

GMA 용접 전원의 파형 제어기법 분석

김희진 · 이창한

Analysis of Waveform Control Technique Applied for GMA Welding Power Supplies

H. J. Kim and C. H. Lee



김희진/한국생산기술
연구원/1953년생/용
접재료개발 및 용접파
형 연구



이창한/명지대학교
및 한국생산기술연구
원/1974년생/용접파
형 연구

1. 서 론

1.1 파형 제어의 목적

인버터 제어기술이 용접전원에 도입되면서 기술적으로 가장 크게 진보한 분야가 바로 용접 전류 파형의 제어기술이다. 파형 제어의 목적은 여러가지가 있겠으나¹⁾, 최근까지도 계속 발전되고 있는 기술분야는 용접 스파터 발생과 관련하여 GMA용접전원에 적용되고 있는 파형 제어기술이다. 본 기술은 과도한 스파터 발생이 특히 문제가 되고 있는 CO₂용접전원에 적용됨으로써 용접자동화 및 생산성 향상에 크게 기여한 기술이 되었다.^{2,3)}

GMA용접전원에 있어서 파형 제어기술의 가장 중요한 목적은 출력전류파형을 적절히 제어함으로써 스파터 발생을 최소화 하고자 하는 것이다. 그런데 이러한 목적을 달성하기 위해서는 우선적으로 제어대상이 되는 파형이 있어야 하고, 다음으로는 파형 형상이 스파터 발생에 미치는 효과에 대한 개념이 정립되어 있어야 한다.⁴⁾

CO₂용접에 있어서 파형은 금속이행현상에 따라

현저한 차이를 보여주는데, 고전류측의 반발이행(repelled transfer)에서는 이행에 따른 파형의 변화가 매우 미약하여 제어하기가 어렵고, 파형과 스파터 발생의 상관관계가 명확하지도 않은 상황이다. 그러한 이유로, 반발이행에서는 스파터 저감을 위한 파형제어 개념 조차 정립되어 있지 않는 상황이다. 그러한 이유로, 반발 이행에서는 스파터 저감을 위한 파형제어 개념조차 정립되어 있지 않는 상황이다. 그러나 저전류측의 단락이행(short circuiting transfer)에서는 이행 특성상 파형의 순간적인 변화가 매우 클뿐만 아니라, 스파터 발생 현상이 이행특성과 밀접한 관계를 가지고 있어 발생 순간이 파형에 나타나 있다.

따라서 CO₂용접의 단락이행 파형은 제어대상으로써 매우 적합하기에 이를 제어함으로써 스파터 발생량을 절감시키고자 많은 연구 개발이 수행되었던 것이다. 그럼으로 지금까지 수행된 연구 개발의 제어 대상은 단락이행이며, 제어 목적은 스파터 발생을 최대한 억제하는 것이었다.

1.2 단락이행의 용접 전압 · 전류 파형

Fig. 1은 단락이행과정에서 나타나는 용접 전압과 전류의 전형적인 파형을 보여주고 있는데, 단

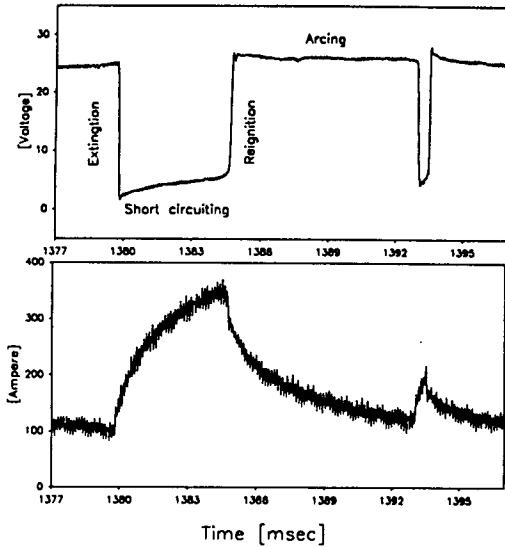


Fig. 1 Typical voltage and current waveforms of short circuiting transfer mode

락기간이 서로 상이한 2회의 단락이 연속되어 나타나고 있는 부분을 보여주고 있다. 그리고 본 파형은 어떠한 파형 제어기능도 가지고 있지 않은 인버터 전원으로 부터 얻어진 것이다. 따라서 본 파형은 단락이행이 진행되면서 나타나는 모든 아크 현상을 전기적 신호로 보여주고 있는 것이라고 할 수 있다.

단락이행은 금속이행현상중의 하나로써, 단락상태(short circuiting)와 아크상태(arcng)가 연속적으로 교차되면서 와이어 선단에 생성된 용적이 용융풀로 이동되는 금속이행 현상이다. 단락이행 과정을 보다 세분하면 4단계의 과정으로 구분할 수 있는데, 이들 각각의 파형에서 나타나는 위치를 Fig. 2에 표시하였다.

먼저 아크기간동안 와이어 선단에서 성장한 용적이 용융풀과 접촉하게 되면, 접촉되는 순간 아크는 소멸(extinction)되고, 용접 전압은 순간적으로 감소한다. 접촉이 이루어진 후에는 용적이 와이어와 용융풀 사이에 가교(bridge)를 형성하게 되는데, 가교가 형성되어 있는 기간을 단락상태(short circuiting)라고 한다. 단락상태에서 용적의 용융 금속은 표면장력과 중력에 의해 용융풀로 이동하게 된다. 용융 금속이 이행하는 동안 용접전류는 로그함수적으로 증가하여 단락상태가 끝나는 시점에서 최대치에 도달하게 된다. 단락상태가 끝

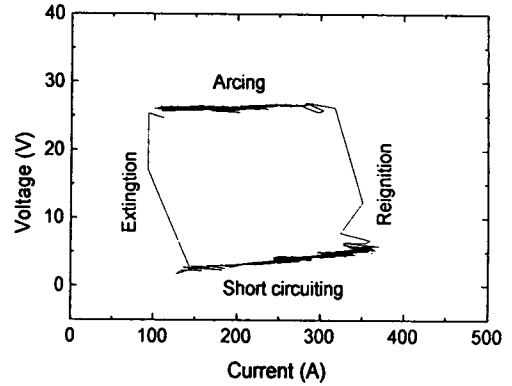


Fig. 2 V-I loop constructed by first short circuit shown in Fig. 1.

나는 시점이란 용적이 완전히 이행하여 가교가 끊기는 순간으로써, 가교가 끊기게 되면 아크가 순간적으로 재생(reignition)되면서 전압이 급격히 상승하게 된다. 이후에는 아크상태(arcng)가 유지되면서 새로운 용적이 와이어 선단에서 발달하게 된다. 아크 상태에서의 전압은 일정치를 유지하지만 전류는 급격히 감소하다가 서서히 감소한다.

이러한 한 주기의 단락이행 과정을 V-I 곡선으로 나타내 보이면, Fig. 2와 같이 \square 자 모양의 사각형을 형성한다. 사각형의 각 변은 상이한 4단계, 즉 아크소멸-단락상태-아크재생-아크상태와 연속적으로 대응되며, 이행과정은 시계 반대방향으로 순차적으로 진행된다. 이 중에서 아크소멸과 재생단계는 0.1msec 시간단위에서 순간적으로 일어나는 현상이지만, 단락상태와 아크상태는 수 내지 십수 msec 동안 유지되는 상태이다.

Fig. 1에서 보여주는 두 번째 단락은 단락기간이 매우 짧은 경우로써, 비록 짧은 기간 동안에 형성된 파형이지만 기본적으로는 상이한 4가지 단계로 구분되어 지고 있다. 그러나 단락상태에 머무르는 기간이 극히 짧아서, 즉 용적이 용융풀에 매우 짧은 시간 동안 접촉되었다가 바로 분리되기 때문에 실질적인 금속이행은 일어나지 않는다고 알려져 있다⁵⁾. 이러한 단락을 순간단락(Instantaneous Short Circuit, ISC)이라고 하며, 일반적으로 단락기간이 2msec 이하인 단락을 순간단락으로 분류하고 있다.

그리고 Fig. 1에서 알 수 있듯이, 단락기간동안 전류는 지속적으로 상승하기 때문에 단락기간이

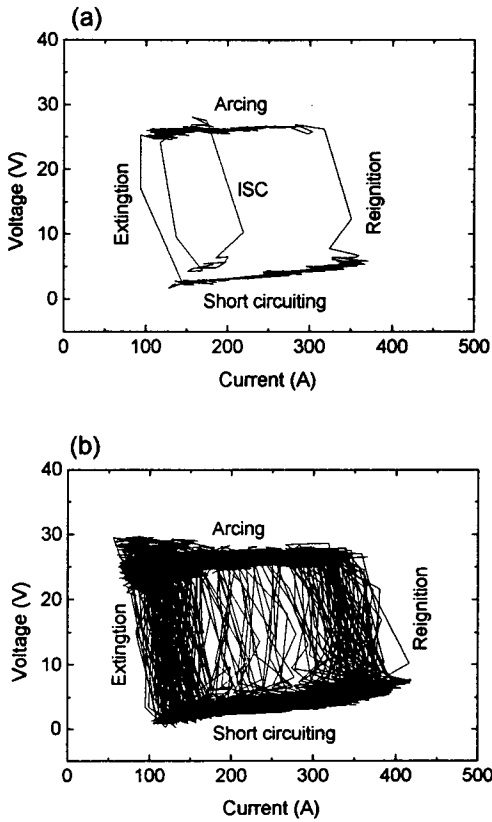


Fig. 3 V-I loops constructed (a) by both short circuits shown in Fig. 1 and (b) by all the short circuits recorded for 2sec.

짧아지면 최대전류치도 작아지게 된다. 따라서 Fig. 3(a)에서 보여 주는 바와 같이, 순간단락 (ISC)의 V-I 사각형은 아크재생에 해당하는 변이 좌측으로 이동하여 V-I 사각형의 내부면적이 좁아진다. 마찬가지로 단락기간의 변화가 심하면 V-I 사각형에서 아크재생에 해당하는 변의 위치가 주기마다 좌우로 이동하게 된다. 따라서 순간단락이 빈번하거나 단락기간에 변화가 심하게 되면 V-I 사각형 내부가 검은 선으로 채워지게 된다.

Fig. 3 (b)는 파형 제어기능이 없는 용접전원으로부터 2초 동안 받은 데이터를 모두 써서 만들어진 V-I 사각형인데, 사각형 내부가 많은 선들로 채워져 있다. 따라서 파형 제어기능이 없는 경우에는 단락기간이 매우 불규칙할 뿐만 아니라 순간단락의 빈도수도 매우 높다는 사실을 알 수 있다.

1.3 스패터 발생의 주요현상

단락이행이 진행되는 과정에서 발생하는 스패터는 발생 현상에 따라 여러 가지로 구분할 수 있지만⁴⁾, 발생빈도수가 많은 스패터는 Fig. 4와 같은 두 가지가 있다.

먼저 Fig. 4 (a)는 정상단락 과정에서 발생하는 스패터를 도식화한 것인데, 아크가 재생되는 순간에 발생하는 스패터이다. 이 순간에는 전류가 최고치에 도달한 상태에 있기 때문에 용적의 목(neck)부위가, 휴즈가 터지는 현상처럼, 터지면서 스패터화 하는 것이다. 이 과정에서 발생하는 스패터는 주로 소립의 스패터이다.

다음으로 Fig. 4 (b)는 순간단락에 의해 발생하는 스패터를 도식화한 것이다. 충분히 성장된 용적이 용융지와 접촉하게 되면 전류가 급격히 상승하게 되는데, 이때 접촉부가 충분하지 못하면 국부적으로 과열되어 바로 재아크가 발생되고, 결과적으로는 순간단락이 된다. 용적 하단부에서 발생한 재아크는 높은 아크 힘으로 상부의 용적을 파괴하면서 대립의 스패터를 발생시킨다. 이러한 순간단락은 200~300A의 중전류 범위에서 많이 발생하는 현상이다^{6,7)}.

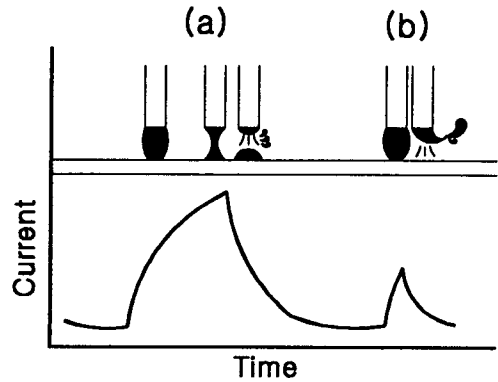


Fig. 4 Spattering modes generated (a) at arc reignition stage and (b) by instantaneous short circuit

2. 파형 제어의 기본 개념

앞에서 설명한바와 같이, 단락이행 과정에서 스패터가 발생하는 원인은 단락 초기의 급격한 전류

상승과 재 아크가 발생하는 순간의 높은 전류치에 있다. 따라서 스파터 발생을 억제하기 위해서는 이들 전류를 최대한 억제하는 것이 기본개념인데, 이러한 기본개념을 바탕으로 지금까지 다양한 파형 제어기법이 제안되거나 실용화되어 왔다. 이들 기법에 대해서는 저자들이 이민 간략하게나마 보고한 바 있는데⁴⁾, 본 기술보고에서는 실제 실험결과를 토대로 하여 기존의 파형 제어기법(제1보)과 최근에 실용화된 파형 제어 기법(제2보)을 보다 자세히 비교 설명코자 한 것이다.

3. 기존의 파형 제어기법

3.1 기법의 개요

앞에서 기술한 파형 제어의 기본개념을 구현함에 있어 초기에 제안된 제어기법⁵⁾은 Fig. 5와 같다. 이에 는 다음과 같은 두 가지 제어개념이 적용되고 있는데, 이들 각각이 의도하는 제어효과에 대해서는 앞서 자세히 보고된바 있어⁴⁾ 여기서는

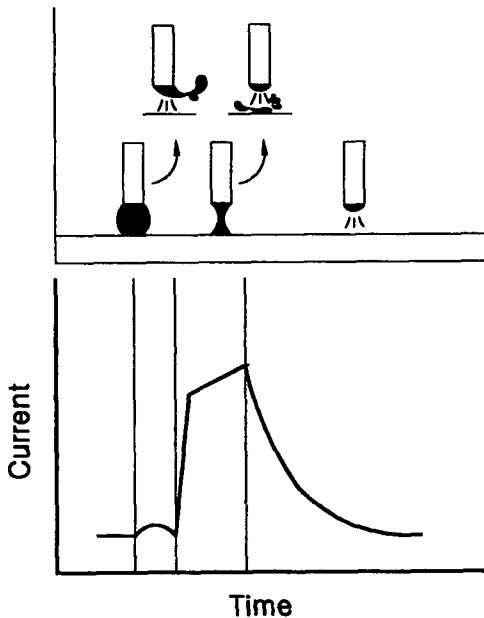


Fig. 5 Schematic drawing of current waveform showing the concept of old control technique

생략하고자 한다.

(i) 단락 초기 전류상승 지연제어에 의한 순간 단락의 방지

(ii) 지연 후 전류 상승속도제어에 의한 최대 전류치의 저하

3.2 파형 분석 결과

Fig. 6은 Fig. 5의 제어기법을 적용하고 있다고 판단된 용접전원으로부터 얻어진 실제 용접전류 파형을 보여주고 있다. 본 파형에서 보듯이 지연시간(t_d)과 상승속도가 2단계로 제어되어 있는데, 각각의 파형 변수를 정확히 측정 한 결과는 다음과 같다.

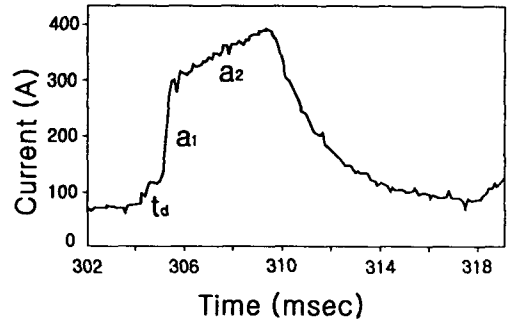


Fig. 6 Current waveform experimentally recorded with the control technique shown in Fig. 5

전류상승 지연시간(t_d) = 0.48 msec
 초기 전류상승속도(a_1) = 370 A/msec : 300A이하
 후기 전류상승속도(a_2) = 23 A/msec : 300A이상

즉 300A까지는 전류를 급격히 상승시키고, 그 이상에서는 상승속도를 극히 낮게 제어함으로써 궁극적으로는 최대 전류치가 300A수준 이상으로 지나치게 상승하는 것을 억제코자 한 것이다. 그런데 본 파형의 문제점은 초기 전류상승속도가 너무 크기 때문에 단락기간이 짧아도 최대 전류치가 300A 이상이 된다는 것이다. 이러한 사실은 Fig. 7의 V-I곡선을 보면 더욱 명확해지는데, 폐곡선의 내부가 깨끗하여 단락이행이 매우 규칙적으로 이루어지고는 있지만은, 최대 전류치가 일률적으로 약 350A에 이르고 있다. 다시 말하면 제어를 하지 않은 경우에, Fig. 3(b)에서 보여주는 바와 같이, 단락기간이 짧아서 최대 전류치가 300A이하가 될 수 있는

단락도 본 제어를 행하면 오히려 300A 이상으로 상승하게 된다는 것이다. 결국 본 제어기법은 전류상승 지연제어에 의해 순간단락이 억제되고, 전류상승속도제어에 의해 단락이행과정이 균일화되는 효과는 있었지만, 최대 전류치를 억제하는 효과는 적절히 구현되지 못하였다.

이러한 점을 보완하기 위하여 제안된 파형이 Fig. 8과 같은 제어 기법이다. 여기서는 초기 전류

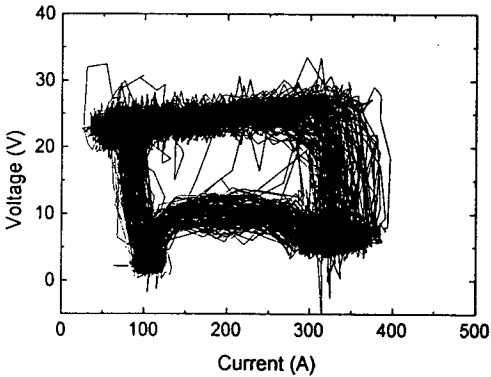


Fig. 7 V-I loops constructed by waveforms shown in Fig. 6 for 2sec

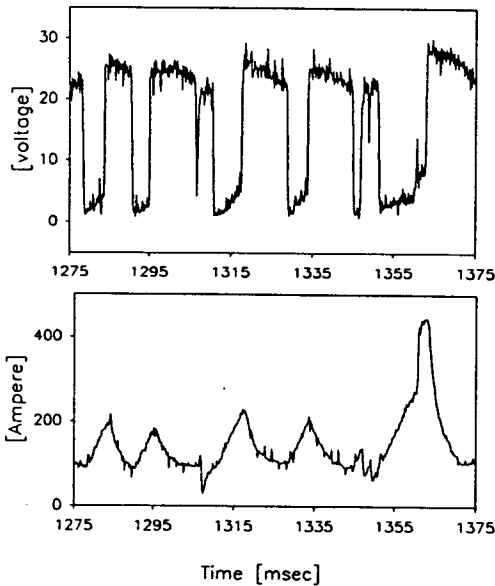


Fig. 8 Current waveform developed by the current slope control

상승속도를 매우 낮게 하여 되도록 많은 단락이, 단락기간이 다소 길더라도, 300A 이하에서 해방되도록 하고, 300A에 도달하여도 단락이 해방되지 않은 경우에 한하여 전류를 450A까지 급격히 상승 시킴으로써 단락해방을 촉진시키자 하였다. 본 제어 파형에서는 초기 전류상승속도(a_1)가 너무 작아서 전류상승지연시간의 존재여부를 확인하기 어려웠다. 그밖의 파형 변수를 측정된 결과는 다음과 같다.

초기 전류상승속도(a_1) = 22 A/msec : 300A 이하

후기 전류상승속도(a_2) = 19,000 A/msec : 300A 이상

Fig. 9는 2초 동안 얻어진 Fig. 8의 파형을 V-I 곡선화한 것인데, 최대전류는 일부 450A에 이르고 있지만 대부분은 200~300A 사이에 있다. 그리고 Fig. 9는 Fig. 7과 동일한 용접조건에서 얻어진 결과인데, 이들 결과를 비교하여 보면, 제어기법에 따라 V-I 폐곡선의 모양이 크게 변화함을 보여주고 있고, 최대 전류치를 억제하기 위해서는 Fig. 9의 기법이 보다 효율적임을 보여주고 있다. 실제 스패터 발생량 측정 시험결과에서도 이를 확인할 수 있었다.

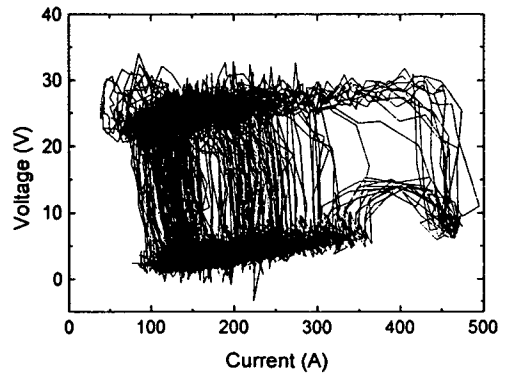


Fig. 9 V-I loops constructed by waveforms shown in Fig. 8

4. 맺음말

기존의 파형 제어기법에서는 단락기간 동안의 전류 상승속도를 제어하여 단락개방 시점에서의 전류치를 낮게 유지하고자 하였다. 그리고 이러한

기법의 발달로 최대 전류치를 다소 저하시킬 수는 있었으나, 전류는 단락기간 동안 계속 상승하고 있기 때문에 전류가 최대로 상승된 상태에서 단락이 해방되는 문제는 피할 수 없었다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 새로운 파형 제어 기법이 최근 개발되었는데, 이에 대해서는 제2보에서 소개코자 한다.

참 고 문 헌

1. H. Yamamoto : Recent Advances in Inverter Controlled Gas Shielded Arc Welding Power Sources and their Applications in Japan, IIW XII-1148-89
2. T. Ogasawara, T. Maruyama, M. Sato, Y. Hida : A newly Developed Arc Welding Power Source and Its Application in Combination with Arc Welding Robots, IIW Doc. XII-930-86 (1996)
3. H. Yamamoto : Recent Advances in the Welding Power System for Automated Welding, Journal of JWS, Vol. 64, NO. 3 (1995), p. 45
4. 김희진, 김용석 : CO₂용접의 용접 스파터 저감을 위한 용접전류 파형 제어 개념, 대한용접학회지, 제16권, 제3호 (1998), p. 18
5. T. Arai, M. Kobayashi, T. Yamada, M. Rokujo, K. Hirakoso and T. Kaneko : The Investigation of Arc Phenomena by means of A Computer, Quarterly J. of JWS, Vol. 1, No. 3 (1983), p. 317
6. 강봉용, 김희진 : CO₂용접의 스파터 발생에 미치는 용적이행모드의 영향, 대한용접학회지, 제15권, 제2호 (1997), p. 140
7. 강봉용, 이창한, 김희진, 장희석 : CO₂용접의 천이이행조건에서 스파터 발생과 파형 인자와의 관계, 대한용접학회지, 투고중
8. T. Mita : Waveform Control Method in CO₂ Gas Shielded Arc Welding, Quarterly J. of JWS, Vol. 6, NO. 2 (1998), p. 209