

# 용접기술의 현황과 전망



최 병 길(KIMM 용접기술연구부)

- '75 서울대학교 조선공학(학사)
- '81 미 오하이오주립대 용접공학(석사)
- '93 영남대학교 정밀기계과(박사)
- '84 산업인력관리공단, 기계(용접)기술사
- '75-현재 한국기계연구원 책임연구원

## 1. 용접기술의 특징

용접은 용가재를 사용하거나 혹은 사용하지 않은 상태에서, 열 또는 힘을 가하여 용접부위에서 재료를 접합하는 것이라고 정의 되어진다. 한편 넓은 의미에서 용접은 2개이상의 부재를 연속성이 있도록 접합시키는 것(용접)외에 절단, 용사, 접착(adhesive bonding) 등을 포함하기도 한다. 최근에는 용접 대상의 재료가 금속재료 뿐만 아니라 세라믹등 무기재료 그리고 플라스틱 등의 유기재료까지 확장되었고 이종 재료간의 용접도 중요한 의미를 갖게 되었다.

재료를 가공하여 부분품을 생산하고 부분품을 조립하여 하나의 기능을 갖는 제품이 생산된다. 이 때 용접기술은 열처리, 표면처리, 소성가공, 주조기술 등과 함께 중요한 생산기술로서 재료의 가공과 부분품의 조립 등에 적용된다.

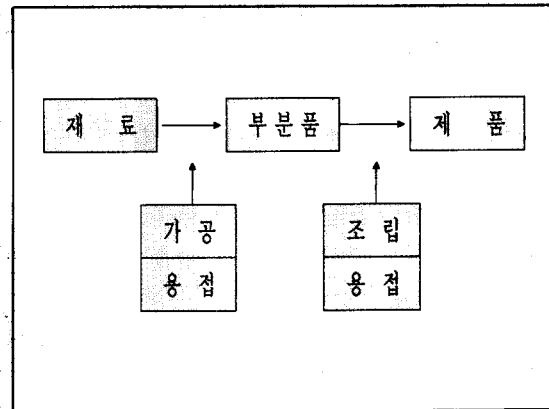
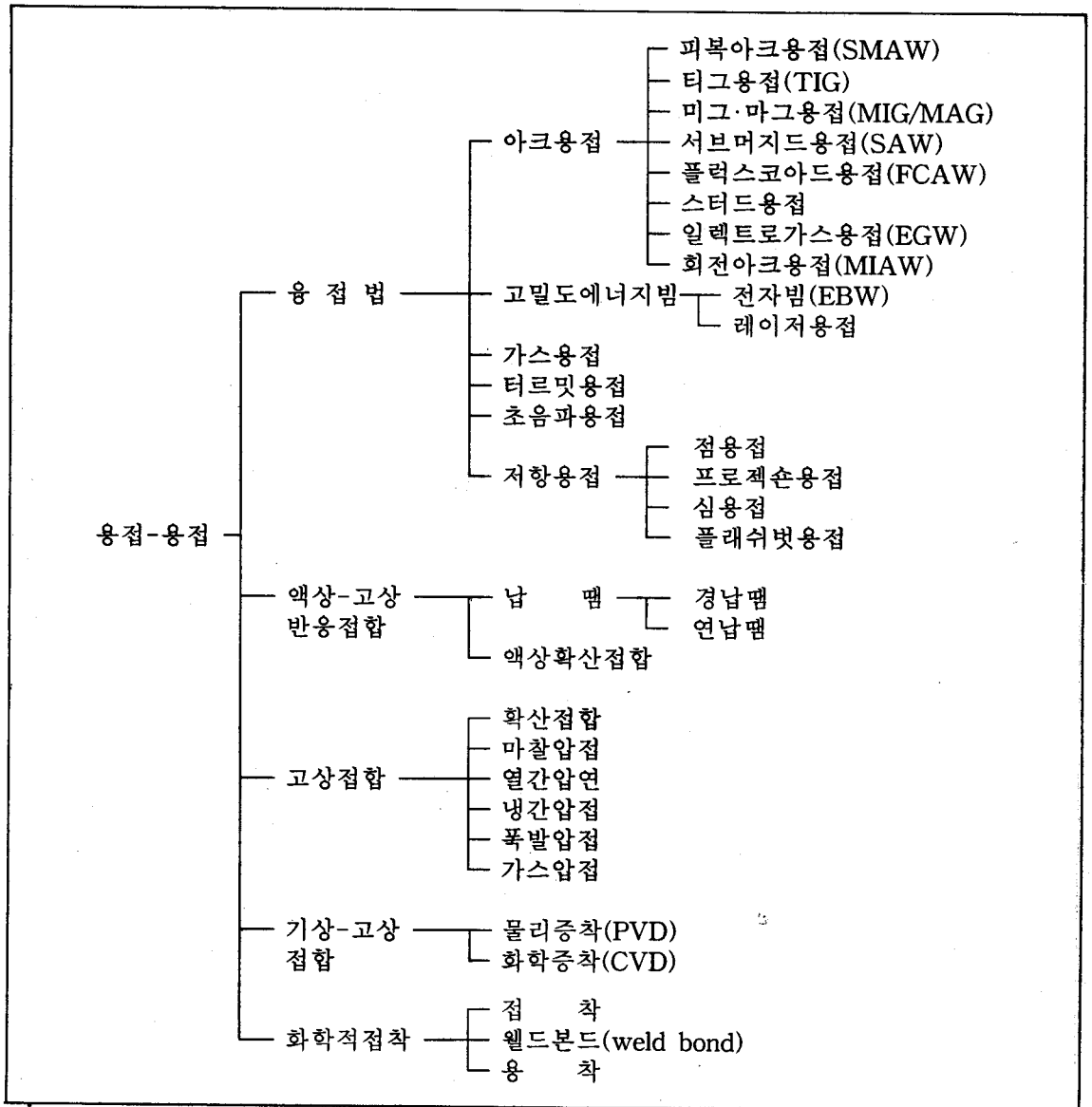


그림 1. 제품의 완성단계별 용접기술의 적용

용접은 열 또는 힘을 가하는 형태, 접합부의 형태 등에 따라 좁은 의미의 용접인 재질적 결합과 화학적 접착으로 분류될 수 있으며, 재질적 결합은 다시 용접법, 액상-고상 반응접합, 고상접합, 기상-고상 접합 등으로 나뉘어진다. 용접법은 가장 널리 쓰이는 용접법으로, 2개의 부재사이의 서로 접하는 부분이 용융 금속으로 채워진다. 액상-고상 반응접합법은 용접되는 모재금속보다 낮

은 용접의 용융금속을 접합면 틈에 채우고, 원자끼리의 확산침투에 의해 2개의 금속을 접합시킨다. 고상접합은 접합면 사이에 용융금속을 채우지 않고, 접합면의 산화피막 등을 없앤 후 소성변형이나 원자확산을 통하여 원자결합을 이루게 한다. 기상-고상 접합은 기상중의 원자, 분자, 이온 등을 고체(기판)에 부착시키고 그 결과로 막이 생기게 한다.

표 1. 에너지 이용방법에 따른 용접법의 분류



용접기술은 리벳이나 볼트 등 기계적 체결법에 비하여 장점으로는

- 이음형상과 구조가 단순하고 자유스럽고
- 재료가 절약되며
- 이음시 인력절감이 가능하고 생산성이 높으며
- 기밀성을 확보할 수 있으며
- 이음부의 효율이 우수하며
- 이음부의 판두께에 제한이 없다.

반면 단점으로는

- 용접열에 의해 재질변화가 일어나며
- 변형과 잔류응력 발생이 일어나며

- 재료에 따라 용접이 곤란한 경우가 있으며
- 용접부에 결함이 발생한 경우 용접부가 파괴될 수 있으며
- 품질검사가 기술적으로 곤란한 경우가 있다.

용접기술은 생산기반기술로 분류되고 있는 반면, 일반인들에게는 기능적인 차원으로 인식되고 있다. 그러나 용접공학은 물리, 화학등 기초과학 그리고 전기공학, 금속공학, 기계공학을 바탕으로 하고 있다. 나아가 용접기술은 기계, 조선, 토목, 건축, 전기 및 해양공학등 광범위한 분야에 응용되고 있다.

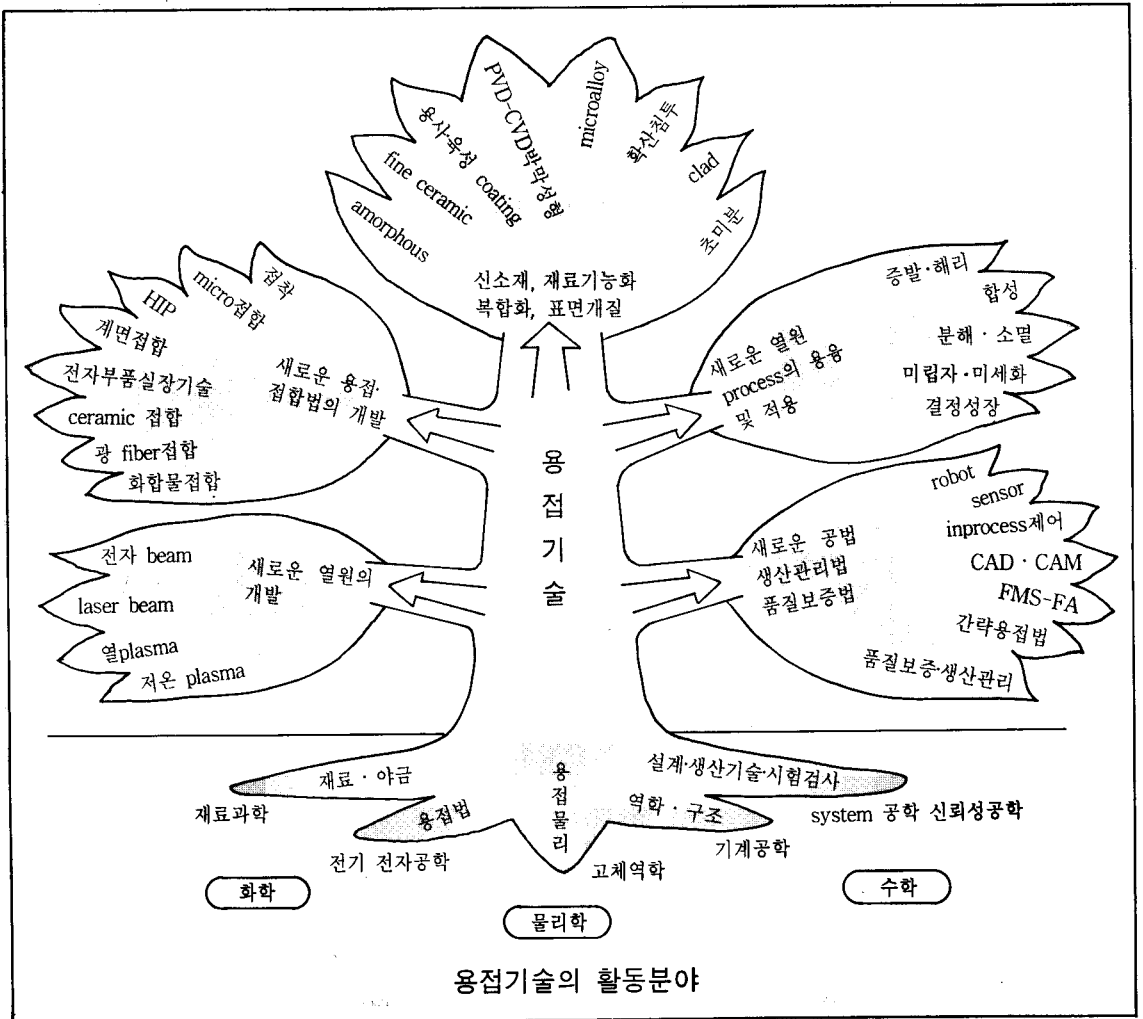


그림 2. 용접기술 계통도

용접기술은 수많은 제품을 제조하는데 필요한 중간 가공기술이며 용접기술 자체가 곧 최종제품으로 연결되는 것은 아니다. 단, 용접기술 자체가 제품으로 연결되는 산업은 용가재 등 용접재료산업 그리고 용접기 산업 정도이다. 용접기술은 조선, 자동차, 플랜트, 발전설비, 가전제품, 철구조(예, 건축, 교량) 산업등 전분야에 걸쳐 있다. 심지어 용접기술과는 거리가 멀게 느껴지는 제지산업분야에서도 부품의 수리나 임펠러의 마모부분을 보수용접하기 위하여 용접기술이 적용되고 있다.

한편 약 20만명의 용접사가 다양한 제조업분야에서 종사하고 있다.

또한 용접기술은 오래전부터 사용되어온 기술이고 수많은 기업의 생산활동과 직결되기 때문에, 나아가 용접부가 파괴될 때 큰 재해를 일으키기 때문에 규격 활용의 중요성이 크게 대두되고 있다. 국제표준화기구(ISO)의 규격제정위원회는 약 200여개가 있는 바, 용접관련 규격이 전체 규격의 약 3%에 달하는 분량으로부터 용접관련 규격이 다른 기술분야에 비하여 5~6배 높음을 알 수 있다.

## 2. 용접관련 공업현황

### 2.1 철강공업

용접재료의 대량소비는 선박, 차량, 압력용기, 철골, 증전기 등 철강의 가공제품을 중심으로 이루어져 왔다. 철강재료 수요는 중화학공업의 발전과 더불어 꾸준히 증가하여 왔으며, 국내 생산량도 1985년 13.5백만톤으로 부터 1996년 36.8백만톤으로 증가하여 왔다. 국내 철강업체는 2000년까지 12.1백만톤의 설비 증설을 계획하고 있다.

한편 용접용으로 주로 많이 쓰이는 판재의 일본제품과의 제품수준은 표3에서 보는 바와 같이 아직 격차가 있으며, 앞으로 기술개발이 이루어져야 한다.

### 2.2 용접재료

표 2. 우리나라의 철강재료 수급전망

구분 내수,수출		년도		
		1995	2000	2004
수요	내수	36,014	39,706	42,431
	수출	8,011	12,097	11,951
	합계	44,025	51,803	54,382
공급	생산	37,772	46,785	49,021
	수입	7,253	5,018	5,316
	합계	44,025	51,803	54,382

표 3. 구조용 강판의 우리나라 기술 수준

항목	국내소비량(천톤)	한 국 일 본	
		한	일
자동차용 고장력강판 (인장강도 kgf/mm <sup>2</sup> )	2,600	80	120
조선용강판 (인장강도 kgf/mm <sup>2</sup> )	1,280	60	60
냉연 표면처리 강판 고부가가치 강제 생산비중 (%)	1,744	7 26	10 35

용접재료 수요는 철강재료 수요와 일정한 관계가 있으며, 우리나라의 경우 용접재료 생산량은 조강생산량의 0.45% 정도이다. 용접재료의 종류도 용접자동화의 추세에 따라 탄산가스 용접용 솔리드와이어 및 플라스코아드 와이어등 자동용접용 용접재료가 크게 증가하고 있다.

현재 국내 용접재료 생산업체에 의해 생산되는 품종은 피복아크 용접봉이 11종, 탄산가스용 솔리드 와이어가 4종, SAW용 플라스 및 와이어가 22종, MIG/TIG용이 29종, FCAW용 와이어가 36종이다. 용접재료는 LNG/LPG 저장탱크용 용접재료 개발과 원자력발전소 건설용 용접재료의 품질보증 체계가 자리잡고 이에 따라 용접재료 제조업체의 기술수준이 크게 향상되었다.

표 4. 주요 용접재료의 생산추이

종 류		1985년		1990년		1995년	
		수량(톤)	비율(%)	수량(톤)	비율(%)	수량(톤)	비율(%)
피 복 봉		163,200	45.3	98,589	24.5	77,322	21.8
MAG	Solid	110,211	30.6	187,681	46.6	145,297	40.9
	FCW	32,395	9.0	64,965	16.1	85,009	23.9
	소 계	142,606	39.6	252,646	62.8	230,306	64.8
TIG / MIG		-	-	-	-	5,380	2.2
SAW	Wire	-	-	-	-	4,200	4.5
	Flux	-	-	-	-	10,920	1.7
	소 계	4,680	5.6	7,800	6.5	15,120	6.2
합 계		83,925	100	120,510	100	245,228	100

자동용접용의 주용접 재료인 CO<sub>2</sub> 아크용접용 솔리드 와이어의 소재는 품질의 우수성이 국제적으로 인정을 받고 있으며 신선가공, 열처리, 도금 방법, 대용량포장 방법의 개발과 개선은 와이어 공급의 재현성, 우수한 작업성에 반영되어 로봇용접에 있어서 품질의 우수성이 충분히 발휘되고 있다. 서브머지드 아크용접용 고온 소결형 플라스의 다양한 종류 제품개발과 품질 안정은 고전류, 후판용접의 능력향상과 신뢰성을 향상시켜 조선, 교량, 고층건물등 중구조물의 설계와 시공의 신뢰성 향상에 크게 기여 하였다. 표면경화 육성 용접은 피복 아크용접에서 서브머지드 아크용접과 FCW 용접으로 이행하였고 FCW에 의한 Wear Plate 제작은 클래딩 이중구조용 소재 개발의 길을 열어 놓았다. 경도 Rc 60 이상의 고경도 CrC, WC계 내마모용 FCW의 국산화는 시멘트,

증장비, 발전설비, 제강설비 등의 주요 마모부분의 정확육성 보수 용접재료로서의 위치가 확고해 질 것이다. 한편 수송기기, 생활용품, 건축자재, 초저온 구조물용의 소재분야에서 알루미늄의 수요는 급속히 증가하고 있으나 알루미늄 합금용 용접재료는 수입품에 의존하고 있다. 스테인리스강용 용접재료는 피복아크용접재료, MIG, TIG, FCW등 양과 질에 있어서 다양한 수요에 부응하고 있다. 연납 및 경납 재료와 플라스는 초정밀용과 복합소재용을 제외하고는 품질과 종류에 있어서 국제 경쟁력을 갖추고 있다.

### 2.3 용접기

피복 아크용 교류아크 용접기는 1960년대부터 가내공업 수준의 영세업자에 의하여 생산되어 왔으나, 1970년대 이후 중화학공업의 육성에 힘입어

수요가 크게 증가하였음에도 용접기 제조기술은 크게 발전하지 못하였다.

GMAW 및 GTAW 용접기는 1974년 외국제품을 모방하여 제작되었으나, 품질보증 수준의 용접기는 1980년 이후에 가능해졌다. 초기에는 가포화 리액터형의 용접기가 국내에서 개발되었으나 1980년 이후 SCR 위상제어 방식의 GTAW 용접기가 개발되어 현재에는 SCR 방식이 주로 사용되고 있다. 한편 탄산가스 아크용접기가 1977년에 모방단계로 개발되었으며 1985년 이후에 품질보증 수준으로 제품의 수준이 향상되었으며 SCR에 의한 위상제어 방식의 용접기가 생산현장에 투입되어 있다. 최근에는 인버터형의 탄산가스 용접기의 모방생산이 이루어지고 있으며 자체기술 개발에 의한 국산화가 상당한 수준으로 진행되어 있다. 또한 서브머지드 아크용접기는 1982년에 모방 제작되어 구조 수항특성형의 대용량 용접기가 국내에 보급되고 있다.

표 5. 용접기 수급현황 (1994)

(단위:백만원)

구분		아크용접기	저항용접기	가스절단기
공급	생산	63,000	18,500	5,000
	수입	21,000	7,600	4,000
소계		84,000	26,100	9,000
수요	내수	82,000	23,100	9,000
	수출	2,000	3,000	-
소계		84,000	26,100	9,000

## 2.4 용접시공

### 2.4.1 조 선

일반적으로 조선 건조작업은 5% 부재제작, 45

~50% 선각조립, 30~35% 의장, 9~12% 도장 및 기타 3%로 구성되며, 선각조립 및 의장작업의 대부분이 용접작업을 통해 이루어진다. 선박구조는 크게 곡선부분이 많은 선수, 선미 부분과 직선부분이 많은 중앙부로 나누어지며, 세부적으로 주판과 종방향(Longi.재) 골재와 횡방향(Trans.재) 골재로 구성되어 있다. 주판과 종(혹은 횡방향) 골재와의 기본조합을 블록(혹은 패널)이라 불리우며, 이들 블록의 조합에 의해 대형 선박이 완성된다. 선박 블록의 조립은 각기 작업단계에 따라 다음과 같이 나누어진다.

- 소조립단계 : 평판에 Frame을 취부하는 정도의 조립(5t~10t정도)
- 중조립단계 : 소조립이 완료된 것을 결합하여 선박의 한 평면 정도까지의 조합(50t정도)
- 대조립단계 : 중조립한 것을 입체적인 블록으로 조립하여, 공장내 혹은 옥외에서 이루어진다(300t~500t 정도).
- 탑재단계 : 대형크레인에 의해 선대 혹은 도크에서 대조립, 단계서 완성된 대형 블록을 결합한다.

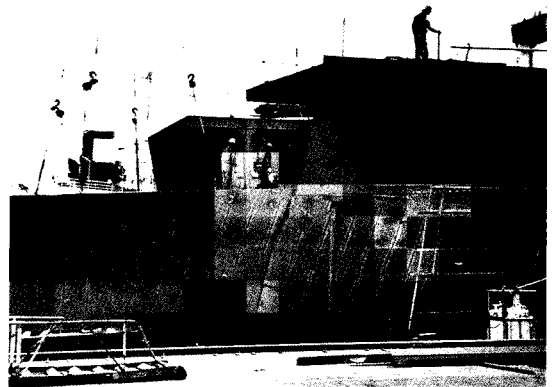


사진 1. 조선용접

이러한 기본적인 선체조립 이외에도 선박운항에 필요한 각종 의장, 배관 및 기기설치 작업이 동시에 이루어지므로서 최종 선박이 만들어진다. 선박의 건조시 가장 중요한 생산기술중의 하나인 용접분야는 타 분야의 용접과 비교할 때 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 주문생산으로 매척마다 선종, 선형이 다른 다품종 소량생산이다.
- 용접장이 대단히 길다(예 : VLCC 약 80만m 정도)
- 용접부위가 다양하기 때문에 자동화하기 어렵다.
- 높은 수준의 용접품질이 요구된다.
- 용접 부재들이 대형이어서 Fit-up 조건이 정확하지 않다.
- 부재들이 대형이어서 운반이 힘들고, 고소작업이 많은 매우 위험한 작업들이다.
- 용접정의 80%가 필렛용접이다.

표 6. 각 용접자세별 용접장 길이 및 그 비

	Butt (%)	Fillet (%)
아래보기	8.9	-
수 평	5.4	67.8
수 직	2.0	12.4
위 보기	0.8	2.7
계	17.1	82.9

국내 대형조선소의 용접재료 사용측면에서 본 자동화율은 상당히 이루어져 대체적으로 95%에 이르고 있다(표 7). 용접기도 대체적으로 반자동 및 자동용접기가 많이 보급되어 있으며(표 8) 수동용접기중 일부는 gravity 용접용이다.

표 7. 국내 대형조선소별 용접재료 사용 (1995)  
(단위 : 톤)

	피복봉	Gravity	SAW	CO <sub>2</sub> +FCAW	자동화율(%)
A 사	200	600	600	3,400	95
B 사	140	1,030	890	5,100	98
C 사	500	1,430	920	4,900	94

표 8. 국내 대형조선소별 용접기 보유대수 (1995)

	수중용접기 (피복)	CO <sub>2</sub> , FCAW	SAW, MIG, STUD
A 사	2,770	600	450
B 사	2,950	890	910
C 사	3,990	920	1,560

### 2.4.2 자 동 차

1962년 처음 근대적인 부품 조립 생산으로 시작된 한국의 자동차 산업은 정부의 강력한 산업 육성정책에 따라 60~70년대에 걸쳐 외국모델 조립시대를 지나 1990년대에는 독자 모델 개발에 본격 나서는 비약적인 발전을 거듭하게 되었다. 1995년 현재 260만대의 자동차 생산과 수출 100만대를 넘어서고, 양적으로 세계 5대 생산국으로 진입하게 되어 우리나라 자동차 산업의 발전역사에 새로운 이정표를 세웠다.

자동차 공업에서의 용접은 주로 차체조립공정에서 많이 사용되고 있으며 전기저항용접, 아크용접, 레이저용접 등이 이용되고 있지만 특히 전기저항용접인 점용접이 그 대부분을 차지하고 있다. 차종에 따라 차이는 있지만 차체조립에서는 대당대개 3,500~4,000점의 점용접으로 이루어지며 두께 1.0mm 전,후의 얇은 철판을 점용접으로 연결해서 차체 강도를 유지하기 때문에, can의 seam 용접과는 달리 인간의 안전성을 요구하는 자동차 조립에는 큰 강도가 필요하므로 점용접의 신뢰성이 중요한 문제가 된다. 그러나, 실제 생산라인에서는 많은 수의 용접점을 전수검사하거나 파괴검사를 하는데는 시간이나 비용상 큰 제약이 따르므로 용접조건의 신뢰성을 통한 용접성 보장 즉 신뢰성 있는 고품질 용접장비의 사용, 용접조건의 data base화 확립 및 비파괴검사법 개발의 필요성이 대두된다.

한편 점용접기의 전원을 SCR 위상제어형에서 인버터 제어형으로 바꾸는 것에 대한 검토가 이루어지고 있다. 일본의 경우 점용접기 전체의 약

8%가 인버터용접기로서 그 적용부위는 차체의 하체구조에서 보는 여러접 용접구조, 대형 gun을 사용할 때 전력손실이 많은 부위 그리고 도어나 트렁크 뚜껑등 매끈한 외관이 요구되는 부위 등이다.

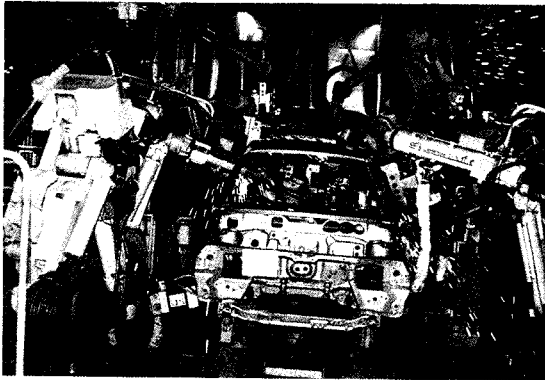


사진 2. 자동차 용접조립

### 2.4.3 철 골

건축철골은 건물의 고층화, 대형화 그리고 내진구조의 요구에 따라 그 수요가 꾸준히 증가하고 있다. 또한 교량용 거더 특히 box girder 타입의 구조가 국내의 사회간접자본 확충에 따라 활발히 제작 시공되고 있다. 이들 철골은 연강후판(10~50mm) 구조로 되어 있으며, 이들 철골의 현장조립·용접을 최소화 하도록 설계가 이루어진다.

또한 건축철골과 교량철골은 파손시 큰 인명파산업재해를 야기시키기 때문에 품질에 관한 규격이 엄밀히 적용되어야 한다. 국내 건설관리법이나 시행령도 품질향상을 도모하는 쪽으로 개정되어지고 있다. 품질향상은 품질균질화를 요구하고 있다. 최근 용접작업 등이 3D 업종으로 인식되면서 용접사의 숙련도가 떨어지고 있기 때문에 용접자동화에 대한 인식도가 높다.

철골이나 교량 등의 용접자동화는 철구조 제작공장의 자동화와 현장 조립의 자동화로 나누어진다. 이러한 용접자동화는 단순히 자동용접기나 이송장치의 도입만으로 이루어지는 것이 아니고, 용접공정 전후 작업과 관련한 시스템을 구축하는

것이다. 용접자동화의 목적을 이룩하기 위하여서는 현재의 생산상황을 생산성, 품질수준 및 작업환경 측면에서 분석하여야 한다. 그 후 시스템을 구성하는 기계요소의 기능을 여러가지 측면에서 검토하여 자동화기기 및 주변장치를 선정한다. 철구조 제작공장의 자동화는 재료절단, 홈가공 및 용접 그리고 필요에 따라 검사 등 공정의 자동화에 의하여 이루어진다. 각 공정에서 자동화 도입시 고려할 사항은 표 9에서 보는 바와 같다.

표9. 용접 자동화 도입시 Check Point

	공정	확 인 사 항	정 도
1	절단	절단치수, 절단부재의 수, 재료의 표시, 절단변형	±1mm, 2/1000
2	홈가공	베벨각, 루트높이, 가스노치, 청소상태	±2°, 0.3mm
3	부재 공급	부재공급, 이송능력, 지그공급, 용접재료	
4	조립·용접	조립오차, 용접조건, 각장	0.5mm, 0.2mm
5	후처리, 검사	후열처리, 비파괴검사, 후속가공, 도장	

## 3. 용접기술의 발전 전망

### 3.1 국내 용접관련 요소기술 수준

우리나라는 1970년 이후 중화학공업의 육성책에 힘입어 공업이 양적으로 급속히 팽창하였고 이에 따라 용접기술의 수요도 급속히 증가하여 왔다. 그러나 용접기술은 양적인 팽창에 치우쳤고, 산업의 인프라 스트럭처 구축이나 요소기술의 자립기반은 아직 다져져 있지 않다. 이러한 현상은 국내 용접기술이 국제화시대의 영향을 받아 선진국의 과정 즉 양에서 질의 변천단계 나아가 미래단계의 용접기술이 도입되는 반면 과거기술이나 쇠퇴기의 기술이 공존하는데 기인한다.



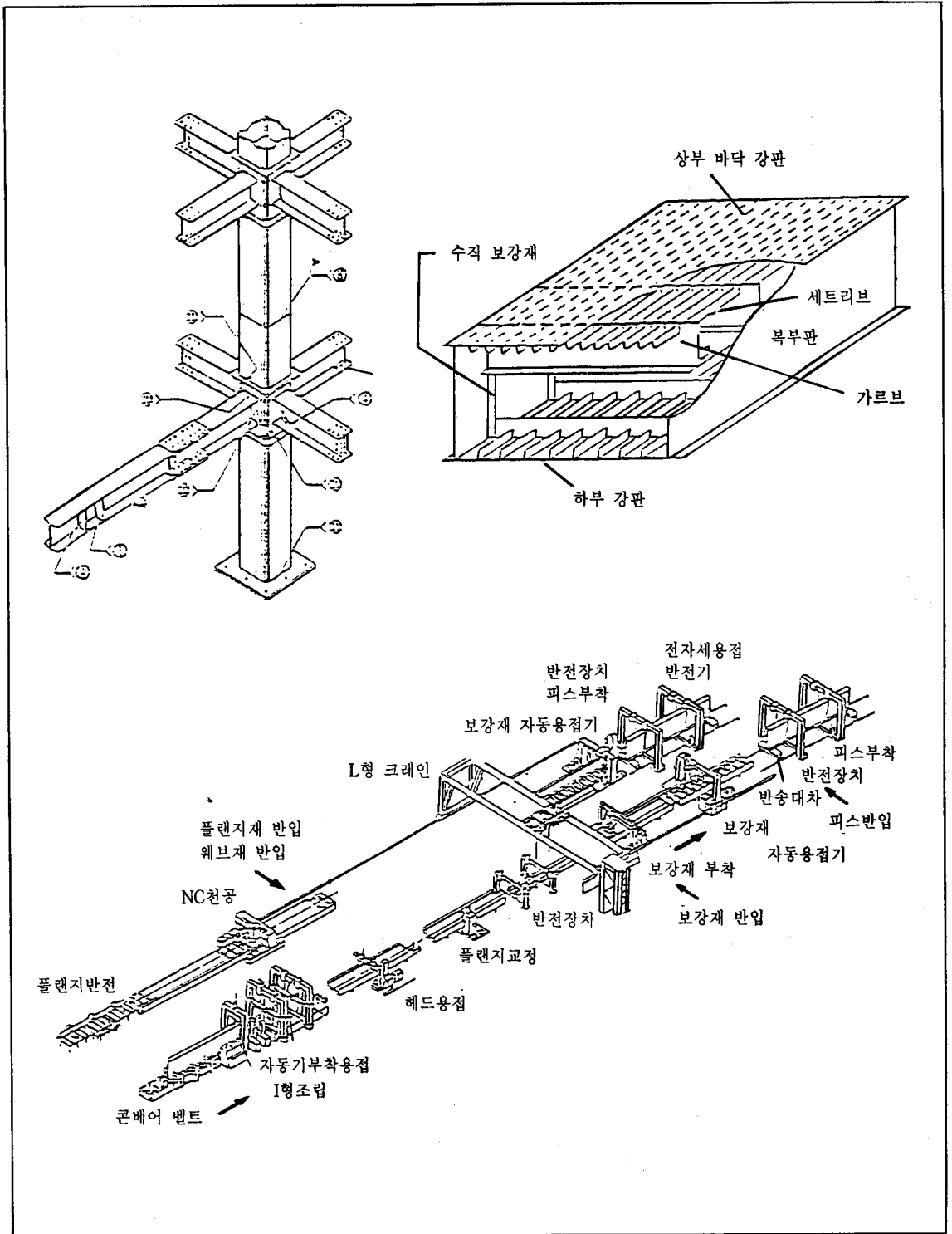


그림 3. 건축 및 교량 철골구조와 조립 line

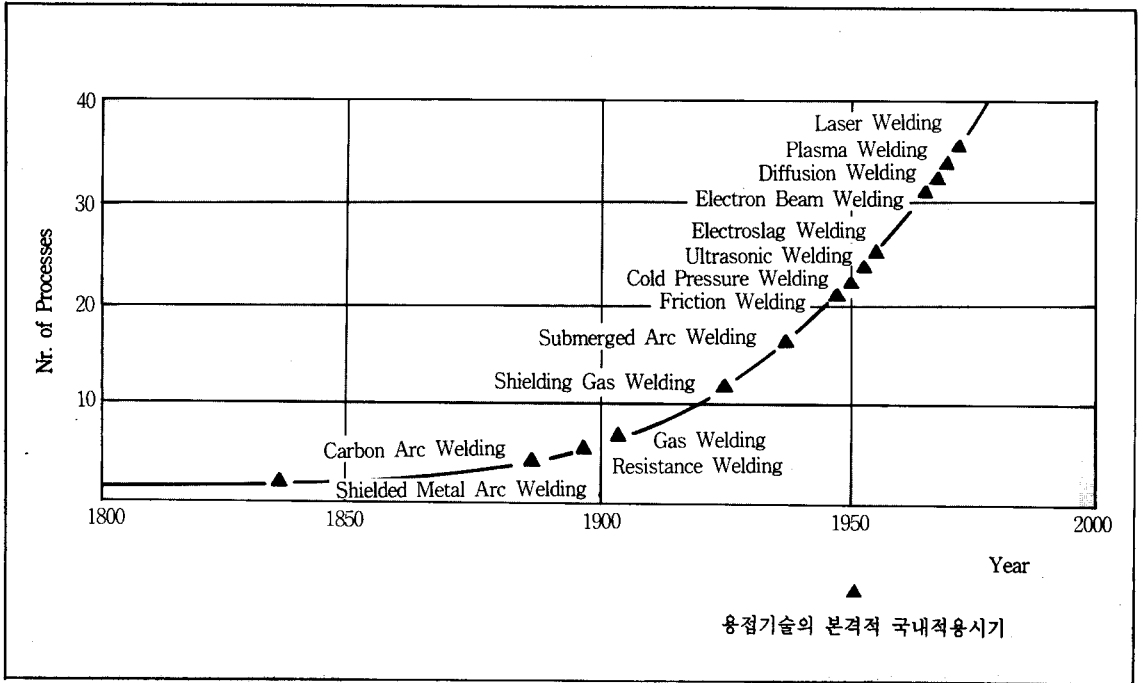


그림 4. 용접법의 세계적 발달 과정

### 3.2 용접기술 개발 방향

선진국에서의 용접기술 개발 방향은 용접품질 확보와, 용접사의 기량으로부터 벗어남 및 용접작업 환경개선으로 정리되어 진다. 용접 품질확보는 ISO 9000 시리즈 및 ISO 3834 등에 의하여 규정되어 지고 있다. 반면 탈기능화 용접은 용접사의 절대수 부족에 기인하는 바 용접자동화와 컴퓨터 활용에 의하여 상당부분 가능하게 된다. 한편 용접작업 환경개선에 관한 것 역시 용접작업이 3D 업종으로 인식되는 것에 기인하는 바, 위험환경에서의 작업을 최소화 하도록 안전보호 장구의 개발이나 환경개선(예, 현장 시공환경의 공장화 및 냉난방 시설 설치)을 꾀하는 것이다. 이러한 기술은 수혜자의 수나 범위 등에 따라 기업 주도형 연구과제와 공공기술 성격의 과제로 나누어 기업과 공공기관이 역할을 분담하여 개발되어야 한다. 예로서 박판 알루미늄 합금 용접용

교류 MIG 용접기는 용접기 업체에서 용접기술의 용접법, 재료, 강도 및 시공분야별로 개발되어져야 한다.

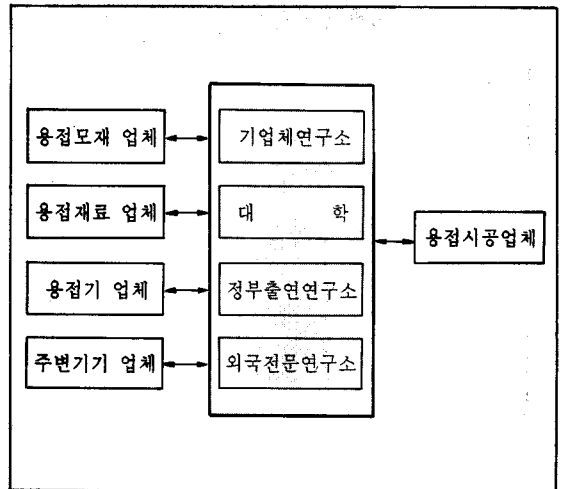


그림 5. 용접기술 분야의 학·연·산 협동

표 10. 용접산업 기술수준

대분류	소분류	핵심요소기술명	가중치 (%)	최 고 선진국명	한국수준 (%)	기술수명주기	
						최 고 선진국	한 국
용 접 공 정	아크용접	파형 제어	20	일본 독일 일본 일본 독일 독일 일본	20	성숙단계	신생단계
		용접기 성능시험	20		30	최 퇴 기	"
		변압기 설계	20		80	성숙단계	"
		원격 제어	10		70	"	"
		Wire 송급	5		60	최 퇴 기	"
		파형 영향 연구	5		20	성숙단계	"
		보호가스 영향 연구	5		20	"	"
	아크안정성 연구	15	20	"	"		
	저항용접	Timer 설계	50	일본 독일	30	성숙단계	신생단계
		주전력 제어	50		60		
절 단 기	NC 제어 기술	100	일본	50	성숙단계	신생단계	
자 동 화	용접 robot	20	일본 독일 독일 독일 독일 독일 일본	70	성숙단계	신생단계	
	광학식 센서	10		20			
	아크 센서	10		30			
	용접전문가 시스템	20		10			
	성능 시험	10		60			
	주변기 설계 기술	10		10			
	적용 기술	20		60			
Brazing	Filler 합금 설계	10	독일 독일 미국 미국 일본 일본	20	성숙단계	신생단계	
	Filler 합금 형상 제조	15		10			
	진공 Brazing Cladding	15		10			
	진공 Brazing 진공로	20		20			
	분위기 Brazing 가열로	20		20			
	분위기 Brazing 제품 설계	20		10			
Laser빔 용접	발전기	30	독일 독일 일본 독일	10	성 장 기	신생단계	
	광학계	10		10			
	자동화	30		30			
	공 정	30		30			
전자빔 용접	전자총	30	독일 독일	10	성 장 기	신생단계	
	공 정	70		30			
육성용접	육성용접 기술	60	일본 일본 일본	60	성 장 기	신생단계	
	열처리 기술	20		60			
	기계 가공	20		60			
용 사	Plasma 용사	20	미국 미국 미국 미국 미국	5	성 숙 기	신생단계	
	HVOF	20		5			
	계면 특성 분석 기술	20		10			
	Cermet 계 기술	20		5			
	금속 계 기술	20		10			

대분류	소분류	핵심요소기술명	가중치 (%)	최 고 선진국명	한국수준 (%)	기술수명주기	
						최 고 선진국	한 국
용접재료	아크용접재료	Flux 분석기술	5	일본	5	성숙	신생
		용적이행에 관한 연구	5	"	10	"	"
		용접금속의 야금학적 연구	10	"	50	"	성장
		금속-Slag 간 반응연구	10	독일	10	"	신생
		Fume 발생에 관한 연구	5	"	5	"	"
		용접속도 개선을 위한 연구	10	"	60	"	성장
		Spatter 발생에 관한 연구	10	일본	40	"	"
		기공발생에 관한 연구	10	"	30	"	"
		균열발생에 관한 연구	10	"	60	"	"
		기계적성질 개선을 위한 연구	10	"	50	"	"
		비드형상 개선을 위한 연구	5	"	30	"	"
		Data Base화 연구	5	"	10	성장	"
용접강도	용접강도	잔류응력 평가	10	일본	20	성숙	신생
		용접변형제어	10	"	20	"	"
		소성거동	5	"	10	"	"
		좌굴거동	5	"	10	"	"
		파리역학	10	독일	20	"	"
		피로강도	20	"	20	"	"
		Creep 특성	5	"	10	"	"
		인성/강도	10	"	50	"	성장
		안전성 평가	25	"	10	"	신생

대분류	소분류	핵심요소기술명	가중치 (%)	최 고 선진국명	한국수준 (%)	기술수명주기	
						최 고 선진국	한 국
용접시공	일반사항	용접규격의 국제화 연구	40	독일	30	성숙단계	성장단계
		용접관련 공인시험검사 체제 연구	20	"	30	"	"
		용접기술자/기능사 교육체제 연구	20	"	30	"	"
		용접감리체제 연구	20	"	30	"	"
	일반기술	용접품질관리 (용접품질보증)	10	독일	40	성숙단계	성장단계
		안전위생 (유해가스) (분진) (전기적안전성) (눈 및 피부보호)	10	"	10	"	신생단계
		용접설계	10	일본	30	"	성장단계
		손상해석 (소재평가) (설계평가) (용접평가)	15	"	30	"	"
		손상방지 (열화도 평가) (강도평가) (비파괴평가) (용접평가)	30	독일	40	"	"
		보수용접 (결합분석) (현장용접)	15	독일	50	"	"
		비파괴검사	10	일본	50	"	"

## 참 고 문 헌

1. 통상산업부(주관기관:한국기계연구원), 용접 기술 개발 및 지원을 위한 발전전략 수립에 관한 연구, 1995. 4
2. 손병영외, 용접기술현황, 대한용접학회지 제10권 (1992) 4호
3. 일본 (주)산업기술서비스센터, 신판접합기술 총람, 1994
4. 조규호, 21C 자동차 산업의 전망, 1995 대한용접학회 춘계학술발표대회 특별강연
5. 대한용접학회 선박생산기술연구회 용접분과위원회 - 용접기자재 현황, 1996