

## Self-Shielded Flux Cored Arc Welding 시 가스 발생제가 용적 이행 현상에 미치는 영향

정재필\* · 김경중\* · 황선효\*

### Effects of Gas Formers on Metal Transfer of the Self-Shielded Flux Cored Arc Welding

by

J. P. Jung\*, K. J. Kim\*, S. H. Hwang\*

#### Abstract

Wire melting characteristics were examined with variation of gas formers such as  $MgCO_3$ ,  $CaCO_3$  and  $Li_2CO_3$  by self-shielded flux cored arc welding. The flux cored wire of overlap type was welded by DCRP.

The results obtained are as follows.

- 1) Drop type was observed with no gas former, repelled type with  $MgCO_3$  added and short circuit type with  $Li_2CO_3$  added. The variation of transfer mode was related to the blowing force of  $CO_2$  gas and the surface tension of the slag.
- 2) Droplet size increased with adding gas formers due to the effect of  $CO_2$  gas cushion.
- 3) Core spikes were observed more frequently with increasing the amount of gas formers.

#### 1. 서 론

최근 용접의 자동화 추세에 따라 flux cored wire (FCW)는 큰 관심의 대상이 되고 있다. 특히, self-shielded FCW의 경우 외부로부터의 후락스나 보호가스의 공급이 필요 없고 옥의 사용에서도 제한이 적은 장점이 있는 반면, 저온에서는 용접부의 인성이 낮은 단점을 가지고 있다. 이런 기계적 성질의 개선과 비드의 관, 스패터 억제 등을 위해 많은 연구가 행해졌으며, 용적移行 형태를 조절함으로써 효과적으로 이런 성질을 개선할 수 있다.<sup>1)</sup>

용접시 와이어 끝에서 용융지로 용적이 이행하는 형

태는 용접기의 종류, 용접 조건, 와이어 지름, 후락스 조성, 보호 가스, 슬래그의 표면 성질 등에 따라 달라진다.<sup>2)</sup> 따라서 각 경우의 용적 이행 상태를 연구하면 좋은 용접 조건, 용접 재료 및 기기 개발에 기여할 수 있다. 본 실험에서는 flux cored wire의 후락스중 가스 발생제가 용적移行 상태에 미치는 영향을 조사하였다.

#### 2. 실험 방법

##### 2.1 와이어

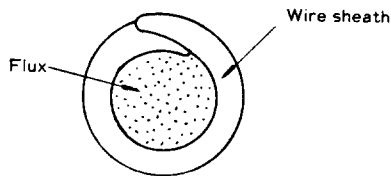
후락스는 기본 조성(BF)에다 self-shielded FCW에서 비교적 가스 발생제로 많이 이용되고 있는  $MgCO_3$ ,

\* 한국기계연구소, 정회원

CaCO<sub>3</sub>, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 첨가한 7가지로 하였고, 이를 사용하여 7 종류의 와이어(Table 1)를 제조하였다. 와이어의 단면은 overlap type(Fig. 1)이고, 지름은 2mm이며 후닥스 충전율은 20wt. %이다. 용접시 모재로는 연강을 사용하였다.

**Table 1.** Wires and flux compositions (BF : mixture of CaF<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, Fe, Al, Si etc.)

Wire	Flux (wt. %)
A	BF+ 0% gas formers
B	BF+ 6% MgCO <sub>3</sub>
C	BF+17% MgCO <sub>3</sub>
D	BF+ 6% CaCO <sub>3</sub>
E	BF+17% CaCO <sub>3</sub>
F	BF+ 6% Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
G	BF+17% Li <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>



**Fig. 1.** Cross section of flux cored wire (overlap type)

**2.2 실험 방법**

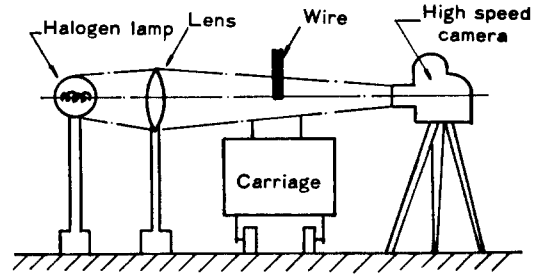
제조된 self-shielded FCW로 bead on plate 용접을 하였으며, 사용된 용접 조건은 Table 2와 같다.

용접 부위는 용접시 고속 카메라를 이용하여 3000 fps (frames per sec) 속도로 촬영하였으며, 사용된 실험 장치는 Fig. 2와 같다.

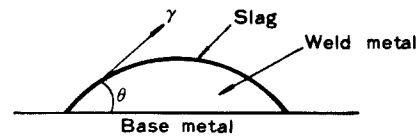
용적 이행 현상을 설명하기 위해 슬래그의 표면 장력을 알 필요가 있었다. 이를 위해 bead on plate 용접을 한 후, Fig. 3와 같이 contact angle  $\theta$ 를 측정함으로써 슬래그의 상대적인 표면 장력을 예측하였다. 슬래그의 표면 장력이 작으면 wetting 성질이 증가하며<sup>3)</sup> contact angle은 감소한다.

**Table 2.** Welding conditions

Voltage (V)	Wire feeding speed (mm/min)	Travel speed (mm/min)	Polarity	stick out (mm)	Wire diameter (mm)	Torch angle (°)
30	3430	660	DCRP	30	2	0 (vertical)



**Fig. 2.** Photographing method of the droplet transfer



$\theta$  : contact angle  
 $\gamma$  : surface tension of slag

**Fig. 3.** Contact angle and surface tension of slag

**3. 실험 결과 및 고찰**

**3.1 가스 발생제와 용적 이행 형태**

국제 용접 학회(IIW)에서는 용적 이행 형태중 globular 형태를 drop 및 repelled 형태(Fig. 4)로 세분하였다.<sup>4)</sup>



(a) Drop type (b) Repelled type

**Fig. 4.** Drop and repelled type

본 실험 결과 가스 발생제의 변화에 따른 각 와이어 별 용적 이행 형태를 Fig. 5에 나타내었다.

가스 발생제를 첨가하지 않은 경우(Fig. 5. a)의 용적 이행 형태는 drop 형태이다. MgCO<sub>3</sub>를 첨가한 경우



(a) 0% gas former

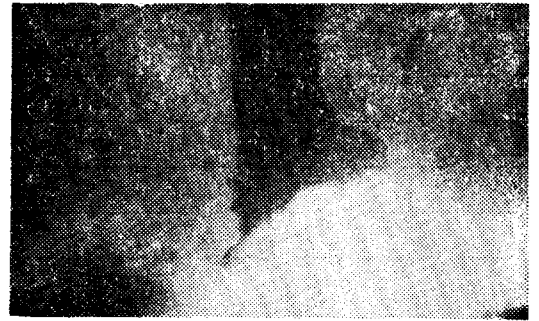
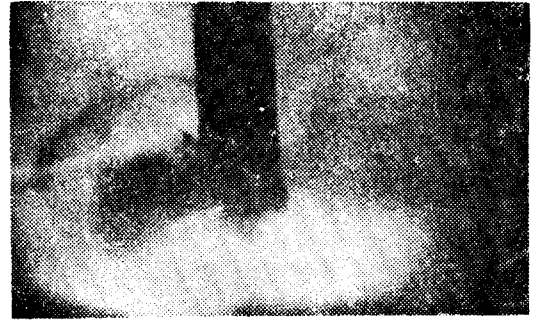
(e) 17%  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ (b) 6%  $\text{MgCO}_3$ (f) 6%  $\text{CaCO}_3$ (c) 17%  $\text{MgCO}_3$ (g) 17%  $\text{CaCO}_3$ (d) 6%  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 

Fig. 5. Metal transfer mode depending on the various gas formers

는 가스 발생제 증가에 따라 거의 repelled 형태로 변하고 있다(Fig. 5. b, c).  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 를 첨가한 경우(Fig. 5. d, e)는 단락에 의한 용적이행 형태가 지배적이었으며,  $\text{CO}_2$  등의 가스 방출력에 의해 용적의 모양이 흐트러졌다.  $\text{CaCO}_3$ 를 첨가한 경우(Fig. 5. f, g)에는 용적이 repelled 형태였으나, drop 형태가 가끔씩 나타났다.

일반적으로 용적 이행 형태는 용접 전류, 전압, 아크의 형태, 후락스의 조성, 極性, 보호가스, 용접 방법, 슬래그의 표면 성질 등에 따라 달라진다.<sup>2)</sup> 본 실험에서는 다른 모든 용접 조건은 일정하게 하였고, 후락스중 가스 발생제( $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ )만 변화시켰다. 따라서 실험 결과인 용적 이행 형태의 변화는 가스 발생제에 의한 것이라 볼 수 있다. 가스 발생제인 탄산염은 고온에서 열분해되어  $\text{CO}_2$  등의 가스를 발생시키고, 또 탄산염 첨가에 의해 슬래그의 표면 장력이 달라지게 되는데, 이 두가지 원인에 의해 용적 이행 형태가 크게 영향을 받는다.

저전류에서 많이 나타나는 globular 이행에서는 중력이 용적 이행에 큰 역할을 하며, 용적을 분리시키는 힘이다.<sup>5)</sup> 아크 발생부를 제외하고 항상 용적을 싸고 있는 슬래그(Fig. 6) 및 용적의 표면 장력은 용적을 wire 끝에 부착시키는 힘이다.<sup>5)</sup>

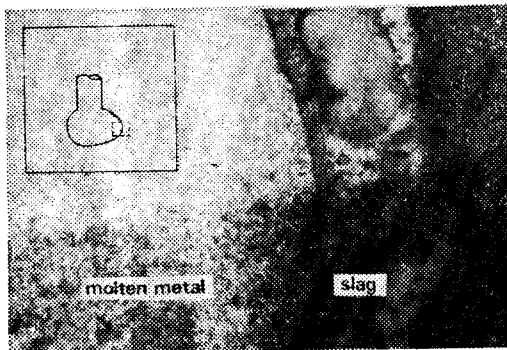


Fig. 6. Cross section of droplet enclosed with molten flux

용접시 가스 발생제인 탄산염은 열분해되어  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{O}$  등을 발생시킨다. 발생된  $\text{CO}_2$  등의 가스는 와이어 내부에서 급격히 방출되어 용적이 축 방향으로 형성되는 것을 방해하여 repelled 형태를 나타내게 하고, 방출된  $\text{CO}_2$  등의 가스는 용적 하단부에서 gas cushion(Fig. 7)을 형성하여 용적을 성장시키는데 기여한다.<sup>6)</sup>

각 와이어 별로 bead on plate 용접을 하여 측정된 contact angle을 Fig. 8에 나타내었다. Contact angle이 표면 장력에 비례하기 때문에, 표면 장력의 상대적인 크기를 contact angle로부터 추정하였다. 본 실험에

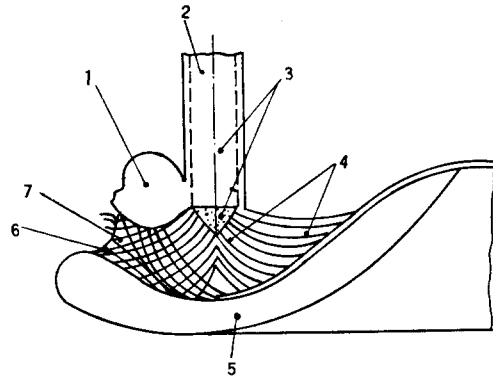


Fig. 7. Gas cushion under droplet. 1-droplet; 2-tubular wire; 3-core; 4-shielding gas flow; 5-weld pool; 6-arc; 7-gas cushion

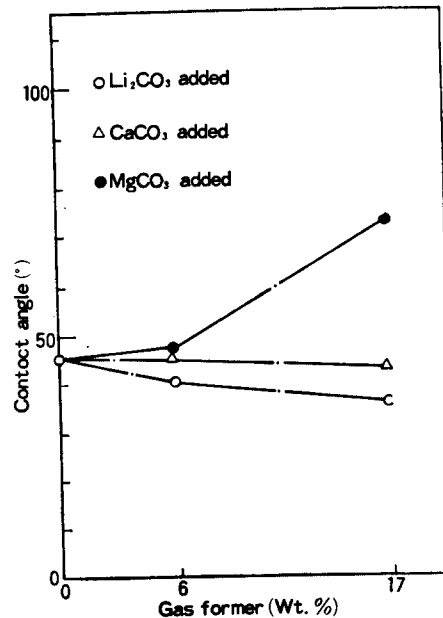


Fig. 8. Relationship between contact angle and various gas formers

서  $\text{MgCO}_3$ 가 첨가된 후락스의 contact angle이 가장 크게 관찰되어 표면 장력은  $\text{CaCO}_3$  혹은  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 의 것보다 크다고 믿어진다. 또 weld bead를 덮고 있는 슬래그의 표면 장력과 용적을 싸고 있는 슬래그의 표면 장력은 같다고 가정하였다.  $\text{MgCO}_3$ 를 첨가한 경우 슬래그의 표면 장력이 가장 커서 용적은 와이어 끝에 상대적으로 강하게 부착되며, 용적은 와이어 내부에서 방출되는  $\text{CO}_2$  등의 가스 방출력에 의해 축 방향으로 형성되지 못하고 repelled 형태를 나타내게 된다. 방출된  $\text{CO}_2$ 는 용적 하단부에서 gas cushion을 형성하여 용적 낙하를 지연시킴으로서, 용적의 부착력을 돕는 역할을 한다.  $\text{Li}_2\text{CO}_3$ 를

첨가한 경우에는 슬래그의 표면 장력이 가장 적다. 따라서 용적은 와이어 끝에 약하게 부착되어 어느 정도 커지면 自重에 의해 상대적으로 쉽게 용융지에 닿게 된다.  $Li_2CO_3$ 를 첨가한 경우 용적의 대부분이 단락에 의해 이행하는 것도 슬래그의 표면 장력이 작은 것이 한 원인이 된다. 또 이 경우 용적을 둘러싸고 있는 슬래그의 표면 장력이 작기 때문에  $CO_2$  등의 가스가 와이어 내부에서 방출될 때 용적의 모양이 쉽게 흐트러진다.

$CaCO_3$ 를 첨가한 경우 슬래그의 표면 장력 크기는  $MgCO_3$ 를 첨가한 경우와  $Li_2CO_3$ 를 첨가한 경우의 사이에 존재하며(Fig. 8), 용적 이행 형태도 이들의 중간 형태에 가깝다.

### 3.2 가스 발생제와 용적의 크기

Film motion analyzer를 사용하여, 촬영된 필름에서 용적의 크기를 관찰하였다. 용적의 크기 측정법으로는 Fig. 9에서의 p만을 용적의 크기로 한 경우<sup>7)</sup>도 있으나, 본 실험에서는 용적이 이행하기 직전 용적의 크기가 가장 커졌을 때 Fig. 9에서처럼 p와 q의 산술 평균을 용적의 크기로 하였다.

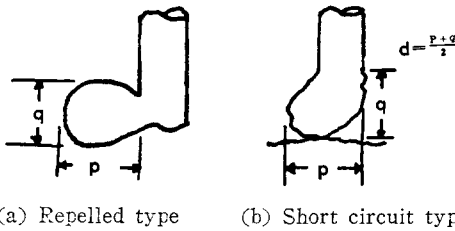


Fig. 9. Method of determining droplet size

측정된 용적의 크기와 가스 발생제와의 관계를 Fig. 10에 나타내었다.

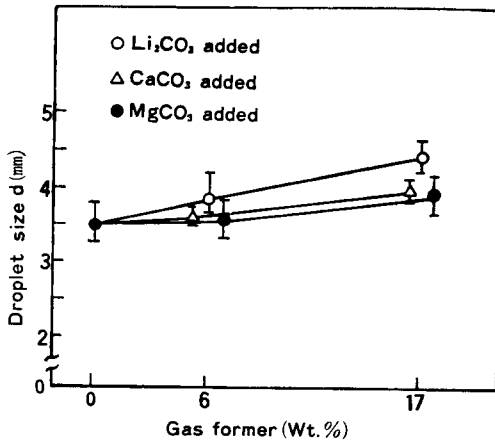


Fig. 10. Droplet sizes depending on the various gas formers

가스 발생제 량이 증가할수록 용적의 크기는 증가하였다. 이것은  $CO_2$  gas cushion(Fig. 7)<sup>6)</sup>으로 설명할 수 있다. 즉, 용접시 고온에서 가스 발생제인 탄산염들이 열분해되어  $CO_2$  등의 가스를 방출하게 된다. 방출된  $CO_2$  등의 가스에 의해 용적 하단부에 gas cushion이 생기게 되며, 이것 때문에 용적은 빨리 낙하하지 못하고 성장하게 된다. 가스 발생제의 량이 많아지면  $CO_2$  등의 가스 방출량도 많아져서 gas cushion 효과가 커지게 되므로 용적의 크기도 증가하게 된다.

### 3.3 가스 발생제와 core spike

Flux cored arc 용접시 core가 완전히 녹아 슬래그가 되어 용적을 둘러싸서 보호하는 것이 이상적이다. 그러나, 실제로는 core의 완전 용융이 어려우며 core의 용융 불량으로 인해 core spike가 흔히 나타내는데, core spike는 주로 wire 外皮部에서의 arc wandering과 refractory core의 낮은 열 전도도 때문이다.<sup>6)</sup>

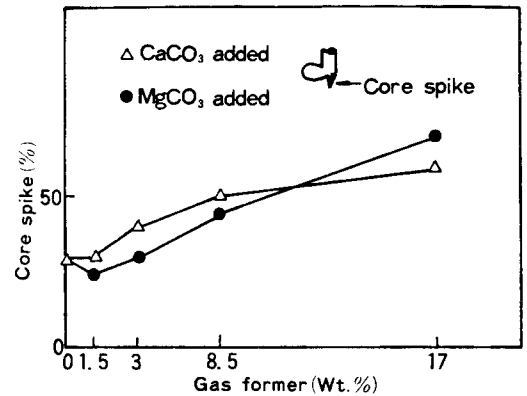


Fig. 11. Core spike vs. gas formers

Core spike의 발생 빈도를 관찰하기 위해, 용접중 와이어당 wire tip 20개를 채취하여 core spike가 나타난 tip의 수를 백분율로 환산하였다.(Fig. 11)

본 실험에서는 가스 발생제가 증가할수록 core spike의 발생비율도 증가하고 있다.

$MgCO_3$ 와  $CaCO_3$ 를 첨가한 경우, 가스 발생제가 증가할수록 축 방향으로 용적의 형성이 어려워져 drop 형태에서 repelled 형태로 변해간다. 아크는 용융지와 최근접 거리에서 발생하는데, 가스 발생제가 작게 첨가된 drop 형태의 경우 거의 core 인접부에서 arc가 집중적으로 발생하여(Fig. 12. a), core의 가열 효과가 커서 core spike의 발생 빈도가 낮다. 반면, 가스 발생제가 많이 첨가된 repelled 형태의 경우 drop 형태에 비해 core와 먼 거리에서 arc가 주로 발생하여(Fig. 12. b), core의 가열 효과가 작다. 따라서 가스 발생제가 많이



(a) Drop type (0% gas former)

(b) Repelled type (17% MgCO<sub>3</sub>)**Fig. 12.** Transfer mode of droplet and core spike

첨가된 repelled 형태의 경우 core spike 발생 비율이 증가한다.

#### 4. 결 론

Self-shielded flux cored wire의 flux중 가스 발생제로써 MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 변화시킬 때, 용적 이행에 미치는 영향을 고찰하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 가스 발생제를 첨가하지 않은 경우의 용적 이행 형태는 drop 형태며, MgCO<sub>3</sub>를 첨가한 경우는 repelled

형태이고, Li<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>를 첨가한 경우는 단락에 의한 이행이 지배적이었다. 그 이유는 CO<sub>2</sub> 가스 방출력과 슬래그의 표면 장력 차이에 기인한 것으로 믿어진다.

2) 가스 발생제가 증가할수록 용적의 크기는 증가하였다. 그 이유는 CO<sub>2</sub> 등의 gas cushion에 의한 것으로 믿어진다.

3) 가스 발생제가 증가할수록 core spike의 발생 빈도가 증가하였다.

#### 참 고 문 헌

- 1) Jilong Ma and R.L. Apps, *New MIG process results from metal transfer mode control*, Welding and Metal Fabrication, May 1983, 168~175.
- 2) J.F. Lancaster, *Metal transfer in fusion welding*, Arc physics and weld pool behaviour, International conference, London—8—10 May 1979, The welding institute, 135~146.
- 3) G.E. Linnert, *Welding Metallurgy*, Vol. 1, New York, AWS, 1965, 374~375.
- 4) IIW XII Committee, *Classification of metal transfer on arc electric welding processes*, Welding in the world, 15—516 (1977), 113~118.
- 5) H.B. Cary, *Modern welding technology*, New Jersey, Prentice-Hall, Inc., 1979, 41.
- 6) R. Killing, *Droplet transfer and shielding mechanism in welding with self-shielded tubular wires*, Weld pool chemistry and metallurgy, International conference, London—15—17 April 1980, The welding institute, 177~185.
- 7) 菅哲男, 小林實, 炭酸가스아크溶接用フラックスワイヤ의溶滴移行現象, 溶接學會論文集, 第3卷 (1985) 第2號, 33~40.