

---

 論 文
 

---

大韓造船學會論文集  
 第 35 卷 第 4 號 1998 年 11 月  
 Journal of the Society of  
 Naval Architects of Korea  
 Vol. 35, No. 4, November 1998

## 플럭스 코어드 아크 용접의 아크현상과 스패터 발생량과의 관계

강성원\*, 엄동석\*, 오은식\*\*, 유덕상\*\*

### Relation between Arc Phenomena and Spattering Ratio of Flux Cored Arc Welding with 100% CO<sub>2</sub> Shielding gas

by

S. W. Kang\*, D. S. Um\*, E. S. Oh\*\* and D. S. You\*\*

#### 요 약

GMA 용접 중 100% CO<sub>2</sub> 가스를 사용하는 CO<sub>2</sub> 용접은 경제적이고 고능률적이라는 점 때문에 많이 사용되고 있다. CO<sub>2</sub> 용접의 아크현상과 스패터 발생량은 용접용 와이어의 화학성분, 실드가스, 용접조건 등에 영향을 받는다. 특히 용접조건은 용적이행 모드를 결정하기 때문에 스패터 발생량에 커다란 영향을 미친다.

본 연구는 CO<sub>2</sub> 용접 재료 중 두 type의 FCW(titania계, semi-metal계)를 이용하여 용접조건을 변화시켜 아크현상과 스패터 발생량을 파악하여 용접부의 품질 평가와 용접조건 설정에 기여코려 한다.

본 연구를 통해, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 저전류 영역(140A)의 FCW 모두 22V까지는 전형적이 단락이행이 나타났고, 스패터 발생량의 증가와 스패터 입도를 대립화하였다.
- 2) 대전류 영역(320A)의 전형적인 globular이행에서 titania계 FCW가 semi-metal계 FCW보다 아크 안정성이 양호하였다.

#### Abstract

The CO<sub>2</sub> welding with 100% CO<sub>2</sub> gas is commonly used because of its cost and efficiency. Arc phenomena and spattering ratio of the CO<sub>2</sub> welding are influenced by various factors such as chemical compositions of welding wire, shielding gas, welding condition and

---

발 표 : 1998년도 선박해양 구조연구회 하계 발표회('98. 7. 2.)

접수일자 : 1998년 8월 29일. 재접수일자 : 1998년 11월 2일

\* 정회원. 부산대학교 조선해양공학과, 기계기술연구소 연구원

\*\* 비회원. 부산대학교 대학원 조선해양공학과

welding power source etc.. Spattering ratio is predominantly influenced by the welding condition which determines a droplet transfer mode.

In this study, arc phenomena and spattering ratio are investigated by using two type of FCW(titania type, semi-metal type). Then, the welding quality and optimum welding condition can be selected.

From this study, the following results were obtained:

- 1) In low current range(140A), FCW up to welding voltage(22V) resulted in a typical short circuit transfer, increase of spattering ratio and growth of spatter diameter.
- 2) In high current range(320A), the arc stability in titania FCW of a typical globular transfer is better than that of semi-metal FCW.

## 1. 서론

GMA(Gas Metal Arc) 용접은 용접 공정의 자동화와 Robot화의 추세에 따라 그 적용율이 급신장되고 있다[1,2]. GMA 용접법은 용접현장에서 사용하는 보호가스의 종류에 따라 CO<sub>2</sub> 가스를 사용하는 CO<sub>2</sub> 용접, Ar과 CO<sub>2</sub> 또는 O<sub>2</sub>의 혼합가스를 사용하는 MAG(Metal Active Gas) 용접, Ar 또는 He 가스를 사용하는 MIG(Metal Inert Gas) 용접, 4원 혼합가스를 사용하는 TIME 프로세스 등이 있다.

그 중 CO<sub>2</sub> 용접은 반자동 또는 자동 용접이 가능하고, 경제적이고 고능률적이라는 점 때문에 확대 적용되고 있는 것이 세계적인 추세이며, 국내에서는 다른 가스에 비해 저렴하기 때문에 가장 광범위하게 사용되고 있다. 그러나, CO<sub>2</sub> 용접을 적용함에 있어 스패터 발생량이 많다는 것이 항상 문제점으로 지적되어 왔다. CO<sub>2</sub> 용접의 스패터 발생량은 용접조건, 용접전원, 용접재료의 종류 및 화학조성 등의 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는다[3,4,5,6]. 특히 용접조건은 용적이행 모드를 결정하기 때문에 스패터 발생량에 커다란 영향을 미친다. CO<sub>2</sub> 용접시 사용되는 용접재료로는 솔리드 와이어(solid wire)와 FCW(flux cored wire)가 주로 사용된다. 솔리드 와이어는 가격이 저렴하다는 점 때문에 중소기업에서 사용되어 왔으나, 최근에는 FCW가 조선업계를 중심으로 그 소비량이 급증하고 있으며 산업기계, 철골, 교량 및 기타 철골 구조물에 이르기까지 적용범위가 확대되고 있다.

이는 FCW가 모든 자세에서 용접이 가능하고, 스패터 발생량이 적고, 다른 용접재료와는 달리 용접부의 외관이 좋으며, 일반 솔리드 와이어나 피복 아크 용접봉에 비해 용착속도가 빨라 작업 능률이 월등히 높기 때문이다. 그러나 CO<sub>2</sub> 용접용 FCW의 용적이행 현상과 스패터 발생량에 관한 연구 자료가 부족하고, 아직 미검토의 영역이 많다고 생각된다.

이에 본 연구에서는 국내에서 많이 사용되고 있는 두 회사의 CO<sub>2</sub> 용접재료 중 두 type(titania계와 semi-metal계)의 FCW를 선정하여 용적이행 형태, 용적이행 주파수, 아킹시간, 아크전류·아크전압의 표준편차 및 아크신호 변동정도 등으로부터 아크특성을 평가하고, 스패터 발생량을 조사하여 아크현상과의 상관관계를 파악함으로써 CO<sub>2</sub> 용접시 용접부의 품질 평가 및 적정 용접조건 설정에 기여코자한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 시험재 선정 및 용접조건

FCW는 외피금속(steel strip)의 재질과 플럭스 성분 및 조성에 따라서 여러 가지로 나누어진다. FCW 내부의 충전 플럭스는 용착금속의 기계적 성질, 내 균열성, 내 기공성 및 용접 작업성 등의 성능을 고려하여 탈산제, 합금제와 슬래그 형성제 및 아크 안정제 등으로 구성되어 와이어 내부에 충전되며, 포함된 슬래그 형성제의 다소 (유·무)

에 따라 슬래그계와 메탈계로 대별된다(Fig. 1)[7].

슬래그계는 다시 슬래그의 염기도에 따라 티타니아계(titania: 산성 슬래그), 라임-티타니아계(lime-titania: 중성 또는 염기성 슬래그), 라임계(염기성 슬래그)로 분류된다. 메탈계는 슬래그의 양에 따라 메탈계와 준 메탈계(semi-metal)로 나누어진다. 특히 조선 및 해양구조물에 많이 사용되는 것으로서 먼저 titania계는 고음점 산성 산화물인 TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>와 SiO<sub>2</sub>를 주요 슬래그 형성원소로 첨가하여줌으로써 비드 외관이 아름답고 전자세의 우수한 용접와이어이며, semi-metal계는 슬래그 형성제를 소량 함유시킨 FCW로 아래보기 및 수평 필릿 용접시 비드 외관이 양호하며, 슬래그 발생량이 적어 완전한 슬래그의 제거 없이도 연속 다층용접이 가능한 용접와이어이다.

본 연구에 사용된 용접재료는 Table 1과 같이 슬래그 타입은 국내 생산되는 두 회사(A사, B사)의 titania계(AWS E71T-1)와 semi-metal계(AWS E70T-1)로 각기 다른 종류의 와이어를 사용하여 비교하였다.

각 시험재의 용착금속과 용접모재의 화학성분은 Table 2와 같으며, 화학성분을 구하기 위하여 4종류의 재료를 다층용접하여 Optical Emission Spectrometer(분광과장범위: 149~616nm, 과장별 분해능력: 0.46mm/min)를 이용하였으며, 그 원리 원리는 고체 시료에 전극을 이용하여 spark/arc시키면 시료 고유의 파장을 갖고 빛을 얻게 되고, 이 빛을 분광시키면 원소별 파장강도를 얻을 수 있다. 이 파장 강도를 이용하면 원소와 원소별 함유량을 구하였다.

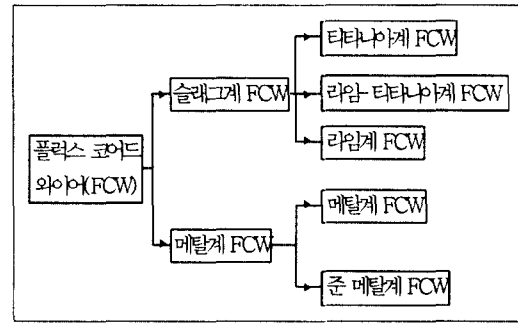


Fig. 1 Classification of flux cored wire

Table 1 Test samples used for selecting the flux type

Sample	Diameter (mm)	Slag type	AWS Spec.
A-T	1.2	Titania	A5.20 E71T-1
B-T			
A-SM	1.2	Semi-metal	A5.20 E70T-1
B-SM			

용접기는 500A급 SCR제어형을 사용하였으며, 보호가스는 100% CO<sub>2</sub>를 사용하였다. 용접모재는 연강(SM40)으로 하였으며, 표면을 기계 가공하여 녹을 완전히 제거한 후 사용하였다.

용접조건으로는 용접속도를 30cm/min, gas flow rate를 20l/min 및 torch gap을 17mm로 하였고, 대전류 영역을 320A, 중전류 영역을 220A, 250A, 저전류 영역을 140A로 구분하였다. 각 전류 조건별 전압변화는 최저 전압으로부터 최대 전압

Table 2 Chemical compositions of weld metal and base metal(wt.%)

	C	Si	Mn	P	S	Nb	B	Mo	Ti	Al	Zr
A-T	0.045	0.760	1.59	0.014	0.010	0.016	<0.0001	0.003	0.048	0.011	
B-T	0.044	0.610	1.40	0.018	0.011	0.015	<0.0010	0.003	0.052	0.017	
A-SM	0.067	0.650	1.69	0.015	0.016	0.008	<0.0001	0.002	0.042	0.023	
B-SM	0.054	0.487	1.18	0.015	0.015	0.008	<0.0001	0.003	0.031	0.010	
Base metal	0.168	0.073	0.514	0.008	0.021		<0.0001		<0.001		<0.001

까지 2V씩 증가시켰다.

2.2 아크 안정성 평가 장치 및 스패터 포집

Fig. 2는 자동주행장치를 이용한 실험 모형도로써 500A급 CO<sub>2</sub>용접기를 자동주행장치인 carriage를 용접토치에 연결하여 10초동안 하향 bead-on-plate 용접을 길이방향으로 실시하여 용접이 진행되는 동안 아크전류·전압 파형을 각각 측정 하였으며, 용접 조건당 2회씩 반복 측정하였다. 이렇게 용접하는 과정의 data를 용접아크평가장치를 구성하여 신호감지부에서 용접 중 아크전류와 전압을 감지하여 신호처리부와 신호변환부를 거쳐 아날로그신호를 디지털신호로 바꾸어 데이터를 모아 PC에 저장할 수 있도록 하였다.

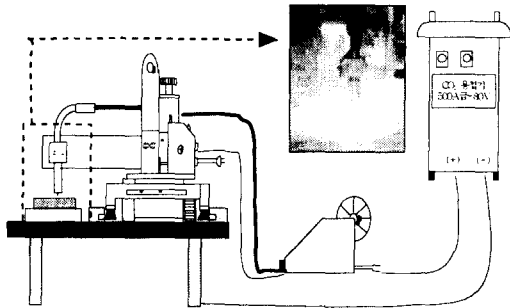


Fig. 2 View of CO<sub>2</sub> welding used uto-carriage

Fig. 3은 실제 스패터를 포집하고 있는 그림으로 스패터 포집기는 용접 중 비산되는 스패터를 용이하게 포집하기 위하여 반실린더형으로 하였으며, 재질을 Cu로 하여 용접 중 비산되는 스패터가 포집기의 벽면에 응착되는 것을 방지하였다. 각 영역별 스패터 발생량은 준비된 모재를 스패터 포집장치 내부에 설치하고 250mm정도의 bead-on-plate 용접을 길이방향으로 실시하여 용접 중 발생된 스패터(노즐 및 팁에 부착된 스패터 포함)를 모두 포집하고, 솔래그 및 scale를 제거한 후 무게를 측정하였다. 스패터 발생률은 (1)식과 같이 용착금속에 대한 발생 스패터의 중량비를 구하였고,

각 입도별 발생비율은 포집된 스패터를 직경에 따라 D<sub>1</sub>(D<0.25mm), D<sub>2</sub>(0.25≤D<1.0mm), D<sub>3</sub>(D≥1.0mm)으로 분류하여 (2)식으로부터 각각의 상대적 발생비율을 구하였다.

$$Spattering\ ratio\ (\%) = \frac{W_s}{W_w} \times 100 \quad (1)$$

W<sub>w</sub> : 용착금속의 중량(g)

W<sub>s</sub> : 스패터 중량(g)



Fig. 3 View of spatter gathering up

$$Ratio\ of\ D_i(\%) = \frac{D_i}{D_1 + D_2 + D_3} \times 100 \quad (2)$$

(i= 1, 2, 3)

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Flux type별 용접전류에 따른 용적 이행 현상

GMA 용접에 있어서 용접전류는 용적이행 형태를 결정하는 주요한 변수이다. 그 중 CO<sub>2</sub> 용접에 있어 용적이행 형태는 단락이행과 globular이행의 두 가지로 나타나고 있음은 잘 알려져 있다[8]. 즉, 용접전류의 세기에 따라 용적이행 형태가 구분되어지며, 용접전류의 범위는 저전류, 중전류 및 대전류 영역으로 나누어진다. Fig. 4(a), Fig. 5(a)는 용접아크평가장치로 측정한 저전류 영역인 140A-20V의 titania계 FCW와 semi-metal 계 FCW의 아크전류, 아크전압 변화를 나타낸 것

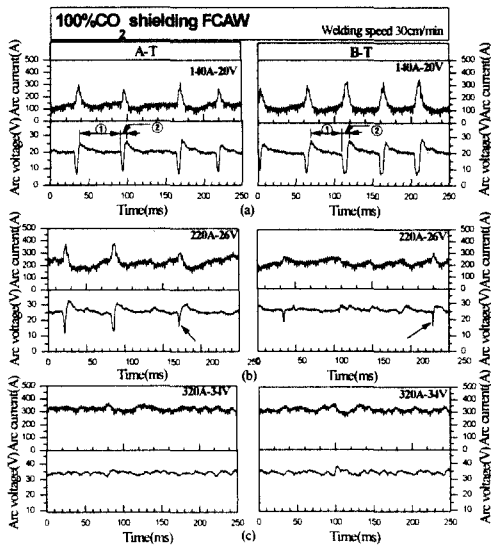


Fig. 4 Typical arc current and voltage variations of three different transfer modes of Titania FCW: (a)short circuit, (b)transitional and (c) globular mode

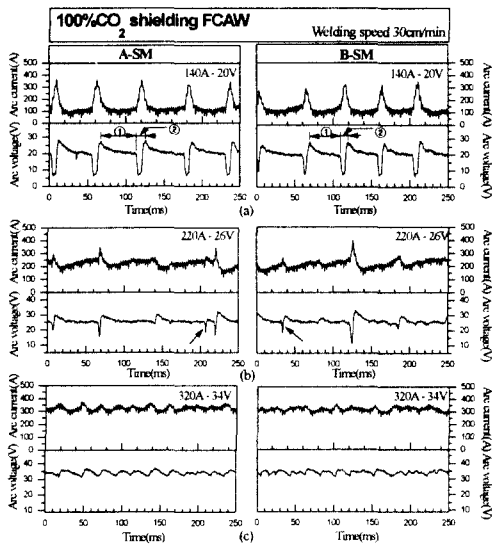


Fig. 5 Typical arc current and voltage variations of three different transfer modes of Semimetal FCW: (a)short circuit, (b)transitional and (c)globular mode

으로써 전형적인 단락이행현상을 보이고 있다. 용적이행 현상은 아크전압의 순간적인 변화로 관찰할 수 있으며, 용적이행 형태는 두 type 모두 와이어 선단에 용적을 형성하는 아킹시간(①)과 와이어 선단의 용적이 용융지로 이행하는 단락시간(②)으로 이루어지며, 이것이 전형적인 단락이행(short circuit transfer)현상[9]와 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 4(c), Fig. 5(c)는 두 flux type의 대전류 영역인 320A-34V의 아크전류, 아크전압 변화를 나타낸 것이다. 이러한 이행 형태는 전술한 저전류 영역과는 다른 용적이행 현상을 보이고 있으며, 용접시간에 따른 아크전압의 변화는 일정한 주기성을 보이고 있지만, 단락이행 형태와는 달리 용적이행의 단위주기가 명확하지는 않지만, CO<sub>2</sub> 용접의 자유비행 형태 중 전형적인 globular이행[9]를 보이고 있다.

Fig. 4(b), Fig. 5(b)는 저전류 영역의 용적이행 으로부터 대전류 영역의 용적이행 형태로 변화하는 천이영역으로서 이행 현상이 공존하는 양상을 보이고 있다. 천이영역에서 많이 관찰되어지는 순간단락현상(Instantaneous short circuit: 그림 중 화살표)은 성장한 용적이 1ms정도의 순간적으로 단락이 발생하고, 단락에 기인하여 발생하는 강한 전자기력에 의하여 다시 아킹상태로 되는 현상으로서 정상적인 단락과정에서 보이는 용적이행 현상을 수반하지 못하고, 용적의 불안정한 거동을 수반함에 따라 아크 안정성을 저해하고 스패터 발생을 촉진하는 불안정한 아크현상이다.

### 3.2 Flux type별 용접전압에 따른 용적이행 현상

두 type의 FCW를 이용하여 저전류, 중전류 및 대전류 영역에서의 용접조건에 따른 아크전압의 변화를 검토하였다. Fig. 6, Fig. 7은 저전류 영역인 140A의 일정전류 조건에서 용접전압만을 18V에서 26V로 2V씩 변화시킨 경우이다. 용접전압이 증가함에 따라 titania계와 semi-metal계 모두 용적이행 주파수는 현저히 감소하고, 아킹시간은 증

가하고 있음을 알 수 있다. 또한 용접전압이 높아질수록 globular이행 현상(그림 중 화살표)이 나타나고 있음을 알 수 있다. Si, Mn 및 Ti 등과 같은 탈산원소들은 GMA 용접재료에 미량으로 첨가되어 용접아크 및 용적이행의 안정화, 스패터와 blow hole 발생 억제, 용융 금속 중의 산소량 저감 등을 위한 것으로 알려지고 있다[10]. 특히 Ti 함량이 증가하면 스패터 발생량이 감소하고, 안정된 자유비행이행을 위한 용접조건 범위를 넓히는 효과가 있으며, 탈산원소인 Si, Mn 등과 복합 첨가된 경우 아크 안정화는 Ti에 의해 결정된다고 알려져 있다[11]. 이와 같은 탈산원소에 의해 안정한 용접조건이 소전류-저전압측으로 이동하기 때문[12]에 저전류 영역에서 globular이행 현상이 나타나고 있다.

Fig. 8은 저전류 영역에서 두 flux type 의 전형적인 단락이행에서의 평균 아킹시간과 용적이행 주파수를 나타낸 것이다. 140A의 일정전류 조건에서 용접전압만을 18V~22V로 증가함에 따라 B-T, B-SM이 A-T, A-SM보다 아킹시간이 더욱 길어지며, 이로 인해 용적이행 주파수는 감소함을 알 수 있다. 용접전압이 증가함에 따라 용적이행 주파수가 감소하는 것은 아크길이가 증가하기 때문이다. 즉, 아크길이가 증가하면 아킹시간이 길어지게 되어 용적이행 주파수가 감소하게 되며, 이로 인하여 이행되는 용적의 크기가 커지게 된다. 또한 용적이행에 수반되는 용적의 크기가 커지면 이행과정 중에 발생하는 스패터가 대립화될 가능성이 있다[12,13].

Fig. 9는 220A, 250A의 중전류 영역에서 용접전압에 따른 순간단락횟수를 것이다. 용접전압이 증가함에 따라 단락이행에서 globular이행으로 변화하는 천이영역으로 semi-metal계가 titania계 보다 순간단락현상이 다소 많음을 알 수 있었다. 이와 같은 순간단락현상은 아크 안정성을 저해하고 스패터 발생을 촉진하는 불안정한 아크현상으로 Table 2에서 알 수 있듯이 titania계가 semi-metal계보다 순간단락횟수가 적은 이유는 아크 안정제와 탈산제의 함유량이 다소 많기 때문이다.

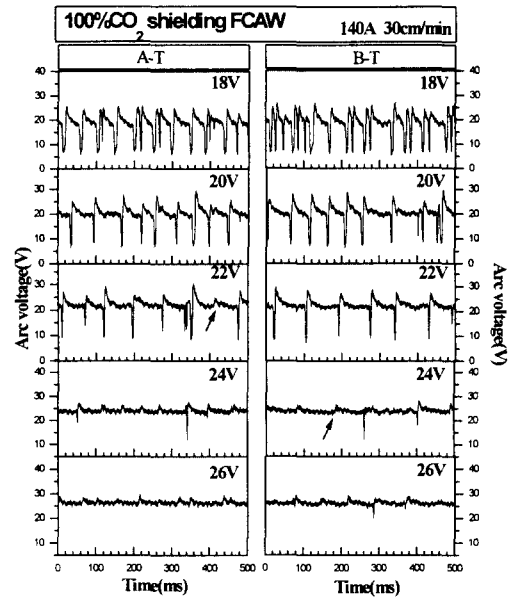


Fig. 6 Change of arc voltage in low current welding conditions of Titania FCW(140A)

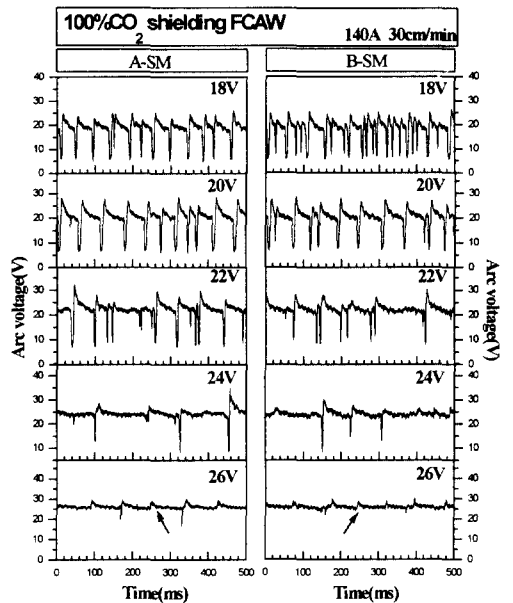


Fig. 7 Change of arc voltage in low current welding conditions of Semi-metal FCW(140A)

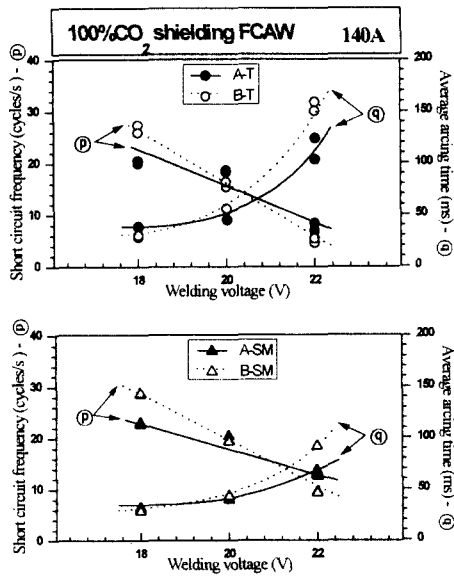


Fig. 8 Average arcing time and short circuit frequency in 140A

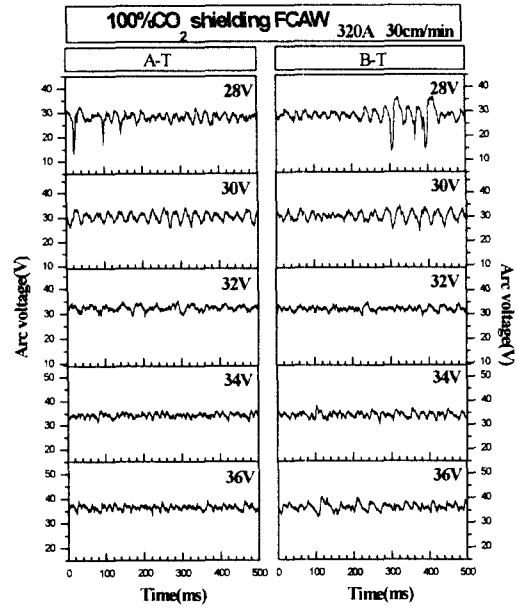


Fig. 10 Change of arc voltage in high current welding conditions of Titania FCW(320A)

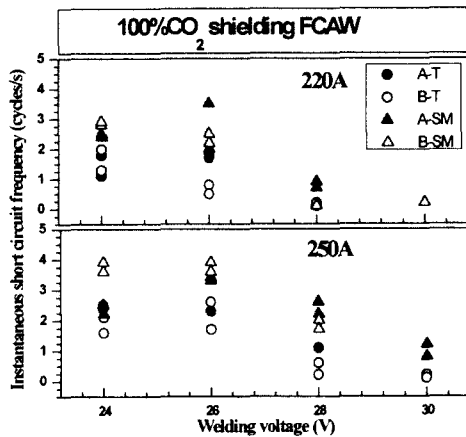


Fig. 9 Instantaneous short circuit frequency in medium current welding conditions(220A,250A)

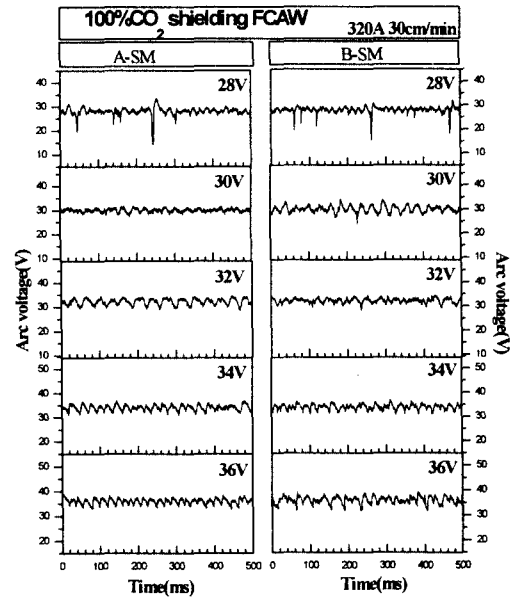


Fig. 11 Change of arc voltage in high current welding conditions of Semi-metal FCW(320A)

Fig. 10, Fig. 11은 대전류 영역에서 아크전압의 변화를 나타낸 것이다. 용적이행 형태는 단락이행과 globular이행이 혼재된 형태를 보이다가 용접전압이 일정치 이상으로 증가하면 순간단락, 단락이행 및 globular이행이 혼재된 형태로부터 안정된 globular이행 형태로 변화함을 알 수 있다.

Fig. 12는 globular이행이 비교적 전형적으로 나타나는 320A, 32V~36V 용접조건에서의 아크전류와 아크전압의 표준편차를 나타낸 것으로 A-T가 B-T보다 아크전류, 아크전압 모두 낮게 나타났고, A-SM은 B-SM보다 높게 나타났다. 그러나 아크신호 변동정도는 현저하지 않다. 하지만, 아크전류, 아크전압의 표준편차의 변동에서 볼 수 있듯이 titania계의 아크 안정성이 semi-metal계에 비하여 양호한 경향을 보였다.

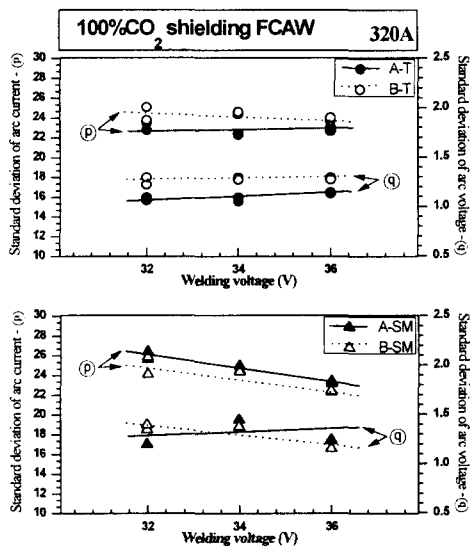


Fig. 12 Effect of welding voltage on standard deviation of arc voltage and arc current in 320A

### 3.3 Flux type별 용접조건에 따른 스패터 발생 특성

GMA 용접법의 스패터 발생은 용접 아크 안정성과 직접적인 관계를 가지며, 용접와이어의 성분, 용접전원 및 용접조건 등 여러 가지 요인에 의해 영향을 받는 것으로 알려지고 있다[3,4,5,6]. 특히 보호가스로서 100% CO<sub>2</sub> gas를 사용하는 CO<sub>2</sub> 용접법은 현저한 스패터 발생이 큰 결점으로 지적되고 있다[14,15]. CO<sub>2</sub> 용접 중 발생하는 스패터는 아크 중에서 비산하여 전극 선단이나 용접시 주변

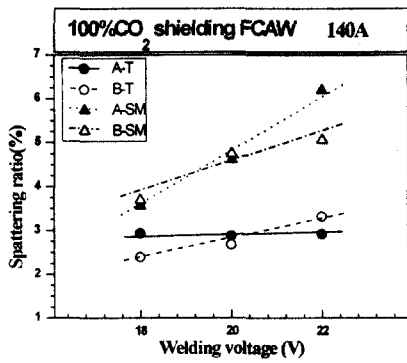
으로 비산하게 된다. 그 결과 노즐에 부착해서 실드효과를 방해하거나 모재 표면에 부착하여 그 제거가 번거롭고, 용착효율 저하, 화상 및 화재발생 등의 여러 가지 저해요인을 일으킨다[14]. 이와 같은 스패터 발생은 아크 안정성과 상관이 있어 스패터 발생이 많은 경우 아크 안정성이 나쁜 것으로 평가할 수 있다.

본 연구에서는 스패터의 발생량과 용적이행 특성간의 상관성은 용접아크평가장치를 사용하여 조사하였다. 즉 스패터 포집을 위한 시험용접 중 10초 동안의 아크전압 신호를 2회씩 반복 측정하였으며, 단락이행 영역의 경우는 용적이행 주파수 및 아크시간을 측정하였으며, globular이행 영역에서는 아크전류 및 아크전압의 표준편차를 통계처리로 구하였으며, 각 용접조건에 따른 비교 검토를 위해서는 이들의 평균값을 이용하였다.

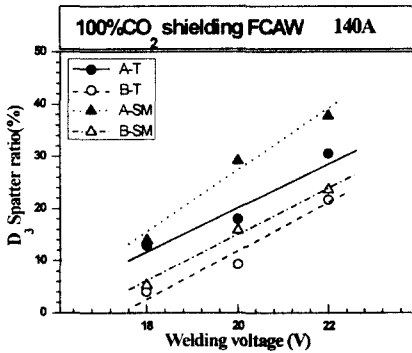
Fig. 13, Fig. 14는 140A와 320A일때의 스패터 발생량을 나타낸 것이다. 먼저 Fig. 13(a)는 저전류 영역에서 두 flux type의 전형적인 단락이행에서의 스패터 발생량의 변화를 나타낸 것이다. 저전류 영역에서의 용접전압 증가에 따른 스패터 발생량은 단락이행 횟수의 변화와 상관성[16]이 있다. Fig. 8에서 알 수 있듯이 용접전압이 18V에서 단락이행 횟수가 최대가 되며, 용접전압이 증가할수록 단락이행 횟수가 감소하게 되어 스패터 발생량이 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한, 스패터 입경이 1.0mm이상인 스패터(D<sub>8</sub> 스패터)의 발생비율은 용접전압이 증가함에 따라 현저히 증가하였다(Fig. 13(b)). 이와 같은 현상은 전술한 바와 같이(Fig. 8 그림 참고) 용접전압이 증가할수록 아킹 시간이 길어지고, 이로 인해 용적이행 주파수가 감소하기 때문이다. 이와 같은 대립의 스패터는 아크 중에서 발생하여 비행하는 도중에 응고되지 않고, 반 용융상태로 모재에 도달하여 모재에 응착되기 때문에 발생량은 많지는 않지만 제거가 용이하지 않으며, 용접부 표면오염 및 용접 중 화재의 위험성이 있으므로 가장 큰 문제점으로 지적되고 있다.

Fig. 14는 globular이행이 전형적으로 나타나는 두 flux type의 스패터 발생량의 변화를 나타낸





(a)



(b)

Fig. 13 Spattering ratio in short circuit transfer range(140A)

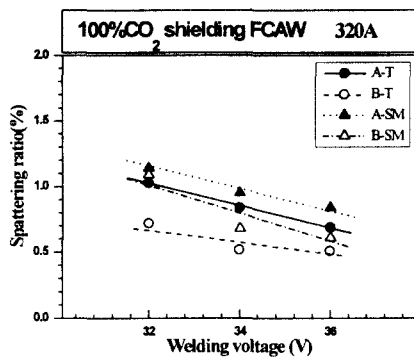


Fig. 14 Spattering ratio in globular transfer range(320A)

것이다. 대전류 영역에서는 아크전류와 아크전압의 표준편차에 따른 아크 안정성에 의해 스패터

발생량의 차이가 있으나, Fig. 12에서 알 수 있듯이 titania계와 semi-metal계의 아크신호의 변동정도가 크지 않아 두 flux type의 스패터 발생량 (spatter ratio: 0.6% 이내)은 다소 감소하는 경향을 보이고 있지만 현저하지는 않다.

지금까지 용접조건 변화에 따른 아크현상의 변화와 스패터 발생량의 변화에 대해서 살펴보았는데, 결론적으로 적정 용접조건을 선정하면 아크 안정성과 스패터량을 최소화 할 수 있지만, 실제 용접시공에 있어서는 스패터 발생 정도보다는 용접비드형상을 우선적으로 고려하여 용접부에서 요구하는 기계적 성질이 만족되도록 용접조건을 설정하는 경향이 있다[16,17]. 이에 본 연구에서는 320A의 대전류 영역에서의 용접조건에서 용접전압을 증가함에 따라 용접비드의 형상을 살펴보았다.

Fig. 15는 두 flux type의 용접비드단면과 비드 외관의 모양이다. 그림에서 알 수 있듯이 용접전압이 증가함에 따라 아크길이가 길어지기 때문에 비드 퍼짐성은 좋아지나, 용입깊이는 어느 정도 증가하다가 감소하게 된다. 따라서 용접비드 측면에서 용접조건을 선정한다면 우선적으로 비드의 관측면에서 블록비드가 아니면서 용입이 보다 깊은 조건이 최적조건이 된다고 하겠다.

#### 4. 결론

SCR제어 방식의 용접기와 보호가스로서 100% CO<sub>2</sub>가스를 사용하여 용접조건 변화에 따른 두 flux type의 아크현상과 스패터 발생량을 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 저전류 영역인 140A 영역에서는 두 flux type 모두 22V까지는 전형적인 단락이행이 나타났다. 또한 용접전압이 높아질수록 globular이행 현상이 나타났다. 이는 탈산원소에 의해 안정한 용접조건이 소전류-저전압측으로 이동하기 때문이다.

전형적인 단락이행에서의 두 flux type은 용접전압이 증가함에 따라 아킹시간이 길어지고 이로 인해 용적이행 주파수가 감소하였고, 스패

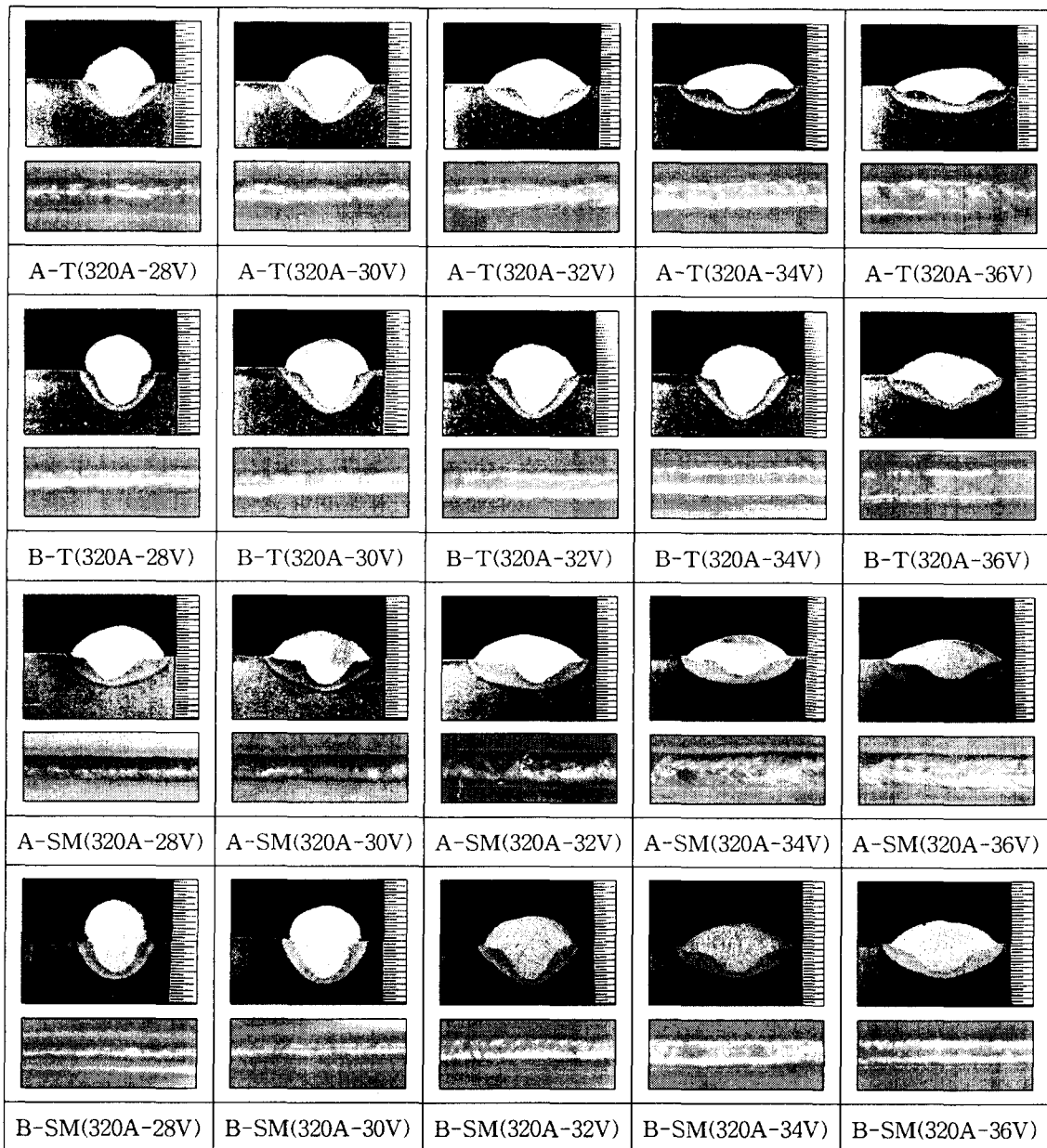


Fig. 15 Cross-section of welding bead according to different welding voltage(320A)

터 발생량 증가와 스파터의 입도를 대립화하였다.

(2) 두 flux type 모두 중전류 영역인 220A, 250A 영역에서는 용접전압을 증가하면 용적 이행

형태가 단락이행으로부터 globular이행으로 변화하는 천이영역이 존재함을 알 수 있고, 천이 영역에서 많이 관찰되는 순간단락현상이 semi-metal계가 titania계에 비하여 많이 나타났다.

(3) 대전류 영역인 320A 영역에서는 전형적인 globular이행 영역에서 titania계의 아크 안정성이 semi-metal계에 비하여 양호한 경향을 보였다. globular이행이 전형적으로 나타나는 두 flux type 모두 스패터 발생량은 titania계가 semi-metal계에 비하여 용접전압이 증가함에 따라 스패터 발생량이 다소 감소하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 溶接技術編集部, 統計にみる日本の溶接産業”, 溶接技術, 11 (1996), pp.127~135.
- [2] 菅哲男, “溶接材料の現状と展望”, 溶接技術, 4 (1998), pp.64~71.
- [3] 안영호, 이종봉, 방국수, 엄동석, “CO<sub>2</sub> 용접시 Spatter발생에 미치는 Ti의 영향”, 대한용접학회지, 10 (1996), pp.106~112.
- [4] Tsuneo Mita, “How Little Spatter Can be Achieved?(1)” -Approach by Welding Power Source, Journal of japan welding society, 59-8 (1990), pp.12~16.
- [5] Tetsuo Suga, “How Little Spatter Can be Achieved?(2)” -Approach from Welding Material, Journal of japan welding society, 59-8 (1990), pp.17~21.
- [6] S.rhee, “Observation of Metal Transfer during Gas Metal Welding”, Research Supplement, 10 (1992), pp.381s~386s.
- [7] 한일옥, “고속 Fillet 자동 용접용 Flux Cored Wire 개발을 위한 기초 연구” 부산대학교 석사학위논문, 1997.
- [8] 안영호, 방국수, 이종봉, 장래웅, “GMAW 용적이행에 미치는 Ca의 영향”, 대한용접학회지, 4 (1994), pp.424.
- [9] 安藤弘平, 長谷川光雄, “溶接アーク現象”, 産報出版, (1967), pp.203~208.
- [10] 山内信幸, 阿草一男: ガスシールド アーク溶接現象に及ぼす微量元素の影響に関する日本の研究の現状, 溶接學會誌, 50-11 (1981), pp.35~41.
- [11] K. S. Bang, Y. H. Ahn, R. W. Chang: Effects of Welding Condition and De-oxidizing Elements of Wire on the Spatter Generation in GMA Welding, International Conference Proceedings of IIW (1994), pp.399~400.
- [12] 안영호, “GMA 용접의 스패터 발생 및 아크 현상에 미치는 와이어 成分의 영향에 관한 연구” 부산대학교 박사학위논문, 1998.
- [13] 안영호, “GMAW 용적이행현상에 미치는 제 인자의 영향”, KAITECH 용접기술세미나 자료집 (1996), pp.13~39.
- [14] 木村幹男, “炭酸ガスアーク溶接におけるスパッタについて”, 溶接技術, 2 (1984), pp.76~78.
- [15] 藤原紀六, 三田常夫, “スパッタ低減の効果的方法”, 溶接技術, 2 (1985), pp.51~58.
- [16] 강봉용, 김희진, “CO<sub>2</sub>용접의 스패터 발생에 미치는 용적이행 모드의 영향”, 대한용접학회지, 4 (1997), pp.72~80.
- [17] Y. Shuyian and G. Zheng, “Effect of arc physics on developing CO<sub>2</sub> arc welding” China Welding, 3-1 (1994), p.1.