

**펄스MAG방식의 350A급 고속박판용접기의 개발과 용접성 평가**

김태진\* 김은수\* 변영복\* 구현희\* 김선희\*\* 조상명\*\* 이현수\*\*\*  
 \*한국전기연구소 \*\*부경대 \*\*\*세일기전

**Development of High speed Pulsed MAG Welder and the Evaluation of Weldability**

T.J.Kim\* E.S.Kim\* Y.B.Byun\* H.H.Goo\* S.H.Kim\*\* S.M.Cho\*\* H.S.Lee\*\*\*  
 \*KERI \*\*Pukyong Nat. Univ. \*\*\*Sell Electrons Co.LTD.

**Abstract -**

In CO<sub>2</sub> arc welding, which is generally used for steel panel of chassis parts, spatters cause many troubles.

This paper represents the pulse MAG arc welding to limit spatter generation, which is controlled output current instantaneously. And the system designed in this paper is the digital controller using DSP.

**1. 서 론**

최근, 아크용접의 자동화, 로봇화가 강력하게 추진되는 등, 용접전원에 있어서 용접품질과 작업성의 향상이 한층 요구되고 있다. 특히, 제조라인의 생산성을 향상시키기 위한 용접의 고속화는 더욱 중요하다. 재현성이 좋고, 안정한 고속용접이 가능한 용접전원의 출현이 기대되고 있다.

용접의 고속화에 있어서는 인버터의 고속제어성을 활용한 새로운 전류파형제어에 의한 CO<sub>2</sub>가스, MAG(Metal Active Gas)가스 용접전원의 적용이 용이해져, 어느 정도 안정된 고속용접이 이루어 졌다. 그러나, 이런 종래의 용접법에서 용접속도를 증가시키는 경우는 아크전압을 낮추어 아크길이를 짧게 제어하여야 하고 이로 인하여 다량의 스파터가 발생하여, 피 용적물, 용접도치, 각종 센서등에 붙어서 여러 가지의 문제를 야기시키는 원인이 되었다.

이런 고속용접시의 스파터 저감을 위한 용접와이어, 실드 가스등 용접재료면에서도 접근하고 있지만, 근본적으로 기존의 CO<sub>2</sub>가스 및 MAG용접에서는 용적이행시에 단락을 수반하여 스파터 저감에는 한계를 가진다. 이에 펄스MAG방식에 의한 용접의 고속화와 스파터 저감이 가능하다. 또한, 스파터 발생을 최소화하기 위하여 복잡한 제어 알고리즘, 제어의 고속성 및 다양한 용접환경에 따라 선택되는 여러 조건을 만족하기 위한 Digital Processor의 도입이 요구되고 있다.

본 논문에서는 DSP를 적용한 풀 디지털제어방식으로 위상전압이 고주파 폴브리지 방식을 채택, 용접시 출력전압 및 출력전류를 검출하여 용접상태를 판단 이를 순시 출력제어함으로써, 안정된 아크를 유지하여 용접품질을 개선하였다. 특히, 박판 고속용접시에도 낮은 아크전압을 유지하면서 용접품질의 안정, 비드외관의 우수성, 아크의 안정성, 스파터 억제등의 특성을 가지는 펄스MAG 방식의 용접전원 및 파형제어를 구현하였다. [1~4]

**2. 박판고속 제어 알고리즘**

**2.1 1펄스 1드롭 알고리즘**

그림 2.1는 1펄스1드롭이행의 펄스 전류 파형이고, 그림 2.2는 용적이 와이어의 선단에서 이탈되는 펄스피크전류와 피크시간의 영역을 사선영역으로 표시하고 있다. 그림2.2에서 보는 바와 같이 너무 높은 펄스전류,

단기간조건인 펄스용접조건이 되면, 이와 함께 아크력도 증대되어 모재 용융시 표면을 녹아 내려서 험핑비드가 생기게 된다. 따라서, 펄스조건인 설정은 험핑비드가 생기지 않는 한계치 이하에서 피크전류I<sub>p</sub>를 설정하도록 한다. 또, 이는 1펄스1드롭 용적영역에서 최단의 피크시간T<sub>p</sub>를 정하여 용적입자를 작게 하여 스파터 발생을 최대한 억제시킬 수 있다.

또, 펄스의 상승시간T<sub>up</sub>과 하강시간T<sub>dw</sub>은 피크전류에 비하여 편차력이 약해서 용적의 세립화의 원인으로서는 거의 무시한다. 그러나 고 능률화를 피하기 위하여 단위시간당 와이어의 송급량을 증가시키려면 단위시간당 펄스수를 증가시켜야 한다. 즉, 베이스 전류시간T<sub>b</sub>는 짧아야 한다. 이 때 용적과 용적사이의 스파터 발생을 방지하기 위하여 보다 빠르게 펄스전류의 상승 및 하강이 요구된다.

또, 아크스타트의 향상을 위해 최초 아크스타트시 이동전류를, 본 용접시의 펄스전류 피크 치보다 높은 전류 I<sub>p</sub>로 일정 시간T<sub>p</sub>동안 아크 기동시 높은 에너지를 전달함으로써 아크스타트의 성공률을 높였다.

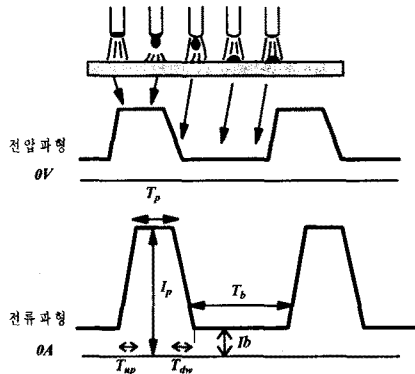


그림 2.1 1펄스 1드롭 이행의 펄스전류 파형

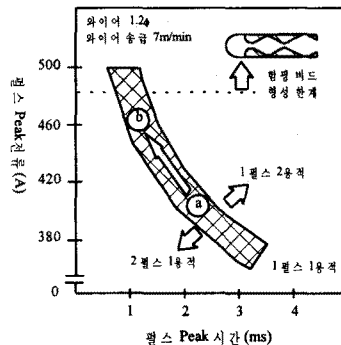


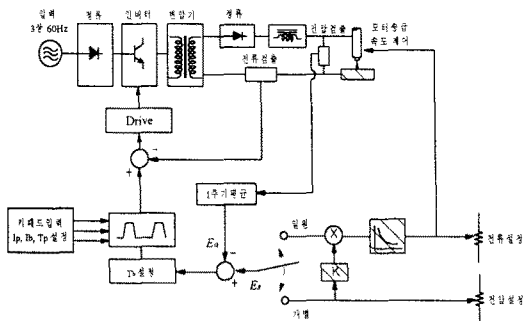
그림 2.2 펄스전류파형의 최적화

## 2.2 순시출력 전류제어

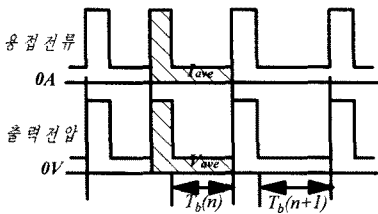
순시 출력전류 제어방식에 의한 파형 제어기법은 단락 이행과정에서 발생하는 스파터를 최소화하기 위하여 용접전원장치의 출력전류를 직접제어 하는 방식이다.

이러한 제어방식은 단락이행시의 출력전류를 순시적으로 제어하기 위하여 용접기의 출력전압을 센싱하여 아크와 단락상태를 판별하고 이에 따라 DSP를 이용한 디지털 제어기로부터 적절한 기준전류신호를 출력하고, 인버터제어를 통하여 실제 용접기 출력전류가 기준전류 파형을 추종하도록 제어하는 방식이다. 그림 2.3은 순시 출력전류 제어 알고리즘과 출력전압 및 출력전류 파형이다.

개별제어의 경우, 순시적으로 펄스방식의 정전류 제어를 하면서, 출력전류의 펄스기간사이의 1주기의 평균전압을 계산하여 와이어 송급 장치로부터 읽어들인 지령전압과 비교하여 오차를 PI 제어함으로써 평균전압, 즉 용접현상에서의 아크길이가 신속히 제어된다. 이는 용접중의 비드의 외관이 좋아지고 아크의 끊김 및 단락횟수가 감소하는 요인이 된다. 또, 일원제어의 경우는 개별제어의 경우와 동일하지만, 내부지령전압은 지령전류에 따라 결정되고, 이에 따라 결정된 출력전압은 와이어 송급 장치로부터 읽어들인 전압에 상수K를 곱함으로써 미세 조정기능을 가진다. 또, 아크스타트시 아크스타트 향상을 위하여 본 용접시 보다 많은 입열량이 필요하여 약15ms 동안 연속적으로 펄스전류를 주고 다음 2주기 동안 베이스시간을 고정된 이후 베이스시간을 PI control하여 보다 높은 아크스타트 성공을 꾀하였다.



a) 펄스마그용접의 제어 알고리즘



b) 출력전압 및 전류파형

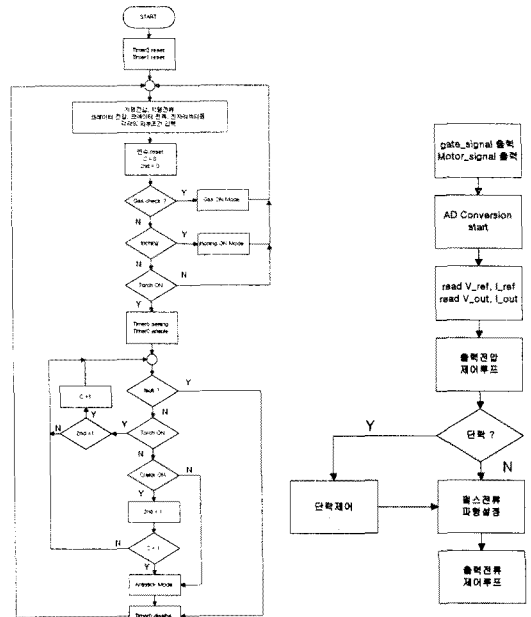
그림 2.3 펄스마그용접의 순시출력전류 파형제어

## 2.3 단락파형제어

박판에 고속용접을 위하여 출력전압 즉, 아크길이를 짧게 하면 펄스 전류 파형을 제어함에도 불구하고 단락 현상이 불가피하다. 특히, 저 전류 영역에서는 베이스간이 길어짐에 따라 단락이 빈번히 발생하고 이때 발생하는 스파터량은 용접성능을 좌우하는 중요한 요인이다. 본 연구개발과제에서는 매 출력펄스전류주기마다 읽어들인 출력전압에서 단락을 판별하고, 단락기간을 베이스전류 구간과 피크전류구간으로 나뉘어 각각 해당 전류지령치로 출력전류를 제어하고 단락해소시 다시 이전구간으로 복귀하도록 했다.

## 2.4 용접전원장치의 sequence제어

그림 2.4는 용접전원장치의 Sequence로 메인루프 및 Timer0 인터럽트에서의 각각 플로우차트이다.



a) Main Loop

b) Timer0 Interrupt Loop

그림 2.4 용접기 Flow Chart

## 3. 실험결과

그림 3.1과 그림 3.2는 본 연구에서 제안한 용접알고리즘을 적용한 경우 용접비드, 설정평균전류를 130A와 350A인 경우 출력전압과 출력전류를 각각 표시하였다. 표1은 본 용접기에 적용한 주회로의 회로 정수이다. 그림 3.3은 아크스타트향상을 위하여 아크점호시의 15ms 동안 연속펄스를 주고 있음을 알 수 있다.

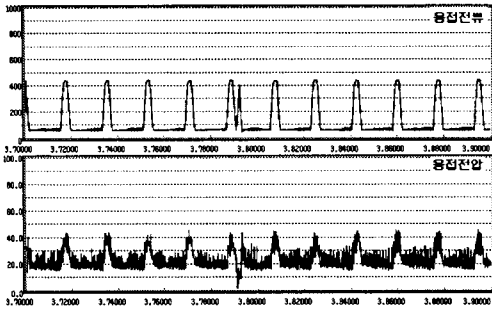
### 3.1 사용재료 및 실험 방법

- 1) 용접법 : 펄스마그
- 2) 용접기 : 신규 개발 펄스마그용접기
- 3) 와이어 : solid wire ZO27(스프레이 이행용)의  $\phi 1.2\text{mm}$
- 4) 용접모재: 박판 연강(두께1.2mm, 폭20mm, 길이300mm), 후판 연강(두께6mm, 폭50mm, 길이200mm)
- 5) 실드가스: Ar80%+CO<sub>2</sub>20%혼합가스, 20~25 l/min
- 6) 용접 속도 : 후판 120cm/min, 박판 150cm/min
- 7) 토치 각도: 작업각, 진행각 모두 수직
- 8) 용접자세 : 아래보기 자세, 비드온플레이트용접
- 9) 스파터 포집기: WES규격의 스파터 포집기 이용 (0.1mg까지 무게 측정)

### 3.2 실험결과



a) 용접비드



b) 출력전압 및 출력전류파형(100A/div, 10V/div)  
그림 3.1 평균전류 및 전압 130A, 21V 설정시

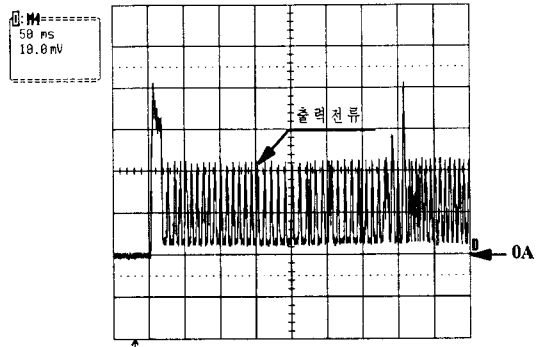
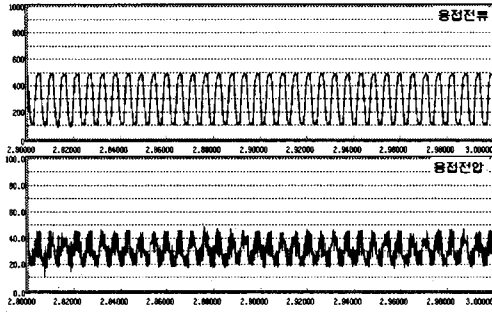


그림 3.3 기동시 출력전류(200A/div)



a) 용접비드



b) 출력전압 및 출력전류파형(100A/div, 10V/div)  
그림 3.2 평균전류 및 전압 350A, 27V 설정시

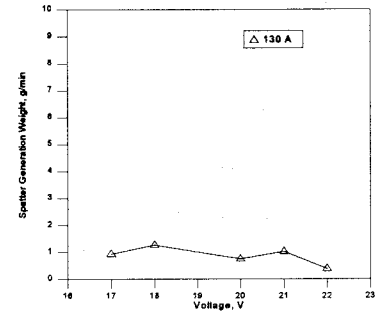


그림 3.4 130A에서 출력전압에 대한 스패터량

### 3. 결 론

최근 생산성 향상을 위하여 자동차 산업, 전기기기 산업의 부품조립, 철제가구나 금속 장식품의 조립과 같이 대량 생산품에 박판 고속 용접이 적용되고 있다. 박판용접의 고성능화를 위해서 용접작업성이 우수하고, 용락이 방지될 수 있어야 하고, 스패터가 소립자로서 적게 발생하며, 저전압에서 아크안전성이 우수하여야 하고, 대전류 고속 용접시에도 용접 품질의 안정, 비드외관의 우수성, 아크안전성, 스패터 억제 등의 특성이 요구되고 있다. 본 연구에서 얻은 구체적인 연구결과를 기술하면 다음과 같다.

- 1) 박판고속 용접기의 출력전압 및 전류의 고속 제어를 위한 TMS320C32 DSP 디지털제어보드 설계제작과 Phase shift 고주파 풀 브리지 방식의 용접전원장치를 개발하였다.
- 2) 펄스 MAG 용접시에 발생하는 용접현상으로 아크 개시 특성, 단락이행 특성 및 1펄스 1드롭이행에 관한 알고리즘에 대한 해석 및 이를 구현하여 실험적으로 증명하였다.
- 3) 펄스 MAG 용접기를 적용하여 두께 1.2mm의 연강 박판에서 용접속도 150cm/min의 조건으로 용접하였을 때 우수한 비드외관을 얻을 수 있었다.
- 4) 펄스 MAG 용접기는 전체적으로 1.5g/min이하의 스패터발생량을 보였다..

#### (참 고 문 헌)

- 1) J.F.Lancaster: The Physics of Welding, International Institute of Welding, Second Edition, 1985.
- 2) 寺本, 島田, 平本: 薄鋼板アーク溶接の實際, 産報出版, 1986
- 3) 日本溶接協會 溶接棒部會編: マグ, ミグ溶接の缺陷と防止對策, 産報出版, 1991
- 4) 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, 1989

표 1 주회로 구성

항 목	박판고속 용접전원장치
입력전압	AC 220V 3상
스위칭소자	IGBT 600V, 300A
스위칭주파수	20kHz
변압기	페라이트 코아 Eetype 2조 14 : 4
누설인덕턴스	4.5 $\mu$ H (20kHz)
블록킹 커패시턴스	20 $\mu$ F
출력전류	70A~350A
출력전압	16V~40V
출력단 다이오드	FRD 600V, 500A
입력단 전해 커패시터	2200 $\mu$ F, 400VDC
입력단 고주파 커패시터	50 $\mu$ F
데드타임	1.2 $\mu$ s
보호기능	출력보호(과전압, 과전류) 스위칭보호 (아암단락) 과열보호
출력단 인덕터	15 $\mu$ F(20kHz)