

알루미늄계 수송기기의 용접기술동향

김 환 태 · 길 상 철

Trends of Welding Technologies (Aluminum Structure)

Hwan-Tae Kim and Sang-Cheol Kil

1. 서 론

1.1 연구목적

최근 산·학·연 등 각 분야에서 관심있는 주요산업 기술에 대한 종합적이고 신뢰성있는 분석정보의 수요가 증대하고 있으나, 실제 연구·분석기관들을 통한 공급은 미미한 상태이며, 특히 용접기술분야의 경우는 그 실적이 매우 저조한 실정이다. 따라서 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서는 최근 시장성, 기술성 면에서 분석이 필요하다고 여겨지는 용접기술분야중 알루미늄 합금으로 제작되는 수송기기의 용접기술을 분석대상 기술로 선정하여 기술과 학술정보동향 분석, 특허정보 분석을 수행하였다. 본 연구는 국가정책수립자에게는 국가연구개발 자원의 효율적 활용과 연구개발의 성공가능성을 높일 수 있는 기초분석 자료를 제공하고, 정보획득 및 분석에 한계가 있는 기업 및 연구기관의 기획 및 전략수립자들에게는 기업의 사업계획 또는 연구개발 계획 수립시 객관적이고 충실한 정보를 제공하는 데 그 목적이 있다.

1.2 연구범위

현대의 고도화된 산업사회에서 용접을 비롯한 제조기술의 발달은 제품의 생산성과 품질을 더욱 향상시키고 있으며, 세계 각국은 수출품의 가격 경쟁력에 직접적인 영향을 미치는 생산성을 증대시키기 위한 생산기반기술의 개발을 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 최근 수송기기의 연비향상을 위한 경량화와 관련하여 알루미늄 구조물의 용접기술의 중요성이 한층 더 높아지고 있는 추세이며, 자동차를 포함한 수송기기의 차체와 부품 제조과정에 용접공정의 사용은 점점 확대되고 있다. 현재 우수한 기술력을 바탕으로 세계시장 점유율에서 우위를 차지하고 있는 우리의 조선과 자동차산업은 점차 치열

해지고 있는 세계시장에서 살아남기 위하여 고품위 용접공정시스템의 개발을 통한 생산성 향상과 엄격한 신뢰성 확보 측면의 요구를 만족시킬 수 있는 알루미늄 구조물의 용접기술의 개발에 투자를 할 필요성이 더욱 강조되고 있다. 본고에서는 조선, 자동차, 항공기와 같은 수송기기산업 등에서 알루미늄 구조물을 제작할 때 사용되는 용접기술을 범위로 하여 우리나라에서 수행되고 있는 기술개발 동향을 조사하고 분석하였다.

1.3 연구방법

본고는 조선, 자동차, 항공기와 같은 수송기기산업 등에서 알루미늄 구조물 제작을 위한 시공과정에 적용되고 있는 용접기술을 분석대상으로 하였다.

제 2장 기술동향에서는 한국과학기술정보원(<http://www.kisti.re.kr>)에서 제공하는 국내외 문헌과 최근 해외발표 저널 등을 통해 수송기기의 알루미늄 구조물 용접기술의 연도별, 국가별 연구개발동향에 대해 종합적인 정보분석을 수행하였다. 이를 위해 한국과학기술정보연구원에서 개발한 분석시스템을 이용하여 20여년간의 기술흐름 추이와 최근의 기술 동향을 분석하였다. 그리고 분석결과를 통하여 기술의 우위현황 및 기술의 분포도 등을 기술분야별 등으로 세분화·체계화하고, 도식화된 그래프를 이용하여 학술정보의 동향을 다각적으로 분석하였다.

2. 구조용 알루미늄합금의 용접기술동향

2.1 알루미늄합금 모재

지구환경을 보전하기 위해 석유와 석탄 등 화석연료의 사용제한과 함께 에너지절약이 강력히 요구되고 있는 최근들어 중량이 가벼우면서 인장강도와 항복강도가 높고 가공성, 성형성, 내식성이 좋은 알루미늄 합금이

항공기, 자동차, 선박 등 수송용 재료로 개발되고 있으며 특히 Mn, Cr, Zr와 같은 천이 합금원소를 조절하여 기계적 강도를 향상시킨 고장력 알루미늄 합금들이 경량구조물용 합금소재로 활용범위가 넓을 것으로 예측된다.

알루미늄 합금의 Young's Modulus가 철강재료나 동합금보다 적고 용융점이 낮고 열팽창계수가 높음에도 (〈표 1〉 참조) 불구하고 구조용 재료로서 각광을 받는 이유는 ① 비중이 작음에도 불구하고 강도가 높아서 중량/강도 비율을 고려할때 가벼우면서도 강한 재료특성이 얻어지고, ② 여러 형태의 단면형상을 갖춘 자재를 압출 press에 의해 용이하게 제조할 수 있으며 부재의 가공성도 우수하고, ③ 내구성, 특히 해수 분위기에서의 부식저항이 높은 합금을 얻을 수 있으며, ④ 극저온에서도 기계적 성질이 저하하지 않고, ⑤ GTAW 용접과 GMAW용접에 의해 대부분의 합금을 용이하게 용접할 수 있는 장점을 지니고 있기 때문이다

그런데 고장력 그런데 고장력 알루미늄 합금의 높은 강도는 모합금에 첨가되는 천이합금 원소(Transient Alloying Element)와 더불어 소정의 열처리 과정을 거쳐 생성되는 석출물에 의해 최적의 기계적 성질이 얻어지도록 설계되어 있기 때문에 실제로 구조물을 제작할 때 사용하는 용접공정에 의한 아크열을 받게 되면 열이력(Thermal Cycle)에 의해 주조 조직의 용접부가 나타나고 용융금속의 응고 과정에서 고온균열(Hot Cracking) 등의 용접균열이 발생하여 용접부의 강도가 저하하게 되므로 따라서 경량화를 목적으로 하는 알루미늄 구조물의 재료로는 높은 강도와 함께 우수한 용접성을 갖춘 weldable 알루미늄 합금이 각광받을 것으로 전망이 된다. 알루미늄 경량합금을 사용함으로써 철도 차량의 제작에 있어서 알루미늄은 차체 제작시 20% 이상의 차체 중량 감소가 가능하고 차량 전체 중량의

5%이상 감소가 가능하다. 철도 차량 차체에는 알루미늄 대형 압출재의 적용이 가능하며, 차체 형상이 금형을 통해 압출재에 반영되므로 차체 제작시에 용접 및 절단 등의 가공 작업이 최대한 감소되며, 직선 용접에 따른 용접자동화가 가능하여 작업공수의 절감이 가능하다. 또한 알루미늄은 강이나 스테레스강에 비해 재질 자체의 고체음 손실계수가 2배 이상 크기 때문에 소음의 감쇠가 신속히 이루어지며, 중공 대형압출재에는 내부에 빈 공간이 존재하여 소음의 전달 손실을 크게 하여 소음 저감에 기여한다. 그리고 알루미늄 차체는 스테레스강 차체에 비하여 충돌시 저항할 수 있는 유효 단면적이 2-3배 크므로 흡수할 수 있는 에너지가 상당히 크게 되어 충돌시에 승객의 안전에 유리하다. 철도 차량의 경우 가공성과 용접성을 고려하여 Al 6000계열과 Al 7000계열 압출형재와 5000계판재가 주로 사용되고 있으나 차량속도의 증가를 위해 경제적이고 경량화된 차체를 제작할 수 있도록 강도, 용접성, 내식성이 향상된 합금개발의 필요성이 증가하고 있다. 일본의 경우 6N01, 7N01등 자체 개발합금을 사용하여 고속철도차량을 제작하고 있으며 합금 개량을 위한 연구가 계속되고 있다. 한편 연료소모가 많은 장갑차의 알루미늄 판재의 경우, 용접성과 성형성은 우수한 초기의 Al 5083과 Al 7039 합금에서 방탄성이 향상된 Al 2519 합금을 ALCOA에서, Al 7017 합금을 ALCAN에서 개발하였으며, 이중 Al 2519합금이 방탄성과 강도가 우수한 것으로 평가되었다. 국내 연구팀에서 개발한 경량구조물용 weldable 알루미늄 합금소재는 한국기계연구원에서 "안정화 열처리에 의한 고성형성 고강도 알루미늄-마그네슘-시리콘 합금의 제조방법"과 "냉간소성가공에 의한 고성형성 고강도 알루미늄-마그네슘-시리콘 합금의 제조방법"이 국내 특허 출원되어 있고, 한국과학기술원의 남수우 교수 연구실에서 "용접용 고강도 알루미늄

표 1 알루미늄 합금의 물리적 성질

종 류	비 중 g/cm ³	용융점 ℃	비 열 cal/g/℃	열전도도 cal/cm ³ /℃/sec	팽창계수 10 ⁻⁶ ℃	탄성계수 kg/mm ²
순 Al	2.7	600	0.22	0.52~0.54	24	6,000~7,000
Al 5052	2.68	595~650	0.23	0.34	23	7,100
Al 6061	2.71	580~650	0.22	0.37	24	7,000
Al 5083	2.66	595~640	0.23	0.31	25	7,000
Al 7075	2.80	640	0.23	0.29	24	7,200
연 강	7.86	1,500~1,527	0.11	0.12	12	21,000
스텐리스강	7.9	1,400~1,427	0.14	0.04	17	20,300
황동	8.33	885	0.09	0.26~0.30	19	123,000
동	8.92	1083	0.092	0.94	16.5	9,300~11,300

미늄 합금"과 "비열처리형 압출 구조재용 알루미늄 합금 및 비열처리형 알루미늄 합금 압출재 제조방법"이 국내 특허 출원되어 있다. 이중에서 "용접용 고강도 알루미늄 합금"은 7000 계열의 Al-Zn-Mg 계 합금에 Mn과 Zr 을 첨가하여 matrix내에 Mn-dispersoid가 석출되어 분산 강화와 같은 역할을 하여 연신률의 큰 감소없이 항복 및 인장강도가 증가하고 또한 hot cracking susceptibility를 낮추어 우수한 용접성을 확보한 경량 합금이며 유럽에 "Weldable High Strength Alloy" (U.K. Patent No. GB2246578B) 특허 등록되어 있다. 그리고 "비열처리형 압출 구조재용 알루미늄 합금 및 비열처리형 알루미늄 합금 압출재 제조방법"는 기존 Al-Mg-Si계열의 알루미늄 압출용 합금에 비하여 Mn의 함량을 증대시킨 후 급속 응고시켜서 미세한 Mn 분산상이 고르게 분포되도록 제조하여 압출시 강도증대와 동시에 균질변형에 의한 압출성 향상이 실현되고 또한 hot cracking susceptibility를 낮추어 우수한 용접성을 확보하며 압출 후 시효경화 열처리를 하지않아도 기존 유사제품을 압출 후 열처리한 것과 대등한 우수한 강도(290MPa)를 갖기 때문에 열처리 공정의 생략이 가능한 비열처리형 압출용 알루미늄 합금의 특성을 갖고 있다. 한편 "비열처리형 압출 구조재용 알루미늄 합금 및 비열처리형 알루미늄 합금 압출재 제조방법"은 최근 24개 회원국으로 구성된 "세계 알루미늄 협회"로부터 합금번호 AA6024로 등록되었는데, 이번의 알루미늄 합금번호등록은 우리나라의 경우 최초로 이루어진 것으로서 우리나라도 기등록된 410여종의 구조용 알루미늄 합금에 하나를 더하게 되어 이 합금으로 제조된 제품의 외국으로의 수출이 용이하게 되었다. AA6024 합금은 LG전선(구미공장)에서 대량생산체제를 갖추었으며 LG전선은 1999년 10월 이후 제품생산을 시작하여 현재까지 교량용 난간 및 차량 방호책, 가로등 지주, 항만보안 울타리, 웬스, 방음벽 등 고강도와 용접성이 요구되는 특수용도를 갖는 제품을 저렴하게 생산하여 초기 2년반 동안 약 300여톤의 생산실적을 올렸다.

2.2 알루미늄합금 용접 일반

알루미늄 합금을 대상으로 수행되는 용접연구의 방향은 ① 양호한 용접특성을 지닌 새로운 합금을 개발하기 위한 용접성에 관한 연구개발 ② 용접구조물용으로 선정된 알루미늄 합금의 최적용접시공법을 도출하기 위한 용접공정에 관한 연구개발로 구분되며 ①의 경우 vareststraint test, gleeble simulation test 등을 이용한 용접부의 고온균열 평가에 관한 연구가 많이 수행

된다. 알루미늄의 용접연구 방향은 ① 용융온도는 철강 재료의 약 43% 정도이고 비열이 2배, 용접 잠열이 1.5배 크기 때문에 국부가열이 힘들며 재료를 용융시키기 위해서는 다량의 열을 급속하게 공급해야 하고, ② 열팽창계수가 철강재료의 2배 크기이며, 용융금속의 응고시 응고 수축율이 철강 재료는 2.2 %인데 비해 알루미늄 합금은 6.5 %로서 28.7배의 크기를 갖기 때문에 용접에 의한 변형이 발생하기 쉬우며, 합금에 따라 고온에서 발생하는 고온균열(응고균열, 액화균열)이 발생하기 쉬우며, ③ 알루미늄 합금을 용접할 때는 재료표면에서 생성된 산화피막이 해로운 작용을 하므로 이것을 제거하기 위한 전처리가 필요하며, 특히 브레이징을 할때는 피복제를 사용하여 이것을 제거해야 하고, ④ 대부분의 알루미늄 합금재료는 용접열에 의해 열영향부(Heat Affected Zone)가 연화되어 용접부의 강도가 열처리를 실시하지 않은 연질모재와 비슷한 크기를 나타내는 등의 특성을 고려하여 연구개발 목표를 설정하고 수행한다. 알루미늄의 용접연구에 관해 발표된 국외의 연구개발을 보면, 미국 Wisconsin 대학은 Al 2219 합금의 GMAW 용접시 PMZ(partially melted zone)의 특성과 grain boundary liquation 생성을 조사, 영국 Cranfield 대학은 Al 2014, 2024, 6013, 7475 합금의 GMAW 용접성 평가, 일본 동북대학은 Al 1050 합금과 AZ31(Mg 합금)의 friction stir welding 기술 개발, 일본 오사카대학은 6N01-75 Al 합금의 aging 처리에 따른 용접열영향부에 관한 연구 등 알루미늄 합금의 용접성과 용접공정에 관해 많은 연구가 수행되고 있음을 보여준다. 국내 알루미늄 합금 용접기술의 경우 지난 10년간 대한용접학회지에 발표된 경량 용접구조물용 알루미늄 합금소재의 개발을 포함한 연구개발 논문을 중심으로 정리한 자료의(총 55편) 연구분야별 개발동향을 보면(<그림 1> 참조), 저항용접, GMAW/GTAW, 마찰용접, 레이저빔 용접, 브

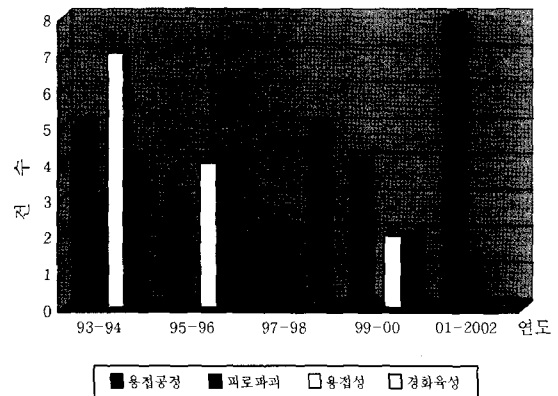


그림 1 알루미늄 합금 용접기술의 연도별 연구동향

레이징 등으로 이루어지는 용접공정분야의 연구가 매년 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있다.

〈그림 2〉는 알루미늄합금 용접기술의 연구기관별 동향으로서 대한용접학회지에 연구논문을 3편 이상 발표한 7개 연구기관 가운데 포항산업과학연구원(RIST)를 제외한 6곳이 모두 대학교이고 또한 전체 알루미늄 합금 용접연구 기술논문가운데(55편) 대학교에서 45편(73%), 산업체와 공공출연연구소에서 15편(27%)을 수행하여 현재까지는 실험실 규모의 기초기술에 관한 연구가 주를 이루어 온 것으로 분석된다.

2.3 학술문헌정보

KISTI의 공학·기술 분야 데이터베이스인 Compendex DB를 이용하여 알루미늄제 수송기기의 용접에 관한 국내외 기술문헌을 조사하여 분석하였다. Compendex는 공학 분야의 국제적인 출판사인 Engineering Information Inc.의 The Engineering Index Monthly(EI)지를 컴퓨터 가독형으로 만들어 DB화한 것으로 Compendex의 가장 큰 특징은 현재 세계 각국에서 만들고 있는 4,000여 종의 온라인 데이터베이스중에서 공학 전반에 관하여 수록한 몇 종 안 되는 데이터베이스중의 가장 대표적인 데이터베이스라 할 수 있다. 특히 기계공학, 재료, 플랜트, 건설공학 등에 관한 정보는 다른 데이터베이스보다 광범위하고, 많은 양의 데이터를 수록하고 있으며, 특정 주제와 관련하여 폭넓게 각 분야에 대해 정보를 검색할 수 있는 장점을 지니고 있다. 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 과학기술 데이터베이스에 등재된 국제학술잡지의 과학기술정보검색에서 자동차, 선박, 철도차량, 항공우주 분야의 알루미늄합금 용접에 관한 학술정보 536건(1990년 이후 발표분, 2004. 1 조사시점 기준)을 조사하여 이 중에서 노이즈(검색 키워드로 추출은 되었지만 검색결과가 내용과 상이한 것)를 제거한 후 최종적으로 관련도가 높은 226건을 추출하

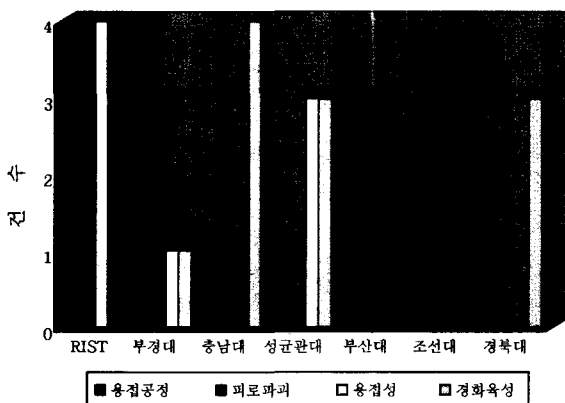


그림 2 알루미늄 합금 용접기술 연구의 기관별 분포

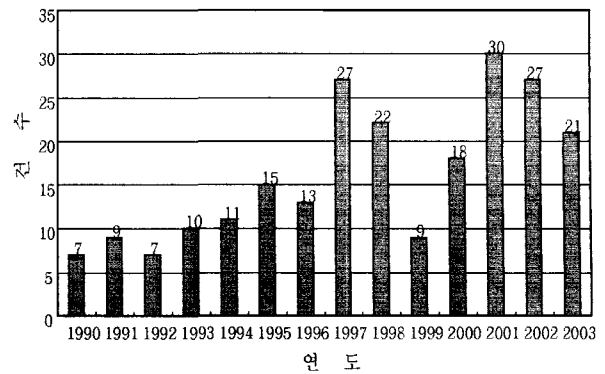


그림 3 알루미늄 합금 용접의 연도별 학술정보 발표 추이

여 정보분석을 실시하였다. 〈그림 3〉은 연도별 발표 현황으로서 1990년부터 1996년까지는 증가와 감소를 반복하면서 소폭의 증가를 나타내다가 1997년을 기점으로 대폭 증가되었으며, 1999년과 2000년을 제외하면 매년 20건 이상의 학술정보가 발표되었다. 특히 1997년과 2001년 이후부터는 예년보다 많은 학술정보가 발표되어 알루미늄합금의 용접에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다. 단 2003년 발표 건수는 학술정보가 발표되어 COMPENDEX DB화될 때까지 최소한 2~3개월이 소요되므로 2002년은 상회할 것으로 예측된다. 〈그림 4〉는 국가별 발표현황으로 미국이 52건으로 가장 많은 학술정보를 발표하였으며 영국 28건, 독일 24건, 일본 19건 순이고 우리나라는 3건의 학술정보를 발표한 것으로 나타났다.

알루미늄합금 용접의 응용현황을 수송기기로 살펴보면(〈그림 5〉, 〈그림 6〉 참조) 자동차 분야에 관한 것이 60%에 가까운 134건으로 제일 많았고 선박이 34건, 항공기가 24건, 철도차량이 12건이며, 일반(자동차, 선박, 항공기, 철도차량 모두 포함)이 22건이었다.

수송수단 분야 알루미늄용접에 관한 학술정보를 기술 분야에 따라 분류하면 (〈그림 7〉, 〈그림 8〉 참조) 선박

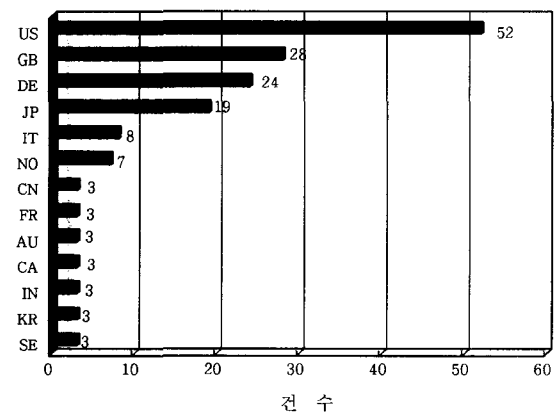


그림 4 주요 국가별 학술정보 발표 현황

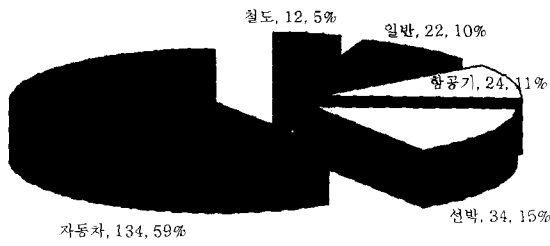


그림 5 수송기별 학술정보 응용 현황

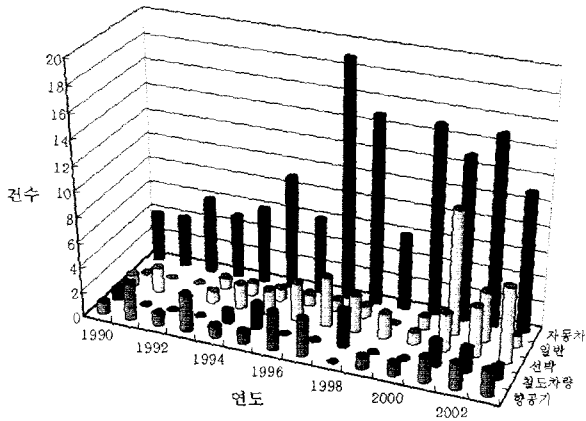


그림 6 수송기별 학술정보의 연도별 발표 현황

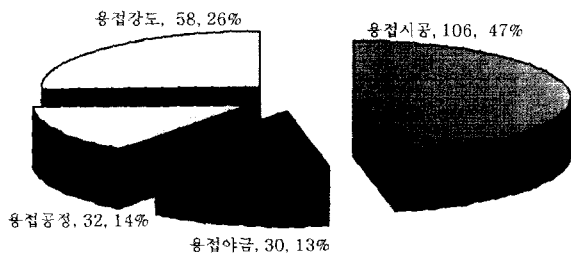


그림 7 기술분야별 문헌발표현황

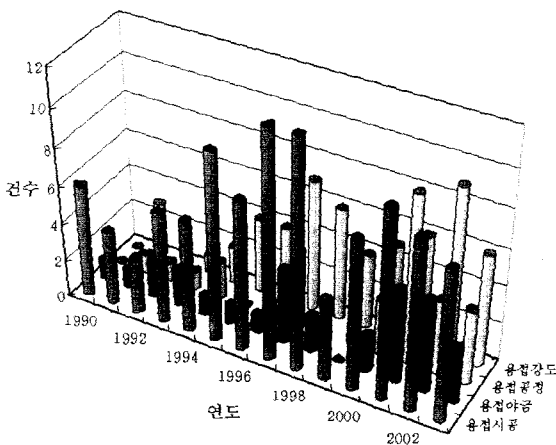


그림 8 기술분야별 연도별 문헌발표 현황

의 laser-arc hybrid 용접, 항공기 용접부의 fitness for service, 레이저빔 용접을 이용한 자동차의 TWB, 용접변형의 방지와 robot 활용 등에 관한 용접시공이

106건 발표되어 가장 많고, 다음으로 알루미늄합금 용접부의 fracture, fatigue, corrosion-fatigue, stress corrosion cracking 등이 관한 용접강도가 58건, laser 용접 장치와 GMAW 용접장치, 마찰교반용접의 modelling 등에 관한 용접공정이 32건, 알루미늄 합금 용접부의 hot cracking, Al-Li, AA5754, AA2519 합금의 weldability, AA6082 합금의 PWHT(Post Weld Heat Treatment), 알루미늄 용접부의 failure 해석 등에 관한 용접야금이 30건의 순서로 발표되었다. 가장 많은 학술정보가 발표된 용접시공은 매년 일정 건수 이상의 학술정보가 발표되었으며, 1997년(12건)과 1998년(12건)에 예년보다 많은 수가 발표되었고, 1992년(3건)에 가장 적은 수의 학술정보가 발표되어 1997년부터 1998년 사이에 가장 활발한 연구개발이 이루어졌음을 알 수 있다. 한편 용접강도는 1991년 3건이 발표된 이후 감소하는 추세를 나타내다가 1995년을 기점을 다시 증가하기 시작하였으며, 그 이후에도 감소와 증가를 반복하면서 계속 증가하는 양상을 보이고 있어 연구개발이 지속적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

〈그림 9〉과 〈그림 10〉은 자동차, 선박, 항공기, 철도 차량의 알루미늄합금 구조물을 제작하는데 사용된 용접 방법별로 분류하여 연도별 기술발표동향을 분석한 결과로서, 불활성 가스 아크 용접(GMAW, GTAW)와 레이저빔 용접이 각각 54건으로 가장 많으며 접착(Adhesive Bonding)과 저항용접(Spot Welding)이 31건과 27건으로 비교적 많은 활용도를 보였다. 이밖에 21세기 첨단 용접기술인 마찰교반용접기술이 1999년부터 본격적으로 사용되어 22건이 활용되었으며, 레이저 아크 복합용접은 초기 응용단계로서 현재까지는 활용도가 많지 않았다.

3. 전 망

21세기 들어 세계 각국은 인류의 복지과 생활 수준 향상을 위한 환경개선과 에너지 절약을 위해 많은 노력

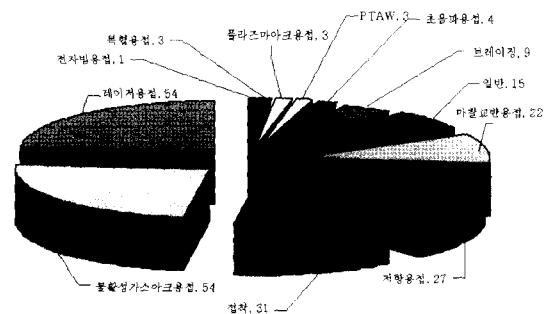


그림 9 용접방법별 학술정보 활용 현황

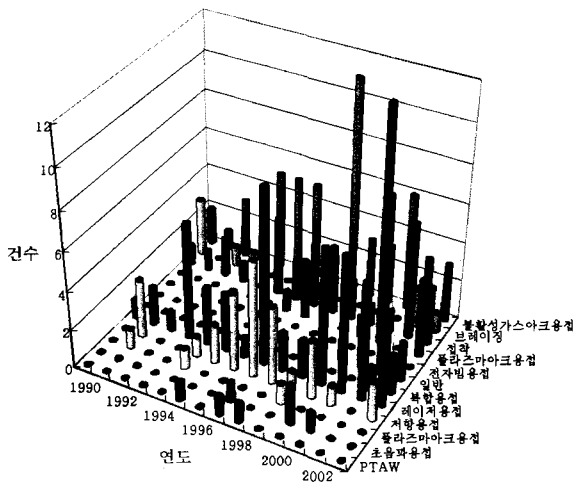


그림 10 용접방법별 학술정보의 연도별 발표 현황

을 기울이고 있으며 특히 에너지를 많이 소비하는 자동차를 비롯한 선박, 비행기 등 수송기기의 에너지 절감에 필요한 경량화 기술개발에 집중적인 투자를 하고 있다. 국내 부존 자원의 부족으로 세계 4위로 석유를 수입하고 세계 2위로 석탄과 액화 천연 가스를 수입하는 등 총에너지 수요의 98%를 수입에 의존하고 있는 우리나라의 경우는 자동차 보급의 확대에 의해 고급 에너지인 석유와 천연가스의 소비가 증가하고 있어서 수송기기의 에너지 절감을 위한 경량화 기술개발 필요성이 더욱 강조되고 있다. 한국과학기술정보원(KISTI)에서 서비스하고 있는 기술문헌의 데이터베이스인 COMPENDEX DB를 통한 국내의 경량 수송기기의 용접기술 개발동향을 분석한 결과를 보면, 자동차분야에서 알루미늄 차체 구조물을 레이저빔 용접으로 시공하는 연구개발이 주류를 이루고 첨단 기술인 레이저-아크 복합용접과 마찰교

반용접기술의 적용을 위한 연구개발이 활발히 진행되고 있으며 향후 수송기기의 용접 제조 공정에 핵심 시공기술로 사용될 것으로 전망된다. 따라서 이와 같은 선진국의 경량 수송기기 용접기술 개발의 추세를 감안하여 조선산업과 자동차산업에서 세계의 선두에 있는 우리나라의 경량 수송기기 용접 제조기술과 구조물의 품질을 높여 국제경쟁력을 강화할 수 있도록 일수 있도록 경량 수송기기 용접기술에 대한 연구개발 활동을 촉진하고 이를 위한 연구개발사업에 국가의 적극적인 지원을 강화할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 제 6회 고에너지연구위원회 연구발표회 논문집, 2003. 08.
2. American Bureau of Shipping: 'Requirement for materials and Welding. 2003. Parts 2, Aluminum and Fiber Reinforced Plastic(FRP)
3. W.M. Thomas : 'Friction stir welding for the transportation industries'. Materials & Design, 18-4/6, p269-273, 1997
4. T.A. Barnes : 'Joining techniques for aluminum spaceframes used in automobiles', Journal of Materials Processing Technology, 99(2000) 62-71
5. 용접/집합 기술 발전 동향 워크숍. RIST 용접센터. p.1-10, 2002
6. Proceedings of IWC-Korea 2002, p.342-348, 2002
7. Proceedings of GMAW for the 21st Century(AWS), 2000
8. "특집: 용접기술의 응용", 대한용접학회지, 20-5, (2002) 109. Welding Handbook, Vol. 3, 8th Edition, p.1-117
10. TWI: 'Advances in welding & related technologies', International Seminar Handbook, September, 1997.
12. SLV-Duisburg: Welding Process and Equipment(1999)
13. 대한용접학회 DB 시스템
14. 한국과학기술정보연구원 DB(COMP)



· 김환태 (金桓泰)
 · 1952년생
 · KISTI 전문연구위원
 · 기계소재분야 기술동향분석
 · e-mail : htkimm@kisti.re.kr



· 길상철 (吉相哲)
 · 1958년생
 · KISTI 기술정보분석실
 · 금속분야 기술·특허정보분석
 · e-mail : kilsc@kisti.re.kr