

# GMA용접에서의 아크 스타트 제어 기술

유희수 · 박재호 · 김문정 · 김희진

## Control Method of Arc Start for GMA Welding

Hoi-Soo Ryoo, Jae-Ho Park, Moon-Jung Kim and Hee-Jin Kim

### 1. 서 론

현재, 소모성 전극을 사용하는 GMA(Gas Metal Arc) 용접은 높은 생산성과 자동화 효율이 높아 널리 사용되고 있다. 그러나 GMA 용접은 다량의 스파터 발생으로 인하여 자동화에 장애요인이 되었고<sup>1)</sup>, 또한 아크 스타트 실패는 스파터뿐만 아니라 용접초기 비드에 결함이나 무용접 구간이 발생하므로 자동용접에서 매우 중요하다<sup>2)</sup>. 이러한 GMA 용접의 단점을 보완하기 위하여 단락이행에서의 전류파형제어 기법이 개발되어 왔으며 또한 상품화 되었다<sup>3)</sup>. 그러나 아크스타트의 제어에 대한 문헌은 거의 없으며, Table 1에 보인바와 같이 대부분 아크스타트 실패시 나타나는 현상과 원인을 보고하는 것이 대부분이다<sup>4,5)</sup>. 아크 스타트 실패의 원인은 용접전원의 측면과 외부 환경요인으로 구분할 수 있다. Table 1에는 용접전원의 측면에서의 주요 인자를 나타내었으며, 외적 요인으로 와이어 끝단의 모양, 팁 막힘으로 인한 송급불량, 모재 표면상태 등을 들 수 있을 것이다.

본 보고에서는 GMA에서 아크 스타트 단계와 아크 스타트 제어방법에 대하여 실제 용접전원을 분석하여 보고하고자 하였다.

### 2. 아크 발생 방법의 종류

아크는 가스분위기에서 양극과 음극사이의 전기방전

Table 1 Types and cause of arc start arc start failure form welding power source control

	Sticking	Burn back
welding current	low	high
start current	low	high
slow down speed	high	low
slow down period	shot	long

(electric discharge)에 의하여 발생하는 고전류 플라즈마이며, 저항열에 의하여 약 6,000~25,000K의 고온이 발생한다<sup>6)</sup>. 아크용접은 열원으로 이러한 고온의 아크를 이용하는 것임으로 용접을 위해서는 아크를 발생시켜야 한다. 아크용접에서 아크발생방법은 전극간의 접촉식과 비접촉식으로 나눌 수 있으며, 접촉식은 SMAW, GTAW에서 사용하는 터치(touch) 스타트 또는 스크래치 방법과 GMAW와 SAW에서 사용하는 와이어 용융방법이 있다. 터치 스타트 방법은 용접봉을 모재에 접촉한 후 떨어지는 순간에 아크를 발생시키는 것이다. 와이어 용융방법은 와이어가 모재에 접촉하게 되면 높은 접촉저항으로 인하여 저항열이 발생하게 된다. 이로 인하여 와이어 선단이 용융되고 용융된 용적은 모재와 단락이 형성되고 전류에 의한 핀치력에 의하여 단락이 파단되면서 아크가 발생된다. 그리고 비접촉식은 GTA에서 주로 사용하는 것으로 전극사이에 고주파 고전압을 가하여 아크를 발생시키는 방법이다.

본 기술보고에서는 GMAW에서 사용하는 와이어 용융방법을 이용한 아크 스타트 제어 기술을 그 범위로 하였다.

### 3. 아크 스타트 단계에 따른 제어

GMA 용접에서 성공적으로 아크 스타트된 용접과정과 고속영상을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 아크 스타트 단계는 슬로우 다운, 와이어 선단 용융, 아크발생, 아크 안정화(아크길이 유지)의 4단계로 구분할 수 있다.

용접전원의 토치 스위치를 누르면 일정시간 보호가스가 공급(pre-flow)된 후 Fig. 1 (a)에 보인바와 같이 무부하 전압(약 75V)이 공급되고 설정전류에 해당하는 와이어 송급속도보다 낮은 속도(slow down)로 와이어가 송급된다. 와이어 송급속도가 빠르면 와이어를 녹이기

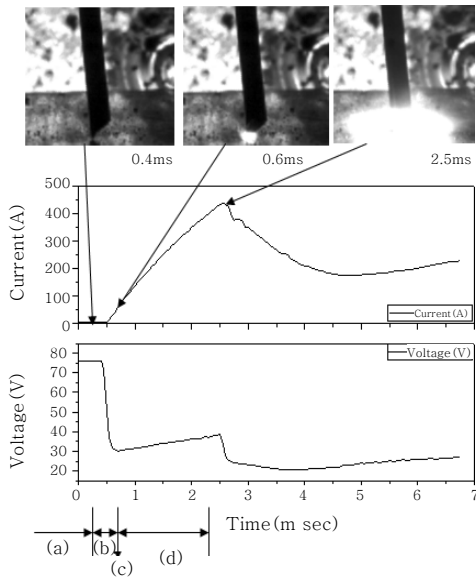


Fig. 1 High speed images and welding waveform which show arc start phases: (a) slow-down, (b) melting of wire tip (c) arc ignition, (d) arc stabilization

어렵기 때문이 스틱킹(sticking) 현상으로 인하여 아크 스타트가 실패할 확률이 높다. 따라서 이때는 아크 스타트 전류상승을 높이고 스타트 피크 전류가 높아야 한다. 너무 느리면 아크 스타트 성공 확률이 높아 질수 있으나 스타트 전류가 높을 경우 와이어의 용융 속도가 빠르기 때문에 번개의 발생 가능성이 크다. 또한 생산성에 영향을 줄 수 있으므로 적당한 슬로우 다운 속도가 필요하다.

### 3.2 와이어 선단 용융 단계

슬로우 다운 과정에서 와이어가 모재에 접촉(단락)하게 되면 Fig. 1 (b)에 보인바와 같이 전류가 급상승하게 되고 용접전원은 약 30A가 넘기 시작하면 용접전류검출(WCR) 신호를 외부에 알리게 되며, 동시에 송급속도는 설정전류에 해당하는 속도로 공급된다. 이 단계에서는 전류가 상승하면서 와이어와 모재의 접촉저항에 의한 저항열에 의하여 와이어 선단이 모재와 단락된 상태에서 용융되어 가교를 형성한다. 접촉부의 저항열(Q)은 다음 식(1)에 보인바와 같이 접촉저항(Rc) 및 시간과 전류(I)의 제곱에 비례한다.

$$Q = I^2 R_c t \quad (1)$$

물론 와이어 자체도 저항이 있으므로 발열이 되지만 접촉부의 저항이 크기 때문에 발열이 더 크다. 따라서 접촉부에서 먼저 용융이 시작되며, 용적은 모재와 단락

되어 있는 상태이다. 또한, 접촉후 전류가 급상승함으로 그 용융량은 전류의 제곱에 비례하게 된다. 따라서 이 단계에서는 전류상승기울기가 매우 중요한 변수이다.

와이어 선단의 용융 단계의 기간은 선단의 모양과도 관계가 있으며, 끝이 뾰족한 모양일 경우 전류가 집중적으로 흐르기 때문에 그림 1(b)에서 보는바와 같이 매우 짧은 시간 즉 0.2msec동안 가열이 된다.

### 3.3 아크발생 단계

아크발생 단계는 단락된 용적이 핀치력에 의하여 끊기면서 Fig. 1(c)에 보인바와 같이 아크가 발생된다. 이는 단락이행에서 가교(bridge)가 핀치력에 의하여 파단되면서 아크가 발생되는 것과 같은 현상이다.

단락시 핀치력은 전자기력( $F_{em}$ )에 비례하며 전자기력은 식(2)에 보인바와 같이 전류의 제곱에 비례한다.

$$F_{em} = \frac{\mu_0 I^2}{4\pi} F_3 \quad (2)$$

여기서  $\mu_0$ 는 자유표면에서의 투자율이고,  $F_3$ 은 접촉면의 형상지수이다. 따라서 식(1)과 (2)에서 보는바와 같이 아크 스타트는 전류에 관한 함수이므로 성공적인 아크발생을 위해서는 전류를 제어하여야 한다. 이 단계에서도 와이어 선단 용융단계와 마찬가지로 전류상승속도에 영향을 받는다.

전류상승속도가 너무 크면 와이어가 폭발하면서 와이어 중간에서 와이어가 파단(sticking)되면서 아크가 끊기고 매우 조대한 스패터가 발행하다. 이후 아크 재발생시에도 스패터가 발생한다. 또한 너무 전류가 낮으면 와이어가 녹지 않고 계속 와이어만 나오게 되는 현상이 발생한다.

### 3.4 아크길이 유지(안정화) 단계

아크 발생시점에서는 아크 길이가 매우 짧기 때문에 일정한 아크길이를 유지하기 위하여 식(3)에 보인바와 같이 평균전류보다 높은 전류를 Fig. 1(d)에 보인바와 같이 공급하여 용융속도( $v_m$ )를 송급속도보다 빠르게 하여 아크길이를 길게하여 안정화시킨다.

$$v_m = aI + bLI^2 \quad (3)$$

a, b : 비례상수

L : 와이어 돌출길이

이때 일정전류(피크전류) 이상이 되면 일정 아크길이

에 도달할 때까지 유지한다. 일정한 아크길이에 도달하게 되면 본 전압제어 모드로 전환되고 아크 스타트는 종료된다.

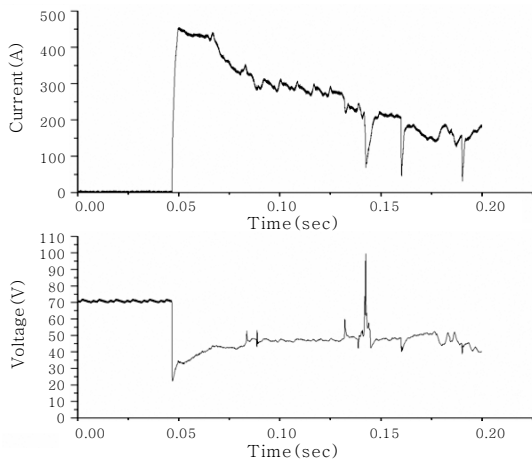
#### 4. 제어방법에 의한 분류

##### 4.1 전류 파형제어

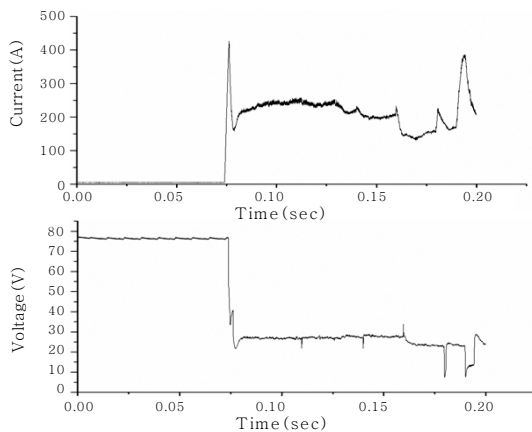
아크 스타트시 전류제어 방법으로 전류를 일정한 속도로 피크전류까지 상승시키고 최대 전류를 일정시간동안 유지시키는 방법과 유지시키지 않는 퀵 아크 스타트 방법으로 나눌 수 있다(Fig. 2).

아크 스타트시 일정전류 유지방법은 Fig. 2(a)에서처럼 피크전류(약 450A)까지 전류를 상승시키고 10ms 이상으로 유지한다. 이 방법은 아크스타트 시간이 긴 단점이 있고 아크길이가 필요이상으로 길어져 번백되는 경우도 있어 현재 잘 사용하지 않는다.

최근 용접전원은 Fig. 2(b)에 보인 퀵 스타트 방법을 사용한다. 즉 전류상승 과정에서 아크길이를 감지하여



(a) Constant current hold method



(b) Quick arc start method

Fig. 2 Current waveform control method for arc start

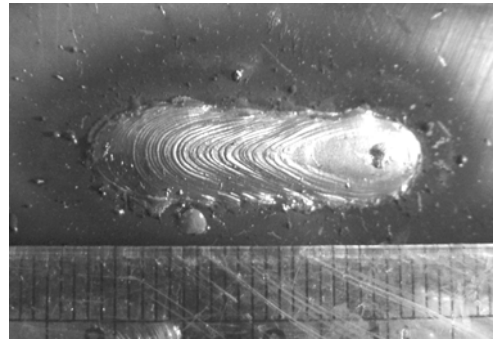


Fig. 3 Welding bead of quick arc start method

일정 아크길이에 도달하면 아크 스타트를 종료함으로 빠른 시간에 아크 스타트가 가능하다. 그러나 슬로우 다운속도에서 아크발생 후 빠르게 본 전류속도로 전환되고 또한 전류상승속도가 높고 피크전류가 높기 때문에 Fig. 3의 보인바와 같이 비드 주변에 스패터가 다량 발생한 것을 볼 수 있다.

##### 4.2 송급속도 제어방법

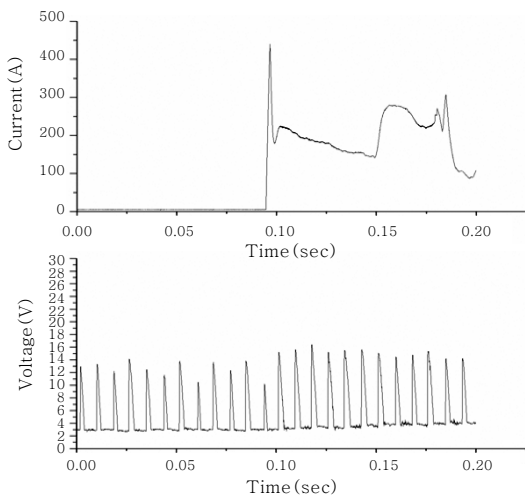
아크발생시 송급속도가 슬로우다운 속도에서 설정 전류의 송급속도로 변하게 될 때, 슬로우 다운 속도에서 설정 전류의 송급속도로 바로 증가시키는 방법과 일정한 기울기를 갖고 선형적으로 증가시키는 방법이 있다. 이런 송급속도의 변화차이에 의해 아크스타트시 최대전류를 낮추어 스패터를 최소화할 수 있다.

Fig. 4에 두 가지 형태의 스타트 전류파형과 송급모터 전압을 나타내었다. Fig. 4(a)에서 보는바와 같이 제어하지 않는 경우에 슬로우 다운에서 본 전류 송급속도로 급격히 상승하는 것을 볼 수 있다.

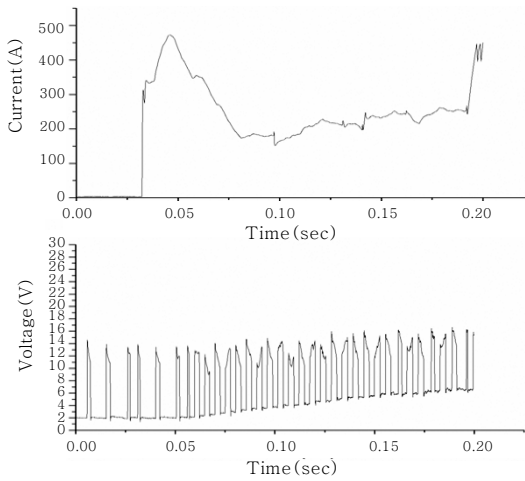
그림 4(b)의 경우 아크스타트 후 약 20ms동안 슬로우 다운 속도로 유지되고 본 전류 송급속도로 150ms 동안 상승되는 것을 볼 수 있다. 아크 스타트시 최대전류는 약 350A 정도 이었으며, 상기에 언급된 방법보다는 매우 낮은 전류에서 아크 스타트가 되었다. 또한 Fig. 5에서 보는 바와 같이 스패터가 거의 발생하지 않았다. 그러나 이 방법은 스타트 전류가 낮기 때문에 아크 스타트를 실패할 확률이 높아진다. 그러므로 Fig. 6에 보인 바와 같이 충분한 아크길이를 유지하지 못할 경우 전류를 상승시키는 제어가 필요하다. 이때 스패터가 발생된다.

##### 4.3 송급후진 제어방법

기존의 아크 스타트 방법은 와이어의 송급이 전진만



(a) Feeding motor rising speed without control



(b) Feeding motor rising speed control

Fig. 4 Arc start current waveform and motor voltage by feeding motor rising speed control

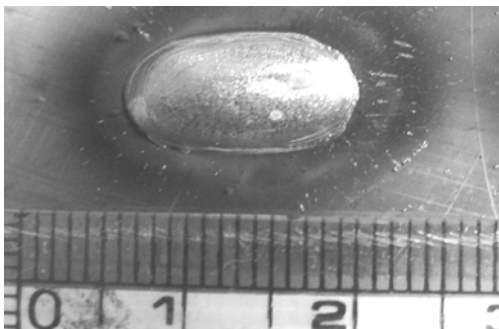


Fig. 5 Welding bead of feeding motor rising speed control

가능한 경우로 후진 송급제어는 와이어가 슬로우 다운 속도로 전진하다가 와이어 선단이 모재에 접촉한 후 일정량의 와이어 끝단이 용융되면 와이어가 일정속도로

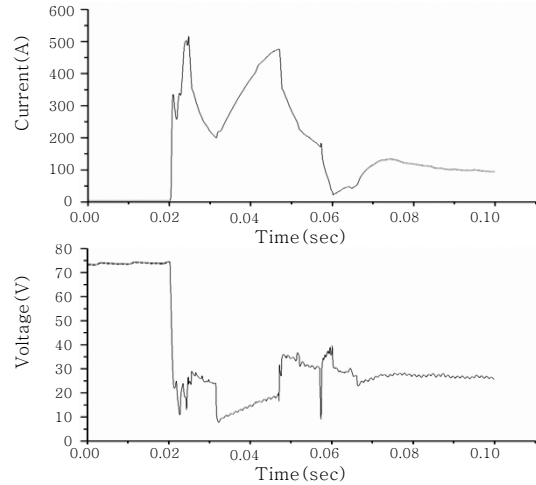


Fig. 6 Current control method in case of arc start control failure by feeding motor rising speed control

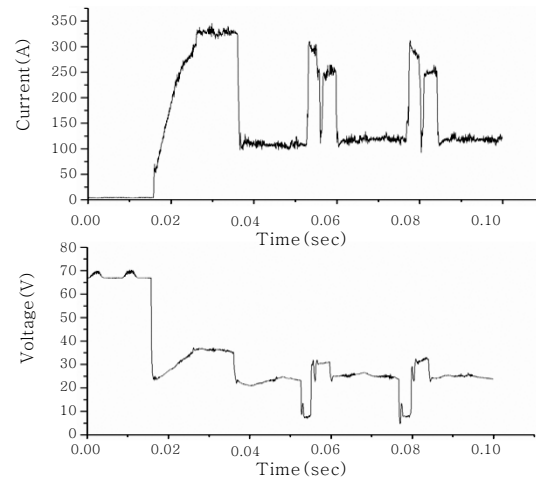


Fig. 7 Arc start waveform of wire backward feeding control

후진하게 되고, 일정 아크를 유지하면 일정시간후 와이어가 본전류 속도로 전진하는 방법이다<sup>7)</sup>. 이와 같은 송급후진 제어일 경우는 낮은 핀치력과 아크 유지를 위한 전류상승을 최소화 할 수 있기 때문에 스패터를 최소화시킬 수 있는 방법이다. 그러나 본 방법은 장치가 고가임으로 일반 용접전원에 적용하기는 어려운 단점이 있다.

Fig. 7은 송급후진 제에서 아크 스타트 용접 파형이다. 그림에서 보듯이 기존의 GMA 용접기의 아크 스타트시 최대전류인 450A보다 100A 정도 낮은 350A에서 항상 아크 스타트가 성공적으로 이루어 졌으며, 스패터가 Fig. 8에 보인바와 같이 거의 발생하지 않았다. 또한

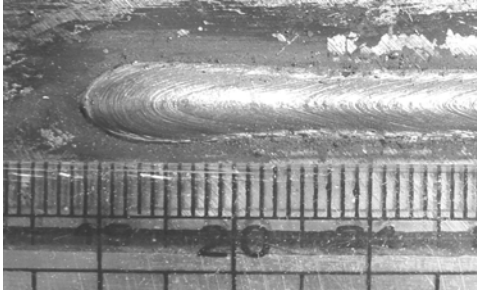


Fig. 8 Bead of wire backward feeding control

아크길이 유지를 위한 전류가 거의 불필요하기 때문에 스타트 전류가 낮음으로 저입열로 인하여 열변형이 최소화됨으로 박판용접에 유리하다.

### 5. 결 론

아크 용접을 위해서 아크 스타트가 선행되어야 하므로 아크 스타트성은 용접전원의 품질을 평가함에 있어 매우 중요하다. 최근 용접전원이 디지털화 되면서 아크 스타트의 제어 기법이 다양해지고 있으며, 국내 용접전원 또한 아크 스타트성 향상에 노력을 해야 할 것이다. 아크 스타트성은 외란에 영향을 받지만 최대한 이에 대한 영향도 감수 할 수 있는 제어가 필요할 것이다. 특히 전류제어와 동시에 와이어 송급속도의 제어가 필요하며, 아크 스타트시 아크 길이 검출을 통하여 안정된 아크 스타트를 유도해야 할 것이다.



- 유희수
- 1965년생
- 한국생산기술연구원, 용접접합기술지원센터
- 디지털용접전원개발, 자동제어, 집합조직
- e-mail : hsrwoo@kitech.re.kr



- 박재호
- 1977년생
- 한국생산기술연구원, 용접접합기술지원센터
- 용접전원 파형제어
- e-mail : jhpark08@kitech.re.kr



- 김문정
- 1979년생
- 한국생산기술연구원, 용접접합기술지원센터
- 용접전원 파형제어
- e-mail : mjkim@kitech.re.kr



- 김희진
- 1953년생
- 한국생산기술연구원, 용접접합기술지원센터
- 용접전원 파형제어, 용접재료개발
- e-mail : kimhj@kitech.re.kr

### 참 고 문 헌

1. H.J. Kim and C.H. Lee : The Characteristics of Power Sources on the Spatter Generation Rate in CO<sub>2</sub> Arc Welding Process, Journal of KWS, 17-4 (1999), 16-21 (in Korean)
2. Y.S. Kim, H.S. Ryoo, H.J. Kim and S.C. Oh: A Review of Welding Current Waveform Control and Mechanical Control Technique for Reduction of Spatter in Short Circuit Transfer, Journal of KWJS, 25-5 (2007), 4-14 (in Korean)
3. D. Farson, C. Conrardy, J. Talkington, K. Baker, T. Kerschbaumer and P. Edwards : Arc Initiation in Gas Metal Arc Welding, Welding Journal, (1998) 315-312
4. U. Ersoy, S.J. Hu, and E. Kannatey-Asibu : Observation of Arc Start Instability and Spatter Generation in GMAW, 87 (2008), 51-56
5. D.J. Park and S.M. Cho : A Waveform Analytics Study to Improve the Arc Start Failure in GMAW, Proceedings of the 2004 Spring Annual Meeting of KWS, 52 (2004) 54-56 (in Korean)
6. J. F. Lancaster, The Physics of Welding, 2nd Ed. Pergamon Press, Oxford, U.K., 1986
7. J. H. Park, H. S. Ryoo, M. J. Kim and H. J. Kim : Development of Arc-Start technology by wire feeding reverse and current control, Proceedings of the 2009 Spring Annual Meeting of KWJS, (2009) 67 (in Korean)