

박판의 고속용접을 위한 펄스MAG 용접전원의 파형제어에 관한 연구

論 文
48B-10-7

Current Waveform Control of Pulse MAG Welding Power Source for High Speed Welding of Thin Plates

具憲會* · 金泰鎭** · 金峻弘*** · 李鉉雨[§] · 趙相明^{§§}
(Heun-Hoi Koo · Tae-Jin Kim · Joon-Hong Kim · Hyun Woo Lee · Sang Myung Cho)

Abstract - Current waveform control of pulse MAG welding power source is studied so that welding of thin plates may obtain high speed and improved performance. In this paper, waveform control method is proposed, digital controller using DSP is able to control the current waveform precisely. High speed welding of thin plates using pulse MAG welding method is made possible. Performance test for 1.2mm thin plates is carried out, output waveform and welding performance is analyzed.

Key Words : waveform control, pulse MAG, welding power source, thin plates

1. 서 론

최근 아크용접의 자동화, 로봇화가 강력하게 추진되고 있으며, 용접전원에 대한 용접품질과 작업성의 향상이 한층 강력하게 요구되고 있다. 또한 제조라인의 생산성을 향상시키는 경우, 용접공정이 병목이 되는 경우가 많아서 용접의 고속·고성능화는 극히 중요하다.[1]

특히 박판의 용접에 있어서는 다량생산품이 많고, 로봇 혹은 자동용접장치가 생산시설의 주류로 되고 있다. 박판 용접의 고성능화를 위해서 용접작업성이 우수할 것, 용락이 방지될 수 있을 것, 스패터(splatter)가 소립자로서 적게 발생할 것, 저전압에서 아크안정성이 우수할 것 등이 요구되고, 대전류 고속 용접시에도 용접 품질의 안정, 비드 외관의 우수성, 아크안정성, 스패터 억제 등의 특성이 요구되고 있다.

박판의 고속용접을 실시하기 위하여 가장 유력한 아크용접 공법으로서는 GMAW(Gas Metal Arc Welding)을 들 수 있을 것이다. 특히 1990년에 들어서부터는 자동화와 로봇화의 추세가 가속화되면서 가스고속아크용접에 대한 수요는 더욱 늘어나고 있는 실정이다

용접의 고속화에 대해서는, 최근 인버터의 고속제어성을 활용한 새로운 전류제어에 의한 탄산가스(CO₂), MAG용접(Metal Active Gas Shield Arc Welding)전원의 적용이 진행되어, 어느정도 까지는 고속용접이 가능 하게 되었다. 그러나, 이들 종래의 용접법에서는, 용접속도를 증가시킨 경우, 아크길이를 짧게 할 필요가 있다. 이때문에 다량의 스패터

가 발생해서, 피용접물, 용접토치, 센서등에 부착해서, 여러 가지 문제점을 일으키는 원인으로 되는 것이 많다. 박판의 고속용접시 용락의 발생, 다량의 스패터발생등으로 박판에는 판두께에 따라 용접속도의 한계가 제한된다.[2][3] 펄스MAG 용접법은 펄스전류가 인가될 때 강력한 전자핀치력이 용접에 작용하는 것을 이용해서 안정한 소용적의 이행을 펄스전류에 동기시킨 용접법이다. 펄스MAG 용접은 CO₂용접이나 MAG 용접에 비해 많은 스패터를 한층 더 감소시킬 수 있다. 그러나 박판용접에서는 아크력이 강하고 용입도 깊게 되므로 용락과 언더컷트를 발생시키기 쉬운 경향이 있다. 이것을 방지하기 위해서 아크길이가 짧은 용접조건을 이용하면 단락이 발생하여 스패터가 증가한다. 동일와이어 송급속도로 동일전압에 있어서 펄스MAG용접이 다른 용접법에 비해서 용입이 깊고 비드폭이 넓다. 그 이유는 펄스전류에 의한 아크압력이 강하여 아크의 폭이 크게되기 때문이지만, 이 특성이 박판고속용접에서는 불리하게 작용하고, 용락과 언더컷트의 원인으로 된다. 또한, 박판 용접에서 생산성을 향상시키기 위해서는 고속용접을 해야 하는데, 박판에서는 모재의 두께가 얇아서 용접작업시 용락의 우려가 매우 심각하고, 과대한 아크력으로 인하여 언더컷이나 험핑비드의 위험이 있는 것이다.[4]

따라서 박판의 고속용접을 위해서는 전류의 증가는 불가피하다고 할 수 있으나, 전압의 증가는 최대한 억제하여 아크 길이를 짧게 하는 것이 중요한 기술이다. 이와같이 아크 길이를 짧게 하였을 때는 단락이 자주 발생하기 때문에 이 단락으로 인한 스패터 즉 아크 재점호 스패터를 최소화하기 위한 제어기술이 충분히 연구·개발되어야 한다. 이러한 고속용접시의 스패터 저감에 대해서 용접와이어, 차폐가스등의 용접재료의 개선에 의한 방법과 용접전원의 출력파형제어에 의한 방법이 있다.[1]

본 연구에서는 주회로는 출력의 신속한응답과 정밀한 용접전류 파형제어를 위하여 위상전이 영전압스위칭 풀브리

* 正 會 員 : 慶南大 大學院 講師 · 工博
 ** 正 會 員 : 韓國電氣研究所 電力電子研究部 研究員
 *** 正 會 員 : 慶南大 電氣工學科 博士課程 修了
 § 正 會 員 : 慶南大 電氣工學科 副教授 · 工博
 §§ 正 會 員 : 釜慶大 電氣工學科 副教授 · 工博
 接受日字 : 1998年 5月 8日
 最終完了 : 1998年 6月 15日

지 컨버터(phase shift ZVS full bridge converter)로하여 손실저감과 고속으로 안정한 출력제어가 가능하게 하고, DSP(TMS320C32-50)를 이용한 제어회로의 디지털화에 의하여, 정밀한 용접전류 파형제어에 의해 1펄스 1용적이행이 되도록 전류를 제어하고, 단락발생으로 인한 스패터의 발생을 억제하기 위한 파형제어기술을 개발하여, 이제까지 박판용접에 불리한점이 많은 펄스MAG용접을 박판고속용접에 이용가능하게하여 박판의 고속용접성능을 향상시킨다. 본 디지털제어기는 인버터제어부까지 포함하여 모든 제어기능을 디지털화하여 회로의 간단화와 시스템의 속응성과 재현성을 향상시켰다. 두께1.2mm의 박판에 용접을 실시하여 출력파형의 모니터링과 용접특성을 분석하였다.[5]

2. 펄스 MAG 용접법의 원리

펄스MAG 용접은 직경 0.8~1.6mm정도의 전극와이어를 이용하여 Ar-CO2(5~20%)혼합가스 중에서 모재(피용접물)와 와이어 사이에서 아크를 발생시키는 용접법이다. 그림 1에 표시하는 것 같이 사용하는 와이어재질, 와이어직경에 의해 정해지는 스프레이이행이 생기는 최소의 전류인 임계전류(Ic) 보다 높은 피크(peak)치의 펄스전류(pulse current :Ip)를 적당히 반복 동기시켜, 와이어선단에 형성된 용적(용접전원의 선단에서 모재로 이행하는 용융금속)을 펄스전류에 동기해서 강제적으로 이탈시켜, 스프레이형태로 용융지에 이행시킨다.

다음 펄스전류가 인가 될 때까지는 전류를 저감한 베이스전류(base current : Ib)로서 아크를 유지한다. 펄스MAG 용접에서는 통상의 CO2, MAG 용접과는 달리, 스패터 발생의 원인으로 되는 용적에 의한 단락이 원리적으로 수반되지 않기 때문에, 스패터의 발생을 적게하는 것이 가능하다. 그러나 그림1에서 용접전류 제어변수를 와이어재질이나 와이어직경에 따라서 적절한 값으로 설정하는 것이 중요하다. 또한, 적절한 아크길이를 얻기 위해, 용접전류 즉 와이어 용융속도에 따라서 펄스주파수를 증감시켜야 할 필요가 있다.

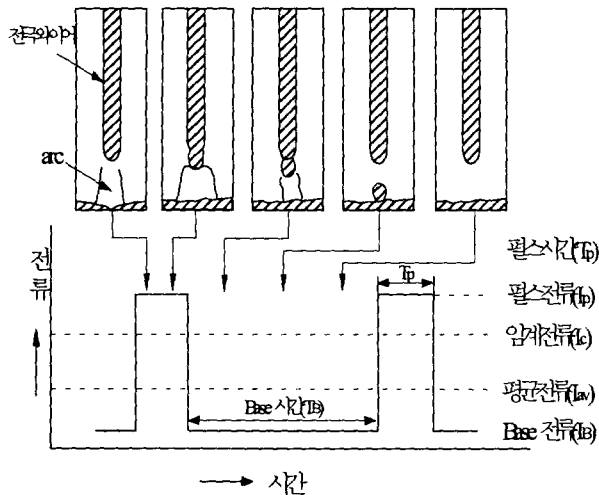


그림 1 펄스MAG용접의 전류 파형과 용적이행
Fig. 1 Current waveform and droplet transfer

그림 2는 펄스MAG 용접을 할 때에 전류의 파형과 와이어 선단에 형성되어 이행하는 용적의 모양을 모식적으로 나타낸 것이다. 즉 펄스전류가 흐르는 펄스기간동안에 와이어 끝에 맺힌 용적은 펄스기간 종료 부근이나 베이스 전류가 흐르기 시작한 시점에서 떨어져서 이행하게 된다. 이어서 베이스 전류기간동안 작은 전류가 흐르면서 아크가 유지되다가 다시 펄스전류가 흐르면 용적이 맺혀서 이행하게 된다. 결국 펄스 파형 하나에 하나의 용적이 이행하게 되어 1펄스 1용적이행(1pulse 1droplet transfer)이 얻어진다. 따라서 평균전류가 높게 되어 단위 시간당에 와이어가 많이 용융하면 펄스 주파수를 높게 하여 많은 수의 용적이 이행하도록 한다.

펄스조건	이행 상태
높은 Ip, 긴 Tp 	1펄스 다용적 • 아크길이가 커져서 언더컷 발생 • 아크길이 짧으면 단락이행 및 아크 불안정
적당한 Ip, 적당한 Tp 	1펄스 1드롭 양호한 프로젝트 이행
낮은 Ip, 짧은 Tp 	1펄스이상에서 1드롭 단락과 낙하이행으로 스패터 다발

그림 2 펄스MAG 용접에서 1펄스 1용적이행의 개념
Fig. 2 Concept of 1 pulse 1 droplet transfer at pulse MAG welding

3. 용접전류 파형제어의 알고리즘

3.1 용접전류파형의 제어변수

그림 3은 용접전류 파형의 제어변수로서, 펄스전류(Ip), 베이스전류(Ib), 펄스시간(Tp), 베이스시간(Tb), 상승시간(Tup), 하강시간(Tdw)을 나타낸다. 제어변수중에서, 펄스시간과 펄스전류는 와이어 선단에서 용적을 펄스에 동기해서 확실히 이행시키기 위해 특히 중요한 변수이다.

펄스MAG용접에서 단락을 피하기 위해서는 아크길이를 크게, 즉 아크전압을 크게 할 필요가 있다. 이때문에 아크가 넓게되고, 모재를 넓고 얇게 용융하는 것이되어 용접속도가 빠른 영역에서는 언더컷트나 험핑비드 등의 비드결함이 생기기 쉽게 된다. 그래서, 용적입자를 적게 되도록 하여 아크 길이가 짧아도 단락이 생기지 않도록 한다. 전자력의 증대에 의한 용적의 세립화하기 위해 펄스전류를 상승시켜 전류밀도를 높게하여 전자력을 증대시킬 필요가 있다. 또한 이것에 따라 용적이 적게되기 때문에 용적이탈에 필요한 시간을 짧게한다. 그리고 아크장을 짧게하기 위해서는 1펄스 1용적이행을 확실하게 할 필요가 있다. 단 펄스전류가 지나치게 높아서 아크력이 강하게 되면 험핑비드가 생기기 때문에 목표로 하는 용접속도에 따라서 설정하도록 유의할 필요가 있다.

또, 펄스의 상승시간과 하강시간은 피크전류에 비하여 편차력이 약해서 용적세립화의 요인으로 거의 무시할 수 있다. 그러나 고능률화를 꾀하기 위하여 단위시간당 와이어의 송급량을 증가시키려면, 비례해서 단위시간당 펄스 수를 증가시켜야 하므로 베이스전류시간은 짧게 된다. 와이어 선단과 이탈하는 용적과의 사이에서 스파터 발생을 방지하기 위해서는, 그 순간의 전류를 낮게 억제할 필요가 있다. 따라서 상승과 하강이 완만한 파형에서는 아래부분이 중복되어 스파터가 생기기 쉽게 된다. 이점을 고려하여 상승과 하강을 급격하게 한다. 전류의 제어는 T_p , I_p , I_b , T_{up} , T_{dw} 와 이어종류, 차폐가스, 송급속도등에 연동해서 적정치로 설정하고, 베이스시간 T_b 를 가변하여 출력을 제어한다.

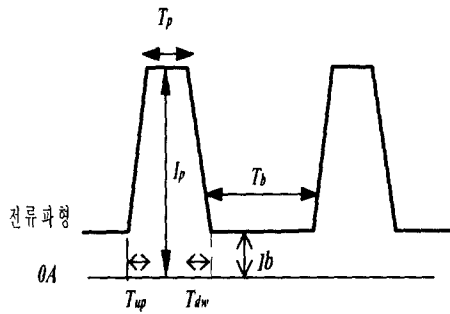


그림 3 전류파형의 제어변수
Fig. 3 Parameter of current waveform

3.2 출력 전류 파형의 순시제어

용접기의 출력은 순시적으로는 설정된 펄스전류 또는 베이스전류로 되도록 PWM제어에 의해 정전류특성으로 제어한다. 그림 4에 용접기의 전류파형의 순시제어의 알고리즘을 나타낸다.

출력전류와 전압을 귀환하여 펄스기간과 다음펄스기간사이의 1주기의 평균전류를 계산해서 미리 설정된 전압-전류 관계에서 전압지령치를 구한다. 또한, 전류와 동시에 1주기당 전압평균치를 계산해서 (k-1)시점의 전압지령치와의 오차를 구하여, 이 편차를 DSP로 구성한 디지털 콘트롤러에 입력해서 그 결과로서 다음베이스시간 T_b 를 결정한다. 이렇게하여 1주기마다 베이스시간 T_b 를 제어하는 것으로, 전원의 출력 귀환제어를 하고있다. 이 때문에 과도응답성이 우수한 제어가 가능하다.

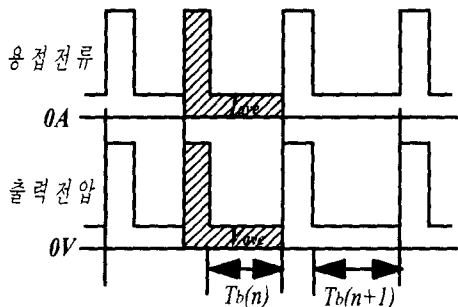


그림 4 출력 파형의 순시제어
Fig. 4 Instantaneous control of output waveform

3.3 단락전류 파형제어

단락전류 파형제어의 방법은 펄스MAG 용접에서 저전압으로 하였을 때 자주 발생하는 단락을 처리하는 방법으로 하나의 펄스 파형이 끝나고 다음 펄스 이전에 단락이 일어나면 이것을 검출하여 바로 새로운 펄스를 만들도록 한다. 그러나, 전류와 전압이 완전히 베이스 값까지 떨어지지 않은 시점에서 단락이 일어나면 전류를 바로 상승시켜서 단락이 행을 마무리 지은 후에 베이스 전류로 옮겨가도록 하여 정상적인 새로운 펄스 파형이 시작되도록 한다.

장기단락이 발생한 경우는 비교적 긴시간 아크불안정이 계속되어 중대한 용접결함의 원인으로 된다. 따라서 단락이 발생하면 일정시간동안 전류를 그대로 유지하다가, 즉시로 상승률이 큰 단락전류를 흘려, 비교적 짧은 시간에 단락을 해소하여 장기단락에 의한 아크불안정을 해소하는 제어를 한다.

4. 펄스MAG 용접전원장치

4.1 위상전이 영전압 스위칭 DC-DC 컨버터적용 용접전원

4.1.1 아크 용접전원

아크 용접전원은 일반적으로 저압대전류 출력이고, 용접작업의 안정성을 확보하고 용접부하를 적절한 전압으로 변환하기 위해 절연변압기를 사용하고 있으며, 광범위한 출력전류 조정범위와 고속응답성이 필요하다.

용접전원에 있어서의 부하인 용접아크는, 부하개방에서 단락까지 광범위하고 또한 빈번하게 반복하는 변동이 극심한 부하이므로 이러한 부하를 고속 고정도로 제어하는 것이 용접전원에 과해진 과제이다.

용접전원에 대한 평가는 전기적특성과 함께 용접성능이 중요시된다. 특히, 아크의 스타트성, 용접아크의 안정성, 용접비드의 마무리와, 용접속도등이 평가항목으로 되고 용접전원의 전기적특성과 밀접하게 관계된다.

4.1.2 주회로부의 동작원리

전통적인 풀 브리지 컨버터(full bridge converter)는 그림 5와 같이 대각선에 존재하는 스위칭쌍(Q1과 Q2 또는 Q3와 Q4)이 동시에 온·오프(on·off)를 하여 에너지를 2차로 전달한다. 이 동작에서 발생하는 중요한 문제점은 모든 네 개의 스위치가 모두 오프인 경우에 변압기의 누설인덕턴스(leakage inductance)내에 저장된 에너지는 흘러갈 통로가 없어, 스위치의 접합 커패시턴스(capacitance)성분과 심각한 기생진동(ringing)을 일으키며 소자에 스트레스를 가중시킨다. 따라서 스너버(snubber)를 필요로 한다. 이러한 기생진동을 최소화하기 위해 스위칭소자의 턴·온(turn·on)에 앞서 스위칭소자 전압을 영(Zero)으로 감소시키기 위해 전류, 전압 파형을 제어할 필요성이 있다. 이는 스위칭소자가 턴·온할 때 소자의 순시전압 또는 전류파형이 서로 중복되어 나타나지 않는 영전압 스위칭(ZVS) 동작 모드를 만들기 위함이다. 이러한 ZVS 동작을 이루기 위해서는 일반적인 하드스위칭(hard switching) PWM(pulse width modulation) 컨버터와 비교할 때 부가적인 회로가 필요하다. 본 연구에서는 용접 전원으로서는 기존 하드스위칭 PWM 컨버터로부

터 위상전이(phase-shift) 제어를 사용한 풀 브리지 컨버터를 이용한다.

위상전이 영전압 스위칭 풀 브리지 DC-DC 컨버터는 그림 5에 나타낸 바와 같이 안정한 영전압 스위칭 동작영역을 확보하기 위해 Q2와 Q4에 대한 게이트신호가 Q1과 Q3에 대하여 위상전이되게 제어함으로써, 2차측 전압이 영인 시간 간격동안 1차측 스위칭중 하나가 항상 도통되게 제어한다. 이는 고주파 변압기(TR)의 누설인덕턴스(L)와 스위칭소자의 기생출력 캐패시턴스(CP)와의 기생진동문제를 해결할 수 있도록 누설인덕턴스(L)에 따른 전류를 순환시키기 위한 저임피던스 경로를 제공시켜준다. 이것은, 환류기간동안(t1-t3) 변압기 TR 1차측 순환전류가 스위칭소자 Q3의 역병렬 다이오드 D3, 변압기 TR, 스위칭소자 Q2를 통해 순환되고, 환류기간동안(t6-t8) 변압기 TR 1차측 순환전류가 스위칭소자 Q1의 본체다이오드 D1, 변압기 TR, 스위칭소자 Q4를 통해 순환하게 함으로써 저 임피던스경로를 제공하는 것이다. 위상전이 PWM 동작에 따라 종래의 용접전원에 적용된 하드 스위칭 PWM 제어 풀 브리지 컨버터와 관련된 스위칭시 기생진동 및 스위칭손실 문제를 해결할 수 있다.

또한, 그림 5(b)의 t1시점에서 스위치 Q1이 개방되었을 때 전류(누설분전류)는 같은 각에 있는 스위치 Q3의 역병렬 다이오드 D3가 도전하기 시작할 때까지 스위치 Q1의 기생 캐패시턴스 Cp를 충전하면서 전류한다. 즉, Q1의 역병렬 다이오드가 통전했을 때 Q3는 영전압 스위칭 조건에서 턴·온, 턴·오프 될 수 있는 특징을 갖고 있다. 따라서, 영전압 스위칭은 단지 누설인덕턴스 L에 축적된 에너지가 스위칭소자의 기생출력 캐패시턴스 CP와 고주파 변압기에 존재하는 기생 캐패시턴스 CPT에 축적된 에너지보다 크거나 같다면 모든 스위치에 대하여 영전압 스위칭을 이룰 수 있다. 이에 대하여 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$E = \frac{1}{2} L I_1^2 \geq \frac{4}{3} C_P V_{in}^2 + \frac{1}{2} C_{PT} V_{in}^2 \quad (1)$$

결과적으로 안정한 영전압 스위칭 동작영역을 확보하기 위해 DC-DC 컨버터의 고주파 변압기 누설 인덕턴스(L)를 증가시키거나 또는 고주파 변압기(TR)와 직렬로 인덕터(Lr)를 삽입하는 방법이 주로 사용되고 있다.

4.1.3 구간별 동작모드 해석

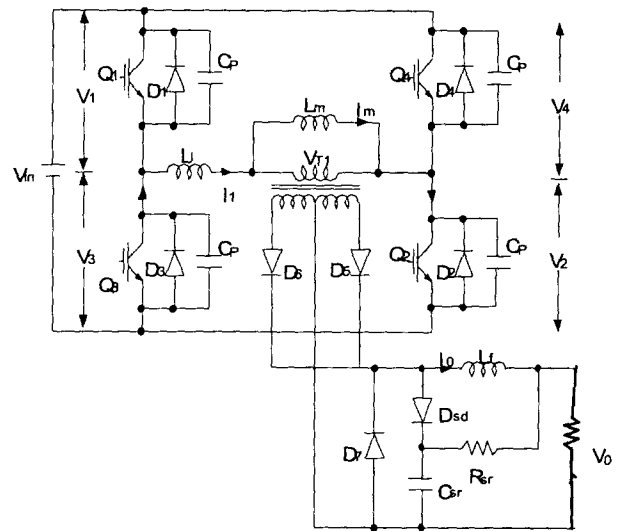
영전압 스위칭 풀 브리지 PWM 컨버터의 동작 모드는 각 스위치의 온·오프 동작패턴에 따라서 6가지 모드로 나뉘어진다.

1) 에너지 전달 : Q1 = On, Q2 = On

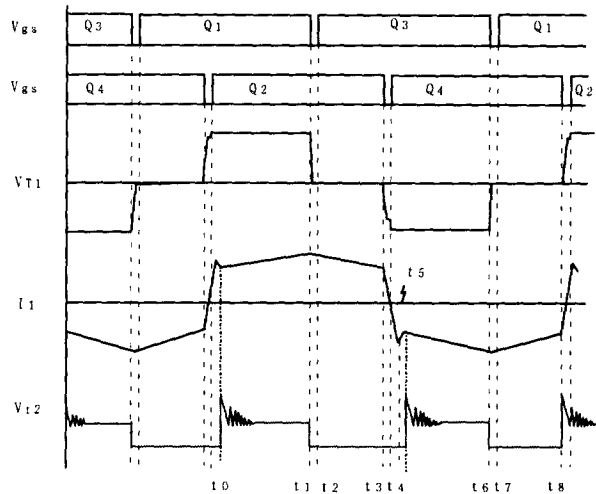
대각선 방향의 두 스위치가 온되어 1차측에 흐르는 전류가 2차측으로 에너지를 전달하며, 1차측 전류 I1에 의하여 변압기의 누설인덕턴스 L1 및 오프된 스위치의 접합 커패시턴스에는 에너지가 저장된다.

2) Left Leg Transition : Q1 = Off, Q2 = On

Q2가 오프되어도 L1 때문에 I1은 거의 일정하게 유지되며, Q1의 접합 커패시턴스로 흘러서 데드타임(Dead-time) 시간내에 0 [V]에서 +Vin[V]까지 충전시키며, 반면에 변압기의 커패시턴스와 Q3의 접합 커패시턴스에는 +Vin[V]에서 0[V]까지 방전한다.



(a) Full-Bridge 컨버터



(b) Phase-Shifted ZVS FB DC-DC 컨버터의 각부 파형

그림 5 위상전이 ZVS FB DC-DC 컨버터의 주회로 및 각부 파형
Fig. 5 Main circuit and each waveform of phase shift ZVS FB DC-DCconverter

3) Clamped Freewheeling Interval : Q2 = On, Q3 = On, D4 = On
일단 2)번의 과정이 끝나면 1차측 전류는 Q2와 Q3의 내부다이오드 D3를 통하여 환류하여 Q3의 콜렉터-에미터간에 걸리는 전압을 0으로 하여 다음 과정까지 이 전류는 일정하게 유지되며, 스위치 Q3는 0[V]에서 손실없이 전류한다.

4) Right Leg Transition : Q3 = On, Q2 = Off, D4 = On

3)번의 과정에서 남은 전류는 손실들 때문에 조금 작아지지만 변압기의 1차에서 계속 흐르는데, 이미 Q3는 온상태이고, Q2가 오프하면, 1차측 순환전류는 Q4의 접합 커패시턴스 에너지를 +Vin[V]에서 0[V]까지 방전시키고, Q2의 접합커패시턴스 에너지를 0[V]에서 +Vin[V]까지 충전시킨다. Q4의 내부다이오드 D4를 온시키며, Q4의 콜렉터-에미터간에 걸리는 전압을 0[V]로 유지시키며, Q4는 0[V]에서 전류한다.

5) Power Transfer Interval : Q3 = On, Q4 = On

이 구간 동안 전류는 입력 전압 +Vin[V]과 L1에 의하여 정해지는 기울기로 상승하며, 에너지의 전달량은 +Vin, Vout, L1, N 등의 함수로 정해진다.

6) 스위치 OFF : Q3 = On, Q4 = Off

Q4가 오프해도 1차 전류는 계속해서 흐르게 되며 Q4의 집합 커패시턴스는 충전을 시작하면 반대로 Q2의 집합 커패시턴스는 방전을 시작한다. 즉 2차측으로의 에너지 전달이 급격히 차단되어도 1차측에 저임피던스 통로가 형성되어 2차측의 피크 전압의 발생을 상당히 억제한다.

4.2 DSP를 이용한 디지털 제어장치

박판의 고속용접을 위하여 출력의 신속한 응답이 요구되고, 또한 정밀한 용접전류파형제어가 필요하다. 제어요소가 많고 복잡하기 때문에 기존 아날로그방식으로는 구현하기가 어렵기 때문에 그림 6의 제어회로의 블록선도와 같은 알고리즘으로 DSP를 이용한 디지털 제어회로를 구성하였다. 기존의 마이크로프로세서를 이용한 용접전원에서는 시퀀스 제어나 제어기능의 일부만 디지털 제어하고 시스템의 속응성 때문에 전류제어나 PWM변조기는 아날로그회로로 구성하는 경우가 많다. 그러나 본 연구에서는 용접파형 제어와 인버터제어를 포함한 모든 제어 기능을 디지털 제어가 가능하도록 하여 시스템의 속응성 향상은 물론, 재현성과 유연성을 향상하였다.

본 연구에서 개발한 TMS320C32-50보드에서는 키보드부, 디스플레이를 위한 FND부, 용접전원의 전류, 전압을 계측하기 위한 A/D 변환부, 주변소자와 배선 수를 최소화하기 위해 EPLD부, 용접전원제어를 위한 조작부로 구성되어 있다.

EPLD에는 리셋,디코드,자연상태 발생기, 인터럽트 제어, A/D제어, D/A제어, FB DC-DC 컨버터를 제어하기 위한 위상전이된 신호와 데드타임등 시스템 전체를 제어하는 로직이 설계되어 있다. 주 회로와 제어 회로 사이에 나타나는 절연과 스위칭잡음 등을 해결하기 위해 외부 신호와의 인터페이스는 전기적으로 절연이 되게 설계를 하였다.

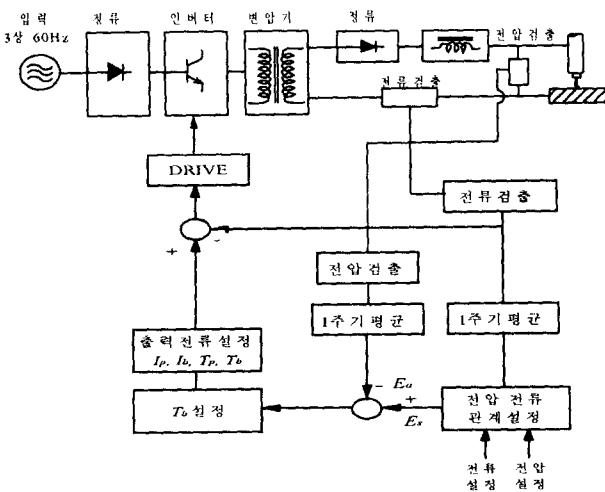


그림 6 펄스MAG 용접기의 제어블록선도

Fig. 6 Control block diagram of pulse MAG welding power source

5. 출력파형 및 용접특성 분석

용접전원의 특성분석을 위하여 두께 1.2mm 박판에 대하여 표 1과 같이 제어변수를 변화하여 고속용접을 실시하여 출력파형과 용접비드를 분석하였다.

표 1 제어변수의 변화

Table 1 Variation of parameter

제어 변수	범 위
펄스전류 Ip	420A ~ 460A
펄스시간 Tp	1.5ms ~ 2.1ms
상승시간 Tup	0.1ms ~ 1.2ms
하강시간 Tdw	0.1ms ~ 1.2ms
베이스전류 Ib	20A ~ 110A (설정전류에 따라 일정)
베이스시간 Tb	가 변

5.1 출력파형 특성

용접시의 출력전류, 출력전압을 아크모니터링 시스템(WAM2000N, MONITECH KOREA)으로 관찰한 결과를 그림7~그림9에 나타내고 있다. 그림은 각각 용접전류(평균치) 50A, 200A, 350A일때 0.1초동안의 출력파형이며, 저전류영역에서도 안정적인 펄스파형이 얻어지며 용적이행이 원활하게 되고 있음을 알 수 있다.

용접기 출력은 정전류특성으로 제어하기 때문에 전류파형은 매우 균일한 형상으로 되어 있지만 전압파형은 상당히 불규칙적인 것을 볼 수 있다. 즉 아크길이가 달라져도 펄스 전류와 베이스전류는 일정한 값을 유지하게된다.

그림 10은 용접전류 200A일때 펄스의 상승과 하강을 급준하게 했을 때와 완만하게 했을 때의 0.2초동안의 출력파형이다. 그림에서와 같이 상승과 하강이 급준할때는 1펄스 1용적이행이 원활하게 되어 단락현상이 관찰되지 않지만 파형이 완만할 때는 3회의 단락현상이 관찰되고 있으며, 단락은 상승 하강시간에 발생하고 있다. 따라서 이기간에서의 단락발생을 줄이기 위해서는 상승과 하강시간을 급준하게 할 필요가 있다.

그림 11~그림 13은 단락발생시 단락전류제어 파형이다. 그림 11은 베이스시간중 단락이 발생하여 베이스 시간중에 단락이 해소된 경우의 파형이며 펄스MAG 용접에서 단락이 발생하는 대부분의 경우에 해당한다. 전류를 급격히 상승시켜 신속하게 단락을 해소하는 제어를 하는 것을 알 수 있다. 그림 12는 펄스시간에 단락이 발생한 경우이며, 이경우는 전류가 높기 때문에 안정된 고속용접을 하기 위해서는 최단시간내에 단락을 해소하는 것이 중요하다. 그림 13은 하강시간에 단락이 발생하여 전류를 바로 상승시켜 단락을 해소시킨후 베이스전류로 옮겨가도록 하여 정상적인 새로운 펄스파형을 시작하도록 제어하고 있다. 단락파형의 제어는 하나의 펄스파형이 끝나고 단락이 발생하면 이것을 검지하여 즉시 새로운 펄스를 만드는 제어와 고속용접시 아크의 안정화를 위하여 장기단락을 방지하기위한 제어를 하고 있음을 알 수 있다.

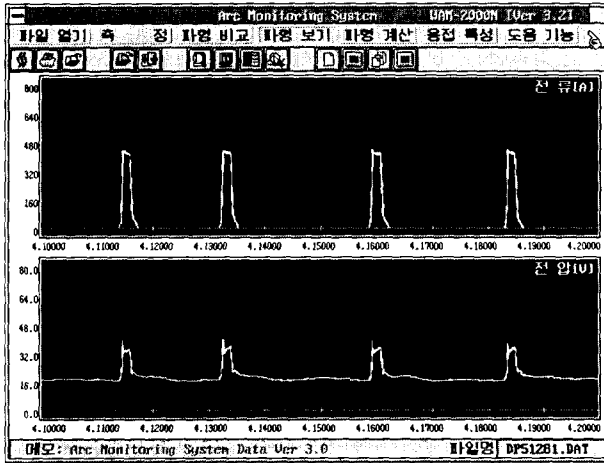
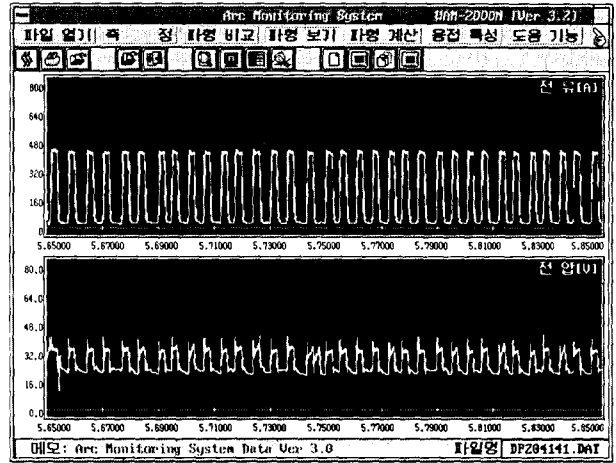


그림 7 용접전류 50A 일때 출력파형(상:전류, 하:전압)
Fig. 7 Output waveform at welding current 50A



(a) 상승·하강시간이 금준할때

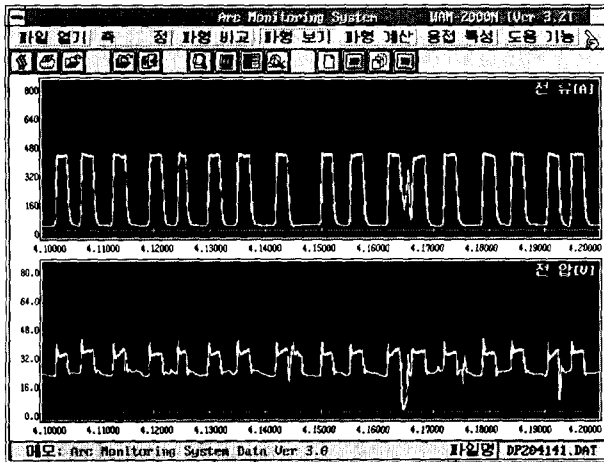
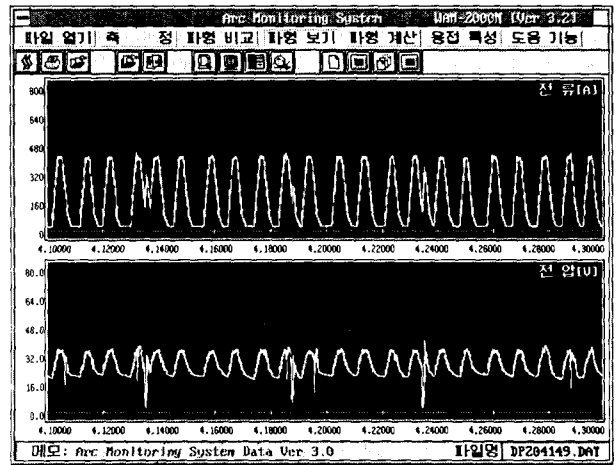


그림 8 용접전류 200A 일때 출력파형(상:전압, 하:전류)
Fig. 8 Output waveform at welding current 200A



(b) 상승·하강시간이 완만할 때

그림 10 상승·하강시간의 변화에 따른 출력파형
Fig. 10 Output waveform with rising and falling time variation

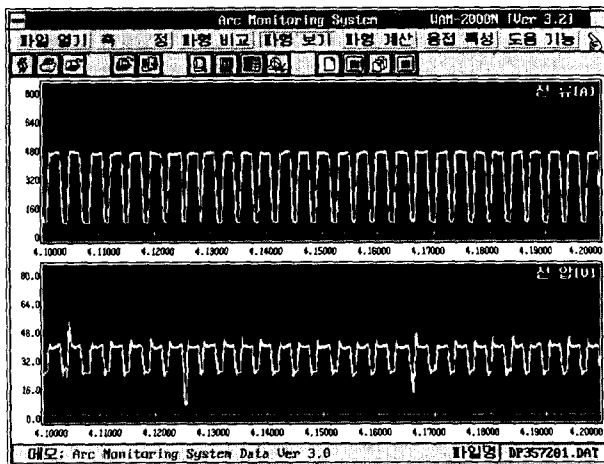


그림 9 용접전류 350A 일때 출력파형(상:전압, 하:전류)
Fig. 9 Output waveform at welding current 350A

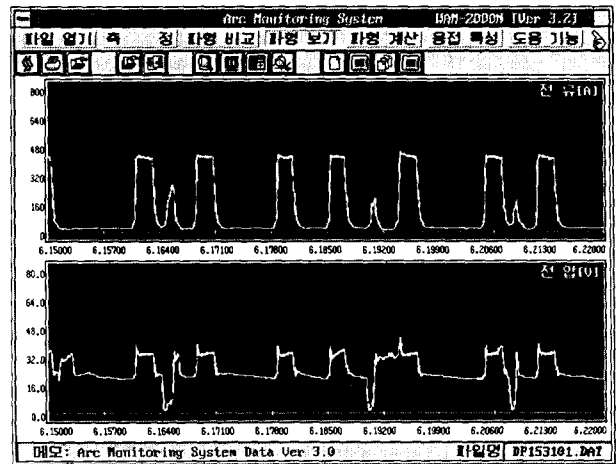


그림 11 베이스시간에서 단락발생과 제어(상:전류, 하:전압)
Fig. 11 Short circuit generation and control at base time

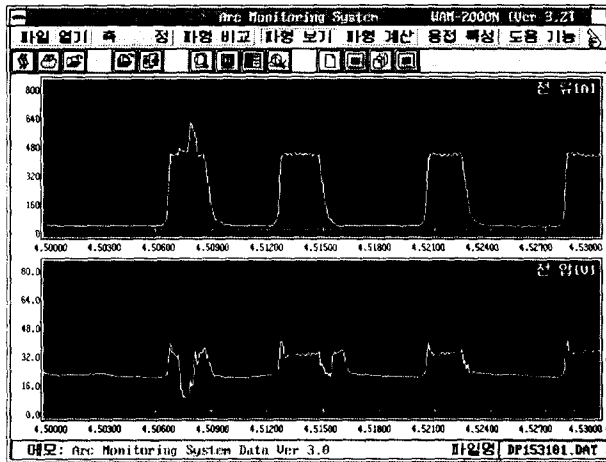


그림 12 펄스시간에서 단락발생과 제어(상:전류, 하:전압)
Fig. 12 Short circuit generation and control at pulse time

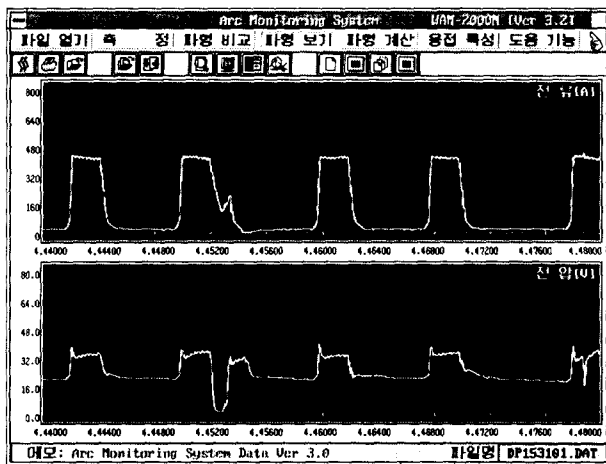


그림 13 하강시간에서 단락발생과 제어(상:전류, 하:전압)
Fig. 13 Short circuit generation and control at falling time

5.2 용접 비드 특성

고속 펄스용접을 실시하기 위하여 고속 주행대차를 활용하여 자동용접을 실시하였다. 용접후의 용접속도에 따른 박판에서 용접전류, 전압을 변화시켜가며 용접을 행함과 동시에 펄스 파형을 모니터링(WAM2000N MONITECH KOREA)하여 용접현상을 관찰하고, 스패터를 채취하였다.

그림 14는 펄스전류(I_p)와 펄스시간(T_p)를 각각 420A 2.1ms, 460A 1.5ms로 했을때 용접비드를 나타내고있다. 어느경우나 미려한 비드가 얻어지고 있으나, $I_p=420$ A일때는 비드주위에 스패터가 흰 흔적이 발견되고 있으며, $I_p=460$ A 일때 강한 아크력으로 인하여 비드가 넓어지는 부분이 발생하고 있다. 그림 15는 설정전류 110A, 350A 일때의 비드형상으로, 110A일때는 전압이 20V일때 비드외관이 중간 부분부터는 균일하다.

설정전류 350A일때의 비드형상은 전압 27V일때는 균일한 비드를 형성하고, 비드외관이 양호하다. 비드외관이 양호한 경우 전압과 전류파형은 안정적으로 되며, 이는 순시파형제

어가 잘되어 1펄스 1용적이행이 원활하게 이루어지고 있음을 알 수 있다. 용접중 발생하는 스패터량은 최대 약 1.8g/min으로 기존의 인버터 용접기의 2~5g/min에 비하여 전체적으로 낮은 스패터 발생량을 보이고 있다. 이는 펄스 MAG용접전원에서 1펄스1용적이행이 되도록 파형제어가 잘 이루어지고, 단락의 발생이 적으며 단락이 발생하더라도 신속한 제어에 의해 스패터의 발생이 줄어들고 있음을 나타낸다.



(a) $I_p=420$ A, $T_p=2.1$ msec.에서의 비드 형상

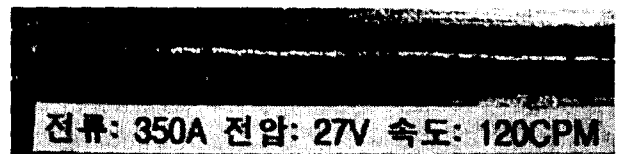


(b) $I_p=460$ A, $T_p=1.5$ msec.에서의 비드 형상

그림 14 펄스전류변화에 따른 비드형상
Fig. 14 Bead states with variable pulse current



(a) 용접전류 110A(전압 20 V)



(b) 용접전류 350A(전압 27V)

그림 15 용접비드
Fig. 15 Bead states

6. 결 론

박판용접의 고속화와 고성능화를 위하여 펄스MAG용접전원의 출력파형 제어에 관한 연구를 수행하였다. 주회로는 위상전이 영전압 스위칭 풀 브리지 컨버터(phase shift ZVS FB converter)방식으로 하고 스위칭소자는 IGBT를 사용하여 손실경감과 고속으로 안정한 출력제어가 가능하게 했고, DSP TMS320C32-50을 이용해서 전원의 제어회로를 디지털화하여 정밀하고 신속한 용접전류 파형제어가 가능하게 하였다. 종래의 용접전원의 디지털제어기가 일부제어기능만

디지털화하고, 시스템 속응성 때문에 전류제어기나 PWM 제어부는 아날로그회로로 구성하였으나, 본제어기에서는 PWM제어까지 포함하여 전기능을 DSP를 이용하여 디지털 제어 가능하도록 하였다.

두께1.2mm의 박판에 고속용접을 실시하여 용접후 비드의 관을 관찰하고 용접전류 전압파형을 모니터링하여 파형 제어효과와 용접현상을 분석하였다. 용접전류 파형은 기본적으로 펄스전류(Ip)는 450A로 하고 베이스전류(Ib)는 설정전류에 따라 일정치로 하고 상승시간과 하강시간은 급준하게 설정하는 것이 안정한 동작이 가능함을 확인하였다. 100A이하의 소전류 영역에서도 신속하고 정밀한 용접전류 파형제어에 의해 안정한 동작이 가능하였고, 250A이상의 대전류영역에서도 깨끗한 비드외관이 얻어졌으며, 또한 단락파형의 제어에 의하여 스파터의 발생량도 기존의 용접기에 비해 현저히 감소되는 것을 확인하였다. 따라서 정밀한 용접파형제어의해 1펄스1용적이행이 가능함을 알 수 있다. 이상의 연구결과를 바탕으로 용접전류의 각 제어변수를 용접조건마다 최적화 하는 연구가 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] 山本, 原田, 安田 "インバータ制御パルスマグ溶接機の新電流波形制御と高速溶接におけるスパッタの低減" 溶接技術 pp.67~76. 1989.2
- [2] Hideyuki Yamamoto "Recent Advance in Inverter Controlled Arc Welding Power Source and their Application" 溶接學會誌 第58卷 第4号 pp.56~63. 1989
- [3] Hideyuki Yamamoto "Arc Welding Phenomena and Welding Power Source" 溶接學會誌 第110卷 第6号 pp.473~481. 1997
- [4] Akihiko Thodu, Tokuji Mauyamu "Features of Arc Welding of Thin Plates with various Welding Process" 溶接學會誌 第57卷 第3号 pp.38~44. 1988
- [5] 구헌회, 변영복, 조상명, 이현우 "Pulse MAG용접용 전원의 출력파형제어" 대한전기학회 하계학술대회 논문집 vol. F. pp.2118~2120. 1998.7

저 자 소 개



구 헌 회 (具憲會)

1953년 4월 3일 생. 1978년 부산대 전기공학과 졸업. 1983년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1977년~1979년 쌍용전기공업(주) 설계부. 1984년~1998년 한국전기연구소 전력전자연구부. 현재 경남대 대학원 전기공학과 강사

E-mail : hhkoo@mail.swgapt3.co.kr



김 태 진 (金泰鎭)

1968년 8월 29일 생. 1994년 부산대 전기공학과 졸업. 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년~1996년 일본 오사카대학 초전도연구센터 교환학생. 1997년~현재 한국전기연구소 전력전자연구부 연구원

E-mail : tjkim@keri.re.kr



김 준 홍 (金峻弘)

1960년 2월 7일 생. 1987년 부경대 전기공학과 졸업. 1991년 경남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 박사과정 수료. 1987년~1997년 한국전기학회 부원장. 현재 동명대학 전기과 겸임교수

E-mail : kjh4868@cjdream.net

이 현 우 (李鉉雨)

전기학회 논문지 제48B권 제4호 참조
Tel : (0551)249-2635, Fax : (0551)248-2228
E-mail : lhwoo@hanma.kyungnam.ac.kr



조 상 명 (趙相明)

1955년 2월 15일 생. 1977년 한국해양대 졸업. 1988년 일본 오사카대학 용접공학과 졸업(공학박). 1992년 한국해양수산연수원 교수부 조교수. 1993년 일본 오사카대학 용접공학연구소 객원교수. 1993년~현재 현 부경대 재료공학부 생산가공공학전공 부교수

E-mail : pnwcho@pine.pknu.ac.kr