

철도 차량용 알루미늄 압출재의 용접특성에 대한 실험적 연구 An Experimental Study on the Welding Property of the Extruded Aluminum Alloy for Rolling Stock Structure

*김원경¹, #원시태², #구병춘³

*W. K. Kim(wkkim@krri.re.kr)¹, #S. T. Won², #B. C. Goo³

¹한국 철도기술 연구원 시험인증센터, ²서울산업대학교 금형설계학과, ³한국철도기술연구원

Key words : Friction Stir Welding, GMAW, Tensile Test

1. 서론

최근 철도차량이 고속화되면서 차체의 경량화를 위해 알루미늄합금을 많이 이용하고 있다. 국내에서 알루미늄 철도차량은 1994년부터 개발을 착수하여 수년간의 개발기간을 거쳐 시제 차체가 완성되었고, 표준 전동차 및 G7 한국형 고속 열차의 개발로 실용화에 성공하였다 [1]. 알루미늄 합금은 비강도와 비중, 내식성, 강도 및 연성 등 기계적 성질이 우수하지만 용접 작업시 용접열에 의한 변형, 기공 및 균열 등의 결함이 발생하기 쉬울 뿐만 아니라 접합부의 강도저하가 비교적 쉽게 발생하여 이에 대한 대책이 요구되고 있다 [2]. 이를 해결하기 위해 1981년 영국의 용접연구소(TWI)에서 개발한 마찰 교반 용접 (Friction Stir Welding) 방법이 현재 다양한 산업분야에 광범위 하게 적용되고 있다 [3]. 마찰 교반 용접 기술은 마찰용접에서 유래되어 용접에 의한 변형이 적고 비소모성 접합방법일 뿐만 아니라 용접 결함, 흠, 소음 및 유해광선의 발생 없이 고품질의 접합부를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 국내에서도 철도 차량 차체를 제작하는데 있어서 기존의 MIG 용접 또는 아크 용접을 대신하여 마찰 교반 용접을 적용하여 차체를 제작하려는 많은 연구가 이루어 지고 있다. 본 연구에서는 철도차량용 알루미늄 압출재의 용접특성을 살펴보기 위해 아크 용접을 했을 경우와 마찰교반 용접했을 경우의 인장강도를 모재와 비교하였다. 신뢰성 있는 인장강도를 얻기 위하여 각 경우당 총 3 개의 시편을 제작하여 반복 실험을 실시하였으며, 결과의 평균값을 각 경우의 대표값으로 사용하였다.

2. 마찰 교반 용접의 원리

Fig.1 은 마찰 교반 용접의 기본 개념을 보여준다 [4]. 특수제작된 핀(Pin)과 솔더(Shoulder)로 이루어진 용접 공구(Welding tool)가 접합할 두개의 판재 사이에 수직방향 압력을 가하면서 삽입된다. 공구는 회전하면서 접합부의 길이 방향으로 이동하게 되는데 이때 판재에 마찰열이 발생하게 되고, 이 마찰열로 인해 두 판재가 국부적 소성 변형을 일으키면서 서로 접합된다. 공구는 내부에 냉각수가 순환되며 마찰열에 의한 공구변형을 최대한 억제한다. 이와 같은 마찰 교반 용접에 의한 접합은 재료의 용융점 이하에서 일어나기 때문에 고용상태(Plastic flow)에서의 저온 용접으로 미세한 결정립 구조를 갖는다. 따라서 마찰 교반 용접은 접합에 따른 재료의 변형이 매우 적고, 알루미늄 및 마그네슘 합금 등 기존의 용접기술의 적용이 거의 불가능했던 재료의 접합이 가능하여 피 접합재에 대한 자유도가 매우 높다. 일반적인 철도차량 구조물용 알루미늄 압출재의 경우 모재의 용융점이 약 650°C, 일반 MIG 용접의 용융온도는 약 660°C 이나 마찰교반 용접의 경우 모재의 온도 상승은 450~500°C 정도밖에 되지 않기 때문에 용접시 입열 영향에 의한 용접부의 품질저하를 최소화 할 수 있다. 마찰 교반 용접에서 가장 중요한 요소는 공구의 재질과 형상이며, 일반적으로 공구의 선단은 높은 마찰열과 전단응력이 발생하기 때문에 고온에서 동적, 정적 성질이 우수한 공구강이나 마르텐사이트계 스테인리스강을 사용한다.

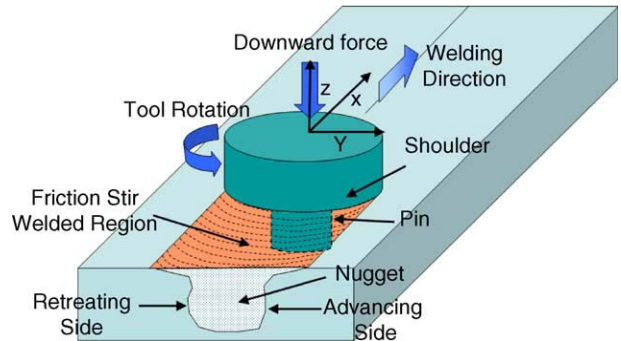


Fig. 1 Concept diagram of friction stir welding

3. 재료의 선택 및 시험

철도 차량은 단면이 균일하다는 특성이 있으므로 알루미늄 차체의 용접은 직선 용접이 주류를 이루고 있다. 알루미늄 압출재의 직선 용접은 자동화가 용이하므로 현재 적절한 지그를 활용한 가스 메탈 아크(GMAW)용접이 차체 제작에 주로 적용되고 있다. 그러나 알루미늄 합금의 경우 고온에서 입계에 존재하는 액막이 결정립의 냉각에 따른 수축력을 견디지 못해 재료 내부에 고온 균열이 발생한다는 단점이 있다 [5]. 본 연구에서는 철도차량의 Floor panel 및 Roof panel 또는 차체의 벽체로 사용되는 A6005-T6 압출재를 대상으로 선정하였다. A16005-T6는 유럽에서 개발된 합금으로서 독일의 특급열차인 ICE 등에 적용되고 있고, Al 7xxx 계열 합금보다 대형 압출성이 우수하고, 525°C 부근에서 고용화 처리 후 170°C 부근에서 3~15 시간 인공시효 한 소재이다 [5]. A16005-T6 합금은 압출성이 우수하나 용접했을 경우 항복 강도 및 인장강도가 약 40%정도 저하되는 특성을 보인다. Table 1 은 A6005-T6의 화학 조성과 기계적 성질을 보여준다.

A6005-T6 압출재를 아크용접과 마찰교반용접을 적용하여 접합하였다. 시험의 정확성을 위해 두개의 부재를 압출 방향으로 맞춰놓은 상태에서 용접을 실시하였다. 용접 종류별로 용접 도입부와 마무리부를 제거한 상태에서 용접부의 표면 상태가 고른 부위를 골라 가로 450mm, 세로 40mm, 두께 4.8mm 의 크기의 시편 3 개를 제작하여 인장시험을 실시하였다 Fig.2 는 인장시험을 위해 제작된 시편을 보여준다.

Table 1 Chemical and mechanical properties of A6005-T6

Chemical composition (weight) (%)									
Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	Other	Al
0.6	0.35	0.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.05	remain s
-0.9				-0.6					
Mechanical properties									
Tensile Strength (MPa)			Yield Strength (MPa)			Elongation (%)			
260 (minimum)			240 (minimum)			8.0			

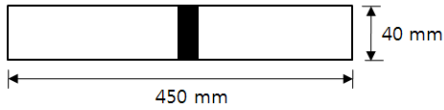


Fig. 2 Specimen for the tensile test



Fig. 3 Tensile test device

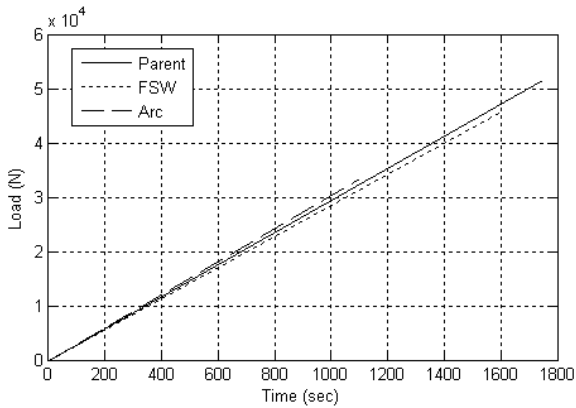


Fig. 4 Load result of the tensile test

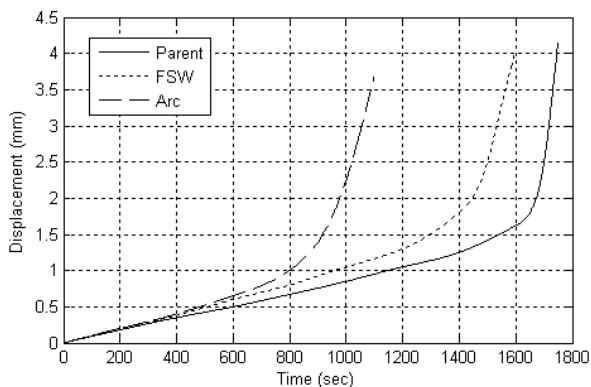


Fig. 5 Displacement result of the tensile test

Table 2 Tensile test results

	Tensile Strength (MPa)	Yield Strength (MPa)	Displacement (mm)	Elongation (%)
Parent	270.0	235	4.2	9.64
FSW	240	220	4.05	8.8
Arc	174.8	138	3.7	7.4

Fig.3 는 인장 시험 모습을 보여준다. 인장속도 0.5 mm/min, 부하하중은 x20kN 을 적용하여 시편의 인장강도, 항복강도 및 연신율등을 측정하였다. Fig.4 과 Fig.5 는 인장 시험결과를 보여준다. Fig.4 는 시편에 가한 시간에 대한 하중선도이고, Fig.5 는 시편에서 측정한 시간에 따른 변위선도이다. 각 그림에서 Parent(Rigid line)은 모재, FSW(Dotted line)은 마찰 교반 용접 시편, Arc(Dashed line)은 아크 용접 시편을 나타낸다. Table 2 는 시험 결과 얻은 인장강도 (Tensile strength), 항복강도(Yield strength), 변위(Displacement) 및 연신율(Elongation)을 보여준다. Fig.4 와 Table 2 에서 마찰 교반 용접 시편의 경우 인장 강도가 모재의 약 89%수준이지만 아크 용접 시편의 경우 약 65%에 불과함을 알 수 있다. Fig.5 와 Table 2 에서 모재의 변위는 4.2mm, 마찰 교반 용접 시편은 4.05mm, 아크 용접 시편은 3.7mm 로 마찰 교반 용접의 경우의 재료의 특성이 보다 모재에 가까움을 알 수 있다. 따라서 아크 용접보다는 마찰 교반 용접을 할 때 재료의 변형이 적게 일어나고, 용접부재의 기계적 특성을 잘 간직하고 있다고 판단 내릴 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 철도 차량의 차체 제작에 많이 사용되는 A6005-T6 압출재에 대해 마찰 교반 용접 또는 아크 용접을 했을 경우의 기계적 성질 변화에 대해 살펴보았다. 각각의 용접 부재에 대한 시편을 제작하여 인장시험을 실시하였고, 인장 강도 및 변위, 연신율 등을 비교하였다. 비교결과 마찰 용접의 경우가 아크 용접보다 모재의 기계적 특성을 덜 변형시키는 것으로 확인되었다. 인장 강도의 경우 제품의 내구성에도 큰 영향을 끼친다. 따라서 마찰 교반 용접을 하는 것이 용접 부재의 수명을 향상시키는 데 도움을 준다고 판단할 수 있다. 추후 마찰 교반 용접에 영향을 주는 인자(공구 형상, 이송속도, 회전속도 등)들의 성격을 알아보고, 용접 부재의 피로 수명을 최대로 만드는 인자들의 최적조건에 대한 연구를 진행할 계획이다.

참고문헌

1. 서승일, 알루미늄 철도차량 용접부의 강도 특성에 관한 연구, 대한 용접 학회지, 23, 1, 35-40, 2005.
2. 장석기, 한민수, 전정일, "Al 6061-T651 합금의 마찰교반 용접에 대한 회전 속도와 이송속도의 영향", 대한 기계 학회 논문집 A 권, 31, 4, 532-539, 2007.
3. Thomas, W. and Dawes, C., TWI bulletin 6 November/December, p.124, 1995.
4. Mishra, R. and Ma, Z., "Friction stir welding and processing", Materials Science and Engineering, R50, 1-78, 2005.
5. 박영빈, 철도 차량용 압출형 알루미늄 Cutting Process Model," Annals of the CIRP, 39, 517-521, 1990