研 究 論 文

고능률 GMAW의 용접성에 미치는 보호가스의 영향

한기형* · 한종만* · 이민우* · 이은배* · 한용섭*

Effect of Shielding Gases on the Weldability of High Efficient GMAW Process

K. H. Han*, J. M. Han*, M. W. Lee*, E. B. Lee* and Y. S. Han*

Key Words : TIME Process(Transferred ionized molten energy process), Power source(용접기), GMAW(가스 금속 아크용접), FCAW(플럭스 코어드 와이어 아크용접), Shielding gas(보호가스), Solid wire(螺線 와이어), Welding condition(용접조건), Spatter(스패터), Rotating arc(회전아크), Spray transfer(스프레이 이행), Weld penetration(용입)

Abstract

The possibility of new GMAW process using economic shielding gases including CO_2 gas was investigated on the effect of shielding gas on weldabilty. In the optimum welding condition using 600A power source, FCAW process showed low deposition rate, 114 g/min at 300A, but new GMAW using other mixed shielding gases exhibited high deposition rate, 208−224 g/min at 450A.

TIME gas, $Ar+CO_2$ gas and $Ar+CO_2+O_2$ gas as a shielding gas were able to be used to the very high welding current(450A), moreover TIME gas and $Ar+CO_2$ gas showed the highest arc stability among shielding gases studied in this experiments. The weld penetration was performed by axial spray transfer mode of weld droplet.

On the basis of workability, weldability and economic point of view, Ar mixture($80\%Ar+20\%CO_2$) gas was recommended as a shielding gas for the development and application of new GMAW process. This shielding gas showed the low spatter, good weld quality, stable arc and low cost at the region of high welding current.

† '94년도 춘계학술발표대회 발표

* 정회원, 대우중공업주식회사 선박해양설비연구소

1. 서 론

최근의 용접기술은 고속용접과 대용착 용접이 가능한 고능률 용접기법의 개발에 촛점이 맞춰지고 있다. 현재 캐나다 및 일본을 중심으로 몇가지의 새로운 고능률 용접기법[1,2,3]이 개발되어 사용되고 있으며 그중에서 대표적인 것으로서는 TIME 기법이 있다. TIME(Transferred Ionized Molten Energy) 기법이 국내에 도입된 것은 불과 5년 정도이며, 이 새로운 기법은 Solid wire를 사용하는 GMAW 방식으로 고전류와 고속송급으로 기존의 어느 용접기법보다도 높은 용착효율과 우수한 용접품질을 보여 주고 있다[1]. 특히 이 용접기법은 보호가스, 용접재료와 용접장비의 상호간의 영향에 대해 시각을 집중시키는 새로운 관점에서 기술개발 동기를 부여한 것은 높이 평가할 만하다.

이 고능률 용접기법의 가장 큰 특징의 하나는 보호가스이며 기존의 CO_2나 Ar 등의 단일가스가 아닌 Ar+He+CO_2+O_2처럼 4종류의 가스가 혼합된 보호가스(이하 TIME 가스로 통일)를 사용하는 것이며 이러한 혼합가스는 용접중의 아크를 안정시켜 고속용접을 가능하게 하고 있다. 그러나 TIME 기법은 고속용접과 대용착이 가능한 용접기법이지만 고가의 보호가스를 사용해야 하고 고속용접을 위해 특수 전용용접기를 필요로하는 점과 실제 각 산업에서 적용한 경험이 풍부하지 못한 것이 단점으로 지적되고 있다.

일반적인 GMAW 기법은 400A(1.2ϕ와이어)이상의 고전류영역에서는 불안정한 회전아크(Rotating Arc)의 형성, 와이어의 연화현상 및 입자가 큰 스패터의 과다한 생성에 의해 용접이 매우 어렵게 된다. 고전류 영역에서 안정된 용접성 및 높은 용착효율을 갖기 위해서는 고속송급과 동시에 일정한 송급속도, 보호가스에 의한 안정한 회전아크의 생성, 세경 wire의 사용, Tip recess(노즐선단에서 Contact tip까지의 거리)의 채용 등이 필요한 것으로 알려지고 있다[4,5].

본 연구에서는 기존의 사이리스터방식의 용접장비를 이용하여 400A 이상의 고전류에서 우수한 용착효율과 용접품질을 보이는 새로운 고능률 GMAW 용접기법의 개발을 목적으로 제 조건에 대한 평가와 이 때의 용접성에 미치는 보호가스의 영향을 검토하였다.

2. 실험방법

본 실험에서는 새로운 고능률 용접기법의 개발을 위한 기준으로서 현재 사용하고 있는 반자동 CO_2 용접(FCAW)을 토대로 하여 용접기의 성능, 용접재료, 보호가스의 변화와 기계적 성질 등에 대해 새로운 고능률 용접기법의 가능성을 검토하였다.

2.1 용접기 성능평가

실험은 일반 GMAW에 사용되는 용접기를 대상으로 본 연구에 적합한 성능을 평가하기 위해 600 A 용접기와 500A 용접기의 비교시험을 하였다. 고전류 용접을 위해 출력전류가 60−600A인 용접기가 사용되었으며 이 때 사용한 Feeder는 모터용량이 125W이고 출력전압은 26V로 설계되어 있으나 고속송급(30 m/min)이 가능하도록 36V로 개조 변경하여 사용하였다. 또한 고전류에서의 아크복사열에 의한 노즐의 용융을 방지하기 위해 강제 수냉방식의 토치를 사용하였다.

용접기별로 적정 용접조건 및 각 조건에 대한 특성을 알기 위해 CO_2 가스 분위기하에서 Carriage를 이용하여 아래보기 자세로 Stick-out만을 변화시켜 용접을 행한 후 각 용접조건에 따른 용접기의 송급속도, 용착속도 및 최적 용접조건을 각각 검토하였다.

2.2 용접재료

국내에서 생산되는 Solid wire중 적용될 수 있는 용접재료는 AWS ER70S-6와 ER70S-G type의 2가지 Wire를 들 수 있다. 이러한 두 재료에 대해 예비 시험결과에 의한 높은 전류영역에서의 용접성능을 보면, TIME 보호가스하에서 600A 용접기를 사용한 경우 450 Amp이상에서 S-G type 용접재료가 S-6 type에 비해 Bead 광택 및 퍼짐성에서 양호하며 특히 500 Amp이상에서는 상대적으로 낮은 Porosity 발생량을 보였다. 따라서 본 실험에서는 고전류에서 내 Porosity 및 아크 안정성이 좋은

ER70S-G type 용접재료를 사용하였으며 높은 용착효율을 목적으로 1.2φ의 Wire를 선택 사용하였다.

2.3 보호가스의 영향

보호가스의 변화에 따른 영향을 알기 위해 고전류에서의 용접성을 조사하고 그 결과를 바탕으로 생산성 측면에서 적용가능성을 검토하였다. 실험에 사용된 가스의 종류는 4종이며 각 보호 가스의 구성비를 Table 1에 나타내고 있으며, 가스의 구성비는 압력비를 기준으로 하였다.

Table 1 Gas mixture of shielding gas used in GMAW process

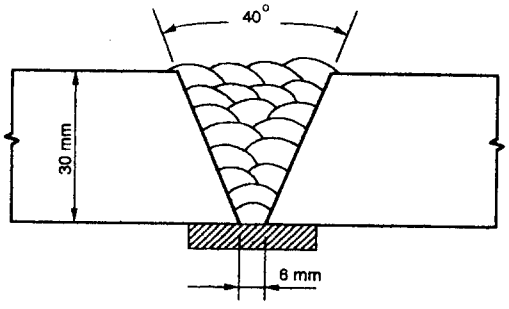
No.	Shielding gas	Gas Component (vol.%)			
		Ar	He	CO_2	O_2
1	CO_2	–	–	100	–
2	$Ar+CO_2$	Bal.	–	20	–
3	$Ar+CO_2+O_2$	Bal.	–	5.2	2
4	$Ar+He+CO_2+O_2$	Bal.	26.5	8.3	0.52

각 가스에 대한 용접성 시험은 두께 22㎜인 AH 32 강재에 Bead on plate로 용접하였으며, 용착속도 및 스패터량은 60초 동안 용접한 후 측정하였다. 실험에 적용된 Stick-out(정확하게는 Contact Tip-to-Workpiece Distance)은 27㎜이었다.

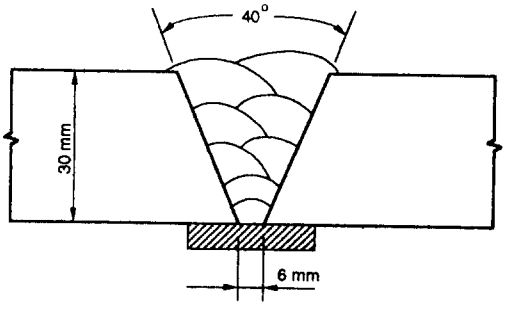
2.4 기계적 성질

보호가스에 따른 기계적 성질의 영향을 보기 위해 기존의 FCAW 기법과 보호가스를 변화시킨 GMAW 기법을 이용하여 Table 2와 같은 용접조건으로 용접 실험을 수행하였다. 이때 용접시에 사용된 강재는 선급강재인 AH32이었으며 개선형상과 적층방법은 Fig. 1에 나타나 있다.

용착금속의 기계적 성질에 미치는 보호가스의 영향을 검토하기 위해 All Weld Metal 시험을 하여 인장시험, 충격시험과 경도시험 등을 통하여 용접부의 기계적 성질을 평가하였다. 충격시험을



(a) FCAW



(b) GMAW

Fig. 1 Typical Joint design and weld fill procedure

Table 2 Welding condition of GMAW and FCAW with shielding gases

Welding Process	B/M	Welding Wire	Shielding Gas	Number of Layers Passes	Current (A)	Voltage (V)	Ave. Weld Speed (cm/min)	Ave. Heat Input (KJ/cm)
GMAW	AH32 (30t)	ER70S-G (1.2φ)	$Ar(80\%)+CO_2(20\%)$	5L 8Pass	1Pass : 220A 2Pass-final : 450A	30~42	37.5	28
			$Ar+CO_2+O_2$					
GMAW		ER70S-G (1.2φ)	$Ar+He+CO_2+O_2$	5L 8Pass	1Pass : 220A 2Pass-final : 450A	26~42	44.5	26
FCAW		E71T-1 (1.2φ)	CO_2	8L 19Pass	1Pass : 220A 2Pass-final : 280A	25~32	39	13

Table 3 Chemical composition and mechanical properties of base metal(B/M) and deposited weld metal(W/M) of wires.

		Chemical Composition (wt%)					Mechanical Properties			
		C	Si	Mn	P	S	Y.S (kg/mm²)	U.T.S (kg/mm²)	El.(%)	Impact Energy (J at −29℃)
B/M	AH32	0.18	0.40	1.40	0.012	0.016	40	53	30	120
Solid wire	ER70S−G(W/M)	0.11	0.55	1.31	0.014	0.011	50	57	29	110
	ER70s−6(W/M)	0.08	0.50	1.05	0.013	0.010	46	56	30	130
FCW	E71T−1(W/M)	0.05	0.45	1.35	0.013	0.009	52	58	30	110

위한 시편은 표면부 2㎜에서 채취하여 용착금속의 중앙에 노치를 가공하였다. 또한 보호가스가 용착금속의 화학성분에 미치는 영향을 보기 위해 Spectrometer를 이용하여 화학성분을 분석하였다. 본 실험에 사용된 용접재료로 생성된 용착금속과 모재의 화학성분과 기계적 성질은 Table 3에 정리되어 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 적정 용접 조건

본 실험에서 사용한 600A와 500A 용접기의 적정 용접조건을 비교하여 보면 600A 용접기의 경우 각 용접전류에 대해 전압이 500A 용접기에 비해 상대적으로 높게 나타났다. 이것은 정류기 자체의 높은 출력전압과 Wire extension의 차이 및 모터 출력전압이 상승되었기 때문으로 판단된다. CO_2 보호가스하에서 가능한 최대 용접전류는 본 실험에서 사용한 500A 용접기의 경우 350 Amp, 600A 용접기의 경우 480 Amp로 나타났으며, 이는 CO_2 가스의 높은 전위경도차로 인해 용접기 출력전압이 최대 한계값인 48V에 도달하였기 때문으로 판단되며, 만약 전위 경도차가 낮은 보호가스를 사용할 경우 최대로 가능한 전류조건을 보다 높일수 있을 것으로 생각된다.

전류에 따른 용착속도는 600A 용접기의 경우 적정 최대 전류인 300A에서 용착속도가 124 g/min이나, 500A 용접기는 동일 전류에서 95 g/min의 용착속도를 나타내었다. 또한 용접 최대전류에서는 600A 용접기의 경우 480 Amp에서 255 g/min인 반면, 500A 용접기는 350 Amp에서 120 g/min을 나타내고 있다. 또한 용접전류에 따른 송급속도는 동일 전류조건에서 600A 용접기의 송급속도가 500A보다 높게 나타났다. 이것은 600A 용접기의 경우 Tip Recess를 크게 하여 실제 용접시의 Stick-Out이 27㎜인 반면, 500A 용접기에서는 통상의 조건인 20㎜로 실험하였기 때문으로 판단되며, 결국 실험결과 나타난 Wire 송급속도의 차이는 Stick-Out의 길이 차이로 인해 발생된 것으로 판단된다.

Fig. 2는 600A 용접기에 대해 4 Type의 가스별로 고전류에서의 적정 용접 조건을 나타내고 있다. CO_2 가스의 경우 450 Amp에서 600A 용접기의 최대 출력전압인 48V에 도달하므로 용접기 성능상 450 Amp 까지의 전류에서는 용접이 가능한 것으로 나타났으나, 실제로는 350 Amp 이상의 전류에서는 폭발성 아크에 의해 용접이 불가능하였다. $Ar+CO_2$ 가스와 $Ar+CO_2+O_2$ 가스는 Stick-out 20㎜, 400 Amp 조건에서는 불안정한 회전아크에 의

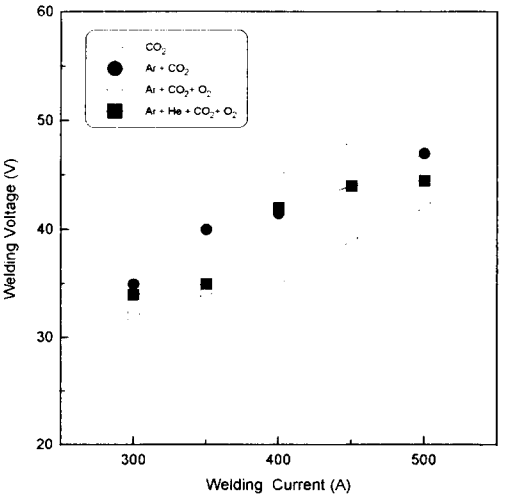


Fig. 2 Applicable welding conditions in GMAW with various shielding gases

Table 4 Effect of welding current on transfer mode with shielding gases

Shielding Gas	Current (A)					
	300	350	400	450	500	530
$Ar+He+Co_2+O_2$		Spray				
$Ar+CO_2+O_2$		Spray				
$Ar+CO_2$		Spray				
CO_2	Globular					

Manual Welding ---------- Mechanical Welding

해 용접이 불가능하다고 알려진 것[6]과는 달리 본 실험에서는 500 Amp에서도 용접이 가능한 Spray transfer mode를 관찰할 수 있었다.

TIME 가스의 경우에는 500 Amp에서 Spray transfer mode와 Rotational spray transfer mode를 동시에 관찰할 수 있었으며 따라서 500 Amp의 전류와 송급속도 30 m/min이 회전아크의 천이영역임을 알 수 있었다.

Table 4는 600A 용접기를 사용하여 각 전류별 사용 가능여부와 용적의 이행형태를 나타낸 것이다. 300 Amp이상에서 CO_2 가스를 제외한 보호가스는 Spray transfer mode로 이행하며 CO_2 가스의 경우에는 350 Amp 이상의 전류에서는 용접이 불가능한 반면에 TIME 가스, $Ar+CO_2+O_2$ 가스와 $Ar+CO_2$ 가스는 450 Amp까지 수동용접이 가능하였다. 특히 TIME 가스의 경우 450 Amp 이상의 전류에서는 아크 복사열과 과다한 Fume으로 인해 수동용접이 어려웠기 때문에 Carriage를 이용한 mechanical 용접에서는 530 Amp까지 용접이 가능하였으며 용접기의 용량(출력)을 증가시킬 경우 용접가능 전류을 증가시킬 수 있을 것으로 판단된다. 작업성 측면에서 보면 400 Amp의 용접전류에서 상대적으로 비교해 본 결과 $Ar+CO_2$ 가스가 양호하며 $Ar+CO_2+O_2$ 가스의 경우 고전류에서 Weld puddle이 불안한 것으로 나타났다. 따라서 고전류에서의 아크 안정성 측면에서 보면 상대적으로 TIME 가스와 $Ar+CO_2$ 가스가 양호한 것으로 판단된다.

3.2 스패터 발생량

Fig. 3은 용접전류의 변화에 따른 각각의 보호가스의 스패터 발생량을 나타낸 것이다. CO_2 가스의 경우 Globular 용적이행으로 인해 시험한 가스중에서 스패터가 가장 많이 발생하였으며, 400 Amp 이상이 되면 스패터 양이 6 g/min에서 16 g/min로 약 3배로 스패터의 발생이 급격하게 증가하였다. 반면에 TIME 가스와 $Ar+CO_2$의 경우에는 최대 시험 조건인 500 Amp까지 전류를 높여도 스패터 발생량은 크게 변화하지 않고 대략 2−4 g/min를 나타내고 있다. 특히, $Ar+CO_2+O_2$ 가스의 경우에는 300−500 Amp의 전체 시험 전류 영역에서 약

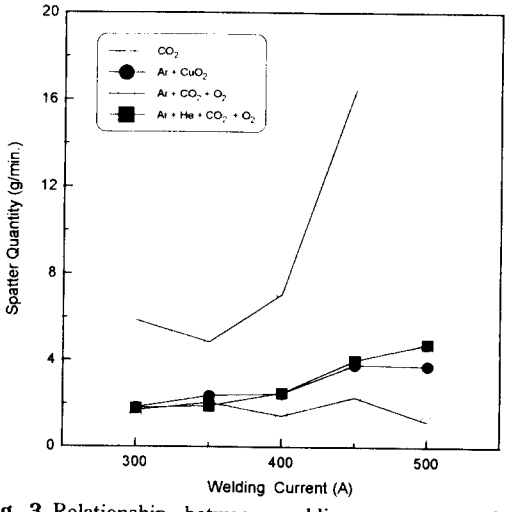


Fig. 3 Relationship between welding currents and spatter quantities with various shielding gases

2 g/min로 거의 일정한 낮은 스패터 발생량을 보여 스패터 발생에는 가장 안정한 보호가스임을 보여 주고 있다.

3.3 용착 속도

Fig. 4는 각각의 보호가스에 대해 전류의 변화에 따른 용착속도를 보여 주고 있다. 용착속도는 보호가스에 관계없이 전류의 변화에 따라 증가함을 알수 있으며, 이는 용착속도가 전류와 Wire extension 만의 함수라는 사실과 잘 일치함을 나타낸다[7]. 실질적으로 용착속도에 영향을 주는 변수는 실제 작업가능한 전류까지로 제한하는 것이 현실적인 것이라고 할 수 있다.

각 보호가스에 따른 적정 용접전류와 이 때의 용착속도의 관계는 Table 5에 정리되어 있다. 600 A 용접기를 사용하여 적정 용접 조건에서 전류와 그에 따른 용착속도를 보면 CO_2 가스의 경우 최대

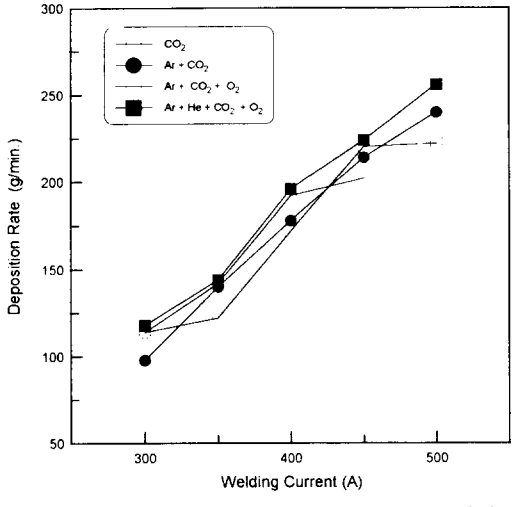


Fig 4. Relationship between welding current and deposition rate depending on shielding gas composition.

300 Amp의 전류에서 114 g/min의 용착속도를 보이고 있으나, 나머지 가스의 경우에는 최대 450A까지 실용접이 가능하며 이 조건에서 용착속도는 208−224 g/min으로 CO_2 가스에 비해 2배나 용착능률이 높다는 것을 알 수 있다. 따라서 기존의 용접장비와 적절한 보호가스의 사용으로 적정한 용접조건이 설정된다면 고능률 용접이 가능하다는 것을 보여주고 있다.

3.4 용입 형상

각 가스의 적정 용접조건하에서 Bead-on-plate로 용접한 용접부의 용입형상을 Fig. 5에 나타내고 있다. 용입 형상은 앞서 용접재료의 선정에서 언급한 것과 같이 용접재료및 가스의 종류에 따라 각각 달라진다. CO_2 가스의 경우 Fig.5에서 보는 바와 같이 Globular transfer mode로 인해 전 전류 범위에서 넓고 깊은 용입을 나타내고 있다.

Ar+CO_2 가스의 경우에는 저전류 범위에서 주로 나타나는 Spray transfer mode 특성을 보이는 Finger Type의 용입이 500 Amp의 고전류 영역에서도 나타내고 있다. TIME 가스의 용입형태는 450 Amp까지 Finger Type의 용입형태를 나타내고 있고, 이는 Spray transfer mode로 용적이행이 일어났음을 보여 준 것이며 또한 회전아크가 일어나지 않았음을 보여 주고 있다. 반면에 500 Amp에서는 약간의 Rotational spray transfer mode가 일어났음을 보여주는 Bowl Type의 용입형태를 나타내고 있다.

Fig. 6에는 각 보호가스와 용접조건에 관계없이 대표적인 용적 이행형태를 보여 주고 있다. Globular transfer mode의 대표적인 것은 보호가스를 CO_2로 사용한 경우(Fig. 6 (a))에 나타났으며 Spray transfer mode와 Rotational spray transfer mode (Fig. 6(b)와 (c))는 보호가스로서 TIME 가스와는 조성이 약간 다른 Ar+30%He+10%CO_2+2%O_2 가

Table 5 Maximum welding currents of practical welding with shielding gases at 600A Power source

Shielding Gas	Applicable current range by manual welding (Amp)	Deposition Rate (g/min)
Ar+He+CO_2+O_2	~ 450 Amp	224
Ar+CO_2+O_2	~ 450 Amp	220
Ar+CO_2	~ 450 Amp	214
CO_2	~ 300 Amp	114

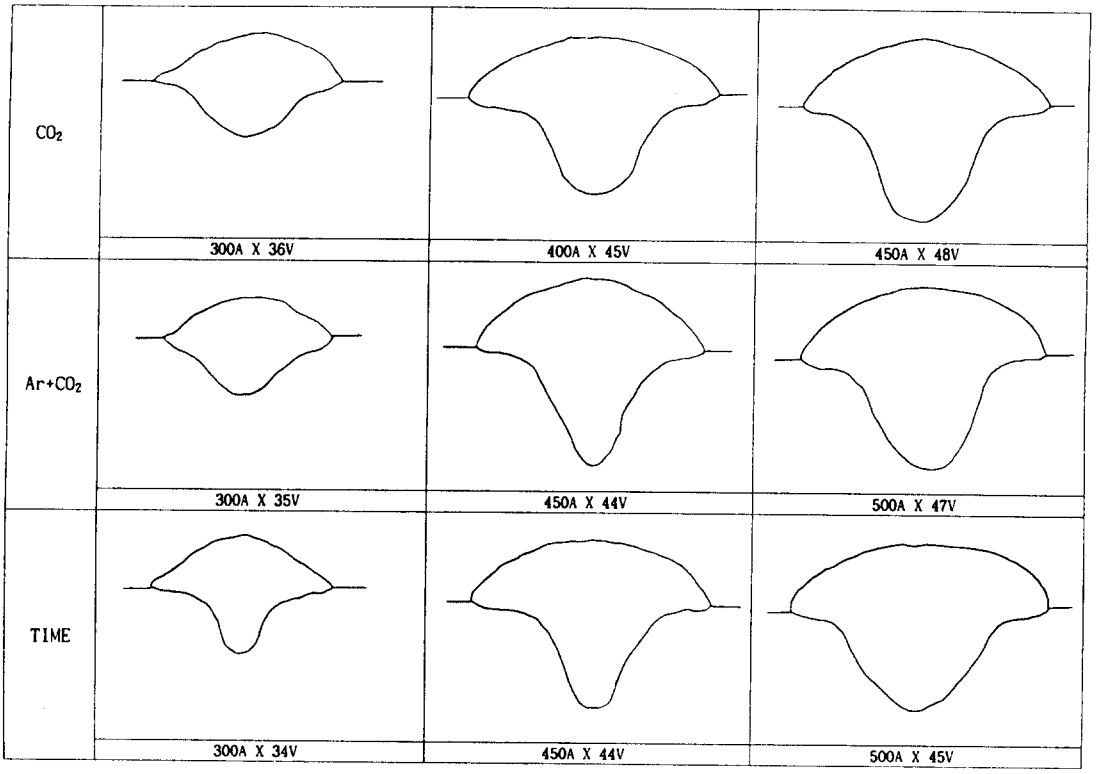


Fig. 5 Schematic weld penetrations with shielding gases and welding conditions

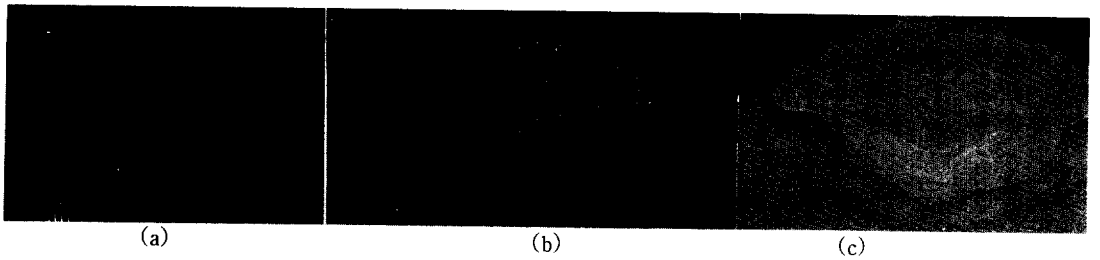


Fig. 6 Typical bead morphology of GMAW process on the transfer mode
(a) Globular transfer
(b) Spray transfer
(c) Rotational spray transfer

스[8]를 사용한 경우에 관찰되었다.

본 실험에 사용된 보호가스중에서 TIME 가스만이 500 Amp의 용접전류와 송급속도 30 m/min에서 안정한 Rotational spray transfer mode를 보여 주고 있어 이 조건이 Spray transfer mode에서 Rotational spray transfer mode로 바뀌는 천이영역임을 알 수 있으며 이 전류이상에서 용접이 가능한 보호가스는 TIME 가스이다. 반면에 $Ar+CO_2+O_2$ 가스와 $Ar+CO_2$ 가스는 본 실험에서 사용한 용접조건의 범위내에서 500 Amp 전류까지는 용입형태로 보아 용접이 가능한 Spray transfer mode를 보여주고 있어 보다 고전류영역에서 사용될 수 있는 가능성을 보여주고 있다.

그러나 실제로 이러한 조건들을 실용접에 적용할 때에는 전류조건 외에도 용접속도를 조절하여 적절한 용입이 되도록 하여야 하며, 만일 충분한

용입이 확보되지 않을 경우에는 용융선을 따라 개재물이 혼입되는 현상이 나타날 수 있다.

3.5 용접부의 기계적 성질

용접부의 기계적 성질에 미치는 보호가스의 영향이 인장강도, 항복강도와 연신율에 대해서 Fig. 7에 비교되어 있다. All weld metal 시험으로 측정된 항복강도와 인장강도는 CO_2 가스가 가장 낮은 값을 보이고 있으며 TIME 가스의 경우가 가장 높은 값을 나타내고 있다. 반면에 연신율은 반대의 경향을 보이고 있으나 $Ar+CO_2+O_2$ 가스의 경우에는 예외적으로 가장 낮은 연신율을 보이고 있다. 이러한 낮은 값은 용착금속내에 존재하는 결함에 기인하였으며, 실제로 2 pass 용접후에 열응력에 의한 고온균열이 발생한 것이 Macro 조직시편에서 관찰되었다. 용접부의 초층에서 발생하는 이러한 고온균열은 CO_2 가스를 제외한 나머지 가스를 보호가스로 사용한 경우에 모두 발생하였으며 이것은 보호가스에 관계없이 대입열 용접시 2 pass까지는 적정 전류조건으로 용접을 하여야 한다는 것을 보여주고 있다. 본 실험에서 사용한 용접조건중 전류는 2 pass 이후에는 모두 450 Amp의 고전류로 대입열 용접을 하였으나 고온균열의 문제를 해결하기 위해 2 pass의 전류를 350 Amp로 낮추어 용접을 한 결과 더 이상 고온균열은 관찰되지 않고 양호한 용접부를 얻을 수 있었다. Fig. 8에는 보호가스로서 $Ar+CO_2$ 가스(Fig. 8(a))와 $Ar+CO_2+O_2$ 가스(Fig. 8(b))를 사용하여 450 Amp의 고전류로 용접을 한 경우에 발생한 고온균열의 모습이다. 특히 $Ar+CO_2$ 가스를 사용한 경우에는 용융선을 따라 개재물 혼입의 현상이 관찰 되었으며 이러한 현상은 고전류에서 용적이 Spray transfer

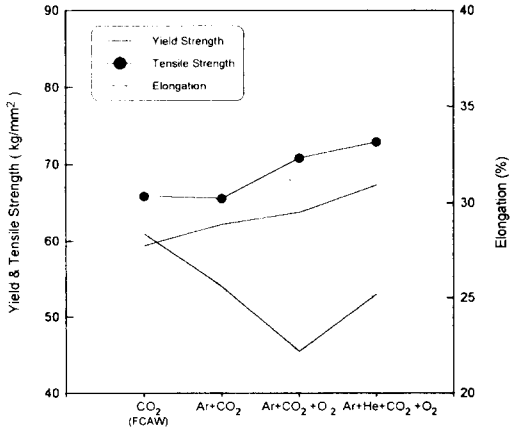


Fig. 7 Tensile properties of weld metals with various shielding gases

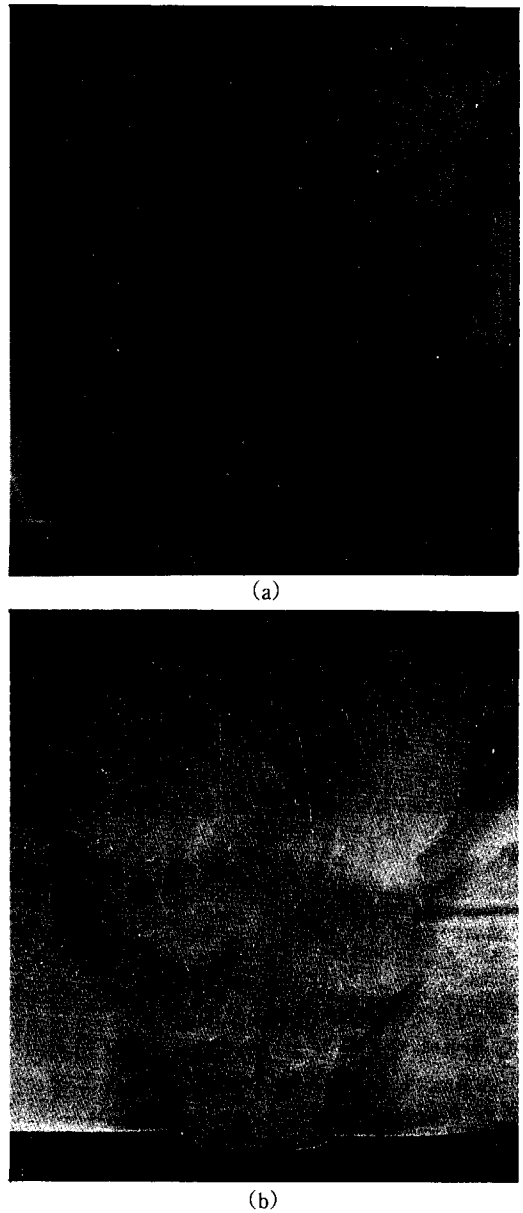


Fig. 8 Macrographs of weld joint including hot crack (a) $Ar+CO_2$ gas (b) $Ar+CO_2+O_2$ gas

mode에 따라 이행하기 때문이며 이것을 개선하기 위해 용접시에 용접속도를 50 cpm 이상으로 증가시킨 경우에는 매우 양호한 용접부가 얻어졌다.

용착 금속의 충격인성에 보호가스의 영향을 보면 −10℃ 이상에서는 Ar+CO_2 가스와 CO_2 가스의 경우에는 거의 동일한 충격인성을 보여주고 있고 더 낮은 온도에서는 CO_2 가스의 경우가 훨씬 높은 충격인성을 보여주고 있다. 이러한 충격인성에 미치는 보호가스의 영향은 Fig. 9에 나타나 있다. 반면에 TIME 가스나 Ar+CO_2+O_2 가스의 경우에는 상대적으로 낮은 값을 보이고 있으며 천이온도는 대략적으로 0℃ 근처에서 이루어지고 있다. 일반적으로 TIME가스의 경우는 우수한 충격인성을 보이는 것으로 알려져 있으나 본 실험에서는 상대적으로 낮은 값을 나타내고 있다.

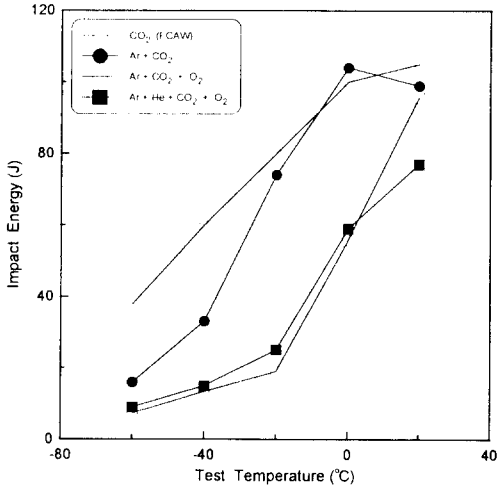
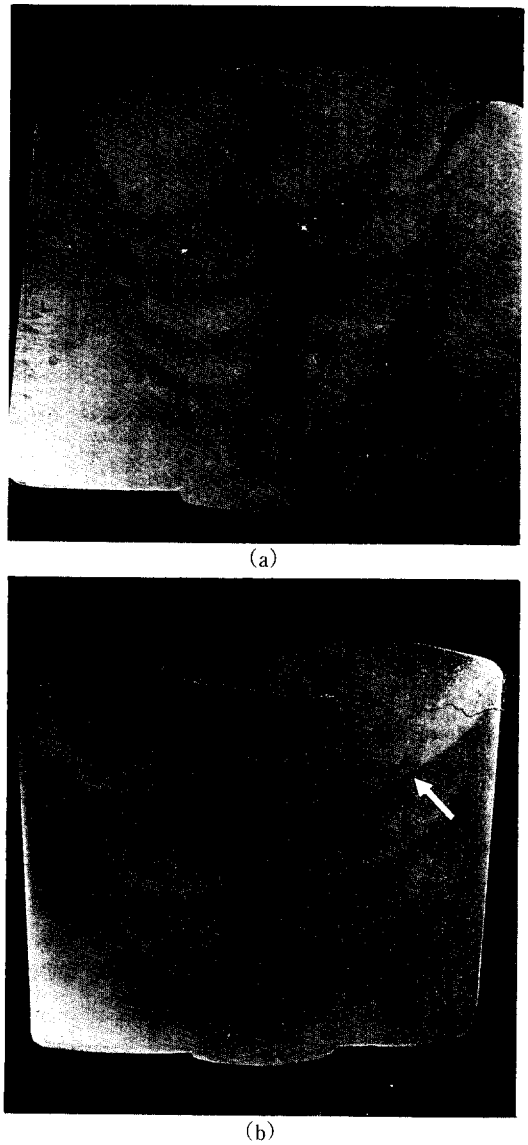


Fig. 9 Comparison of impact energy of weld metals with various shielding gases

TIME 가스의 용착금속이 다른 보호가스에 비해 낮은 충격인성을 보이는 것은 용접조건의 적합성에 기인한다고 할 수 있다. 본 실험의 용접조건으로 용접을 한 후에 Macro 조직시편에서 관찰할 수 있는 것처럼 용융선 근처에서 기공이 관찰되었으며, 이러한 기공들은 다른 보호가스를 사용하여 대입열 용접을 한 경우에도 관찰되었다. 기공을 제거하기 위해 초기의 용접조건과는 달리 용접속도를 증가시킨 경우에는 매우 양호한 용접부가 얻어졌으며 TIME 가스를 보호가스로 사용하여 용접하여 얻어진 용접부의 Macro 조직을 Fig. 10에서 볼



(a)

(b)

Fig. 10 Macrographs of weld joint in TIME gas with welding speed
(a) below 50 cpm (b) over 50 cpm

수 있다. 또한, 용접입열의 차이가 충격인성의 변화를 가져왔다고 할 수 있으며 Ar+CO_2 가스와 CO_2 가스의 경우는 다층용접으로 인한 적층수의 증가가 상대적으로 용접부내의 미세조직을 형성해 충격인성의 향상을 가져왔다고 할 수 있다.

Fig. 11에서 처럼 용접부의 경도분포를 보면 보호가스의 종류에 관계없이 용착금속의 경도는 Vi-

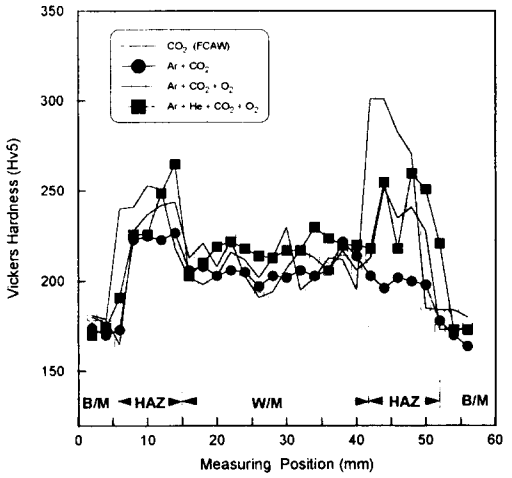


Fig. 11 Hardness distribution of weldments with various shielding gases

ckers 경도(Hv5)로 약 220정도이며 열영향부는 250 정도로 다소 높게 나타나고 있으나 전체적으로 정상적인 용접부의 경도분포를 보여주고 있다.

Fig. 12은 Solid wire로 용접된 용착금속의 화학성분에 미치는 보호가스의 영향을 보기 위해 C, Mn과 Si의 변화를 Spectrometer를 이용하여 성분을 분석한 결과를 보여주고 있다. 보호가스의 산화에 대한 안정성에 따라 용착금속내의 화학성분의 변화를 보여주고 있다. 전체적으로 C나 Si은 보호가스에 대해 거의 변화를 보이지 않고 있으나 산화성 분위기가 다른 가스에 비해 상대적으로 강한 $Ar+CO_2$ 가스에서 용착금속내의 Mn함량은 가

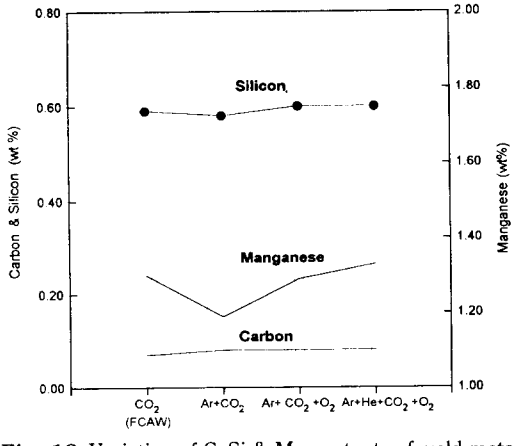


Fig. 12 Variation of C, Si & Mn contents of weld metal with shielding gases

장 낮은 값을 보여 주고 있다.

Fig. 13는 보호가스에 따른 용착금속내의 Columnar Region과 Grain Refined Region의 미세조직의 변화를 보여 주고 있다. CO_2 가스를 사용한 경우의 미세조직이 다른 가스에 비해 상대적으로 미세한 결정조직을 보여 주고 있다. 용접입열의 차이로 인한 조직의 미세화 결과로 생각할 수 있으나 $Ar+CO_2$ 가스의 경우는 동일한 고전류임에도 TIME 가스에 비해서도 상대적으로 미세한 조직을 보여 주고 있는 것은 다층용접으로 인한 적층수의 증가가 미세조직을 나타내어 충격인성이 향상된 것이라고 할 수 있다.

4. 결 론

고속용접과 대용착속도의 용접이 가능한 고능률 용접기법의 개발을 위해 보호가스가 용접성에 미치는 영향을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 고전류용 용접재료로는 Soild Wire의 경우 ER 70S-G type를 사용하는 것이 스패터의 발생이나 용접작업성 측면에서 효과적이다.

2. 600A 용접기를 사용하여 적정 용접 조건에서 전류와 그에 따른 용착속도를 보면 FCAW의 CO_2 가스의 경우 최대 300 Amp의 전류에서 114 g/min의 용착속도를 보이고 있으나, 다른 보호가스를 사용하는 GMAW의 경우에는 최대 450A까지 실용접이 가능하며 이 조건에서 용착속도는 208−224 g/min으로 CO_2 가스에 비해 2배나 용착속도가 높다.

3. 450 Amp 이상의 고전류에서 사용이 가능한 보호가스는 TIME 가스, $Ar+CO_2$ 가스와 $Ar+CO_2+O_2$ 가스이며, 이들 보호가스는 450 Amp의 고전류에서 용접시 용적 이행형태는 Axial spray transfer mode를 나타내었다.

4. 새로운 GMAW기법의 개발과 적용을 위해서는 용접성과 경제성을 고려하면 TIME 가스 보다는 $Ar+CO_2$ 가스를 보호가스로 사용하는 것이 바람직하다.

5. 기존의 용접장비를 활용하고 적정 용접조건을 설정한다면 경제적이면서 고속용접과 대용착속

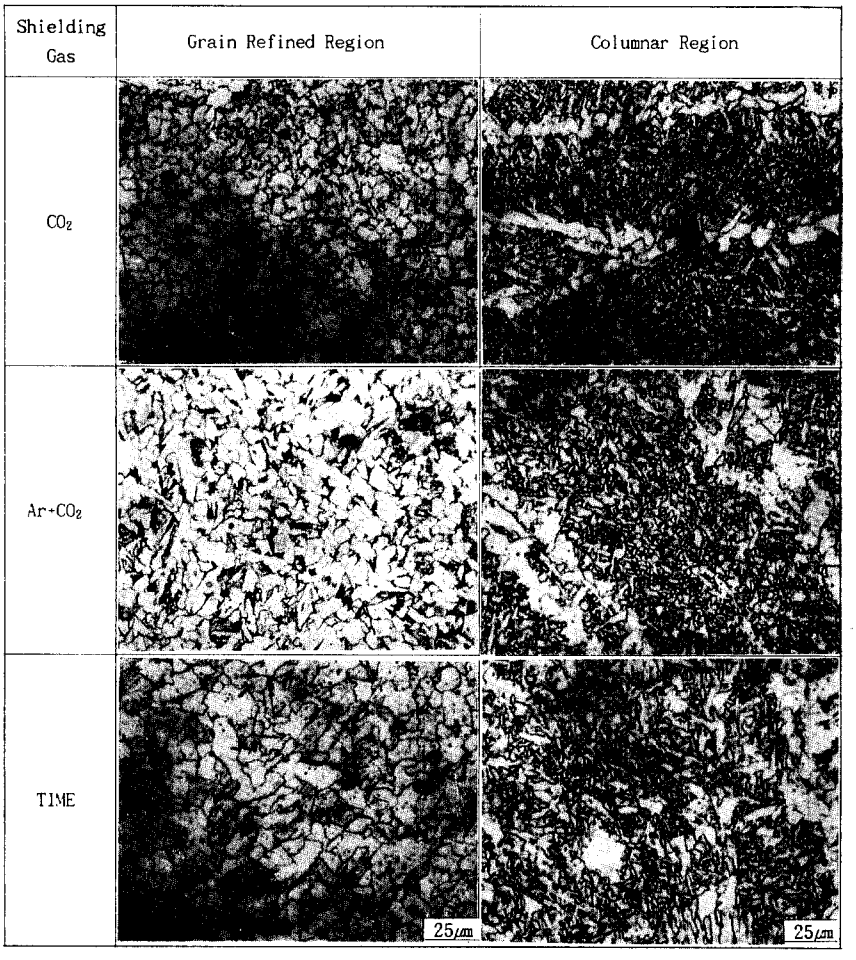


Fig. 13 Optical micrographs of columnar and grain refined region in weldment with shielding gases

도의 용접이 가능한 새로운 GMAW 기법의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 山本 英幸, 原田 章二, 山本 泰夫 : "ハイマグ溶接法の 開發", 溶接技術, 第38卷, 第2號, (1990), pp.68－73
2. 須田 一師, 乙黒 盈昭, 眞本 成美 : "高電流密度溶接法 "Hi-weld"の 開發", 溶接技術, 第40卷, 第6號, (1992), pp.119－124
3. J. G Church and H. Imaizumi : "Welding characteristics of new welding process, TIME Process", Doc Ⅻ－1199－90, IIW, (1990)
4. 今泉 啓, 加藤 敏夫 : "大電流 マグ溶接法 タイムープロセスの 開發", 溶接技術, 第38卷, 第2號,(1990), pp.74－85
5. Einar Halmony : "The T.I.M.E welding method compared with GMAW", Doc Ⅻ－1248－91, IIW, (1991)
6. John R. Birchfield : "High rate welds need more current, a different gas, and gun cooling", Welding Design & Fabrication, June, (1985)
7. Einar Halmony : The physics of welding, 2nd ed., Pergamon Press, (1986), pp.330－336
8. 대우조선 기술보고서, PT9332, (1994)