

용접 접합 기술 발전 동향

대한용접학회지 20년간 학술활동 현황 분석

편집위원회(주관 박정웅)

1. 서 론

대한용접학회 창립 20주년을 맞이하여 지금까지 용접학회지에 게재된 논문 및 특집(해설)에 대한 연구동향을 분석해 봄으로써 현재 용접기술분야에 있어서 회원들의 관심분야 및 연구동향을 분석하는 것은 매우 의미있는 일이라 할 수 있겠다.

연구동향의 분석은 창간호부터 2002년도까지의 논문을 10년 단위로 분류하여 정리하였으며, 창간호부터 1991년도까지의 연구동향은 용접학회지 10권 4호 “우리나라 용접기술의 연구동향”의 자료를 참고하였다. 용접기술이 다양한 산업현장에 광범위하게 적용되고, 각종 신기술이 용접분야에 접목됨으로써 연구분야를 체계적으로 분류하는데 다소 어려움이 있었으나 이를 크게 ①용접프로세스, ②용접야금, ③용접역학 및 설계, ④용접시공 및 검사로 분류하고 이를 다시 세분화하여 정리하였다.

2. 용접학회지 발자취 및 현황

대한용접학회지의 연간 발행횟수는 1983년(창간)~1985년: 2회/년, 1986년: 3회/년, 1987년~1995년: 4회/년, 1996년~2002년: 6회/년 이며 2003년에 9월호를 증보하여 2004년부터 3월호와 9월호를 증보하여 8회/년을 출판할 예정으로 점진적으로 증가하고 있다. 또한 2000년부터 영문학회지를 2회/년 출판하여 한국의 용접기술을 국제사회에 널리 알리도록 노력하고 있다.

용접학회지의 특집기사는 초창기에는 “해설”이라는 제목으로 다루었다가 1994년부터 “특집”으로 명칭을 바꾸어 게재되었다. 1992년부터 2002년까지의 해설 및 특집기사는 표. 1과 같다. 특집기사는 1997년부터 체계적으로 각 분야 및 그 시기에 필요기술에 대한 기술현황 및 연구동향을 분석하여 게재됨으로서 그 분야에 관심있는 연구자들에 많은 도움이 되었다고 생각된다. 또한 현재 학술진흥재단 “등재학술지”로 선정되어 본 학회지의 학문적 가치를 인정받았으며 보다 나은 학술지를 만들기 위해 노력하고 있다.

3. 연구분야별 동향

3.1 전체분야별 연구추이

그림. 1은 창간(1983년)이후 현재까지의 각 분야/년

표 1 해설 및 특집의 주요주제

년도	편수	주제
1992	5(해설)	1)용접구조론(Ⅲ), 2)철강재료의 고상접합, 3,4) Brazing기술의 기초와 설계(Ⅰ,Ⅱ), 5)알루미늄 합금의 용접특성(Ⅰ)
1993	8(해설)	1)알루미늄 합금의 용접특성(Ⅱ), 2)Brazing기술의 기초와 설계(Ⅲ), 3)용접부검사법으로서의 Acoustic Emission, 4)폭발접합의 원리와 특성, 5)용접자동화를 위한 시각센서, 6)용접생산성 향상을 위한 용접기술의 발전방향, 7)Brazing기술의 기초와 설계(Ⅳ), 8)GT Membrane형 LNG선의 용접기술과 용접부 강도
1994	4(특집)	1)알루미늄 용접, 2)레이저 가공, 3)강구조물의 용접기술, 4)용접부의 비파괴 시험
1995	4(특집)	1)용접규격·품질·안전성, 2)구조물 경년열화와 수명평가, 3)지상식 LNG탱크의 용접기술, 4) Soldering기술의 문제점과 연구개발 동향
1996	6(특집)	1)용접용 로봇시스템 및 응용, 2)구조용재료 및 부품의 표면특성향상 기술, 3)용접전원 시스템의 개발 동향, 4)제어계측 및 모니터링, 5)건축 및 교량 강구조물의 설계 및 용접시공, 6)특수재료의 접합 및 접합에 의한 재료의 복합화
1997	6(특집)	1)컴퓨터를 이용한 시뮬레이션, 2)저항용접기술의 개발동향, 3)용접잔류응력에 관한 공학적 접근, 5)재료의 표면개질 기술, 6)고상용접의 원리와 응용
1998	6(특집)	1)용접재료의 연구개발 동향, 2)고속촬영에 의한 용접현상 해석, 3)용접아크 현상해석 및 응용, 4)Power Plant설비의 보수용접 5)선체구조의 피로강도 평가 기술, 6)용접자동화용 센서의 응용기술
1999	6(특집)	1)재료의 플라즈마 표면처리 기술 2)철단 산업분야에서 브레이징 기술응용, 3)폐속시작기술, 4)저항 접용접의 재료 및 장비개발 동향, 5)철강 및 비철합금의 고온균열 현상, 6)자동차 차체 공정기술
2000	6(특집)	1)압력용기용강 및 그 용접성, 2)레이저 재료 가공기술, 3)테일러드 블랭크 기술의 현황과 전망, 4)용접품질 감시기술의 동향, 5)전자빔 용접의 원리와 응용, 6)항공·우주산업에서의 용접·접합 기술
2001	6(특집)	1)마이크로 접합의 응용, 2)AI합금의 용접기술, 3)고주파 저항 용접, 4)고에너지 밀도 가공공정, 5)용접부 결함평가 방안, 6)마찰교반 접합
2002	6(특집)	1)차세대 디지털 선박건조공법, 2)용접강도, 3)최신 솔더링기술 및 신뢰성, 4)용사기술, 5)용접기술의 응용, 6)소재 및 용접기술의 개발동향

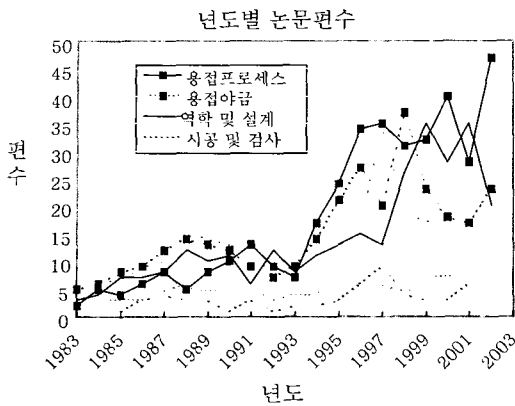


그림 1 년도/분야별 논문편수

도별 연구편수를 보여주고 있다. 1993년을 기점으로 학회지 연간 출판횟수가 증가하면서 연구논문편수가 급격히 증가하고 있다. 연구논문 추이를 보면 용접프로세스와 용접역학분야의 논문이 꾸준히 증가하고 있는 것을 알 수 있다.

그림. 2는 창간이후 현재까지의 각 분야별 연구편수를 비율로 보여 주고 있으며, 이를 다시 10년 간격으로 구분하여 그림.3은 1983년~1991년, 그림. 4는 1992년~2002년간의 분야별 비율을 보여주고 있다. 최근 10년간의 연구분야를 보면 생산성 향상을 위한 용접자동화에 힘입어 용접프로세스 분야가 10% 증가하였음을 알 수 있다. 반면 용접야금분야의 논문이 10% 감소되었다.

3.2 용접프로세스

그림. 5는 용접프로세스 분야에 있어서 각 년도별 세부분야에 대한 논문편수를 보여주고 있다. 용접프로세스 분야에서는 최근 10년간 Laser용접, 압접법, Brazing 접합법 그리고 용접자동화와 관련된 연구가 활발히 진행되고 있는 것을 알 수 있다.

일반용접법은 CO₂용접법, FCAW, GMAW, 서브머지드용접법 등을 의미하며, 이 용접법은 일반 산업현장

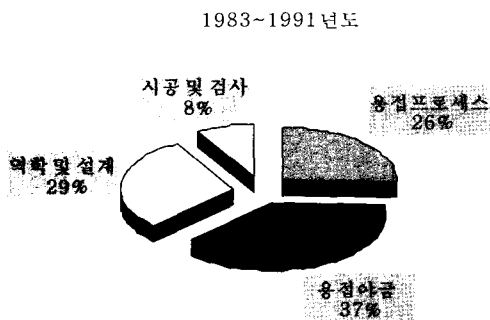


그림 2 '83년~'02년간의 분야별 추이

에 널리 사용하고 있는 것으로서 매년 꾸준히 발표되고 있다.

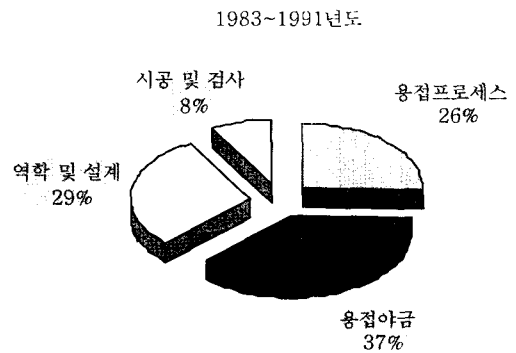


그림 2 '83년~'02년간의 분야별 추이

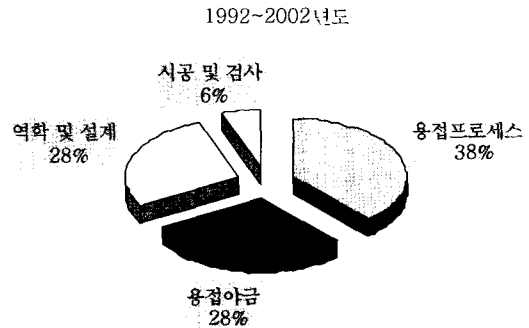


그림 3 '92년~'02년간의 분야별 연구추이

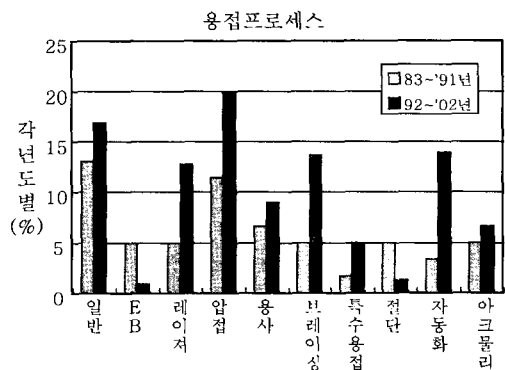


그림 4 용접프로세스분야의 연구추이

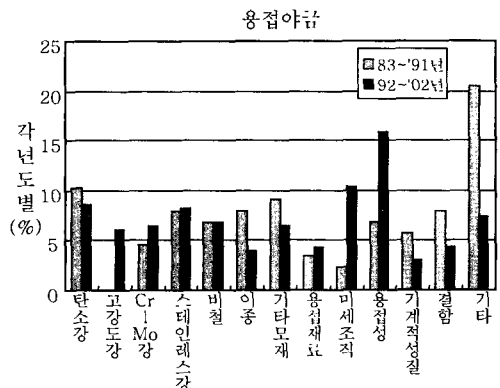


그림 5 용접야금분야의 연구추이

Laser용접은 전자제품과 같은 고가의 제품생산에 적용되었던 용접프로세스가 자동차, 조선, 가스용기 등과 같은 분야에 적용되고 있으며 논문내용을 보면 3차원 유도해석, AI에 대한 용접성, 선박용 고장력강의 레이저저용접부 잔류응력 특성 등 다양하며, 관련된 논문편수는 2002년까지는 2~3편/년이었던 것이 2002년에 13건으로 급증하고 있다.

압접법은 점용접, 고주파저항용접, 마찰용접 및 확산용접 등에 관한 연구가 활발히 발표되고 있다. 연구내용은 인서트합금을 이용한 확산접합, 이중재 마찰접합, 아연도금된 고장력강의 점용접, 점용접시 최적조건, Transition Insert를 이용한 알루미늄과 강판의 저항접용접, 초내열합금 CMSX-4의 액상확산접합 등이 발표되었다.

Brazing 접합법은 산업체의 수요증가로 꾸준히 증가하는 추세이며, 내용을 보면 동-스테인레스의 접합부의 계면조직과 접합강도, 레이저 브레이징의 열유동해석, Pb Free 솔더 접합부의 강도, 솔더접합부의 열피로수명 예측, Gullwing 리드의 3차원 솔더 접합부의 형상 예측, Sn-Ag-X계 무연솔더 접합부의 미세조직 및 전단강도 등이 발표되었다.

자동화관련 연구는 주로 센서 및 자동제어기술로서 아크용접프로세스의 자동화 및 공장의 자동화(로봇화)에 관련된 주요 분야이다. 연구내용을 보면 소모성 전극을 이용한 아크센서 개발, 피지제어를 이용한 아크센서, 레이저 변위센서를 이용한 용접선 검출, 선박 소조립 공정용 로봇 자동교시 시스템, 시각센서를 이용한 용접선 자동 추적시스템, 전류면 격차를 이용한 아크센서, 용접선 자동추적을 위한 이중 전자기센서 개발, 용접부 형상계측을 위한 주사형 시각센서 설계 등이 발표되었다.

특수용접으로 분류된 영국TWI에서 개발된 마찰교반 접합법에 대한 연구는 신접합공법으로 2002년 4건의 논문을 시작으로 선박용 고장력강 및 AI합금의 역학적 특성과 미세조직의 연구 등 꾸준한 연구성과가 기대되는 분야이다.

3.3 용접야금

그림. 6은 용접야금 분야에 있어서 각 년도별 세부 분야에 대한 논문편수를 보여주고 있다. 용접야금 분야에서는 고강도강, 미세조직, 용접성 그리고 기타 부분인 특수 금속에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 것을 알 수 있다. 여기서 기타금속에 속하는 것은 용접프로세스 중에서 Brazing접합법, 용사에 사용된 재료가 대부분이다.

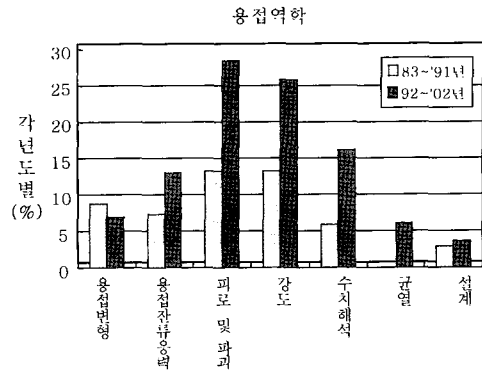


그림 6 용접역학의 연구추이

고장력강의 연구내용은 용접성, 고조질강의 입열량에 따른 미세조직, 용접특성, 저온균열의 감수성, 모재와 용접부 특성, TMCP강의 용접후열처리 효과, 1패스 일렉트로가스 용접부의 조직 및 충격 등에 관한 연구가 발표되었다.

스테인레스강(SUS)의 연구내용은 내식성에 미치는 붕소의 영향, 균열성장, 후열처리의 영향, Plug 용접성, SCC 분위기의 파괴인성, 멤브레인형 LNG탱크의 저온강도 및 피로강도, 용접부의 금속학적 현상, 기계적성질에 미치는 질소 및 석출물의 영향, 결정립 성장 거동 예측 등에 관한 연구가 발표되었다.

Cr_Mo강의 연구내용은 용접부 연화특성, 피로균열 성장에 미치는 온도와 하중, 재현 용접부에서 최고가열 온도가 수소침식감수성에 미치는 영향 등에 관한 연구가 발표되었다. 화학조성, 결합, 미세조직 그리고 기계적성질에 관한 연구결과는 매년 발표되고 있으며, 용접성에 대한 연구는 용접프로세스와 연관되어 그 발표빈도가 비례적으로 증가하고 있다.

3.4 용접역학

그림. 7은 용접역학 분야에 있어서 각 년도별 세부 분야에 대한 논문편수를 보여주고 있다. 용접역학분야에서는 최근 피로 및 파괴, 강도 그리고 수치해석에 대한 연구가 활발히 연구되고 있음을 알 수 있다.

용접변형에 관한 논문은 기존에 소형시험편에서의 변형예측에서 벗어나 대형 강구조물의 변형예측에 초점을 맞추어져 있으며 주로 조선분야에서 활발히 연구가 진행되고 있다. 연구내용은 용접구조물의 변형 예측에 관한 연구, 강판의 초기부정이 용접변형 및 잔류응력에 미치는 영향, 정반의 지지조건이 용접면외변형에 미치는 영향, 등가하중업을 이용한 강구조물의 용접변형 해석 등에 관한 연구가 발표되었다.

용접잔류응력에 대한 연구내용은 수도용 대형강관의

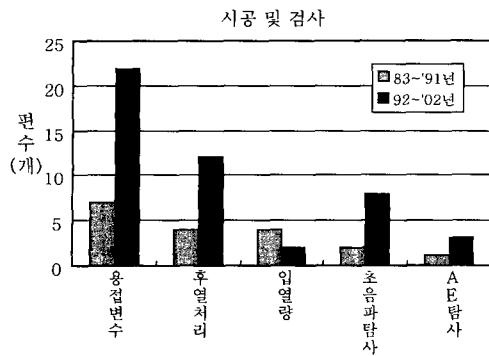


그림 7 용접시공 및 검사분야의 연구추이

용접잔류응력에 미치는 각장, 18% Ni마레이징강의 용접잔류응력에 미치는 후열처리, 인공신경망을 이용한 아크용접의 잔류응력 예측, 파이프용접에서 기계적 잔류응력 이완법에 대한 연구, Spot용접 이음재의 응력분포 및 부식피로, 크롬탄화물 용사피막의 접합력 및 잔류응력 측정, 상수도용 도복장강관의 용접 및 외부하중에 의한 응력특성, HDM에 의한 STS304용접부의 잔류응력 해석 등에 관한 연구가 발표되었다.

피로 및 파괴분야에 대한 연구내용은 이중재 접합부의 응력집중, 선체용접부의 피로강도 해석법, 강용접부의 응력부식크랙 감수성 평가, LNG선 INVAR강 LAP 이음부의 피로강도, 가열급냉에 의한 저탄소강의 피로강도 향상, 피로균열 진전할 때 용접잔류응력의 재분포, SS400 용접부의 표면 피로균열 거동, SP-SSRT법에 의한 TMCP강 용접부의 응력부식균열 평가, 표면실장용 IC 패키지 솔더 접합부의 열피로 수명 예측, 내열강 용접부의 피로강도 평가를 위한 Advanced Small Punch 시험에 관한 연구 등에 관한 연구가 발표되었다.

용접부 강도에 대한 연구내용은 용사피막의 강도, 동-스테인레스강 브레이징 접합부의 접합강도, Sn-Pb 솔더 접합부의 초기강도, 용접 구조물의 압축강도의 간이 해석에 관한 연구, Al 6061합금의 마찰교반접합시 접합부의 역학적 특성 등에 관한 연구가 발표되었다.

용접수치해석에 대한 연구내용은 후판용접부의 역학적 특성, 용접잔류응력 해석을 위한 Heat Input Model개발, 리저 브레이징에서의 열유동 해석, VOF 방법을 이용한 GMA용접의 금속이행에 관한 동적해석, 열탄소성해석에 의한 원주용접 원통관의 잔류응력 예측과 영향, 자동요소생성법을 이용한 대형 용접구조물 해석, 동적하중하에서 용접이음부의 강도적 특성에 대한 온도상승을 고려한 열탄소성 해석 등에 관한 연구가 발표되었다.

3.5 용접시공 및 시험검사

그림. 8은 용접시공 및 시험검사 분야에 있어서 각 년도별 세부분야에 대한 논문편수를 보여주고 있다. 용접시공 및 검사분야에서는 모든 분야에서 전반적으로 꾸준히 연구되고 있음을 알 수 있다.

용접변수에 대한 연구내용은 GMAW 공정중 용접변수들이 용접폭에 미치는 영향, 실험계획법에 의한 용사분말의 용사변수 최적화, 다구찌법을 이용한 AISI 4130재료에서 EBW공정의 용접변수의 영향, 임의의 비드형상을 위한 최적 공접변수 예측 알고리즘 개발, 유전자 알고리즘을 이용한 가스메탈 아크용접공정의 최적조건 선정 등에 관한 연구가 발표되었다.

용접후열처리 및 용접입열량에 대한 연구내용은 AH36-TMCP강의 용접후열처리 효과, 아크용접 입열량의 최적화, 18% Ni마레이징강의 용접잔류응력에 미치는 후열처리, 후판용접부의 응력제거 열처리시의 역학적 거동에 관한 연구 등에 관한 연구가 발표되었다.

용접부 검사에 관한 연구내용은 AE에 의한 소형벨브 스플 마찰용접 품질 검사, 초음파 계측에 의한 Spot용접품질의 비파괴 평가, 초음파시험에 의한 용접결함의 종류판별 과 크기산정, 맞대기용접부의 인공경합에서 초음파의 전파특성, 온도구배가 있는 필렛용접에서 초음파의 전파와 탐촉자의 위치결정, 패턴인식기법을 이용한 저항 점용접의 실시간 품질판단 등에 관한 연구가 발표되었다.

4. 맺 음 말

회원 여러분들의 용접학회지에 대한 끝없는 관심으로 창간 이후 20년 동안 질적, 양적으로 많은 발전을 한 것은 사실이다. 하지만 대한용접학회는 이제 도약을 위한 발판을 다졌을 뿐 아직도 가야 할 길은 멀다고 생각된다. 아직도 선진 원천기술의 응용에 관한 연구가 많은 비중을 차지하고 있어 원천기술개발에는 미흡한 부분이 많다. 이를 보완하기 위해서는 산학연과 연계된 장기적이며 과감한 연구개발이 필요하다고 생각된다. 끝으로 국제학술지에 논문게재시 대한용접학회의 연구 논문을 적극적으로 인용하여 대한용접학회의 기술력을 세계에 널리 알리는 것도 학회를 발전시키는 하나의 방법이라고 생각한다.