

## Plasma 펄스용접에서 펄스 파형이 용접 현상에 미치는 영향의 검토

### A study on the effects of pulse waveform on welding phenomena in plasma pulse welding

김진욱\*, 윤승중\*, 윤훈성\*\*, 박금기\*\*, 정문섭\*\*\*, 조상명\*\*\*\*

\* 부경대학교 대학원 소재프로세스공학과

\*\* STX조선주식회사 / 생산기술연구팀

\*\*\* STX조선주식회사 / 조립 2팀

\*\*\*\*부경대학교 신소재공학부 소재프로세스공학전공, pnwcho@pknu.ac.kr

#### 1. 서 론

Plasma Arc Welding은 고밀도 에너지 용접 방법으로 Arc지향성이 좋고, Arc 길이의 변동으로 인한 용입의 변화량이 작아, 고품질의 용접이 가능하다. 펄스 용접에서 용접속도, 펄스 주파수 및 용접 파형은 용접 품질에 지대한 영향을 미친다. 이에 본 연구에서는 펄스 주파수가 비드의 균일성과 용입의 균일성에 미치는 영향을 알아보고, 전류파형의 형상을 다양하게 변화시켜 용접 비드에 미치는 영향을 검토하였다.

#### 2. 사용 재료 및 실험 방법

본 연구에서 사용된 시험편은 STS304이고, SBI의 PMI-500 플라즈마 용접기로 길이 100mm × 폭 30mm × 두께 1.2mm를 Fig. 1과 같이 겹치기 이음 필릿 용접을 하였다.

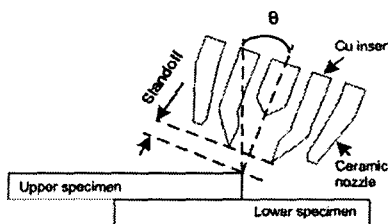


Fig. 1 Experimental set up for plasma arc welding

용접 주파수에 따른 비드의 영향을 관찰하기

위하여, 비드길이 10mm에서 0.5mm간격으로 비드폭을 측정하여 비드폭의 변동계수를 구하였다. 변동계수는 아래의 식을 이용하였다.

$$\text{변동계수} = \frac{\text{표준편차}}{\text{평균}} \times 100\%$$

용입의 균일성을 관찰하기 위하여 비드폭의 중심을 중방향으로 절단한 후, 비드 길이 10mm에서 0.5mm간격으로 용입을 측정하여 변동계수를 알아보았다.

펄스 주파수 6Hz와  $I_p$  110A,  $I_b$  10A에서,  $S_{up}$  ( $I_b$ 에서  $I_p$ 로의 전류 증가 기울기)과  $S_{down}$  ( $I_p$ 에서  $I_b$ 로의 전류감소 기울기)을 1.2, 2.4, 100A/ms로 변화하여 각각 삼각파, 사다리파, 사각파로 파형 제어를 하여 비드폭 및 용입의 균일성을 비교하였다.

Table 1 Welding condition for experiments

Current	$I_p$	110A
	$I_b$	10A
Pulse frequency	2, 5, 6, 7, 10Hz	
Electrode tip dia.	3mm	
Standoff	1mm	
Setback	2mm	
Cu insert dia.	Ø2.3	
Welding speed	40cpm	
Orifice gas flow rate	0.4L/min (Ar)	
Shield gas flow rate	10L/min (Ar)	

용접전류는 1kA급 홀센서를 사용하고, 용접전압은 100V 센서를 사용하여, 아크 모니터링 시스템(WAM 3000N)으로 측정하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 펄스 주파수에 따른 용접 비드의 영향

Fig. 2와 Fig. 3에 펄스 주파수에 따른 용접 파형과 비드외관을 나타냈다.

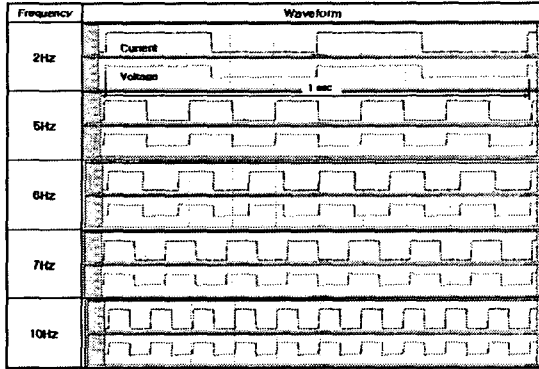


Fig.2 Comparison of waveform by pulse frequency

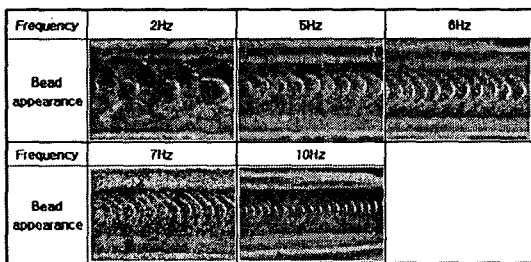


Fig. 3 Comparison of bead appearance by pulse frequency

Fig. 4는 용접 주파수에 따른 입열량과 비드폭을 나타낸 것이다. 용접 주파수가 증가함에 따라 입열량은 큰 차이가 없었지만, 비드폭은 감소하였다.

Fig. 5는 펄스 주파수에 따른 비드폭의 균일성을 보기 위해 비드폭의 변동계수와 리플피치를 나타낸 것이다. 펄스 주파수가 증가함에 따라 리플 피치와 비드폭의 변동계수가 감소했고, 리플 피치가 2이하가 되면 비드폭의 변동계수도 현저히 감소하였다. 즉, 리플 피치가 작아지면 비드의 균일성이 좋아진다고 판단된다.

#### 3.2 펄스 주파수에 따른 용입의 영향

Fig. 6과 Fig. 7은 펄스 주파수에 따른 용입의 균일성을 보기위해 종단면 마크로와 용입의 변동계수를 나타낸 것이다. 용접 주파수가 증가 할수록 용입의 균일성이 좋아졌다.

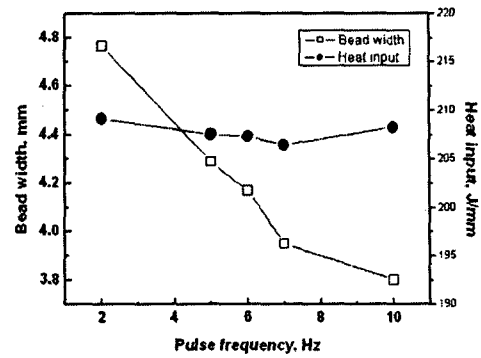


Fig. 4 The effects of pulse frequency on bead width and heat input

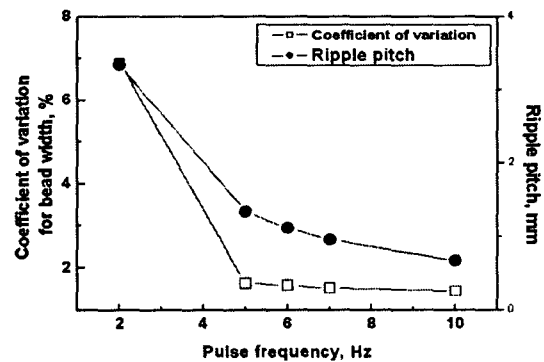


Fig. 5 The effects of pulse frequency on coefficient of variation and ripple pitch for bead width

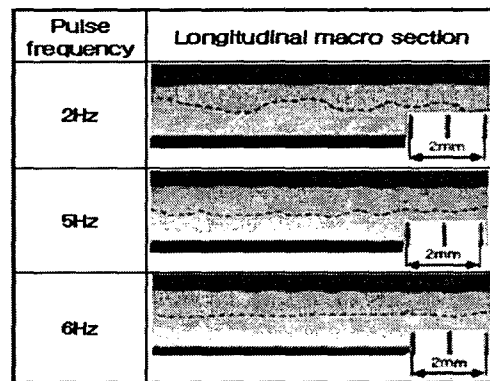


Fig. 6 Uniformity of penetration in longitudinal macro section by pulse frequency

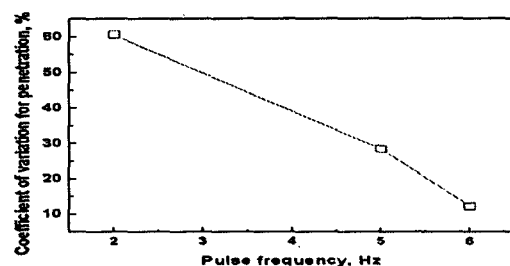


Fig. 7 The effects of pulse frequency on coefficient of variation for penetration

### 3.3 $S_{up}$ 과 $S_{down}$ 의 변화에 따른 용접 현상의 영향

Fig. 8은  $S_{up}$ 과  $S_{down}$ 을 1.2, 2.4, 100A/ms로 변화했을 때의 파형을 나타낸 것이다. Fig. 9와 Fig. 10에 이때의 비드외관 및 입열량과 비드폭을 나타냈다. 입열량이 큰 차이가 나지 않음에도 불구하고 비드폭은 사각파의 경우가 높게 나타났다. 입열량이 동일하더라도  $I_p$  시간이 길수록 비드폭이 증가된다고 판단된다.

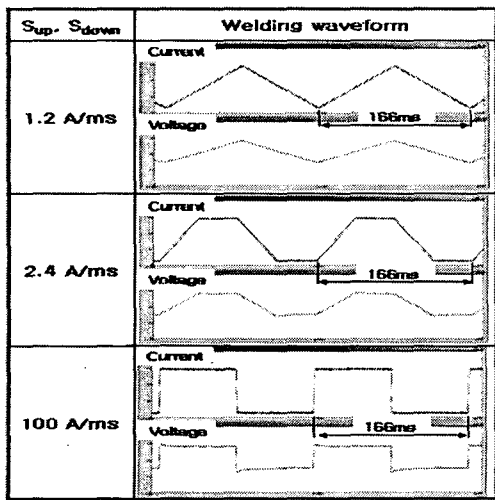


Fig. 8 Comparison of waveform by  $S_{up}$ ,  $S_{down}$  (6Hz)

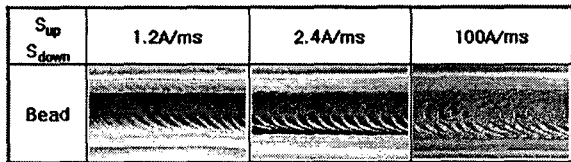


Fig. 9 Comparison of bead appearance by  $S_{up}$ ,  $S_{down}$  (6Hz)

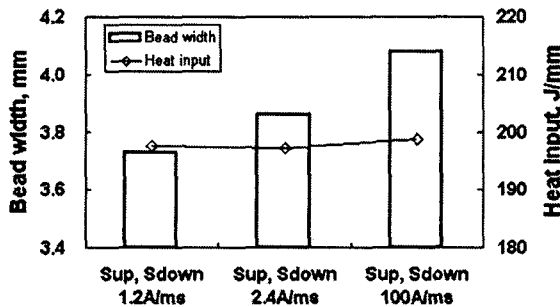


Fig. 10 The effect of  $S_{up}$ ,  $S_{down}$  on bead width and heat input (6Hz)

Fig. 11은  $S_{up}$ ,  $S_{down}$ 에 따른 용입의 균일성을 보기 위한 종단면 마크로를 나타낸 것이다.

Fig. 12는  $S_{up}$ ,  $S_{down}$ 에 따른 비드폭과 용입의 변동계수를 나타낸 것이다.  $S_{up}$ ,  $S_{down}$ 이 증가할수록 변동계수가 감소하는 경향이 나타났다.

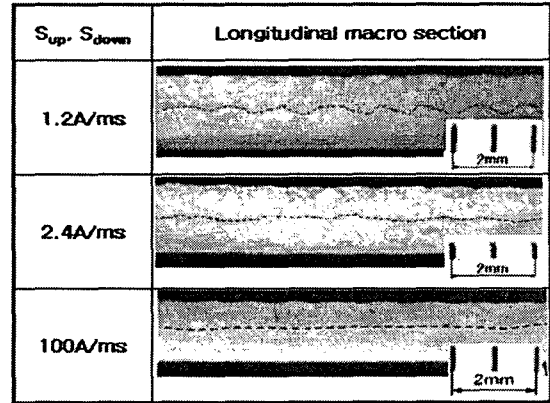


Fig. 11 Uniformity of penetration in longitudinal macro section by  $S_{up}$ ,  $S_{down}$  (6Hz)

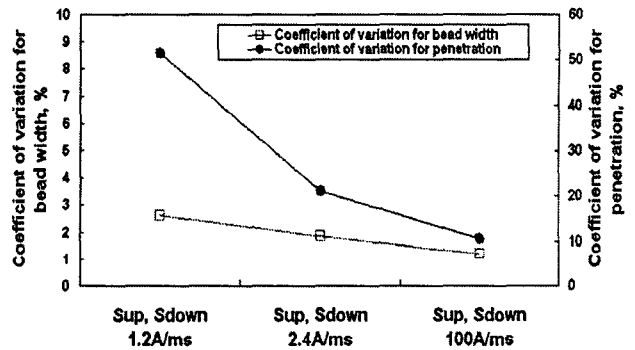


Fig. 12 The effect of  $S_{up}$ ,  $S_{down}$  on coefficient of variation for bead width and penetration (6Hz)

## 4. 결 론

Plasma 펄스용접에서 펄스 파형이 용접 현상에 미치는 영향을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 입열량을 일정하게 두고 펄스 주파수를 증가시키면, 비드폭의 평균값과 그 변동계수는 감소하는 경향을 보였고, 펄스 주파수가 증가하면, 리플 피치가 감소하여 비드폭의 균일성은 좋아졌고, 용접속도 40cpm일 때 5Hz이상이면 비드폭의 균일성이 좋다고 판단된다.
- 2) 펄스 주파수가 증가하면 용입의 변동계수가 감소하는 경향을 보였고, 5Hz 이상으로 증가하면 용입의 균일성은 현저히 좋아졌다.
- 3)  $S_{up}$ 과  $S_{down}$ 이 증가하면 비드폭이 증가하고, 비드폭의 균일성 및 용입의 균일성이 좋아졌다.