

# 자동차 경량화를 위한 알루미늄 합금의 강변형 가공 및 고능력 용접기술에 관한 동향

김 환 태<sup>\*,†</sup> · 길 상 철<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>한국과학기술정보연구원 ReSEAT 프로그램

<sup>\*\*</sup>한국과학기술정보연구원

## High Efficient Welding Technology of the Car Bodies

Hwan Tae Kim<sup>\*,†</sup> and Sang Cheol Kil<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Korea Institute of Science and Technology Information ReSEAT Program, Deajeon 34141, Korea

<sup>\*\*</sup>Korea Institute of Science and Technology Information, Deajeon 34141, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author : htkimm@reseat.re.kr

(Received September 3, 2015 ; Revised October 1, 2015; Accepted January 12, 2016)

### Abstract

The trend of the fabrication technology of high strength, high toughness aluminum alloys by the severe plastic deformation (SPD) process and the welding technology of lightweight alloys in the automobile has been studied. The lightweight aluminum alloys can reduce vehicle weight, while stringently demanding the high quality and efficient welding techniques, to produce the best weldments. Among the production technologies, welding plays an important role in the fabrication of lightweight vehicle structure.

This paper covers the scientometric analysis of the severe plastic deformations of lightweight alloys and the welding technology in the automobile which are based on the published research works in the 'HPT, ECAP and rolling', and 'welding technology of the automobile' obtained from Web of Science, and deals with the details of the background data of the HPT, ECAP, and rolling of lightweight alloys, and welding technology of the automobile technology.

Key Words : SPD, HPT, ECAP, Aluminum alloys, Friction stir welding, Laser-arc hybrid welding, Scientometric analysis, Methodologist and source of data

### 1. 서 론

최근 세계 각국은 인류의 복지와 생활수준 향상을 위한 환경 개선과 에너지 절약을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 특히 에너지의 절감 측면에서 자동차의 에너지 절감과 환경보호에 필수적인 경량화 소재인 알루미늄합금의 강변형 가공기술과 용접·접합기술의 개발에 집중적인 투자를 하고 있다. 현재 미국과 일본 등 선진기술국은 자동차 구조·부품의 강도와 인성을 향상시키기 위해 큰 변형스트레인을 도입하는 강가공에 의하여 나노미터 수준의 초미세립 경량 알루미늄합금을

제조하는 등축각압축성형법(ECAP), 고압 비틀림 가공(HPT) 등 강변형 가공기술, 경량 알루미늄합금 용접부의 품질과 신뢰성을 높여주는 고품질·고능력 레이저 용접, 하이브리드아크 복합용접, SHORT ARC, 마찰 교반용접 등 자동차 용접부의 품질과 신뢰성을 높여주는 첨단 용접기술개발을 활발히 진행하고 있다. 이에 따라 국내에서도 부가가치가 높은 고강도·고인성 자동차용 경량 알루미늄합금의 생산성을 높이고 용접부의 품질을 향상시킬 수 있도록 강변형 가공기술과 용접·접합기술의 국내외 연구개발 현황과 발전 동향을 분석하는 것이 중요하다.

## 2. 자동차 경량화 소재의 가공과 용접기술

### 2.1 알루미늄합금의 강가공기술

철강재료에 비해 비강도가 높아 자동차와 같은 수송 기기의 경량구조재료로 적합한 알루미늄합금은 큰 변형 스트레인을 도입하는 강가공에 의하여 나노미터 수준의 초미세립 경량 알루미늄합금을 제조하는 등축각압축성형법(ECAP)<sup>1)</sup>, 고압 비틀림 가공(HPT)<sup>2)</sup> 등으로 기계적 성질을 향상시킬 수 있다. 한편 알루미늄합금은 낮은 연성, 높은 열전도성, 화학적으로 높은 활성 등의 재료특성 때문에 철강재료보다 소성가공성이 낮은 단점을 갖고 있다. 따라서 알루미늄합금의 활용도를 높이기 위해서는 조직의 제어에 의한 재료의 개선, 표면 집합 조직의 제어에 의한 성형성과 윤활성의 개선, 유연한 윤활법에 의한 마찰저감 등의 기술을 이용하여 알루미늄합금의 가공한계를 향상시키는 것이 중요하다<sup>3,4)</sup>.

Al-Mg합금의 경우 Mg의 함유량이 많아서 동적복구 과정에서 동적재결정이 지배적이다. Al5052합금을 온간에서 고속 대압력 압연한 후 압연판에 형성된 미세조직을 보면 Fig. 1과 같이 동적재결정이 미세하게 나타난다. 즉 높은 Z변형과 온간의 고속압연에서 재료의 가공성이 충분히 확보되어 재결정을 위한 임계변형을 초과하는 대압력을 유지할 수 있게 되면 결정립미세화를 실현할 수 있다.

### 2.2 자동차 용접기술

자동차의 경량화에는 경량재료의 사용이 가장 효과적이며, 알루미늄합금의 특징을 최대한으로 활용하려면 이종소재와의 접합기술이 중요하다. 알루미늄합금 판재 프레스 부품의 접합에는 Fig. 2와 같이 회전공구를 포개 놓은 알루미늄 판에 삽입·교반하고 소성 유동시켜 상

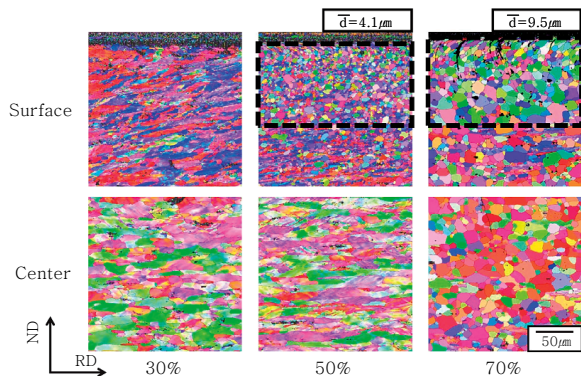


Fig. 1 Effect of the reduction ratio on the IPF map of the aluminum alloy sheet(rolling temperature 623K, rolling speed 1000m/min)<sup>3)</sup>

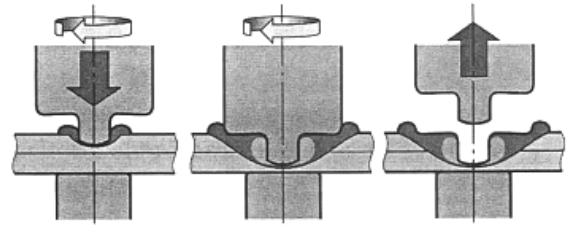


Fig. 2 Process of friction stir spot welding<sup>4)</sup>

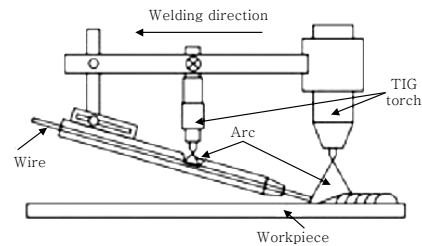


Fig. 3 Schematic of arching-wire GTAW system<sup>5)</sup>

하의 판을 일체화하는 에너지 소비가 낮은 마찰교반점접합을 이용한다<sup>5,6)</sup>.

AC 전류를 가하여 발생하는 저항열을 이용하여 용가재를 예열하는 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접의 경우, 텅스텐 전극에서 발생하는 아크를 이용하여 외부에서 공급되는 용가재 와이어를 용융시켜주는 아크와이어(arcing-wire) 공급식 가스텅스텐 아크용접은 종래의 고온와이어 공급식 가스텅스텐 아크용접이 갖고 있는 문제점을 해결해 주는 용접기술이다<sup>7)</sup>.

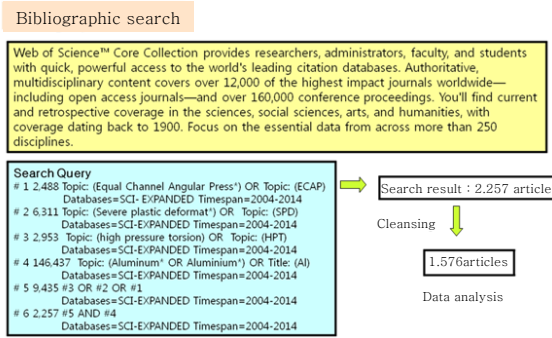
## 3. 학술정보분석

### 3.1 학술정보분석 개요

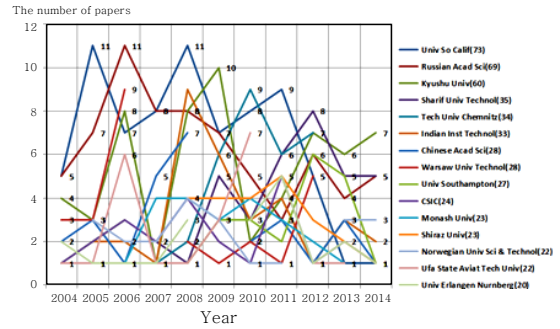
ISI Web of Knowledge를 통해 제공하는 Web of Science(Thomson Reuters), SCI-Expanded를 이용하여 자동차용 경량합금 소재의 강가공기술과 고능률 용접기술에 관한 학술정보를 검색하여 분석하였다. SCI-Expanded는 1899년부터 현재까지 데이터가 수록되어 있는 과학잡지 문헌의 학술적 색인으로서, 150개 과학 분야에 걸쳐 7,100개 이상의 주요 잡지를 완전하게 색인을 부여하고 색인기사 모두의 피인용 문헌을 수록하였다.

### 3.2 알루미늄합금의 강변형 가공기술의 국내외 학술정보

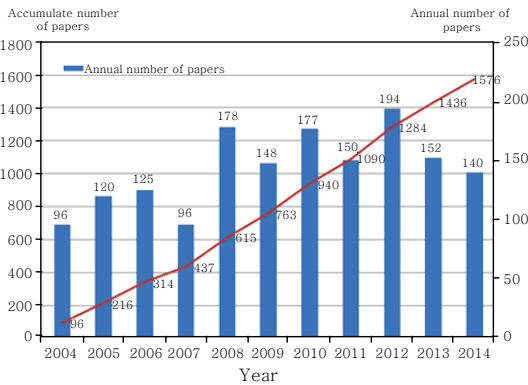
Fig. 4의 검색식을 이용하여 SCI-Expanded DB에 발표된 알루미늄합금 강변형 가공기술에 관한 학술정보(2004년 이후 발표분, 2014년 9월 30일 기준)를 검



**Fig. 4** Bibliographic search flow chart of severe plastic deformation technologies of aluminum alloy



**Fig. 6** Comparison of the papers in severe plastic deformation technologies of aluminum alloy (research institutes)



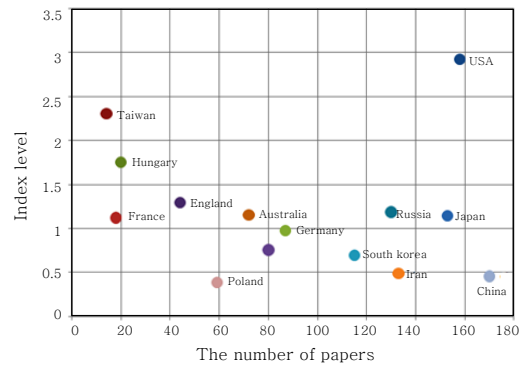
**Fig. 5** Annual trend of the published papers in severe plastic deformation technologies of aluminum alloy

색한 후, 총 2257건의 기술자료 중에서 초록을 검토하여 관련도가 다소 떨어지는 학술정보를 제외한 알루미늄 합금 강변형 가공기술에 해당되는 문헌 1576건 만을 대상으로 연도별, 국가별, 연구기관별 기술문헌 발표동향을 분석하였다.

연도별 기술문헌 발표현황(Fig. 5 참조)을 보면, 2008년부터 발표량이 증가하였으며, 특히 2008년에 178편, 2010년에 177편, 2012년에는 194편의 학술정보가 발표되었다.

연구기관별 기술문헌 발표현황을 보면(Fig. 6 참조) 세계적으로 118개 기관에서 관련 연구가 수행되는 것으로 나타났다. 이들 기관 중 Univ. South Calif.가 73편(4.6%)의 기술문헌을 발표하였으며, Russian Acad. Sci.는 69편(4.4%), Kyushu Univ.가 60편 (3.8%)의 논문을 발표하였다.

특정 기술 분야 전체 기술문헌의 평균 피인용 수에 대한 특정 국가 발표 기술문헌의 평균 피인용 수의 비로서 피인용 수에 기반을 둔 질적 수준 평가 지표(index level)를 사용하여 국가별 기술문헌 수준을 분석하였다. 국가별 질적 수준 평가 지표를 발표 기술문헌수에



**Fig. 7** Index level/number of the papers (countries)

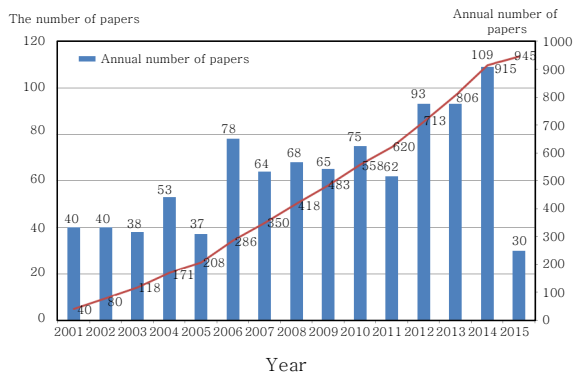
따라 분석한 결과 Fig. 7과 같이 나타났다. 여기서 수준 지수가 1.0인 경우 특정 국가가 발표한 기술문헌의 평균 피인용 수가 해당 분야 전체 기술문헌의 평균 피인용 수와 같음을 의미하며, 1.0 이상인 경우는 해당 분야 평균 피인용 수에 비해 높고 1.0 이하는 경우는 질적 수준이 세계 평균 이하임을 의미한다. 국가별 기술문헌의 수준 지수 분석 결과 미국이 가장 높은 값(2.9)을 보여 기술문헌의 피인용 관점에서 질적 수준이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 분야 평균 이상의 수준을 보이는 국가는 미국을 비롯하여 대만(2.3), 헝가리(1.8), 영국(1.3), 러시아(1.2), 일본(1.2) 등이 있다. 한편 우리나라는 수준 지수가 0.7을 기록하였다.

### 3.3 자동차 용접기술의 국내외 학술정보

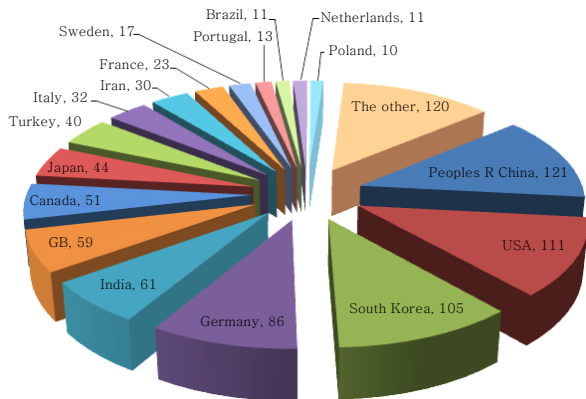
Table 1의 검색식을 이용하여 SCI-Expanded DB에 발표된 자동차 용접기술에 관한 학술정보(2001년 이후 발표분, 2015년 6월 16일 기준)를 검색한 후, 총 1,500건의 기술자료 중에서 초록을 검토하여 관련도가 다소 떨어지는 학술정보를 제외한 자동차 용접기술에 해당되는 문헌 945건 만을 대상으로 연도별, 국가별, 연구기관별 기술문헌 발표동향을 분석하였다.

**Table 1** Bibliographic search flow chart of automobile welding technologies

Search Query	
#1	162,403 Title: (automotive* OR automobile* OR car OR cars OR vehicle*) Index=SCI-EXPANDED Year=2001-2015
#2	30,425 Title: (weld*) Index=SCI-EXPANDED Year=2001-2015
#3	1,500 #1 AND #2 Index=SCI-EXPANDED Year=2001-2015



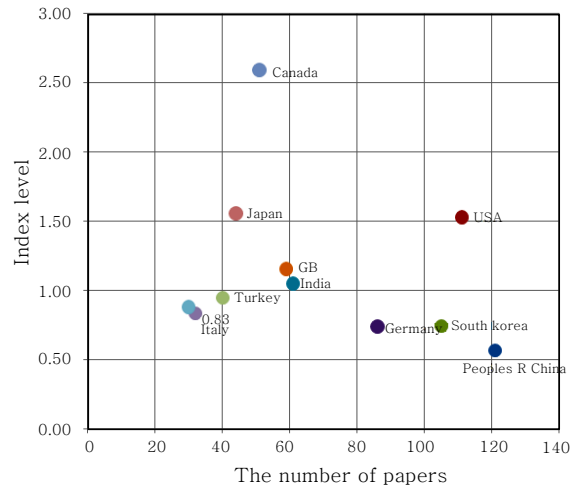
**Fig. 8** Annual trend of the published papers in automobile welding technologies



**Fig. 9** Comparison of the papers in automobile welding technologies (countries)

연도별 기술문헌 발표현황(Fig. 8 참조)을 보면, 2006년부터 발표량이 증가하였으며, 특히 2012년과 2013년에 93편, 2014년에는 109편의 학술정보가 발표되었다.

기술문헌의 저자 국적을 분석한 전반적인 동향을 보면(Fig. 9 참조) 중국이 121편의 기술문헌을 발표하여 전체 945편의 논문 중 12.8%를 점유하며 가장 많은 기술문헌을 발표한 것으로 나타났으며, 미국(111편, 11.75%), 대한민국(105편, 8.5%), 독일(86편, 9.10%),



**Fig. 10** Index level/number of the papers (countries)

인도(61편, 6.46%), 영국(59편, 6.24%), 캐나다(51편, 5.40%), 일본(44편, 4.66%) 순으로 뒤를 이었다.

국가별 질적 수준 평가 지표(index level)는 (Fig. 4-4 참조) 캐나다가 제일 높은 값(2.59)을 보여 기술문헌의 피인용 관점에서 질적 수준이 가장 우수한 것으로 나타났으며, 분야 평균 이상의 수준을 보이는 국가는 캐나다를 비롯하여 일본(1.55), 미국(1.53), 영국(1.15), 인도(1.05), 등이 있다. 한편 우리나라는 수준 지수가 0.74를 기록하였다.

#### 4. 결 론

1) 최근 하이브리드차, 연료전지차 등을 포함한 환경친화형 자동차의 품질과 안전성 확보, 환경보호의 강화, 에너지절약 등의 경쟁력 향상 등과 관련하여 경량 알루미늄합금 재료의 고품질 강가공기술과 자동차 용접기술의 중요성이 한층 더 높아짐에 따라 알루미늄합금을 대상으로 하는 고품질·고능률 강가공기술, 아크와이어 공급식 가스팅스텐 아크용접, 마찰교반용접 등의 용접기술이 핵심적인 생산기술로 성장하고 있다.

2) 강변형 가공에 의한 알루미늄합금 표면층의 조직 제어, 전력 소비량이 적고 스파터가 발생하지 않는 장점을 지닌 마찰교반점접합의 실용화를 위한 각종 장치의 개발과 소프트웨어 응용기술에 대한 연구개발이 활발히 전개될 것으로 전망된다.

3) 자동차의 제조에서 강도가 높은 차체를 만들기 위해 고장력강 소재와 알루미늄합금과의 이종재료에 대한 용접기술의 중요성이 높아지고 있다. 알루미늄합금과 철강재의 용접에 에너지 소비가 낮은 마찰교반점접합을 사용하면 취약한 금속간화합물의 생성을 방지하고 용접

부의 기계적 성질성이 높아지며 자동차의 충돌안전이나 주행성능이 크게 향상되므로 자동차 차체의 경량화와 고강도·고인성화를 위한 마찰교반점접합기술의 적용이 필요하다. 따라서 마찰교반점접합법의 접합성능을 향상시켜 주는 기술을 개발하고 접합부의 품질을 확보하는 것이 중요하다.

4) 자동차 용접기술에 관한 학술정보를 검색하고 분석한 결과, 대한민국은 중국(121편, 12.8%), 미국(111편, 11.75%)에 이어 105편(8.5%)을 발표하는 실적을 보였다. 그러나 특정 기술 분야 전체 기술문헌의 평균 피인용 수에 대한 특정 국가 발표 기술문헌의 평균 피인용 수의 비로서 피인용 수에 기반을 둔 질적 수준 평가 지표(index level)를 보면, 대한민국의 수준 지수는 0.74로서 캐나다(2.59)를 비롯하여 일본(1.55), 미국(1.53), 영국(1.15), 인도 (1.652) 등에 비해 낮은 상태를 보였다. 따라서 우리나라의 '자동차 용접기술력'을 향상시키고 자동차를 포함한 수송기기 용접구조물의 품질을 높이며 대외경쟁력과 해외 수출 시장에서도 우위를 확보할 수 있도록 양질의 기술논문을 많이 발표하는 것이 요청되며, 국내의 '고능률 자동차 용접기술 개발'을 촉진하기 위해 국가의 적극적인 지원을 강화할 필요가 있다.

## 후 기

본 기술해설은 미래창조과학부 과학기술진흥기금과 복권기금을 지원받아 수행하는 ReSEAT프로그램의 성과물입니다.

## References

1. Yi Huang and Terence G. Langdon, Advances in ultra-fine-grained materials, *Materials Today*, 16(3) (2013), 85-93
2. Zenji Horita, Shoichi Hirosawa, Kenji Matsuda, and Daisuke Terada, Simultaneous strengthening due to grain refinement and fine precipitation, *Journal of the Japan Institute of Light Metals*, 62(11) (2012), 398-405 (in Japanese)
3. Hiroshi Utsunomiya, Masaaki Otsu, Takashi Iizuka, and Ryo Matsumoto, Beyond metal forming limit of aluminum alloys, *Journal of the Japan Institute of Light Metals*, 63(9) (2013), 329-336(in Japanese)
4. H.C. Yoo and H.T. Kim, Recent Technological Tendency of Joining for Light Aluminum Alloy, *Journal of KWJS*, 29 (3) (2011), 4-13(in Korean)
5. Fujimoto Mitsuo, Tsukeshiba Yuichi, and Nomura Kouji, Friction stir spot welding application on hybrid car, *Journal of the JWS*, 80 (3) (2011), 227-230(in Japanese)
6. D.H. Choi, Y.M. Yun, and S.B. Jung, Friction Stir Spot Welding of Light Non Ferrous Metal for Automobile, *Journal of KWJS*, 29 (10) (2011), 24-30(in Korean)
7. J. S. Chen, Gas Tungsten Arc Welding Using an Arcing Wire, *Welding Journal*, 91(11) (2012), 261s-269s