측면에서의 경도측정 결과를 나타내고 있다. 모재의 경우, 5456-H116과 6061-T6는 각각 93.9 Hv와 112.6 Hv를 나타냈다. ER5183 용접재료로 용접한 경우, 용접부에서의 평균값은 69.97 Hv로 전반적으로 모재보다 낮은 경도를 나타냈다. 5456-H116 재료인 경우는 ER5183 용접재료로 용접한 경우, 열영향부가 용접부에 비해 높으며, 모재보다는 낮은 경도값을 나타냈다. 6061-T6인 경우는 용접부 중심에서 열 영향부에 해당되는 대략 10 mm까지는 용접부보다 높은 경도값을 나타냈으며, 모재쪽으로 이행하면서 꾸준히 상승하여 모재와 유사한 경도값을 나타냈다<sup>13)</sup>. ER5556 용접재료로 용접한 경우, 용접부에서 경도값은 69.9 Hv ~ 72.5 Hv를 나타냈으며 평균값은 71.03 Hv로 전반적으로 모재보다 낮은 경도값을 나타냈다. 5456-H116 재료인 경우는 용접부 바로 옆 열영향부에서부터 약 5 mm까지 용접부와 유사한 경도를 나타냈다. 이후 용접부에서 멀어지면서 상승하였으며, 6061-T6인 경우는 ER5183 용접과 비슷하게 용접부 중심에서 대략 10 mm까지는 용접부보다 높은 경도값을 나타낸 후 열영향부에서 모재로 이행함에 따라 꾸준히 상승하여 모재와 유사한 경도값을 나타냈다. 용접부와 열영향부에

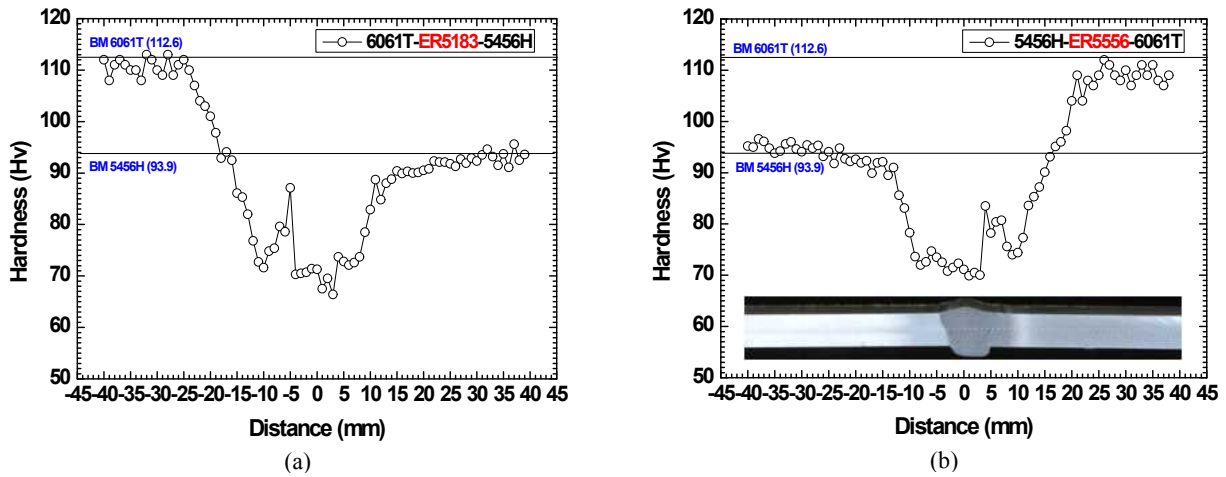


Fig. 2. Comparisons of hardness for the cross-section of welding parts ; (a) ER5183 7, (b) ER5556.

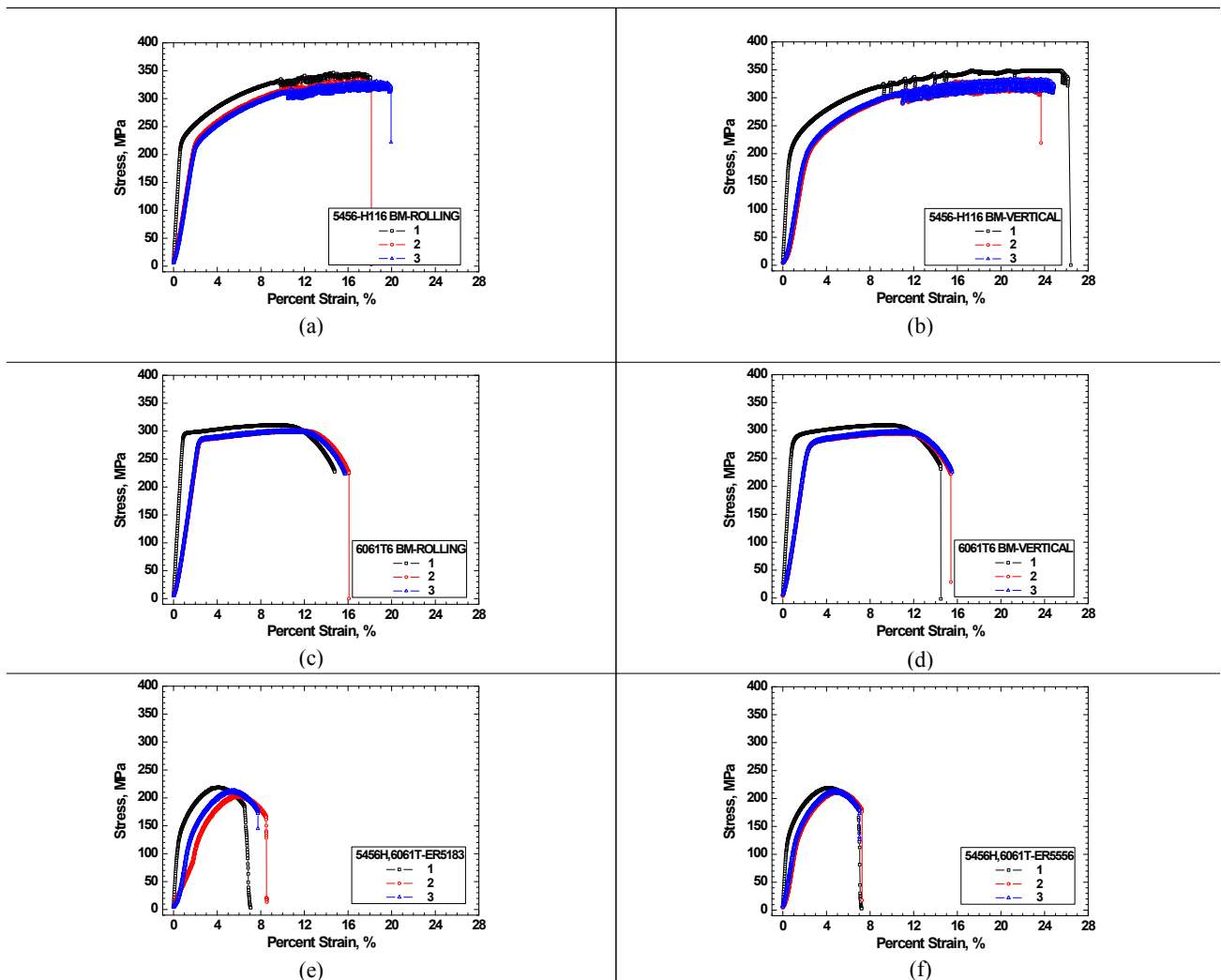


Fig. 3. Stress-Elongation curves in welded with ER5183 and ER5556 welding materials for 5456-H116 and 6061-T6 Al alloys; (a) BM 5456-H116 Rolling direction, (b) BM 5456-H116 Vertical direction, (c) BM 6061-T6 Rolling direction, (d) BM 6061-T6 Vertical direction, (e) Welding with ER5183, (f) Welding with ER5556.

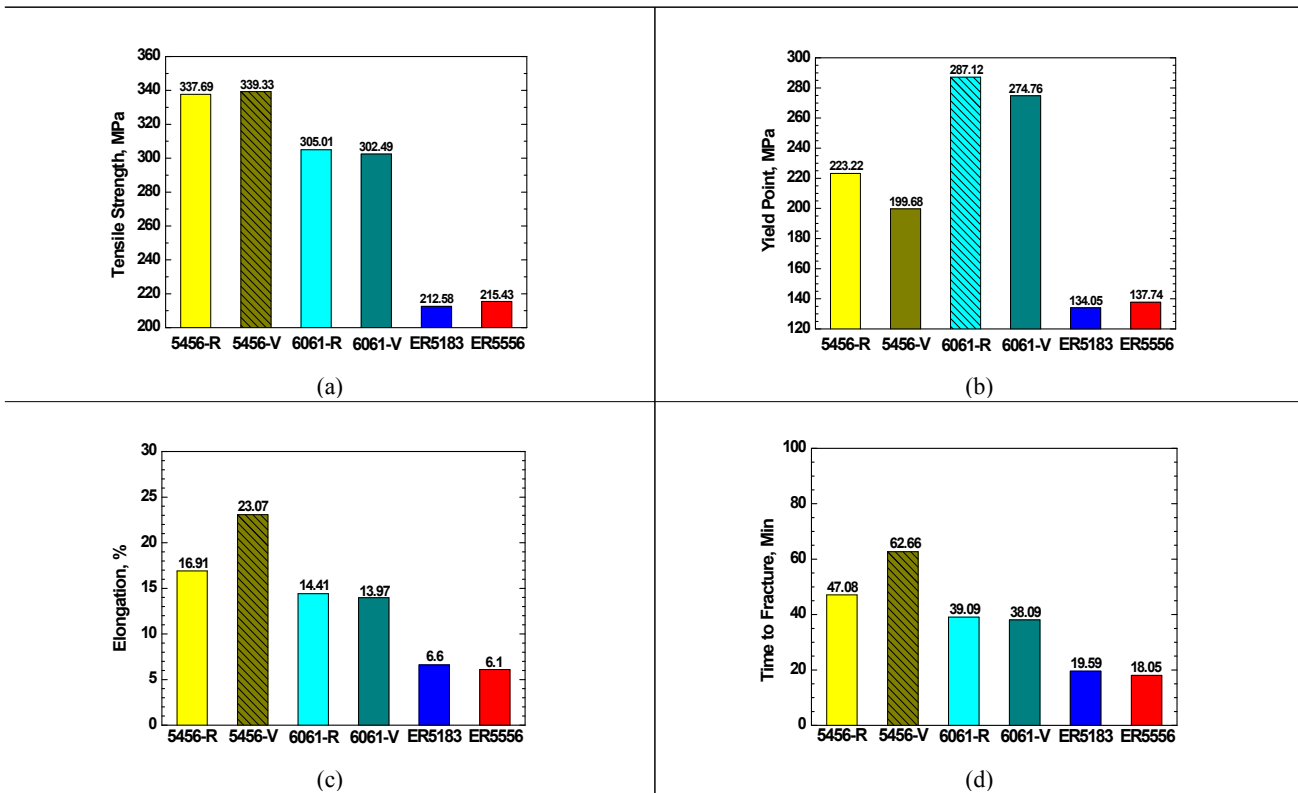


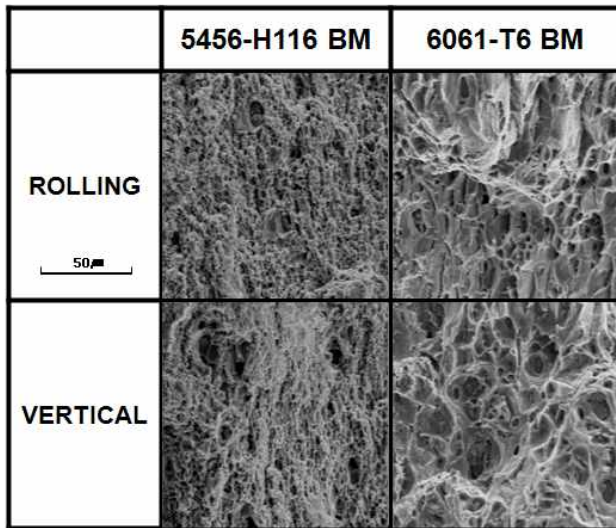
Fig. 4. Comparison of tensile test results; (a) tensile strength, (b) yield strength, (c) elongation, (d) time-to-fracture.

서 낮은 경도값을 나타낸 이유는 용접시 발생한 열로 인한 결정립의 조대화화 어닐링에 기인한 것으로 판단되며,<sup>14)</sup> 발생한 열이 경도에 미치는 영역은 상당히 넓게 나타났다. 따라서 열처리 등 후처리 공정을 적용하여 모재 이하의 강도를 지닌 용접부와 열영향부의 물리적 특성 개선이 요구된다.

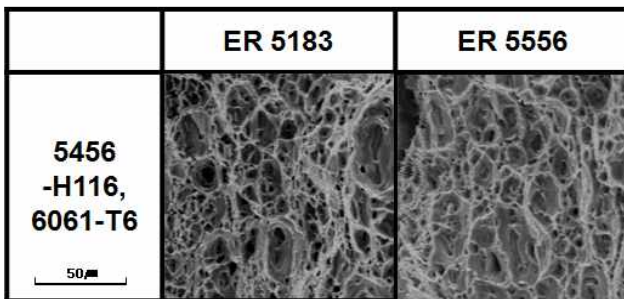
Fig. 3은 5456-H116 모재에 대하여 인장시험을 실시한 경우 응력-변형을 곡선을 나타낸 것이다. 모든 용접 시험편의 파괴는 6061-T6의 열영향부에서 발생하였으며 용착 금속부에서는 관찰되지 않았다. 5456-H116 모재 롤링방향의 경우(a), 초기 인장 시험 시 연신율 변화에 따라 응력이 200 MPa 정도까지 급격히 상승하면서 연신되었음을 알 수 있다. 5456-H116 롤링방향에 대하여 직각방향으로 인장 시험을 실시한 경우(b)는 롤링방향과 거의 유사한 거동을 보이며 전체적으로 양호한 기계적 특성을 나타냈다. 한편, 6061-T6 모재의 롤링방향의 경우(c), 초기 인장 시험 시 연신율 변화에 따라 280 MPa 정도까지 응력이 급격히 상승하면서 연신되었음을 알 수 있다. 그 경향은 대략 13% 정도까지 유사한 값을 나타냈으며, 이후 연신율과 응력의 차이가 관찰되었다. 6061-T6 롤링방향에 대하여 직각방향으로 인장 시험을 실시한 경우(d)는 롤링방향과 거의 유사한 거동을 보이나 전체적으로 낮은 기계적 특성을 보여 주었다. 또한 두 합금에 대하여 ER5183 용접재료로 용접한 경우(e)

는 초기부터 연신을 증가에 따라 유사한 거동을 나타내었으나 6.5% 정도에서 차이를 나타냈다. 전체적으로 모재에 비하여 현저히 낮은 특성을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 용접부에 용접결합이 발생하여 강도가 저하하였거나, 용접시 열에 의한 영향으로 강도가 저하한 것으로 여겨지나 후자의 영향이 클 것으로 판단된다. 그 이유는 시편 초기부터 종료 시점까지 원만한 용접이 이루어져 재현성이 확보되었기 때문에 양호한 용접공정이 이루어진 것으로 판단되기 때문이다. ER5556 용접재료로 용접한 경우(f), 초기부터 연신을 증가에 따라 유사한 거동을 나타내며, 전체적으로 ER5183의 경우와 거의 유사하게 모재에 비해 현저히 낮은 특성을 나타냈다.

Fig. 4는 인장시험을 실시한 후 각 조건별 기계적 특성을 비교한 것이다. 최대인장강도(a)의 경우, 6061-T6 모재에 비해 5456-H116 모재가 모두 대략 30 MPa 정도보다 높은 값을 나타냈다. 두 알루미늄 합금을 롤링의 수직방향으로 ER5556 용접재료로 용접한 시편은 215.43 MPa으로 ER5183 용접재료로 용접한 시편은 212.58 MPa보다 약간 높은 경향을 나타냈다. 항복점(b)는 최대인장강도와는 달리 6061-T6 모재가 5456-H115 모재와 이중 용접한 조건에 비해 현저히 높은 값을 나타냈다. 용접 부위는 모재에 비해 낮은 값을 나타냈으며, 용접재료를 변수로 한 경우 거의



(a)



(b)

Fig. 5. Fractography after tensile test for welded specimens with ER5183 and ER5556 for 5456-H116, 6061-T6 Al alloy dissimilar materials; (a) base metal, (b) welded metal.

유사한 값을 나타냈다. 연신율(c)은 5456-H116의 경우가 6061-T6에 비하여 높은 값을 나타냈으며, 5456-H116 모재의 경우 압연방향에 따라 큰 차이를 나타낸 반면 6061-T6는 거의 유사한 값을 나타냈다. 또한, ER5183 용접재료로 용접한 경우가 6.6%로 ER5556(6.1%)으로 용접한 경우보다 높은 값을 나타냈다. 용접부는 5456-H116 모재의 수직방향 연신율에 비해 대략 27%정도, 6061-T6 모재 연신율의 45%정도를 나타냈다. 한편, 파단 시간(d)은 연신율 그래프와 비슷한 경향을 나타냈으며, 5456-H116의 수직방향의 모재가 62분 이상으로 파단되는데 걸리는 시간이 가장 길게 나타났으며, 6061-T6는 약 40분 그리고 용접한 경우는 20분 정도 소요되었다. 두 가지 용접재료로 용접한 경우 거의 유사하였으나, ER5183이 약간 긴 시간이 소요되었음을 알 수 있다. 기계적 특성 평가 결과 최대인장강도와 항복강도는 ER5556의 용접재료가 양호했으며, 연신율과 파단 시간은 ER5183을 사용한 경우가 양호한 결과를 나타냈다. 이는 유동성 증가 원소인 Si의 함량이 많은 ER5183의 경우

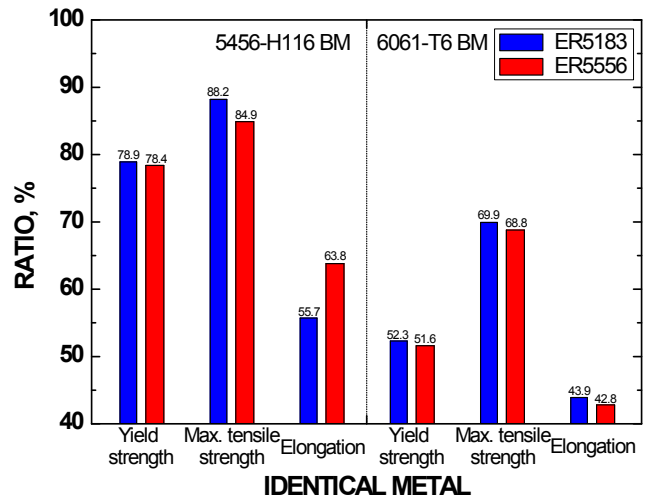


Fig. 6. Mechanical property ratios for base materials after tensile test in welding between same Al alloys.

가 연성 증가로 인해 높은 연신율과 함께 파단시간이 길어지는 결과를 나타냈으며, Ti 함량에 따른 결정립 미세화 차이로 인해 ER5556이 높은 강도(최대 인장강도, 항복강도)를 나타낸 것으로 판단된다.

Fig. 5는 다양한 실험조건에서 인장시험 후 파단면 사진을 나타낸 것이다. 5456-H116 모재와 6061-T6 모재에 대하여 롤링방향과 롤링방향의 수직인 방향의 파단면을 각 배율별 비교 결과, 5456-H116 모재는 롤링방향과 롤링의 수직인 방향의 경우 덩플 파면이 주류를 이루며, 국부적으로 준 벽개 파면 형상이 관찰되었으나 롤링방향에 대하여 수직방향인 경우가 쉬어림이 많이 형성되어 연신율이 증가한 것으로 사료된다. 6061-T6 모재의 경우 롤링방향과 롤링의 수직인 방향의 경우, 전체적으로 연성 파면의 형상인 덩플 파면과 부분적으로 취성 파면의 형상인 준벽개 파면이 관찰되는 유사한 경향을 나타내어 비슷한 연신을 보인 것으로 사료된다. 용접재료 ER5183과 ER5556의 파단면 사진 관찰에서 두 가지 용접재료에서 전체적으로 유사한 덩플, 쉬어림이 관찰되는 연성파괴의 형상이 관찰되었기 때문에 거의 유사한 연신을 보인 것으로 사료된다.

Fig. 6은 동종 알루미늄 합금에 대하여 용접을 실시한 후 모재에 대한 각 기계적 특성의 비를 나타낸 것이다. 5456-H116과 6061-T6 모재 각각에 동종 용접을 했을 때, 5456-H116의 경우 ER5556 용접재료를 사용한 경우 ER5183보다 최대인장강도와 항복강도가 낮은 반면, 연신율은 높게 나타났다. 한편, 6061-T6의 경우는 기계적 특성 모두 ER5183이 ER5556보다 높게 나타났으므로 용접재료 선정에서 ER5183의 선택이 바람직할 것으로 사료된다.

Fig. 7은 5456-H116과 6061-T6 이종 알루미늄 합금의 용접 후 모재에 대한 각 기계적 특성 비를 나타낸 것이다. 모재에 비하여 최대인장강도의 비가 현저히 높은 값을 나타



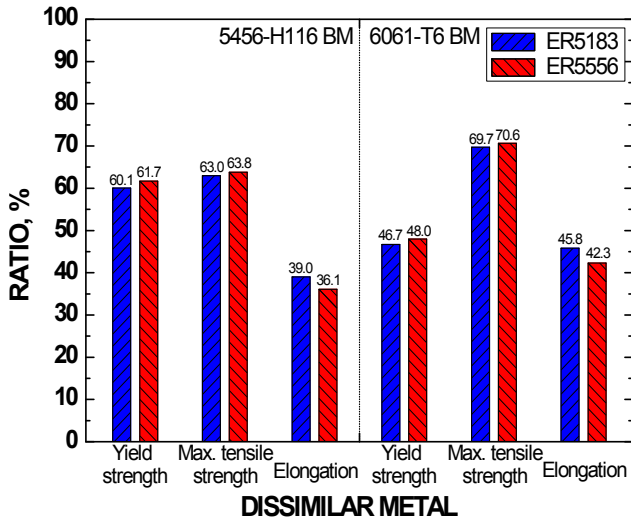


Fig. 7. Mechanical property ratios for base materials after tensile test in welding between dissimilar materials.

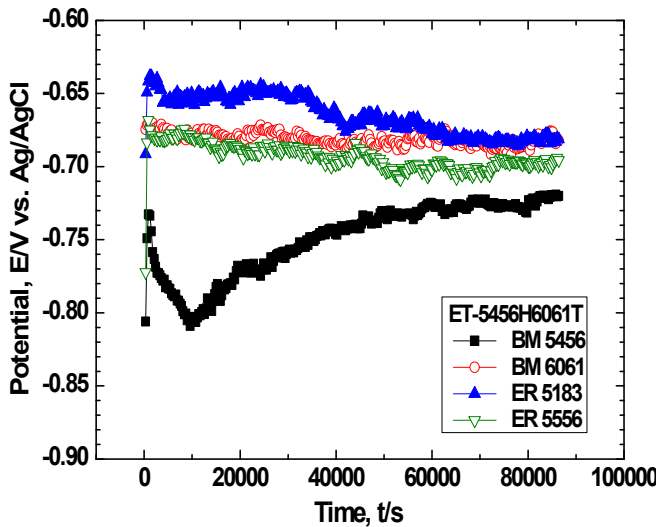


Fig. 8. Potential in natural sea water solution of welding zone and Al alloys for dissimilar materials specimen with ER 5183, 5556.

냈으며 그 다음 항복강도와 연신율 순으로 유사한 특성비를 나타냈다. ER5183 용접재료를 사용한 경우, 항복강도는 5456-H116의 60.1%, 6061-T6의 46.7%를 나타냈으며, 최대인장강도는 5456-H116의 63.0%, 6061-T6의 69.7%를 나타냈다. 연신율은 5456-H116과 6061-T6 각각 39.0%와 45.8%를 나타냈다. 한편, ER5556 용접부의 항복강도에서는 5456-H116의 61.7%, 6061-T6의 48.0%를 나타냈으며, 최대인장강도는 5456-H116의 63.8%, 6061-T6의 70.6%를 나타냈다. 또한, 연신율은 5456-H116과 6061-T6 각각 36.1%와 42.3%를 나타냈다. 종합적으로 항복강도와 인장강도는 ER5556이 우수한 특성을, 연신율은 ER5183이 우수한 특성을 나타냈다.

### 3.2 전기화학적 특성 실험 고찰

Fig. 8은 천연 해수용액에서 다양한 조건에 대한 자연전위 측정결과를 나타내고 있다. ER5183의 경우 초반 안정된 전위값을 유지하였고, 35,000초 이후 비방향으로 이행하였으며, 40,000초 이후부터 안정되어 가는 양상을 관찰할 수 있었다. ER5556의 경우 초반부터 안정된 전위를 유지하며 서서히 비방향으로 이행한 후 40,000초 이후 안정되어가는 양상이 관찰되었다. 두 가지 용접재료의 경우는 실험하는 동안 전반적으로 안정된 전위값을 유지하였으며 ER5183 용접 재료로 용접한 경우가 ER5556에 비하여 높은 전위를 유지하였다. 그리고, 5456-H116 모재의 경우는 실험 초반에 염소이온에 의하여 급격히 비방향으로 이행한 후, 피막 형성으로 인하여 10,000초 이후 서서히 귀방향으로 이행하여 70,000초 정도부터 일정한 전위를 유지하였다. 한편 6061-T6 모재는 시험시작(-0.675 V)과 종료(-0.682 V)시까지 거의 일정한 전위를 유지하였다. ER5183 용접재료를 사용한 경우 모재보다 귀한 전위를 나타냈으므로 갈바닉 셀 형성되었을 경우 용접부에서의 부식은 발생하지 않을 것으로 사료된다. 알루미늄은 일반적으로 중성용액에서는  $Al_2O_3$ 나  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$  피막 형성으로 인하여 분극경향에서 전류밀도가 저하하여 부식이 잘 발생하지 않은 경향이 있으나 해수의 경우 염소이온의 영향으로 피막을 파괴시키므로 열악한 내식성을 나타내는 경향이 있다<sup>15,16</sup>).

Fig. 9는 천연 해수용액에서의 다양한 조건에 대한 양극 분극 곡선을 나타낸 것이다. 개로전위에서 양극분극 시켰을 경우 전위 상승에 따른 전류밀도는 용력부식균열을 평가하는데 중요한 정보를 제공한다. 개로 전위는 거의 유사한 값을 나타냈으며, 개로전위 약간 넘는 영역에서 부동태 경향이 관찰된 후 공식 전위인 -0.6 V 이상에서는 급격한 전류밀도의 상승이 관찰되었다.

Fig. 10은 천연 해수용액에서의 다양한 조건에 대한 음극 분극 곡선을 나타내고 있다. 음극분극 곡선에서는 용존산소 환원반응( $O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^-$ )에 의한 농도분극과  $2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$ 의 수소 가스 발생에 의한 활성화 분극의 경향이 관찰되었다. 용존산소 환원반응을 보인 -1.0 V에서의 전류밀도는 BM 5456-H116이 가장 낮은 값을 나타냈으며 다음, ER5556 용접부, ER5183 용접부, BM 6061-T6 순으로 나타났다. 그러나 -1.78 V 이후에서는 BM 6061-T6, ER5183, ER5556과 BM 5456-H116 순으로 완전히 바뀌는 경향을 나타냈다. 한편 농도분극과 활성화 분극의 변곡점은 방식전위를 결정하는 중요한 전위인데 ER5183과 ER5556은 거의 유사하나 ER5183의 경우가 다소 낮은 전위를 나타냈다.

다양한 조건의 시편에 대하여 타펠분석을 위해 개로전위에서  $\pm 0.25$  V 분극 실험을 실시한 결과, 전체적으로 유사한 경향을 나타냈다. 개로 전위에서 모두 거의 유사한 값을

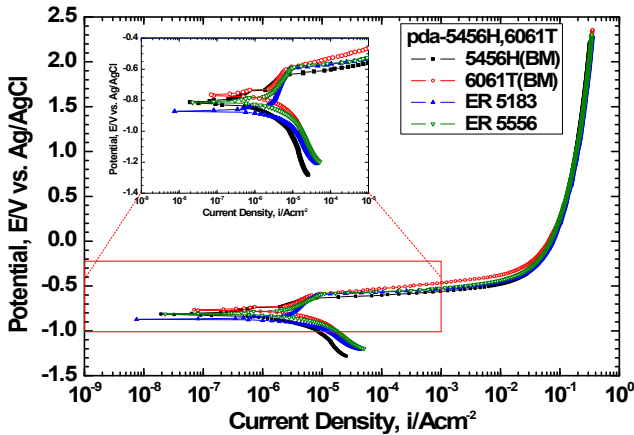


Fig. 9. Anodic polarization curves in natural sea water solution for welding zone and Al alloys of dissimilar material specimens with ER 5183, 5556.

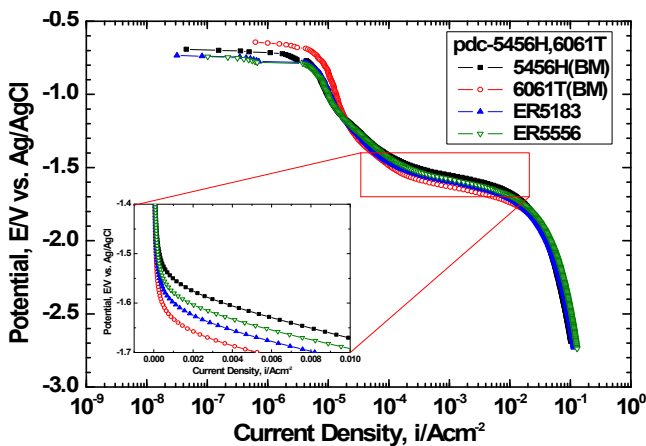


Fig. 10. Cathodic polarization curves in natural sea water solution for welding zone and Al alloys of dissimilar material specimens with ER 5183, 5556.

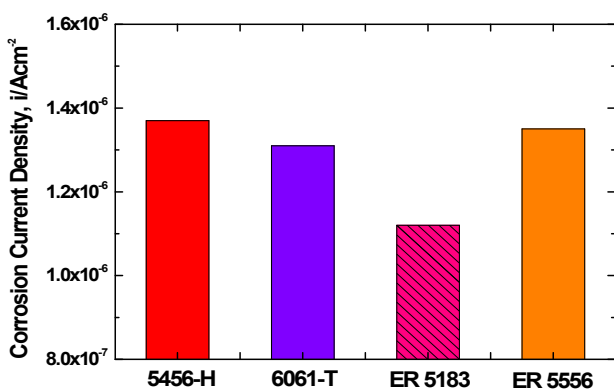


Fig. 11. Comparison of Tafel analysis results.

나타냈으며, 개로전위를 약간 넘는 영역에서 부동태 경향이 관찰된 후 공식 전위 이상에서는 급격한 전류밀도의 상승이 관찰되었다. 시험편 모두 음극분극 곡선에서는 용존 산소

환원반응에 의한 농도분극과 수소가스 발생에 의한 활성화 분극의 경향이 관찰되었다. 개로전위에서  $\pm 0.25$  V 분극 시킨 분극 곡선에 대하여 타펠 외삽법으로 구한 부식전류밀도의 평균을 Fig. 11에서 비교하였다. 부식전류밀도는 모든 조건에서 유사한 값을 나타냈으나 ER5183 용접부가 가장 낮게 나타났다. 결과적으로 내식성이 우수한 Zn 함량이 많은 ER5183이 상대적으로 양호한 특성을 나타냈다.

#### 4. 결론

5456-H116과 6061-T6 이중 알루미늄 합금의 로봇을 이용한 MIG 용접 시 ER5183과 ER5556 용접재료로 용접한 경우 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 경도 측정 결과, 열영향부는 용접부와 유사한 경도값을 나타냈으며, 모재에 비하여 모두 낮은 값을 나타냈다. 용접부와 열영향부에서 낮은 경도값을 나타낸 이유는 용접 시 발생한 열로 인한 결정립의 조대화와 어닐링에 기인한 것으로 판단되며, 발생된 열이 경도에 미치는 영역은 넓게 나타났다.
- 2) 기계적 특성 관찰 결과, 유동성 증가 원소인 Si의 함량이 많은 ER5183의 경우가 연성 증가로 인해 높은 연신율과 함께 과단시간이 길어지는 결과를 나타냈으며, Ti 함량에 따른 결정립 미세화 차이로 인해 ER5556이 높은 강도(최대 인장강도, 항복강도)를 나타낸 것으로 판단된다.
- 3) 전기화학적 실험 결과, 자연전위 측정에서 ER5183 용접 재료를 사용한 경우 모재보다 귀한 전위를 나타냈으므로 갈바닉 셀 형성되었을 경우 용접부에서의 부식은 발생하지 않을 것으로 사료된다.

양분극 경향은 개로전위 약간 넘는 영역에서 부동태 경향이 관찰된 후 공식 전위  $-0.6$  V 이상에서는 급격한 전류밀도의 상승이 관찰되었다.

음분극 경향은 용존산소 환원반응에 의한 농도분극과 수소 가스 발생에 의한 활성화 분극의 경향이 관찰되었다. 동일 전위에서 전류밀도 값은 ER5556보다 ER5183의 경우가 낮은 전류밀도를 나타냈다.

타펠 분석 결과, 부식전류밀도는 유사한 값을 나타냈으나 ER5183이 가장 낮은 값을 나타냈다.

#### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 전남과학기술진흥센터에서 지원하는 “전남 과학연구단지 기초·원천 연구개발지원사업”에 의해 이루어졌으며, 관계자 여러분께 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

1. Sky Al products corporation, *Journal of Light Metal Welding & Construction*, **41**, 544 (2003).
2. S. J. Kim, J. Y. Ko, S. K. Jang and J. I. Kim, *Proceeding of the 2005 KOSOMES Spring Conference*, p.161 (2005).
3. J. M. Kim, J. M. Lee, S. K. Lim, C. H. Jung, *Corros. Sci. Tech.*, **10**, 199 (2011).
4. Z. I. Tanabe, F. Matsumoto, *Journal of Light Metal Welding & Construction*, **39**, 125 (2001).
5. B. Y. Kang and J. H. Cho, *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, **22**, 235 (2004).
6. C. H. Lee and R. W. Chang, *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, **11**, 2 (1993).
7. S. K. Jang, D. C. Lee, S. J. Kim and J. I. Chun, *Proceedings of the 36<sup>th</sup> KOSME Spring Conference*, p.260 (2005).
8. S. J. Kim, *The sixth pacific rim international conference on advanced materials and processing*, p.143 (2007).
9. S. J. Kim, M. S. Han, Y. B. Woo, J. S. Park, J. S. Kim and K. J. Lee, *Proceeding of the 2007 KOSOMES Fall Conference*, p.207 (2007).
10. J. S. Park, S. J. Kim, M. S. Han and J. I. Kim, *The 9<sup>th</sup> International Symposium on Eco-Materials Processing & Design*, p.180 (2008).
11. S. J. Kim, S. K. Jang and Jong-Shin Kim, *The 1<sup>st</sup> International Symposium on Hybrid Materials and Processing*, p.99 (2008).
12. S. T. Park, J. P. Jung and C. J. Suhr, *Journal of the Korean Welding and Joining Society*, **12**, 41 (1994).
13. S. J. Lee, M. S. Han and S. J. Kim, *Microsc. Microanal.*, **19**, 69 (2013)
14. E. Deltombe and M. Pourbaix, *Rappot technique RT.42 of CEBELCOR* (1955).
15. J. Heyrovsky, *J. Chem. Soc.*, **117**, 27 (1920).