

첨단 과학기술정보시스템을 이용한 에너지재료 및 용접기술개발의 동향분석과 전망예측

김 환태*, 이 봉상**, 홍 준화**

한국과학기술정보연구원 전문연구위원*,
한국원자력연구소 원자력재료기술개발부 책임연구원**

1. 서 론

21세기 들어 기업활동의 세계화, 기술혁신의 가속화, 중국의 급부상 등 국제 사회의 급속하게 변하고 있고, 세계 최고가 아니면 살아 남을 수 없는 무한 경쟁의 시대로 가고 있는 가운데, 세계 경제는 지식과 정보의 창출, 확산 및 활용을 직접 기반으로 하는 지식기반 경제로의 이행이 가속화되고 있다. 정보는 이미 물자나 에너지보다도 사회를 움직이는 더욱 큰 힘이 되고 있으며, 질적·양적으로 전문화·고도화되면서 종합화·다양화되고 있기 때문에 누가 빨리, 보다 정확하게 필요한 정보를 입수하여 얼마나 효과적으로 활용하는가가 국가 경쟁력 강화의 관건이 되고 있다. 금번 한국과학기술정보연구원(KISTI)에서 고경력과학기술자의 전문지식을 활용하여 앞으로 국가의 과학기술 경쟁력을 향상시키기 위해 기계, BT, IT, 화학, 환경에너지 기술분야의 국내외 연구개발동향과 주요국의 기술정책을 분석하고 우리나라의 연구개발방향을 제시하는 프로그램을 진행하고 있다. 본고에서는 소재 기술이 에너지 기술 개발에 핵심이 되는 에너지 시스템 소재의 개발과 제품을 생산하는데 필수적으로 사용되는 친환경적, 에너지 절약형 접합/용접기술에 대하여 미국, 유럽, 일본과 우리나라에서 수행되고 있는 기술개발과 특히 동향을 조사하고 분석하였

다.

2. 국내외 기술특허 동향

2. 1. 에너지재료

한국과학기술정보연구원(KISTI)의 과학기술 DB에 등재된 국내학술잡지의 과학기술정보검색에서 조사된 최근 5년간의 알루미늄 합금에 대한 연구동향을 기술분야별로 보면 (그림 1) 매년 평균 41건이 발표되었으며 알루미늄 합금의 금속제조(용해, 주조 압출 포함)에 관한 연구가 1998년과 1999년도에 많이 발표되었고 제조합금의 기계적 성질(인장, 충격, 피로 및 파괴특성 포함)에 관한 연구도 많이 수행되었으며 기계가공과 용접 기술 분야는 상대적으로 적게 나타났다. 국내 알루미늄 합금 용접기술의 경우 지난 10년간 대한 용접학회지에 발표된 경량 용접구조물용 알루미늄 합금소재의 개발을 포함한 연구개발 논문을 중심으로 정리한 자료의(총 55편) 연구분야별 개발 동향을 보면(그림 2), 저항용접, GMAW/GTAW, 마찰용접, 레이저 빔 용접, 브레이징 등으로 이루어지는 용접공정분야의 연구는 매년 꾸준히 증가하는 경향을 보이고 있다. 반면 경량 용접구조물용 알루미늄 합금을 개발하는데 용접품질과 알루미늄 합금의 용접결함, hot cracking 등을 연구하는 용접성분야는 1997년 이후부터, 그리고 AC8A 재질인 실린더 헤드에 Cu, NbC, TiC, Ni 등의 합금화층을 형성하여 경도를 높이는

PTA(plasma transferred Arc) 분체육성기술을 포함하는 경화육성분야의 연구는 2000년 이후부터 감소하는 경향을 보인다. 한편 용접성이 우수한 weldable 알루미늄 합금의 개발에 대한 국외의 연구개발 활동은 매우 활발하고 많은 결과물이 국내에 특허출원되어 있는 반면에 국내의 연구개발 활동은 한국과학기술원(2건)과 한국기계연구원(2건) 등 소수의 기관에서만 특허등록이 되어 있어 전반적으로 미약한 수준이다. 이와 같은 국내의 현실에서 한국과학기술원의 "비열처리형 압출 구조재용 알루미늄 합금 및 비열처리형 알루미늄 합금 압출재 제조방법" 기술이 '세계 알루미늄 협회'로부터 우리나라의 경우 최초로 합금번호 AA6024로 등록되어 weldable 알루미늄 합금의 개발에 대한 국내의 높은 연구 능력을 보여주었다.

국내의 월성, 울진, 영광, 고리의 원자력 본부에서 현재 운전중인 17기의 원자력 발전소에는 수많은 종류의 고가 소재들이 사용되고 있으며 현재 건설중이거나 앞으로 계획되어 있는 11기의 원자력 발전소에 설치될 각종 원전설비들에 대한 고급 소재의 수요가 증가될 것으로 전망된다. 원자력 구조재료가 높은 기술이 요구되는 것은 원전 특유의 사용환경(방사선 고온, 고압)으로 인한 구조재료의 열화나 취화, 파괴, 피로 크립등에 영향을 주기 때문이다. 핵반응 열을 직접 전달하는 원자력 압력용기와 1차 계통 냉각재 배관에서 주용기(동체 및 헤더)에는 SA508 C1.3 저합금강, cladding에는 AWS E308L 저탄소 스테인레스강 계통의 용접재가 사용된다. 압력 용기는 원전의 안전성을 지배하는 가장 중요한 구조재료이며, 가동중에 보수, 교체가 어렵기 때문에 더욱 안전성 유지가 필수적이다. 한국원자력연구소(KAERI)가 주관한 '원자력재료 및 EAC 워크샵 2002'에서 발표된 연구결과를 보면(그림 3) 총 30편의 기술논문중에서 충격, 파괴, 피로 등의 재료특성이 7편, 신재료, 데이터베이스 등의 합금설계가 4편, SCC, DHC, 열화 등의 부식균열이 9편, 조사취화가 3편이며, 검사, 잔류응력 등 기타가 7편으로 원전설비용 소재의 국산화 개발에 필요한 데이터의 확보가 기대된다.

2.2 원자력 용접기술

원자력발전설비의 용접법은 1980년대 후반부에 SAW(서브머지드 아크용접), GMAW(불활성 가스

아크용접), TIG (팅스텐 불활성 가스 아크용접) 용접에서 협개선화(narrow gap welding)가 진행되어 신뢰성과 용접효율성의 향상이 이루어졌으며, 1990년대에 후반부에는 TIG 용접에서 초협개선화가 진행되고, 2000년대에는 숙련용접사의 감소에 대응하여 GMAW와 TIG에서 전자동용접으로 변천되고 있다. 원자력 발전소의 가동기간이 점차 증가함에 따라 설비의 안정적인 유지와 보수를 위한 repair welding의 효율성을 높이기 위한 용접기술의 개발이 큰 주목을 받고 있다. 현재 104기의 원자력 발전소가 운영중인 미국의 경우 원전가동기간이 0~9년 경과한 것은 2기, 10~19년 경과한 것은 47기, 20~29년 경과한 것은 55기로서, 전체 원자력 발전설비중 50% 이상이 20년의 가동기간을 경과하여 기기, 재료 및 용접이음부의 경년열화를 대비해야 하는 상태로써 EPRI(Electric Power Research Institute)는 스테인레스강과 Ni 합금의 underwater wet FCAW 용접기술을, B&W Nuclear Technologies는 automated nuclear service welding을 위한 weld controller를 개발하였고 Westinghouse Electric Company는 Spartanburg Nuclear Component Repair Center를 운영하는 등 원전설비의 repair welding을 위한 투자와 기술개발이 활발하다. 일본의 경우는 4기의 원자력 발전설비가 20~25년 경과하였으며(1998년 4월 기준) 이에 따라 Hitachi Ltd는 예민화 상태의 HAZ에 대한 GTAW cladding 기술을, Ishikawajima-Harima 중공업은 소구경의 스테인레스 배관에 대한 laser cladding 기술을 개발하였다. 국내의 경우는 총 17기의 원자력 발전설비중 절반에 해당하는 8기의 가동기간이 15년 이상 경과하고(평균 18년) 그중 3기는 가동기간이 20~25년 경과한 상태로써 증기발생기의 경우 1차측 응력부식균열(PWSCC), Intergranular Attack, 피팅, Wastage (Tube Thinning), 염화물에 의한 응력부식균열 등과 같은 부식손상이 많이 발생하게 되어 원전설비의 repair welding을 위한 투자와 기술개발이 필요한 것으로 전망된다.

2.3 마찰교반용접기술(Friction Stir Welding)

미국 San Diego(California)에서 2003년 3월2일부터 6일까지 진행된 TMS 2003 International Conference에서는 마찰교반용접기술의 Process Model, Corrosion & Fatigue, Structure & NDE,

Mechanical Properties, Processing 등 5개 분야에서 41편, 미국 Park City에서 2003년 5월 14일부터 16일까지 영국 TWI 후원으로 열린 '4th International Friction Stir Welding Symposium'에서 12개의 session을 통해 총 64편, 그리고 2003년 대한용접학회 열린 춘계학술발표대회에서는 마찰교반용접에 관한 6편의 기술논문이 발표되었다.

TMS 2003 International Conference와 '4th International Friction Stir Welding Symposium'에서 5편 이상의 마찰교반용접에 관한 연구결과를 발표한 주요 국가의 문헌 발표 비율을 보면 미국과 영국에서 각각 54편과 23편을 발표하여 전체 문헌중 73% 차지하는 적극적인 연구개발활동을 보였으며, 일본과 독일은 각각 6편을 발표하였다.

TMS 2003 International Conference와 '4th International Friction Stir Welding Symposium'에서 발표된 총 105편의 연구내용을 용접재료와 용접공정, 그리고 용접시공을 기준으로 분류하여 정리하면(그림 4), 먼저 용접재료의 경우는 알루미늄합금에 대한 마찰교반용접성의 개발과 평가가 주를 이루고 있으나(34편), 탄소강/스텐레스강/고장력강의 마찰교반용접이 8편, Mg/Cu/Ti/Ni과 같은 비철합금의 마찰교반용접이 7편으로 초창기의 알루미늄합금 위주에서 현재는 철강재료와 기타 비철합금 등을 대상으로 하는 마찰교반용접기술 개발의 연구범위가 확대됨을 보여주고 있다. 용접공정의 경우는 rod tool의 형상과 내마모성의 최적화, laser 용접을 이용하여 용접능률과 용접부 품질을 향상시키기 위한 hybrid LAFSW(laser assisted friction stir welding) 공법의 개발, acoustic emission을 이용한 마찰교반용접의 monitoring 기술개발, 마찰교반용접기술의 적용범위를 넓히기 위한 'Robotic 3D Friction Stir Welding' 공법 등이 연구개발되고 있으며, 마찰교반용접기술을 최초로 고안하여 발명한 TWI의 W.M. Thomas 등은 마찰교반용접을 upgrading시키는 새로운 개념의 'Reversal Stir Welding' 방법을 연구개발하고 있다. 2001년 이후에 등록된 주요국가들의 '마찰교반용접기술'의 개발에 관한 특허등록 현황을 조사한 결과 유럽 특허(EUPA) 54건, 미국 특허(USPA) 30건, 일본 특허(JEPA) 41건이 공고되었으며(그림 5), 한국 특허(KUPA)도 8건이 공고되었다. 한편 유럽과

미국, 그리고 한국에 등록된 일본특허의 현황을 보면, 유럽 특허(EUPA)는 전체의 46%인 25건을, 미국 특허(USPA)는 전체의 87%인 26건을, 한국 특허(KUPA)는 전체의 88%인 7건을 일본에서 출원하여 일본이 미래의 부가가치가 매우 높은 '마찰교반용접' 기술의 특허재산을 확보하기 위한 활동을 강화하고 있음을 보여주고 있다. 특히 일본 Hitachi LTD.의 경우 일본 특허(JEPA)에서는 41건중 20건, 유럽 특허(EUPA)에서는 25건중 22건을, 미국 특허(USPA)에서는 26건중 24건을, 그리고 한국 특허(KUPA)에서는 7건 모두를 특허출원함으로써, 2001년 이후에 유럽, 미국, 일본, 그리고 한국에 등록된 133건의 '마찰교반용접' 기술에 관한 특허중 과반수가 넘는 55%에 달하는 기술특허를 점유하여 향후 '마찰교반용접' 시장을 지배할 가능성이 매우 높다.

3. 결론

수송기기의 에너지 절감을 위한 경량 소재의 경우 앞으로의 고유가에 대비하고 지구환경을 보전하는 에너지절약형으로 많이 사용될 것으로 전망되는 경량구조물용 알루미늄 합금의 활용범위를 항공기, 자동차, 선박 등 수송기기의 구조물용 합금소재까지 넓히기 위해서는 알루미늄합금재료의 기계적강도 향상과 함께 우수한 용접성을 확보하기 위한 관련기술의 개발이 필요하다. 원자력 발전용 설비의 열효율 향상을 위한 원자로 소재의 경우 원자력 발전소의 건전성은 원자로의 건전성에 의해 좌우되므로 원자로압력 용기가 높은 충격인성을 지니고, 운전중 고속중성자에 의한 조사취화나 부식에 의한 응력부식균열이 발생하지 않는 고품질 원전설비소재 개발 필요성이 있으며 향후 건설예정인 원자력 발전소에 설치될 각종 원전설비들에 대한 고급 소재의 국내 자급을 위한 국산화 개발에 대한 활발한 투자가 이루어져야 한다. 현재 일본과 미국, 유럽에서는 TWI와 연계하여 마찰교반용접의 연구개발과 특허등록을 활발하게 진행하고 있는데 반해 국내의 경우는 소수의 연구기관에서 수행되고 있으며 국내의 특허등록도 일본의 Hitachi LTD.에서 출원되어 있어 매우 취약한 수준이다. 따라서 국내 마찰교반용접산업의 기술을 확보하고 대외경쟁력을 높일수 있도록 국내 관련기관에서 적극적인 연구개발과 특허활동이 요망되며, 이를 위한 국가의 적극적인 지원과 육성을 강화할 필

요가 있다.

참고문헌

1. 원자력재료기술개발, 한국원자력연구소, 2002.
2. '2002 Joint Workhop on Nuclear Materials and EAC, Novmber, 2002EAC, Novmber, 2002
3. 한국과학기술정보연구원 DB (KUPA/JEPA/USPA/EUPA/과학기술정보)센터,p.1-10, 2002
4. U.S. Nuclear Regulatory Commission(<http://www.nrc.gov>)
5. 용접/접합기술 발전동향 워크샵, RIST 용접 p.1-10, 2002
6. 용접/접합기술 발전동향 워크샵, RIST 용접센터, p.1-10, 2002

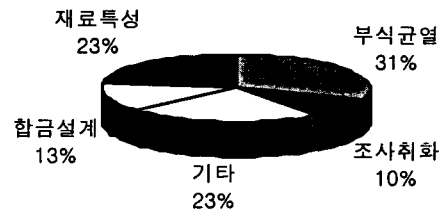


그림 3. 원자력 소재 주제별 발표내용 현황

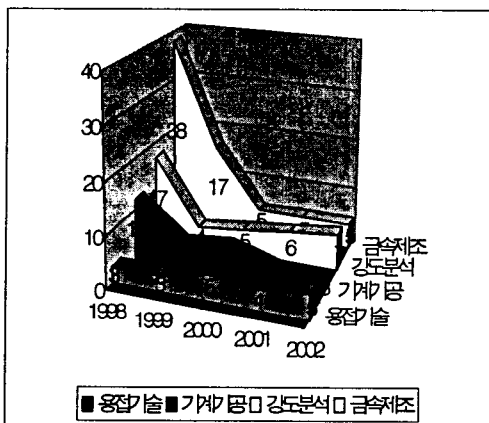


그림 1. 알루미늄 합금의 연도별 연구동향

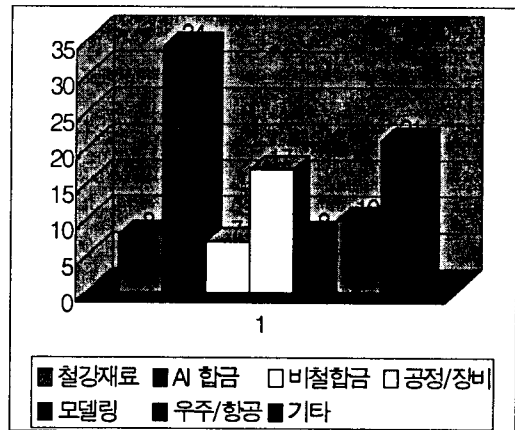


그림 4. 마찰교반용접기술의 연구개발 내용

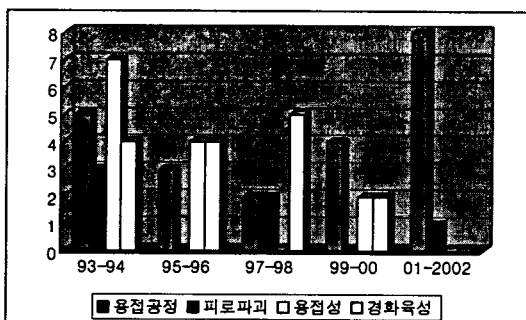


그림 2. 알루미늄 합금 용접기술의 연도별 연구동향

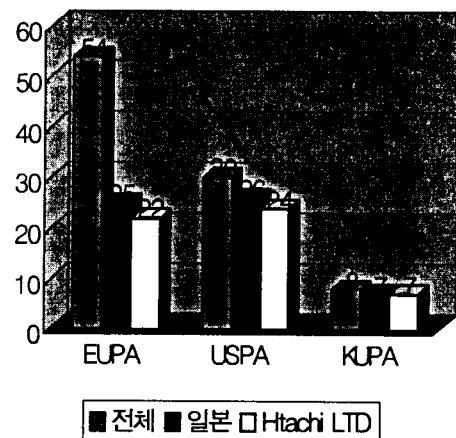


그림 5. 마찰교반용접기술의 국가별 특허의 출원/등록 현황