

최신 고능률 GMAW Process인 T.I.M.E 용접법에 대하여

박 송 춘*

A High Efficient GMAW Process of the Newest Type - The T.I.M.E Welding Process -

S. C. PARK*

1. 서 론

1950년 미국의 Airco사에서 MIG용접법이 개발된 이래로 많은 산업분야에서 이 방법이 실용화되었고 그후 CO₂ 반자동용접, 펄스 MAG용접이 전세계적으로 가장 널리 사용되는 용접방법이 되었다. 그러나 MIG용접(GMAW)에서 용착속도 및 용착량을 향상시키기 위해서는 용접전류를 비례적으로 증가시켜야 하는데, 어느 전류이상에서는 아크의 불안정한 회전현상과 flicker현상이 발생하여 생산성이 획기적으로 증가하는데는 제한을 받게 되었다.

그러나 최근에 혼합가스를 사용함으로써 기존의 GMAW보다 고전류에서도 아크가 안정된 용접기법으로써 도입된 TIME(Transferred Ionized Molten Energy)용접법은 용적이행이 이온화된 안정한 가스 플라즈마 기둥내에서 높은 용융 에너지를 갖고 이 행된다. 기존의 반자동용접, 즉 MIG, MAG 및 CO₂ 용접법에 비하여 보호 가스를 4가지 혼합 가스를 쓴다는 것과 와이어 송급속도를 매우 빨리 할 수 있으면서 높은 출력의 전류 용량을 갖는 용접장비만

갖추면 기존의 용접법으로는 상상할 수 없는 높은 용착속도를 얻을 수 있는 용접법이다.

TIME용접법에 사용되는 혼합 가스는 Ar, He, CO₂, O₂를 적정 비율로 혼합한 것이고 용접재료는 일반적으로 사용되는 것으로 충분하지만 제조공법에 따라 다소 다른 특성을 나타내는 경우도 있다. TIME 용접법이 탁월한 용착효율을 나타내는 것은 혼합된 각각의 가스가 용적이행을 촉진하는 효과를 갖고 특정 전류이상에서 아크가 회전하는(rotating arc)현상이 일어나 아무리 높은 전류 조건에서도 용접 아크가 안정되고 스패터도 적으며 양호한 비드형상을 갖기 때문이다. 이러한 특성은 아크의 거동에 의하여 설명될 수 있다.

2. 아크의 물리적 특성

일반적으로 GMAW 용접시 용접 와이어 선단에 작용하는 물리적인 힘은 대략 5가지로 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있는데, 중력(G), 핀치력(Pinch force : P) : 플라즈마 유동력(Plasma stream force : F_p)은 용적이행을 용이하게 하여 용융속도를 증가시키고, 표

* 정희원, (주) 타임웰드코리아

면장력(S), 아크력(A)은 용적이행을 어렵게 하기 때문에 용융속도를 증가시키기 위해서는 표면장력과 아크력에 의한 영향을 최소가 되도록 해야 한다.

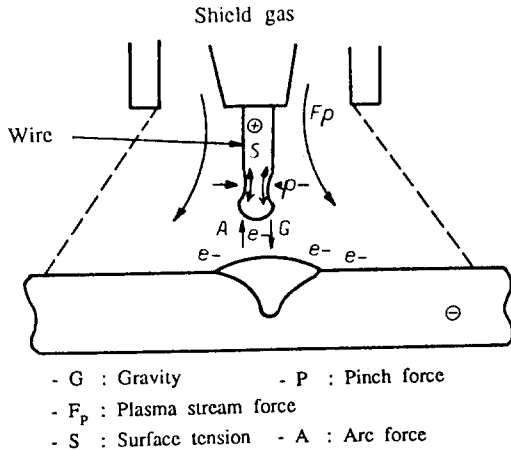


Fig. 1 Forces effective on metal transfer

TIME 용접법은 보호가스, 용접전류 그리고 용접 전압을 변화시켜 중력, 핀치력, 플라즈마 유동력을 촉진시켜 용융속도를 최대한으로 증가시킨 용접법으로써, 용접 와이어 선단에 작용하는 물리적인 힘의 특성을 살펴보면 다음과 같다.

2.1 용적의 중력(G)

중력은 와이어 선단이 용융되어 성장한 용적의 크기에 의하여 결정된다. 낮은 전류에서는 용적이행이 구형의 drop 형태로 이루어지기 때문에 큰 입자로 인하여 중력이 크고, 높은 전류에서는 용적이 스프레이(spray)이행이 되기 때문에 중력은 작아지게 된다. 불활성 가스인 Ar가스를 사용하면 스프레이이행이 가능하지만, CO₂ 가스를 사용하면 아크는 drop의 밑부분에 존재하기 때문에 스프레이이행이 되지 않으며, 용적이 크므로 스파터가 많이 발생된다.

2.2 핀치력(P)

용접전류에 의해 와이어 선단 용융부에 전자기력에 의하여 핀치력이 발생하여 용적이행을 촉진시키는데, 이는 전류의 크기에 의해 결정된다. 핀치력 또한 아크기동에서도 발생하고, 사용하는 가스종류에 따라 아크의 직경을 줄이는 압력이 변화한다.

2.3 플라즈마 유동력(F_p)

용접전류와 전압이 높은 상태에서는 일반적으로 이온화된 가스의 플라즈마 유동력은 크지만, 사용되는 가스의 전위차 구배(potential gradient)가 클수록 큰 플라즈마 유동력이 발생하기도 한다. 특히 He 가스의 전위차 구배가 가장 높다고 알려져 있다. 이 플라즈마 유동력은 핀치력에도 영향을 미치며, 아크 경직성을 향상시켜 용적이 모재에 이행되는 속도를 크게 좌우하게 된다. TIME 용접법은 이 효과를 최대한으로 이용한 용접법이다.

2.4 표면장력(S)

일반적으로 와이어 선단에서 용융금속의 표면장력은 전류에 따라 변화하게 된다. 즉, 낮은 전류에서는 용적의 크기가 증가하기 때문에 비례적으로 표면장력이 상승하게 되고, 불활성 보호 가스를 사용하는 높은 전류에서는 스프레이이행이 일어나고, 핀치효과가 증대되며, 표면장력은 작아지게 된다. Table 1은 용접전류에 따른 표면장력을 나타낸 것이다.

2.5 아크력(A)

아크력은 보통 용접봉 선단으로부터 이탈된 용융금속의 중력가속도에 기인하는 힘과 모재표면에 작용하는 플라즈마(전리되지 않은 보호가스)의 유체역학적인 힘을 포함한다. 위 유체역학적인 힘은 주로

Table 1 Surface tension during molten droplet transfer

Wire diameter (mm)	Surface tension of short arc transfer (dyne/cm)	Surface tension of spray transfer (dyne/cm)
φ 1.2	900(130A)	320(200A)
φ 1.6	1,200(180A)	420(250A)

Table 2 Comparison of arc characteristics of shield gases

Shield Gas	Ionization Voltage (V)	Potential Gradient (Ratio)	Plasma Stream	Decrease in Surface Tension	Electron Release Effect	Decrease in Arc Force	Arc Rigidity
Ar	15.7	0.5	X	O	O	X	X
He	24.6	2.5	OO	O	O	X	O
CO ₂	14.0	1.5	O	O	O	XX	OO
O ₂	13.6	2.0	O	OO	OO	O	O

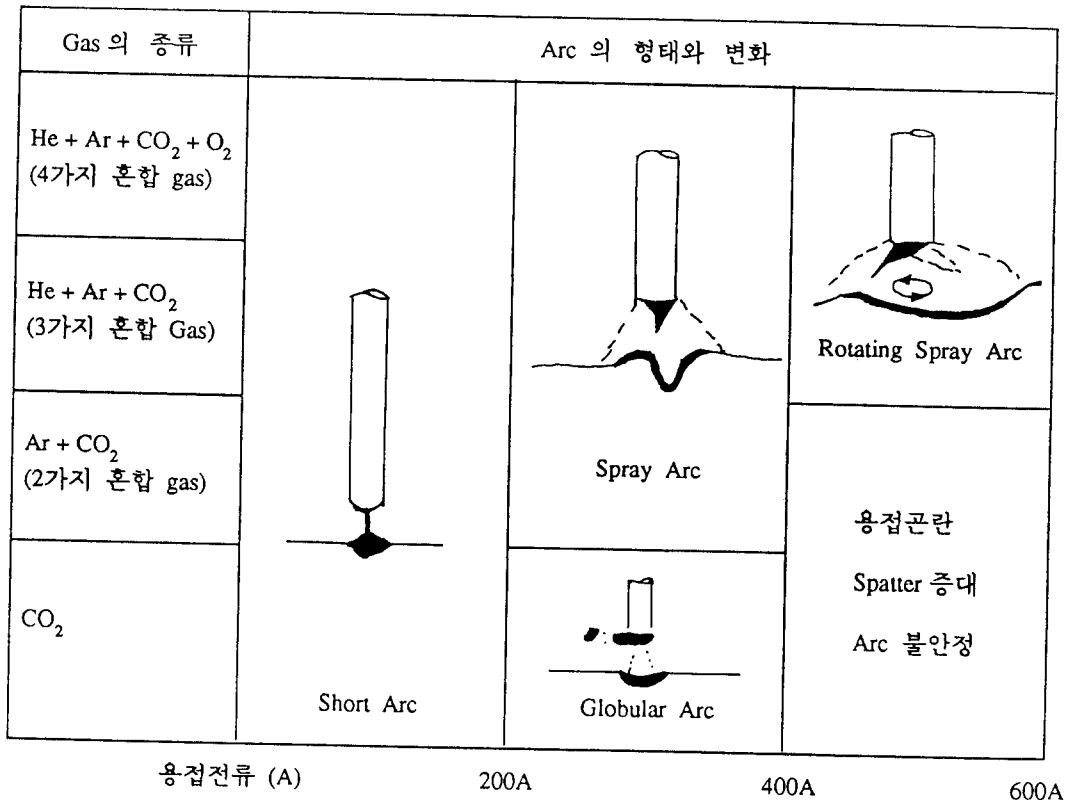


Fig. 2 Droplet formation with different shielding gases

핀치력은 고온에서의 보호가스의 흐름에 기인한다.

한편 보호가스에 미량의 산소(0.5~3%)를 혼합하면 모재표면에서 전자방출이 용이하여 지므로서, 아크 전압을 낮추는 것이 가능하기 때문에 아크력이 감소된다.

3. 혼합 가스의 특성

TIME 용접법은 용적이행에 작용하는 물리적인 힘을 혼합 가스의 특성을 이용하여 극대화시킨 것인데, Table 2는 TIME 용접법에 이용되는 4가지 가스의 각각의 특성을 나타내고 있다. Ar가스에 전리전압과 전위차구배가 큰 He 가스를 혼합하여 아크

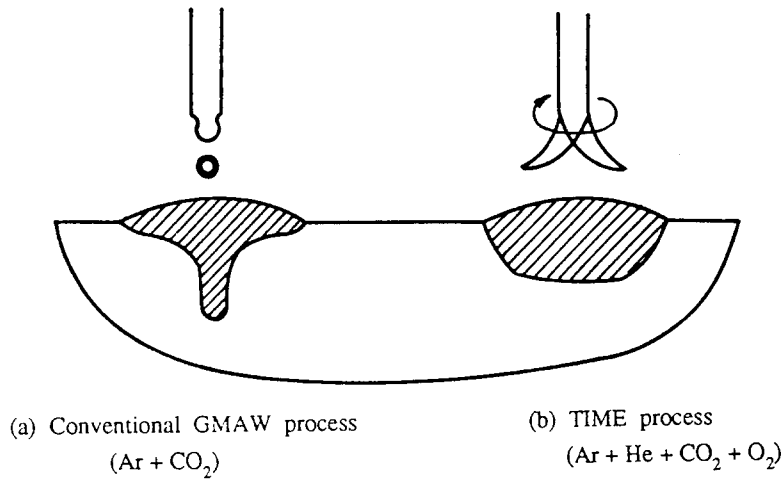


Fig. 3 Cross section of weldment

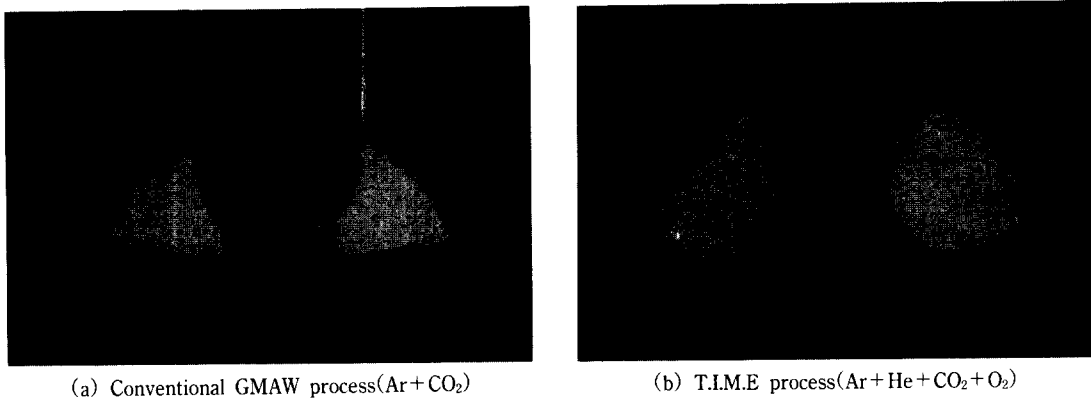


Fig. 4 Cross section of fillet joint

전압을 증가시키며, 아크 에너지가 증대되어 플라즈마 유동력과 핀치력을 향상시킨 것이다. O₂는 혼합가스의 이온화를 쉽게 해주고 아크력을 감소시키는 작용을 하며, CO₂는 아크 경직성을 증대시켜 용입 깊이를 깊게 한다.

또한 Fig. 2에 보이는 바와 같이 4가지의 혼합가스는 특정전류 이상에서 아크가 회전하는 현상, 즉 rotating 아크가 발생되기 때문에 보통의 GMAW 용접에서는 상상할 수 없었던 높은 전류에서도 아크가 안정되며, Fig. 3과 Fig. 4는 회전에 의한 비드현상을 보여주고 있다.

4. T.I.M.E 용접법의 특징

4.1 T.I.M.E 용접용 용접기

TIME 용접법에 이용되는 용접기는 안정한 아크와 높은 용착속도를 위해서는 상당히 안정한 용접기가 요구되는데 그중 중요한 사항은 다음과 같다.

1. 고전압 부하에서 충분히 높은 전류가 출력되어야 한다.
2. 와이어 송급장치의 모터 출력이 커야 한다.
와이어 송급속도 25m/min-480A, 44V
와이어 송급속도 50m/min-760A, 50V

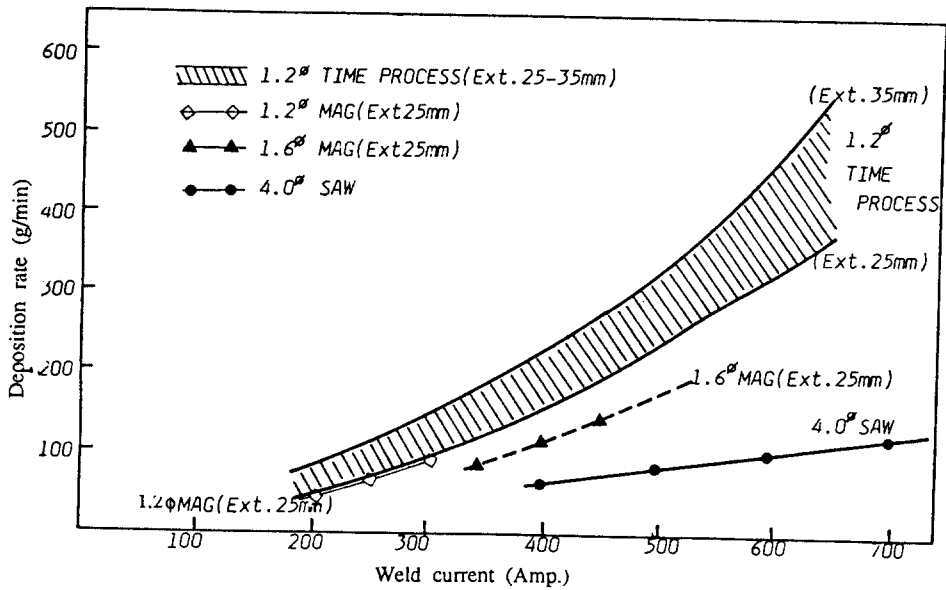


Fig. 5 Comparison of deposition rate between TIME and other weld process

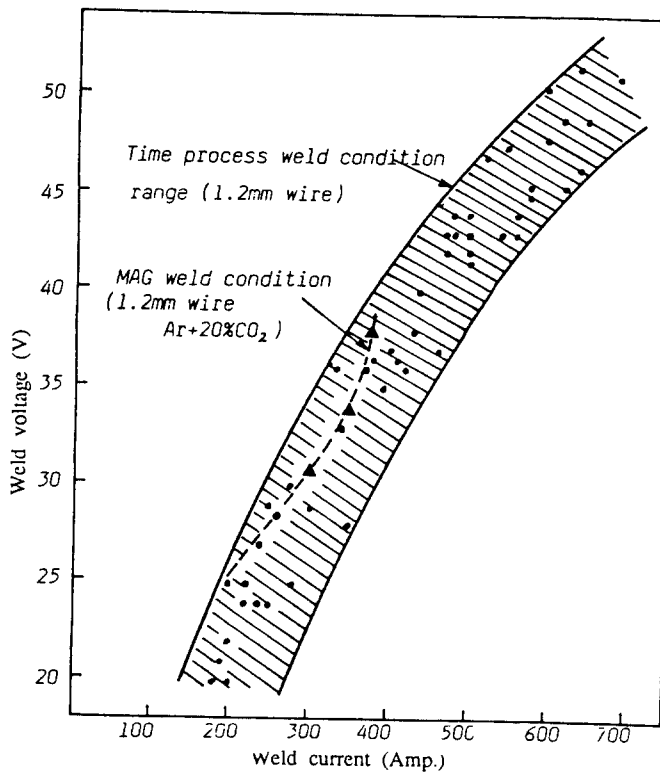


Fig. 6 Comparison in weld conditions of TIME and MAG

3. Cable과 와이어 송급장치에 의한 와이어 송급 속도 오차는 $\pm 25\%$, 아크전압은 $\pm 0.5V$ 이하를 만족해야 한다.
4. 토치는 완전 수냉되어야 하는데, 가스 노즐 및 tip holder는 직접 수냉되어야 한다.
5. 아크전압과 와이어 송급속도에서 up slope와 down slope의 제어가 동시에 이루어 져야 한다.

4.2 용착속도

Fig. 5는 TIME 용접법과 기존의 MAG 및 SAW 용접법의 사용전류에 대한 용착속도의 변화를 비교한 것인데, 사용가능한 전류범위에서 MAG용접에서는 1.2φ 와이어에서 180-300A, 1.6φ 와이어에서 300-460 A를 나타낸 반면에 TIME 용접법은 180-650A까지 그 범위가 매우 크다는 것을 알 수 있다. 동일 전류에서 각 용접법별 용착속도를 살펴보면 MAG용접에 비해서는 TIME 용접법이 약 60% 향상 효과를 갖고 SAW 용접법에 비해서는 약 230%의 향상 효과를 나타낸다.

4.3 용접 조건의 범위

Fig. 6은 Ar+20% CO₂ 혼합 가스와 1.2φ 와이어를 사용하는 MAG 용접과 동일한 와이어를 사용한 TIME 용접법의 용접가능한 전류 및 전압조건을 비교한 것인데, MAG 용접법은 적정조건이 용접전류는 180-350A, 용접전압은 20-38V로 매우 제한적이어서 적정 조건설정이 쉽지 않다. 그러나 TIME 용접법은 Fig. 6에서 보는 바와 같이 거의 전 전류범위와 전 압범위에서 용접이 가능하고, 적정조건외 폭도 넓어 조건설정을 쉽게 할 수 있다.

4.4 스패터의 발생

Fig. 7은 동일한 용접조건에서 용접토치의 가스 노즐과 모재에 부착되는 스패터의 양을 각 용접법 별로 비교한 것이다. TIME 용접법은 전 용접속도에 걸쳐서 CO₂용접, MAG 용접과 비교하여 적은 스패터 부착량을 보이고 있고, inverter형 용접기를 사용하면 스패터가 거의 없는 양호한 용접부를 얻을 수 있다.

따라서 TIME 용접법은 높은 용접전류와 높은 용접 속도에서도 스패터 등의 영향이 없기 때문에 자동화

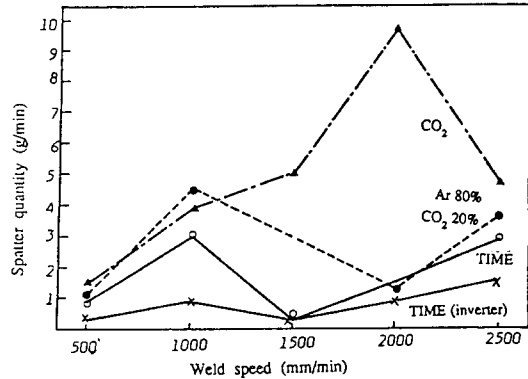


Fig. 7 Weld speed and spatter quantity with varied gases(with 1.2mm wire, carbon steel)

장비를 이용하여 연속용접이 가능하다.

4.6 용접부의 기계적 성질

TIME 용접법은 기존의 어떠한 용접법보다 월등한 용착속도와 넓은 범위의 양호한 용접조건으로 인하여 생산성의 획기적인 증대효과가 있는 것으로 평가되고

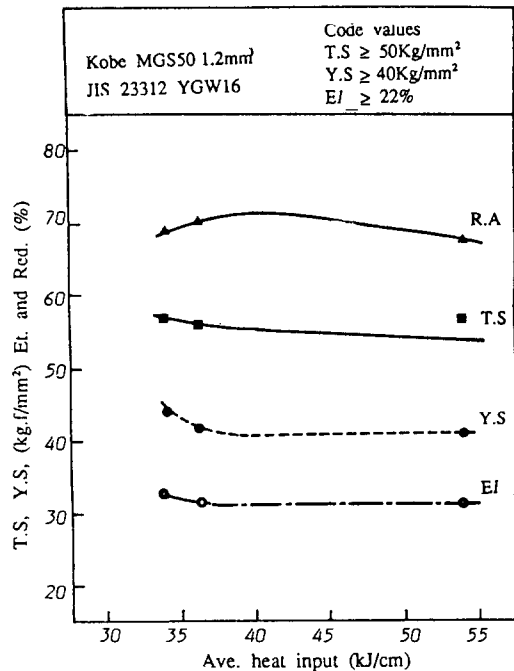


Fig. 8 Weld heat input and mechanical properties of weld metal

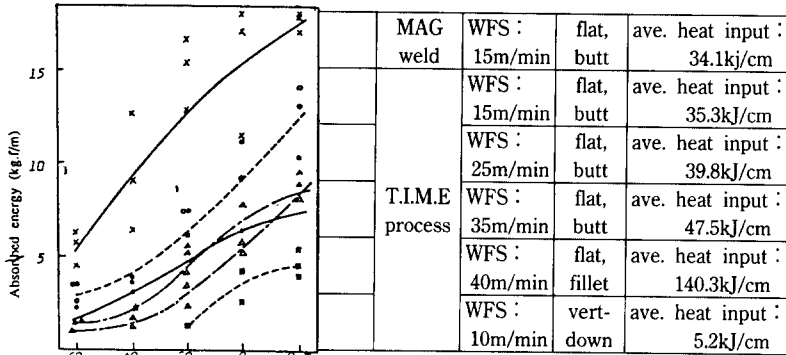


Fig. 9 Weldmetal impact test outcome, W/L56 wire

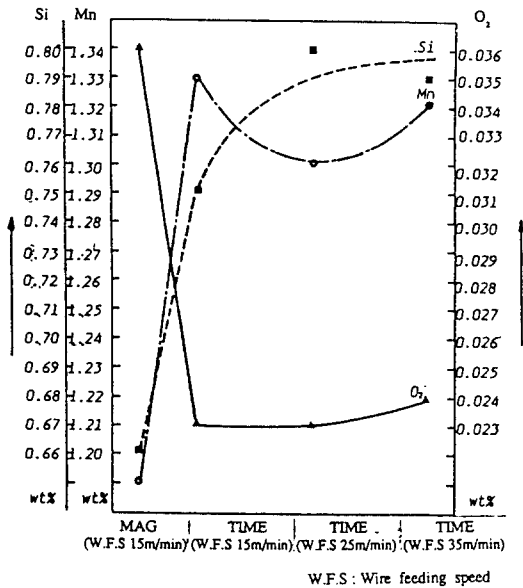


Fig. 10 Variation in Si/Mn/O₂ contents with TIME-and MAG-weld

있으나, 반드시 검토되어야 할 것들 중의 하나는 구조물이 요구하는 기계적 및 화학적 성질을 만족하는가에 있다.

Fig. 8은 TIME 용접법으로 용접한 용접부의 기계적 성질을 용접부에 가해진 입열량에 따라 비교한 것인데, 입열량이 증가할수록 약간의 인장강도 및 항복강도의 저하가 발견되지만 그 차이는 극히 적다고 할 수 있고, 일반적으로 구조물의 안전도 평가에 기준이 되는 샐피 충격치를 Fig. 9에 보여주고 있는데, MAG 용접에 비하여 큰 차이를 보이지 않고 있으며, 조건에 따라서는 월등히 우수한 값을 보이고 있다.

이러한 충격치의 향상 요인은 Fig. 10에 나타난 바와 같이 TIME 용접법에서 용접부의 산소 함유량이 급격히 줄어드는 데서 기인된다고 할 수 있다.

4.6 용접 비용의 비교

Table 3은 기존의 MAG 용접, 플럭스 코드 아크 용접과 TIME 용접법을 용접비용 측면에서 비교 검토한 것인데 동일한 용착량을 얻는데 소요되는 비용에서 TIME 용접법을 사용시 혼합 가스의 단가가 많이 증가하였는데도 불구하고 MAG 용접과 비교하면 약 30%, 플럭스 코드 아크용접과 비교하면 약 38%의 비용절감 효과가 있는 것으로 나타났다. 그러나 TIME 용접법에 사용되는 혼합 가스의 가격은 앞으로 수요가 계속 확대됨에 따라 점차로 가격이 인하될 것으로 판단되며, 이럴 경우 전체적인 용접 비용 절감효과는 약 50% 이상 되리라 예상된다.

5. 결론

앞서 언급한 TIME 용접법용 혼합 가스의 특성으로 인하여 기존의 GMAW 용접법과 비교하여 TIME 용접법은 다음과 같은 장점이 있다.

1. 용적이행이 아크 플라즈마 기둥 내부에서만 일어난다.
2. 용입이 깊고, 비드 단면현상도 뛰어나다.
3. 용착량을 최대 450g/min까지 증가시킬 수 있다.
4. 용접속도의 향상, pass수 감소, 결함발생이 적다.
5. 저온 충격시험치를 향상시킨다.

Table 3 T.I.M.E welding process와 타 용접법의 cost 비교

용접방법	T.I.M.E (Ar+He+ CO ₂ +O ₂)	MAG (Ar+CO ₂)	FCAW (CO ₂)	비 고
용접자세 개선형상	Horizontal Fillet	Horizontal Fillet	Horizontal Fillet	
Wire 외경(mm)	1.2mm	1.2mm	1.2mm	
전류(A), WFS m/min	400/(20/3)	280/(8.8)	275/(8.8)	WFS=Wire 송급속도
전압(V)	37	28	30	
GAS소비량(ℓ/min)	20	20	20	
필요금속량(g/m)	170	170	170	
용착효율(%)	98	98	95	
Wire 소비량(g/m)	173	173	179	Wire 소비량 = $\frac{\text{필요용착량} \times 100}{\text{용착효율}}$
Wire 단가(원/kg)	950	820	# 1,630	# FLux Cored wire
Wire 비용(원/m)	(1)164	142	292	Wire 비용 = $\frac{\text{사용량} \times \text{단가}}{1000}$
용착속도(g/min)	182	80	80	
Arc시간(min)	0.94	2.24	2.24	Arc 시간 = $\frac{\text{필요 금속량}}{\text{용착속도}}$
Gas단가(원/ℓ)	60,000/cyl. 9.46/ℓ	14,777/cyl. 2.11/ℓ	140/kg 0.27/ℓ	CO ₂ Gas = 510l/kg
Gas 비용(원/m)	(2)177.85	118.2	15.12	Gas 비용 = $\frac{\text{Gas 유량} \times \text{Arc 시간} \times \text{Gas 단가}}{\text{Gas 단가}}$
Arc 발생율(%)	50	50	50	
작업시간(min/m)	1.9	4.48	4.48	작업시간 = $\frac{\text{Arc 시간} \times 100}{\text{Arc 발생율}}$
공임단가(원/시간)	7,000	7,000	7,000	(직접+간접)HR
공임(원/m)	(5)222	523	523	공임 = 작업시간 × 공임단가/60
용접기가격(원)	14,000,000	3,500,000	3,500,000	
전력비 95.4/kwh(원/m)	(3)22.3	27.6	29.15	전력비 = $\frac{\text{전류} \times \text{전압} \times \text{Arc 시간} \times \text{단가}}{60 \times 1,000}$
감가상각비(원/m)	(4)44.33	26.1	26.1	상각비 = $\frac{\text{용접기가격} \times \text{작업시간}}{5\text{년} \times 250\text{일} \times 8\text{시간} \times 60\text{분}}$
보수비(원/m)	(4')22.16	13.1	13.1	보수비 = $\frac{\text{용접기가격} \times 0.1 \times \text{작업시간}}{250\text{일} \times 8\text{시간} \times 60\text{분}}$
Wire 비 (1)	164	142	292	
Gas 비 (2)	177.85	118.2	15.12	
전력비 (3)	22.3	27.6	29.15	
상각보수비 (4+4')	66.49	39.2	39.2	
공임 (5)	222	523	523	
합 계	653	850 + 197(30%)	898 + 254(38%)	(1)+(2)+(3)+(4+4')+(5)

6. 비드외관이 미려하고, under cut 및 lack of fusion 등의 결함발생 위험이 적다.
7. 스파터 발생이 극히 적다.
8. 자동 및 반자동 용접이 가능하다.
9. 전체적인 용접비용이 대폭 절감된다.

參 考 文 獻

1) 이세현: "아크용접에 있어서의 아크의 특성과 응용", 대한용접학회지, Vol.10, No.1, (1992), pp.

7-11

- 2) "A New GMAW Welding Process, The TIME Welding Process", AICHI SANGYO CO. LTD., (1991) PP 1-21
- 3) 山木英幸, 原田章二, 山本泰夫: 溶接技術, Vol. 38, No. 2, (1990), pp 68-72
- 4) 今泉 啓, 加藤敏夫: 溶接技術, Vol. 38, No. 2, (1990), pp 74-85
- 5) IIW, "The Physics of Welding," Pergamon Press, (1984), pp 237