


技術報告

# GMA 용접 전원의 최신 파형 제어기법 분석


김희진\* · 이창한\*\*

## Analysis of Recent 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. 서론

#### 1.1 최신 파형 제어기법의 개요

전보에서 설명한 바와 같이<sup>1)</sup>, 기존의 파형 제어 기법에서는 스파터 발생을 억제하고자 단락기간동안 전류의 상승속도를 제어하여 최대 전류치를 낮추고자 하였다. 그러나 이러한 제어 기법으로는 전류가 최대로 상승된 상태에서 아크가 재생되기 때문에 스파터 발생을 충분히 저감할 수 없었다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 Fig. 1과 같이 아크가 재생되기 직전에 전류를 인위적으로 급격히 저하시켜 낮은 전류 상태에서 아크가 생성되도록 하는 기법이 제안되었다.<sup>2)</sup> 이러한 제어기법은 가장 최근에 실용화된 기법으로써 이를 보다 자세히 설명하면 다음과 같다.

먼저 용적이 용융풀에 접촉되는 순간을 검출하면, 그 순간에 전류를 저하시켜 용적이 용융풀에 충분히 접촉될 때까지 저전류 상태가 유지 되도록 한다. 다음에는 전류를 일정속도로 서서히 증가시켜 일정 값에 도달하면 그 값을 유지한다. 그 후 단락개방 직전에 전류치를 급격히 저하시켜 아크가 저전류 상태에서 재생되도록 함으로써, 아크 재

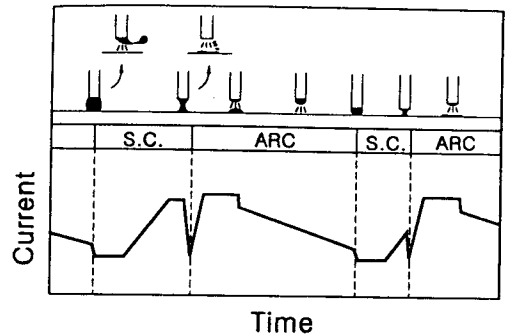


Fig.1 Schematic drawing of controlled waveform developed recently.

발생 시점에서의 폭발력을 약하게 한다.

아크가 저전류 상태에서 재생되도록 하기 위해서는 아크재생 직전의 상태를 검출할 수 있어야만 한다. 이러한 상태는 Fig.1의 첫 번째 단락처럼 전류가 일정하게 유지되고 있는 동안뿐만 아니라 두 번째 단락과 같이 전류가 증가하고 있는 동안에도 확실히 검출되어야 한다.

또한 아크 재 발생 직후에는 와이어와 용융풀이 근접되어 있어 용융풀의 진동에 의해서 양자가 접

측하기 쉽기 때문에 스패터가 발생할 위험성이 높다. 이를 방지하기 위하여 최근의 파형 제어기법 (Fig. 1)에서는 아크재생 직후에 펄스전류를 가함으로써 강한 아크 힘으로 용융풀을 밀어내도록 한다. 이럼으로써 와이어와 용융풀의 간격을 크게 하여 불필요한 순간단락으로 스패터가 발생하는 것을 억제코자 하였다.

### 1.2 아크 재생 직전의 순간을 감지하는 방법

상기한 제어기법의 핵심은 아크가 재생되기 직전의 상태를 감지하여 전류를 급격히 저하시키는 것인데, 감지하는 방법은 아크가 재생되는 시점에 따라 차이가 있다.

Fig. 2는 단락중의 전류 및 전압의 변화를 도식화하여 보여주고 있다. 용융급속이 용적과 용융풀 사이에 형성된 가교를 통해 이행되면, 마지막 단계에서 가교의 단면적이 작아져서 저항치가 커지게 된다. 저항치의 증가는 전류가 일정하게 제어되고 있기 때문에 결과적으로 전압을 상승시키게 된다. 요컨대 가교의 단면적이 감소하면서 유발되는 전압의 미묘한 변화를 감지함으로써 가교가 끊어져서 아크

가 재생하는 순간을 바로 직전에 검출할 수 있는 것이다. 그러나 이러한 방법은 전류가 일정 값을 유지하고 있는 상태에서는 검출 가능하지만, 전류가 일정속도로 증가하는 동안에는 가교의 단면적 변화에 관계없이 전압이 항상 증가하고 있기 때문에 동일한 방법은 사용 할 수가 없다. 이러한 경우에는 보다 정교한 제어방법을 적용하고 있다.

Fig. 2에서 보는 바와 같이, 전류가 직선적으로 증가하면 전압도 직선적으로 상승한다. 전류가 상승하는 동안에 가교의 단면적이 감소 하게되면 저항치가 증가하여 전압 증가 속도가 점차로 커지고 전압의 미분치도 커지게 된다. 결국 시간에 대한 전압 미분치의 증가를 감지함으로써 아크재생 직전의 상태를 검출할 수 있게 된다.

상기한 두 가지 방법이 실제 파형에서 어떻게 재현되고 있는가는 다음절에서 자세히 설명되겠지만, 이러한 기법을 적용함으로써 단락기간 중 어느 시점에서 아크가 재생된다고 하더라도 아크재생 직전의 순간을 검출 할 수 있는 것이다.

또한 이러한 방법은 아크재생 직전의 가교형상을 기초로 하여 검출하는 것이기 때문에 단락시간이 아무리 불규칙하더라도 검출 가능하여 아크재생 순간에 효과적인 전류제어를 할 수 있게 하여 준다.

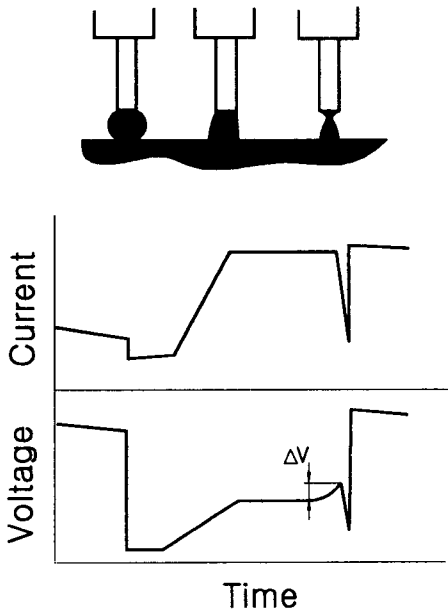


Fig.2 Schematic drawing of voltage variation caused by necking.

## 2. 최신 제어 파형의 분류

상기한 제어 개념의 기본원리는 1987년에 이미 보고 된 바 있지만<sup>2)</sup>, 이를 적용한 용접 전원은 1997년에 상품화되어 시판되었다<sup>3)</sup>. 본 연구원에서는 시판되고 있는 용접전원을 수입하여 파형 분석을 실시하였는바, 그 분석 결과는 다음과 같다.

Fig. 3은 와이어 송급속도가 5.5m/min (용접전류 : 198A) 가 되는 조건에서 얻어진 파형의 일부를 보여주고 있다. 본 파형에서는 단락기간이 서로 다른 단락이행이 3회에 걸쳐 일어나고 있다. 단락기간의 차이로 인하여 Type A는 일정전류에 도달한 상태에서 아크가 재생되고 있고, Type B는 전류가 상승하는 도중에 재생되고 있다. 이러한 경우는 Fig. 1에서 보여준 바와 같으나 Type C는 설명된 바 없는 경우이다. Type C는 일정 전류에서 일정시간이 경과하여도 아크가 재생되지 않은 경우로써, 단락개방을 촉진하기 위하여 보다 높은 전류상태

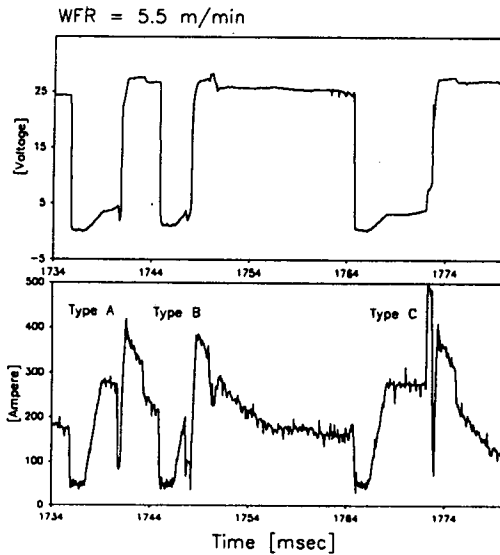


Fig.3 Three different Types of experimentally revealed.

로 급격히 상승시킨 다음에, 아크 재생직전의 순간을 감지하여 전류를 제어하고 있는 경우이다.

### 3. 유형별 파형 분석

#### 3. 1 Type A 파형의 분석

Fig. 3의 Type A 파형을 보다 확대하여 보면 Fig. 4와 같은데, 단락기간은 6.4msec이다. 용적과 용융풀이 접촉하는 단락순간(A-B) 직후에 전류는 40A 수준으로 저하하여 약 1.5msec 정도 유지되고 있다. 이는 기존의 파형 제어기법에서 적용한 지연시간(0.48msec)보다 상당히 긴 시간이다. 이후 전류는 270A에 도달 할 때까지(D~E) 일정속도(140A/msec)로 증가한다. 그 이후에는(E~F) 전류가 270A로 일정하게 유지되는데, 이 상태에서 가교가 끊어질 시점에 도달하면 전압이 다소 상승하게 된다(F). 바로 이러한 전압상승을 감지하여 전류를 급격히 저하시키고(F~G), 전류가 저하된 상태(G-H)에서 가교는 끊어지고 아크는 재생된다. 그리고 아크 재생 후에는 약 2msec동안(I~J) 펄스 전류를 중첩시켜 높은 전류치를 유지하려고 하였음을 알 수 있다. Fig. 5는 전류가 일정하게 유지되는 구간(E~F)을 보다 확대한 그림인데, 여기서 알 수 있듯이 이 구간에서 전압은 약 1.5V 상승하고

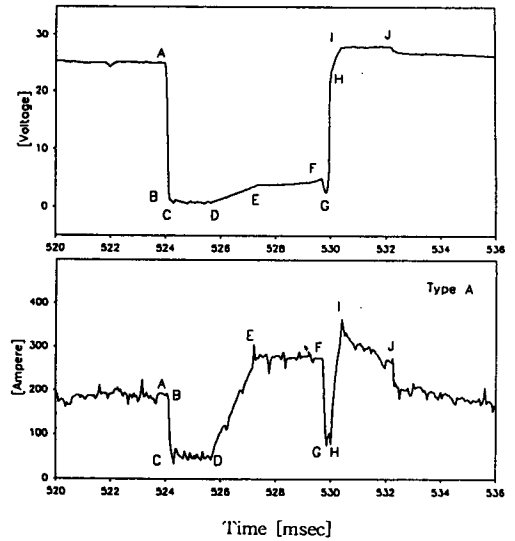


Fig.4 Details of Type A waveform.

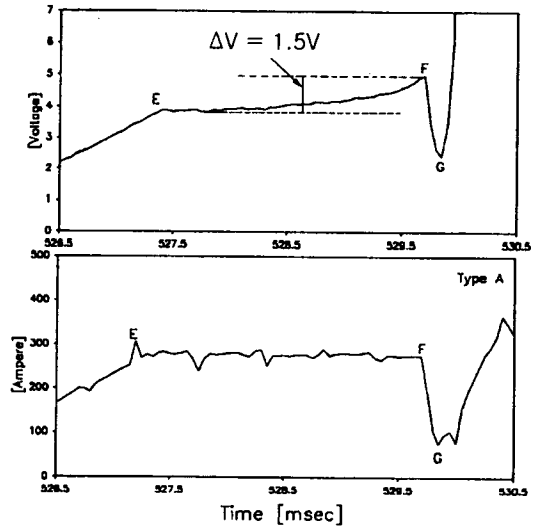


Fig.5 Enlarged waveform showing the voltage increase due to necking.

있다. 이러한 사실은 Fig. 2에서 제시한  $\Delta V$ 가 용접전원에 이미 1.5V로 설정되어 있다는 것을 의미한다. 다시 말하면 E~F상태에서 지속적으로 전압을 감지하다가 전압이 초기 전압보다 1.5V 이상이 되면 용접전원은 단락해방 직전의 상태에 도달하였다고 판단하는 것이다.

이상의 과정, 즉 A~F까지를 V-I곡선화 하면

Fig. 6과 같이 표자 형태가 나타난다. 기존의  $\square$ 자 형태의 V-I곡선에서는 F지점에서(즉 고전류 영역에서) 아크가 재생되면서 I지점으로 이동하는데, 본 제어기법이 적용되면 저전류 상태인 G지점과 H지점 사이에서 아크가 재생되어 고전류·고전압 상태인 I로 이행한다.

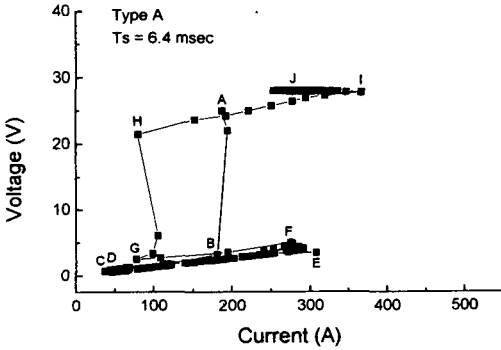


Fig.6 Single V-I loop constructed with waveforms of Fig. 4

### 3. 2 Type B 파형의 분석

Fig. 7은 Fig. 3의 Type B의 용접전압·전류 파형을 확대한 것인데, 단락기간은 3.58msec 이었다. 본 파형은 전류가 일정 속도로 상승하는 도중(D-E)에 아크재생 직전의 순간이 감지되어 전류를 급격히 저하시킨 경우이다. 이 경우에 있어서도 아크 재생 직전의 순간은 전압 파형으로부터 감지되는데 감지하는 방법은 가교 단면적 변화에 따른 전압 상승기울기의 변화이다. Fig. 8은 전압이 상승하는 구간(D-E)을 보다 확대하여 보여 주고 있는데, 초기 기울기는 1.71V/msec이며 최종순간의 기울기는 6.71V/msec이다. 즉 용접 전류가 일정하게 증가하는 구간에서  $dV/dt$ 를 계속적으로 감지하여, 기울기가 초기 기울기보다 5V/msec보다 커지게 되면 아크가 재생되기 직전의 순간이 되었다고 판단하여 전류를 급격히 저하시키는 것이다. 그렇게 함으로써 저전류·저전압 상태(F)와 저전류·고전압 상태(H)의 사이에서 가교는 끊어지고 아크는 재생되는데, 이후 재생된 아크는 고전류·고전압 상태(I)로 이행한다. Fig. 9는 이와 같은 단락이행 과정을 V-I곡선으로 보여 주고 있는데, 아크가 재생되는 F-G-H 구간이 모두 저전류 측에 위치하고 있어 표자 모양의 V-I곡선이 재현되고 있다.

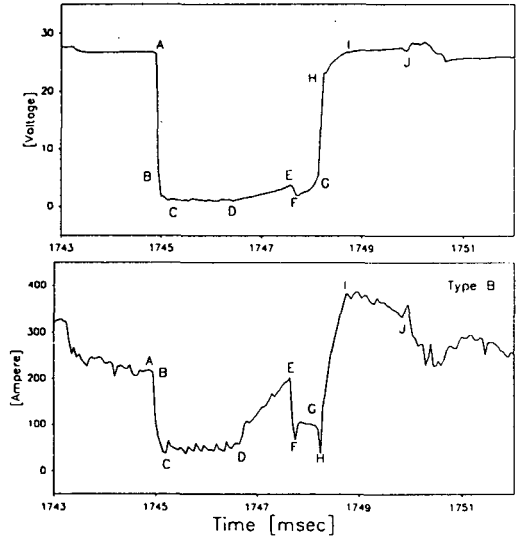


Fig.7 Details of Type B waveforms

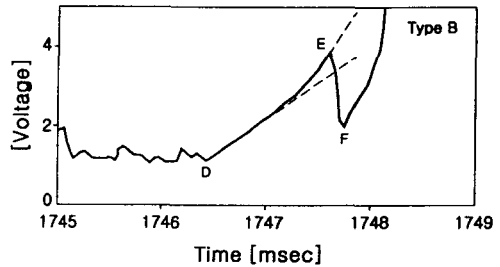


Fig.8 Enlarged waveform showing the increase of voltage slope due to necking.

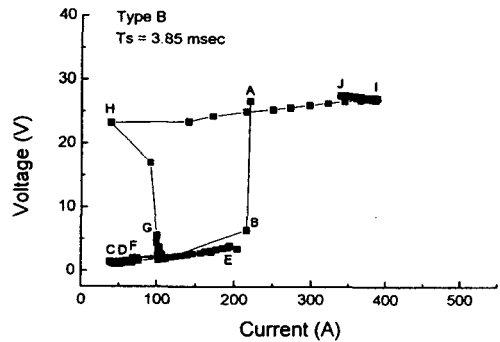


Fig.9 Single V-I loop constructed with waveforms of Fig. 7.

### 3.3 Type C 파형의 분석

Fig. 10는 Type C의 파형을 확대하여 보여주고 있는데, 단락기간은 8.85msec이었다. 여기서는 단락기간이 길기 때문에 일정전류에서 어느 정도 유지하다가 전류를 급격히 상승시킨 경우이다. 전류는 280A에서 정확하게 4.0msec동안 유지되고 있었다. 즉 280A에서 4.0msec가 경과하여도 용적 가교가 끊어질 기미가 감지되지 않으면 용접전류를 급격히 500A수준으로 상승시켜 일정하게 유지되도록 하고 있다(F-G-H). 이 상태에서 가교의 단면적이 줄어들면 Type A에서와 같이 전압상승(H)이 나타난다. 이로부터 아크 재생 직전의 상태를 감지하여 전류를 급격히 감소시킨다. Fig. 11은 Type C의 V-I곡선인데 여기서도 저전류·저전압 상태(I)와 저전류·고전압 상태(J) 사이에서 용적의 목 부위가 끊어지고 아크가 재생되어 고전류·고전압상태(K)로 이행함을 보여준다. 여기에서도 표자 모양의 V-I곡선을 보여주는데 최대 전류치는 500A로 매우 높지만 실제 아크가 재생하는 순간(I-J)의 전류는 100A정도로 낮은 전류 상태이다.

### 4. 기타 분석

Table 1은 용접전류가 증가함에 따라 상기한 3가

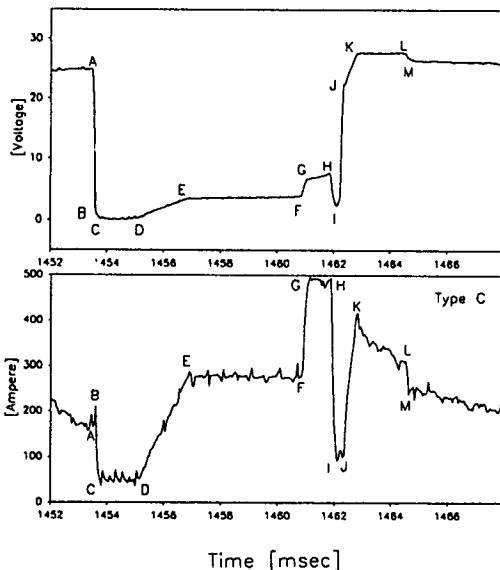


Fig.10 Details of Type C waveforms.

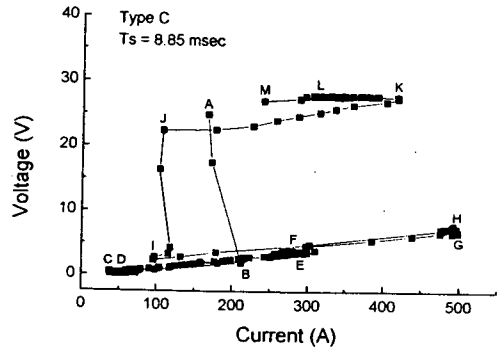


Fig.11 Single V-I loop constructed with waveforms of Fig. 10.

지 형상의 파형이 나타나는 빈도수의 변화를 보여주고 있다. 이로부터 용접전류가 낮아지면 Type B 파형의 빈도수가 많아지고, 용접전류가 높아지면 Type C 파형이 보다 많이 나타나게 됨을 알 수 있다.

Fig. 12는 2초 동안 기록된 파형 전체를 V-I곡선화한 것인데 표자 형상이 보다 뚜렷하게 나타나고 있다. 표형 곡선에서 아크재생 전류는 아크 소멸

Table 1. Variation of appearance frequency with welding current. (measuring time = 2.0sec)

WFR (Current)		3.6 m/min (154 A)	5.5 m/min (198 A)
NSC	TYPE A	107	42
	TYPE B	19	1
	TYPE C	4	39
ISC		3	5
Total		133	87

전류보다 낮은 상태이다. 한편 Fig. 12는 비록 빈도수는 작지만 표자 모양도 같이 나타나고 있음을 보여주고 있는데, 표자 모양은 고전류 상태에서 아크가 재생되는 경우이다. 즉 최신 제어기법을 적용하더라도 아크는 저전류측 뿐만 아니라 고전류측에서도 재생되고 있음을 보여준다. 그런데 고전류측에서 아크가 재생되는 경우는 Fig. 10의 F-G과정에서 아크가 재생되는 경우로써, 실제 파형을 Fig. 13에서 보여주고 있고 있는데, 단락기간을 7.6msec이었다. 결국 전류가 500A수준으로 급상승

하는 동안에 아크가 재 발생하는 경우에는 아크재생 직전의 순간을 미리 감지하지 못하여 전류를 제어하지 못하고 있다. 이와 같은 경우에는 V-I곡선이, Fig. 14에서 보여 주는 바와 같이,  $\square$ 자 모양으로 나타나게 된다.

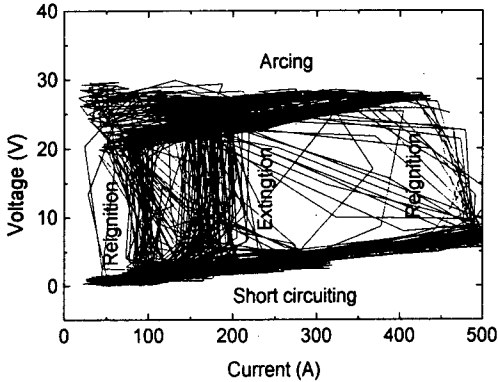


Fig.12 V-I loops constructed with waveforms obtained 2sec period.

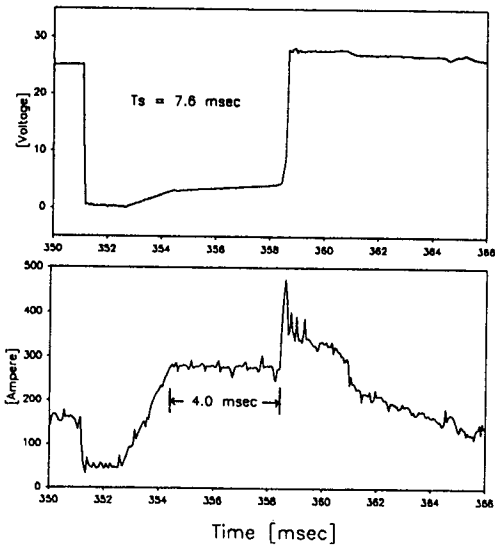


Fig.13 A typical waveforms developed by the reignition at high current level

5. 맺음 말

인버터 기술이 용접전원에 도입되면서 용접 스파

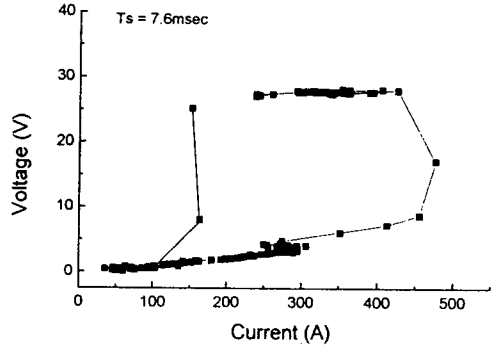


Fig.14 V-I loop constructed with waveforms of Fig. 13

터 저감을 위한 파형 제어 기술의 실용화가 가능하게 되었다. 그리고 이를 실용화하는 과정에서 다양한 파형 제어 기법이 용접전원에 적용되었는데, 이들을 스파터 억제 효과 측면에서 평가하여 보면 제어기법에 따라 많은 차이가 있음을 보여 주었다.

초기에 실용화된 파형 제어기법들은 단락기간 동안에 전류의 상승속도를 제어하여 아크 발생 시점에서 최대 전류치를 낮게 유지하려고 하였다. 그러나 이러한 방법들은 최대 전류치를 다소 저하시킬 수는 있었지만, 재 아크는 항상 전류 최대인 상태에서 발생하였다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 최근에 개발된 파형 제어기법에서는 아크 재생 직전의 순간을 감지하여 전류를 매우 낮은 수준으로 급격히 감소시킴에 따라 아크 소멸 전류치 보다도 낮은 전류 영역에서 아크가 재생되도록 하였다. 그럼으로써 지금까지 우리가 너무나도 당연시하여 왔던  $\square$ 자 모양의 V-I곡선이  $\square$ 자 모양으로 바뀌게 되었다.  $\square$ 자 모양의 V-I곡선은 저전류 상태에서 재 아크가 발생되어야 한다는 기본개념에 보다 충실한 제어기술 이다.

참 고 문 헌

1. 김희진, 이창한 : GMA 용접전원의 파형제어 기법 분석, 대한용접학회지, 제16권 제5호, (1998) p. 39
2. T. Ogasawara, T. Maruyama, T. Saito, M. Sato, Y. Hida : A Power Source for Gas Shielded Arc Welding with New Current Waveforms, Welding Journal, Vol. 66, No.3 (1987), p. 57
3. 佐丞英詩 : CO<sub>2</sub> MAG 용접기 SENSARC LS350, 기술Guide, Vol. 37, No. 330 (1997), p. 8