

Pulse MAG 용접용 전원의 출력파형 제어

구헌희*, 변영복*, 조상명**, 이현우***, 심우웅***
 *한국전기연구소, **부경대학교, ***경남대학교

Welding Current Waveform Control of Power Source for Pulse MAG

Koo Heun Hoi*, Byun Young Bok*, Cho Sang Myung**, Lee Hyun Woo***, Sim Woo Young***
 *KERI, **Pukyong Univ., ***Kyung Nam Univ.

Abstract - Recently the automatization and the robotization of the arc welding industry is promoted and also the improvement of the welding quality and the work efficiency is required strongly.

In this paper, special welding current waveform control algorithm is developed for less spatter and improvement of welding performance in the high speed and low arc voltage range. And the output control and the short circuit waveform control to the variation of the welding is studied by applying the algorithm to the power source for pulse arc welding.

고속 용접속도가 빠른 영역에서는 단락이 전혀 생기지 않을 만큼 아크장을 길게 하면(arc 전압을 높게) 모재를 폭넓게 용융해서 undercut 험핑 bead 결함이 생기기 쉽게 되는 것이 지적되고 있다. 이 때문에 단락이 없고 용접결함이 생기지 않는 용접은 비교적 저속영역에 한정되고 만다.

본 연구에서는 고속 저아크 전압영역에서도 스패터 저감과 용접성능 향상을 위하여 특별한 용접 전류파형제어 알고리즘을 개발하여, 펄스 아크 용접용 전원에 적용하여 용접아크의 변동에 대응한 출력제어와 단락파형 제어에 대한 연구를 하였다.

1. 서 론

최근 아크용접의 자동화 로봇화가 강력하게 추진되고 있으며, 용접품질과 작업성의 향상을 위하여 용접전원의 성능향상이 강력하게 요구되고 있다. 용접전원의 부하인 용접아크는 부하개방에서 단락까지 광범위하고 또한 빈번하게 반복하고, 더구나 수 A에서 수 100A의 넓은 전류범위를 갖는 점에서 예를 찾아보기 힘든 특이한 부하이지만, 종래의 사이리스터 위상제어에 의한 아크용접 전원에서는 상용주파수에서 위상제어를 하고 있기 때문에, 용접아크의 급격한 변동에 대해서 추종하는 응답속도에 한계가 있고 용접성능의 개선에도 한도가 있었다.

그러나 근년의 power device를 비롯한 전력전자기술의 진보에 의해 인버터 제어 용접전원이 각종 용접법에 적용되어 용접 전원의 소형 경량화와 용접 성능의 대폭적인 향상이 가능하게 되었다. 용접에서 각종 트러블의 원인이 되고 용접성능에 큰 영향을 미치는 스패터 발생량은 용접법 및 용접전원의 성능에 밀접한 관계가 있다. 탄산가스, MAG 용접에서 와이어에서의 용적이행 상태는 아크에 의해 녹은 와이어 선단의 용적이 용융지 표면과 접촉해서 이행하는 소위 "단락이행"에 의한 것이다. 이 경우, 용접전원에서는 통상 정전압 특성의 전원이 채용되기 때문에 용적이 단락하면 큰 단락전류가 흘러 전자 핀치력으로 단락부가 미세하게 조여져서 단락이 파괴되어 아크 재생으로 된다. 이때의 전류가 높은만큼 와이어 선단의 용적이나 용융지를 비산시키는 힘이 커서 스패터의 발생량이 많게 된다.

한편, Pulse MAG 용접에서는 용적이행은 임계전류보다 높은 펄스전류에 의해 와이어 선단의 용적에 핀치력이 작용하여, 펄스에 동기해서 용적은 강제적으로 이탈해서 스프레이 형태로 용융지로 이행한다. 이러한 Pulse MAG 용접에서는 스패터 발생의 원인으로 되는 용적에 의한 단락이 원리적으로 수반되지 않기 때문에, 스패터의 발생을 매우 적게 하는 것이 가능하다.

이상과 같이 스패터의 발생에 대해서는 용접법이나 용접전원에 의한 용적이행의 차이와 밀접한 관계가 있고, 원리적으로 단락이 적은 Pulse MAG 용접법이 유리한 것은 명백하다. 그러나 이러한 Pulse MAG 용접법에 있어서도 문제가 전면적으로 해결된 것만은 아니다. 비

2. 본 론

2.1 전원특성과 전류파형제어

정전압 특성의 전원에서는 아크장이 짧게 되면 전류가 증가해서 와이어의 용융을 촉진하고, 역으로 아크장이 늘어나면 전류가 감소해서 와이어의 용융을 억제해서, 아크장을 거의 일정하게 유지하는 아크장 자기제어 작용이 있다. 그러나 전원을 정전압 특성으로 하면 아크장에 의하여 펄스전류(I_p), 베이스 전류(I_b)가 변화하기 때문에 용적이행의 안정화 또는 소전류의 베이스 기간(T_b)중에서 아크 끊김 현상방지 등이 문제로 된다. 정전류 특성의 pulse MAG 용접기에서는 전압을 feedback해서 펄스폭(T_p)나 펄스주기(T)를 증감시켜 아크장을 일정하게 유지하는 제어가 행해진다.

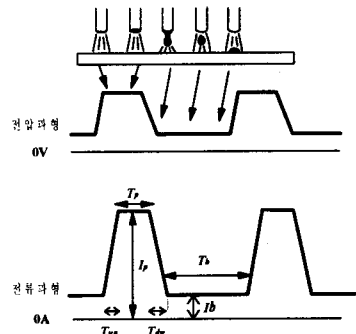


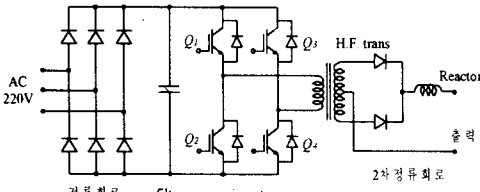
그림 1. 전류파형의 제어 parameter

그림 1은 펄스아크 용접에 있어서 용접전류 파형제어하기 위한 제어 parameter를 나타내고 있다. 펄스 용접에서는 펄스기간에 와이어 선단이 용적을 형성해서 임계전류보다 높은 펄스전류에 의한 전자 핀치력에 의해 용적을 갈라지게 하여 펄스전류에서 베이스 전류로 변화한 직후에 용적은 이탈한다. 이러한 1펄스로 1용적의 원활한 이행을 가지각색의 용접조건 마다 최적화 할 필요가 있다. 이를 위해서 와이어의 종류나 shield gas의 종류만 아니라 모재의 재질이나 와이어 송급속도에 연동

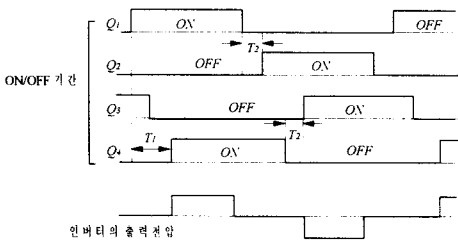
해서 그림 1에 나타내는 용접전류의 각 parameter를 최적으로 자동변경하고 있다. 이 제어를 하기 위해서는 전류파형의 재현성이 높고 또한 많은 parameter의 설정이 가능한 것을 전제로 된다. 이러한 제어를 하는 것으로 가지각색의 용접조건에 있어서도 항상 1펄스 1용접의 원활한 이행이 유지되기 때문에 안정한 용접상태가 실현 가능하게 된다.

2.2 주회로의 구성

용접기 전원장치의 주회로 구성은 그림 2(a)와 같다. 전통적인 Full Bridge Converter의 스위칭은 대각선에 존재하는 스위치 쌍(Q₁과 Q₄, Q₂와 Q₃)이 동시에 On/Off를 하여 에너지를 2차로 전달한다. 이 동작에서 발생하는 중요한 문제점은 모든 4개의 스위치가 모드 Off인 경우에 변압기의 Leakage inductance 내에 저장된 에너지는 흘러갈 통로가 없어, 스위치의 집합 capacitance 성분과 심각한 ringing을 일으키며 소자에 스트레스를 가중시킨다. 따라서 snubber를 필요로 한다. 이러한 ringing을 최소화하기 위해 본 연구에서는 phase-shifted ZVT 방식을 적용하였다. 이 방식은 그림 2(b)와 같이 안정한 영전압 스위칭 동작영역을 확보하기 위하여 Q₃와 Q₄에 대한 게이트 신호가 Q₁과 Q₂에 대하여 phase shift(T₁)되게 제어함으로써, 2차측 전압이 Zero인 시간간격 동안 1차측 스위치 중 하나가 항상 On 되게 제어한다. 이는 고주파 변압기의 누설 인덕턴스와 스위칭소자의 기생출력 캐패시턴스와의 기생 진동문제를 해결할 수 있도록 누설인덕턴스에 따라 전류를 순환시키기 위한 저 임피던스 경로를 제공시켜 준다.



(a) 주회로 파형



(b) 동작파형

그림 2. 주회로 구성과 동작파형

Leakage inductance L_{lk}에 저장된 에너지는 스위치의 집합 Capacitance 내에 저장된 에너지를 방전시키는데 사용되며 이는 1차측의 스위치들이 ZVS(Zero Voltage Switching)동작을 하도록 한다.

ZVS-FB-PWM-DC-DC converter의 동작모드는 각 스위치들의 On/Off 동작에 따라서 아래와 같이 6가지 모드로 나누어진다

- 1) 에너지 전달 : Q₁ = On, Q₄ = On
- 2) Left Leg Transition : Q₁ = Off, Q₄ = On
- 3) Clamped Freewheeling Interval :
Q₄ = On, Q₂ = On, Q₃ = On
- 4) Right Leg Transition : Q₂ = On, Q₄ = Off, Q₃ = On
- 5) Power Transfer Interval : Q₂ = On, Q₃ = On
- 6) 스위치 Off : Q₂ = Off, Q₃ = On

2.3 용접 파형의 제어 알고리즘

Pulse MAG 용접을 실시함에 있어서 1펄스 1드롭을 확실하게 시도하기 위해서는 펄스전류 I_p와 유지시간 T_p의 결정이 가장 중요하다고 할 수 있다. 본 연구에서는 그림 1의 파형에서 펄스 전류 I_p를 다음과 같이 일정한 값으로 설정하였다.

$$I_p = 450A$$

또한 펄스 전류 유지 시간 T_p는 설정전류에 거의 상관없이 일정한 값을 가지지만 일단은 실험식을 이용하여 얻은 값을 사용하도록 하였다. 파형설계에 있어서 가장 현저한 변화를 보이는 변수가 베이스 전류 I_b와 그 유지시간 T_b라고 할 수 있다. 이들 변수에 대해서도 실험식을 이용하여 얻어진 값을 사용하여 파형을 얻었다. Pulse MAG 용접시의 전류와 전압에 대한 펄스 파형은 설정 전류만의 함수가 아니고, 설정 전압에 따라서도 현저한 변화를 보이며, 본 연구의 최종 목표인 박판의 고속 용접에서는 전압의 영향이 현저하기 때문에 전압의 설정값도 구체적으로 고려하여 파형 설계를 추진하였다.

그림 3은 본 연구에서 수행한 Pulse MAG 용접용 전류 전압의 기본파형 형성을 위한 플로차트이다.

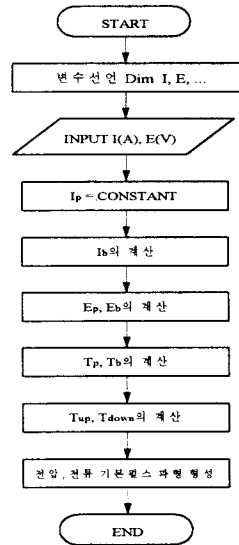


그림 3. 기본 펄스파형 형성 flow chart

용접기의 출력파형의 제어는 출력전류를 feedback 하여 reset 단자부 적분회로에 입력하여 설정전류의 적분치와 비교하여 베이스시간 T_b를 결정한다. 따라서 매주기마다 T_b를 순시적으로 제어하는 것으로 전원의 출력 feedback 제어를 하고 있으며 또한 과도응답성이 우수한 성능을 발휘한다. Pulse MAG 용접은 원리적으로 단락이 적은 용접법으로 타 용접법에 비해서 유리하지만 비교적 고속 용접을 실시하는 경우에는 상당한 단락이행이 수반되면서 용접이 이루어진다. 정전류 특성의 Pulse MAG 용접에서는 단락이 발생해도 전류치의 변화는 거의 생기지 않기 때문에 단락에 대한 보상 제어가 필요로 한다. 단락이 발생하면 단락시간을 판정하여 기준시간 이하의 순간단락 발생시는 정상파형 제어를 수행하도록 하며, 기준시간 이상 일 때는 단락위치를 판정하여 적절한 제어를 수행하도록 하였다. 베이스기간, 천이기간, 펄스기간에서 단락 전류제어에 대한 기본적인 개념은 고속의 용접을 위하여 가능한 빠른 시간 내에 단락해소를 위한 제어를 하고 있다. 베이스 기간중의 단락 해소 방법은 단락이 발생하면 소정의 속도로 전류를 증가시켜 비교적 낮은 전류에서 단락을 해소하도록 하며

단락이 해소되지 않으면 peak 전류(I_p)까지 상승시켜 일정시간 동안 유지하여 단락해소 되지 않으면 전원의 최대전류까지 상승시켜 단락전류 제어를 하고 있다.

2.4. 용접 파형의 분석

그림 4는 용접 전류와 전압의 출력 파형을 측정하기 위하여 사용한 아크모니터링 시스템의 개략도이다.

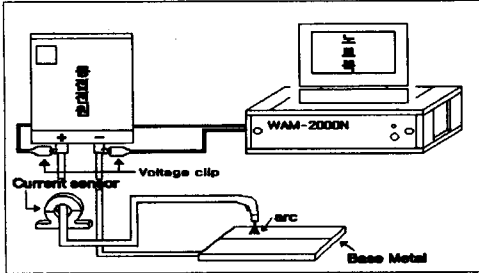
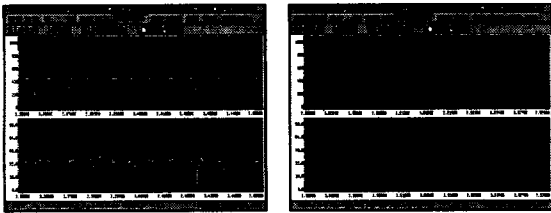


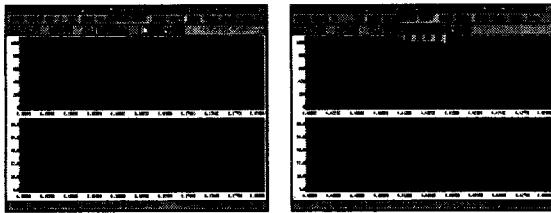
그림 4. 전류·전압 파형을 모니터링하기 위한 시스템

상기의 모니터링 시스템에서는 Hall 센서(1000A)에 의하여 전류를 전압으로 변환하고, 전압은 직접 클립형 단자에 의하여 계속하여 감압 보드를 거쳐서, 노이즈 필터를 통과시킨다. 사용자가 선택 가능하도록 제작된 저역통과와 노이즈 필터를 통과한 신호를 A/D 변환기를 거친 후 컴퓨터에 보내서 저장하는 구조로 되어 있다. 일단 현장에서 모니터링한 신호를 정밀하게 컴퓨터상에서 분석하고, 정량화 하는 과정을 거쳤다.

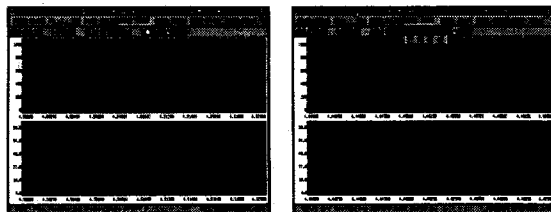


(a) 용접전류 150A (b) 용접전류 350A

그림 5. 출력전류 전압파형



(a) (b)



(c) (d)

그림 6. 단락전류파형의 제어

그림 5는 아크 모니터링 시스템으로 측정한 용접전류 150A 와 350A시의 출력전류, 전압파형을 나타내고 있으며 그림 6은 단락발생시의 파형을 나타내고 있으며,

그림 6(a)는 베이스기간 중 단락발생해서 베이스 기간 중에 해소된 경우이며 그림 6(b)는 베이스기간 중 단락발생하여 필스기간 까지 진행하여 해소될 경우이며 그림 6(c)는 피크기간 중, 그림 6(d)는 천이기간 중 단락발생한 경우의 단락전류 제어를 나타내고 있다.

3. 결 론

용접성능 향상을 위하여 용접아크의 변화에 대응해서 출력의 제어가 가능한 용접용 전원장치가 필요하다.

본 연구에서는 박판의 고속용접에 매우 효과적이고 우수한 특성을 가진 것으로 알려진 Pulse MAG 방식의 용접법을 적용한 용접기용 전원을 개발하기 위하여 용접기용 전원장치에 적합한 전력변환 Topology 연구와 필스 MAG 용접용 전원의 가장 본질적인 성능이라 할 수 있는 정상시 출력파형 제어 및 단락파형 제어 알고리즘을 개발하여 용접시 파형제어 특성 및 용접특성에 대한 연구를 수행하여 고속의 출력파형 제어가 가능함을 확인하였다.

추후 연구과제는 여러 가지의 용접법 및 용접조건에 따른 많은 제어 Parameter의 확보가 중요하다.

(참 고 문 헌)

- [1] J.F.Lancaster, "The Physics of Welding", International Institute of Welding, Second Edition, 1985
- [2] 日本容接協會 容接棒部會編, "マグミグ容接の缺陷と防止對策", 産報出版, 1991
- [3] 山本, 原田, 安田, "インバータ 制御ブルスマグ 容接機の新電流波形制御と高速容接におけるスパッタの低減" 銲接技術, 1989
- [4] J.G.Cho, J.W.Baek, G.H.Rim, I.R.Kang, "Novel Zero Voltage Transition PWM Multi-Phase Converters", IEEE, '96PESC, pp.500-505, 1996
- [5] Meng-Yu Chang, Jiann-Yow Lin, Ying-Yu Tzou, "DSP-based Fully Digital Control of a AC/DC Converter with Nonlinear Digital Current Mode Control", IEEE Records, pp.1702-1708, 1996
- [6] D.M.Sable, F.C.Lee, B.H.Cho, "A Zero-voltage-switching bi-directional battery charge & discharge for the NASA EOS satellite", VPEC Annual Seminar, pp.41-46, 1992
- [7] Pulse Arc Welding, "Technical Commission on Phisics of Welding the Japan Welding Society"