

인버터 TIG 용접기의 펄스전류 제어에 관한 연구

서문준*, 김규식*, 원충연**, 민명식**, 최규하***, 목형수***

* 서울시립대학교, ** 성균관대학교, *** 건국대학교

Study on the pulse current control of the inverter TIG welder

Jun Seomun*, Gyu-Sik Kim*, Chung-Yuen Won**, Myung-Sik Min**,
Gyu-Ha Choi***, Hyung-Su Mok***

* The Univ. of Seoul, ** Sung Kyun Kwan Univ., *** Kon Kuk Univ.

Abstract

In this paper, the inverter TIG (Tungsten Inert Gas) welding system with high power efficiency by means of pulse current control of welding process is presented. In TIG welding, pulse current control is utilized in order to attain less spatter and high welding performance. The four factors which determine the welding performance of the pulse current are frequency, base current, peak current, and peak current duty ratio. The input power depends on base current, peak current, and peak current duty ratio. In this paper, we analyze these three factors should be controlled to achieve minimum power input. To demonstrate the practical significance of our results, we present some experimental results as well as simulation results.

1. 서론

인버터 아아크 용접기는 미국의 Hobart, 일본의 Hitachi, Panasonic, Daihen, Daiden, SanRex 등에서 다양한 고품질의 제품을 생산하고 있으며 많은 연구 성과를 거두고 있다. 또한, 초음파 용접기, 전자빔용접기, 플라즈마 용접기 등 특수용접기도 다양하게 개발되어 광범위하게 활용되고 있다. 일본을 비롯한

선진외국에서는 무인 용접을 주장할 정도로 용접 자동화 기술이 개발되고 있고 특히 일본의 경우 50% 이상의 자동화율을 기록하고 있다. 이에반해 국산 용접기계의 대부분은 외국제품의 복사형태이고 기반 기술의 취약과 품질에 문제가 있다. 또한, 외국에서는 용접 스파터의 감소, 용접 출발점 및 용융금속 이행의 안정화, 용입깊이 제어 등의 작업개선이 이루어지고 있으나 국내에서는 이들을 모방하는 수준에 그치는 실정이다.

한편, 지금까지는 용접을 한 후 불량한 제품을 버리는 원시적인 방법이 주로 이용되어 왔으나 최근에는 용접기술도 점차 지능화 되고 있고 사전에 불량 용접이 나지 않도록 하는 제어방법이 연구되고 있다. 이미지 프로세서기술을 도입하여 용접상태를 카메라로 검출하여 용접품질을 제어하는 방법, 아크센서를 이용하여 토치의 높이를 일정하게 제어하는 방법등이 활발히 연구되고 있다.

본 논문에서는 아아크 인버터 TIG 용접에서 펄스 아아크의 파우어를 모델링하고 전류 제어형 TIG 인버터 용접장치의 시뮬레이션과 실험을 통하여 펄스 전류제어를 구현하여 보았다.

2. 인버터 TIG 용접기의 펄스 전류 제어

만약 텅스텐 전극근처의 전류밀도가 모재사이의 전류밀도보다 높게 된다면 텅스텐 전극사이의 가스압력은 모재의 가스압력보다 높게된다. 그리고 텅스

텐전극과 모재사이의 가스압력차이는 TIG 용접에 있어서 텅스텐 전극에서 모재쪽으로 전자가 흐르는 것을 의미하며 이런 전자의 흐름이 모재에 작용하는 힘을 아아크 압력이라 한다. 따라서 아아크압력이 높다는 것은 모재에 도달하는 전자의 속도가 빠르다는 것을 의미하며 궁극적으로 전자의 충돌속도가 높기 때문에 모재에서 발생하는 열이 높게 된다. 한편 아르곤 아아크의 전형적인 특성을 모델링하면 다음과 같다.¹⁾

$$v = B_1 i + B_2 + B_3 / i + B_4 L_a \quad (1)$$

여기서 v 는 아아크 양단에서 측정된 전압 (V)이고 i 는 아아크 전류 (A)이고 $B_1 - B_4$ 는 차폐가스, 모재금속재질, 텅스텐전극의 구조에 의해 결정되는 상수이고 L_a 는 모재와 텅스텐 전극사이의 간격 (mm)이다. 식 (1) 에서 $B_1 - B_4$ 는 주어진 실험 데이터로부터 최소자승평균법을 이용하여 구할 수 있다. 용접아아크에 가해지는 평균파우어는 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T v(t) i(t) dt \quad (2)$$

식 (1)을 식 (2)에 대입하면 다음과 같다.

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T [B_1 i^2(t) + B_2 i(t) + B_3 + B_4 L_a i(t)] dt \quad (3)$$

기저전류 I_b , 피크전류 I_p , 그리고 피크전류 듀티비 δ 를 갖는 펄스형태의 구형파 전류파형을 갖는다면 평균파우어는 다음과 같다.

$$P_p = B_1 [\delta (I_p)^2 + (1 - \delta) (I_b)^2] + (B_2 + B_4 L_a) [\delta I_p + (1 - \delta) I_b] + B_3 \quad (4)$$

여기서 P_p 는 펄스아아크에 가해진 평균파우어이다. 한편, 펄스전류를 채택한 펄스용접의 장점으로는 단락상태가 없고 스파터가 적으며 저전류용접이 가능하다. 그리고 비교적 짧은 직경의 와이어를 용융시킨다. 또한 적은 아아크(저전류)에서도 납작한 비드

의 형성이 가능하다. 펄스전류의 조정을 위한 4가지 요소는 용접할 판의 두께에 따른 주파수, 아아크의 입열량을 결정하는 기저전류 I_b , 피크전류 I_p , 그리고 피크전류 듀티비 δ 등이다.

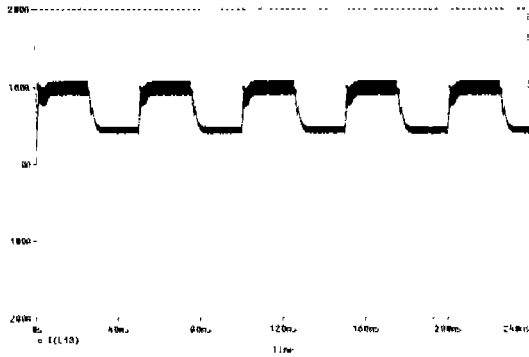
한편, 임의로 세 값을 정하는 문제는 대단히 어렵기 때문에 실제 용접기에서는 δ 를 0.5 로 고정하고 전류를 키우기 위해서 I_b 와 I_p 를 적당한 비율을 유지하며 동시에 키워주던가, δ 를 0.5 근처에서 적절히 조정할 수 있고 I_b 와 I_p 도 임의로 조정할 수 있게 하는 용접기도 있다. 그러나 실제 용접공들은 이들 세 값을 동시에 조정하여 용접전류를 설정하기가 어렵기 때문에 일반적으로 δ 를 0.5 에 세팅된 용접기의 노브를 건드리지 않고 I_p 를 I_b 의 두 배 정도로 유지하며 전류를 키워 용접시킨다. 따라서, 국내의 민텍리서치를 비롯하여 외국의 히타치, 파나소닉과 같은 우수한 용접기업체들이 채택하고 있는 펄스전류제어방식은 δ 를 0.5 에 일정하게 두고 I_b 를 5A에서 300A 까지 조정할 때 $I_p = 2 I_b$ (단, $I_p \leq 300A$) 을 만족시키도록 한다.

3. 시뮬레이션 및 실험

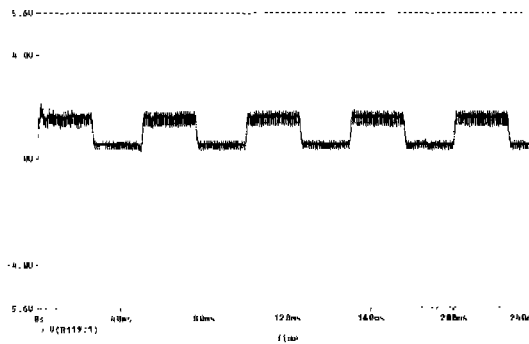
인버터 TIG의 펄스전류 제어에 대한 실제용접을 모의실험하기 위하여 용접상태가 양호하다고 가정하고 토치와 모재사이의 전압강하를 저항에 의한 전압강하와 직렬로 연결된 전압원으로 모델링하였고 제어기로는 PI 제어를 사용하였다. 시뮬레이션 패키지로는 Pspice 7.1을 사용하였다.

먼저 앞서 언급하였듯이 피크전류의 듀티비, 기저전류, 피크전류 세 값을 임의로 정하는 것이 어렵기 때문에 듀티비 δ 를 0.5로 고정하고 기저전류와 피크전류를 제어하는 시뮬레이션을 하였다. 주파수 20Hz 에 기저전류 I_b 를 50A, 피크전류 I_p 는 100A로 시뮬레이션 했을때의 용접전류 및 용접전압 파형이 그림 1에 있다. 각 경우의 피크 전류와 기저전류가 PI 제어기에 의해 정전류로 제어되고 있는 것을 알 수 있다.

펄스전류를 사용하여 TIG 용접을 할 경우 평균전력을 구해보기로 한다. 문제를 쉽게 생각하기 위해 다음과 같이 변수 및 매개변수를 고정한다. 아르곤 차폐가스를 이용하여 TIG 용접을 하면서 얻은 실험 결과로부터 최소자승법으로 구한 파라미터는 다음



(a) 용접전류



(b) 용접 전압

그림 1. $f = 20\text{Hz}$, $I_b = 50\text{A}$, $I_p = 100\text{A}$ 의 경우의 시뮬레이션 결과

과 같다.

$$\begin{aligned}
 B_1 &= 0.012 \\
 B_2 &= 5.2 \\
 B_3 &= 171 \\
 B_4 &= 0.6 \\
 L_a &= 1\text{ mm (아아크 길이)} \quad (5)
 \end{aligned}$$

위 파라미터를 포함하여 피크전류의 듀티비 δ 를 0.5로 고정하고 기저전류와 피크 전류가 각각 50A, 100A 그리고 75A, 150A의 경우에 평균 전력을 구하면 아래와 같다.

(1) $f=20\text{Hz}$, $I_b=50\text{A}$, $I_p=100\text{A}$ 의 경우

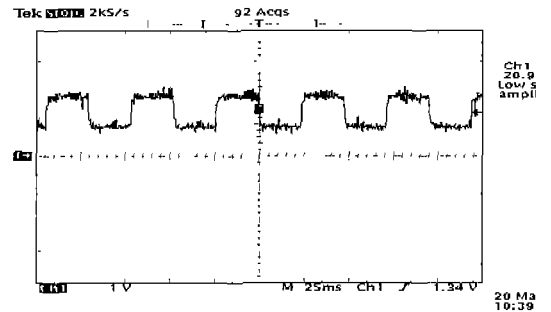
$$P_p = 0.012 \times [0.5(100)^2 + (1 - 0.5)(50)^2] + (5.2$$

$$\begin{aligned}
 &+ 0.6 \times 0.001)[0.5 \times 100 + (1 - 0.5)50] + 171 \\
 &= 711.045\text{ W} \quad (6)
 \end{aligned}$$

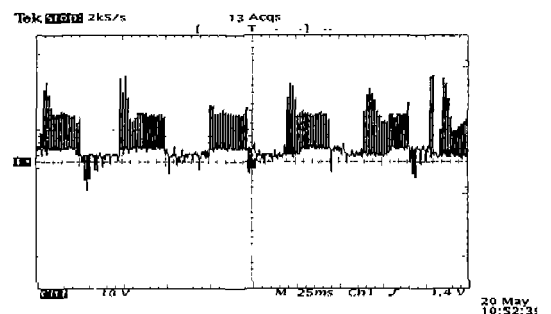
(2) $f=10\text{Hz}$, $I_b=75\text{A}$, $I_p=150\text{A}$ 의 경우

$$\begin{aligned}
 P_p &= 0.012 \times [0.5(150)^2 + (1 - 0.5)(75)^2] + (5.2 \\
 &+ 0.6 \times 0.001)[0.5 \times 150 + (1 - 0.5)75] + 171 \\
 &= 924.8175\text{ W} \quad (7)
 \end{aligned}$$

또한 위와 같은 조건을 가진 전류 제어형 TIG 인버터 용접장치의 실험을 위해 간단한 제어기와 인버터를 구성하고 전류 제어 시험을 행한 결과가 아래 그림 2와 3에 있다. 이때 전류의 듀티비는 0.5로 일정하게 둔 상태에서 측정하였다. 그림 2, 3의 경우에 대해 실험에 의해 측정된 평균 전력은 식 (6), (7)과 대체로 비슷하였다. 또한 전류 제어모드에서 제어되기 때문에 일반적으로 전압파형은 펄스주파수와 크기가 균일하게 되풀이 되지 않음을 알 수 있다. 전류파형에서 전류 제어 상태가 올바르게 되고 있음을 알 수 있다.



(a) 용접전류



(b) 용접전압

그림 2. $f = 20\text{Hz}$, $I_b = 50\text{A}$, $I_p = 100\text{A}$ 의 경우의 실험 결과

참고문헌

[1] G. E. Cook and Hussam El-Dean E. H. Eassa, "The effect of high-frequency pulsing of a welding arc," IEEE Trans. on Industry Applications, Vol. IA-21, No.5, pp.1294-1299, 1985, Sept./Oct.

[2] G. E. Cook, "Modeling of electric welding arcs for adaptive feedback control," IEEE IAS Conf. Rec., pp.1241-1244, 1983

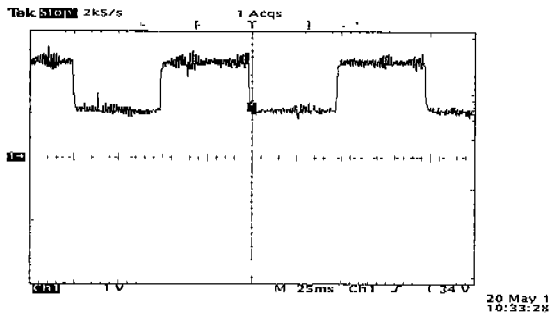
[3] R. W. Richardson, D. A. Anderson, and D., F., Farson, "Coaxial arc weld pool viewing for process monitoring and control," Welding Journal, Vol.63, No.3, pp.43-50, 1984

[4] W. Lucas, "Microcomputer systems, software and expert systems for welding engineering," Welding Journal, pp.19-30, 1987, April

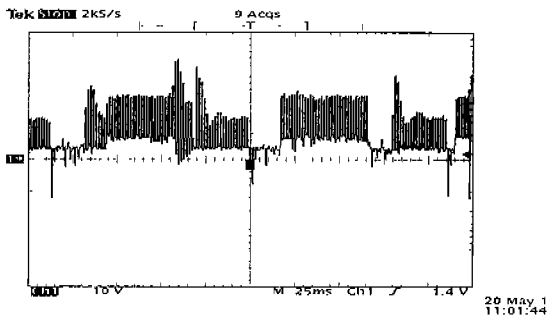
[5] Hirokazu Nomura, Sensors and control systems in arc welding, Chapman & Hall, London, 1994

[6] 강윤기, 이춘호, 채영민, 목형수, 최규하, "에너지 절감형 고주파 인버터 용접기에 관한 연구," 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp. 519 ~ 521, 1994

[7] 윤병도, 정재륜, 김찬기, 이병송, "발전소용 인버터에 의한 절전형 아크용접기에 관한 연구," 조명. 전기설비학회지, pp. 85 ~ 93, 1994



(a) 용접전류



(b) 용접전압

그림 3. $f = 10\text{Hz}$, $I_b = 75\text{A}$, $I_p = 150\text{A}$ 의 경우의 실험 결과

4. 결론

인버터 아아크 TIG 용접기에 적용되고 있는 펄스 전류제어 방식에서 기저전류와 피크전류를 사용하여 평균전력을 구하는 방법을 모색하였다. 또한 펄스 전류제어 방식의 인버터 아아크 TIG 용접기에 대한 시뮬레이션과 실험을 해보았다.

펄스전류를 채택한 펄스용접의 장점으로는 단락상태가 없고 스파터가 적으며 저전류용접이 가능하며 비교적 굵은 직경의 와이어를 용융시킨다. 또한 적은 아아크(저전류)에서도 납작한 비드의 형성이 가능하다. 추후 위에서 연구한 기저전류와 피크전류외에도 피크전류의 듀티비까지 포함하여 평균전력을 최소화하며 용접성능을 향상시키는 방안에 대해 연구할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 '97 특정 기초 연구비 (97-01-01-01-01-3) 지원으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.