

대한용접·접합학회 학술대회 20년간 연구발표동향

신병현·박영도

Research Activities of the KWJS for Last 20 Years

ByungHyun Shin and YeongDo Park

1. 서론

최근 조선 및 자동차 산업의 호황과 더불어 용접관련 산업들도 비약적인 발전을 이루고 있다. 이러한 용접산업의 발전을 통하여 R&D 분야에 대한 투자 및 연구 환경도 큰 성장을 이루어낸 이 시점에서 한국 용접 및 접합 관련 연구의 동향에 대한 분석을 통하여 과거 연구되었던 연구 주제 및 열원 그리고 최근 많은 주목을 받고 있는 분야에 대한 통계적 분석을 시도 하였다. 2003년도에 편집위원회 주관으로 지난 20년간의 학술 활동 현황분석이 보고된 바가 있었으나¹⁾ 이는 용접학회지에 게재된 논문을 중심으로 조사된 통계이어서 학계와 산업계의 전반적인 연구 동향을 알기 위해서는 용접학회 주관의 학술 대회에서 발표된 내용을 바탕으로 한 연구 동향조사가 필요한 것으로 사료되었다. 실제 산업체에서의 연구 결과들은 많은 경우 대한용접접합 학회지와 같은 연구논문으로 출간되지 못하고 학술대회 발표에 그치는 경우가 많다. 따라서 본 논문의 목적은 대한용접접합학회의 주관으로 년 2회 개최되는 학술 발표대회에 발표된 논문들의 통계적 분석을 통하여 실질적인 용접 및 접합 관련의 연구 현황을 파악하는데 있다.

대한용접접합학회는 연 2회씩 학술 발표가 이루어지고 있고 본 분석에서는 1985년부터 5년 단위로 2005년까지 발표된 논문의 변화를 정리하였다. 최근 3년간 발표동향을 자세히 분석하기 위하여 2005년 2006년 그리고 2007년도의 통계를 추가로 비교하였다²⁾. 2007년 통계는 춘계 학술대회가 국제학회(IWJC)와 공동으로 개최되어 2008년 춘계학술대회의 통계를 2007년도에 소입하여 분석하였다. 발표된 논문의 편수는 1985년 37편에서 2007년 220편으로 크게 증가하였고 발표 주제 또한 다양해 졌으며 그림 1에 년도별 발표 건수의 증가 추세를 나타내었다.

이러한 변화와 더불어 1985년 이후로 발표되는 논문의 수는 연간 6.6편의 증가추세를 보였으며 1995년을

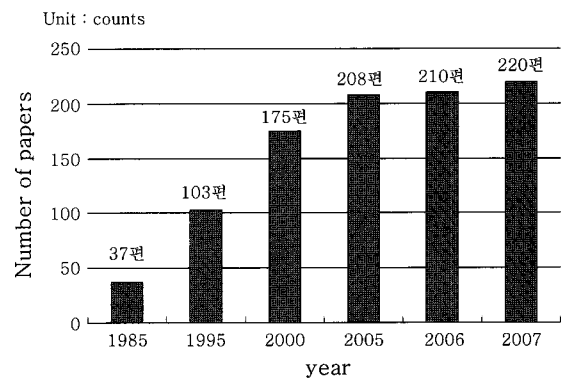


그림 1 년도별 발표 논문의 수 변화

기준으로 그 수가 연간 14.4편으로 급격히 증가하였으나 2000년 이후 다시 증가 경향이 감소 추세를 보이고 있다. 대한용접접합학회에서는 학술발표대회에서 2006년부터 포스터 발표를 도입한 이후 2006년에는 86편 2007년에는 115편으로 증가추세에 있으며 2007년에는 구두발표건수(111편)보다 많은 포스터 발표가 이루어졌다.

2. 용접주제별 연구 동향

용접에 대한 관심의 증가 요인으로는 용접 조건에 따른 효율적인 용접 공정의 요구와, 국내 산업의 변화, 소재의 개발에 따른 용접 기술의 진보 그리고 새로운 공법의 도입 등으로 사료된다. 최근 마찰열을 이용한 마찰교반 용접, Arc 열원과 Laser 열원을 동시에 이용한 하이브리드 용접, 자기력을 이용한 Magnetic Pulse Welding (MPW) 등에 대한 관심이 최근 증가하고 있고 새로운 용접 방법과 적용분야의 다변화에 따라 많은 변화가 진행되고 있다.

이러한 변화를 고려하여 발표 논문의 분류는 크게 용접 공정, 용접시공, 용접강도, 용접야금, 고상접합, 마이크로조이닝, 그리고 고에너지 빔으로 분류하였다. 위

표 1 발표 논문의 주제별 분류 기준

용접 공정	기술, 공정, 열원의 이용, 잔류응력의 제어 등
용접 시공	공법, 시공, 검사 등
용접 강도	균열, 피로 강도, 가공, 취성, 부식, 파괴 등
용접 야금	용접 재료, 합금, 플럭스 개발 미세조직 등
고상 접합	마찰교반, 상온압접, 확산접합
마이크로조이닝	PCB, Flip Chip, BGA 패키지 등
고에너지빔	레이저, 하이브리드, 전자빔

* 2007년 춘계 학술 대회는 IWJC와 공동 개최되었으므로 2008년 춘계 학술대회의 총계를 소입하여 적용하였다.

와 같은 용접 주제의 분류기준을 적용한 목적은 용접 주제의 광범위함을 줄이고 정확성을 높이는데 있으며 또한 학술 발표 대회에 사용되는 기준을 바탕으로 적용 하였고 그 주제별 분류 기준은 표. 1에 제시를 하였다.

2.1 전체 분야별 연구 동향

그림 2는 1985년 이후 현재까지 용접공정, 용접시공, 용접강도 및 용접야금의 년도 별 발표 건수를 보여 주고 있다. 1985년을 기점으로 학술 발표 건수가 급격히 증가 하면서 용접 공정 분야의 발표 논문이 비약적으로 증가 추세를 보였다. 2000년도에 비하여 2005년에는 전체 발표 논문의 수는 크게 증가하지 않았으나 용접강도, 용접시공 그리고 용접야금 관련 논문수가 각각 10편 이상씩 증가였으며 용접공정은 감소 추세를 보였다.

전체적인 연구 동향 중 1985년부터 1995년까지 발표된 논문들의 연구 동향을 보면 철강과 자동차 및 중공업 분야 산업과 관련되어 적용되는 용접에 관한 관심이 꾸준히 지속되었고 국내 기반 산업의 비약적인 발전이 큰 요소로 작용한 것으로 사료된다.

2.2 용접공정

1985년 이후 용접 공정에 관한 관심은 꾸준히 증가

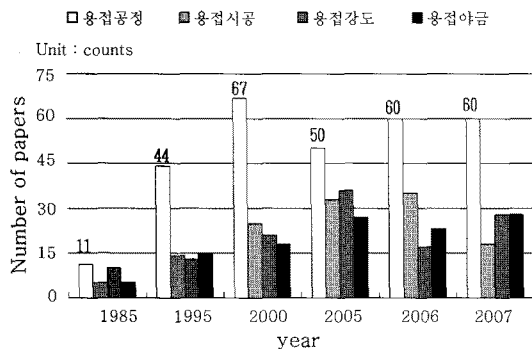


그림 2 년도별 용접 주제의 발표건수 비교

하였으나 2000년 이후 감소 추세를 보이고 있다. 그러나 최근에 새로운 용접공정이 많이 도입되며 기초연구가 함께 이루어지고 있으며 2005년 이후 다시 용접 공정에 관한 관심이 약간 증가하였다. 그림 2를 통해서 2000년까지 꾸준히 증가하던 용접공정에 관련하여 발표된 논문이 2000년 이후 감소 후 다시 증가 추세를 보이며, 가장 큰 이유로는 새로운 소재의 개발에 따른 용접재료에 대한 관심의 증가와 마찰교반, 마이크로조이닝 그리고 고에너지 빔 등의 신공정의 연구 등이 복합적으로 작용한 것으로 사료된다.

그림 3은 1985년 이후 2007년까지 각 주제별 발표 건수를 비율로 보여주고 있으며, 특히 용접공정은 2000년 이후 약 30% 미만의 수준을 유지하는 것으로 보인다. 그림 2와 3의 통계분석에서 고상접합, 마이크로 조이닝 그리고 고에너지 빔 분야는 분석의 편의성을 위하여 기타 분류와 함께 하여 그림 4에서 나타내었다. 전체적인 동향은 그림 2와의 비교를 통해 간접적인 분석이 가능하다.

2000년 이후의 용접 공정은 자동차에서 대형 구조물, 조선, 원자로 구조물 등의 분야로 크게 확대 되었다. 선박 건조 시에 사용되는 소조립, 조립 및 탑재의 주공정으로 용접이 이루어지는데 여기서 조선용 강재의 곡가공에 따른 공정, 용접 변형을 방지하기 위한 공정

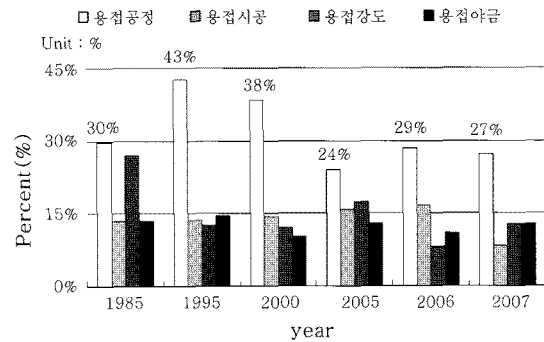


그림 3 년도에 따른 주제별 분류의 변화

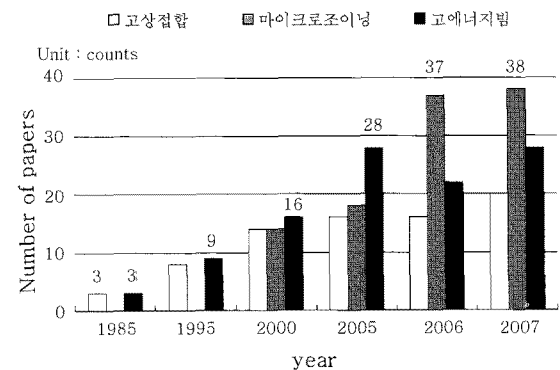


그림 4 고상접합, 마이크로조이닝 그리고 고에너지빔의 연도별 논문 발표 건수

그리고 LNG 내부 탱크의 용접 등에 관한 많은 논문이 발표되었다.

2.3 용접 시공 및 용접 강도

용접시공은 용접 후 시험, 용접에 사용되는 변수를 적용한 시공 그리고 새로운 용접법의 적용 등을 포함하며 용접강도는 용접 후 조직의 변화에 따른 강도, 균열, 피로, 부식 등에 관한 내용이 주를 이루고 있다.

용접시공 및 용접강도 분야는 발표 건수 및 비중 모두에서 꾸준히 증가추세를 보여 왔으나 최근 2년간 감소 추세를 나타내고 있다.

용접시공 분야에서는 용접 후 시험하는 방법에 관한 연구는 초음파를 이용한 탐사방법, AE 검사법 등이 있었으며 용접에 사용되는 변수, 후열처리, 입열량의 변화를 측정하는 방법 또한 발표되었다.

용접강도는 2000년 이후 용접에 의한 소재의 열 변형에 관한 것이 주된 관심으로 나타났으며 수소에 의한 균열, 마찰에 의한 마모와 피로, 부식 등에 관한 논문도 발표되었다. 2005년 이후 발표된 논문에서는 조선에서 쓰이는 열처리, 열변형, 곡가공 등이 강제구속 조건을 고려한 고주파유도가열 곡가공 공정의 변형량 예측, 조선용 후판 강의 하이브리드 맞대기 용접부의 열 및 역학적 특성 비교를 한 논문이 발표되었다.

2.4 용접 야금

용접야금은 용접 후 열에 의한 소재의 조직 및 물성을 제어하기 위하여 반드시 고찰되어야 하는 사항이며 용접야금의 언급 없이는 용접시공 및 용접강도의 적정 범위를 고찰 할 수 없을 것이다.

1985년 이후 발표 건수는 꾸준히 증가되어 왔으나 전체적인 발표 비중은 약 14%의 수준을 최근까지도 유지하고 있어 용접야금의 중요성은 여전히 주목을 받고 있음을 알 수 있다. 용접야금과 관련된 발표 논문 중 이종금속 접합, 용접재료의 개발 및 용접 미세조직 변화에 따른 물성평가에 관한 연구가 이루어져 왔다. 최근에는 삽입재를 이용한 Ti-STSS의 이종접합 특성 연구, 고 Si 구상흑연 주철 용접 열영향부에서의 액화 거동 및 침상형 페라이트 조직의 미세조직 단위 등에 관한 논문이 발표되었다.

2.5 고에너지빔

고에너지빔은 1985년 3건의 발표를 시작으로 연구가 꾸준히 증가하고 있으나 2005년 이후의 발표 건수는

큰 변화는 없다.

그러나 레이저와 아크 용접을 함께 병행함으로써 우수한 용접성을 보이는 하이브리드 용접은 2005년 이후 관심이 증가하고 있다. 특히 하이브리드 용접의 공정개발, 용접부의 역학적 거동규명, 3차원 용융풀 해석 그리고 아연도금 강판의 레이저-마이크로 플라즈마 하이브리드 용접 등에 관한 논문이 발표되었다.

Laser용접은 재료에 주는 열 영향이 작아 변형도도 최소화 할 수 있는 장점 때문에 최근에는 사용 범위가 증가하여 마이크로조이닝, 자동차, 조선, 원자로의 용접 등에 관한 논문이 발표되어 왔으며, 최근 3년간 레이저 용접은 Al 및 Mg 합금 등의 용접성에 관한 연구, 후판 및 박판 소재에 관한 용접 및 응용 그리고 용접부 피로 수명에 미치는 용접 변수에 관한 논문 등이 발표되었다.

고에너지빔의 용접은 용접성이 우수함에도 불구하고 장비의 초기 투자비 및 활동도에 대한 제약으로 사용하기가 쉽지 않기 때문에 이에 대한 연구가 급속도로 증가하지는 않고 있으나, 원자로의 안전성이나 마이크로조이닝 등의 우수한 정밀도를 요구하는 곳이 증가하고 있기 때문에 관련 연구의 향후 발전이 기대된다.

2.6 고상접합

그림 4를 통해서 고상접합에 대한 관심이 꾸준히 증가하고 있는 것을 알 수 있다. 고상접합에 관한 연구는 증가는 초기의 마찰용접을 시작으로 2000년 이후 마찰 교반 용접에 대한 관심의 증가가 그 원인이라는 것을 알 수 있다. 마찰 교반 용접은 비철 금속의 접합에 주로 사용이 되기 때문에 자동차의 경량화 등과 같은 Al 및 Mg 합금 소재의 이용에 따른 연구의 증가 또한 큰 원인으로 들 수 있을 것이다.

2.7 마이크로조이닝

마이크로조이닝은 전자제품에 이용되는 작은 부품을 접합하는 기술로 주로 브레이징과 솔더링이 이용되지만 레이저나 전자빔 등을 이용하기도 한다. 높은 정밀도를 요구하는 마이크로조이닝의 발전은 국내 전자 산업 기술의 발전을 반영하는 것으로 사료된다.

2000년 이후 마이크로조이닝이 용접학회 학술대회의 한 세션으로 자리 잡기 시작한 이후 2006에는 2000년 발표건수 대비 2배 가까이 증가 했다.

마이크로조이닝의 최근 동향은 무연 솔더에 관한 연구가 많은 부분을 차지하고 있으며 2006년 이후 강화된 환경적인 문제 때문에 Pb의 사용이 크게 제한됨에 따라 이에 따른 무연 솔더의 필요성의 증가로 많은 관

심을 받고 있다. 솔더링 분야에서 열시효, 금속간 화합물의 첨가, 열처리에 따른 경도, 조직의 변화, 계면의 젖음성이 미치는 영향, 계면 위치에 따른 미세 조직의 변화 그리고 표면장력 특성분석 등에 관하여 발표 되었다.

3. 용접에 사용된 소재 동향

용접에 가장 많이 사용되는 소재는 역시 철강으로 자동차 및 조선 등 광범위한 분야에서 철강의 용접에 관한 논문들이 발표가 되어왔다. 그림 5를 통하여 연도별 용접에 사용된 소재의 변화를 나타내었으며 사용된 소재의 종류는 표 2를 통하여 나타내었다.

최근 3년간 논문에 사용된 용접 소재에는 Mo, Ti, Mg, Zr 그리고 복합재료 등의 연구가 증가 추세이며 이러한 소재에 대한 용접 재료 및 용접장비의 개발 등과 관련된 논문들이 발표되었다. 새로운 소재의 개발에 따른 환경적인 문제와 함께 이에 따라 소재에 따른 삽입재도 고려하여 많은 연구가 용접야금을 통하여 이루어지고 있다. 또한 이종금속의 접합 중 많이 연구된 것은 스테인레스강 이고 STS-Cu, STS-Al, STS- steel 그리고 STS-HR(Heating Resistance steel(내열강))등이 주 연구 테마였으며 접합을 통해 STS의 우수한 내식성과 다른 금속의 우수한 물리적 성질을 함께 이용하기 위한 시도가 점차 증대된 것으로 사료된다. 예로서 STS-HR은 압력용기의 개발, STS-Al 은 자동차의 경량화, STS-Cu는 배관과 관련된 논문에서 발표 되었다.

4. 용접에 사용된 열원에 따른 분류

저자들은 발표 논문에 사용된 용접 열원의 분류에 따른 통계적 분석을 시도하였다. 분류 기준은 Arc, Brazing, Resistance, Electron Beam, Laser, Friction 등을 기준으로 하고 그 외의 조인트, 초음파, 클레딩, Magnetic Pulse Welding등은 기타로 분류 정리하여

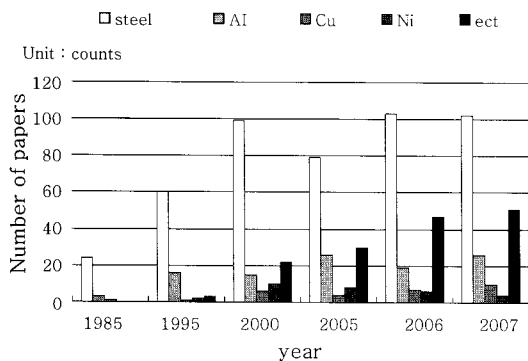


그림 5 1985년 이후 발표된 논문에 사용된 소재의 건수

표 2 논문에 사용된 소재의 분류 기준

steel	탄소강, 도금강, 저합금강, 주철 등
Al	Al2519, Al5052, Al6061, Al6063, Al705 등
Cu	Cu8200, Cu1020 등
Ni	Inconel617, Inconel625, Inconel718, Inconel908
ect	PCB 기판, ceramic, Mg, Mo, Zr, Ti, 복합재료 등

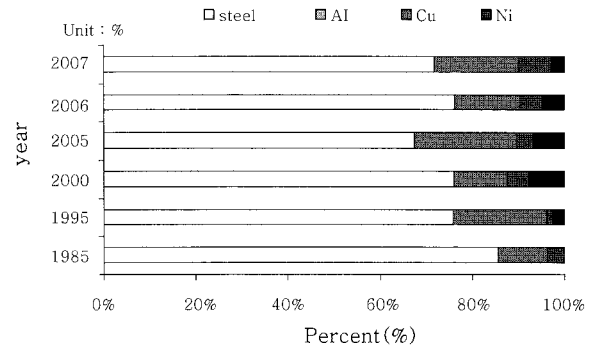


그림 6 연도에 따른 발표논문에서 사용된 소재의 비율

표 3 발표 논문에 사용된 열원의 분류 기준

ARC	SAW, GMAW, GTAW, FCAW, SMAW
Resistance	Spot, Butt, Flash Butt
Brazing	진공 Brazing, 마이크로 Brazing, 레이저 Brazing, Brazing
EB	전자빔 용접
Laser	Laser, Laser 클레딩, 하이브리드, 파이버, Nd:yag 등
Friction	마찰교반용접, 마찰교반점용접, 마찰교반조인트
ect	Ultrasonic, Diffusion, 폭발, 접착제, 클레딩, Magnetic Pulse Welding

표. 3에 나타내었다.

1985년도와 2005년도에 발표된 논문에서 사용된 열원을 각각 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 두 그림의 비교를 통해 여전히 용접에서의 주열원은 Arc라고 고려되어지나 연구 비중은 63%(1985년)에서 44%(2005년)로 감소 추세를 보이며 laser나 마찰을 적용하는 다양한 열원에 대한 관심이 증가했다는 것을 알 수 있다.

4.1 Arc

Arc를 열원으로 사용해서 발표된 논문들 가운데 SMAW(Shield Metal Arc Welding), GMAW(Gas Metal Arc Welding) GTAW(Gas Tungsten Arc

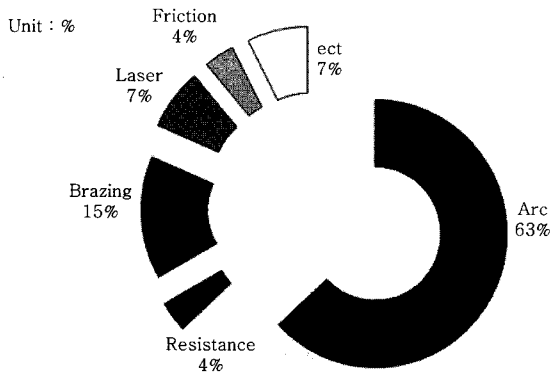


그림 7 1985년 학회지에 발표된 논문 중 사용된 열원의 분류

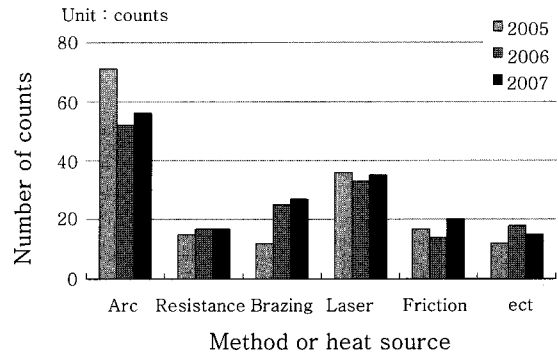


그림 9 최근 3년간 논문에 발표된 열원의 분류

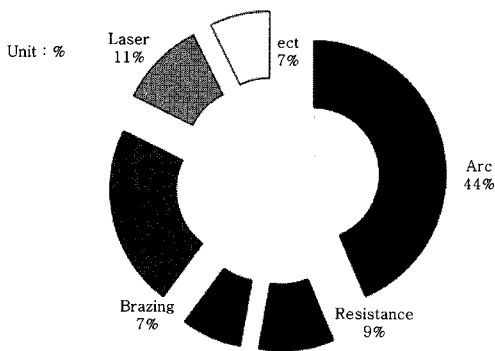


그림 8 2005년 학회지에 발표된 논문 중 사용된 열원의 분류

Welding), FCAW(Flux Cored Arc Welding) 등이 많이 이용 되었다. SMAW은 해양 구조물의 용접에 많이 적용되고, GMAW(Gas Metal Arc Welding) 용접법의 개선, 전류 형태 및 극성의 영향, 용접성의 평가, 열 영향부의 크리프 거동 그리고 응력 부식균열의 역학적 평가 등에 관한 논문이 발표 되었으며 최근에는 하이브리드 용접에 이용 되어 관심이 크게 증가 하였다. GTAW는 고전류에서의 키홀 용접에 대한 기초 연구, 하이브리드 용접에서의 이용 등이 있었다. FCAW은 flux의 재료, 필렛 용접부의 각 변형에 미치는 응용 효율, 열적 특성에 관한 논문 등이 발표되었다.

4.2 Resistance

저항열을 이용한 용접은 사용빈도에 비하여 발표되는 논문의 수가 크게 변화하지 않았으나 전체 발표 논문의 증가로 인해 그 비중은 증가하였다.

최근에 발표된 논문은 표면조도처리 된 강관의 점용접, ERW 후 강관 용접부의 기계적 열처리, 생산라인의 용접장비 등에 관한 논문이 있었다.

4.3 Brazing

산업체에서의 브레이징에 관한 이용의 증가로 발표되는 논문의 수는 증가하고 있으나 전체 발표 논문의 증가에 비해 부족하여 그 비중은 감소 하였다.

브레이징의 최근 관심은 마이크로조이닝에서 사용되는 정밀브레이징이다. (그림 9) 과거에는 주로 Cu소재의 접합에 관한 논문이 발표 되었으나 최근에는 마이크로조이닝에 이용되는 레이저 브레이징이나 필러 등을 이용한 극세선의 브레이징에 관한 논문이 발표 되었다.

4.4 Laser

Laser 용접은 고가의 제품의 접합에 주로 이용되어 왔으나 최근 전자제품이나 자동차의 차체 조립 공정의 일부에 레이저 용접이 이용되고 있고 조선에서도 일부 도입되고 있다. 또한 원자로 등에서도 안전성을 고려하여 이용하고 있다. 또한 레이저의 우수한 용접성과 우수한 정밀성 때문에 마이크로조이닝에도 일부 이용되고 있다.

4.5 Friction stir welding

Friction 용접은 2000년 이후 마찰교반 용접이 연구되기 시작했고 마찰교반 용접에 관한 관심이 본격적인 증가로 많은 논문이 발표되었다. 마찰교반 용접이 최근에 많은 연구가 이루어지는 이유는 비철 소재에 대한 우수한 접합성이다. Al/steel의 이종접합 또는 고강도강 접합에 FSW 적용이 시도 되고 있다. 상대적으로 경량화에 유리한 비철 소재의 용접성이 향상됨에 따라 경량화 비철소재의 적용 또한 증가한 것으로 사료된다.

5. 맺 음 말

지난 20년간의 용접연구 동향에 대해 용접학회 학술

발표대회의 통계적 분석을 통해 2000년 이후의 용접학술대회 발표건수의 증가 추세가 둔화되고 있으며 이는 용접 관련 연구에 대한 관심의 감소가 원인으로 사료된다. 또한 용접관련 젊은 연구자의 수가 점점 줄어드는 추세이며 이는 미국을 비롯한 세계적으로 공통적으로 겪고 있는 문제이다. 따라서 이를 해결하기 위해서는 저변확대를 위한 노력이 이루어져야 할 것이다.

또한 주제별 분류 통계 분석을 통해 연구 동향의 변화가 새로운 용접 process로 변화가 이루어지고 있음

을 알 수 있었으나 전통적인 Arc 를 이용한 용접이 여전히 주된 열원으로 이용되고 있다.

참 고 문 헌

1. 대한용접학회지 20년간 학술활동 현황분석, -편집위원회(주관 박정웅), 2003년 9월
2. 대한용접학회 특별강연 및 학술발표대회 개요집 1985년 1권,2권, 1990년 1권,2권, 1995년 1권, 2권, 2000년 춘계, 추계, 2005년 춘계, 추계, 2006년 춘계, 추계, 2007년 추계, 2008년 춘계



- 신병현(申秉鉉)
- 1985년생
- 동의대학교 재료금속공학부
- 금속재료, 용접공정
- e-mail : lemonhouse947@nate.com



- 박영도(朴泳度)
- 1970년생
- 동의대학교 신소재공학과
- 용접야금, 저항용접, 수소취성
- e-mail : ypark@deu.ac.kr