

## 교류 펄스 미그 용접의 원리 및 특성

김 동 철 · 박 형 진 · 강 문 진

### Principle and Characteristics of AC Pulse MIG Welding

Dong Cheol Kim, Hyoung Jin Park and Mun Jin Kang

#### 1. 서 론

최근 반도체 소자와 마이크로 컨트롤러의 급속한 발전으로 인하여 용접전원이 빠르게 변화하고 있다. 용접전원에 있어서 전류를 제어하기 위한 스위칭 소자가 사이리스터에서 IGBT로 발전함과 동시에 32비트의 고속 DSP(Digital Signal Processor)를 적용함에 따라 인버터가 본격적으로 응용되기 시작하였고 전류의 파형을 정교한 펄스 형태로 제어하는 것이 용이해지면서 펄스 아크 용접에 대한 많은 연구가 이루어졌다<sup>1-2)</sup>.

펄스 아크 용접은 전류의 파형을 제어하는 펄스 전류와 베이스 전류로 구성되는 펄스 파형의 반복으로 전류가 흐르도록 하여 아크 용접을 행하는 것을 말한다<sup>3)</sup>. 펄스 아크 용접은 한 펄스에 한 방울이 규칙적으로 이행되고, 용적의 크기가 용접 와이어의 직경과 유사하며, 용적이 피크 전류 구간 직후에 이행하는 것이 스파터 발생이나 용접품질이 가장 우수하다고 알려져 있다<sup>4-7)</sup>.

펄스 아크 용접은 펄스 전류를 사용하므로 직류 전류에 비하여 모재에 가해지는 입열량이 작고 주기적인 금속 이행으로 인하여 용접부의 품질을 향상시킨다. 특히, 저전류 용접시 용접부의 용접성이 일반 직류 미그 용접과 비교하여 우수하므로 구조물의 경량화를 위한 박판 재료 용접에 적용하여 모재의 열변형과 고온 균열의 발생을 방지할 수 있는 장점이 있다<sup>8)</sup>.

그러나, 펄스 미그 용접은 열전도도가 높고 녹는점이 낮은 알루미늄이 가지고 있는 특성에 의해 박판 알루미늄 합금의 겹치기 이음이나 맞대기 이음에서 이음부에 갭이 존재할 경우 용락을 발생시킬 가능성이 높다<sup>9-10)</sup>.

이와 같이 박판 알루미늄 용접에서의 어려움을 극복하기 위한 연구가 계속해서 이루어지고 있으며 그 대안으로 본 보고에서는 EN(Electrode Negative) 극성 효과를 이용한 교류 펄스 미그 용접의 원리 및 특성에 대해 소개하고자 한다.

#### 2. 교류 펄스 미그 용접

DCEN(Direct Current Electrode Negative)는 용접봉을 전원의 음극에 연결하고 모재를 양극에 연결하는 극성을 말한다. GMAW(Gas Metal Arc Welding)에서는 용접 와이어가 음극이고 모재가 양극인 극성으로 연결하면 와이어 용융량이 많아지지만, 모재의 용입이 감소하고 아크는 약간 불안정하게 되는 특성이 있다. 텅스텐 전극을 사용하는 GTAW(Gas Tungsten Arc Welding)에서는 안정된 아크와 깊은 용입을 확보하기 위해 DCEN을 사용한다.

DCEP(Direct Current electrode Positive)는 용접봉을 전원의 양극에 연결하고 모재를 음극에 연결하는 극성을 말한다. GMAW에서 이와 같은 극성으로 용접하면 모재의 용입이 깊어지고, 아크가 안정해지므로 주로 GMAW에서 안정된 아크를 얻기 위해 사용된다. 또한 DCEP는 알루미늄 합금 용접시 알루미늄 산화막을 제거하는 청정 효과를 가지고 있다.

AC(Alternating Current)는 DCEN과 DCEP가 주기적으로 반복하므로 DCEN과 DCEP의 효과가 번갈아 발생하는 특징을 갖는다<sup>11)</sup>.

교류 펄스 미그 용접은 EN 극성 비율을 이용해 DCEP와 DCEN의 구간을 두어 두 구간이 주기적으로 반복하는 용접법으로 DCEN과 DCEP의 두 가지 효과를 동시에 얻을 수 있는 용접방법이다.

Fig. 1은 교류 펄스 미그 용접에서의 전류 파형을 나

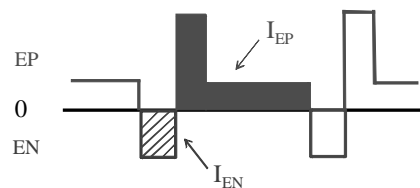


Fig. 1 Current waveform of AC pulse MIG welding

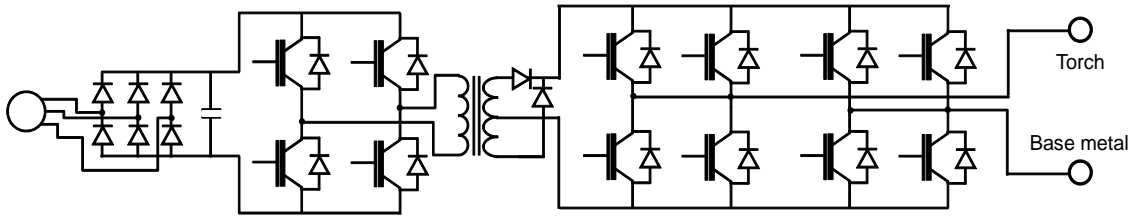


Fig. 2 Block diagram of AC pulse MIG welding power source

타내고 있다. 교류 펄스 미그 전류파형은 EN 극성 비율이라는 변수로 표현되어지며, EN 극성 비율은 식 (1)과 같이 정의 된다.

$$ENratio = \frac{I_{EN} \times T_{EN}}{I_{EP} \times T_{EP} + I_{EN} \times T_{EN}} \times 100\% \quad (1)$$

여기서,  $I_{EN}$  : EN 구간의 평균전류(A),  $I_{EP}$  : EP 구간의 평균전류(A),  $T_{EN}$  : EN 구간의 시간(sec),  $T_{EP}$  : EP 구간의 시간(sec)을 나타낸다.

### 3. 교류 펄스 미그 용접 시스템

Fig. 2 는 교류 펄스 미그 용접 시스템의 전력 제어부를 나타내고 있다. 교류 펄스 미그 용접 시스템은 Fig. 2 에서와 같이 3상 교류 220V 또는 380V 전원을 입력 받아 정류기에 의해 정류하고 평활 콘덴서를 거치면서 직류 전압으로 변환된다. 이 직류 전원을 IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor)에 의해 고속 스위칭하면 고주파 교류전압으로 변환되고 이를 고주파 변압기를 거치면 2차측으로 에너지를 전달하게 되고 용접에 필요한 전압 레벨로 감압된다. 감압된 고주파 교류전압은 정류기를 통해 직류 전압으로 변환된다. 정류기를 통해 변화된 직류 파형을 교류 펄스 파형으로 만들기 위해서 IGBT를 사용한다.

Fig. 3 에서 왼쪽 위에 2개의 IGBT와 오른쪽 아래의 2개의 IGBT가 쌍을 이루며 작동하고 이때 토치가 양극, 모재가 음극이 되어 DCEP(Direct Current electrode Positive)로 전류 파형을 출력하게 된다.

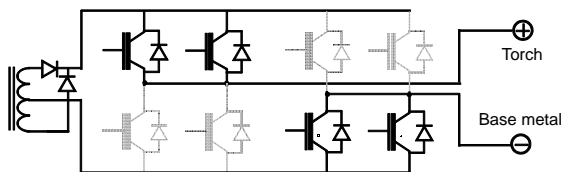


Fig. 3 Block diagram of DCEP

Fig. 4에서 오른쪽 위에 2개의 IGBT와 왼쪽 아래의 2개의 IGBT가 쌍을 이루며 작동하고 이때 토치가 음극, 모재가 양극이 되어 DCEN(Direct Current Electrode Negative)이 전류 파형을 출력하게 된다.

즉, 앞에서 말한 EN 극성 비율에 의해 주기적으로 DCEP와 DCEN의 구간을 반복함으로써 교류 펄스 전류를 만들게 된다.

### 4. 교류 펄스 미그 용접의 특성

박판 알루미늄 합금의 겹치기 이음에서 이음부에 갭이 존재할 경우 직류 펄스 미그 용접과 교류 펄스 미그 용접성을 비교하기 위해 다음과 같은 조건으로 실험하였다.

실험조건은 용접전류 46A, 용접전압 17.6V, 용접속도 0.5m/min, 갭 1mm로 직류 펄스 미그 용접과 교류 펄스 미그 용접 모두 동일하게 실험하였으며 교류 펄스 미그 용접의 EN 극성 비율은 20%로 실험하였다.

Fig. 5는 갭 1mm가 존재하는 겹치기 이음에서의 직류 펄스 미그 용접의 비드 형상을 보여주고 있으며 1mm의 갭이 존재함으로 용락이 심하게 발생했음을 알 수 있다. Fig. 6은 실험시 측정한 직류 펄스 미그 용접에서의 용접전류 파형과 용접전압 파형을 나타내고 있다.

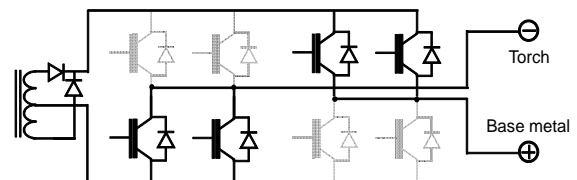


Fig. 4 Block diagram of DCEN

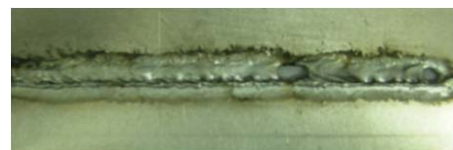


Fig. 5 Bead shape of DC pulse MIG welding

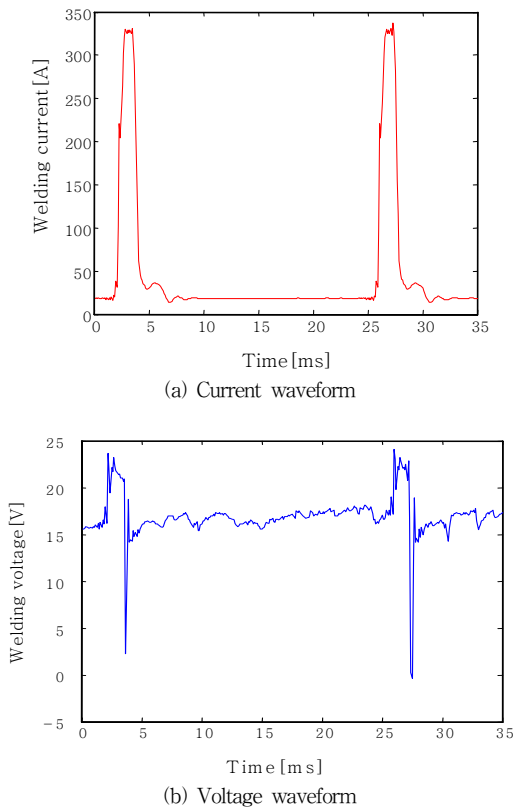


Fig. 6 Current waveform of DC pulse MIG welding

반면 Fig. 7의 교류 펄스 미그 용접의 비드는 1mm의 갭이 존재함에도 용락이 없이 양호한 비드를 나타내고 있다. 교류 펄스 미그 용접을 이용함으로써 갭 존재시 용락을 피할 수 있음을 알 수 있다.

Fig. 8은 실험시에 측정한 교류 펄스 미그 용접의 EN 극성 비율 20%에서의 용접전압 파형과 용접전류 파형을 나타내고 있다.

대부분의 박판 알루미늄 용접구조물은 겹치기 이음으로 이루어진다. 박판 알루미늄 합금은 용접시 부재의 성형 오차 또는 fit-up 오차 발생으로 용접이음에 갭이 존재하는 경우가 발생하게 된다. 또한 용접 중에 모재가 입열의 영향으로 변형되기 쉽기 때문에 갭이 변화하게 되므로 용접 시공현장에서는 갭 여유도가 큰 용접법이 요구되고 있다.

교류 펄스 미그 용접은 평균 용접전류(절대값)를 변화시키지 않고도 EN 극성 비율을 변화시켜 와이어 용착량을 변화시킬 수 있다.

Table 1은 겹치기 이음의 갭 1mm에서 EN 극성 비율을 변화시킬 때의 비드 표면과 비드 단면 사진을 나타내고 있다. 실험조건은 용접전류 46A, 용접전압 17.6V, 용접속도 0.5m/min, 갭 1mm로 설정하였으며, EN 극성 비율의 변화를 0, 10, 20%로 변화시켜 실험하였다.

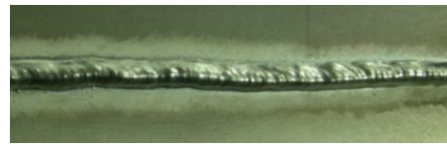


Fig. 7 Bead shape AC pulse MIG welding(EN ratio 20%)

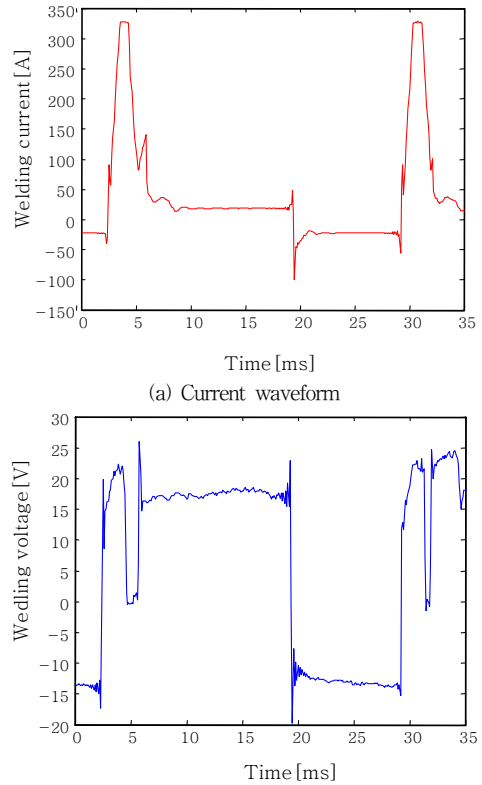


Table 1 Gap bridging in relation with the EN ratio

EN ratio	Bead Appearance	Cross Section
0%		
10%		
20%		

(b) Voltage waveform

Fig. 8 Current waveform of AC pulse MIG welding (EN ratio 20%)

Table 1의 실험결과로부터 보면 EN 극성 비율 0% 즉, 직류 펄스 미그 용접에서는 간헐적인 용락의 발생과 동시에 갭이 매워지지 않음을 확인할 수 있다. 또한 EN

극성 비율이 높아질수록 비드 형상이 양호해지고 갭이 매워지면서 안정적인 비드 단면을 보여주고 있다. 이와 같이 EN 극성 비율이 어느 수준까지 증가할수록 갭 접합성이 향상되는 이유는 동일한 용접 전류값(전류의 절대값이 같다는 의미임)에서 EN 극성일 경우가 EP 극성일 경우보다 용착량이 많아 갭을 채울 능력이 높고, 용입이 작아 용락을 방지할 수 있기 때문이다.

### 5. 결 론

본 보고에서는 교류 펄스 미그 용접의 원리 및 특성, 용접 회로에 대해 기술하였다.

교류 펄스 미그 용접은 박판 알루미늄 합금의 겹치기 이음에서 이음부에 갭이 존재할 경우에 용락을 방지하고, 양호한 비드를 얻을 수 있으며, 동일 용접전류에서 EN 극성 비율을 증가시켜 와이어 용착량을 증가시킴으로써 갭 여유도가 높은 용접을 수행할 수 있는 장점이 있다.

### 참 고 문 헌

1. E. K. Stava : The surface tension transfer power source: A new low-spatter arc welding machine, *Welding Journal*, 72-1 (1993), 25

2. Mun-Jin Kang, Bong-Yong Kang and Jeong-Han Kim : Trand in digitalization of welding power source and application of information technology, *Journal of KWS*, 21-1 (2003), 14-20

3. AWS : *Welding Handbook*, Vol.2 Welding process, 8th Edition, (1991), 38-45

4. Y. S. Kim : Metal transfer in gas metal arc welding. Ph. D Thesis, M.I.T, (1989)

5. J. H. Waszink and M. J. Piena : Experimental investigation of drop detachment and drop velocity in GMAW, *Welding Journal*, 65-11 (1986), 289-298

6. S. Ueguri, K. Hara and H. Komura : Study of metal transfer in pulsed GMA welding, *Welding Journal*, 64 (1985), 242-250

7. L. F. Lancaster : *The physics of welding*, 2nd edition, Pergamon press, (1985)

8. P. Praveen, P. K. D. V. Yarlagadda and M. J. Kang : Advancements in pulse gas metal arc welding, *Journal of Materials Processing Technology*, 164-165 (2005), 1113-1119

9. G. Mathers, *The welding of aluminum and its alloys*, First Edition, CRC press LLC & Woodhead Publishing Ltd, (2002)

10. H. J. Park, D. C. Kim, M. J. Kang and S. Rhee : Optimization of the wire feed rate during pulse MIG welding of Al sheets, *Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering*, 27-1 (2008), 83-86

11. T. Ueyama, H. Tong, I. Yazawa and M. Hirami : Aluminium alloy sheet welding by the laser AC pulsed MIG hybrid process, *Welding International*, 18-5 (2004), 345-350



- 김동철(金東哲)
- 1967년생
- 한국생산기술연구원
- 용접공정 제어, 용접 공정 최적화
- e-mail : dckim@kitech.re.kr



- 강문진(姜紋珍)
- 1963년생
- 한국생산기술연구원
- 용접시스템 개발, 용접자동화
- e-mail : moonjin@kitech.re.kr



- 박형진(朴亨眞)
- 1975년생
- 한양대학교대학원 기계공학과
- 용접시스템 개발, 용접 공정 최적화
- e-mail : hyoungjin@hanyang.ac.kr