

# 박판 Al MIG 용접용 AC Pulse 파형의 설계 개념 및 출력특성

## Design Concept and Output Characteristic of AC Pulse Waveform for MIG Welding of Al sheet

임성룡\*, 공현상\*, 김기정\*, 김태진\*\*, 이창주\*\*\*, 조상명\*\*\*\*

\* 부경대학교 대학원 생산가공공학과, \*\* 한국 전기연구원, \*\*\* (주)세일기전,

\*\*\*\* 부경대학교 재료공학부 생산가공공학 전공

### 1. 서 언

최근 건축 구조물이나 차량에서 내식성과 경량화가 요구되고 있고, 이에 따라 가볍고 내식성이 뛰어난 알루미늄 합금(이하 알루미늄)의 용접 수요가 늘어나고 있다. 특히 이런 용접부는 그 자체로 외관을 이루는 경우가 있기 때문에 이음부의 용접강도와 양호한 비드외관이 요구되고 있다. 또한, 차량 등에는 두께 1mm 정도의 박판 알루미늄 용접이 증가하고 있다.

일반적인 알루미늄 아크 용접법으로는 TIG 용접과 MIG, MIG pulse 용접이 있는데, TIG 용접은 비드의 외관이 미려하고, 박판 알루미늄에서도 용락 등의 용접 불량 발생하지 않도록 용접하는 것이 가능하지만 낮은 용접속도로 인해 생산성이 낮은 단점이 있다. 반면에 MIG, MIG pulse 용접은 빠른 속도로 용접하는 것이 가능하지만 소모전극(이하 와이어)을 사용하기 때문에 아크에 의한 열량과 이행한 용적이 보유하고 있는 열량이 더해져 모재에 가해지고, 특히 박판의 겹치기 이음이나 맞대기 이음에서 갭이 커지면 용락의 발생이 현저히 증가한다. 따라서, 용적의 온도를 낮춤과 동시에 스패터를 방지하기 위하여 스프레이 이행으로 용접할 수 있는 방법이 필요하다.

본 연구에서는 저전류 영역에서도 스프레이 이행을 할 수 있고, DCEP(Direct Current Electrode Positive, 와이어 플러스)보다 와이어의 용융속도가 높지만 용적의 보유 열량이 작은 DCEN(Direct Current Electrode Negative, 와이어 마이너스) 구간을 두어서 두 구간을 주기적으로 반복하는 AC Pulse 파형을 설계하였고, 설계된 파형을 토대로 개발된 용접기를 통하여 출력 특성을 검토하였다.

### 2. 극성의 특성 및 극성비의 정의

MAG, MIG 용접에서는 DCEP와 DCEN이라고 하는 극성에 따라 용접 결과가 크게 달라지기 때문에 이 2가지 극성의 특성을 알 필요가 있다.

아크에 있어서 전압강하는 양극 전압강하, 음극 전압강하, 아크 전압강하의 세부분으로 나눌 수 있는데, 이 중 양극 전압강하는 1 - 10V정도이며 음극 전압강하는 10 - 20V정도이다. 전압강하의 정도에 따라 전류밀도는 차이를 나타내게 되는데 일반적인 각 극성의 전류 밀도는 다음과 같다.

$$\text{음극 전류밀도} : 10^6 - 4 \times 10^8 \text{ A/cm}^2$$

$$\text{양극 전류밀도} : 10^2 - 10^5 \text{ A/cm}^2$$

또한, 음극점은 양극점과 같이 고정되어 있지 않고, 음극의 표면 위를 불규칙적으로 빠르게 이동하는 특성이 있다. 따라서 아크는 와이어 선단에 집중되지 못하고, 와이어 선단으로부터 뒤쪽으로 상당한 거리까지 이동하므로 거시적으로는 와이어 끝부분 일부를 아크가 둘러싼 형태로 되기 때문에 와이어 용융속도는 DCEP보다 빠르지만 아크는 불안정하고 용적의 온도는 낮아진다.

Fig. 1에서와 같이 AC pulse 파형은 DCEP와 DCEN을 주기적으로 반복하는 것으로서 Eq.(1)과 같이 정의되는 EN 극성비를 적용하여 와이어 용융속도 및 입열량을 제어하였다.

$$\text{EN 극성비} = \left[ \frac{I_{EN} \times T_{EN}}{I_{EP} \times T_{EP} + I_{EN} \times T_{EN}} \times 100(\%) \right] \text{ ---- (1)}$$

$I_{EN}$ : DCEN구간의 평균전류(A),  $I_{EP}$ : DCEP구간의 평균전류(A),

$T_{EN}$ : DCEN구간 유지시간(s),  $T_{EP}$ : DCEP구간 유지시간(s)

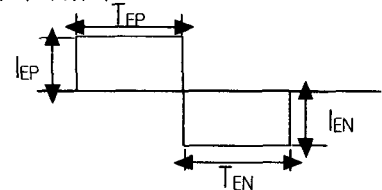


Fig. 1 Schematic of EN ratio  
계측 전류에서 극성비가 증가할

수록 와이어 용융속도가 높아지는 것을 알 수 있다.

### 3. AC pulse 파형의 설계 개념

#### 3.1 와이어 송급속도

아크 용접의 와이어 용융은 고온의 아크와 돌출된 와이어의 저항발열이 합해져서 이루어진다. 저항발열의 경우 전류의 제곱에 비례하기 때문에 강을 용접하는 경우 대부분의 와이어 송급속도는 전류에 따른 2차식으로 증가한다. 그러나, 알루미늄의 경우는 전기 전도도가 높기 때문에 저항 발열에 대한 고려 없이 1차식의 와이어 송급속도로 설계할 수 있다.

#### 3.2 용적 직경

본 연구에서 적용한 AC pulse 용접은 정상상태에서 단락이 없는 스프레이 이행으로 1펄스 - 1방울 하는 것을 목표로 한다. 따라서, 와이어 송급속도가 정해졌을 때, 적절한 용적의 크기를 이행시키기 위해서는 그에 상응하는 펄스 주파수로 결정해야 한다. 주는 것으로 펄스 주파수를 결정하게 된다. 펄스 주파수와 와이어 송급속도의 관계는 Eq.(2)과 같이 하였다.

$$f_P = (Rw \times (\frac{D_w}{2})^2 \times \pi) / ((\frac{D_d}{2})^3 \times \frac{4}{3} \times \pi) \text{-----}(2)$$

$f_P$  : 펄스 주파수 (Hz),

$Rw$  : 와이어 송급속도 (mm/sec)

$D_w$  : 와이어 직경 (mm),

$D_d$  : 용적 직경 (mm)

Fig. 3은 본 연구에서 개발한 AC pulse 전류 파형의 형상을 보인 것으로 주기는 Eq.(2)로부터 계산된 펄스 주파수에 의해 설정되었고, 극성비는 20%일 때의 파형이다. 이러한 방식으로 50A - 250A까지의 파형을 설계하였고, 극성비에 따라 파형의 형태를 연속적으로 변할 수 있도록 하였다.

#### 3.3 아크 길이 제어 및 아크 안정성

일반적인 펄스 용접에서는 아크 길이를 제어하기 위해 앞선 주기의 전압을 피드백하여 베이스 시간을 변화시키지만, 베이스 시간으로 제어를 하게 되면 용접 중 아크 길이가 변할 경우 펄스 주기와 용적의 크기가 변하게 된다. 본 연구에서는 용접 중 아크 길이가 변할지라도 펄스 주기가 항상 일정하게 될 수 있도록 하기 위하여 베이스 전류로서 아크 길이를 제어했다. 또한, 펄스 주기를 가능한 짧게 함으로써 피드백 주기 역시 짧게 되도록 하였으며, 베이스 및 DCEN 구간에서 보다 짧은 시간에 높은 전류를 흐르게 해서 아크 안정성이 향상될 수 있도록 했다.

### 4. 개발된 AC pulse MIG 용접기의 출력 특성 평가 실험

설계된 AC pulse 파형을 적용한 개발 용접기를 사용하여 파형의 출력특성을 평가하기 위한 실험에서는 알루미늄 판(Al 5052, 길이 : 300mm, 폭 : 50mm, 두께 : 1.2mm, 3mm, 5mm)위에 실드가스 100%Ar으로 A5356(φ1.2)와이어를 사용하여 120cm/min의 속도로 용접하였다. 용접 이음은 비드 온 플레이트 와 겹치기 이음을 하였고, 비드 온 플레이트 용접의 설정전류는 50 ~ 150A까지 20A씩, EN 극성비는 5 ~, 40%까지 5%씩 증가시켰다. 또한, 겹치기 이음 용접의 경우는 이음부의 설정 갭 0, 0.5, 1, 1.5mm, 설정전류 60A, EN 극성비 0, 20%로 하였다.

### 5. 실험 결과 및 고찰

Fig. 4는 개발된 용접기를 사용하여 비드 온 플레이트 용접한 시편(3mmt)의 단면 마크로 사진이고, Fig. 5는 외관 사진이다. 동일한 설정전류, 용접속도에서 극성비가 증가함에 따라 용입이 낮아지고 비드 폭이 좁아지며 덧살 높이가 높아지는 것을 알 수 있다. Fig. 6은 1.2mm 두께의 모재에 의한 겹치기 이음 용접을 한 경우의 단면 마크로 사진이다. 설정 갭 0mm의 경우에는 극성비 0, 20% 양쪽 다 용락이 발생하지 않았지만, 설정 갭 0.5, 1, 1.5mm에서는 극성비 0%의 경우는 즉, DCEP인 경우는 용락이 발생하였고, EN 극성비 20%에서는 용락이 없는 양호한 용접부가 얻어졌음을 알 수 있다.

### 6. 결 언

본 연구에서는 박판 알루미늄 용접에 적용하기 위하여 극성비의 변화에 따라 와이어 용융속도와 입열량의 제어가 가능하도록 DCEP와 DCEN을 주기적으로 반복하는 AC pulse MIG 용접 파형을 설계하여 출력특성을 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 박판 알루미늄의 고속 용접 시에도 용락이 없는 양호한 비드 외관을 얻을 수 있었다.
- 2) 동일 설정 전류에서 극성비가 증가함에 따라 와이어 용융속도는 증가하고 입열량은 작아지는 현상을 비드단면을 통하여 확인하였다.
- 3) 박판의 겹치기 용접에서 갭이 존재할 시에는 EN 극성비를 증가하면 용락이 없는 양호한 용접부를 얻을 수 있었다.

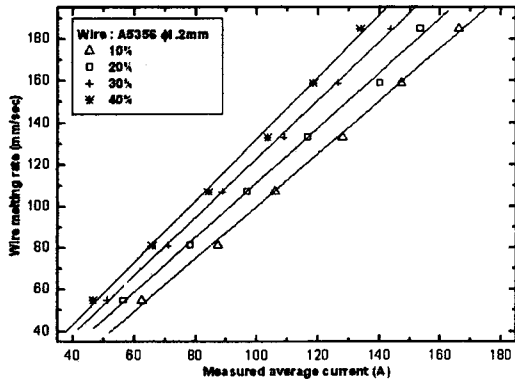


Fig. 2 Relationship between EN ratio and Al wire melting rate (AC pulse MIG)

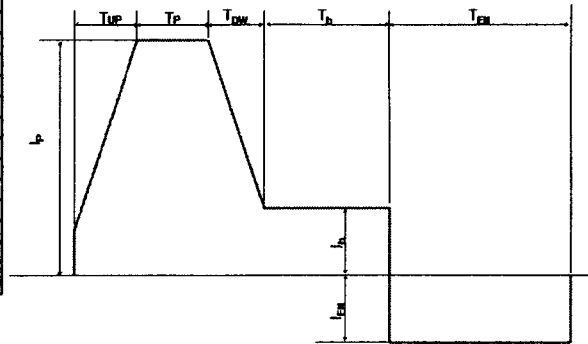
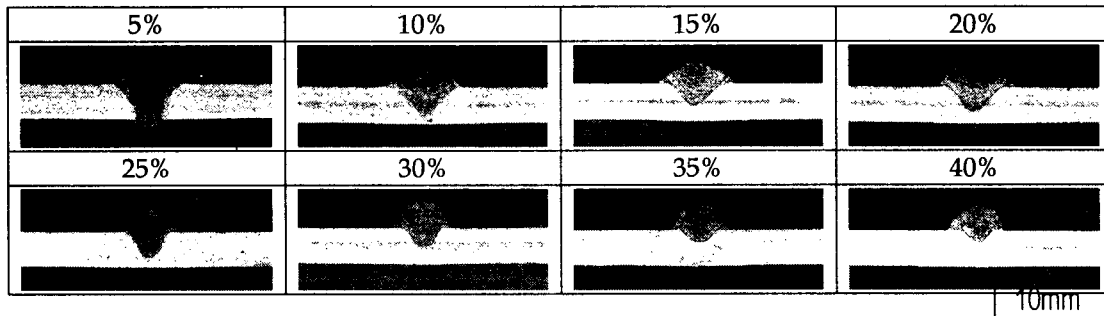
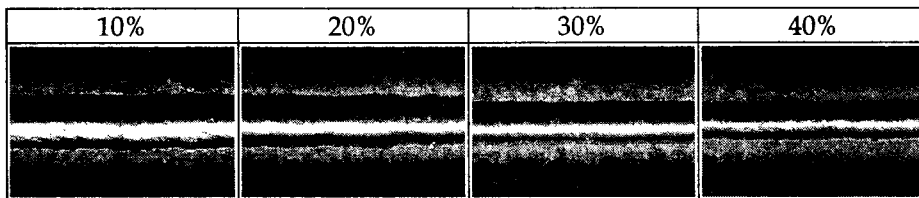


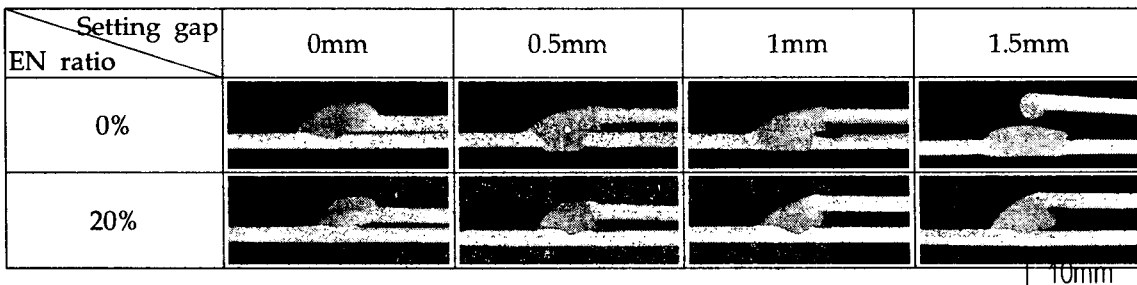
Fig. 3 Schematic of design wave form



(AC pulse MIG) Setting current : 130A, Welding speed : 120 cm/min  
Fig. 4 The shape of bead cross-section by EN ratio



(AC pulse MIG) Setting current : 130A, Welding speed : 120 cm/min  
Fig. 5 The shape of bead by EN ratio



(AC pulse MIG) Setting current : 60A, Welding speed : 120 cm/min  
Fig. 6 The shape of bead cross-section by setting gap in lap joint

참고문헌

1. 란카스타 편저 : 溶接아크의物理, 溶接學會, 溶接아크物理研究委員會 , pp132-136