

**解 說**

大韓熔接學會誌  
第11卷第4號 1993年12月  
Journal of the Korean  
Welding Society  
Vol.11. No.4, Dec., 1993

## 용접 생산성 향상을 위한 용접기술의 발전 방향

김 희 진\*

### Trend of Welding Technologies for Improving Welding Productivity

H. J. Kim\*

#### 1. 노동 생산성

제조업에 종사하는 기업의 능력을 평가할 때 가장 보편적으로 사용되고 있는 척도가 생산성의 비교이다. 생산성이란 「일정한 재화(財貨)를 생산하는 데 필요한 생산요소(원료, 설비, 노동력 등)가 어느 정도 유효하게 사용되고 있는가?」하는 것을 말한다. 이를 보다 구체적으로 표현하기 위하여 生産에 투입된 재요소(Input)에 대하여 그 결과로써 산출된 생산량(Output)의 비를 수치화하게 되는데, 이 수치를 상대기업 또는 상대 국가의 수치와 비교하여 자기의 능력을 평가할 목적으로 주로 사용된다.

노동 생산성은 생산요소로써 노동력을 기준으로 할 때 나타나는 수치로써, 이에는 종업원 1인당 매출액, 종업원 1인당 생산량, 종업원 1인당 부가가치액 등이 있다. 한편 생산요소로써 설비를 기준으로 할 때 나타내는 수치는 설비 생산성인데, 이는 기업의 연간 부가가치액을 설비 투자액으로 나누어 백분율로 나타낸 것이다. 따라서 장치 산업이라고 지칭되는 제철, 석유화학 산업 등에서는 설비 생산성이 중요시 되지만, 노동 집약적인 산업에서는 노동 생산성이 보다 적합한 평가의 척도가 되는 것이다.

표 1은 韓·日간 제조업 노동 생산성을 종업원 1인당 부가가치 기준으로 비교한 것인데, 이 표에서 보듯이 우리나라 제조업의 노동 생산성은 1987년도에 일본의 32%에 불과하던 것이 매년 향상되어 그 격차가 줄어 왔지만, 아직도 (1990년도 기준) 일본의 절반 수준에 머무르고 있음을 보여주고 있다. 따라서 우리 제조업의 경쟁력 강화를 위해서는 앞으로 노동 생산성을 향상시키려는 노력을 계속 하여야 할 필요가 있으며, 이를 위해서는 생산성 향상을 위한 기술개발, 노동장비(종업원 1인당 자본 정비액) 제고 등 기업의 투자전략이 양적 확대에서 질적 개선으로 전환될 필요가 있음이 지적되고 있다.

그런데 제조업 중에서도 용접관련분야, 특히 용접 시공분야는 노동집약 산업을 대표할 정도로 인건비 비중이 매우 높아 그와 같은 노력이 보다 절실히 요구되고 있는 분야이다. 따라서 본 해설에서는 과거

표 1 韓·日간 제조업 노동 생산성 비교<sup>①)</sup>

(단위: 만달러)

년 도	'87	'88	'89	'90	'91
한국(A)	1.33	1.82	2.36	2.65	2.99
일본(B)	4.14	5.09	5.07	5.08	-
A/B	0.32	0.36	0.47	0.52	

\* 제조업체 종업원 1인당 부가가치 기준

\* 정희원, 생산기술 연구원

10여년동안 용접 생산성 향상을 위해 추진된 연구 개발 성과를 기술하고, 이를 토대로 현재 그리고 앞으로 용접시공관련 기술자에 필요로 하는 기술분야가 무엇인지를 제시하고자 한다.

### 2. 용접 생산성 비교

용접 시공 분야의 생산성을 의미하는 용접 생산성은 「용접사 1인당 소비하는 용접 재료의 량」으로 수치화 될 수 있는데, 이는 용접 시공분야의 노동 생산성을 비교 평가하는 척도로 사용되고 있다.

표 2는 한국과 일본의 용접 생산성을 「용접사 1인당 용접 재료 사용량」으로 비교해 본 것이다. 이 표에서 보듯이 일본의 용접사는 연간 1.2 ton의 용접 재료를 사용하는데 반하여 한국은 약 0.6 ton으로 일본의 50% 수준에 머무르고 있어 우연치 않게 우리나라의 용접 생산성 수준이 전체 제조업의 노동 생산성 수준과 유사함을 보여주고 있다.

표 2 용접사 1인당 용접재료 사용현황 (1990년)

항 목	한 국	일 본
용접재료 생산량(A)	120,510 ton/년	402,496 ton/년
용접 기능자 수(B)	200,000명	350,000명
1인당 용접재료 사용량(C)	0.6 ton/년	1.2 ton/년

용접 생산성을 비교할 수 있는 또다른 척도는 합리화율이라고 하는 것인데, 이는 자동(SAW) 및 반자동(GMAW, FCAW) 용접 재료의 합을 전체 용접 재료에 대한 비율로 나타낸 것이다. 따라서 합리화율이 높을수록 수동용접에 대한 의존도가 낮아 용접 생산성이 높다는 것을 의미한다.

표 3은 한국과 일본에서 생산되고 있는 피복 아크, wire류, 서브 머지드 용접재료의 생산량을 백분율로 표시한 것인데 이 표에서 알 수 있듯이 한국의 경우 아직도 피복 아크 용접재의 생산량이 50%를 넘고 있어서 합리화율이 42%인데 반하여, 일본은 wire 용접재(GMAW 및 FCAW)가 전체의 63%를 차지하고 있어서 합리화율이 75%에 이르고 있다. 결과적으로 한국의 용접 생산성(1인당 용접 재료 사용량)이 낮은 이유는 아직 수동용접에 많이 의존하면서 용접의 반자동화 및 자동화로의 추진이 부진했기 때문이라고 하겠다.

표 3 용접재료 사용량에 의한 한국과 일본의 용접 합리화율(%) 비교

항 목	한 국	일 본
피복 아크 용접재료(A), %	58	25
wire류 용접재료(B), %	35	63
서브머지드 용접재료(C), %	7	12
합 리 화 율(B+C), %	42	75

그런데 일본이라고 하여 처음부터 wire류 용접재료의 사용량이 이와 같이 높았던 것이 아니고 (Fig. 1에서 보여 주듯이) 1980년 이후 그 사용량이 꾸준히 증가하고, 증가된 만큼 수동 용접재의 사용량은 감소하였다. 즉 일본에서는 이미 10여년 전부터 용접 생산성 향상을 위하여 수동 용접을 반자동 및 자동화 용접으로 꾸준히 대체 하여 왔음을 보여주고 있다.

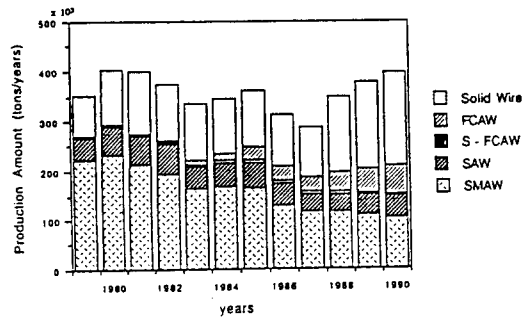


Fig. 1 Production Trend of Welding Consumables in Japan

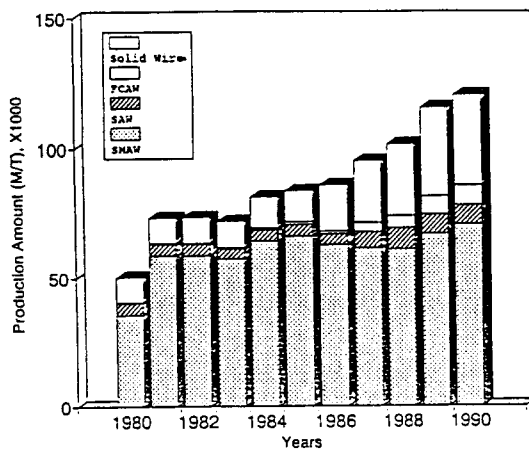


Fig. 2 Production Trend of Welding Consumables in Korea

한편 우리나라의 용접재료 생산 현황을 살펴보면 (Fig.2), 일본과는 많은 차이가 있음을 알 수 있다. 먼저 1990년도 전체 용접재료 생산량에 있어서 우리는 일본의 약 1/4 수준이지만 그 발전과정을 보면, 일본은 과거 10년동안 연간 30만~40만 ton 수준을 유지하고 있어 용접재료 산업이 정체되어 있음을 보여주는 반면, 우리의 경우는 생산량이 년차적으로 계속 증가하여 우리의 용접재료 산업은 과거 10년 동안에 2배이상 신장 하였음을 보여주고 있다. 그러나 그 신장 내용을 보면 wire류 용접재료(CO<sub>2</sub> solid 및 FCAW wire)가 급격히 증가함과 동시에 수동 용접 재료도 소폭이나마 계속 증가하여 왔다.

여기서 CO<sub>2</sub> solid wire의 국내 생산량이 1980년대 후반에 급격히 증가한 내용을 보다 깊이 살펴보면, 이는 국내 자동차 및 건설 중장비 산업의 발달로 이의 내수물량이 증가한 원인도 있으나 보다 큰 원인은 일본으로의 수출물량이 1985년 이후 급격히 증가하였기 때문일 것이다. 다시 말하면 우리나라에서도 과거 10년동안 전체적으로 볼때 wire류 용접재료의 생산비중이 높아지기는 하였으나, 그 주 원인이 수동용접의 반자동화 또는 자동화로의 대체에 있다기 보다는 CO<sub>2</sub> solid wire 수출물량 증대와 기존 수요의 증가에 있다고 판단된다. 따라서 용접재료별 생산비중을 보면 1990년 우리의 상황이 1980년도의 일본과 비슷하지만, 실제 수출물량등을 고려하면 수동용접 의존도는 1980년도의 일본보다 훨씬 높을 것으로 판단된다.

### 3. 업종별 용접 재료 사용 현황

일본에서 용접재료 생산동향(Fig. 1)을 자세히 분석해 보면, 피복 아크 용접 재료가 wire류 용접 재료로 대체되는 과정에서 두가지 방향으로 전개 되었음을 알 수 있다. 첫번째는 solid wire 를 확대 적용하는 방향이고, 두번째는 FCAW wire로 대체되는 추세가 바로 그것이다. 다시 말하면 CO<sub>2</sub> solid wire는 1980년에 27% 정도 사용하던 것이 이후 점차 증가하여

1990년에는 47%에 이르러 용접 재료 시장을 주도하게 되었고, FCAW wire는 1980년 이후 새로운 용접 재료로 출현하여 1990년에는 사용량이 전체의 16%를 차지하여 과거 10년 동안 용접재료 시장에 가장 큰 변화를 가져 온 재료가 되었다.

이와 같은 변화 과정을 업종별 용접재료 사용현황 (표 4)을 참고하여<sup>2)</sup> 살펴보면 solid wire는 자동차, 차량, 산업기계 및 전기기계 업종에서 주로 대체되었고, FCAW wire는 선박, 해양 구조물, 건축, 교량 업종에서 주로 대체되었다. 즉 제품이 비교적 작고, 하향 용접이 가능하고, 특히 자동화 및 기계화 용접이 용이한 부문에서는 solid wire로 대체되었고, 제품이 크고 다층 용접 및 out-of-position 용접이 요구되는 업종에서는 FCAW wire로 대체되고 있음을 알 수 있다.

## 4. 구성비 변화의 배경

### 4.1 자동화 및 Robot化

과거 약 20년 동안 용접 시공분야에 가장 큰 변화가 있다면, 그것은 「기계가 또는 Robot가 사람보다 더 용접을 잘 할 수 있다」는 인식이 보편화 되었고 또 사실로써 증명되었다는 것이다. 처음 Robot가 제조업에 도입될 때는 주로 부품조립 또는 handling 등에 활발히 적용되었으나, 그 적용이 용접 분야로 확대 되는데는 어려움이 많았던 것으로 보인다. 그리고 Robot가 용접 분야에 적용됨에 있어서도 초기에는 주로 spot 용접 분야에만 적용되었고 아크용접 분야에까지 확대 적용된 것은 1980년 이후의 상황이다. Fig.3은 日本에서의 아크 용접 robot의 생산현황<sup>3)</sup>을 보여주고 있는데, 아크용접 Robot는 1980년대 중반 이후 본격적으로 생산 보급되기 시작하였음을 알 수 있다. 이후 그 생산량은 계속 증가하여 1989년에는 연간 약 9,000대가 생산되었고 그중 약 15 ~20% 정도가 수출되고 있다고 한다.

이상과 같은 아크 용접 Robot 의 보급 및 실용화는

표 4. 일본에서의 업종별 용접재료 사용현황 (%)

업 종	피복 아크 용접재료	Solid wire	FCAW wire	기 타
차량, 자동차	3.0	96.5	0.5	-
산업기계, 전기기계	12.0	73.0	3.0	(SAW 12.08)
선박, 해양구조물	35.0	6.0	43.0	(SAW 15.58)
건축, 교량	20.0	28.5	16.5	(SAW 34.52)

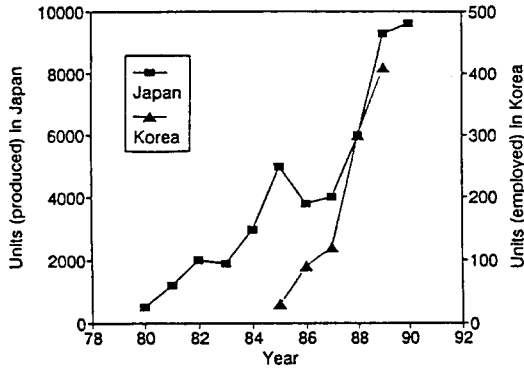


Fig. 3 Trend of Arc Welding Robotization in Japan and in Korea

CO<sub>2</sub> solid wire의 수요를 증가시키면서 용접재료 시장의 변화를 유도하였다. 그러나 용접의 Robot화가 1985년 이후 급격히 진행될 수 있었던 배경에는 성능이 우수한 용접용 Robot의 개발이 가장 주된 역할을 하였겠지만 한편으로는 1985년 이후 용접기 및 용접재료 등이 Robot화에 적합하도록 꾸준히 개발되었기 때문이기도 한데, 이에 대해서는 다음 절에서 자세히 설명 하고자 한다.

한편 국내의 상황은, Fig.3 에서 알 수 있듯이, 1985년에 용접 Robot가 보급되기 시작하여 1990년에는 약 400여대가 보급되고 있는 정도이다. 용접 Robot의 생산측면에서는 1986년 부터 선진국과의 기술제휴로 생산되기 시작하여 현재 5 ~6개 업체에서 생산에 참여하고 있지만 자체 Model없이 Controller 및 본체 부품을 수입하여 조립 생산하고 있는 실정이다.

이와 같이 한국과 일본은 용접 Robot화 및 자동화에 있어서도 현저한 차이를 보이고 있는데, 이러한 차이가 용접 생산성의 차이뿐만 아니라 합리화율의 차이로 일부 나타나고 있는 것이다.

#### 4.2 용접의 FCAW화

피복 아크 용접이 FCAW화 되는 가장 큰 이유는 용착속도의 증가에 따른 용접 비용의 절감에 있다. Fig.4는 용접 재료에 따른 용착속도를 비교한 것인데 SMAW와 비교하여 FCAW는 약 3배 정도의 용착속도를 얻을 수 있음을 알 수 있다. 문제는 FCAW wire의 가격이 피복 아크 용접봉보다 비싸고, CO<sub>2</sub> gas를 사용하기 때문에 추가적인 재료비가 소요된

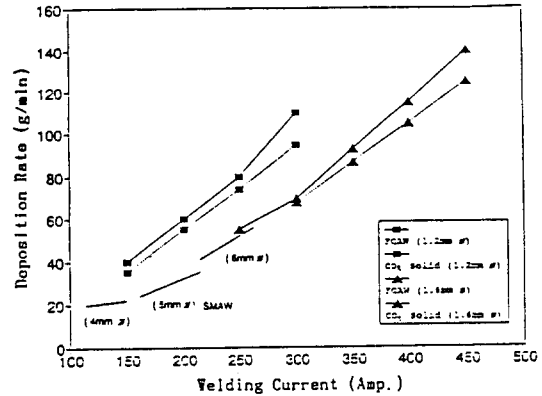


Fig. 4 Deposition Rate : Process Comparison

다고 하는 것인데 이를 종합하더라도 전체 용접 비용은 약 1/2 ~ 1/3 정도 절감할 수 있는 것이다.

한편 FCAW를 CO<sub>2</sub> solid 용접과 비교하여 보면, 하향 용접에 있어서는 비슷한 용착 속도를 보여주지만 vertical-up 용접에서는 용착속도가 2배이상 높고 spatter 발생이 적고 bead 외관이 좋기 때문에 다층 용접이나 out-of-position 용접이 많은 구조물에서는 FCAW가 보다 적합하다고 하겠다. 이에 따라 FCAW 용접은 1980년 이후 조선업계를 시작으로 점차 확대 적용되기 시작하였다.

국내 대형 조선업계에서도 생산성 향상 차원에서 수동용접을 FCAW로 과감히 대체하여 1980년 후반에는 FCAW 용접재료의 사용량이 전체 사용량의 약 50% 이상을 차지하게 되었다<sup>4)</sup>. 이와같은 FCAW 사용율은 일본 조선소보다 높거나 동일한 수준으로써 국내 조선업계의 반자동화율은 일본과 비슷한 수준에까지 도달해 있다고 하겠다. 그러나 국가적 차원에서 살펴보면 국내에서의 FCAW화는 조선 산업에만 완료된 상태일뿐 타산업 분야로의 전파가 매우 부진한 상황에 있다.

Fig. 5는 일본에서의 FCAW 생산량의 변화과정을 보여주고 있는데 일본에서도 초기에는 조선산업 위주로 FCAW화가 진행되다가 이 분야에서의 FCAW화가 완료된 시점부터는 타 산업분야로의 확대 적용되었음을 보여주고 있다. 앞으로 우리나라에서 FCAW화가 진행될 수 있는 분야를 표 4을 참고하여 찾아보면 이들 분야가 바로 건축 교량분야임을 알 수 있다.

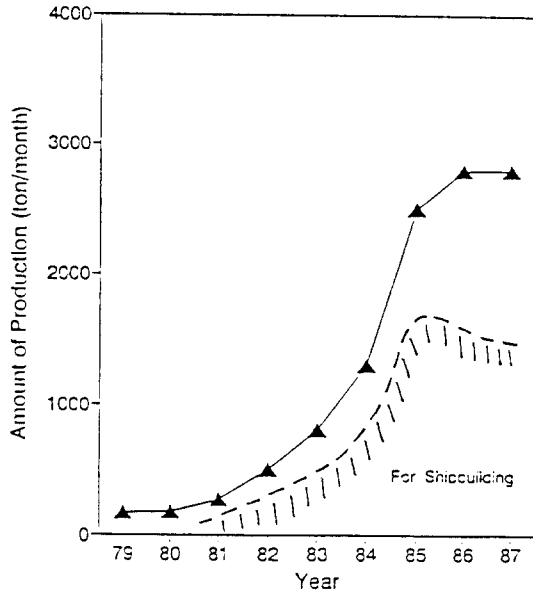


Fig. 5 Application of FCAW in Japan

## 5. 용접 생산성 향상을 위한 기술개발 동향

### 5.1 용접의 FCAW화를 위한 기술개발

초기에 개발된 FCAW 용접재료는 wire의 직경이 2.0 mmΦ 이상이었으며 적용분야는 Non-gas type (innershield type) 또는 hardfacing 용으로 한정되었다. 이렇게 개발된 FCAW wire는 하향용접 전용이었기 때문에 기존의 피복 아크 용접봉을 획기적으로 대체하지 못하였다. 이후 all-position 용접이 가능한 1.6 mmΦ 이하인 세경(small-diameter) FCAW 용접재료가 개발됨에 따라 본격적으로 SMAW를 대체하게 되었다.

세경 FCAW wire를 개발하는 과정에서 가장 핵심이 되는 기술은 (i) FCAW wire 를 경제적으로 제조하는 방법(manufacturing technology)과 (ii) 작업성이 우수한 flux 성분계 (flux formulation)을 개발하는 것이었다. 이에 대한 연구는 지금도 계속되면서 여러가지 특성을 가지는 FCAW 재료가 개발되고 있다.

#### Titania 계 FCAW wire

Titania계 FCAW wire는 flux의 주성분이 Rutile

이며 세경 wire로 제조되어 전 자세 용접이 가능토록 개발된 재료이다. 본 재료는 작업성이 우수할 뿐만 아니라, 용착속도가 높고, bead 외관 및 모양이 양호하다. 따라서 본 용접재료는 우수한 작업성 및 경제성 등으로 인하여 선박 건조에 가장 적합한 용접재료로 인정받고 있으며 최근에는 건축, 교량 및 일반 산업기계 제작에도 활발히 적용되고 있다.

국내의 FCAW화는 대형 수요가인 조선업계가 주도적으로 추진하였기 때문에 국내에서 생산되는 FCAW 용접재료가 선박건조에 적합한 특성을 가지는 방향으로 개발할 수 밖에 없었다.

그러한 결과 현재 국내에서 생산되고 있는 FCAW 용접재료는 대부분이 titania계이며 하진용접성 및 초층에서의 crack 저항성이 우수하도록 개발되어졌다. 그러나 앞으로 FCAW 용접재료의 사용범위를 타 분야에도 확대 적용하기 위해서는 용도에 따라 다양한 제품을 개발하려는 노력이 필요하다고 하겠다.

#### Fillet 용접 전용 FCAW wire

Fillet 용접은 교량 또는 선박 건조에 있어서 가장 많이 적용되고 있는데, 선박의 경우를 보면 전체 용접장의 약 90%를 차지하고 있다. 따라서 이 분야에서는 생산성 향상을 위하여 fillet 용접, 특히 horizontal fillet 용접의 자동화가 적극 추진되고 있는데, 문제는 이들이 사용하는 강재 거의 모두에 primer가 도포된 상태이기 때문에 일반 FCAW 용접재료를 사용하게 되면 porosity성 결함(pit, wormhole, blow hole 등)이 심하게 발생한다는 것이다.

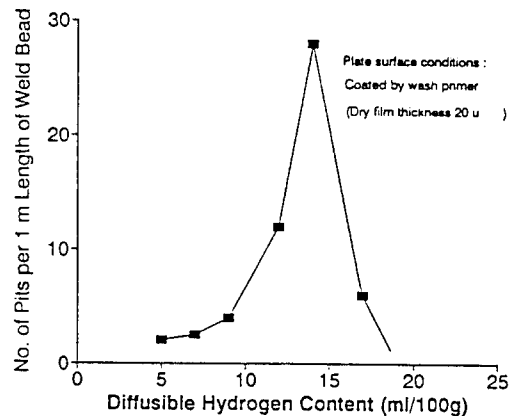


Fig. 6 Effect of Diffusible Hydrogen Content on Pit Generation

Fig.6는 용접재료의 확산성 수소량(diffusible hydrogen content)이 pit 발생에 미치는 영향을 보여주는 결과인데, 확산성 수소량이 5~20 ml/100g의 범위에서 심하게 발생한다는 사실을 보여 주고 있다<sup>5)</sup>. 그런데 titania계 FCAW 용접 재료는 확산성 수소량이 약 5~10 ml/100g의 범위에 있기 때문에 pit 발생이 심하게 나타날 수 밖에 없고, 고속용접을 하게 되면 그 발생 정도는 더욱 심하게 나타나서 이와 같은 용도로는 사용할 수 없는 것이다.

기존 FCAW 용접재료가 가지는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해서는 용접재료가 가지는 확산성 수소량을 5ml/100g 이하로 낮추든지 또는 20ml/100g 이상으로 높이는 방법을 생각할 수 있다. 이와 같은 사실을 근거로 하여 flux 성분계를 재 구성하여 개발한 제품이 바로 fillet 전용 용접재료인데, 이에선 확산성 수소량이 2~3 ml/100g 정도인 low-hydrogen type<sup>6)</sup>과 25 ml/100g 정도인 high-hydrogen type<sup>7)</sup>가 있다. 특히 high-hydrogen type의 내 pit성이 매우 우수한데, 확산성 수소량이 높기 때문에 저온 균열에 민감하여 고장력 강에는 사용할 수 없다는 문제점이 있다. 따라서 현재 fillet 전용 용접재료로는 low-hydrogen type이 상품화 되어 있는데, 내 pit 성은 다소 떨어지지만 용접조건, primer 상태 등을 적절히 조절하면 자동화에 의한 고속용접까지도 가능하게 되었다. Fig.7은 이렇게 개발된 용접재료의 내 pit 성을 보여주는 결과인데, fillet 전용 용접재료의 우수한 내 pit을 보여주고 있다.

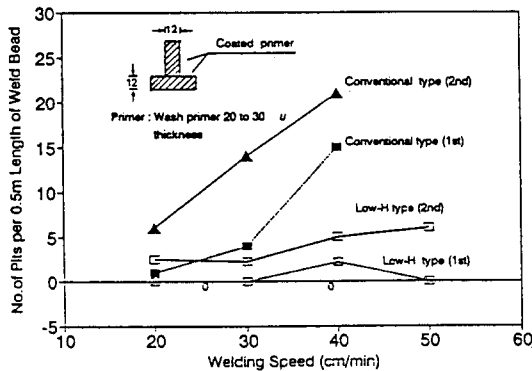


Fig. 7 Anti-Pit Properties of Various FCAW Wires

## 5.2 용접 Robot화를 위한 기술개발

### 아크 용접 Robot화와 CO<sub>2</sub> 용접

아크 용접 Robot는 자동차 조립 및 부품 생산분야에 있어서 가장 활발히 적용되고 있는데 최근에는 건설장비를 비롯한 중공업 분야에 있어서도 소형 단품제작에 적용되기 시작하였다. 이들 용접 Robot System은 대부분 GMAW 기법을 채용하고 있는데, shielding gas로는 대부분이 CO<sub>2</sub> gas를 사용하고 있고 일부는 Ar-CO<sub>2</sub> 혼합 gas를 사용하고 있다.

GMA 용접에서 CO<sub>2</sub> gas를 shielding gas로 사용하면 아크가 불안정하고 spatter 발생이 많기 때문에 용접부에 대한 후처리 등이 필요하게 된다.

그럼에도 불구하고 Ar-CO<sub>2</sub> 혼합 gas에 의한 MAG 용접보다 CO<sub>2</sub> 용접을 선호하는 이유는, CO<sub>2</sub> gas의 가격이 Ar-CO<sub>2</sub> 혼합 gas의 약 1/4 정도로 저렴하여 전체 용접비용 측면에서 경제적이기 때문이다.

결국 CO<sub>2</sub> 용접은 경제적이란 장점을 가지는 반면 spatter 발생이 항상 문제가 되기 때문에 이에 대한 해결이 용접 Robot화를 위해서는 가장 큰 문제가 되었다. 이밖에도 용접 Robot화를 위해서는 고속 용접에서의 작업성, arc start의 신뢰성 등에 대한 보완이 필요하였다. 이러한 문제점들이 용접기기 및 재료의 개발을 통하여 어느 정도 해결됨에 따라 1985년 이후 용접 Robot화가 보다 활발히 추진될 수 있었다(Fig. 3).

### 용접 Spatter 절감을 위한 용접기 개발

CO<sub>2</sub> 용접 과정에서 spatter는 arc가 short-circuiting 된 직후, 즉 arc가 re-strike 하는 순간과 전류가 증가하는 동안에 주로 발생하는 것으로 알려져 있다. 따라서 spatter가 발생하는 순간의 용접전류를 임의적으로 조절할 수만 있다면 spatter 발생을 억제할 수 있을 것이다. 그런데 용접 arc의 현상들 (spatter 발생뿐만 아니라, arc start, 금속이행 등)이 모두 매우 짧은 시간에 이루어지기 때문에, 용접 출력을 조절하여 이러한 문제점을 모두 해결 한다는 것은 기존 용접기에서는 불가능하였다. 왜냐하면 기존 용접기는 상용전원(60Hz) 그대로 사용하기 때문에 반응속도가 너무 늦어서 아크 현상에서 발생하는 순간적인 문제점들을 제어할 수 없었기 때문이다.

그런데 최근 inverter 제어기술이 용접기에 도입됨으로써 이러한 문제점을 어느정도 극복할 수 있었는데, inverter 용접기에서는 일반 산업용 전원을 10~50 KHz의 고주파로 전환하여 출력전원으로 사용하기 때문에 용접 아크에서 순간적으로 발생하는 변화를 적절히 제어할 수 있게 되었기 때문이다.

그러나 초기에 inverter 기술을 용접기에 도입한 목적은 용접기의 소형화 및 경량화에 있었다. 따라서 초기에는 operating frequency를 높이는 것이 연구 개발의 최우선 과제가 되었다. 이러한 노력의 대가로 Fig.8 에서 보는 바와 같이 용접기의 중량은 기존 용접기에 비해 약 1/2 정도로 감소하게 되었는데<sup>9)</sup>, 이제는 inverter 제어로 순간적인 output 제어가 가능해짐에 따라 용접 현상을 제어할 수 있는 파형제어 기술에 보다 많은 노력이 기울여지게 되었다. Fig.9은 inverter 제어에 의해 spatter 발생량이 현저히 감소함을 보여 주는 결과인데<sup>9)</sup>, 그 절대량에 있어서는

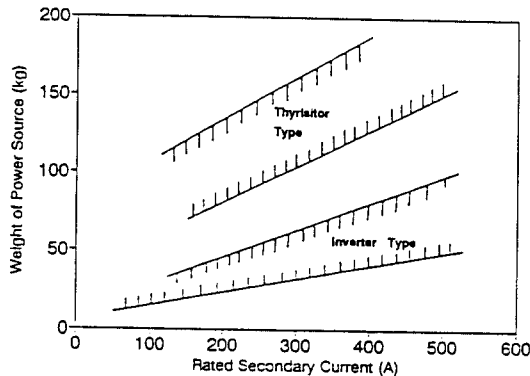


Fig. 8 Weight Comparison of Welding Power Sources

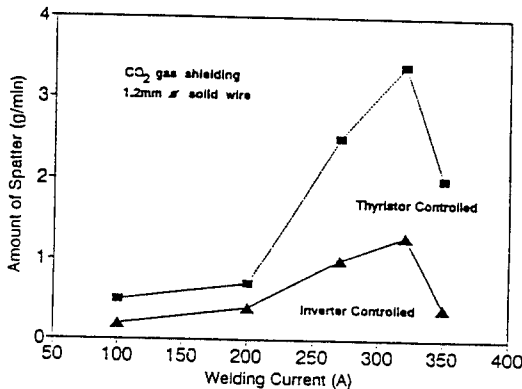


Fig. 9 Amount of Spatter Generated: Power Source Comparison

아직도 pulse MAG 용접보다 높은 수준에 있어서 보다 섬세한 개발이 필요하다고 하겠다.

### 용접 Spatter 발생 절감을 위한 용접재료 개발

전술한 바와 같이 arc 용접이 반자동화, 자동화 및 Robot化로 추진되면서 CO<sub>2</sub> 용접과 MAG 용접이 확대 적용되기 시작하였는데, CO<sub>2</sub> 용접은 spatter가 문제가 되고, MAG 용접에서는 Ar-CO<sub>2</sub> 혼합 gas의 가격이 비싸다는 것이 문제점으로 지적되었다. 이에 따라 용접기 분야에서는 앞에서 언급하였듯이 inverter 기술을 도입하여 CO<sub>2</sub> 용접에서의 spatter 발생량을 절감하고자 한 반면, 용접재료 분야에서는 이 문제를 재료 측면에서 해결 하고자 하였다. 즉 재료 측면에서는 CO<sub>2</sub> 용접의 장점(slag-free, low cost) 과 flux cored wire의 장점(arc 안정성, low spatter, 양호한 bead 외관 등)을 동시에 만족시킬 수 있는 용접 재료의 개발이 요구되었다. 이러한 요구에 따라 개발된 제품이 Low spatter solid wire 및 Metal cored wire이다.

#### (1) Low Spatter Solid wire

Solid wire의 합금 성분이 spatter 발생에 미치는 영향을 Fig.10 에 보여주고 있는데<sup>10)</sup>, spatter 발생량을 줄이기 위해서는 Si, Mn, Ti 함량은 증가시키고, C 및 Al 함량은 낮추어야 함을 보여주고 있다. 이와같은 결과를 토대로 개발된 wire (low C, high Si and Mn)는 기존의 solid wire와 비교하여 spatter 발생량을 약 1/5 수준으로 저하시킬 수 있는 것으로 보고되고 있다

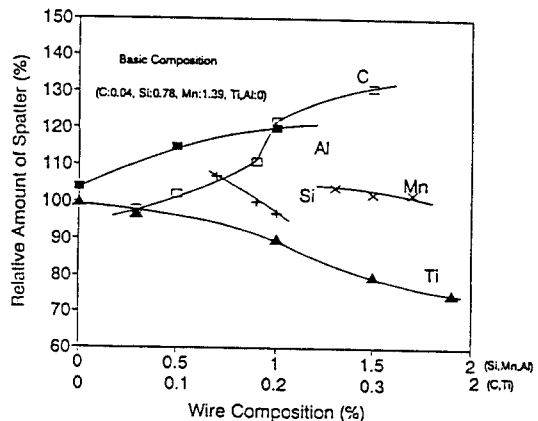


Fig. 10 Effect of Chemical Composition on Weld Spattering in CO<sub>2</sub> Welding

11). 표 5 는 low spatter wire로 용접된 용착 금속의 화학 조성을 기존의 wire와 비교하여 보여주는 결과인데, 여기서 low spatter wire 의 경우에 탄소 함량은 낮지만 Si 및 Mn 함량이 높은 것을 알 수 있다. 그런데 Si 함량이 높아지면 기계적 성질이 나빠지기 때문에 기계적 성질이 요구되는 구조물에는 적용하는데 주의가 필요하다.

이와 같은 재료를 앞에서 설명한 inverter 용접기와 조합하여 적용하게 되면 spatter 발생량을 추가적으로 저하시킬 수 있는데, 그와 같은 감소 경향을 Fig. 11에서 보여주고 있다.

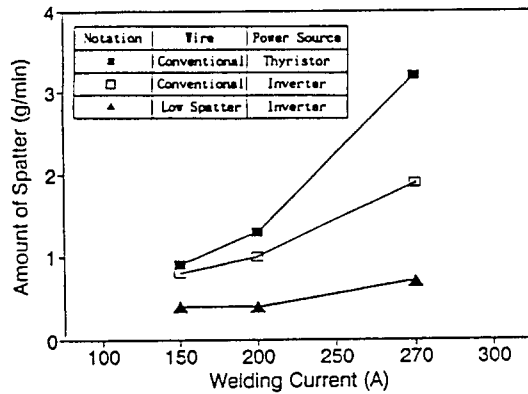


Fig. 11 Combined effect of Welding Wire and Power Source on Weld Spattering

표 5. Weld metal 의 화학 조성

	C	Si	Mn	P	S
Conv. wire	0.09	0.52	1.07	0.015	0.009
Low spatter wire	0.04	1.12	1.28	0.019	0.017

(2) Metal Cored Wire 개발

Metal cored wire는 flux의 대부분이 금속 분말(철분 및 탈산제)이기 때문에 용착 효율이 높고, 미량의 arc 안정제를 첨가하여 CO<sub>2</sub> gas 분위기에서도 spatter 발생량을 절감 할 수 있는 용접재료가 되었다. 절감되는 정도는 CO<sub>2</sub> solid wire의 50% 수준이며<sup>12)</sup>, FCAW의 발생량과 비교되는 정도라고 알려지고 있는데, 개발 정도에 따라서는 더욱 절감될 것으로 기대된다. 특히 metal cored wire는 용착 속도가 높고, slag 발생량이 solid wire와 비슷한 정도이므로 slag를 제거할 필요가 없기 때문에 앞으로 solid wire를 대체할 수 있는 재료이며 Robot 용접에 특히 적합하다고

하겠다.

5.3 용착 속도 향상을 위한 기술개발

기존 용접 기법 (CO<sub>2</sub> solid, FCAW 등)은 SMAW에 비해 Fig.4 에서 보여 준 바와 같이 용착속도가 매우 높지만, 절대량에 있어서는 1.2 mmφ를 기준으로 했을 때 약 90 gr/min 정도의 수준에 머무르고 있다. 따라서 용착속도를 FCAW의 용착속도 보다 높게 할 수 있다면 중후판의 용접 생산성을 높이는데 매우 효과적이라고 하겠다.

후판용 Metal cored wire

앞에서도 언급 하였듯이 metal cored wire는 flux 성분으로 금속 분말을 대부분 사용하기 때문에 flux에 충전되는 금속 분말의 종류와 량을 조절함으로써 용접재료의 합금성분을 임의적으로 조절할 수 있는 장점이 있다. 이와 같이 metal cored wire는 용접재료의 화학조성을 자유롭게 변경시킬 수 있다는 특성을 가지는데, 이와 같은 특성은 CO<sub>2</sub> solid wire 로써는 극히 부러운 특성이었다. 그러나 이렇게 개발된 metal cored wire는 고합금의 수요가 적고 Ar-CO<sub>2</sub> 혼합 gas 를 사용해야 하기 때문에 경제적이지 못하다는 단점이 있었다. 이와 같은 단점을 보완하면서 metal cored wire 의 특성 (확산성 수소량이 적다)을 이용하여 개발된 것이 앞절에서 설명한 CO<sub>2</sub> gas를 보호 gas로 사용하는 fillet 전용 metal cored wire이다.

이밖에도 metal cored wire는 금속분말이 충전되어 있기 때문에 같은 전류에서 FCAW 보다 약 10 % 정도, CO<sub>2</sub> solid 보다는 약 20% 정도 높은 용착 속도를 보여준다. 따라서 metal cored wire는 대일열 용접 용으로도 개발될 수 있었는데 최근 이렇게 개발된 wire는 용접 전류 500A에서 최대 용착속도가 약 230 g/min를 보여 주고있다. 이를 위해서 용접기의 용량이 600A 이상으로 증가되고 torch는 수냉형으로 바뀌어 상품화되어 있다.

T.I.M.E 용접 기법

보호 gas를 사용하는 용접에 있어서 용착 속도는 용접전류 (즉 용접 wire 송급 속도) 또는 Wire 돌출 길이를 증가시키에 따라 증가하게 되는데, 이들을 어느 한계 이상으로 증가하게 되면 아크가 불안정



하게 되어 용접이 불가능하게 된다. 따라서 그와 같은 한계를 극복하기 위해서는 직경이 보다 큰 wire로 바꾸어야 하는데, wire의 유연성이 저하하여 송급 및 국부적으로 용접 arc가 발생하는 문제등이 생긴다. 따라서 보편적으로 사용하는 1.2 또는 1.6 mmφ의 solid wire의 경우 용접전류의 한계는 일차적으로 보호 gas에 의해 결정되어 진다고 하겠다.

따라서 기존에 사용하고 있는 보호 gas (CO<sub>2</sub>, Ar-CO<sub>2</sub>)와는 다른 새로운 보호 gas를 사용하게 되면 이러한 한계를 탈피할 수 있을 것이라고 예상할 수 있는데, 이러한 방향으로 Canada에서 최초로 개발되어 이름 지어진 것이 TIME (Transferred Ionized Molten Energy) process이다. TIME process는 Ar-He-CO<sub>2</sub>-O<sub>2</sub>의 혼합 gas를 보호 gas로 사용하면서 각각의 혼합 비율을 적절히 조정하여 plasma arc stream force를 극대화한 것으로써, 최대 용착속도는 약 450 gr/min이다. 본 process에서의 가장 큰 문제는 초기 시설투자에 대한 부담이 크고, 4원 혼합 gas의 가격이 비싸기 때문에 전체 용접비용 측면에서 경제적이지 못하다는 것이다. 그러나 본 process가 갖는 고능률 때문에 최근 국내에서도 본 용접 process에 대한 연구가 진행된 바 있고, 판매 회사도 설립되어 있어 국내 산업체에서도 본 process에 대한 이해 및 평가가 보다 활발히 논의 될 필요가 있다고 생각한다.

## 6. 맺음 말

과거 10년 동안 용접 생산성 향상을 위한 연구 개발 노력은 다방면에서 진행되어 이제는 그 효과가 복합적으로 나타나고 있다. 용접 자동화 분야에 있어서는 용접 Robot System이 고도화 되어 성능이 다양해 졌고, 용접기 분야에서는 용접전류파형 제어가 가능하게 되어 제품에 따라 성능면에서 커다란 차이를 보이게 되었으며, 용접재료 분야에서는 다양한 용접재료가 개발되어 여러 분야에서 생산성 향상에 기여하게 되었다. 이를 사용자 측면에서 보면 기술 및 제품의 다양화로 선택의 폭이 넓어졌다는 긍정적인 면이 있는 반면, 그에 비례하여 선택의 어려움 또한 증가하였다. 따라서 이 시대가 요구하는 용접

기술은 주어진 작업환경 및 조건에 따라 최적의 자동화 System, 용접기기 및 용접재료 등을 선택하여 가장 경제적으로 용접제품을 생산할 수 있도록 하는 Engineering 기술이라고 하겠다.

## 참고 문헌

1. 한국경제신문, 1992년 9월 14일자 2면
2. "용접재료의 현황과 금후의 동향" 용접기술(일본), 1989년 5월 p.92
3. H.Nomura : Journal of Japan Welding Soc., Vol. 61, No 1, (1992), p.1
4. 김희진 : "FCA Wire 사용실적 및 문제점", 용접재료 Symposium, 대한용접학회, (1989), 3.24
5. E.Tsunetomi, N.Mori, H.Honma, and K.Ishizake : "Porosity Caused by Hydrogen in Horizontal Fillet Welding", J.of Japan Welding Soc. (in Japanese), Vol.44, No 2, (1975), pp.17~23
6. M.Kamada, Y.Kanbe, T.Suzuki and S.maki : "Flux Cored Electrode Developed for Zinc Primer Painted Steel Plate", Welding Journal, Vol. 72, No.3, (1993), pp.49~54
7. "New Welding Materials" Pub. Kobe Steel, LTD., Ref : No.0189-087, May 26,(1989)
8. H.Yamamoto : "Recent Advances in Inverter Controlled, Gas Shielded Arc Welding Power Source and their Application in Japan", IIW Doc. XII-1148-89
9. T.Mita : "How Little Spatter can be Achieved ? (1) Approach by Welding Power Source" Journal fo Japan Welding Soc., Vol.59, No 8, (1990) p.12
10. T.Suga : "How Little Spatter can be Achieved ? (2) Approach from Welding Material" Journal of Japan Welding Soc. Vol.59, No 8, (1990) p.17
11. Y.Sakai, I.Aida, T.Suga, T.Nakano, "Deveolpment of Various Flux-Cored Wires and their Application in Japan" IIW Doc. XII-1131-89