

GMAW Robot에서 Spatter최소 발생 조건에 관한 연구 A Study on the Optimal Condition for Minimizing Spatter Generation at GMAW Robot

김한식*, 한신식**
Han-Sik Kim*, Shin-Sik Han**

<Abstract>

GMAW(Gas Metal Arc Welding) processes are usually used in industrial side in order to get its high productivity. But those are only adopted in the semi-automated welding equipment because of a lot of welding spatters. Many industrial robot actually percents from being engaged in the welding processes. The welding spatter problem of causes blocking them being a fully automated welding process. This study was carried out to investigate the optimal conditions for minimizing welding spatter generation at GMAW robot. The spatter can be significantly reduced below 2% of welding spatter generation at the following conditions ; First, below 18V at the wire-feed rate 2.0mm/min Second, below 23V at the wire-feed rate 3.6mm/min Third, below 24V at the wire-feed rate 5.5mm/min.

Keywords : GMAW, Wire-feed rate, Spatter generation rate

1. 서 론

중공업 분야에서 가장 중요하게 사용되는 접합 기술 중의 하나가 용접 접합 기술이다. 주로 작업현장에서는 GMAW(Gas Metal Arc Welding)법이 많이 사용되고 있는데 이는 소모성 전극이 용융되어 모체에 용착됨으로써 접합이 이루어지는 방법이다.

GMAW 기법은 와이어를 사용하는 용접법으로써 용접현장에서는 사용하는 보호가스의 종류에 따라 여러 가지 용접법으로 구분되고 있다. 즉 CO₂ 가스를 사용하는 CO₂ 용접과 Ar⁺ CO₂, 또는 O₂의 혼합가스를 사용하는 MAG (Metal Active Gas)용접, 4원 혼합가스를 사용

하는 TIME 프로세스 등이 있다. 이러한 용접법에서 보호가스는 아크를 형성하는 역할과 대기 중의 가스가 내부로 유입되는 것을 보호하는 역할을 한다. 국내에서는 CO₂가스를 이용한 용접이 가장 광범위하게 사용되고 있는데, 이는 CO₂가스의 가격이 다른 가스에 비해 무척 저렴하고 용입이 깊기 때문이다. 최근에는 용접 자동화에 대한 관심이 증가함에 따라 CO₂용접이 더욱 확대 적용되고 있는 것이 세계적인 추세이다. 그러나 CO₂용접을 적용함에 있어 스파터 발생량이 많음으로 자동화에 의한 고속 용접이 어려워지고 있는 현실이며, 또한 용접 후 후처리에 의한 생산 원가의 증가가 항시 문제점으로

* 정희원, 한국폴리텍VI대학, 대구캠퍼스, 메카트로닉스학과, 교수

** 교신저자, 정희원, 한국폴리텍VII대학, 창원캠퍼스, 자동차학과, 교수, E-mail : hssik0107@naver.com

* Prof., Faculty of Mechatronics, Daegu Campus of Korea Polytechnic VI

** Corresponding Author, Prof., Faculty of Automobile, Changwon Campus of Korea Polytechnic VII

로 지적되어 왔다. CO₂용접의 경우 용적 이행이 Repelling transfer를 행하는 것으로 알려져 있는데 이러한 Repelling transfer에 의한 스파터의 발생이 많다고 알려져 있다.¹⁾ CO₂가스 분위에서 Repelling transfer가 발생하는 원인에 대해서는 몇 가지 이론이 제시되고 있는데 이 원인으로는 Cathode Jet이론²⁾, Plasma Buoyance이론²⁾이 있다.

따라서 CO₂용접의 확대 적용에 보다 적절히 대응하기 위해서는 스파터 발생을 절감시킬 수 있는 방안이 수립되어야 하는데, 이에 대한 대응의 하나가 바로 1980년대 초 상품화되어 최근까지도 개발이 활발하게 진행되고 있는 Inverter 용접전원이다.⁶⁾

Inverter 용접전원의 특징 중의 하나는 파형 제어를 순시적으로 할 수 있어서 용접 스파터가 발생을 억제시키는 것으로 알려져 있다.⁶⁾ 그러나 국내에서는 이와 같은 제어현상이 어떻게 이루어지고 있는지 대해서 깊이 있게 연구된 바 없을 뿐만 아니라, 각기 서로 다른 파형제어 특성을 가지고 상품화되어 있는 인버터 전원에 대한 비교 평가조차도 이루어져 있지 않은 상태이다. 따라서 본 연구에서는 기존의 SCR형 용접기와 현재까지도 다양하게 개발되고 있는 인버터 용접기를 상호 비교 평가하는 최종 목표를 가지고, 본 논문에서는 일차적으로 SCR용접기의 스파터 발생량에 미치는 용접조건에 대한 영향에 대하여 연구하게 되었다.

지금까지 GMAW, 특히 CO₂용접의 스파터 발생량에 대해서는 국내외적으로 자주 보고되어 왔다,^{4,6)} 특히 인버터 용접기의 우수한 성능을 홍보하는 차원에서 SCR 용접기와 비교한 결과가 많이 연구되었다. 그러나 이들 연구는 대부분 좁은 범위의 용접조건에서 시험한 결과만을 보여 주고 있어, 용접조건 특히 용접전압이 스파터 발생량에 미치는 영향을 이해하는데 어려움이 있다는 것을 발견할 수 있었다.

본 연구에서는 이러한 점을 보완하기 위하여 보다 넓은 범위의 조건에서 스파터 발생량을 측정하고 그 결과를 용적이행 현상 및 용접 비드 형상 측면에서 해석함으로써, 용접조건과 스파터 발생량의 상관관계를 보다 쉽게 설명할 수 있도록 하고자 수행하였다.

그리고 본 논문의 결과는 추후 Robot 용접의 최적 용접조건을 설정하거나, 파형 제어 성능을

평가하는데 기본 데이터로 사용되길 기대하는 바이다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 실험에 사용된 용접용 로봇 시스템은 대우중공업(주)에서 제작된 IRB-1500기종이며, 용접기는 효성중공업(주)에서 제작한 CO₂-MAG Arc 용접기로, 주요 사양과 용접 모재 가공, 용접부 시편의 절취, 연삭 및 측정에 사용한 기계의 사양을 아래 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Specification of experimental equipments

No	Equipments	Description and Specification
1	Robot System	Model : IRB-1500 Swivel range : +250 ~ -250 Pay load : 5kg Program memory : 64kbyte Input voltage : 3 phase 220V
2	CO ₂ -MAG Arc Welding M/C	Model : SR-A350u Rated power input : 16.3 KVA Duty Cycle : 60% Input voltage : 3phase AC220V Rated output voltage : 36V Open circuit voltage : 62V
3	Vertical Milling M/C	Model : MMV-1100 Strokes(X,Y) : 450, 300mm
4	Surface Grinding M/C	Model : DSG-450 Strokes(X,Y) : 200, 450mm
5	Band Sawing M/C	Model : WB-S320A Size : 200×200mm

용접을 위한 시스템의 개략도는 Fig. 1에 나타내었다.

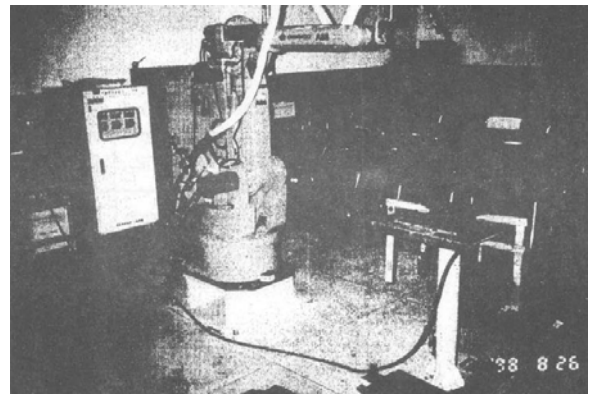


Fig. 1. View of GMAW Robot arc welding system.

2.2 실험재료

(1) 모재(Base metal)

본 연구에 사용한 시험모재는 일반 구조용 압연 강재(KS D 3503 : SS400)를 사용하였으며 기계적 성질과 화학성분은 Table 2, Table 3과 같다. 용접모재는 100(W)×400(L)×12(t) 크기로 기계 가공하여 녹을 완전히 제거하였다.

Table 2. Chemical composition of base metal

성분	C	Si	Mn	P	S	Cu	Cr	Ni	Fe
%	0.16	0.02	0.686	0.012	0.006	0.042	0.087	0.503	BaL

Table 3. Mechanical properties of base metal

Material	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield point (kg/mm ²)	Elongation (%)	Impact value (kg · m/cm ²)	Hardness (Hv)
SS400 (KS D3503)	48.1	31.8	28	6.6	128

(2) 용접용 와이어(Wire)

용접용 와이어는 직경 1.2mm 연강용 CO₂ 용접용 솔리드 와이어(Solid wire)로써 국내 K회사의 KC-26(AWS ER 70S-G, JIS YGW-12)제품이며 용접 실험 전에 220℃로 1시간 건조하여 사용하였다.

이 용접 와이어의 주요 기계적 성질 및 화학적 성분은 Table 4, Table 5와 같다.

Table 4. Mechanical properties of wire

Material	Tensile strength (kg/mm ²)	Yield point (kg/mm ²)	Elongation (%)	Impact value (kg · m/cm ²)	R.O.A (%)
Solid wire (∅1.2)	58	51	28	12	60

Table 5. Chemical composition of wire

성분	C	Si	Mn	P	S	Mo	Al	Ti	Fe
%	0.07	0.46	1.13	0.012	0.008	0.03	0.56	0.21	BaL

용접은 준비된 모재를 Fig. 2와 같은 스패터 포집장치 내부에 설치하고 약 400mm의 비드 언 플레이트(bead on plate)용접을 길이 방향으로 실시하였다. 용접이 진행되는 동안 용접 전류, 전압 파형을 각각 측정하였으며, 용접이 완료된 후에는 용접 중 발생한 스패터를 모두 포집하고, 이를 슬래그, 잔사 등으로부터 분리한 다음, 일정크기(140 mesh)이상의 스패터만 취

하여 무게를 측정하였다. 측정된 스패터 무게는 용접재료 100g 당으로 환산하여 스패터 발생률(Spatter Generation Rate, SGR, %)을 측정하였다.

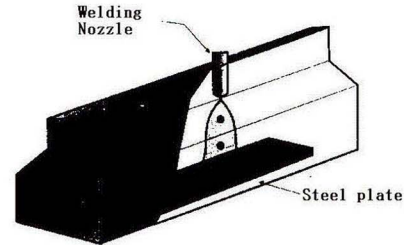


Fig. 2. View of spatter gathering device.

$$\text{스패터 발생률 (\%)} = \frac{\text{스패터 무게 (g)}}{\text{용접재료 소모량 (g)}} \times 100$$

본 실험에 사용된 용접전원은 350A급 SCR 제어형으로써 국내 S사에서 제작된 것이며, 보호가스는 용접용 CO₂가스이며 유량은 25 l/min 이었다.

2.3 용접조건 및 파형 측정 장치

용접조건은 먼저 와이어 송급 속도(wire feeding rate, WFR)를 20~14.0m/min 범위에서 6단계로 설정한 다음, 각각의 단계에서 콘택트 팁(contact tip)과 모재 간의 거리 (CTWD) 및 용접속도는 일정하게 하고, 단지 용접전압만을 변수로 하여 실험을 실시하였다.

Table 6은 실험변수로 사용된 송급 속도 및 용접 전압의 시험범위를 보여주고 있다.

Table 6. Welding conditions

WFR* (m/min)	CTWD** (mm)	Travel speed (mm/min)	Voltage range (V)
2.0	14	250	14.7~20.0
3.6	14	250	16.6~23.4
5.5	14	250	19.4~27.3
9.0	16	300	23.7~33.9
12.0	20	300	26.0~38.4
14.0	20	300	30.5~36.1

* WFR : Wire feeding rate

** CTWD : Contact tube to work distance

용접이 진행되는 동안 용접전압과 전류는 아크 모니터링 시스템(Arc Monitoring system)을

통하여 2초 간격으로 측정하여 평균하였으며, 각각에 대한 순간적인 변화는 자체 제작한 용접 전류, 전압 파형 측정 장치를 이용하여 각각 20kHz의 샘플링 속도로 3초 동안 측정하였다.

용접전압 신호는 용접전원의 케이블에 설치된 홀 센서(hall sensor)에서 감지되도록 하였다. 그밖에 본 장치에 대한 세부내용은 참고 문헌⁵⁾에 보고된 바 있다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 용적이행 형태의 변화

CO₂용접에 있어서 영적이행 형태는 단락이행(저 전류 영역)과 입상(globular)이행(고 전류 영역)의 두 가지로 나타나고 있음은 잘 알려져 있는데,³⁾ 이들은 용적이행 과정에 있어서 커다란 차이를 보여주고 있기 때문에, Fig. 3의 (A)와 (B)에서 보여주는 바와 같이, 용접전압, 전류 파형에 있어서도 뚜렷한 차이를 보여주게 된다. 그런데 단락이행에서 입상이행으로 천이가 일어나는 조건에서는 상기한 두 가지 파형이 혼재되어 Fig. 3의 (C)와 같이 나타나게 된다. 따라서 본 연구에서는 CO₂ 용접의 용적이행 형태를 3가지로 구분하였는데, 먼저 평균 단락 횟수가 5회/sec 이하인 경우는 입상이행으로 정의하였고 6~15회/sec인 경우는 천이(transitional)이행이라고 하였으며, 16회/sec 이상인 경우는 단락이행으로 정의하였다.

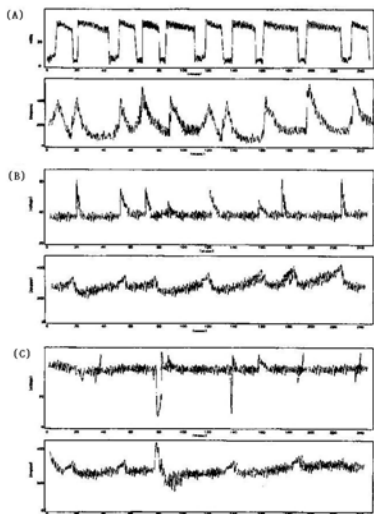


Fig. 3. Typical arc voltage and current variations of three different transfer modes : (A) short circuit, (B)globular and (C) transitional mode.

이상과 같은 기준을 가지고 본 실험에서 실시한 모든 조건에 대해 용적이행 형태를 판정한 결과, Fig. 4와 같은 결과를 얻을 수 있었다. Fig. 4는 용적이행 형태를 와이어 송급 속도(X축) 및 용접전압(Y축)을 변수로 하여 보여주고 있는 것이고, Fig. 5는 와이어 송급속도를 용접전류(X축)로 바꾸어 재구성한 것이다.

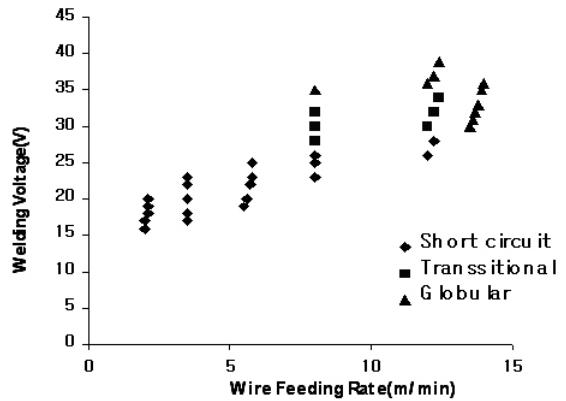


Fig. 4. Metal transfer mode map.

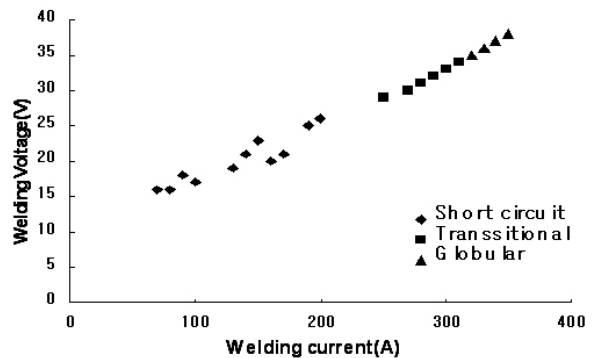


Fig. 5. Metal transfer mode map.

본 그림에서 알 수 있듯이 용적이행 형태는 상기 변수의 변화에 따라 차이가 있음을 보여주고 있는데, 이러한 차이를 와이어 송급 속도에 따라 구분하여 보면 다음과 같다.

와이어 송급 속도(WFS)가 5.5m/min이하 (용접전류 200A)인 범위에서는 용접전압에 관계없이 모두 단락이행 현상만을 보여 주고 있다. 단락횟수는 전압이 증가함에 따라 증가하다가 감소하는 경향을 보여 주었는데, 최대 단락횟수는 와이어 송급 속도가 3.6m/min, 용접 전압이 20V일 때 110회/sec 이었으며, 최소 단락 횟수는 약 20회/sec 이었다. 따라서 이 경우는 모두 단락이행조건이라고 판정하였다. 그리고 본 실험

험에서 적용한 최소 전압에서는 용접아크가 끊기는 현상이 발생하였다. 한편 와이어 송급 속도가 최대가 되는 14m/min인 경우(용접 전류 315A 이상)에서는 30V이상의 범위에서만 실험이 수행되었는데, 용접전압에 관계없이 모두 입상이행만이 나타나고 있음을 보여 주었다.

그러나 실제로 3초 동안 기록된 전체 파형을 분석하여 본 결과, 단락현상이 일부 나타나고 있음을 확인 할 수 있었는데 그 횟수가 모두 5회/sec이하이었기 때문에, Fig. 6은 이들 모두를 입상이행이라고 판정하였다. 입상이행에 있어서의 특징은 Fig. 3의 (b)에서 보여 주는바와 같이 입상이행 할 때마다 전압 파형 상에 불연속점을 준다는 것인데, 이를 근거로 단위 시간당 입상 이행 횟수를 계산하여 본 결과 약 30~40회/sec정도이었다.

한편 와이어 송급 속도가 중간범위인 9m/min, 12m/min인 경우에는 (용접전류 220~310A 범위) 앞에서 언급한 3가지 용적이행 형태가 모두 나타나고 있었다. 즉 저전압 측에서는 단락이행을 보이다가 용접전압이 증가하게 되면 입상이행으로 완전히 천이 하였는데, 그렇게 천이되는 과정에서 단락이행과 입상이행이 혼재되어 나타나는 천이이행 영역이 존재하였다.

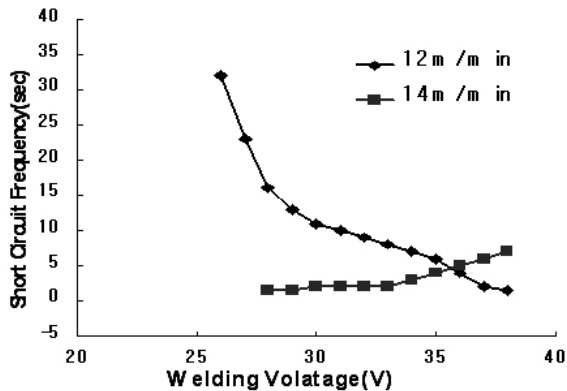


Fig. 6. Short circuit frequency as a function of welding voltage.

이는 결국 용접 전압이 증가함에 따라 단락 횟수가 감소함을 의미하는 것인데, Fig. 6은 와이어 송급 속도가 12m/min인 경우에 있어서의 용접 전압 증가에 따른 단락횟수의 변화를 보여주고 있다. 이 경우 26V에서는 단락횟수가 30회로써 단락이행을 하지만, 전압이 증가하면서 횟수는 점차 감소하여 천이이행이 되고, 전

압이 36V 이상이 되면 단락횟수가 0이 되어 완전히 입상이행으로 천이 하였다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이, CO₂용접의 용적이행 형태는 와이어 송급 속도(용접전류)에 따라 상이하게 나타나고 있음을 알 수 있는데, 본 연구에서는 와이어 송급 속도를 기준으로 하여 다음과 같이 구분하여 보았다. 즉 용접전압 변화에 관계없이 단락이행만을 보여주는 구간, 입상 이행만 보여주는 구간(이들을 각각 단락이행 구간, 입상이행구간이라고 명명함) 그리고 천이 현상을 보여주어 2가지 이행 형태가 모두 나타나는 구간(이를 혼합이행 구간이라고 칭함)으로 구분한 것이다.

3.2 스패터 발생량

(1) 단락이행 구간

와이어 송급 속도가 2.0, 3.6, 5.5m/min인 경우에 있어서 금속이행은 용접 전압 변화에 관계없이 Fig. 4와 Fig. 5는 단락이행 만을 보여 주었다. 이와 같이 단락이행 구간에서의 스패터 발생량은 Fig. 7에서 보여주고 있다.

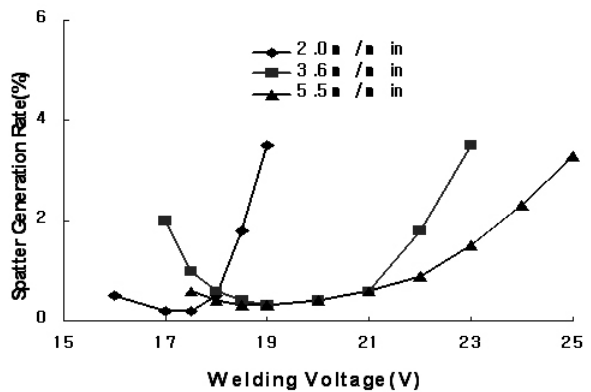
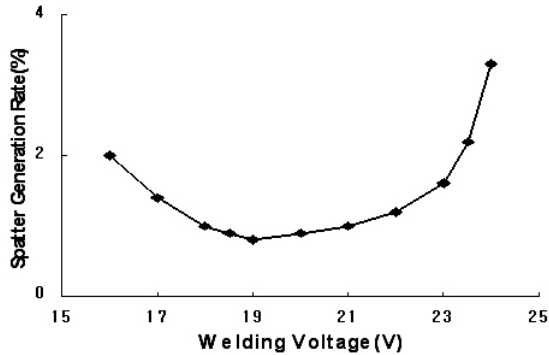


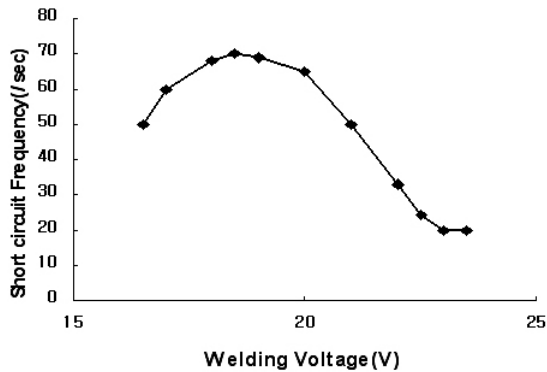
Fig. 7. Spatter generation rate as a function of welding voltage in the condition of short circuit transfer(WFR = 2.0, 3.6 and 5.5m/min).

본 그림에서 알 수 있듯이 스패터 발생률은 용접전압이 증가함에 따라 서서히 감소하다가 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 다시 말하면 이 구간에서는 스패터 발생률이 최소가 되는 용접 전압이 존재한다는 것을 의미하는데, 그 조건에서의 스패터 발생률은 모두 1%미만으로 매우 적은 수치를 보여 주었다. 한편 용접 전압 증가에 따른 스패터 발생률의 변화와 단락이행 횟수의 변화를 함께 검토하여 본 결과, 이들 사

이에는 어느 정도 상관관계가 있음을 알 수 있었는데 Fig. 8에서 보듯이 단락이행 횟수가 최대가 되는 조건과 스패터 발생률이 최소가 되는 조건이 매우 유사하게 나타나고 있음을 알 수 있었다.



(a) Spatter generation rate.



(b) Short circuit frequency

Fig. 8. Effect of welding voltage on spatter generation rate and short circuit frequency (WFR = 3.6m/min).

(2) 혼합이행 구간

본 구간은 앞서서도 언급하였듯이 와이어 송급 속도가 9m/min, 12m/min이 되는 경우로써, 저전압 측에서는 단락이행이, 고전압 측에서는 입상이행이 나타나는 구간이다.

Fig. 9는 이 구간에서의 스패터 발생률과 용접 전압의 관계를 보여 주고 있는데 단락이행 구간에서의 경향은 Fig. 7과는 정반대가 되는 현상을 보여주고 있다. 즉 이 구간에서는 용접 전압이 증가함에 따라 스패터 발생률이 증가하다가 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이와 같은 결과는 Yamamoto⁸⁾가 용접전류 250A에서 시험한 결과와 일치하고 있다.

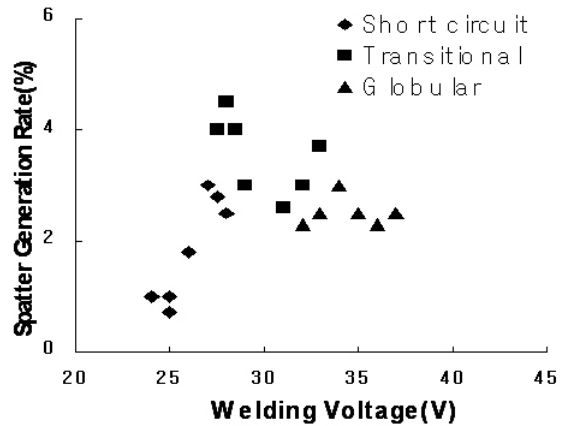


Fig. 9. Spatter generation rate as a function of welding voltage in the condition of mixed transfer (WFR=9.0 and 12.0m/min).

결국 이 경우에는 스패터 발생률이 최대가 되는 조건이 존재하게 되는데, 최대치는 각각 4.96%, 및 3.71%이었다. 이러한 현상을 용적이행 현상과 비교하여 살펴보면, 단락이행을 하는 저전압 측에서는 1~2% 정도이지만, 용접전압이 더욱 증가하여 입상이행이 되면 스패터 발생률은 다시 감소하는 경향을 보여주고 있다.

천이이행 구간에서 스패터 발생률이 최대가 되는 원인을 규명하기 위하여 용접 파형을 보다 자세히 분석하여 본 결과, 천이 이행에서는 단락 구간이 2m/sec이하일 때 순간 단락 (instantaneous short circuit)이 자주 발생하고 있음을 확인 할 수 있었다.

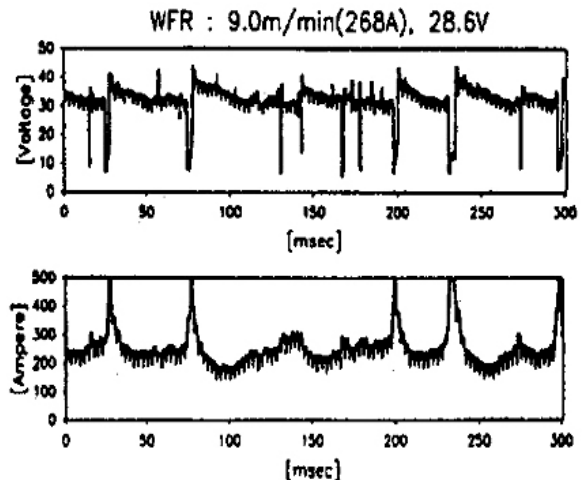


Fig. 10. Typical wave pattern showing the frequent appearance of instantaneous shot circuit in the transitional transfer mode.

Fig. 10은 이러한 사실들은 순간 단락이 스파터 발생과 어떤 상관 관계가 있을 수 있음을 의미 하는데, Shuyian⁴⁾ 등은 이들 간의 관계를 실험적으로 보여준바 있다.

(3). 입상 이행 구간

본 연구에서 수행한 최대 와이어 송급 속도인 14m/min의 조건은(용접전류 315A이상) 입상 이행 구간에 위치한다고 할 수 있다. Fig. 11은 이 조건에서의 스파터 발생률 시험결과를 보여 주고 있는데, 용접전압이 증가함에 따라 계속 증가하는 경향을 보여 주고 있다. 그런데 앞 절의 혼합이행 구간에서 나타난 이행은 스파터 발생률이 2~2.5%수준이었던데 반하여 이 구간에서의 발생률은 0.88~2.21% 정도로써 상대적으로 낮은 수치를 보여주었다. 이는 결국 같은 입상 이행이라고 하더라도 이 구간에서 나타나는 입상이행이 보다 안정적으로 이루어지고 있음을 의미하는 것으로써 적정 용접전압 범위가 존재함을 보여주고 있다.

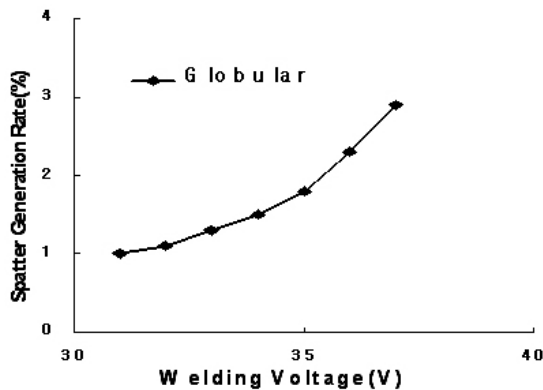


Fig. 11. Spatter generation rate as a function of welding voltage in the condition of globular transfer (WFR = 14.0m/min).

3.3. 용접시공 조건과 스파터 발생량

지금까지는 용접조건 변화에 따른 스파터 발생량의 변화에 대해서 살펴보았는데 결론적으로 용접조건을 적절히 선택하면 스파터 발생을 최소화시킬 수 있음을 알 수 있었다. 그리고 용접전압을 선정하되 스파터 발생이 최소화되는 조건으로 선정하게 되면 스파터 발생률은 SCR 용접기에서도 약 2%이하로 유지할 수 있음을 보여 주었다. 그러나 실제 용접시공에 있어서는 스파터 발생 정도보다는 용접 비드 형상을 우

선적으로 고려하여 용접조건을 설정하고 있다.⁴⁾ 즉 필요한 용접 전류(와이어 송급 속도)가 선정 되면 다음으로 양호한 비드 형상을 얻을 수 있도록 용접전압 범위가 설정된다는 것이다. 그리고 그러한 조건 범위가 결정되면 후차적으로 고려되는 것이 스파터 발생량 또는 아크 안정성 등인 것이다.

이러한 판단을 기초로 하여 최적 전압 조건에서의 스파터 발생률을 와이어 송급 속도 및 용접전류에 대해 도표화 한 것이 Fig. 12이다.

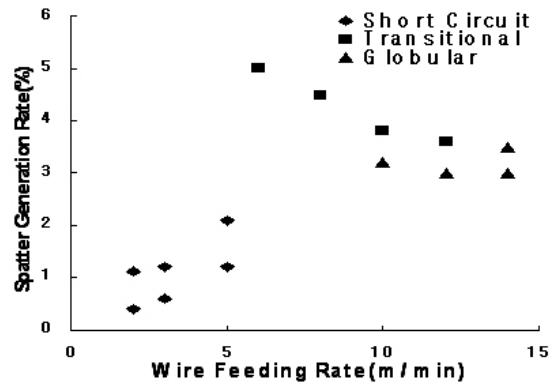


Fig. 12. Spatter generation rate as a function of wire feeding rate in the condition of optimum bead geometry.

Fig. 13은 와이어 송급 속도가 낮은 경우에는 스파터 발생량의 절대치가 상대적으로 작았기 때문에 용접 가능한 범위(아크 끊김 현상이 없는 조건)에서 얻어진 모든 데이터를 사용하여, 최대치 및 최소치로 표시하였다.

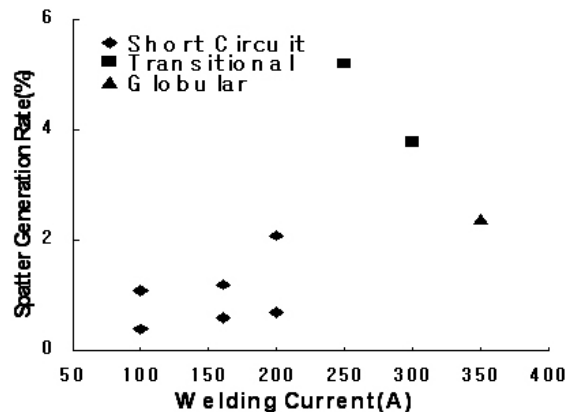


Fig. 13. Spatter generation rate as a function of welding current in the condition of optimum bead geometry.

이렇게 만들어진 Fig. 13의 결과가 의미하는 것은 와이어 송급 속도(또는 용접 전류)에 따라 스파터 발생량의 변화는 매우 크며, 와이어 송급 속도 9m/min(용접전류 270~280A) 부근에서 최대를 기록한다는 것이다. 다시 말하면, 스파터 발생이 최소가 되는 용접전압에서는 와이어 송급 속도에 관계없이 2% 이하로 그 차이가 크지 않지만, 양호한 비드가 형성되는 용접 전압에서는 와이어 송급 속도(또는 용접 전류)에 따라 그 차이는 매우 크게 나타나게 된다는 것이다. 그리고 그렇게 차이가 크게 되는 원인을 용적이행 형태와의 관계에서 찾아보면, 송급 속도가 낮은 경우는 안정적인 단락이행을 하는 구간으로써 스파터 발생량이 매우 적은 반면, 와이어 송급 속도가 9.0~12.0m/min이 되는 구간에서는 비드 형상이 양호하게 되는 조건이 천이이행 모드를 하는 조건과 일치하여 발생률이 높을 수밖에 없고, 송급 속도가 더욱 증가하게 되면 입상이행이 나타나는 조건이 되기 때문에 스파터 발생량은 다시 감소한다고 할 수 있다.

결국 적정 용접조건을 선정함에 있어 가장 문제가 되는 구간은 혼합이행 구간이라고 할 수 있는데, 이 구간에서는 스파터 발생량을 줄이고자 하면 비드 모양이 나빠지고, 비드 모양이 양호한 조건을 취하게 되면 스파터가 다량 발생하는 결과를 초래하게 되는 것이다. 그런데 실제 용접 시공에 있어서는, 앞에서 언급한 바와 같이 비드 모양을 우선적으로 고려하기 때문에 다량의 스파터 발생을 감수할 수밖에 없는 실정이다.

따라서 향후 스파터 발생량과 관련하여 인버터 용접기의 기능을 평가함에 있어 천이이행 모드 조건에서 파형 제어 기능의 역할을 보다 깊이 있게 평가하는 것이 매우 중요하다고 하겠다.

4. 결 론

CO₂가스 분위기에서 사이리스터(SCR)제어 방식의 Robot 용접기를 사용하여 용접조건 변화에 따른 스파터 발생량을 측정하고, 측정된 결과를 금속이행 모드와 관련하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 와이어 송급속도가 느려서(5.5m/min 이하), 용접전류가 낮은 경우에는(200A이하), 금속이행 형태는 용접전압에 관계없이 단락이행만을 보여주며, 스파터 발생률은 용접전압이 증가함에 따라 감소하다가 증가하는 경향을 보여준다. 그러므로 와이어 송급속도 2.0m/min 일때는 용접전압18(V)이하, 와이어 송급속도 3.6m/min에서는 23(V)이하, 와이어 송급속도 5.5m/min에서는 24(V)이하에서만 스파터 발생률이 2%이하가 됨을 알 수 있다.
- (2) 와이어 송급 속도가 증가하면 9~12m/min 수준이 되면(용접전류 250~270A), 금속이행 형태는 용접전압이 증가함에 따라 단락이행에서 입상이행으로 점차적으로 바뀌게 되며, 스파터 발생량은 증가하다가 감소하는데, 천이 구간에서 스파터 발생량은 최대가 된다. 그러므로 천이구간에서는 자동화에 적용시키기는 곤란함을 알 수 있다.
- (3) 와이어 송급 속도가 14m/min (용접전류 270A 이상)이 되면, 입상이행만을 보여 주는데, 이 경우의 스파터 발생률은 용접전압이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여준다. 입상이행에서는 용접전압 35(V)이하에서 자동화에 적용시킬 수가 있음을 알 수 있다.
- (4) 최적의 용접 비드가 만들어지는 조건에서의 스파터 발생량은 와이어 송급속도(또는 용접 전류)가 증가함에 따라 서서히 증가하다가 9m/min 정도(용접전류 260A)에서 약 5%로 최대치에 도달하는데, 최대가 되는 조건에서는 용적이행 형태는 천이이행(단락이행+입상이행)모드로써 순간단락이 자주 발생하며 자동화에 적용시킬 수 없는 구간임을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) V.A. Vukarov, S.S. Ermakov, *Welding International*, **7**, 129, (1993)
- 2) J.C. Amson, *Britsh, Brit, j. appl. Phys.*, **16**, 232, (1962)
- 3) 안영호, 방국수, 이종봉, 장래웅, *대한 용접 학회지* **10**, **11**, 571, (1993)
- 4) Y. Shuyian and G. Zheng, *China welding*, **3**, **1**, 1, (1994)

- 5) “Gas metal arc welding의 용착속도 향상 기술개발에 관한 연구” 공기반 과제 최종 보고서, 통상 산업부, (1996)
- 6) 김기철, 강문진, 조시훈, *대한용접학회지*, **14, 3**, 1, (1996)
- 7) 안영호 “GMA용적이행 현상에 미치는 제 인자의 영향” 신기술 신상품 용접기술 세미나, 생산기술연구원, (2006)
- 8) H. Yamamoto, S. Harada, T. Yasuda, *Welding International*, **9**, 677, (1990).

(2008년 3월 4일 접수, 2008년 5월 23일 채택)