

特輯 : 용접 전원 시스템의 개발 동향

GMA/GTA 용접전원 System 및 제어기술

The State of the Art in GMA/GTA Welding System and Control Technology

김기철 · 강문진 · 조시훈

Ki Chol Kim, Moon Jin Kang and Si Hoon Cho



김기철 / 1948년생 / 산업과학기술연구소 / 고에너지 밀도 용접 현상 해석 및 공정 제어 system 개발 연구 수행



강문진 / 1963년생 / 산업과학기술연구소 / 생산 line용 특수용접 system 및 자동화 기술 개발 관련 연구 수행



조시훈 / 1968년생 / 산업과학기술연구소 / 용접 공정 해석 및 제어 software package 개발 연구 수행

1. 서 언

용접 능력과 품질에 영향을 미치는 여러 가지 요인들 중에서 용접기의 성능은 가장 중요한 요소의 하나이다. 이러한 점에서 숙련도에 주로 의존하던 종래의 용접성에 대한 관념이 바뀌어야 하며, 품질 표준화 작업의 일환으로 용접기 제어 성능의 향상도 절실하다고 하겠다. 용접품질의 제어성능에 직접 영향을 주는 요소가 무엇인지를 생각해 볼 때, 그것은 바로 용접부에 공급되는 에너지의 제어, 용접 물리현상의 이해와 관찰을 기초로 적절한 함수의 설정과 함께 이들의 관리가 필요함을 알게 된다. System화된 용접기는 이들 용접의 물리적 현상과 그 해석 결과를 어떤 방식으로든 이용하고 제어하여야 할 것이므로, 용접기 전력제어의 중요성과 함께 제어 소자의 성능은 물론 제어 algorithm의 최적화가 필수 요소임을 실감하게 된다. 따라서, 여기에서는 제조 공정에서 가장 중요한 용접 공정의 하나인 아크 용접(GMAW, GTAW) system의 개요와 특성 및 향후 기술개발의 과제에 대하여 기술하고자 한다.

2. 용접 전원의 발전

60년대 말 thyristor를 전력소자로 채택한 용접기가 쓰이기 시작한 이래 현재까지 이러한 형태의 기기가 널리 이용되어 오고 있으나, 80년대초 power transistor를 사용한 inverter제어형 용접기가 개발되면서 용접능률의 향상에 획기적 전환점을 이룩하게 되었는데, 그렇게 된 이유는 무엇보다도 이 방식이 가지는 제어의 고속화에 기인한 것이었다.

2.1 Thyristor 제어형 용접전원

Thyristor 제어형 용접기는 전원 전압을 주전력 변압기로 강압시킨 다음 위상제어를 하므로써 용접전력을 제어한다는 원리를 이용한 장치이다. 이렇게 위상제어된 전압은 2차 회로에서 정류 및 평활되어 용접부에 맥동 전류 파형(ripple)을 가지는 직류의 형태로서 공급된다. Thyristor 제어형 용접전원의 특징은 이전에 사용되었던 용접기에 비해서 소형이고 용접중 조건 설정의 변경 및 대전류화

가 가능하다는 장점이 있었으나, 출력 전류의 ripple량이 크고 용접 출력의 제어 및 응답속도에 한계가 있어서 사실상 용접현상의 제어는 곤란하였다. 또한, 주전력 변압기가 대형이고, 무거워서 작업장에서의 이동등 기동성이 문제가 되었다.

2.2 Transistor inverter 제어형 용접전원

Power transistor의 고내압화, 고속화 및 module화가 가능해짐에 따라 inverter 제어형 GMAW 용접기가 개발되었다. 종래 thyristor 용접기는 전술한 바와같이 교류파형의 위상제어를 기초로 하고 있기 때문에 속도면에서 용접전력 제어의 한계를 벗어나지 못하고 있었는데, power transistor를 사용하므로써 수십 kHz이상의 고속제어가 가능하게 되었다. 용접출력의 제어속도는 사용하는 전력 제어 소자의 성능에 의해 좌우되는데 bipolar transistor의 경우 20kHz 정도, MOSFET인 경우 50kHz 이상도 가능하고 최근에는 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)의 실용화에 힘입어 저렴한 가격으로 bipolar transistor의 전력 용량이면서도 보다 고속제어가 가능한 용접기가 생산되기에 이르렀다.

3. Inverter제어형 용접전원의 원리와 특성

3.1 구성 및 동작원리

그림 1은 inverter 제어형 용접전원의 구성도를 나타낸 것이다. 입력된 교류 전류는 먼저 정류기와 평활회로에 의해서 직류로 만들어진 다음, 전력 제어 소자(power transistor 또는 IGBT등)에 의해서 고속제어되어 pulse형 교류 파형을 만든 다음 주전력 변압기로 용접에 필요한 전압까지 강압시키게 된다. 강압된 고주파 전류는 2차측 정류기에 의해서 다시 정류된 다음 reactor를 거쳐 용접부에 안정된 직류 전력의 형태로 공급하게 된다. 이 때 전력 제어의 주파수와 사용될 소자의 선정 및 수량은 주전력 회로의 방식과 용접 현상 제어의 기본 사상에 의하여 결정되며, 그림 2에 inverter형 용접기의 전력 제어용으로 널리 이용되고 있는 주전

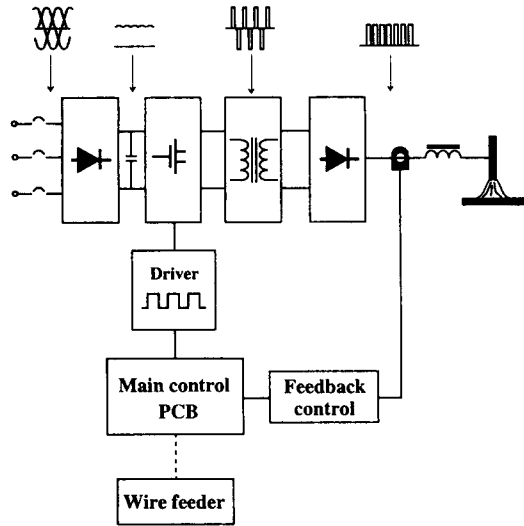
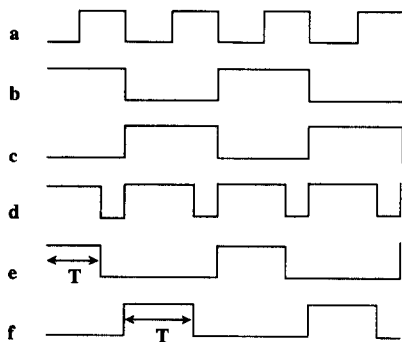
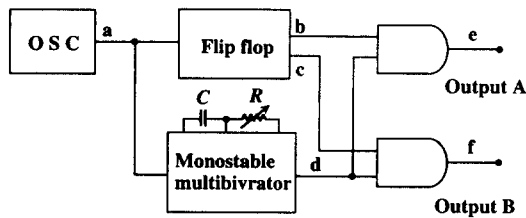


그림 1. Inverter 제어형 용접기의 기본 구성

<p>Forward converter</p>	
<p>Push pull</p>	
<p>Half bridge</p>	
<p>Full bridge</p>	

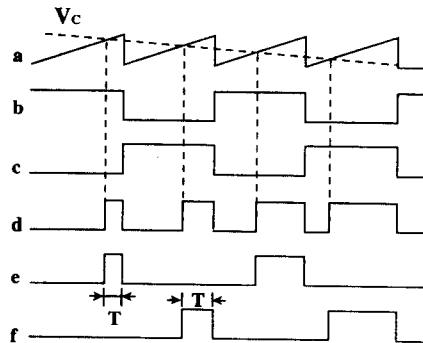
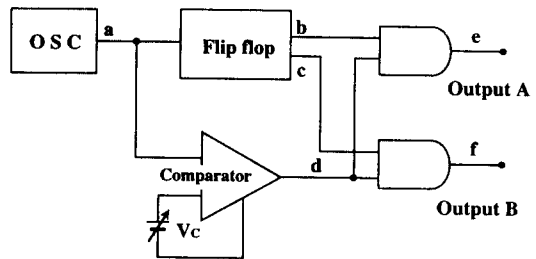
그림 2. 전력제어부의 기본 회로 방식

력 회로의 기본 구성을 나타내었다. 그림 2에서, 선정된 전력소자의 특성에 따라 최대 제어주파수와 허용가능한 최대 인가 전압이 결정되면, 이들을 기초로 하여 주전력 변압기의 설계가 이루어져야 한다. 한편, 전력 제어의 방법으로는 pulse 높이 제어(Pulse Amplitude Modulation, PAM), pulse 폭 제어(Pulse Width Modulation, PWM) 및 pulse 주파수 제어(Pulse Frequency Modulation, PFM) 등이 있는데 현재는 PWM 방식이 가장 널리 이용되고 있고 제어하기에도 용이하기 때문에 그 원리를 좀 더 상세하게 알아보기로 한다. 펄스폭 제어회로는 그림 3과 같이 monostable multivibrator (MM)를 사용하여 시정수 CR중의 R의 변화에 따라 펄스폭을 제어하는 방법과 그림 4와 같이 튕날파 또는 삼각파 발진기에서 기본 파형(a)를 발생시키고 flip flop을 통과한 파형은 그림 3에서와 같이 각각 (b) 및 (c)로 출력 한 다음 comparator 출력(d)는 가변전압(Vc)에 의하여 삼각파의 레벨이(Vc) 값보다 높은 구간에서 high level이 되므로 그 전압의 크기에 따라 펄스폭을 가변할 수 있다. 정의 펄스(b)와 신호(d)의 논리곱 결과는 신호(f)로 출력된다. 일반적으로 comparator 방식은 MM 방식 보다 잡음에 강하며 제어의 융통성이 좋을 뿐만 아니라, 제어범위도 0에서 임의의 폭까지 가능하다. 즉, 그림 4와 같은 형식은 실제 출력단의 전압값을 Vc로 대응할 수 있으므로 PWM 전용 소자는 거의 이 방법을 사용하고 있다. MM 방식은 555형의 timer나 C-MOS, TTL에 의한 MM을 사용하지만, 이들 소자의 결점은 시정수를 얻기위한 C를 0으로 할 수 없기 때문에 펄스폭을 0까지 내리는 것이 불가능하며, 특히 555형의 timer는 펄스폭을 좁게하



• R 에 따라 T 변화

그림 3. Monostable multivibrator를 이용한 PWM의 원리



• Vc에 따라 T 변화

그림 4. Comparator를 이용한 PWM의 원리

면 오동작이 일어나는 경우가 있다. 전용 소자인 TL494/TL495는 대표적인 PWM IC로서 5V 표준 전원과 2개의 오차 증폭기가 내장되어 있고 최대 duty를 조절할 수 있는 dead time 조정기도 내장된 소자이다. 한편, SG1525A/SG1527A 계열은 폭넓은 dead time 조정과 timing 콘덴서를 사용하여 soft start가 가능한 특징을 가지고 있으며, Vcc가 정상보다 낮을 때 출력을 차단하는 저전압 보호기능 및 원하는 시기에 펄스 출력을 완전히 차단할 수 있는 기능도 포함되어 있다. LM1524/LM2524/LM3524 계열의 PWM 소자들은 TL494와 흡사한 구조를 가지고 있으나 발진기로 부터 구형파 펄스 출력단이 따로 있으며, 100kHz 이상의 동작 주파수 특성과 온도 변화에 따른 주파수 변동이 2% 이내의 안정성 있는 것으로 알려져 있다. μ PC1042는 펄스폭 변조방식의 switching regulator용 제어 소자이다. 이 IC는 삼각파 발진기, 오차 증폭기, 기준 전압 비교기, 분주기 등을 내장하고 있고, 저항이나 콘덴서 등을 이용하여 push pull, bridge, chopper형 등의 회로를 구성하는데 쓸 수 있으며 저입력시 오동작 방지 회로 기능도 포함되어 있다.

3.2 Inverter 용접 전원의 특성

Inverter 용접기의 가장 두드러진 특성은 높은 응답성과 함께 소형 경량화가 가능하다는 것이다. 응답성이 빠르다고 하는 것은 용접위치에서의 방전 여건 변화(예를들면 용접전압 또는 용접전류 등 실제 용접 특성치의 변동)를 빠른 속도로 감지 및 feedback하여 언제나 작업자가 원하는 상태로 제어 되도록 하는 것을 의미하며 궁극적으로 고품위 용접 시공에 결정적인 요구 조건이기도 하다. 예를들면, 제어 주파수 20kHz의 full bridge 형 inverter 용접 전원에서는 제어 가능 횟수가 초당 40,000회가 되고, 따라서 응답 시간은 25 μ sec가 되어 아크의 순간 변동에 대해서 능동적인 제어가 가능하다. 특히, GMA 용접의 경우에 있어서 용접봉(wire) 자체의 용융 현상으로 인한 부하의 변동이 매우 빠르게 발생하게 되는데 이에 적용할 수 있는 전력제어가 가능하다. 용접기에 있어서 가장 부피가 크고 무거운 부품은 주전력 변압기이므로 용접의 작업성과 기동성을 향상시키기 위해서는 작고 가벼운 변압기의 설계가 중요하다. 그런데, 변압기에 유

기되는 에너지는 전력제어 주파수와 철심 체적과의 관계로 계산되고, 동일한 에너지를 변환하는데 있어서는 제어 주파수가 높을수록 철심의 단면적이 줄일 수 있으므로 용접기의 크기를 대폭적으로 소형화할 수 있다. 제어 주파수와 변압기 체적의 상관 관계를 기초로 하여 용접기의 크기를 비교한 자료에 의하면, inverter형 용접기는 동급의 thyristor 용접기에 비해 상용화된 제품의 경우 체적은 약 1/5, 중량은 약 1/7 정도되어 통상 30~50kg의 무게를 나타내므로 기동성이 우수하고 작업이 어려웠던 곳에서도 용접이 가능하게 되었다. 또한, inverter제어형 용접기는 입력 측에서 교류 전원을 직접 직류로 변환시킨 다음 소정의 출력으로 제어하기 때문에 종래의 용접기에 비해서 역률이 좋고 따라서 저입력화가 가능하다. 변압기의 소형화는 철심의 저감과 함께 용접 휴지시간에는 주변압기에 전력이 인가되지 않으므로 무효 전력 손실을 배제하는 효과가 있다. 예로써 200A급 상용 thyristor 용접기의 정격입력이 20kVA 내외인데 비하여 inverter제어형 용접기의 정격입력은 10kVA 정도이다.

4. Inverter형 용접기의 제어

4.1 GMA(CO₂, MAG, MIG)용접 system

4.1.1 CO₂ 용접 현상의 제어

* 용접현상의 개요

CO₂ 용접은 GMA 용접방법들 중 소모 가스의 가격이 싸고, 박판에서부터 후판까지 적용할 수 있으며 전자세 용접이 가능하기 때문에 가장 널리 쓰이는 방법이다. 그러나, 용접시 spatter가 많이 발생한다든지, 용접 bead품질과 아크 안정성이 나쁘고 용접 후공정에 소요되는 비용이 필요하게 되는 단점이 있다. 따라서, 높은 용접품질의 요구에 대응하여 여러가지 개선책이 제시되고 있는데, 용접 재료의 측면에서는 cored wire를 사용하는 방법이나 혼합가스를 사용하는 방법등이 있으나 이들 모두 CO₂ 단독 용접에 비해서 시공 비용이 많이 든다는 문제가 있기 때문에 본질적으로 CO₂ 용접현상

의 제어에 대한 개선책이 보다 중요하다.

*** CO₂ 용접에 있어서의 파형제어**

Inverter 제어형 CO₂ 용접기는 고속제어 특성을 활용하여 출력전류의 변화량(di/dt)을 제어하므로써 reactor의 작용을 전자회로화하여 강화시킬 수 있다. 다시 말해서 각 전류치마다 혹은 단락기간과 아크 기간 등에 따라서 적절히 전류를 제어하도록 하므로써 아크의 기동 특성을 향상시키고, spatter를 낮추면서 고속용접에 있어서의 안정성을 도모할 수 있는 효과가 있다. 그러나, 이 방법도 직류 reactor의 작용에 입각한 출력제어 방법일 뿐, CO₂ 용접의 특성개선에는 충분한 영향을 주지는 못했다. 이에 따라 고성능 microprocessor(CPU)를 용접기 제어에 채택하여 용접 spatter 저감을 위한 용접전류와 전압의 거동을 직접 제어하는 방법(adaptive control)을 실현하기에 이르렀다. 그림 5는 CPU를 사용하여 용접전류, 전압의 적응제어를 구현한 CO₂ 용접기의 구성도를 나타낸 것으로 발진회로에 의해 구성되는 timer 신호 iRQ₁, 지연 timer 신호 iRQ₂, 단락 판정신호 iRQ₃ 및 시정수를 가변시킬 수 있는 전류, 전압의 slope 제어 회로들에 의해서 용접기간중 임의의 시점에서, 임의의 속도로 전류치와 전압치를 각각 독립적으로 설정 변화시킬 수 있다. CPU는 이러한 값들을 받아 그림 6과 같은 전압 및 전류 파형들이 용접부에 공급되도록 출력신호를 내보내게 된다. CPU가 어떤 경우에 어떤 파형의 신호를 기초로하여 용접부에 전력을 공급하도록 할 것 인지는 사용되는 용접재료의 굵기와 재질, 모재의 특성, 용접부의 기하학적 조건 및 용착량 설정치 등 많은 변수가 있어서 아직은 최적의 설정이라기 보다는 이상적인 몇가지 조건에 국한되는 정도이다. 그러나, 최적의 파형은 아닐지라도 파형이 갖는 용접품질의 의미는 확인해 둘 필요가 있다. 그림 6은 전류의 파형을 제어 하므로써 용접시 발생하는 spatter를 최대한 억제하여 용착 효율을 극대화 시키고자 하나의 단락주기를 6개의 구간으로 분리하여 제어하는 방법을 채택 및 적용한 예로 각 구간의 목적과 작용은 다음과 같다.

- 구간 A (단락 상태의 균일화) : 출력 전압과 단락판정 전압 V_i의 대소 비교에 의해서 단락기간 인가 아크기간인가를 판별하여, 단락 발생후 T_d기

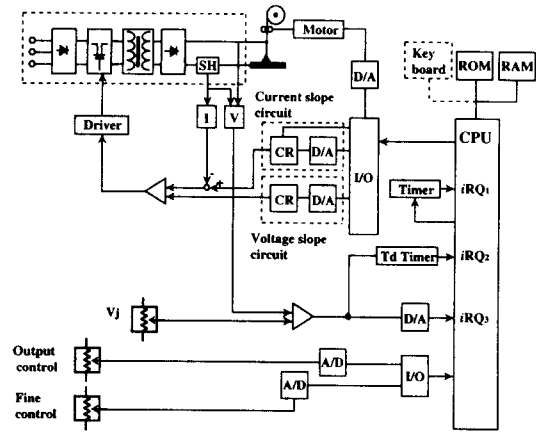


그림 5. 파형제어 용접 전원의 구성 예

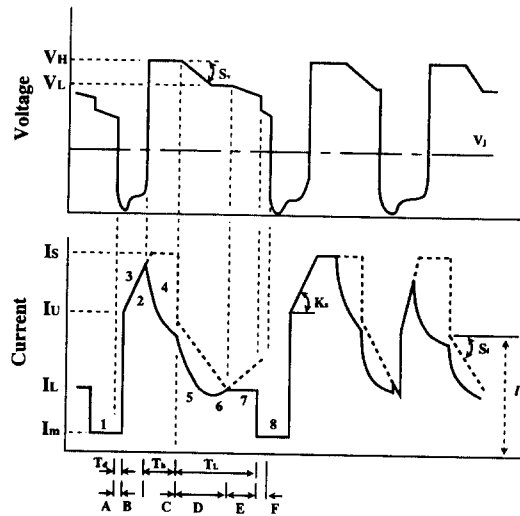


그림 6. CO₂ 용접에서 파형제어의 개념

간에는 전류를 증가시키지 않고 그 직전의 값을 유지시켜 용적과 용융지가 확실하게 단락하도록 하게한다.

- 구간 B (단락 해방전류의 억제) : 단락 발생 시점으로부터 T_d기간이 경과한 후 전류를 I₀까지 급상승시키고, 그 후 전류 상승 기울기를 이미 설정한 K₀로 억제하므로써 peak 전류를 필요 최소치로 유지할 수 있다.
- 구간 C (용적의 형성) : 단락이 해방되어 아크가 발생하면 출력전압이 V_b인 정전압 제어를 행한

다. 용접전류는 전압 V_R 에 대응하여 결정되고 정전압 특성과 함께 아크 길이의 자기제어 작용을 받으면서 wire 끝에서 용적이 형성된다.

- 구간 D (용적의 정형) : 아크 발생후 T_h 가 경과 하면 전압을 V_h 로 부터 기울기 S_v 로 V_L 까지 감소 시키면서 전류를 I_o 로 부터 기울기 S_i 로 I_L 까지 감소시킨다. 이 기간의 전류도 전압치에 의해 결정되는데 아크 길이의 제어를 받아 전류는 저하한다. 또한, 이 기간에서는 용적이나 용융지의 진동 등으로 인한 미소 단락이 발생하기 쉬운데 전류 I_o 을 설정하므로써 단락 전류의 증가는 억제되고 용적형상의 변화, 단락주기의 무질서함이 최소한으로 될 수 있다.

- 구간 E (용적의 과대 성장 방지) : 아크 길이가 짧게되는 아크 후반기에는 정전압 특성으로 인하여 전류가 증가하는데 전류는 I_o 로 억제 되기 때문에 용적의 과대 성장은 야기되지 않는다.

- 구간 F (단락의 촉진) : 아크 발생후 $T_h + T_L$ 기간이 경과하여도 단락이 발생하지 않는 경우, 전류를 I_m 까지 저하시켜 wire의 용융을 억제하면서 단락을 촉진시킨다. 이러한 용접전류의 파형제어에 있어서 단락의 해방(아크 발생)에 과대한 전류가 필요하여도 그 상한치는 I_o 이고 단락 해방시까지 이 값을 유지한다. T_d 기간중에 단락이 발생한 경우, 단락후 T_d 사이는 전류 제한 기능을 설정, 전류 증가를 억제하고, T_d 경과후 구간 B 이후의 동작을 행한다. T_d 경과 이전에 단락이 해방되면 구간 B의 동작은 진행하지 않고 구간 C의 동작으로 제어의 순서를 결정한다.

* 파형제어의 효과

이상의 파형제어에는 CO_2 용접에서 특히 문제가 되었던 spatter의 발생을 대폭 줄이고, 용접시 아크의 안정성을 크게 개선시킨다. 이러한 목적으로 개발된 파형제어의 방법은 여러 가지가 있는데 hardware적으로 구성한 전자 reactor도 그 하나의 예가 된 것이고 최근에는 fuzzy제어를 탑재한 용접현상의 제어도 이와같은 파형제어를 유도하는 예가 된다.

* Fuzzy 제어의 개념과 효과

Fuzzy 제어의 대상은 용접 현상의 제어 가능한 모든 변수들이다. 따라서, 이 기술을 적용하기 위

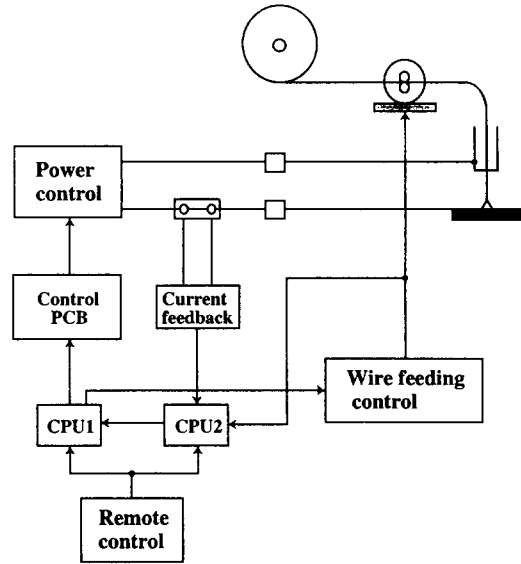


그림 7. Fuzzy제어를 이용한 system의 구성 예

하여는 용접의 물리현상과 그 작용을 정확하게 이해하고 있어야 한다. Fuzzy 제어 용접 system이 주로 다루고 있는 변수로서는 용접 전류, 용접 전압 및 wire 송급 속도등이지만, 그들 중에서도 용접 전류는 fuzzy 제어기의 설계에서 가장 중요하고 기본이 되는 요소이다. 예를들면, 용접 전류가 적정한 설정치보다 많거나 적게 출력하는 경우 즉, 전류 오차값이 증가하는 경우는 물론이고, 전류의 출력 오차량이 적정 범위 안에 든다고 하더라도 wire 송급량과 용접 전압을 미소 변화시키면서 최적의 용접부가 얻어지도록 많은 실험을 토대로한 data를 잘 활용하여야 한다. 그림 7은 fuzzy제어 기술을 적용한 예를 보이고 있는 것으로 CPU-1은 fuzzy 추론을 계산하기 위한 전용 소자이고, CPU-2는 CPU-1으로부터 받은 추론 결과를 이용하여 파형제어를 한다든지 각 종 sequence 제어를 행하는 소자이다. 이 system에서는 미리 입력된 용접 전류를 기초로하여 각장 길이, 전극-모재간 거리 및 wire 송급 속도를 제어 함수로 활용하고 있는데, 그 결과의 예는 그림 8과 그림 9에 보인 바와 같이 용입 깊이와 아크 특성에서 종래의 용접 장치에 비하여 우수한 것으로 발표되고 있다.

4. 1. 2 MIG/MAG pulse 용접현상의 이해

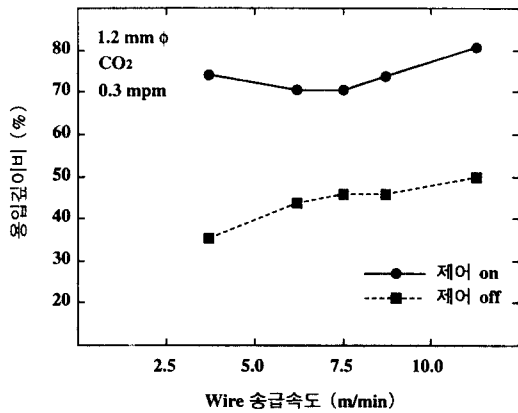


그림 8. 용입 특성 비교

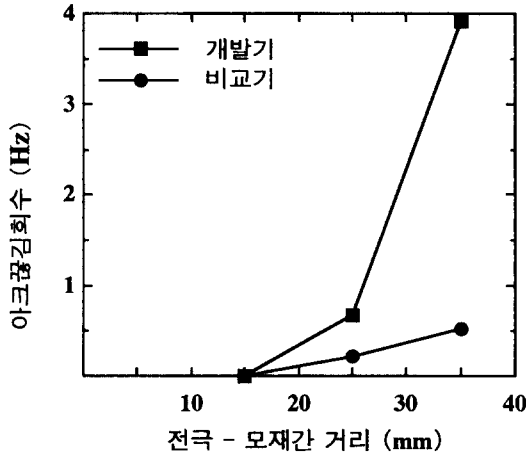


그림 9. 아크 안정성 비교

* 용접현상의 개요

MIG 용접에서는 분위기 가스로서 Ar을 사용하는데 이 가스는 불활성 기체이어서 용접시 용접봉 및 용융지와 반응을 일으키지 않기 때문에 용접품질의 제어가 쉽다. 대전류 영역에서는 용적 이행이 spray mode가 되어 용입이 깊고 높은 용착율로 용접이 가능한 특징이 있다. 특히, MIG 용접에서는 단락 영역에서 일부 전류구간의 용적이행을 spray형으로 하면, spatter의 저감과 bead 품질을 높일 수 있는데 이렇게 하기 위해서는 용접전류를 pulse형으로 제어할 필요가 있다. MIG 용접에서 사용되는 Ar은 고가이고 따라서 용접시공에 소요

되는 비용이 CO₂ 용접에 비해서 높아서 이들을 혼합하여 사용하는 MAG 용접법이 개발되었다. MAG 용접법은 사용하는 용접재료에 따라서 다르지만 Ar에 CO₂를 10-20% 혼합하여 비용절감을 도모하고 있다.

* MIG/MAG pulse 용접의 파형제어

MIG 용접에서 직경 1.2mm의 연강 wire를 용접재료로 사용하고 돌출 길이를 15mm로 하여 용접할 때, 200A 이상이 되면 용접이행의 형태가 spray mode로 되어 spatter발생이 거의 없고 bead 외관도 미려하다. MAG 용접의 경우는 그림 10에서와 같이 가스의 혼합비율에 따라 다르지만 어떤 임계전류치 이상이 되면 spray 이행이 되어 좋은 용접품질이 얻어진다. 용적이행이 spray형으로 되면 용접중 용접전류의 변동이 규칙적이며 그 변동폭도 매우 작아서 종래의 정전압 제어 용접 장치로도 충분한 효과를 볼 수 있다. 그러나, 소모성인 가스 비용등의 절감을 위해서 고능률 용접시공이 필요하고 따라서 pulse 용접방법이 제안되었는데, 그림 11은 pulse MAG 용접에서 용적이행과 전류 파형과의 관계를 나타낸 것이다. 이와같은 방법에서는 평균전류가 임계전류치 이하로 저하하여도 임계전류치 보다 높은 pulse전류를 base전류에 중첩시켜 용적을 단락시키지 않기 때문에 spatter의 저감과 미려한 bead 외관이 얻어진다. 특히 pulse전류,

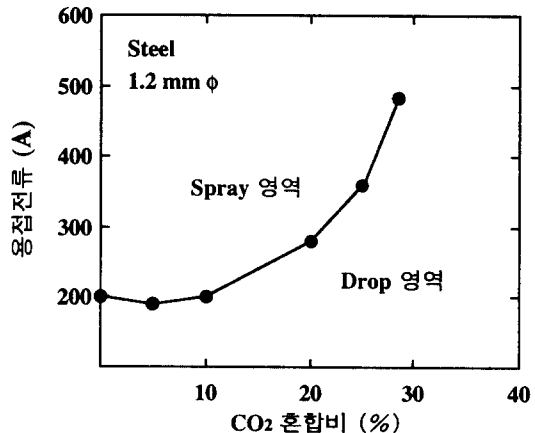


그림 10. Ar과 CO₂의 혼합비가 임계 영역의 변화에 미치는 영향

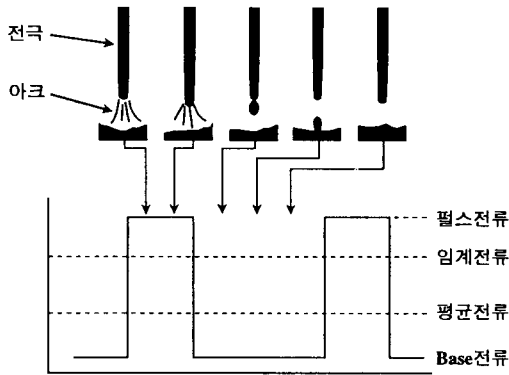


그림 11. Pulse MAG용접에서 금속의 이행 현상
pulse시간과 같은 용접 변수를 적절하게 선정하면 "1 pulse 기간에 1 용적이행" 이라는 규칙적인 제어 가 가능해지고, 일반적인 방법보다 훨씬 더 좋은 용접 품질과 함께 용접능률을 향상시킬 수 있게 된다. 이상과 같이 펄스 전류만을 제어하는 방법 이외에도 용접 system에 CPU를 장착하고 pulse의 적정치를 재질이나 용접 공정의 차이에 따라서 미리 설정한 다음, wire 송급량과 pulse 주파수를 연동시키는 제어 기법과, 일정한 아크 길이를 얻기 위한 pulse 주기 혹은 pulse 폭의 자동 가변제어를 도모하는 용접시공의 AI화도 성과를 거두고 있다.

4.2 GTA용접 전원 system의 제어

4.2.1 개요

TIG용접으로 대표되는 비소모전극식 아크 용접은 고품위 용접법의 하나로서 stainless강이나 동, Ti합금등 특수재료의 용접에 적합한 직류용접과 AI합금 등의 용접에 적당한 교류용접이 하나의 용접기에서 선택될 수 있도록 교류/직류 겸용 용접기가 개발되어 현재 널리 이용되고 있다. GTA용접은 정전류특성(수하특성)을 이용하여 용접을 행하는 방법으로서 tungsten을 주성분으로하는 비소모성 전극을 사용하기 때문에 아크의 특성이 안정되고 균일하여 용접후 미려한 외관을 얻을 수 있고 용접시 spatter도 거의 발생하지 않는다.

4.2.2 GTA 용접현상의 제어

* 직류 용접의 제어
직류 GTA용접의 제어는 정전류 특성을 이용하여야 하기 때문에 용접 과정에서 항상 일정한 전류가 아크 위치에 공급되도록 한다는 것 이외에는 전술한 그림 5로 대표되는 GMA용접기의 제어구조와 거의 유사하다.

	펄스파형	펄스 주파수				
		1Hz	10Hz	100Hz	1kHz	10kHz
Thyristor 방식		■				
Chopper 방식		■	■			■
Inverter 방식		■	■	■		
Analog 방식		■	■	■	■	■
용도		<ul style="list-style-type: none"> • 전저세 용접 • 이두께 용접 • 표면 bead 용접 	<ul style="list-style-type: none"> • 박편 용접 • 정밀 용접 			<ul style="list-style-type: none"> • 초고속 용접

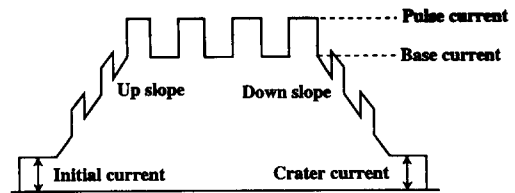


그림 12. 각종 pulse방식의 적용 주파수 영역

* Pulse 용접의 제어
Pulse 용접은 전류를 pulse 형태로 제어하도록 한 것으로서 주파수에 따라서 그림 12와 같이 낮은 주파수 영역(~10Hz), 중간 영역(~수백Hz), 높은 주파수 영역(~수십kHz)으로 구분 하기도 한다. 일반적으로 널리 이용되고 있는 낮은 주파수 TIG 용접은 그림 13(a)와 같이 용융부의 집중도가 좋은 용접부를 얻을 수 있다. 이 영역의 pulse는 박판의 용접에서 아크 안정성이 좋은 것으로 알려져 있고, 판두께가 다른 소재의 용접이나 이종금속간

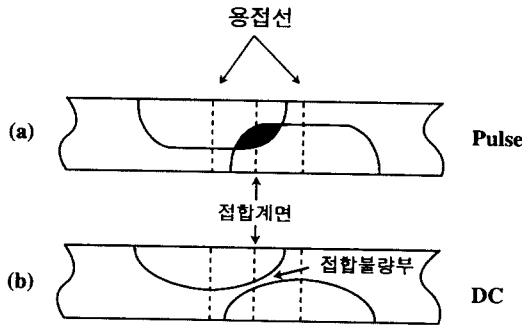


그림 13. GTA용접에서 용입 형상의 비교

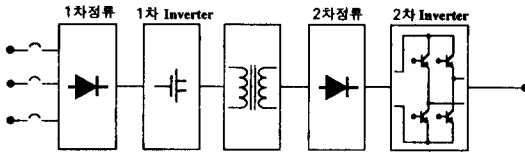


그림 14. Double inverter형 교류 GTA system의 전력부 구성

의 용접에서도 균일한 이면 비이드를 얻을 수 있다.

*** 교류 용접의 제어**

종래의 TIG 용접기는 주전력 변압기의 2차측에 thyristor와 reactor를 연결하는 제어 형태를 하고 있기 때문에 제어 속도의 한계를 나타내어 AI합금이나 Ti합금등과 같이 산화성이 매우 강한 금속의 용접시 cleaning 효과를 위하여 교류를 인가하였을 경우 전극의 손모가 촉진되거나 이로 인한 용접부 강도의 저하를 유발시키기도 한다. 이와 같은 문제점을 개선하기 위하여 double inverter형 교류/직류 TIG용접기가 개발되었는데 그림 14는 이 용접기의 구성을 간단히 나타낸 것이다. 그림에서 3상 전원과 1차 정류기, 1차 inverter, 주전력 변압기 및 2차 정류기까지는 전술한 inverter제어형 직류전원과 같으나, 여기에 2차 inverter회로를 추가하는 형태를 가지고 있다. 1차 inverter 회로는 높은 주파수로 switching을 하는데 대하여, 2차 inverter 회로는 교류용접에 필요한 주파수로 동작할 뿐만 아니라, 하나의 주기에서 전류의 배분도 매우 자유롭게 변화시킬 수 있기 때문에 전극의 손모를 최소화 하면서 교류 용접의 특성을 최대화 하고 있

다.

5. GMA/GTA 용접 제어 기술의 최근 동향 및 과제

그림 15는 아크 안정화 평가를 위한 시도의 하나로서 소정의 용접 과정에서 전류와 전압 변화량을 직접 기록하고 그 결과를 바탕으로 (b)와 같은 대표적 거동을 추출 및 분석하므로써 용접 장치와 아크 안정성을 동시에 평가하려는 것이다. 용접 공정을 외부에서 적절히 제어하여 bead의 특성을 최적화하기 위한 실험 결과는 그림 16과 그림 17에 보이고 있는데, 이 기술은 GMAW에서 wire의 돌출 길이를 변화시키고 그 때의 송급 속도를 동적으로 제어하는 기술이다. 이렇게 하므로써 용입 깊이 제어 성능을 현저하게 높이고 있다. 한편, AI 기법이나 fuzzy, 신경회로망 응용 기법등 data 처리 기술을 용접기 제어에 활용하는 예는 선진국의 전문 maker를 중심으로 상당히 깊이있게 진척되고 있는 것으로 알려져 있다. 그림 18과 그림 19는 각각 용융지 제어를 위한 fuzzy 제어계와 그 결과의 한 예를 제시한 것이다. 용접 품질의 real time제어

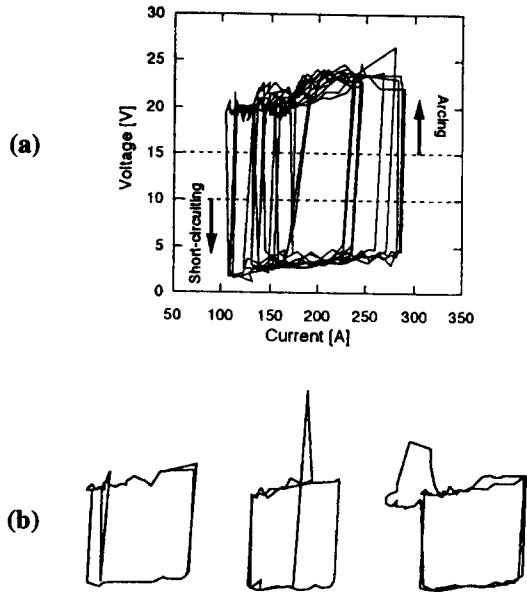


그림 15. 아크 특성 곡선

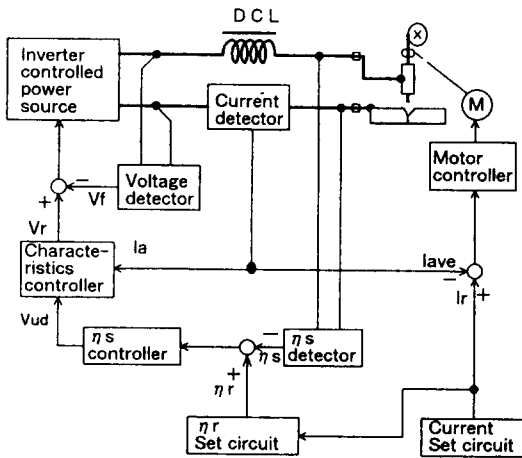


그림 16. 용입 깊이 제어 system

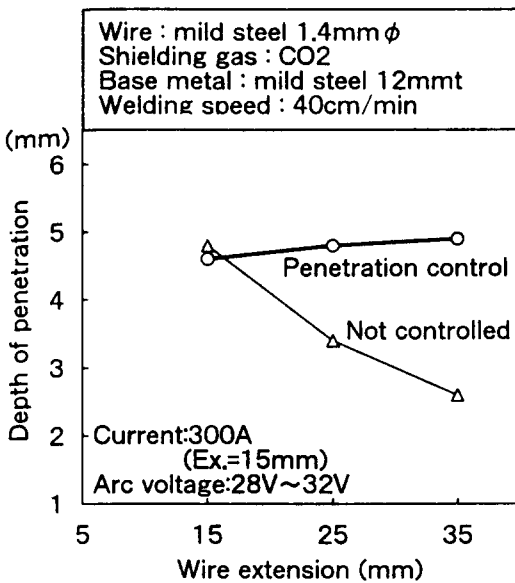


그림 17. 용접 조건에 따른 용입 깊이 제어 효과

기술 중에는 전류, 전압 및 보호 가스의 압력 등을 변수로하여 적정 용접 조건에서 벗어남을 탐지하는 기술이 실용화 과정에 있고, 용융지의 진동을 주 제어 변수로하여 modelling한 다음 그것을 기초로 용융 금속의 거동 분석 및 용입 특성 제어의 자료로 활용하므로써 용접 품질을 제어하려는 시도도 성과를 거두고 있는 것으로 알려지고 있다.

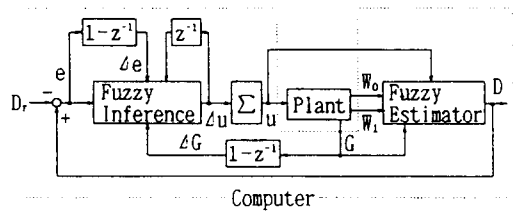


그림 18. 용입 깊이 제어를 위한 fuzzy controller

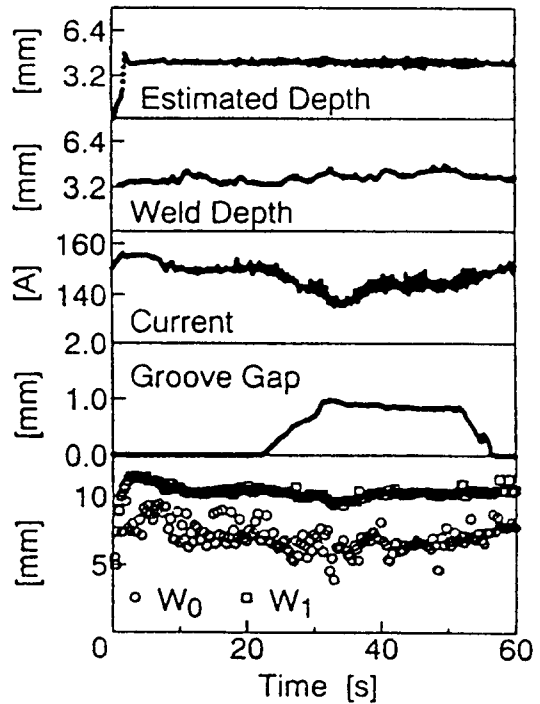


그림 19. Fuzzy기법을 이용한 용입 깊이 제어 결과

6. 결 언

용접 전원 기술의 복잡성과 high-tech성을 고려하여 볼 때 그와 같이 넓고 깊은 범위의 내용을 간단하게 요약한다는 것은 매우 힘든 일이겠으나 정리하자면,

- 높은 생산성과 함께 고품위 용접을 추구하는 제조업의 요구를 만족시키기 위하여 용접 기술계가 하여야 할 일은 매우 포괄적이면서도 극한

기술에 도전하여야 할 것이라는 것과,

- GMA/GTA용접 전원 제어기술 개발의 흐름을 토대로 보면 이제 부터의 용접 제어 기술은 용접의 안정화, system의 최적제어, sensor 및 그 응용 그리고 용접부의 real time 품질 제어 등을 포함한 종합적 품질 보증 시대에 들어와 있다고 생각 된다.

이러한 일련의 용접 전원system 개발 동향과 전망은 일견하여 용접 기술 전반의 일처럼 보일 수도 있지만, 용접 전원은 각각의 사용 목적에 따라서 용접 공정, 용접 작업성 및 용접 품질로 표현되는 용접기술의 가장 중심에 위치하고 있음을 인식할 때, 앞으로 좀 더 기술 집약적이고 cost effective한 system의 출현을 기대한다

참 고 문 헌

1. 坂部, 三田 : 日本 溶接法研究委員會資料, SW-1527-84
2. 坂部, 三田 : 日本 溶接學會誌, 55, 7 (1986) 419
3. 三田 : 日本 溶接學論文集, 6, 2 (1988) 210
4. 野博 : 日本 溶接學會講演概要集, 45 (1989) 27
5. 山本, 長坂 : 日本 溶接技術, 33, 2 (1985) 19
6. 長坂, 山本 : 日本 溶接技術, 35, 2 (1987) 52
7. 山本 : 日本 溶接技術, 36, 5 (1988) 56
8. 多井, 中野 : 日本 溶接技術, 44, 1 (1996) 78
9. 西浦, 中尾, 谷本 : 日本 溶接技術, 42, 2 (1994) 79
10. 古谷 : 日本 溶接技術, 42, 1 (1994) 78
11. 原田, 中俣, 上山, 松本 : 日本 溶接技術, 40, 8 (1992) 63
12. 印南, 王靜, 浜本 : 日本 溶接技術, 40, 8 (1992) 69
13. 原田, 安田 : 日本 溶接技術, 41, 2 (1993) 81
14. 장래웅, 김기철, 강문진 : 공업기반기술개발 과제 보고서, "인버터 제어방식의 전기용접 기 개발" (1990) 169
15. 김기철, 강문진, 이왕하 : RIST 연구 보고서, 2510H (1993) 140
16. 김기철, 강문진, 이왕하 : RIST 연구 보고서, 3510H (1994) 79
17. T. Kashima, Y. Yamanaka : IIW-XII-878-85(XIIC-105-85)
18. S. K. Gilbert, A. D. Faircloth and B. Goodwin : Proc., IIW Asian Pacific Welding Congress, Hobart, Australia (1988) 252
19. T. Mita, T. Kashima and Y. Yamanaka : ibid, 280
20. T. Mita, T. Shinada : Proc., International Symposium of JWS, 1 (1990) 121
21. K. Hamamoto, Y. Nishida, M. Takagi : ibid, 127
22. D. Rehfeldt : Proc., JOM 7, Helsingor, Denmark (1995) 477
23. X. Wu and B. Hong : Proc., IIW Asian Pacific Welding Congress, Auckland, New Zealand (1996) 251
24. T. J. Nacey : Welding J., 72, 1(1993) 31
25. P. Anderson : TWI Bulletin, 36 (1995) 134
26. Miller Electric Mfg. Co. : "Complete Arc Welding Solution 1996"
27. P. G. Jönsson, J. Szekely, R. B. Madigan and T. P. Quinn : Welding J. 74, 3 (1995) 93-s
28. H. Yamamoto, S. Harata, T. Nakamata and T. Uezono : Proc., JWS, 55 (1994) 62
29. T. Shinoda and H. Nishikawa: Proc., JWS, 56 (1995) 112
30. Y. Suga and T. Tokiwa: Proc., JWS, 57 (1995) 384
31. T. Iisaka, M. Miyazawa, Y. Kaneko, T. Kubota and K. Ohsima: Proc. JWS, 54 (1994) 160