전력전자학술대회 논문집 2000. 7.19-22

아크 재생 검출에 의한 CO_2 인버터 아크 용접기의 용접성능향상에 관한 연구

*김길남,이정락,고재석,목형수,최규하, **김규식, ***원충연
*건국대학교, **서울시립대학교, ***성균관대학교

A Study on Welding Performance Improvement of CO_2 Inverter Arc Welding Machine by Arc Reignition Detection

*K.N Kim, J.R Lee, J.S Gho, H.S Mok, G.H Choe, **K.S Kim, ***C.Y Won
*Konkuk Univ, **Seoul City Univ, ***Sung Kyun Kwan Univ.

ABSTRACT

Gas metal arc welding(GMAW) uses a continuously fed electrode as a filler metal. The arc is shielded from atmospheric contamination by an inert gas, active gas or inert/active gas mixture delivered through the welding gun and cable assembly. The recent research topics on CO_2 arc welding machines are focused mainly on the reduction method of generated spatter by using new type consumable electrode metal or inverter control method. The various current waveform control methods have been researched for welding performance improvement. Until now current waveform control methods reduce to spatter occurred by instantaneous short circuiting. but, these methods is drawback that no reduce spatter occurred by arc reignition. In this paper the previous arc reignition current control method for welding performance improvement of inverter arc welding machine is studied and compared the various current control methods with the previous arc reignition current control method

1. 서 론

최근 용접기술은 전력전자기술의 발달로 인하여 급속히 향상되고 있으며 여러가지 용접기법 중에서 아크용접은 대기중과 같은 비교적 압력이 높은 기중에서 짧은 거리에서 생기는 대전류의 전기방전현상을 이용하여 전기에너지를 열에너지의 형태인 고온의 아크열로 변환하여 모재를 용융, 접합하는 기술이다[3].

아크 용접기는 사용전극과 차폐가스의 종류에 따라 분류하며 이산화탄소 금속 아크 용접기(CO_2 Gas Metal Arc Welding : CO_2 GMAW)는 소모성 전극과 차폐가스로 이산화탄소를 사용한다. 이러한 CO_2 GMAW는 차폐가스의 가격이 저렴하고 용접속도가 빠르다는 장점을 가지고 있으나 용접품질면에서 비드와 용입상태가 다소 나쁘고 스패터가 다량으로 발생하는 단점을 가지고 있다.[4]

스패터란 용접중 모재로 이동하지 않고 공기중으로 비산되는 용융금속의 입자로써 금속이행과정에서 단락이행이 시작되는 단계와 아크가 재발생하는 단계, 순간단락시 가장 많이 발생된다고 알려져 있다. 인버터 제어형 아크 용접기에서는 이러한 스패터를 감소시키기 위하여 고주파 스위칭 동작을 이용하여 출력전류의 파형을 다양한 방법으로 제어하려는 파형제어기법이 연구되어져 왔다.

금속이행과정을 최적의 상태로 만들기 위한 출력파형제어 방식으로는 출력전류를 펄스형태로 제어하는 방식이 제안되었으나 이산화탄소를 차폐가스로 사용할 경우 아크가 불안정해지는 단점이 있다. 또한, 출력전류를 순시적으로 제어하는 방법과 단락순간에 전류 상승을 지연시키는 방법은 단락순간에 전류를 감소시켜 스패터 발생을 억제하는 방식으로 단락이 파단되는 단계인 아크 재생 시점에서 발생하는 스패터를 억제하지 못하는 단점이 있다.[8][9]

따라서, 본 논문에서는 CO_2 인버터 아크 용접기의 아크의 안정화 및 스패터 저감을 위하여 단락이 파단되는 단계인 아크가 재발생하는 시점을 미리 검출하여 아크가 재발생되기 전에 출력전류를 급격히 감소시키는 기법을 적용하여 실험하였으며 기존의 다양한 파형제어기법과 비교, 분석하여 우수한 성능을 보임을 제시하였다. 제안한 아크 재생 전 전류제어기법을 적용하기 위하여 연산속도가 빠른 고성능 마이크로프로세서(TMS320F240)를 이용하여 제어부를 디지털화하여 아날로그의 단점인 시스템의 부피증가와 용접환경의 융통성 문제를 극복하였다.

2. 아크 용접기 시스템

2.1 아크 용접기의 구조

CO_2 인버터 아크용접기의 회로 구조는 그림1과 같이 교류측에 전파정류기와 인버터, 고주파 변압기 및 DC측 전파정류기 그리고 출력단 리액터 및 송급장치등으로 구성되어 있다.

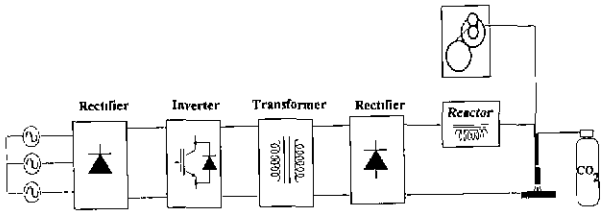


그림1. 인버터 제어형 아크 용접기 시스템

Fig. 1 Inverter controlled arc welding machine system.

2.2 CO_2 GMAW의 금속이행 과정

2.2.1 단락이행 모드

단락이행과정은 저전압 저전류의 용접기 출력조건에서 발생하는 금속이행과정으로 그림2에서 보는 바와 같이 와이어 선단에서 아크열에 의해 용융되어 형성된 용적이 용융지와 접촉하게 되고 아크는 소멸되며 단락과 동시에 용접전압은 거의 수직적으로 감소하고, 용접전류는 단락이 유지되는 기간(A~D)에서 급격히 상승한다. 또한, 와이어가 용융지와 분리되는 순간(E순간)에 아크가 재발생되며 이때 용접전류는 최고치에 이르고 용접전압은 급격히 상승한다.

단락이행과정에서의 스패터는 주로 단락순간과 아크가 재발생하는 순간 그리고 순간단락시에 발생한다. 그림3은 스패터가 발생하는 현상을 보여주고 있다.

2.2.2 입상이행 모드

입상이행은 CO_2 가스나 헬륨을 보호가스로 사용하는 GMAW에서 출력전압이 큰 경우 발생하는 금속이행 현상으로 송급되는 와이어의 직경보다 2~3배 정도 증가한 용적이 중력에 의해 와이어 선단에서 떨어져 초당 수개 내외로 용융지로 이동하는 금속이행으로 용융지와 접촉하지 않고 금속이행이 일어난다는 특징을 가지고 있다.

천이이행모드는 저전류영역과 대전류영역의 중간인 천이영역에서 단락이행과 입상이행이 모두 발생하는 금속이행으로 순간단락현상이 가장 많이 발생하는 금속이행모드이다.[1],[5]

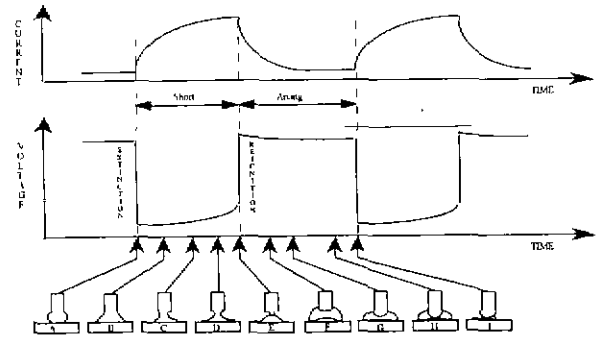


그림2. 단락이행과정

Fig. 2 Metal transfer procedure of short circuit mode

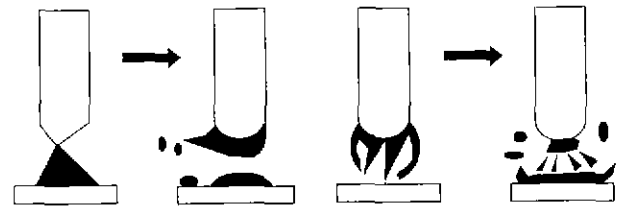


그림3. 단락이행과정에서 스패터 발생 현상

Fig. 3 Generated spatter in short circuiting mode.

3. 아크 용접기의 파형제어기법

3.1 파형제어의 목적 및 개념

파형제어기술의 가장 중요한 목적은 출력전류 파형을 적절히 제어함으로써 스패터 발생을 최소화하는 것으로 용접파형의 형상이 스패터 발생에 미치는 영향에 대한 개념이 정립되어 있어야 한다.

금속이행의 특성상 파형의 순간적인 변화는 매우 심하며, 단락순간이나 아크 재발생시점 등의 스패터 발생과 밀접한 관계를 가지고 있는 발생 순간을 용접파형 상에서 볼 수 있다.

단락이행과정에서 스패터가 다량으로 발생하는 원인은 단락초기의 급격한 전류상승과 아크가 재발생하는 순간의 높은 전류치에 있다. 그러므로 스패터 발생을 억제하기 위해서는 단락순간과 아크 발생시의 높은 전류를 최대한 억제하는 것이 기본 개념이며 이를 바탕으로 다양한 연구가 이루어졌다.[3]

3.2 파형제어기법의 종류

3.2.1 정전압제어기법

정전압제어기법은 그림4에서 보는 바와 같이 용접기의 전원을 정전압으로 출력하고 용접출력전류는 송급모터의 송급속도에 따라서 제어하는 방식으로써 이러한 제어기법은 용접전류를 제어하지 않기

때문에 단락이나 아크가 발생하는 순간에서 발생하는 스패터에 대해서는 저감효과가 거의 없다

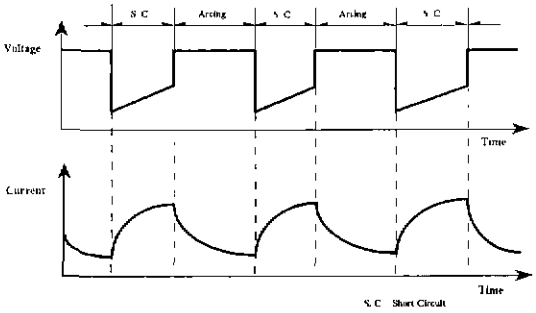


그림4. 정전압 제어기법의 전압 및 전류파형
Fig. 4 Output voltage and current waveform of constant voltage controlled.

3.2.2 단락지연 전류제어기법

일반적인 용접기 제어방식이 단락 발생 순간 스패터 저감하기 위하여 단락순간 일정시간(T_d)동안 전류제어에 의하여 저전류(I_{base})로 유지하는 파형 제어기법으로서 단락지연시간 이후에는 정전압 제어방식으로 제어를 전환하게 된다. 그림5에서 단락 전류 지연 제어기법의 파형을 보여주고 있으며 구간(I)은 전류제어구간을 나타내며 구간(II)는 정전압으로 재어하는 것을 보여준다. 이 방법은 순간단락을 정상단락으로 유도하고 단락순간에 발생하는 스패터를 저감하는 할 수 있으나 아크 재발생시에 발생하는 스패터를 제어하지 못하는 단점을 가지고 있다.

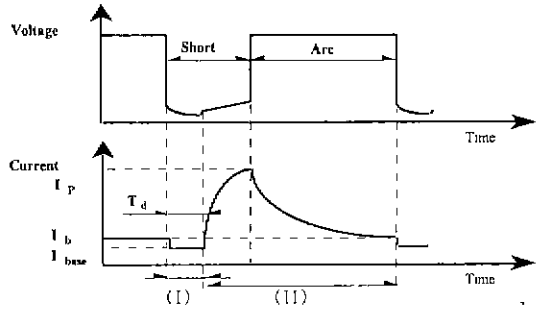


그림5. 단락지연 전류제어기법의 전압 및 전류파형
Fig. 5 Output voltage and current waveforms of short circuiting delay current controlled.

3.3 제안한 파형제어기법

지금까지 파형 제어기법에서는 스패터 발생을 억제하고자 단락기간동안 전류의 상승속도를 제어하여 최대 전류치를 낮추는 방법을 사용하였다. 이러한 제어기법은 전류가 최대로 상승된 상태에서 아크가 재생되므로 스패터의 발생을 충분히 저감할 수 없었다. 아크 재생전 전류제어는 그림6과 같이 단락지연 전류제어방식에서 아크가 재생되기 직전의 전류를 인위적으로 급격히 저하시켜 낮은 전류 상태에서 아크가 재생되도록 하는 방법이다.

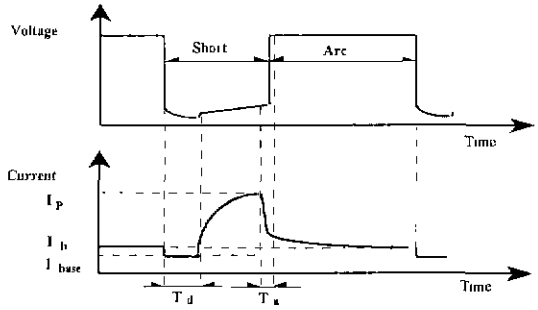


그림6. 제안된 전류 제어기법
Fig. 6 Proposed current control method.

3.4 아크 재생 검출 방법

그림7은 실제 용접파형으로 단락이 발생된 후에 전압이 일정한 기울기를 가지고 증가하고 전압이 일정시점에 이르러야 아크가 재발생되는 것을 관찰할 수 있다. 따라서 아크가 재발생되는 시점의 전압보다 약 1[V]정도 낮은 전압을 기준으로 하여 아크 재생 전단계로 간주하여 아크 재생전을 검출 할 수 있다.

아크가 재생되기 직전의 전압 기준은 용접전류에 따라서 달라진다.

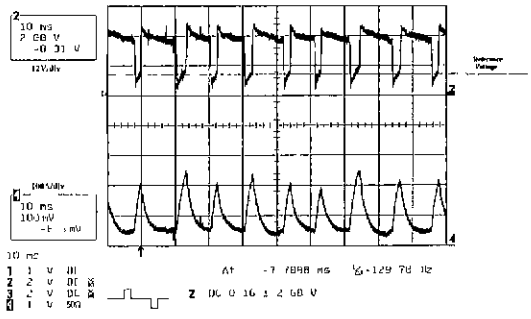


그림7. 아크 재생을 검출하는데 분석한 실제 용접파형
Fig. 7 Previous arc reignition detection used of constant voltage.

3.5 제안한 파형제어를 위한 제어블럭선도

제안한 단락지연 및 아크 재생전 전류제어를 위한 제어블럭선도는 그림8과 같다. 인버터에 인가해 줄 스위칭 함수 $S1(t)$를 만들기 위하여 용접기 출력전압과 전류를 센싱하여 DSP에 입력으로 넣고 디지털 제어기를 거쳐 PWM신호를 만든다.

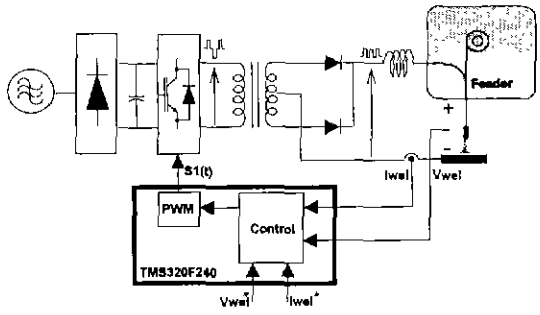


그림8. 제안된 단락지연 및 아크 재생전 전류제어를 위한 제어블럭선도

Fig. 8 Proposed control blockdiagram of short circuit delay and previous arc reignition waveform control.

4. 실험 및 결과

실험은 정전압 제어기법, 단락지연 전류제어기법, 아크 재생전 전류제어기법, 단락지연 및 아크 재생전 전류제어기법을 이용하여 각각의 용접성능을 비교, 평가하였다. 용접전류는 100[A], 200[A]의 조건에서 실시하였으며 사용된 와이어와 모재 그리고 전극과 모재와의 거리도 모두 동일한 조건에서 실시하였다.

정전압 제어방식을 이용한 출력파형은 그림9(a)에서 보는 바와 같이 출력전류의 피크값이 균일하지 않고 단락이 발생하는 단락주기가 일정하지 않음을 알 수 있다. 이러한 일정하지 않은 단락주기는 용융된 용적의 크기가 균일하게 유지되지 않는 것을 의미하므로 용접성능 측면에서 스패터의 발생을 증가시키고 비드상태를 저하시킨다. 또한 정상적인 단락이행시간보다 작은 즉 2[msec]이하의 순간단락이 발생함을 알 수 있다.

그림9(b)의 단락지연 전류제어방식을 이용한 출력파형으로 정전압 제어방식을 사용한 것보다 전류의 피크치가 균일하고 단락주기가 훨씬 일정하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 하지만 아크가 발생한 후에도 높은 전류치를 가지므로 아크 발생시에 아크 폭발력이 강하여 스패터가 발생하는 것을 제어하지 못하는 단점이 있다.

그림9(c)는 아크 재생전 전류제어방식의 출력파형이다. 아크 재생전의 검출은 기준전압을 100[A] 용접시에는 5.5[V], 200[A] 용접시에는 6.5[V]로 선정하였다. 아크 재생전 검출을 통한 전류제어가 시작되면 전류는 급격히 하강하게 되는데 이때 아크가 재발생되지 못하게 되면 다시 전류가 상승하고 이때에도 다시 전류제어를 통하여 아크가 발생시 높은 전류에서 재생되지 못하도록 하고 있다. 그러나 순간단락이 발생하면 정상단락으로 이행시키지 못하고 단락시 발생하는 스패터에 대한 제어가 불가능한 단점이 있다.

그림9(d)는 단락지연 및 아크 재생전 전류제어를 동시에 실행한 실험결과파형이다. 전체적으로 전류의 피크치가 균일하고 아크 재생전 전류제어만 한 경우에 나타나게 되는 순간단락이 거의 없다. 단락지연시 전류제어 시간은 1msec로 설정하였고 아크 재생전 전류제어는 0.6msec로 실험하였다.

용접성능평가를 위해서는 용접전압-용접전류(V-I)특성 곡선을 사용하는데 그림10은 1초동안 50,000개의 인버터 아크 용접기의 출력전압과 전류를 수집하여 MATLAB을 통하여 분석한 것이다.

V-I특성곡선은 단락이행을 수행하는 동안 반시계방향으로 회전하며 사각형의 궤적을 나타낸다. 특히, 사각형 내부에 존재하는 궤적들은 일정하게 출력전류와 전압이 유지되지 않을 때 나타나는 현상이다.

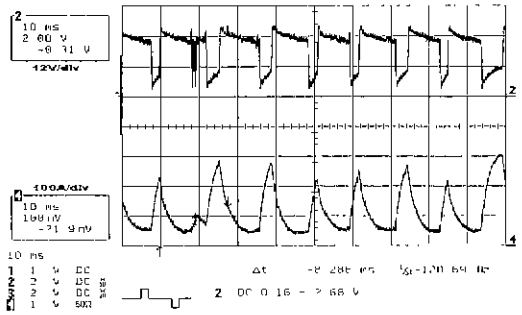
그림10(a)은 정전압제어의 경우로 사각형 내부의 궤적이 많이 나타나고 전류의 피크치의 경우에도 균일하지 않으며 이는 순간단락이 많이 발생하고 아크가 재발생될 경우에 다량의 스패터가 발생함을 의미한다.

그림10(b)의 단락지연 전류 제어기법은 정전압제어방식과 비교하여 사각형의 내부궤적이 줄어들었음을 볼 수 있으며 순간단락의 발생회수도 줄어들었다. 하지만 전류의 피크치의 경우 정전압 제어방식과 마찬가지로 상당이 변동하여 높은 전류치에서 아크가 재발생되어 아크의 폭발력으로 인한 스패터를 감소시키지 못하고 있다.

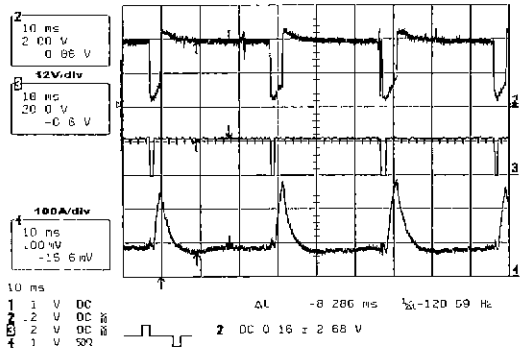
그림10(c)의 아크 재생전 전류제어기법은 사각형의 궤적이 더 확실히 보여주고 있음을 알 수 있다. 그러나 정전압제어의 경우와 마찬가지로 내부의 궤적이 많이 존재함으로서 순간단락시 스패터가 증가하는 문제점이 있으나 전류의 피크치의 경우 일정하게 궤적을 가지고 있어 전류의 피크치가 균일하게 조정됨을 알 수 있다.

그림10(d)는 단락지연 및 아크 재생전 전류제어의 특성을 모두 갖추고 있다, 단락지연 제어로 순간단락 현상이 보이지 않고 아크 재생전 전류제어로 전류의 피크치가 균일해짐으로써 두군데에서 발생하는 스패터를 모두 저감할 수 있는 장점을 가지고 있다.

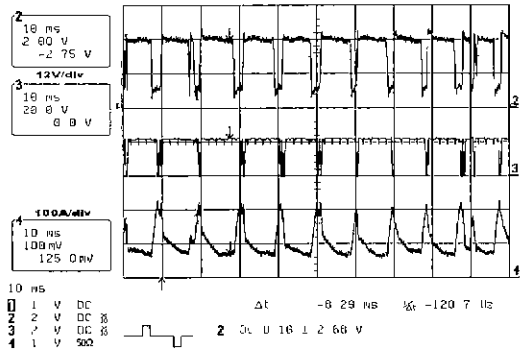
표1은 용접시 발생한 스패터의 양을 측정한 것으로써 단락지연 및 아크 재생전 전류제어를 동시에 하는 것이 가장 효과적임을 알 수 있다. 또한, 단락순간보다 아크 재생전에 발생하는 스패터가 훨씬 더 많음을 알 수 있다. 순간단락의 경우에는 전체 용접에 차지하는 비중이 작으나 아크 재생은 매주기마다 발생하므로 아크 재생시에 발생하는 스패터를 줄이는 것이 더 효과적임을 알 수 있다.



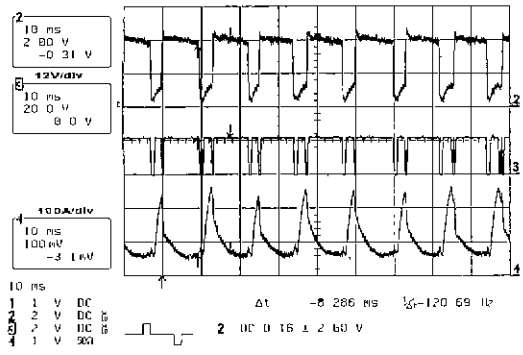
(a) 정전압 제어기법



(b) 단락지연 전류제어기법



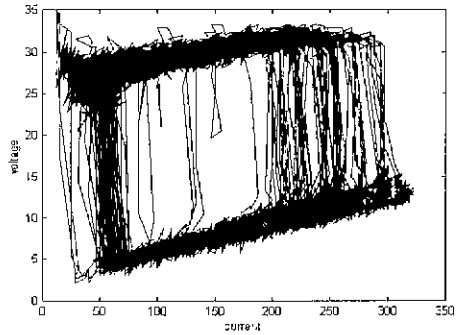
(c) 아크 재생전 전류제어기법



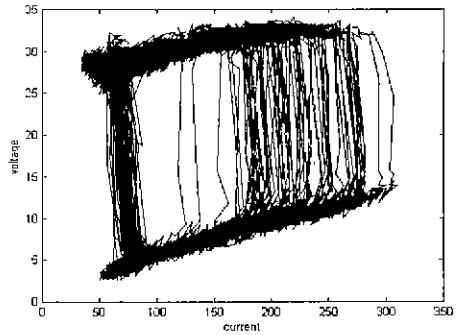
(d) 단락지연 및 아크 재생전 전류제어기법

그림9. 다양한 파형제어기법별 파형

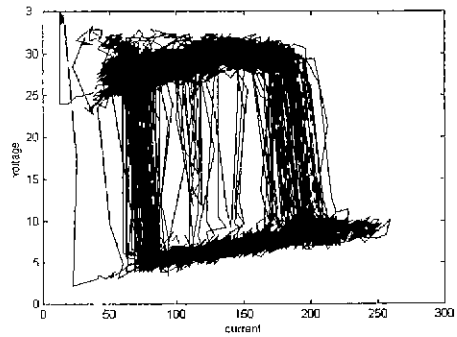
Fig. 9 The various waveforms according to control+ methods.



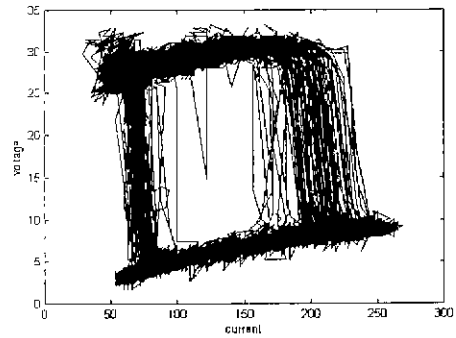
(a) 정전압 제어기법 V-I 파형



(b) 단락지연 전류제어기법 V-I 파형



(c) 아크 재생전 전류제어기법 V-I 파형



(d) 단락지연 및 아크 재생전 전류제어기법 V-I파형

그림10. 다양한 제어기법의 V-I 파형

Fig. 10 The various V-I curve according to control methods

표1. 제어방식에 따른 스패터 발생량 비교

Table. 1 The Generated spatter comparison according to control methods.

	100A 용접시 (와이어 10m=85g)				200A 용접시 (와이어 20m=170g)			
	용접전	용접후	용접량	스패터 발생량	용접전	용접후	용접량	스패터 발생량
정전압	6248g	6318g	70g	15g (17.6%)	6207g	6358g	151g	19g (11.2%)
단락지연	6192g	6263g	71g	14g (16.5%)	6204g	6357g	153g	17g (10%)
아크재생전	6233g	6308g	75g	10g (11.2%)	6229g	6389g	160g	10g (5.8%)
단락지연 및 아크재생전	6224g	6302g	78g	7g (8%)	6150g	6312g	162g	8g (4%)

5. 결 론

본 논문에서는 CO_2 인버터 아크 용접기에서 가장 큰 문제점인 다량의 스패터 발생을 저감하는 방법으로 아크 재생전 검출을 통한 파형제어를 제안, 연구하였다. 4가지의 제어방식에 따라서 실제 실험을 해 본 결과 스패터가 가장 많이 발생되는 부분 즉 단락이 시작되는 지점에서 전류의 급격한 상승을 지연시켜 스패터 발생을 억제하고, 아크가 재발생되는 시점에서 전류를 급격히 저하시켜 저전류에서 아크가 재발생되게 하여 스패터 발생을 억제하는 방법이 정전압 제어방식에 비하여 100[A]시 46%, 200[A]시 41%의 저감효과를 가져왔다.

그리고, 실험결과 단락순간과 순간단락시 발생하는 스패터를 억제하는 것보다 아크 재생시에 발생하는 스패터를 억제하는 것이 더 우수한 성능을 보임을 알 수 있었다.

이 논문은 한국과학재단의 연구비 지원에 의하여 연구되었슴

참 고 문 헌

[1] J. F. Lancaster, "The Physics of Welding", 1984.

[2] T. Mita, "Reduction Spatter in CO_2 Gas-Shielded Arc Welding -Waveform Control", Welding International, Vol 3, pp. 227-232, 1989.

[3] "용접아크현상해석 및 응용기술", 한국생산기술연구원, 1999.3.

[4] T.Shinoda, H.Kaneda, and Y.Takeuchi, "An evaluation of short circuiting arc phenomena in GMA welding".

[5] J. A. Johnson, N. M. Carson, H. B. Smartt and D. E. Clark, "Process control of GMAW : Sensing of metal transfer mode", Welding Journal, Vol.70, No1.5, pp. 91-s, 1991.

[6] E. K. Stava "Low spattre welding", Australasian Welding Journal, 4th Quarter, pp. 21, 1995.

[7] T.Maruyama, M.Sato, and Y.Hida, "Waveform Control in Gas Shielded Arc Welding", Welding International, Vol.4, No.9, 677-683, 1990.

[8] 김희진,이창한, "GMA 용접 전원의 파형 제어기법 분석", 대한용접학회지 제16권 5호, 1998. 10.

[9] 김희진, 김용석, "CO_2 용접의 용접 스패터 저감을 위한 용접전류 파형제어 개념", 대한용접학회지 제16권 3호, 1998. 6.