

FCA 용접의 아크현상에 미치는 Flux Type의 영향

강성원* · 오은식** · 유덕상** · 안영호***

Effect of Flux Type on Arc Characteristic of FCA Welding

S. W. Kang*, E. S. Oh**, D. S. You*** and Y. H. Ahn***

Key words : Gas Metal Arc Welding(GMA 용접), Flux Cored Wire(FCW), Short Circuit Transfer(단락이행), Globular Transfer(Globular 이행)

Abstract

The CO₂ welding with 100% CO₂ shielding gas is commonly used because of its cost and efficiency. Arc phenomena of the CO₂ welding is influenced by various factors such as chemical compositions of welding wire, shielding gas, welding condition and welding power source etc.

In this study, arc phenomena is 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.
- 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. 서 론

GMA(Gas Metal Arc) 용접은 용접 공정의 자동화와 Robot화의 추세에 따라 그 적용율이 급신장되고 있으며, 최근 일본에서의 용접재료 생산추이에 의하면 1986년에 전체 용접재료의 41%를 차지하던 피복아크 용접재료가 1997년에는 20%로 감소하고 GMA 용접용 와이어를 주체로 하는 solid wire는 33%에서 41%로 증가하고 있으며, FCW는 27% 정도를 차지

하고 있다.^{1~2)} 국내에서는 solid wire가 가격이 저렴하다는 점 때문에 중소기업체에서 사용되어 왔으나, 최근에는 FCW가 조선업계를 중심으로 그 소비량이 급증하고 있으며 산업기계, 철판, 교량 및 기타 철판 구조물에 이르기까지 적용범위가 확대되고 있다. 이는 FCW가 모든 자세에서 용접이 가능하고, 스패터 발생량이 적고, 다른 용접재료와는 달리 용접부 외관이 좋으며, 일반 solid wire나 피복 아크 용접봉에 비해 용착속도가 빨라 작업 능률이 월등히 높기 때문이다.

GMA 용접 중 CO₂ 용접은 반자동 또는 자동 용접이

* 1998년 10월 7일 접수

* 정회원, 부산대학교 조선해양공학과, 기계기술연구소 연구원

** 학생회원, 부산대학교 조선해양공학과 대학원

*** 정회원, (주)세아ESAB(연구당시 대학원생)

**** 정회원, 포항종합제철 후판연구팀(연구당시 대학원생)

• 강성원 : swkang@hyowon.pusan.ac.kr

가능하고, 경제적이고 고능률적이기 때문에 적용률이 확대되고 있으며, 국내에서는 다른 가스에 비해 저렴하기 때문에 가장 광범위하게 사용되고 있다. 그러나, CO₂ 용접을 적용함에 있어 스파터 발생량이 많다는 것이 항상 문제점으로 지적되어 왔다. 이러한 CO₂ 용접의 스파터 발생 특성은 용적이행현상의 안정성 여부에 의해 결정된다. 용적이행 현상은 보호가스의 종류, 용접조건 등에 따라서 변화되고, 용적이행 현상의 안정성은 보호가스, 용접조건, 용접재료, 용접재료의 화학성분 및 용접전원 등의 특성에 의하여 결정되는 아크 안정성과 밀접한 상관성이 있다.³⁻⁵⁾ 그러나 CO₂ 용접용 FCW의 용적이행 현상에 관한 연구자료가 부족하고, FCW의 용적이행 특성, 실드 가스에 따른 FCW의 아크현상, Flux 성분과 용적이행성의 관계, solid wire와 FCW의 아크현상, Wire 표면상태(윤활제 종류, 건조방법)의 변화에 따른 아크 안정성 평가 및 아크용접에 있어 용융지 거동에 따른 아크 안정성 평가 등의 미 검토 영역이 많다고 생각된다.

이에 본 연구에서는 국내에서 많이 사용되고 있는 두 회사의 CO₂ 용접재료 중 두 type(titania계와 semi-metal계)의 FCW를 선정하여 용접전류 변화(저전류, 중전류, 대전류)에 따른 용적이행 현상, 즉 용적이행 주파수, 아킹시간, 아크전류·아크전압의 표준편차 및 아크신호 변동정도 등으로부터 아크특성을 평가함으로써 CO₂ 용접시 용접부의 품질 평가 및 적정 용접조건 설정에 기여코자한다.

2. 실험방법

2.1 시험재 선정 및 용접조건

FCW는 외피금속(metal sheath)의 재질과 플럭스 성분 및 조성에 따라서 여러 가지로 나뉘어진다. FCW 내부의 충전 플럭스는 탈산제, 합금제와 슬래그 형성제 및 아크 안정제 등으로 구성되어 와이어 내부에 충전되며, 포함된 슬래그 형성제의 다소에 따라 슬

래그계와 메탈계로 대별된다.⁶⁾

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. FCW는 solid wire에 비해 와이어 경에 대한 전류 밀도가 높아 용착속도가 매우 빠르고, 스파터나 슬래그의 제거가 용이하므로 작업면에서 유리하며, 적정 용접전류의 범위가 넓고 전자세 용접이 가능하기 때문에 조선 및 해양구조물에 많이 사용되고 있다. 특히 titania계 FCW는 고용점 산성 산화물인 TiO₂, ZrO₂와 SiO₂를 주요 슬래그 형성원소로 첨가하여줌으로써 비드 외관이 아름답고 전자세의 우수한 용접와이어이며, semi-metal계 FCW는 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 FCW와 semi-metal계 FCW로 각기 다른 종류의 와이어를 사용하여 비교하였다.

Table 1. Test samples used for selecting the flux type

Sample	Dia. (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			

각 시험재의 용착금속과 용접모재의 화학성분은 Table 2와 같으며, 화학성분을 구하기 위하여 4종류의 재료를 다층용접하여 Optical Emission

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

Spectrometer를 이용하여 원소별 함유량을 구하였다.

용접기는 500A급 SCR제어형을 사용하였으며, 보호가스는 100% CO₂가스를 사용하였다. 용접 모재는 연강(SM40)으로 하였으며, 표면을 기계 가공하여 녹을 완전히 제거한 후 사용하였다. 용접조건은 Table 3과 같으며, 대전류 영역을 320A, 중전류 영역을 220A, 250A, 저전류 영역을 140A로 구분하였다. 각 전류 조건별 전압변화는 최저 전압으로부터 최대 전압까지 2V씩 증가시켰다.

2.2 아크 안정성 평가 장치

Fig. 1은 자동주행장치를 이용한 실험 모형도로써 500A급 CO₂용접기를 자동주행장치인 carriage를 용접토치에 연결하여 10초동안 하향 bead-on-plate 용접을 길이방향으로 실시하여 용접이 진행되는 동안 아크전류, 아크전압 파형을 각각 측정하였으며, 용접 조건당 3회씩 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. 그러나 용접중 용적이행현상은 고속카메라에 의한 직접관찰이 선행되어야 하나 본 연구에서는 수행하지 않았다.

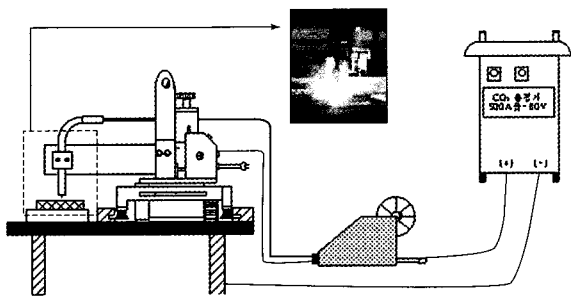


Fig. 1 View of CO₂ welding used auto-carriage

3. 실험결과 및 고찰

3.1 Flux type별 용적이행 현상

GMA 용접에 있어서 용접전류는 용적이행 형태를 결정하는 주요한 변수이다. 그 중 CO₂ 용접에 있어 용적이행 형태는 단락이행과 globular이행의 두 가지로 나타나고 있음은 잘 알려져 있다.⁷⁾ 즉, 용접전류의 세기에 따라 용적이행 형태가 구분되어지며, 용접전류의 범

위는 저전류, 중전류 및 대전류 영역으로 나누어진다.

Fig. 2(a), Fig. 3(a)은 용접아크평가장치로 측정 한 저전류 영역인 140A-20V의 titania계 FCW와 semi-metal계 FCW의 아크전류, 아크전압 변화를 나타낸 것으로써 solid wire를 사용할 때 단락이행이 발생하는 조건에서 관찰되는 아크전류, 전압파형과 유사한 현상을 보이고 있다. 용적이행 현상은 아크전압의 순간적인 변화로 관찰할 수 있으며, 용적이행 형태는 두 type 모두 와이어선단에 용적을 형성하는 아킹 시간(①)과 와이어선단의 용적이 용융지로 이행하는 단락시간(②)으로 이루어지며, 이것이 전형적인 단락이행(short circuit transfer)현상⁸⁾과 일치하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 2(c), Fig. 3(c)은 두 flux type의 대전류 영역인 320A-34V의 아크전류, 아크전압 변화를 나타낸 것으로, solid wire를 사용할 때 globular 이행현상이 발생하는 조건에서 관찰되는 아크전류, 전압파형과 유사한 현상을 보이고 있다. 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, CO₂ 용접의 자유비행 형태 중 전형적인 globular이행⁸⁾을 보이

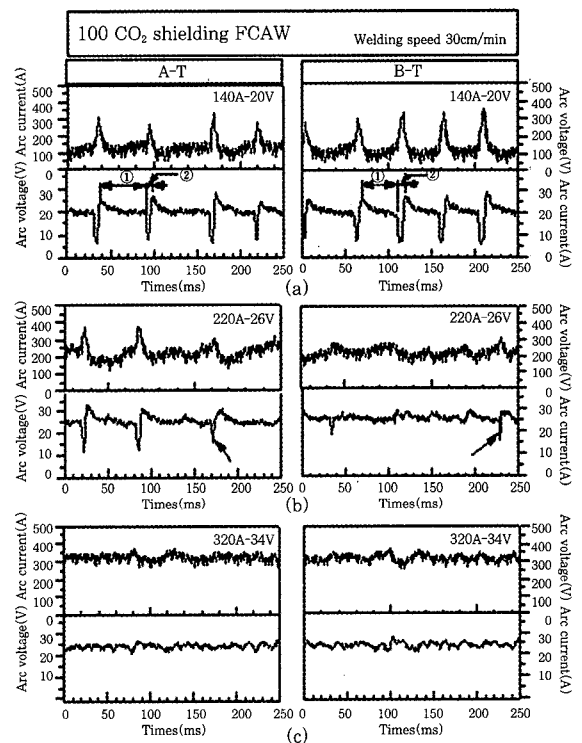


Fig. 2. Typical arc current and voltage variations of three different transfer modes of Titania FCW:(a) short circuit, (b) transitional and (c) globular mode

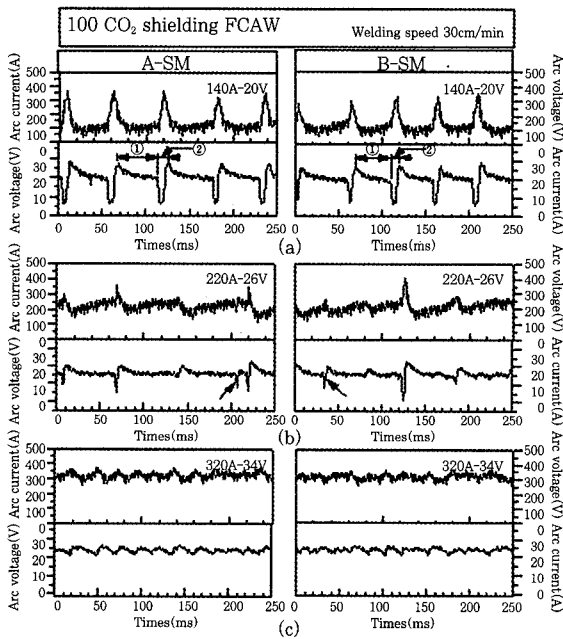


Fig. 3 Typical arc current and voltage variations of three different transfer modes of Semi-metal FCW:(a) short circuit, (b) transitional and (c) globular mode

고 있다.

Fig. 2(b), Fig. 3(b)은 저전류 영역의 용적이행으로부터 대전류 영역의 용적이행 형태로 변화하는 천이 영역으로서 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 용접 전압에 따른 용적이행 현상

두 type의 FCW를 이용하여 저전류, 중전류 및 대전류 영역에서의 용접조건에 따른 아크전압의 변화를 검토하였다. Fig. 4, Fig. 5는 저전류 영역인 140A의 일정전류 조건에서 용접전압만을 18V에서 26V로 2V씩 변화시킨 경우이다. 용접전압이 증가함에 따라 titania계와 semi-metal계 모두 용적이행 주파수는

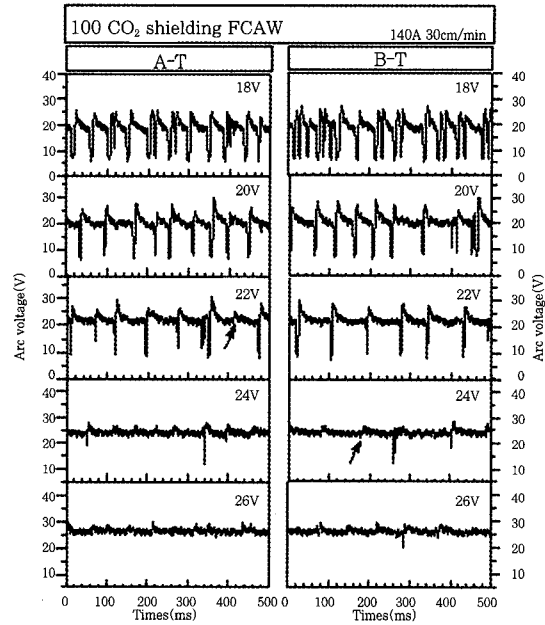


Fig. 4 Change of arc voltage in low current welding conditions of Titania FCW(140A)

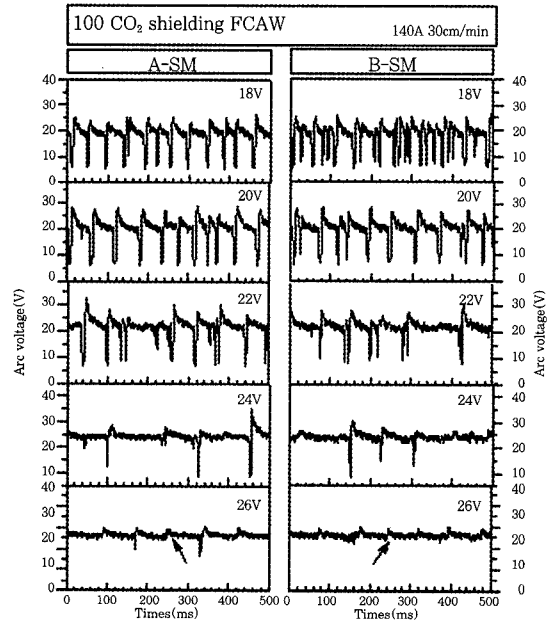


Fig. 5 Change of arc voltage in low current welding conditions of Semi-metal FCW(140A)

현저히 감소하고, 아킹시간은 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 용접전압이 높아질수록 globular이행 현상 (그림 중 화살표)이 나타나고 있음을 알 수 있다. Si, Mn 및 Ti와 같은 탈산원소들은 GMA 용접재료에 미량으로 첨가되어 용접아크 및 용적이행의 안정화, 스패터와 용융 금속중의 탈산작용등을 위한 것으로 알려

지고 있다.⁹⁾ 특히 Ti함량이 증가하면 스패터 발생량이 감소하고, 안정된 자유비행이행 을 위한 용접조건 범위를 넓히는 효과가 있으며, 탈산원소인 Si, Mn등도 유사한 효과가 있음이 알려지고 있다. 이는 용융금속 중에 형성되는 산화물로 인한 아크길이의 증가가 근본적인 원인으로 보고되고 있다.¹⁰⁾ 따라서 이와 같은 탈산원소에 의해 안정한 용접조건이 소전류-저전압 축으로 이동하기 때문에 저전류 영역에서 globular 이행 현상이 나타나고 있다.¹¹⁾

Fig. 6은 저전류 영역에서 두 flux type의 전형적인 단락이행에서의 평균 아킹시간과 용적 이행 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 아크 길이가 증가하기 때문이다. 즉, Si, Mn 및 Ti 등과 같은 탈산원소가 증가하면 산화물의 증가로 인해서 전자 방출이 용이하게 된다. 이로 인해서 전위경도가 감소하여 아크길이가 증가하면 아킹시간이 길어지게 되어 용적이행 주파수가 감소하게 된다. 또한 아킹시간이 길어지게 되면 이행되는 용적의 크기가 커지게 되어 이행과정 중에 발생하는 스패터가 대립화될 가능성이 있다.¹¹⁾

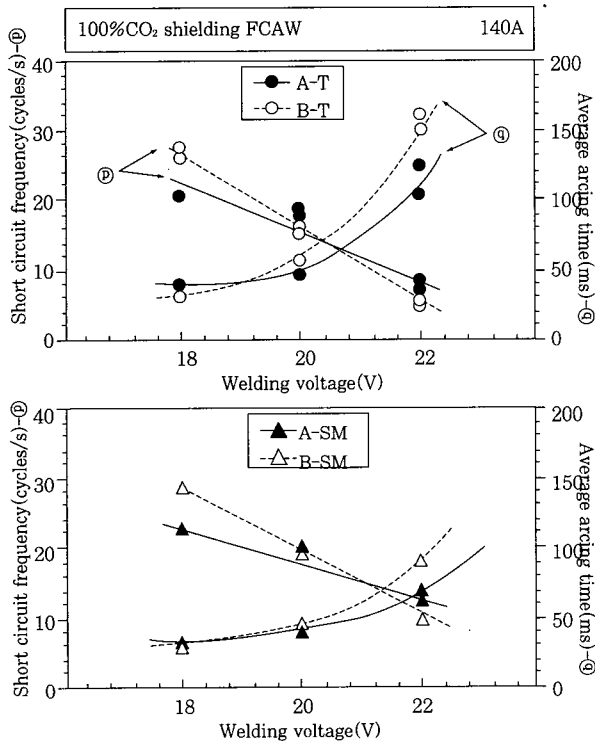


Fig. 6 Average arcing time and short circuit frequency in 140A

Fig. 7은 220A, 250A의 중전류 영역에서 용접전압에 따른 순간단락횟수를 나타낸 것이다. 용접전압이 증가함에 따라 단락이행에서 globular이행으로 변화하는 전이영역에서는 titania계 FCW가 semi-metal계 FCW 보다 순간단락현상이 다소 적음을 알 수 있었다. 이는 아크안정화 역할을 하는 탈산제의 함유량이 titania계 FCW가 semi-metal계 FCW보다 다소 많기 때문이며, 이로 인해 아크길이의 증가가 주된 원인이라고 생각된다. 이와 같은 순간단락현상은 아크안정성을 저해하고 스패터 발생을 촉진하는 불안정한 아크현상이다.

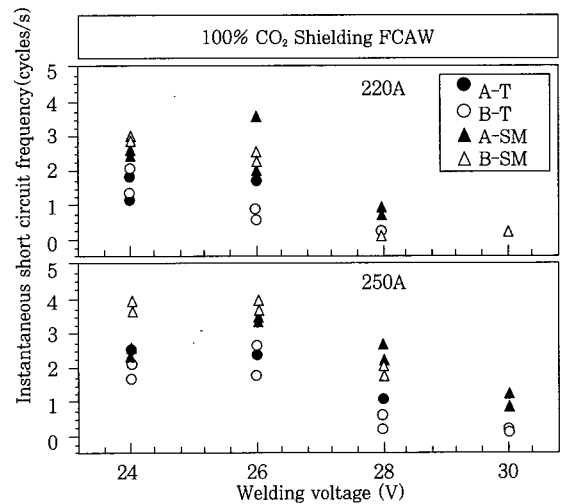


Fig. 7 Instantaneous short circuit frequency in medium current welding conditions (220A, 250A)

Fig. 8, Fig. 9는 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. 10은 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 titania계 FCW의 아크안정성이 semi-metal계에 비하여 양호한 경향을 보였다.

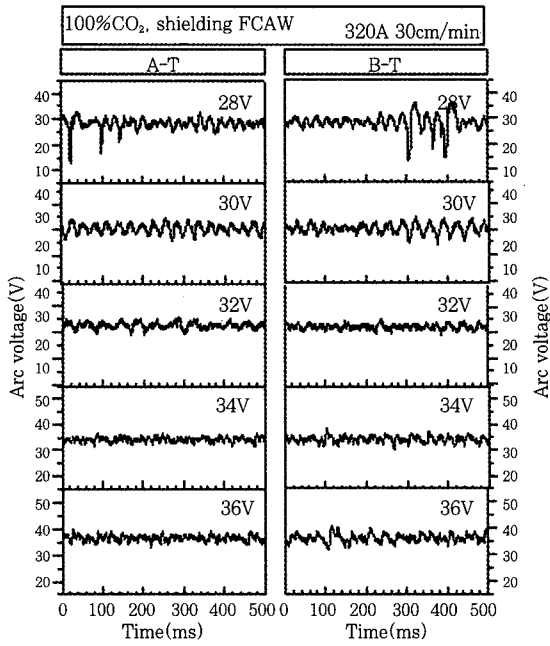


Fig. 8 Change of arc voltage in high current welding conditions of Titania FCW(320A)

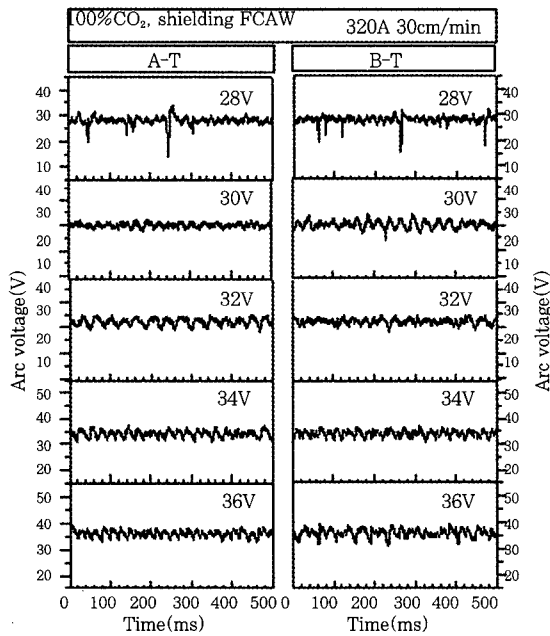


Fig. 9 Change of arc voltage in high current welding conditions of Semi-metal FCW(320A)

3.3 대전류 영역에서의 Flux type별 용접비드 형상

지금까지 용접조건 변화에 따른 아크현상의 변화에 대해서 살펴보았는데, 결론적으로 적정 용접조건을 선정하면 아크 안정성이 양호해지지만, 실제 용접시공에

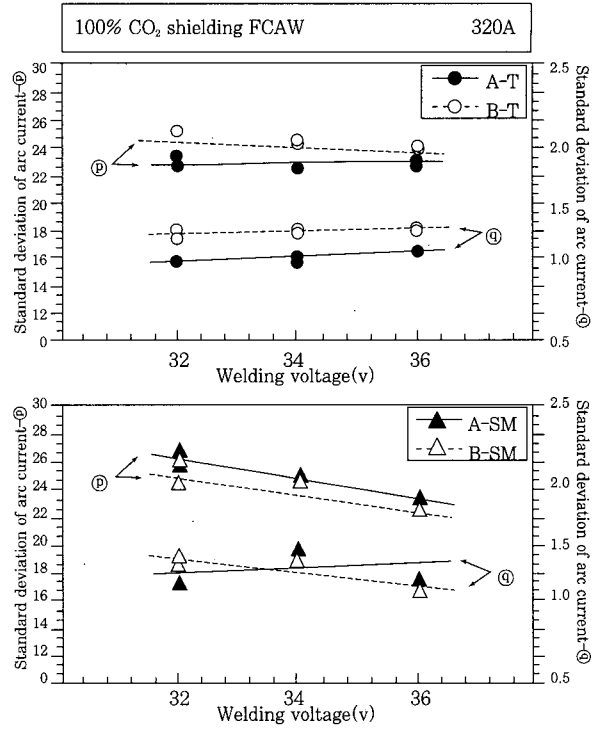


Fig. 10 Effect of welding voltage on standard deviation of arc voltage and arc current in 320A

있어서는 스패터 발생 정도보다는 용접비드형상을 우선적으로 고려하여 용접조건을 설정하는 경향이 있다.¹²⁻¹³⁾ 이에 본 연구에서는 320A의 대전류의 영역에서 A사와 B사의 flux type별 용접비드형상이 비슷하여 titania계 FCW와 semi-metal계 FCW로 구분하여 용접전압을 증가함에 따라 용접비드형상을 살펴보았다.

Fig. 11은 두 flux type의 용접비드단면의 모양이며 Fig. 12는 용접비드의 높이(H:height), 비드의 폭(W: width) 그리고 용입깊이(D: depth)를 측정하여 비드의 폭과 높이의 비를 W/H로 정리하여 볼록비드 정도(bead convexity)로 사용하였다. 그림에서 알 수 있듯이 용접전압이 증가하면 아크길이가 길어지기 때문에 비드 퍼짐성은 좋아지나, 용입깊이는 어느 정도 증가하다가 감소하게 된다. flux type별로 구분한다면 titania계 FCW가 비드퍼짐성은 좋으나, 용입깊이는 semi-metal계 FCW가 깊게 나타났다. 이는 semi-metal계 FCW가 titania계 FCW에 비해 메탈계 성분이 많이 첨가되어 단위시간당 용착효율(semi-metal계 FCW: 90 - 95%, titania계 FCW: 85 - 87%)이 높기 때문이다. 따라서 적정용접 비드형상을 얻기 위한 조건을 설정하기 위해서는 전류와 전압을 적당히 조정하여 기계적 성질이 우수한 비드형상을 만들 수 있는 용접조건을 선정할 수 있다.

	100% CO ₂ shielding FCAW			320A	
Titania계 FCW					
Voltage	28V	30V	32V	34V	36V
Semi-metal계 FCW					
Voltage	28V	30V	32V	34V	36V

Fig. 11 Cross-section of welding bead according to different welding voltage(320A)

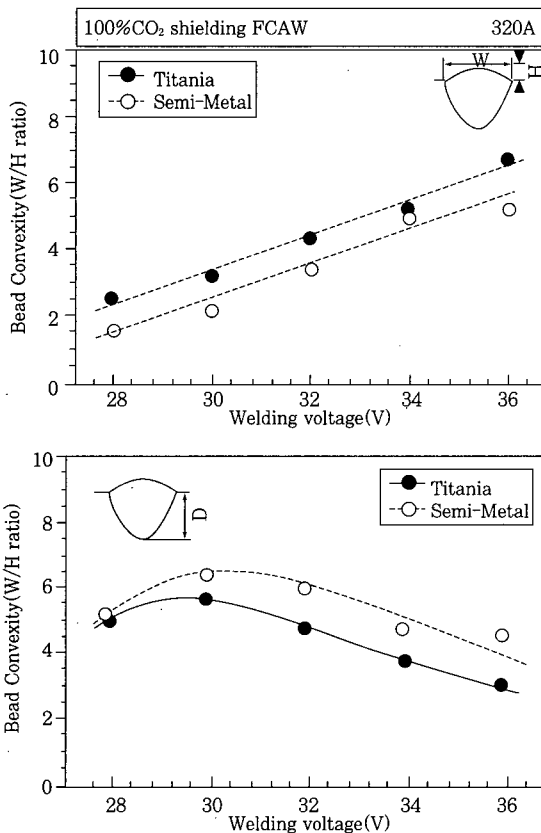


Fig. 12 The effect of welding voltage on bead convexity and penetration depth (320A)

4. 결 론

SCR제어 방식의 용접기와 보호가스로서 100% CO₂ 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 감소하였다.

(2) 두 flux type 모두 중전류 영역인 220A, 250A 영역에서는 용접전압을 증가하면 용적이행 형태가 단락이행으로부터 globular이행으로 변화하는 천이영역이 존재함을 알 수 있고, 천이영역에서 많이 관찰되는 순간단락현상이 semi-metal계 FCW가 titania계 FCW에 비하여 많이 나타났다.

(3) 대전류 영역인 320A 영역에서는 전형적인 globular이행 영역에서 titania계 FCW의 아크안정성이 semi-metal계에 비하여 양호한 경향을 보였다.

(4) 320A 대전류영역에서는 용접비드형상은 용접전압이 증가함에 따라 비드 퍼짐성은 좋아지나, 용입깊이는 어느 정도 증가하다가 감소하였으며, titania계 FCW가 semi-metal계 FCW에 비하여 비드 퍼짐성은 좋으나, 용입깊이는 깊게 나타났다.

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. Tetsuo Suga, “How Little Spatter Can be Achieved?(2)”-Approach from Welding

- Material, Journal of japan welding society, 59-8 (1990), pp.17~21.
4. S.rhee, "Observation of Metal Transfer during Gas Metal Welding", Research Supplement, 10 (1992), pp.381s~386s
 5. 안영호, 이종봉, 엄동석, "GMA용접의 용적이행 현상에 미치는 제인자의 영향", 대한용접학회지 2(1998), pp. 17~24.
 6. 한일욱, "고속 Fillet 자동 용접용 Flux Cored Wire 개발을 위한 기초 연구" 부산대학교 석사학위논문, 1997.
 7. 안영호, 방국수, 이종봉, 장래웅, "GMAW 용적이행에 미치는 Ca의 영향", 대한용접학회지 12-4 (1994), pp.76~84.
 8. 安藤弘平, 長谷川光雄, "溶接アーク現象", 産報出版, (1967), pp.203~208.
 9. 山内信辛, 何草一男: "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" 熔接學會誌, 50-11 (1981), pp. 35~41
 10. K. S. Bang, Y. H. Ahn, R. W. Chang, "Effects of Welding Condition and Deoxidizing Elements of Wire on the Spatter Generation in GMA Welding" International Conference Proceedings of II W (1994), pp. 399~400.
 11. 안영호, "GMA 용접의 스패터 발생 및 아크 현상에 미치는 와이어 成分의 영향에 관한 연구" 부산대학교 박사학위논문, 1998.
 12. Y. Shuyian and G. Zheng, "Effect of arc physics on developing CO2 arc welding" China Welding, 3-1 (1994), p.1.
 13. 강봉용, 김희진, "CO₂용접의 스패터 발생에 미치는 용적이행 모드의 영향", 대한용접학회지 4(1997), pp.72~80.