

디지털 용접전원의 발전동향과 IT의 응용

강 문 진 · 강 봉 용 · 김 정 한

Trend in Digitalization of Welding Power Source and Application of Information Technology

Mun-Jin Kang, Bong-Yong Kang and Jeong-Han Kim

1. 서 론

반도체 소자의 급속한 발전은 우리 일상생활의 모든 활동과 패턴을 송두리째 뒤바꿔 버렸다. 반도체의 발전은 곧 디지털 기술의 혁명을 야기시켰고, 이는 다시 IT(Information Technology) 산업의 급속한 보급으로 연결되었다. 최근 우리는 일상에 접하는 모든 전자 제품들에서 거의 디지털 기술이 적용되어 있음을 잘 알 수 있다. 이러한 디지털 기술의 혁명은 용접산업에도 예외 없이 영향을 미치고 있다. 용접전원에 있어서의 디지털화의 흐름을 살펴보면, 1980년대 용접전원의 출력전류(또는 전압)의 제어나 용접 시퀀스(sequence)의 제어가 시작된 이래로 현재는 용접전류의 파형제어나 고속 궤환제어(feedback control) 뿐만 아니라 IT 환경을 이용한 원격작업을 가능케 하는 등 용접품질의 고급화와 용접시공의 무인화를 향해 급속히 발전하고 있다¹⁻⁵⁾.

2. 용접전원의 디지털화

2.1 용접전원의 디지털 제어화

용접공정의 자동화 및 robot화를 추진해 감에 따라 Gas Metal Arc(이하 GMA) 용접기는 고성능, 고기능이 요구되어 왔고, 이에 대응코저 첨단 전자제어기술을 필요로 하는 인버터 제어방식의 용접전원이 개발되었다⁶⁾. 최근에는 마이크로 프로세서(microprocessor)를 용접전원의 제어회로에 탑재하므로써, 복잡한 아크 현상을 보다 정밀하게 제어할 수 있는 디지털 제어방식의 용접전원도 개발되어 보급되고 있다⁷⁾. Fig. 1은 인버터 제어방식의 용접전원에 있어서의 용접제어부의 디지털 제어화의 변화과정을 나타낸 것이다⁸⁾. 트랜지스터 인버터(Transistor inverter)에 의한 출력제어방식의 용접전원이 최초로 개발된 1980년대 초부터 마이

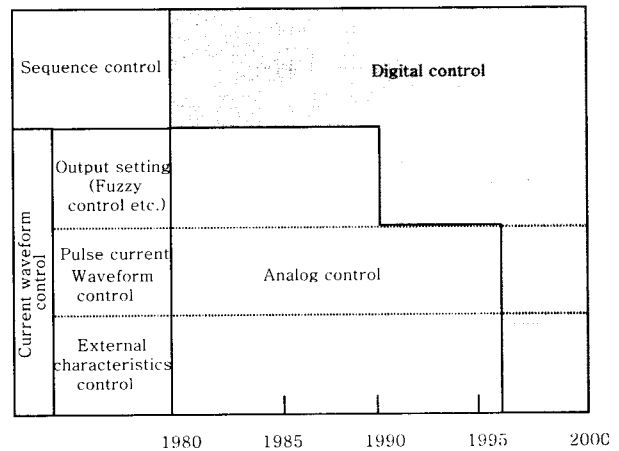


Fig. 1 Trend of digitalized control in welding power source

크로 프로세서를 사용하여, 용접 스타트로부터 종료까지를 제어하도록 시퀀스 제어하거나, 간단한 용접조건 파라메타(parameter) 설정을 디지털 제어화(Software화) 하는 수준에 머물렀고, 전류의 파형제어나 전원의 외부특성곡선을 능동제어하는 것은 불가능하였다. 1990년대에 들어서면서 복잡한 수학적 함수를 고속연산처리할 수 있고, A/D 변환기(Analog to Digital Converter)와 RAM(Random Access Memory)를 내장한 고집적, 고성능의 마이크로 프로세서가 개발되면서, Fuzzy controller 등과 같은 첨단 지능형 제어알고리즘을 용접현상 제어에 응용하는 디지털 제어형 용접전원이 탄생하게 되었다⁹⁻¹³⁾.

2.2 용접전원의 디지털화의 목적

용접전원을 디지털 제어화 하는 목적은 다음 세가지로 요약할 수 있다. 첫째, 용접조건의 설정과 표시의 디지털화이다. 두 번째는 원하는 파형계측 또는 용접출력의 순시변동에 대한 처리과정을 데이터 베이스화하

여, 아크현상을 능동적으로 미세제어가 가능하게 할 수 있다는 점이다. 세 번째는 고속 디지털 통신기술을 접목하여 IT 기반의 원격 시공, 원격관리 및 진단이 가능하다는 것이다.

3. 용접전원의 설정 및 표시장치의 디지털화

용접전원의 디지털화라면 우선 생각되는 것이 용접조건 설정의 디지털화이다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 종래의 아날로그 용접기에 있어서는 많은 가변저항을 이용한 볼륨(volume) 값의 분압치를 이용하여 용접조건을 설정하였다. 그러나 작업자는 설정한 상태를 정확하게 알 수 없었고 단지 출력의 결과를 확인하여 원하는 설정치를 미세하게 조정해야만 했었다. 또한 용접조건을 정확하게 설정할 수 없기 때문에 작업자는 향후의 동일조건에서의 재현 용접이 불가능하였다. 이후 표시장치의 디지털화가 개발되었다. 이것은 가변저항의 볼륨값을 표시하는 수단을 종래의 눈금방식의 표시장치에서 숫자로 표현될 수 있는 디지털 표시장치를 이용하여 설정치를 디지털화 하였다. 그러나 이것 역시 볼륨의 재현 설정이 매우 어렵고, 기타 용접조건 설정은 여전히 선택 스위치에 의해 설정되도록 하는 수준에 머물렀다¹³⁾.

마이크로 프로세서의 고성능, 고집적화와 LCD 표시장치의 발전에 따라 용접전원의 표시장치도 획기적인 변화를 맞이하는데, 로봇 조작핸들(pendent)과 같이, 모든 설정조건들을 메뉴방식화 하여 몇 개의 보턴으로 메뉴를 변경하고, 디지털설정으로 정확하고 재현성 있는 조건의 설정이 가능하게 되었다. Fig. 3에 보여지듯이, 최근의 디지털 용접전원에서는 일체의 볼륨을 모두 없애고, 전부 JOG 다이얼을 이용하여 JOG의 펄스 수를 CPU가 카운트하여 용접조건을 설정하는 모델을 내

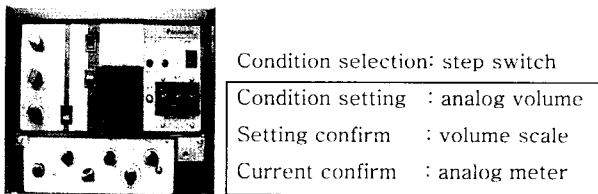


Fig. 2 Front panel of a traditional welding power source

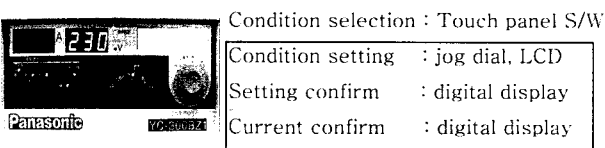


Fig. 3 Front panel of a new welding power source

놓고 있으며, Fig. 4와 같이 touch panel 방식을 채택^{6,14)}하여 설정조건의 램프가 커지도록 하여 용접조건의 설정을 한번에 확인할 수 있도록 하는 방식도 개발되었다.

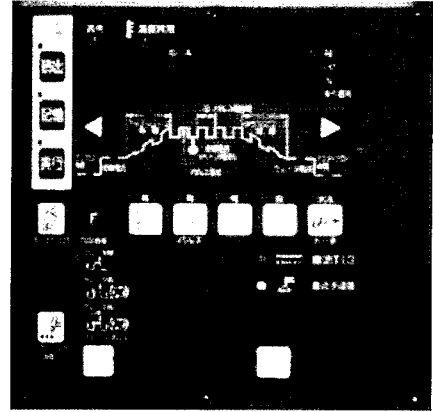
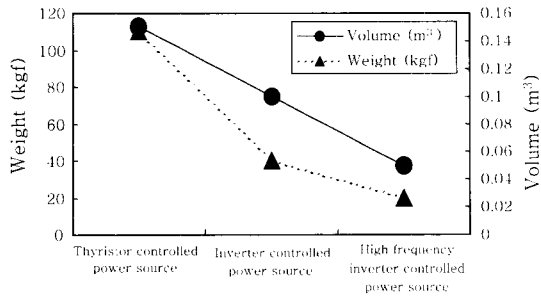


Fig. 4 Front panel of a digital pulsed welding power source

4. 디지털 용접전원에 의한 아크현상 및 용접품질 제어

4.1 Gas Tungsten Arc (이하 GTA) 용접전원의 디지털 제어

마이크로 프로세서의 발전과 더불어 용접전원의 고성능화에 직접적인 영향을 미치는 전자부품으로는 전력제어소자이다. 종래 전력제어소자는 대부분 thyristor가 주로 사용되었으나, 1980년대 중반이후 인버터 용접전원에는 power transistor가 채택되었고, 1990년대 초반 전원 노이즈에 강한 IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)가 전력제어소자로 널리 이용되었다. 최근 이 MOSFET를 이용하여 인버터 전력제어주파수가 120kHz 로 종래 인버터 전력제어주파수의 약 5배인 고속 제어를 실현한 GTA 용접전원이 발표되었다. Fig. 5(a)는 전력제어주파수 대비 용접전원의 무게와 체적을 나타낸 것이고 (b)는 용접변압기를 나타낸 사진이다. 그림에서 보면 고주파 인버터 제어기술의 실현으로 경량, 소형화가 달성되어 작업성이 매우 우수해 졌음을 알 수 있고, 이것은 고주파화에 따라 용접변압기의 철심과 2차 리액터를 작게 할 수 있어서 효율 높은 용접전원의 설계가 가능해 졌기 때문이다. 또한 Fig. 6에서 알 수 있듯이 고주파화에 따른 전류의 리플(ripple) 역시 매우 적어져 용접품질이 다소 개선될 수 있음을 알 수 있다. 그러나 GTA 용접은 종래의 방식을 사용한 경우조차도 대체로 용접품질의 변동이 적기 때

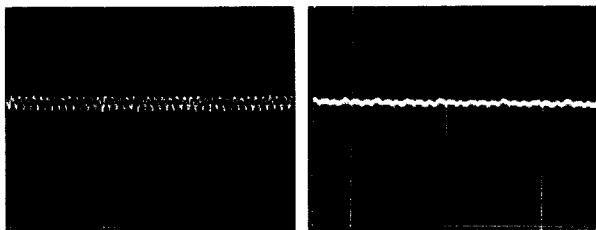


(a) Weight and volume



(b) Main transformer shape

Fig. 5 Weight, volume and main transformer shape of power source according to development of control technology



(a) Traditional inverter

(b) New inverter

Fig. 6 Current waveform according to difference of control technology

문에 용접전원의 디지털화는 표시장치의 디지털화나 미세설정 및 제어의 효과를 제외하고는 용접품질의 개선 효과는 크게 의미가 있지는 않다. 다만 고속 인버터 제어기술은 디지털 제어기술의 일부 효과이므로 이에 따른 작업성의 개선은 크게 영향을 미칠 수 있을 것이다.

4.2 Gas Metal Arc (이하 GMA) 용접전원의 디지털 제어

4.2.1 아크 스타트 성능의 개선

인버터 제어형 용접기가 개발되면서 아크 스타트 성능이 획기적으로 개선되었다. 이때의 아크 스타트 제어 방법은 초기 용접전류 상승률을 종래 thyristor 용접전원보다 더 빠르게 (약 4000A/sec) 함으로써 구현하였는데 이로써 아크 스타트 성능은 다소 개선될 수 있었으나, 용접 초기부분에서의 용접품질의 측면에서 보면 아크 스타트 부위에서의 품질이 다소 떨어지는 문제점

이 있었다. 이것은 대체로 초기 와이어 송급속도의 불균일성 때문에 와이어 선단이 모재에 닿는 단락이후의 아크 발생에서 발생하는 것이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서, Fig. 7과 같은 아크 스타트 제어기술이 개발되었다. 먼저 토치 스위치가 ON하면 무부하전압이 와이어와 모재 사이에 인가되고, 느린 와이어 송급속도로 와이어가 모재쪽으로 송급된다 (Fig. 7 A~B구간). 와이어 선단이 모재에 닿으면 단락상태가 되므로 이때부터 전류가 흐르기 시작한다. 단락이 발생하면 와이어 송급모터를 역회전시켜 소정의 거리가 될 때까지 와이어를 되감는데, 이때 전류를 유지시키는 것이 매우 중요하다 (B~C 구간). 소정의 거리가 유지되면 다시 와이어 송급모터를 정회전시키는데 이때 용접전류를 설정 전류치로 하여 와이어를 송급시킨다. 이미 이때는 전류가 흐르고 있는 상태이므로 아크는 자연스럽게 발생한다 (C~E 구간). 이러한 결과로 Fig. 8에서 알 수 있듯이, 종래 인버터에서는 아크가 발생할 경우에서도 단

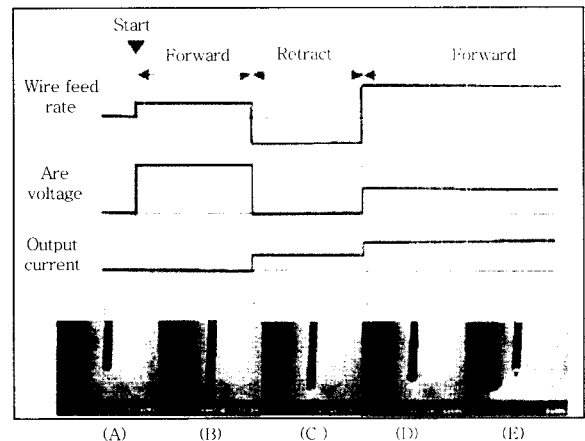
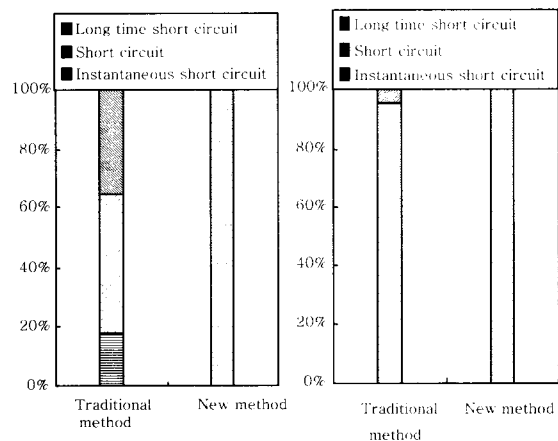


Fig. 7 New technology for improving the arc strike performance



(a) Al-si series (A4043) wire (b) Mild steel (YGW-15) wire

Fig. 8 Comparison of success rate in arc start

락상태에서 발생하거나 긴 단락후에 발생하는 경우가 많이 있었으나, 새로운 아크 스타트 개념에서는 아크 스타트가 순간적으로 발생하면서 재현성이 우수하여 초기 용접품질을 크게 개선시킬 수 있다. 이러한 개념은 박판의 용접 시작부위의 제어에 큰 효과를 볼 수 있다.

4.2.2 디지털 제어에 의한 파형제어

일반적인 정전압제어특성을 가진 용접전원을 사용하여 GMA 용접할 경우, 잘 알려져 있듯이 용적이행모드는 단락이행(short circuit transfer), 입상이행(globular transfer), 스프레이이행(spray transfer) 모드 등이 있다. 이들 중 스프레이 이행모드는 스패터 발생이 거의 없고, 용접품질이 미려하므로 용접의 진행 중에 아크 현상을 제어해야 할 필요를 거의 느끼지 못한다. 그러나 입상이행이나 단락이행의 경우 스패터 발

생이 많고, 용접품질이 나쁘다. 이에 따라 선진 용접기 maker들은 각사의 특허로 파형제어 기술을 선보이고 있다. Fig. 9는 여러 가지 파형제어 기술들 중의 하나의 예를 든 것이다. 단락이행모드의 경우 스패터는 단락이 시작하는 부분과 단락이 종료되어 재아크가 발생하는 부분에서 가장 많이 발생한다. 이것을 해결하기 위해서는 단락이 시작되는 순간에 전류를 낮추어서 용적이행에 반대로 작용할 가능성이 있는 전자기력을 낮추는 방법을 선택하는 것은 매우 현명한 일일 것이다. 또한 용적이 용융지로 완전히 이행되어 단락이 종료하는 재아크의 시점에서는 순간적으로 발생하는 아크력이 용융지를 강하게 밀어내는 상태가 발생할 수 있기 때문에 이때에도 용접전류를 낮추어 아크력을 낮게 할 필요가 있다. 이러한 현상의 제어는 고속의 제어기술과 제어부품의 성능이 요구되는데 종래의 인버터 용접전원에서는 불가능하였다. Fig. 10은 이러한 단락이행의 안정화를 위한 디지털 제어기술의 한 예를 나타낸 것이다. 즉 아크 전압의 신호로부터 단락시간과 아크시간의 비율을 연산하고, 용접전류신호로부터 평균전류를 계산하여 이들의 계산결과를 입력변수로 하고, 용접전압의 설정치와 와이어 송급속도를 출력변수로 하는 Fuzzy 제어기를 사용하여 Fig. 11과 같은 규칙적인 용접전류의 파형을 얻을 수 있다. 이것은 모든 현상의 제어와

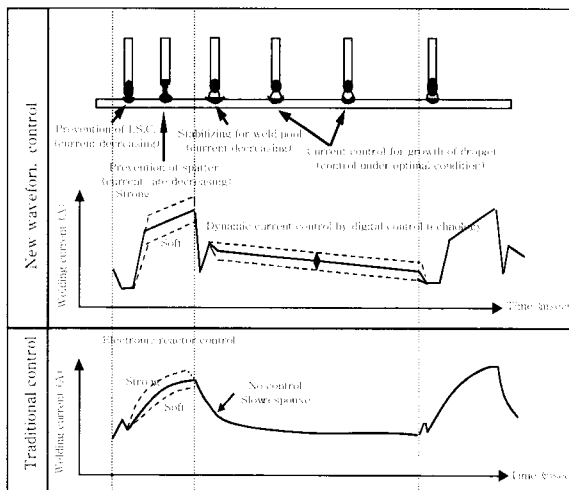


Fig. 9 A concept of new waveform control in short circuit transfer mode

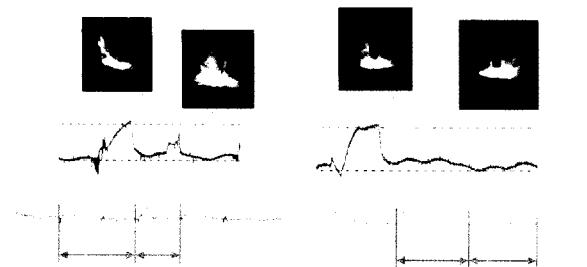


Fig. 11 Comparison of arc phenomena and waveform between analog and digital control in short circuit transfer mode

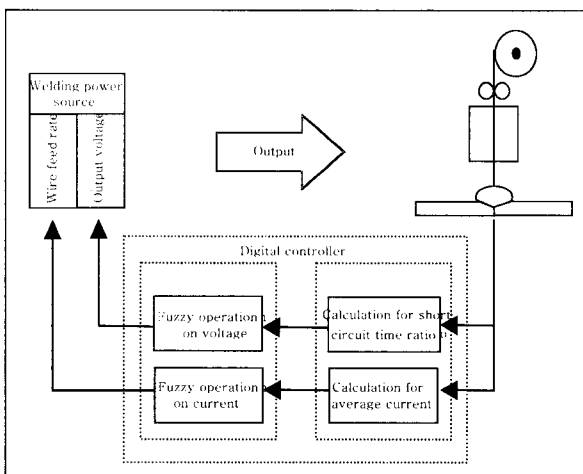


Fig. 10 A concept of fuzzy control technology in inverter controlled digital welding machine

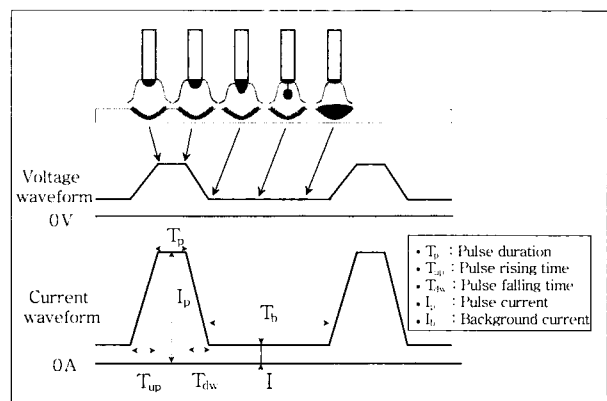


Fig. 12 Parameters of pulsed current waveform

연산을 CPU에 의해서 처리하는 디지털 제어기술에 의해서만 거의 가능하다고 할 수 있고, 이 파형의 결과는 규칙적인 용적의 크기가 형성되었을 때 단락을 일으키고, 단락이 발생하면 거의 비슷한 전류 제어에 의해서 용적을 완벽하게 용융지로 이행하여 spatterless 용접 구현이 가능해진다.

4.2.3 지능형 디지털 펄스 용접전원

펄스용접은 일반적으로 1개의 용적이 하나의 펄스주기마다 용융지로 이행할 때 스패터 발생이나 용접품질이 가장 우수하다고 알려져 있다. 그런데 용접 파라메타 설정이 약간이라도 잘못 설정될 경우 1펄스 1용적 이행(이하 ODPP : One Drop per Pulse)의 상태가 깨져버리게 되고, 용접품질이 불량해 지는 경우가 많다. Fig. 12는 펄스용접의 파형과 파형을 구성하는 인자들 및 용적의 이행상태를 나타낸 모식도이다. 그림에서 알 수 있듯이 펄스용접의 파형을 구성하는 파라미터는 펄스기간 T_p , 베이스시간 T_b , 펄스전류 I_p , 베이스전류 I_b 등이다. 이들중 어떤 하나의 파라미터가 바뀌어도 ODPP가 깨어질 수도 있다, 그런데, 아무리 훌륭한 용접작업자라 할지라도 ODPP를 유지하면서 원하는 용접 품질을 얻기 위한 펄스 파라미터를 완벽하게 설정하기가 어렵다. 이것은 다시 말해서 어떤 한 두개의 파라미터를 결정하면 나머지 파라미터를 미세하게 조정하므로써 ODPP를 유지할 수 있는 지능형 펄스 용접전원 제어가 필요함을 의미한다. 이에 따라서 Fig. 13과 같은 지능형 펄스 용접전원이 개발되기도 하였다, 그림을 살펴보면 용접와이어의 종류나 직경 그리고 송급속도에 따라서 I_p , I_b 및 T_p 를 결정해두고 ODPP를 유지시키기 위해서 설정전압 및 전류 그리고 출력전압 및 전류파형으로부터 주기적인 특성을 연산하여 베이스 기

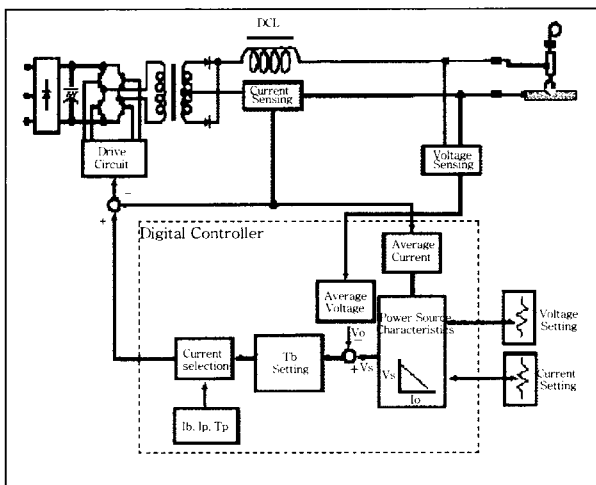


Fig. 13 Control schematic diagram of a digital pulsed GMA welding power source

간 T_b 를 조절해 줌을 알 수 있다. 이러한 모든 연산을 CPU에 의한 디지털 제어기로서 해결하였다. 또한 Fig. 14는 지능형 교류 펄스 GMA 용접전원의 제어개념을 나타낸 것이다.

4.2.4 디지털 와이어 송급 제어기술의 적용

최근 와이어 송급속도를 정속제어하기 위해서 송급모터를 일반적인 DC 모터 대신 서보모터나 워 기어 모터를 이용한 기술이 개발되고 있다. 그런데 어떤 경우에 있어서도 원하는 속도가 유지되도록 제어해 주기 위해서는 와이어 송급속도를 관측하고 계측결과를 제어기에 입력하여 원하는 속도의 차이를 보상하는 수단이 필요하다. Fig. 14는 대표적인 와이어 송급속도 제어기의 모식도를 나타낸 것이고, Fig. 15은 송급속도 계측을 위한 엔코더(Encoder)의 부착상태를 나타낸 것이다. 이러한 제어기술의 적용결과로써, 송급모터를 워 기어 모터를 사용했을 때, 와이어 송급속도의 변동상태를 비교한 결과를 Fig. 16에 나타내었다. 그림에서 살펴보면 디지털 제어형 와이어 송급속도는 설정치 부근에서 속도가 잘 제어됨을 알 수 있으나 아날로그 제어기의 경우 그 산포가 넓음을 알 수 있다.

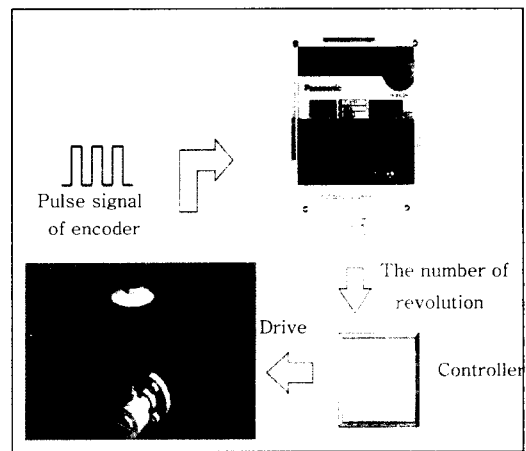


Fig. 14 Concept of wire feed rate control



Fig. 15 Wire feeding unit and encoder for constant feeding rate control

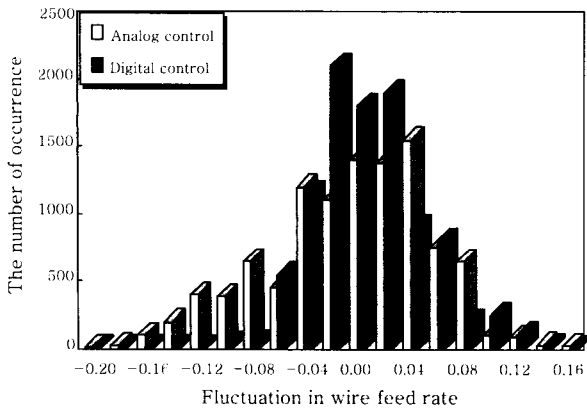


Fig. 16 Comparison between digital and analog control for constant feeding rate

5. 디지털 용접전원을 이용한 원격 용접시공 및 품질제어

현대의 생산현장은 어떤 하나의 단위기술로 최종적인 제품이 만들어지는 경우는 없다. 예를 들어 용접의 경우, 여러 용접공정이 복합적으로 적용되거나 또는 다른 가공기술과 연결되어 용접공정이 적용되므로써 하나의 단위 완성품이 만들어지는 경우가 많다. 이러한 경우가공정과 공정사이에는 많은 복잡한 처리과정을 필요로 하게 된다. 한편 정보기술의 괄목할 만한 발전에 힘입어 최근의 생산 및 관리시스템들은 대부분 복잡한 통신망(network)에 의해 통제되고 있다¹⁵⁻¹⁷⁾. 이것은 많은 생산인력의 감축을 야기시키기도 하였지만 용접과 같은 3D 업종에 있어서는 전문인력의 감소를 대체할 수 있는 유일한 대처방안이 되고 있다. 특히 고속 network는 연속생산라인과 같이 단위공정과 공정사이의 연결작업이나 반송작업이 뒤엎힌 제조라인에 있어서는 엄청난 위력을 발휘하고 있다. 이러한 통신망을 이용할 경우 전세계 어디에서나 현재 생산의 공정상태를 감시하고 통제할 수 있으며 심지어는 원격으로 작업의 내용을 변경할 수도 있다. 용접현장에 있어서 이러한 통신망을 잘 활용하기 위해서는 우리는 무엇을 준비해야 할까? 그것은 바로 쌍방향 통신이 가능한 용접전원의 통신기능의 탑재가 될 것이다. 즉 용접전원이 통신기능을 가진다는 것은 디지털 용접전원임을 의미하는 것이고, 그 통신 방식이 어떤 방식이 되었든지 통신을 위한 표준화된 규약을 필요로 하게 된다. 이를 위하여 일반적으로 많이 사용하는 TCP/IP 형태의 통신망이 많이 권장되고 있다. 직렬통신(serial communication)과 같은 방식은 대부분 1:1의 통신만이 가능하므로 중앙에서 여러 용접공정을 동시에 통제하기에는 각각의 통신 모듈 또는 포트(port)가 필요하게 된다. Fig. 17

은 LAN과 같은 TCP/IP 타입의 통신망을 이용하여 용접전원에 PLC나 PC 또는 직접 통신을 연결한 사례를 나타낸 것이다. 이렇게 통신망을 연결하면 통신망에 연결된 어떤 PC나 통신망에 접근할 수 있는 어떤 곳에서도 각각의 용접작업을 통제할 수 있다. 통신망에 의한 원격용접관리 시스템의 또 하나의 효과는 용접작업이 매우 열악한 환경에서 이루어지기 때문에 언제 용접전원이 파손될지 예측할 수 없을 때 원격관리시스템에 의해서 빠르게 설비의 상태진단이나 고장을 확인할 수 있으므로 신속한 대처가 가능해 진다는 점이다. 이로써 생산의 손실을 최소로 줄일 수 있을 것이다.

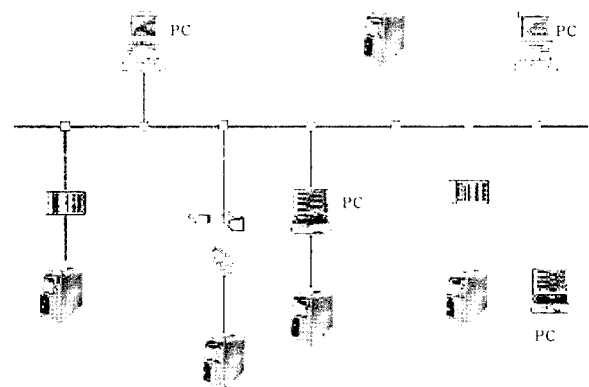


Fig. 17 Network schematic diagram for an integrated production control

6. 맺음 말

용접전원의 디지털화는 시대적인 변화의 흐름속에서 자연스럽게 탄생하여 그 발전을 거듭하고 있다. 그것은 아날로그 용접전원에서 감히 상상도 하지 못하던 엄청난 비선형적인 아크현상의 제어기술을 구현할 수 있고, 용접현장의 원격시공과 감시 및 통제의 효과를 얻을 수 있기 때문이다. 현재 많은 디지털 용접전원이 소개되고 있으며 용접의 품질에 있어서 획기적인 효과를 증명하고 있다. 물론 우리나라의 용접전원이 아직 선진국 용접전원에 대비하여 기술적 격차가 크고 품질이 다소 떨어질 뿐만 아니라 완벽한 디지털 용접전원을 구현한 것이 거의 없음은 사실이다. 그러나 용접전원이 디지털화가 되면서 오히려 선진기술과의 격차를 줄일 수 있는 매우 좋은 기회를 맞이하고 있다고 할 수 있다. 선진국의 디지털 용접전원 역시 현재의 구현기술로 아크현상의 모든 것을 완벽하게 제어하고 있는 것은 아니며, 디지털 용접현상 제어기술은 현재에도 또 다른 개선을 추구하고 있는 현재진행형의 기술이며 미래형의 기술이다. 우리나라에서도 세계적인 상품의 디지털 용접전원

이 개발되기를 기대하는 바이다.

참 고 문 헌

1. 芹澤 久, 野城 清 : デジタル化が溶接にもたらすもの, 溶接技術, 第49卷 12号 (2001), 62-67.
2. 松山 欽一 : IT化時代の接合技術, 溶接技術, 第49卷 6号 (2001), 58-62.
3. 山根 敏 : コンピュータネットワーク活用によるITの溶接システムへの適用, 溶接技術, 第49卷 6号 (2001), 63-67.
4. 吉岡 稔弘 : 2次元コードを用いた製造工程のIT化, 溶接技術, 第49卷 6号 (2001), 74-76.
5. 杉村 邦彦, 松浦 卓治 : ITによる新しい溶接システム開発, 溶接技術, 第49卷 6号 (2001), 77-81.
6. 原田 章二, 益城 浩司 : アーク溶接ロボットシステムのデジタル化, 溶接技術, 第50卷 11号 (2002), 101-111.
7. 高橋 憲人 : 最近の溶接機器によるCO₂/MAG溶接のかんどころ, 溶接技術, 第49卷 1号 (2001), 111-116.
8. 上山 智之 : 最近のミグ/マグ溶接電源の開発と特徴, 溶接技術, 第48卷 1号 (2000), 104-110.
9. K. Furutani : The Recent Trend of the Inverter

- Type Welding Power Supply, Matsushita Industrial Equipment Co., (1989)), 1-28 (in Japanese)
10. CO₂ MAG Power Supply SENSARC LS350, KOBE Technical Guide, 37-330(1997), 8 (in Japanese)
11. E. K. Stava : The surface tension transfer power source: A new, low-spatter arc welding machine, Welding Journal, 72-1(1993), 25
12. 米森 茂樹 : 溶接電源からのデジタル化へのアプローチ, 溶接技術, 第49卷 12号 (2001), 68-74.
13. 大崎 憲和, 浜本 康司, 北島 明彦 : 小型フルデジタル制御溶接機の開発, 溶接技術, 第48卷 8号 (2000), 56-62.
14. 鈴木 伴良 : フルデジタル方式ミグ/マグインバータ溶接機の開発と適用, 溶接技術, 第48卷 8号 (2000), 73-75.
15. 浅井 知, 平野 正三 : 重電機器における溶接作業のIT化, 溶接技術, 第50卷 9号 (2002), 60-66.
16. 浅井 知, 青山 和夫, 佐久間 正剛, 久保 克己 : ITを用いた溶接遠隔管理システム, 溶接技術, 第49卷 1号 (2001), 82-87.
17. H. Hackl and K. Himmelbauer : デジタル制御技術の自動車製造におけるアルミニウム溶接への適用, 溶接技術, 第50卷 11号 (2002), 96-100.



- 강문진
- 1963년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접지능제어, 용접기기개발
- e-mail: moonjin@kitech.re.kr



- 강봉용(姜奉龍)
- 1960년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접전원파형제어, 용접재료개발
- e-mail: kanbo@kitech.re.kr



- 김정환
- 1956년생
- 한국생산기술연구원, 정밀접합용접팀
- 용접야금, 용접재료
- e-mail: jhkim@kitech.re.kr