

MAG용접시 보호가스 조성변화에 의한 용접특성 변화 및 원가절감

R. Killing* · 황선희** · 정재필** · 박영조**

Effect of Shielding Gas on the MAG Welding Characteristics and Cost Reduction

R. Killing*, S. H. Hwang**, J. P. Jung** and Y. J. Park**

Key Words : Welding Cost (용접원가), Spatter (스്പ터), MAG Welding (MAG 용접),
Mixed Gas (혼합가스), CO₂ Gas (탄산가스)

Abstract

Amount of spatter, welding conditions and welding costs were investigated for MAG welding. CO₂, Ar+18%CO₂ and Ar+8%O₂ were used for shielding gases. As results, arc characteristics and appropriate range for welding were obtained. Amount of spatter in Ar+18%CO₂ gas welding was 20% of that of CO₂ welding, and Ar+8%O₂ was 10% of that of CO₂ welding. Therefore by using Ar+18%CO₂ and Ar+8%O₂ gases, welding costs could be reduced compared with CO₂ welding due to avoiding spatter.

1. 서 론

최근 용접사들의 인건비가 상승함에 따라, 용접 생산성에 관한 관심이 증대되고 있다. 용접생산성을 증가시키기 위한 방안으로 T.I.M.E. 용접법¹⁾이나

High MAG용접법²⁾, 기타 용접법들³⁾이 산업현장에 적용되기 시작하고 있다.

필자들은 한국기계연구원과 독일용접연구소(SLV-Duisburg)가 공동으로 수행한 용접전문기술자 교육 과정과 용접관련 기업들의 방문을 통해, 한국과 독일에서 사용되는 용접법이 많이 다르다는 것을 느꼈다. 그중에서도 가장 먼저 눈에 띄는 것은

* SLV-Duisburg, Germany

** 정회원, 한국기계연구원.

한국에서는 MAG 용접시 아르곤(Ar) 가스를 기초로 한 보호가스 사용이 적다는 것이다.

독일에서는 전 용융용접법 중에서 MIG/MAG 용접법이 70%를 차지하며, 보호가스로서 혼합가스 대 탄산가스의 사용비율은 80 : 20이다⁴⁾. 한국에서는 이와 반대로 거의 대부분이 보호가스로서 탄산가스를 사용하고 있다.

한국에서 혼합가스를 적게 사용하는 이유로써, 혼합가스의 높은 가격을 들고 있는 것은 옳다. 그러나 탄산가스 용접시 모재표면에 부착된 수많은 스팬터를 제거하는데도 비용이 소요된다. 한국에서 임금이 낮은 시기에는 비싼 혼합가스를 사용하는

것보다는 탄산가스를 사용하고 스팬터를 제거하는 것이 경제적인 수 있으나, 임금이 상승할때마다 탄산가스 사용의 경제성은 점점 의문시 될 것이다.

본 고에서는 이러한 이유로 인해 스팬터가 적게 발생하는 혼합가스 용접법에 대해 기술하고자 한다.

2. 용접용 보호가스

Fig. 1은 수년전에 규격화된 독일의 용접용 보호가스를 나타낸 것이다. 이 중에서 본고와 관련하여서는 M과 C 그룹이 중요하다.

Fig. 1 classification of shielding gases (DIN 32 526)

Group	Identification number	Number of constituents	Constituents in percent by volume						Processes according to DIN 1910 Part 4	Remarks
			Oxidizing		Inert		Reducing	unre-active		
			CO ₂	O ₂	Ar	He	H ₂	N ₂		
R	1	1	-	-	-	-	100	-	WHG	reducing
	2	2	-	-	Balance ¹⁾	-	1 to 15	-	TIG TP	reducing
I	1	1	-	-	100	-	-	-	TIG, TP MIG Root shielding	inert
	2	1	-	-	-	100	-	-		
	3	2	-	-	Balance	25 to 75	-	-		
M1	1	2	-	1 to 3	Balance ¹⁾	-	-	-	MAGM	slightly oxidizing ↑ more pronounced oxidation ↓
	2	2	2 to 5	-	Balance ¹⁾	-	-	-		
	3	2	6 to 14	-	Balance ¹⁾	-	-	-		
M2	1	2	15 to 25	-	Balance ¹⁾	-	-	-		
	2	3	5 to 15	1 to 3	Balance ¹⁾	-	-	-		
	3	2	-	4 to 8	Balance ¹⁾	-	-	-		
M3	1	2	26 to 40	-	Balance ¹⁾	-	-	-		
	2	3	5 to 20	4 to 6	Balance ¹⁾	-	-	-		
	3	2	-	9 to 12	Balance ¹⁾	-	-	-		
C	1	1	100	-	-	-	-	MAGC		
F	1	2	-	-	Balance ¹⁾	-	1 to 30	-	Root shielding	reducing : must be flared off if H ₂ content exceeds 10%
	2	2	-	-	-	-	1 to 30	Balance		

1) Argon may be partially replaced by He.

연강 및 저합금강의 MAG 용접에 많이 사용되는 혼합가스는 M 2·1(Ar+18%CO₂)과 M 2·3(Ar+8%O₂)이다. M 2·3은 아르곤과 산소의 비등점이 비슷하기 때문에 액체상태로 혼합하여 공급할 수 있고, 저장할 수 있기 때문에 특히 흥미롭다. 액화 가스의 사용은 대량소비시 상당한 가격상의 이득이 있다. Ar과 CO₂의 혼합에는 액체 Ar과 액체 CO₂를 소비처에서 기화시킨 후 상응하는 비율에 따라 혼합한다. 모든 혼합가스는 50l의 체적과 200bar의 충전 압력을 철강재 실린더에 넣어 공급할 수도 있다.

3. 실험방법

용접실험을 위한 모재로써 St37를 사용하였으며, 용접용 와이어는 1.2φ 연강용 와이어SG2(Table 1 참조)를 사용하였다. 보호가스로는 CO₂, Ar+18% CO₂, Ar+8%O₂를 사용하였다. 용접시 스팩터 발생량을 조사하기 위하여 430×400×300mm 크기의 box 형 통속에서 1분간씩 2회 용접후, 발생한 스팩터를 모아 그 무게를 측정하였다. 스팩터 발생량 조사를 위한 용접조건은 용접전류 300A, 용접전압 29~32V, 용접속도 30cm/min, 와이어 송급속도

9.4m/min, 보호가스 유량 20l/min로 하였다. 이때 극성은 정극성(DCEN)이며, pulse는 가하지 않았다.

Table 1. Chemical composition of SG2 wire(wt. %)

C	Si	Mn	P	S	Cu
0.07-0.14	0.7-1.0	1.3-1.6	≤0.025	≤0.025	≤0.30

4. 실험결과 및 고찰

4.1 직류 MAG 용접시 용접성 비교

Fig.2와 3은 CO₂와 Ar+8%O₂를 혼합가스로 사용할때, 전류 및 전압변화에 따른 아크특성과 작업범위를 나타낸 것이다. Fig.2에서 CO₂ 가스 사용시 short arc의 작은 존재 범위와 스팩터가 발생하는 천이 및 long arc의 큰 범위가 분명하게 나타난다. Ar+8%O₂ 가스 사용시에는 short arc 범위와 spray arc 범위에서 스팩터가 적게 용접할 수 있다. 이와 비슷한 그림들이 다른 혼합가스와 다른 wire 직경에 대해 작성된 것이 보고되어 있다⁵⁾.

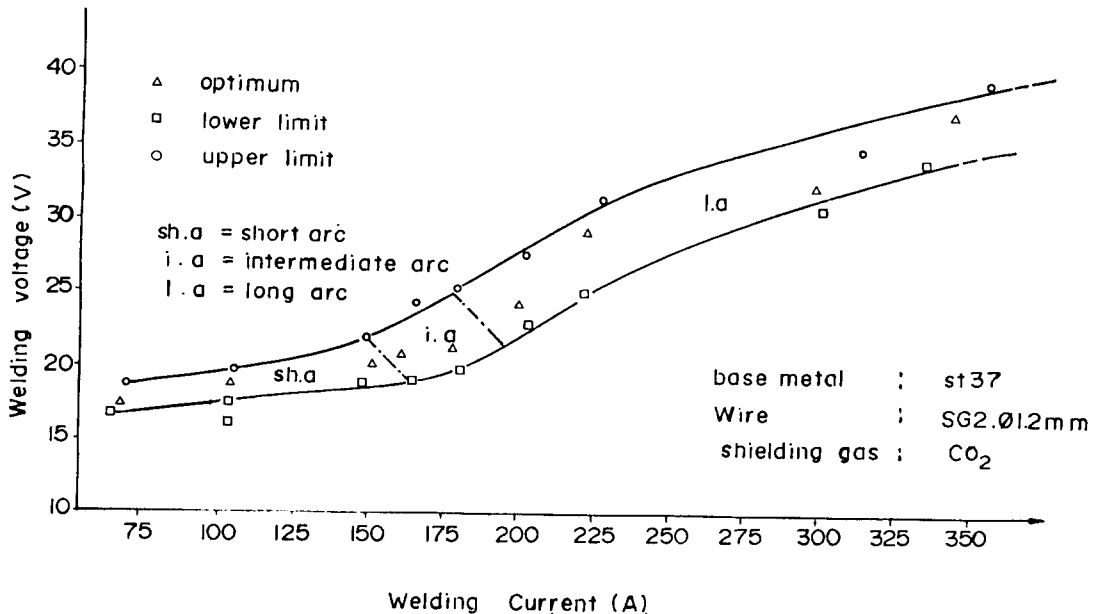


Fig 2. Working range of non-pulsed CO₂ arc welding

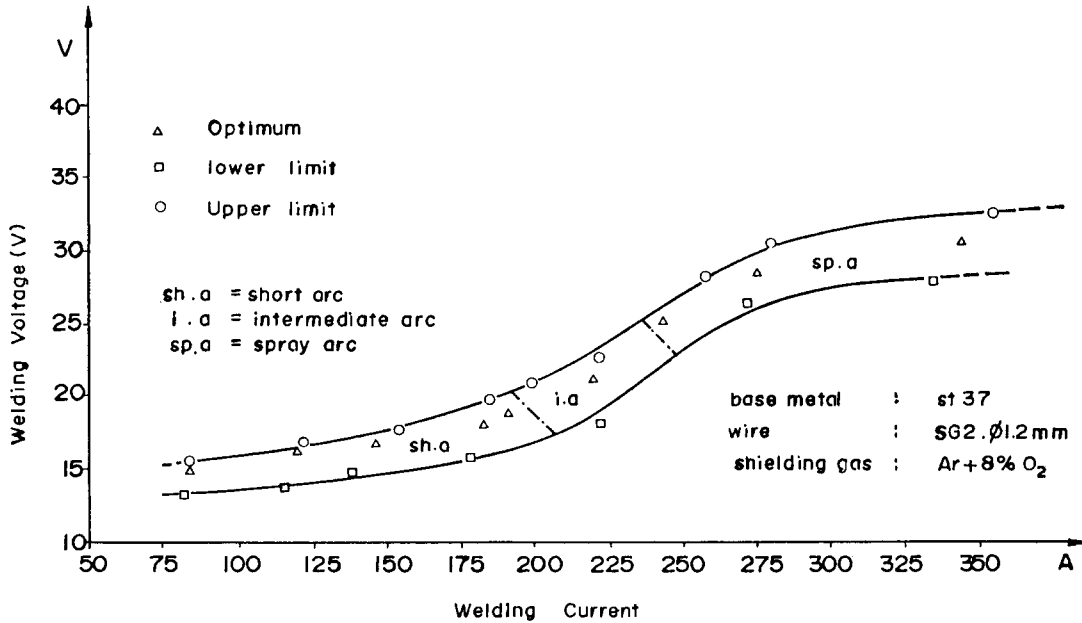


Fig 3. Working range of non-pulsed MAG(Ar+8%O₂) welding

저출력범위, 즉 저전류와 저전압 범위에서는 어떤 종류의 보호가스를 사용하더라도 short arc가 발생한다. 이 범위에서는 CO₂가스를 사용하더라도 용접조건을 조심스럽게 조정하면 스파터 발생이 적은 용접을 할 수 있다. 용접조건 조정범위는 혼합가스에 비해, CO₂ 가스를 사용하는 경우 특히 작다.

고출력 범위에서는 보호가스에 따라 용접결과와 차이가 분명히 나타난다. Ar이 많은 보호가스를 사용하는 경우, 전자기력의 영향에 의해 스파터가 적은 spray arc가 Fig. 3과 같이 형성된다. 반면, CO₂가 많이 포함된 가스에서는 유사한 전류와 전압에서 Fig. 2와 같이 long arc가 발생한다. Long arc에서는 용융된 용접봉과 모재 사이에 단락 현상이 자주 발생하는데, 단락이 파괴되면서 arc가 재점화될 때 스파터가 심하게 발생하게 된다.

Fig. 2 및 3에서 보듯이, short-, spray-, long arc 사이에는 천이 혹은 중간 아크라고 불리는 중간 범위(intermediate arc)가 있다. 이 범위에서는 어떤 종류의 가스를 사용하더라도 스파터가 발생하는데, CO₂를 사용하는 경우가 혼합가스를 사용하는 경우보다 더 많이 발생한다. 따라서, 이 범위에서의 용접은 가능한한 피하거나, pulsed arc로 대체하는 것이 좋다.

4.2 Pulse형 전류를 사용한 MAG 용접

Pulsed MAG 용접시에는 시간의 경과에 따라 전압과 전류가 base 수준의 낮은 값과 peak 수준의 높은 값을 가지면서 변한다. Fig. 4는 현대적 트랜지스터 전원 사용시 전류와 전압의 전형적인 진행

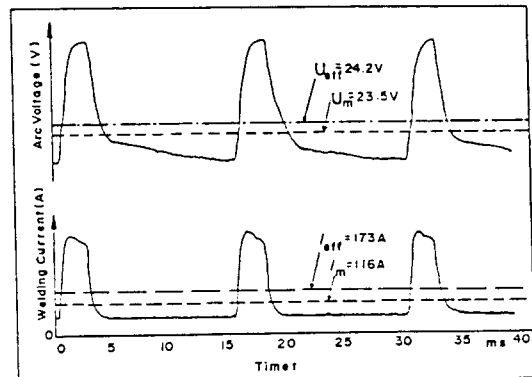


Fig 4. Curve of welding amperage and arc voltage determined by a transient recorder, the arithmetic average and effective values also shown : pulse frequency 90 cycles

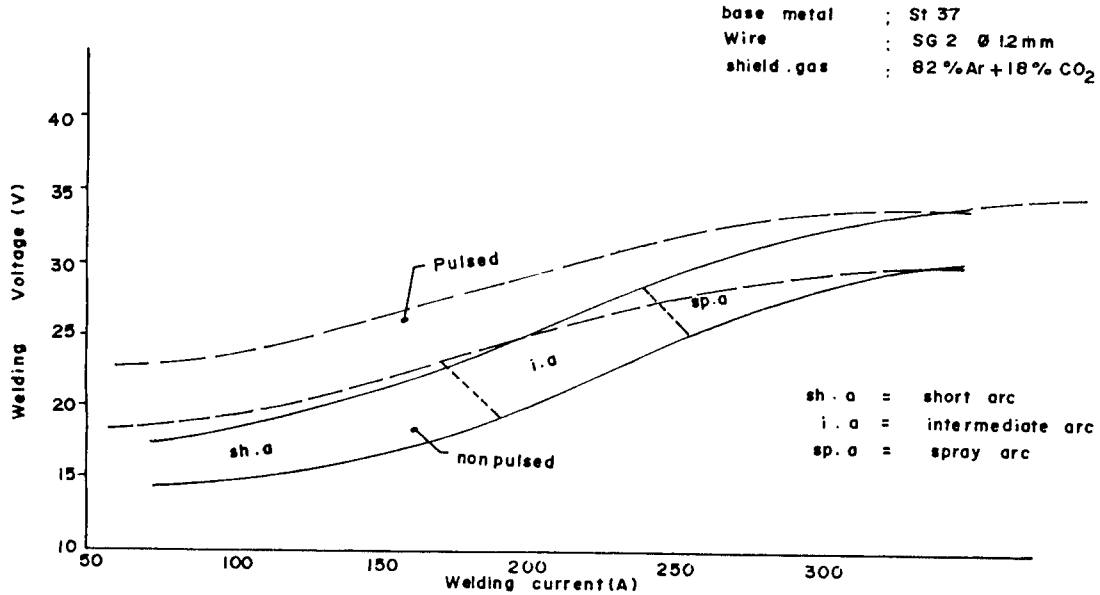


Fig 5. Comparison of working range of pulsed MAG (Ar+18%CO₂) welding with non-pulsed MAG welding

과정과, 전류 크기와 아크 전압에 대한 유효값 및 산술평균값을 보인 것이다⁶⁾. 용접기의 전원 계기에는 대부분 전류 및 전압의 산술평균값이 나타난다. Pulsed 용접시에도 Fig. 2, 3과 같이 유사한 형태의 작업범위를 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다.

Fig. 5는 Ar+18%CO₂ 가스를 보호가스로 사용할 때, pulse를 가한 경우와 가하지 않은 경우의 용접에 대한 아크특성 및 작업범위를 보인 것이다. Fig. 5에서 나타낸 바와 같이, 저출력 범위와 중간출력 범위에서 pulse 용접시 nonpulse 용접에 비해 더 높은 전압이 필요하다. 고출력 범위에서는 전류와 전압이 pulse용접시나 nonpulse 용접시나 거의 동등하다. Pulse 용접시, Fig. 5에서 보인 모든 작업범위에서 단락으로 인한 스파터는 전혀 생기지 않는다.

최근 CO₂ 가스를 사용한 pulse 용접법에 대해서도 소개되고 있으나⁷⁾, 대체로 pulse용접의 경우 보호가스로써 불활성가스나, 최대 20%까지의 CO₂를 포함한 Ar base 혼합가스가 적절하다.

4.3 직류 MAG 용접시 스파터 발생량

Fig. 6는 용접전류 300A, 용접전압 29~32V로 직류 MAG 용접시 스파터 발생량을 보인 것이다.

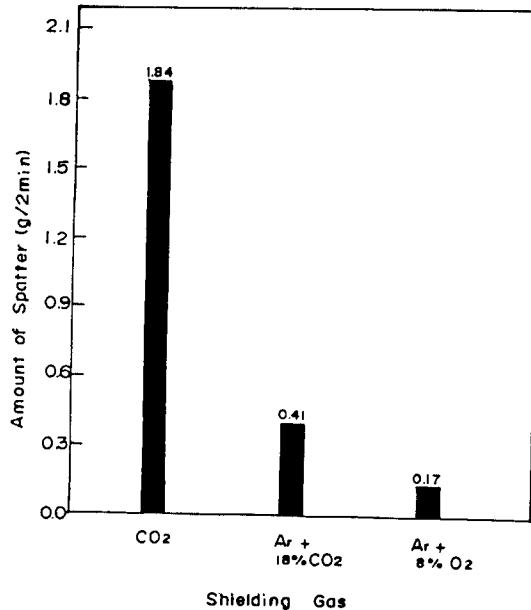


Fig 6. Amount of spatter when shielding gases were varied

보호가스가 CO₂인 경우 2분간 용접하였을 때 1.84g의 스파터가 발생하였으나, Ar+18%CO₂ 가스를 사용하였을 때에는 0.41g의 스파터가 발생하여, CO₂

용접에 비해 약 20%의 스파터 발생량을 보였다. 또 Ar+8%O₂ 가스를 사용하였을 때에는 0.17g의 스파터가 발생하여, CO₂ 용접에 비해 약 10%의 스파터 발생량을 보였다. 즉, 스파터 발생량이 10배 감소한 것이다. 용접전류 300A, 용접전압 29~32V는 Fig. 2, 3, 5에서 보였듯이 CO₂ 용접에서는 long arc 범위이나 Ar+8%O₂와 Ar+18%CO₂ 용접에서는 spray arc 범위이다.

Long arc 범위에서는 전술한 바와 같이 단락 현상이 자주 발생하며, 단락 파괴시 스파터 발생량이 많기 때문에 Fig. 6에서 보인 바와 같이 스파터 발생량이 많이 나타났다. 단락 파괴시 스파터가 발생하는 것은 CO₂ 용접의 스파터 발생 유형중 대표적인 것이다⁸⁾. Ar+18%CO₂, Ar+8%O₂ 혼합가스

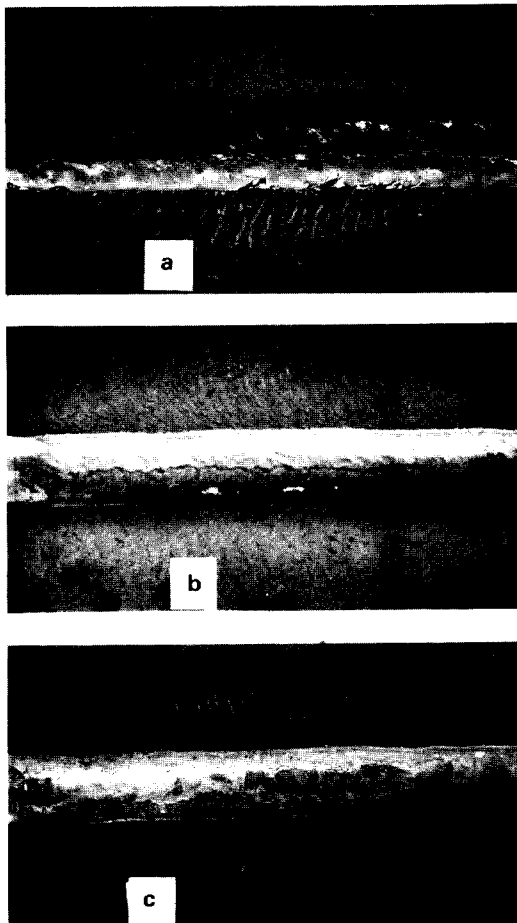


Photo. 1 Bead appearance of MAG welding
(a) 100%CO₂ (b) Ar+18%CO₂ (c) Ar+8%O₂

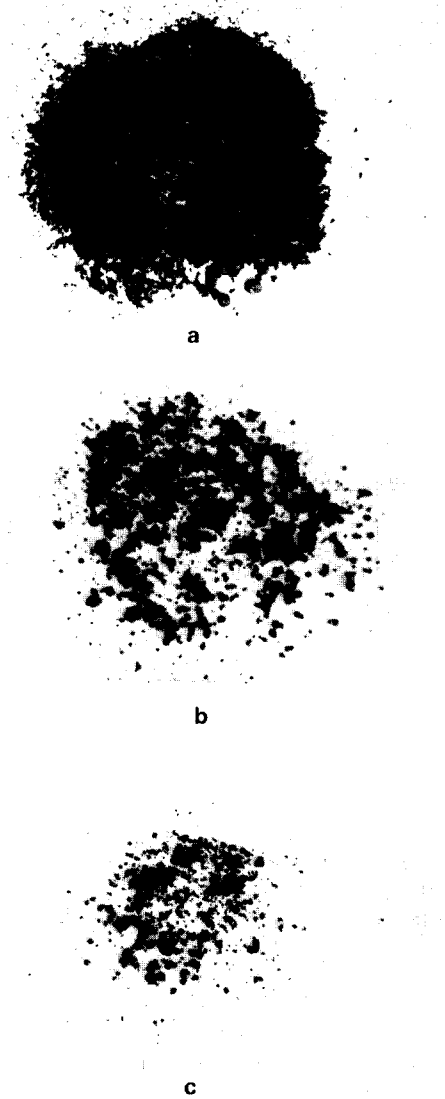


Photo. 2 Amount of spatter according to shielding gas in MAG welding
(a) 100%CO₂ (b) Ar+18%CO₂ (c) Ar+8%O₂

용접시에 용접조건이 속하는 spray arc 범위는 아크 및 용적이행이 안정되어 스파터 발생이 거의 없다.

Photo. 1과 2는 Fig. 6의 결과를 얻은 용접시의 용접비드와 스파터 발생량을 보인 것이다.

5. 경제성 비교

전 재료에 비해 용접시의 원가를 공통적으로 계산한다는 것은 어려운 일이다. 왜냐하면, 기업에서의 서로 다른 조건들에 의해 용접 준비 시간이나 용접 후 처리 시간이 달라지기 때문이다. 따라서 본 고에서는 한정된 조건에서 CO₂ 용접과 Ar+18%CO₂ 가스 용접을 하였을 때, 용접원가를 계산한 예를 소개하였다. 즉, CO₂ 가스와 Ar+18%CO₂ 혼합가스 용접시 5mm의 목두께를 가진 길이 1m의 fillet 용접시 총 용접원가를 Table 3과 같이 계산하였다⁸⁾. 계산시의 기초가 되는 전제 조건들은 Table 1에 표시되어 있다. Table 2는 계산을 위한 기초 비용을 나타낸 것으로, 가격은 독일 시장상황을 기초로 하여 만든 것이다. Table 3의 계산 결과로부터, 보호가스 가격은 전체 용접원가의 3 내지 9%로 그 비중이 작다는 것을 알 수 있다. 반면, 스파터 제거에 소요되는 비용이 전체 용접원가에서 차지하는 비중은 보호가스가 차지하는 비중보다 훨씬 크다는 것을 알 수 있다. 즉, CO₂ 용접의 경우 스파터를 제거하는데 소요되는 비용이 전체 용접원가의

Table 1. Assumptions for the calculation

Items	Value
Welding Job	fillet weld-throat thickness 5mm
Shielding gas	Ar+18% CO ₂ resp. CO ₂
Wire Feeding rate	11 m/min
gas flow rate	15 l/min
consumption for 1 m Weld seam	wire(1. 2 mm) : 200 g shield gas : 30l
arc time for 1 m weld seam	2 min.
cleaning time for 1 m weld seam (seam + nozzle)	mixed gas : 0.5 min Carbondioxyde : 2 min

Table 3. Total welding costs for 1m weld seam with different shielding gases

Items	Amounts in Dollar/m			
	Mixed Gas Ar+18% CO ₂	%	Carbondioxyde	%
labour costs (welder)	0.94 (752 Won)	53	0.94 (752Won)	39
cleaning costs	0.23 (184 Won)	13	0.94 (752Won)	39
consumable costs	0.47 (376 Won)	26	0.47 (376Won)	19
shielding gas costs	0.14 (112 Won)	8	0.07 (56Won)	3
Total costs	1.78 (1,424 Won)	100	2.42 (1,936Won)	100

Table 2. Cost basis for calculation

Items	Cost
Labour costs and secondary costs incl. machinery costs	28.23 \$/h (22,584 Won/hr)
consumables costs	2.35 \$/kg (1,880 Won/hr)
shielding gas costs	
Ar-mixture	4.70 \$/m ³ (3,760 Won/m ³)
CO ₂	2.35 \$/m ³ (1,880Won/m ³)

43%이며, 혼합가스 용접의 경우 전체 용접원가의 15%이다.

이와 같은 비교 결과에서 알 수 있듯이, 혼합가스를 쓰는 경우, 가스의 가격이 CO₂에 비해 2배 비쌌에도 불구하고, 스파터 제거에 의한 원가절감에 의해, 총 용접원가는 1.78\$/m로 CO₂ 용접에 비해 약 70% 수준인 것을 알 수 있다. 이러한 계산은 국내가스 가격(47리터 1봄배당 Ar 약 25,000원, Ar+18%CO₂ 약 22,300원, Ar+8%O₂ 약 23,800원, CO₂ 약 10,000원)과 각 생산업체에서 적용되는 원가 및 인건비를 적용해서 국내의 각 시공기업들에 의해 다시 계산할 수 있다.

현재 한국에서의 높은 혼합가스 가격은 그 사용량이 적기 때문인 것으로 판단되며, 만약 혼합가스에 대한 수요가 커지면 그 가격은 급속히 떨어질 것으로 사료된다. 그래서 그 기간 동안에는 가스 혼합기를 사용하면 낮은 가격으로 용접작업을 수행할 수 있을 것이다.

한국 업체의 경우, 적어도 상당히 높은 임금을 지불하고 있는 대기업들은 Ar base의 혼합가스 사용을 충분히 고려할만한 시점에 왔다고 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 혼합가스 사용에 의한 MAG 용

접시, 용접조건, 스파터 발생량, 경제성 등을 비교하였다. 그 결과, CO₂, Ar+18%CO₂, Ar+8%O₂ 가스를 보호가스로 사용할때, 용접전류 및 전압변화에 따른 용접작업 가능 범위와 아크 특성을 조사하였다. 또, 용접전류 300A, 용접전압 29~32V, 용접속도 20cm/min로 2분간 용접 하였을때, 스파터 발생량은 CO₂ 용접의 경우 1.84g, Ar+18%CO₂ 용접은 0.41g(CO₂ 용접의 20%), Ar+8%O₂ 용접은 0.17g(CO₂ 용접의 10%)이었다. 따라서 Ar 가스 첨가로 스파터 발생량이 크게 감소함을 알 수 있었다. 독일의 경우, 혼합가스를 사용하므로써 CO₂ 가스를 사용하는 경우에 비해 용접원가가 약 30% 감소되는 것으로 보고되고 있으므로, 한국에서도 혼합가스 사용에 관하여 관심을 가질만한 시점이 된 것으로 보인다.

참 고 문 헌

1. 박송춘 : 최신고능률 GMAW Process인 T.I.M.E. 용접법에 대하여, 대한용접학회지, 11권(1993), 1호, pp. 33~41
2. 山本, 原田, 山本 : ハイマク" 용접法の開發, 溶接技術, 38卷(1990), 2號. pp. 68~73
3. 杉谷, 小林, 村山 : 高速回轉 ア-ク 自動溶接法の開發と適用, 溶接技術, 38卷(1990), 2號, pp. 92~98
4. D. Bohme, R. Killing and R. Winkler : Einfluss unterschiedlicher Schutzgase auf die Ausbildung der verschiedenen Lichtbogenarten und das Schweißverhalten beim Metall-Schutzgasschweißen, DVS-Berichte, Bd. 112, S. 8~14, DVS-Verlag Dusseldorf(1988)
5. U. Dilthey and R. Killing : Calculating heat input with shielded metal pulsed arc welding, The Fabricator No. 8, (1989), P. 11
6. 西田, 古谷, 小島 : 最近の炭酸カ"ス・マク"溶接法, 溶接技術, 38卷(1990), 2號, pp. 62~73
7. 安藤, 山本 : 炭酸カカ"ア-ク 용접におけるスパシタについて(1報), 溶接學會誌講概, (1968), Mar., pp. 29~33
8. H. U. Pomaska : MAG-Schweißen, G.J.Manz-Verlag, München, (1989)