

펄스 아크용접에 있어서 파형 제어와 용접 특성

조 상 명

Waveform Control and Welding Characteristics in Pulse Arc Welding Process

Sang-Myung, Cho

1. 서 론

펄스 아크용접은 전류의 파형(Current waveform)을 제어하여 펄스전류(Pulse current, peak current)와 베이스전류(Base current, background current)로 구성되는 펄스파형을 반복하면서 아크용접을 행하는 것을 말한다.

용접 전원에 있어서 전류를 제어하기 위한 스위칭 소자가 사이리스터(Thyristor)에서 트랜지스터로 발전됨에 따라 인버터가 본격적으로 응용되면서 전류의 파형을 정교한 펄스형태로 제어하는 것이 용이해졌다.

아크용접에 있어서 아크력(Arc force)은 전류의 제곱에 비례하는 것으로 알려져 있고, 용접부의 용입(Penetration)은 아크력에 거의 비례하여 증가한다. 또한 가스메탈 아크용접(Gas metal arc welding)에 있어서 용융속이 와이어 선단에서 형성되어 용융지로 이행될 때는 전자기적 핀치력이 가장 크게 영향을 미치는데, 이 전자기적 핀치력도 전류의 제곱에 비례하는 것으로 알려져 있다.

따라서 아크용접 공정은 펄스전류 파형을 어떻게 만들어서 용접하는가에 따라 그 상태가 현저하게 변하게 되므로 용접공정 설계를 할 때는 펄스 아크용접의 특성을 충분히 이해하여 주어진 모재를 최고의 생산성과 품질로 용접할 수 있도록 연구하는 것이 요구된다.

여기에서는 종래에서부터 많이 적용되고 있는 펄스 TIG용접, 근래에 국내의 박판용접에서 일부 적용되고 있는 펄스MAG용접 및 최근 국내의 알루미늄 박판용접 분야에서 관심의 대상으로 되고 있는 극성 가변AC 펄스MIG용접에 대하여 기술적으로 해설을 하였다.

2. 펄스 아크용접에 있어서 전류파형의 정의

Fig. 1은 일반적인 펄스 아크용접에 있어서 전류의

펄스파형을 구성하는 기본적인 4대 인자를 정의한 것이다. Fig. 1에서 보인 펄스 아크용접에서의 전류의 펄스 파형을 정의하기 위한 4대 인자는 다음과 같다¹⁾.

1) 사이클 시간(Cycle time, sec.), T : 펄스 주기 T(sec.)로 표현하는 수도 있다. 또한 펄스 주파수 f(Hz)와는 다음과 같은 관계를 가진다.

$$f = 1/T, \text{ Hz}$$

2) 펄스 시간(Pulse time, sec.), T_p : 펄스폭(Pulse width)으로 표현하는 수도 있고, 펄스폭은 1 사이클 시간에서 차지하는 비율(%)로 나타낼 때와 시간(sec.)으로 나타낼 때가 있다.

3) 펄스 전류(Pulse current, A), I_p : 피크 전류(Peak current) 또는 피크 펄스 전류(Peak pulse current)로 나타낼 때도 있다.

4) 베이스 전류(Base current, A), I_b : 백그라운드 전류(Background current)로 쓸 때도 있다.

한편, Fig. 1에서는 사이클 시간에서 펄스시간을 뺀 것이 베이스 시간, T_b라고 할 수 있다. 통상 펄스 TIG 용접에서는 Fig. 1에서와 같이 베이스 전류 I_b에서 펄스 전류 I_p까지 거의 순간적으로 전류가 상승하므로 베이스 시간은 사이클 시간(펄스 주기)에서 펄스시간을 뺀 시간으로 바로 계산이 된다. 따라서 4대 인자에는 베이스 시간이 포함될 필요가 없다.

그러나, 펄스 MAG용접과 같은 가스메탈 아크용접에

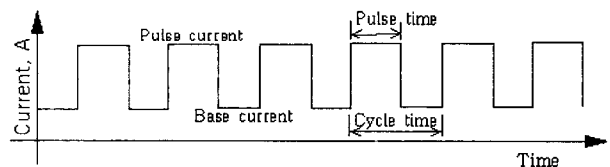


Fig. 1 Definition of current waveform in pulsed arc welding process

서는 베이스 전류에서 펄스 전류까지 전류가 상승하는데 1msec전후의 시간이 소모되고, 반대로 펄스 전류에서 베이스 전류까지 전류가 강하하는 데에도 비슷한 시간이 소모된다. 따라서 펄스 MAG용접이나 펄스 MIG용접에서는 다음과 같이 T_{up} 과 T_{down} 도 별도로 정의된다.

- T_{up} : 업슬로프 시간(Up slope time), 베이스 전류에서 펄스 전류까지 상승하는 시간

- T_{down} : 다운슬로프 시간(Down slope time), 펄스 전류에서 베이스 전류까지 강하하는 시간

펄스 아크용접에서 평균전류 I_{av} 는 다음과 같이 정의된다.

$$I_{av} = (I_p T_p + I_b T_b) / (T_p + T_b)$$

3. 펄스 TIG용접의 특성

비소모 전극 아크용접인 TIG용접은 텅스텐 전극으로 형성하는 아크에 의하여 모재를 용융시켜서 용접을 한다. 펄스 TIG용접은 통상 DCEN극성(텅스텐 전극 -, 모재 +)으로 선택하여 적용한다.

펄스 TIG용접에서는 통상 용접 중에 아크저항이 거의 일정하며 오늘날의 용접전원(Welding power source)은 대부분 인버터 전원이고 정전류 특성을 가지고 있기 때문에 깨끗한 구형파(Rectangular wave)가 비교적 용이하게 얻어진다.

한편, 펄스 TIG용접은 그 사이클 시간 또는 펄스 주파수에 따라 저주파 펄스 TIG용접과 고주파 펄스 TIG용접으로 크게 구분할 수 있고, 이하에서 각각에 대하여 설명한다.

3.1 저주파 펄스 TIG용접의 특성

펄스 주파수가 0.5-10Hz정도인 펄스 TIG용접을 저주파 펄스 TIG용접이라고 하며, 현장에서는 0.5-2Hz의 주파수를 주로 적용하고 있다. 펄스 전류는 보통 베이스 전류의 2-10배 정도로 높게 설정되는데, 이 값이 낮으면 연속용접과 비슷한 용접특성이 얻어지고, 이 값이 너무 높으면 용입은 깊어지지만 비드 외관이 나빠지고 융합불량이 생길 수 있다.

한편, 용융지의 크기는 대체로 입열량 $Q(=EI/v)$ 에 비례하고, 입열량은 전류에 비례하게 된다. 그러나 아크력 F_{arc} 는 다음과 같이 전류의 제곱에 비례한다²⁾.

$$F_{arc} = k I^2$$

평균전류가 같을 때, 펄스 전류가 높아질수록 펄스 시간동안의 입열량은 비례하여 증가하지만, 평균 입열

량은 변화가 없으므로 용융지의 평균 크기는 거의 일정한 반면, 펄스 시간 동안의 아크력은 전류의 제곱에 비례하므로 보다 강력하게 된다. 이것이 바로 비교적 작은 용융지임에도 깊은 용입이 형성되는 원리이며, 이 원리를 적극적으로 응용한 사례로서 루트 패스에서의 이면 비드 용접을 들 수 있다.

즉, 박판이나 파이프의 루트 패스에서 저주파 펄스 TIG용접을 적용하면 이면비드가 쉽게 얻어지면서도 용락이 생기지 않게 된다. 베이스 전류가 흐르는 동안에는 입열량은 작게 되지만, 열전달에 의한 용융지의 냉각은 거의 일정하므로 용융지의 크기가 감소하게 되므로 용락이 효과적으로 방지되는 것이다.

Fig. 2는 수평 고정 스테인리스강 파이프의 원주용접을 위해서 2Hz의 저주파 펄스 TIG용접을 적용하였을 때의 펄스 전류 파형을 보인 것이다³⁾. 용접은 12시 방향에서 시작하여 3시방향으로 회전하여 중단하지 않고 계속하여 6시, 9시방향으로 회전하게 된다. 이 때 용접 속도가 비교적 늦기 때문에 열의 축적에 의하여 용락이 생기는 것을 방지하기 위하여 평균전류를 다소 감소시켰다.

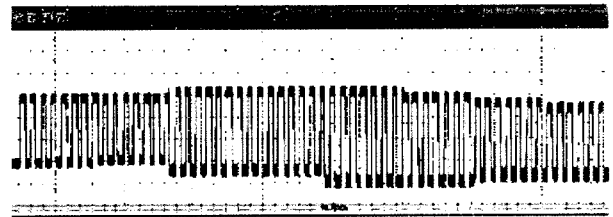


Fig. 2 Current waveform in low pulsed TIG welding for horizontal pipe(STS304, 3t) circumferential welding³⁾

다음은 저주파 펄스 TIG용접의 장점을 정리하여 나타낸 것이다.

- 1) 같은 입열량의 연속 TIG용접에 비하여 용입이 깊고, 용접변형이 작다.
- 2) 이중 두께 모재에 대하여 같은 용입이 얻어지기 쉽다.
- 3) 이중 재료(예, 연강+스테인리스강)의 용접시 같은 용입을 얻기 쉽다.
- 4) 박판의 용접시 이면비드를 얻기 쉽다.
- 5) 기계용접이나 자동용접에 보다 적당하다.

3.2 고주파 펄스 TIG용접의 특성

통상 펄스 주파수가 100Hz이상이면 고주파 펄스 TIG용접이라고 할 수 있다. 국내에서 생산되어 판매되는 TIG용접기는 주로 펄스 주파수가 500Hz까지 얻어

진다. 그러나 외국에서 개발된 일부의 TIG용접기는 수십 kHz에서 1MHz까지의 초고주파 펄스 TIG용접을 할 수 있게 되어 있다.

Fig. 3은 펄스 주파수와 아크 압력의 상관관계를 보인 것이다¹⁾. 텅스텐 전극 팁의 선단각은 60도로 하였고, 아크압력은 동판에 직경 1mm의 구멍을 뚫어서 그곳을 통하여 측정하였다. 종래의 연속 DC TIG용접시의 아크 압력에 비하여 10kHz이상의 초고주파 펄스 TIG용접을 하면 그 압력이 4배이상 높아짐을 볼 수 있다.

초고주파 펄스 TIG용접에서는 일정한 주파수 예를 들면 20 kHz로 고정해두고, 펄스 전류와 베이스 전류도 고정해두고 펄스 시간의 폭만을 바꾸어서 평균전류를 변경하여 용접하는 것이 가능하다. 이와 같이 펄스 주파수를 고정하게 되면 용접기를 설계하고 스위칭하기 위한 하드웨어의 구성이 비교적 용이해지게 된다.

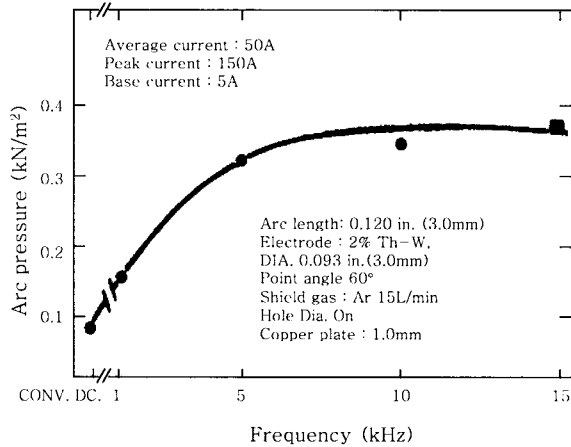


Fig. 3 Between arc pressure and pulse frequency (TIG)

고주파 펄스 TIG용접은 불쾌한 아크음이 생기고 용접기가 매우 고가로 되는 단점도 있지만, 다음과 같은 장점도 있다.

- 1) 아크의 경직성이 우수해진다.
- 2) 자기장이 다소 작용해도 아크의 자기 쏠림이 좀체로 생기지 않는다.
- 3) 바람 등에 의한 실드가스의 불안정한 유동에도 아크 안정성이 양호하다.
- 4) 아크의 균일성이 특별히 요구되는 정밀 기계용접 또는 자동용접에 적합하다.
- 5) 초저전류 영역에서도 안정적인 아크가 얻어진다.

4. 펄스 MAG용접의 특성

가스메탈 아크용접(GMAW)중에서 실드 가스를

Ar80%+CO₂20%의 혼합가스로 하는 MAG(Metal Active Gas)용접에서는 약270A이상의 중대전류 영역에서 스프레이 이행이 일어나지며, 이러한 스프레이 이행에서는 스패터가 현저하게 감소되는 특성이 있다.

근래에는 MAG용접에서의 스프레이 이행을 단락이행하는 저전류 영역에까지 일어나도록 하여 스패터를 현저하게 감소시킨 펄스용접 즉 펄스MAG용접을 박판 용접 분야에 적용하여 상당한 효과를 보고 있어서 이에 대한 기술적 동향을 살펴보았다.

4.1 펄스 MAG용접에서의 전류 파형 정의

Fig. 4는 펄스 MAG용접시의 전류 파형을 정의하기 위하여 활용되는 각종 용어를 나타낸 것으로서 다음과 같은 의미를 가진다.

- I_b : 베이스 전류, A
- I_p : 펄스 전류 또는 피크 전류, A
- T_b : 베이스 시간, sec.
- T_p : 펄스폭 또는 피크 시간, sec.
- T_{up} : 베이스 전류에서 피크 전류까지 전류가 상승하는데 걸리는 시간, sec.
- T_{dw} : 피크 전류에서 베이스 전류까지 전류가 감소하는데 걸리는 시간, sec.

Fig. 4에서 피크 전류 I_p 가 흐르는 피크 시간 T_p 동안에 용적은 와이어 끝에서 맺혀서 높은 전자기적 핀치력에 의하여 탈락이 시작한다. 이어서 T_{dw} 시간과 T_b 시간의 초반기에 걸쳐서 용적은 완전히 용융지로 이행하도록 의도된 것이 펄스MAG용접이다. 이렇게 용적을 이행시키면 펄스 파형 하나에 용적 하나가 이행되는 1펄스 1드롭(1 pulse 1 drop)의 이행이 얻어진다.

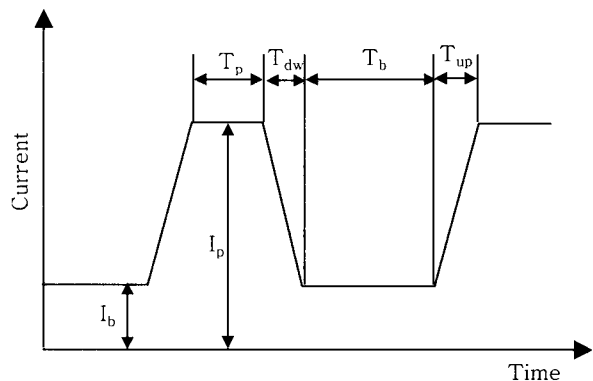


Fig. 4 Definition of current waveform in pulse MAG welding.

4.2 스프레이 이행을 유도하는 펄스 MAG용접에서의 전류 파형

Fig. 5는 GMAW에서 실드가스중에 함유된 CO₂가스의 혼합비에 따라 스프레이 이행을 얻어지는 임계 전류를 나타낸 것이다. MAG용접에서 스프레이 이행을 얻어지는 임계 전류는 약270A 이상이 됨을 알 수 있고, CO₂가스의 혼합비가 27%이상으로 많아지면 스프레이 이행은 얻어지지 않는다.

따라서 펄스 MAG용접시의 피크 전류 I_p는 이 임계 전류 보다는 높은 값을 가져야만 1펄스 1드롭의 정렬된 이행을 얻을 수 있다. 이렇게 피크 전류를 크게 하고 베이스 전류를 낮게 하면 평균 전류가 작은 영역에서도 스프레이 이행을 얻을 수가 있어서 저 스페터의 효과를 얻을 수가 있는 것이다.

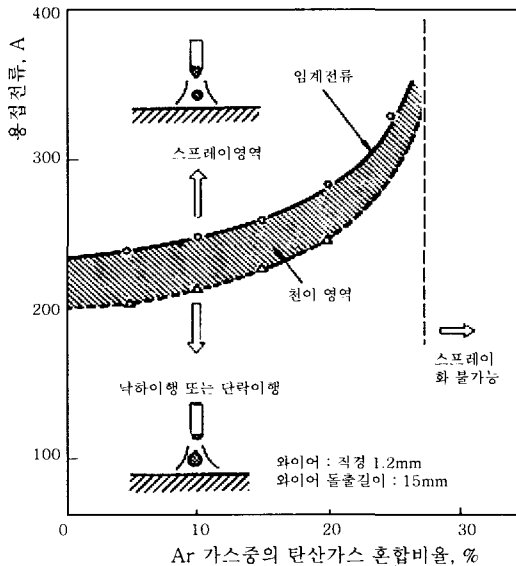


Fig. 5 Variation of critical current by composition of shield gas

4.3 펄스 MAG용접에서의 파형 제어

4.3.1 기본적인 펄스 파형 제어의 원리

Fig. 6은 펄스 전류의 파형 즉 피크 전류의 크기 I_p와 시간T_p에 따라 1펄스당 이행되는 용적의 숫자가 달라지는 것을 나타낸 것이다. 적당한 크기의 I_p보다 큰 피크 전류와 긴 T_p가 되면 1펄스당 n드롭이 얻어져서 언더컷이 심해지거나 아크가 불안정하게 된다. 그러나 I_p가 너무 작아서 전자기적 펀치력이 작거나 T_p가 너무 짧게 되면 1펄스당 1드롭이 얻어지지 못하고 하나의 용적이행을 얻기 위하여 1펄스 이상동안 전류가 흘러야 하므로 용적이 커져서 낙하이행으로 되거나 불안정한

펄스조건	이행 상태
높은 I _p , 긴 T _p 	1펄스 다용적 • 아크길이 커져서 언더컷 발생 • 아크길이 짧으면 단락이행 및 아크 불안정
적당한 I _p , 적당한 T _p 	1펄스 1드롭 양호한 프로파일 이행
낮은 I _p , 짧은 T _p 	1펄스 이상에서 1드롭 단락과 낙하이행으로 스페터 다발

Fig. 6 Relation between pulse current waveform and metal transfer in pulse MAG welding

단락이 일어나서 심한 스페터가 발생하게 된다.

4.3.2 고속 펄스 MAG용접에서의 문제

100~200cm/min의 고속 용접을 하면서도 험평비드나 언더컷이 생기지 않고, 스페터를 줄이는 것이 펄스MAG용접의 고속화 기술에서 중요한 부분이다. 따라서 기본적으로는 1펄스 1드롭을 실현시키면서도 아크 길이를 짧게 하여 아크력을 감소시켜야만 언더컷과 험평비드를 감소시킬 수가 있다. 그러나 이렇게 아크길이를 짧게 하면 단락이 생기는 것을 피할 수가 없고 이로 인하여 단락 해소시의 스페터를 줄이기 위한 파형제어 기술이 중요한 과제로 대두된다.

Fig. 7은 같은 용접 조건으로 속도를 높이면서 고속 용접을 하였을 때 생기는 문제점을 검토하기 위하여 나타낸 비드 외관이다⁴⁾. 같은 용접 조건에서는 속도



(a) Welding speed 120cm/min (pulse MAG. I_{ave} 280A, E_{ave} 28.5V)



(b) Welding speed 160cm/min (pulse MAG. I_{ave} 280A, E_{ave} 28.5V)



(c) Welding speed 200cm/min (pulse MAG. I_{ave} 280A, E_{ave} 28.5V)

Fig. 7 Variation of bead appearance by welding speed in pulse MAG welding

200cm/min에서는 험핑비드가 발생하였다. 이러한 험핑비드는 아크력과 용융지 깊이의 상호작용에 의하여 발생한다. 다음은 아크력과 용융지에 미치는 용접 인자들의 영향을 간단히 나타낸 것이다.

- 아크력 : 전류 I^2 에 비례, 전압 E 에 거의 비례.
- 용융지의 깊이 : 입열량 Q 에 거의 비례.

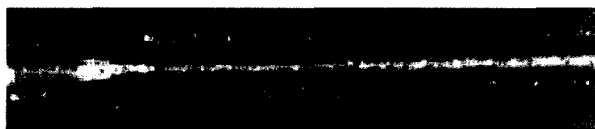
$$\text{입열량 } Q = I E / v, J/cm$$

여기서 v : 용접속도, cm/sec

한편, 용접전류와 전압을 일정하게 두고, 용접속도만 증가시켜 고속화하면 입열량이 감소하여 용융지의 깊이는 감소하지만 아크력은 일정하게 유지된다. 따라서 아크력의 작용에 의해서 용융지의 용융금속이 뒤로 밀려 올라가면서 비드를 형성하는데, 이 때 아크력이 크고, 그 힘이 심하게 후방으로 작용하거나 한쪽으로 치우쳐서 작용하면 쉽게 언더컷이 형성된다. 용접속도가 더욱 증가되어 용융지 깊이가 얇은 상태에서 높은 아크력이 작용하면 심한 언더컷이 생기고 이것이 심해지면 용융지 바닥이 드러나면서 험핑비드가 생긴다.

Fig. 8은 같은 용접속도 160cm/min, 같은 용접 평균전류 I_{ave} 280A의 조건으로 펄스 MAG용접하였지만, 아크 전압을 점차 높게 하였을 때 나타나는 비드의 외관을 보인 것이다. 아크 전압이 높아질수록 아크력이 증가하여 고속 용접에서는 언더컷이 생기기 쉽고, 더욱 아크 전압이 높아지면 험핑비드가 발생한다.

4.3.3 고속 펄스 MAG용접에서 단락 파형 제어의 중요성
고속 용접의 필요성이 대두된 것은 용접 자동화로 생



(a) Arc voltage 25V



(b) Arc voltage 28.5V



(c) Arc voltage 32V

Fig. 8 Variation of bead appearance by arc voltage in high speed pulse MAG welding.(welding speed 160cm/min, I_{ave} 280A)

산성을 현저하게 향상시키는 것이 요구되면서부터 일 것이다. 펄스 MAG용접에서도 스패터를 줄이면서 고속으로 용접하기 위해서는 아크력을 감소시켜야 하고, 이를 위해서는 아크 전압을 낮게 해야 하며 이것 때문에 아크 길이가 짧아져서 펄스 MAG용접에서도 단락 이행의 동반은 불가피하게 된 것이다.

Fig. 9는 최근 국내에서 개발된 고속 펄스 MAG용접기에서 얻은 펄스 파형으로서 평균 전압을 높게 유지하였기 때문에 단락이 발생하지 않은 예를 보인 것이다⁵⁾. 이 용접기는 최신의 고속 DSP(Digital Signal Processor)에 의하여 정전류 제어를 실현하였기 때문에 매우 정돈된 형태의 전류 파형이 얻어졌음을 알 수 있다.

Fig. 10은 동일한 모델의 펄스 MAG용접기에 의한 파형으로서 와이어 송급속도에 비하여 평균 전압을 낮게 유지하여 단락이 수반된 것이다. 여기서는 0.05초동안에 5회의 단락이 발생하여 초당 평균 단락 회수 즉 단락주파수는 약100Hz이었다. 그런데 최초 펄스 파형에서 T_{dw} 중에 생긴 단락(전압 파형에서만 나타남)의 경우는 순간 단락으로 판단하였기 때문에 전류 파형은 원래의 펄스 파형을 그대로 유지하고 있다. 이와 같이 펄스 용접 중에도 단락이 발생하면 단락해소를 위한 파형

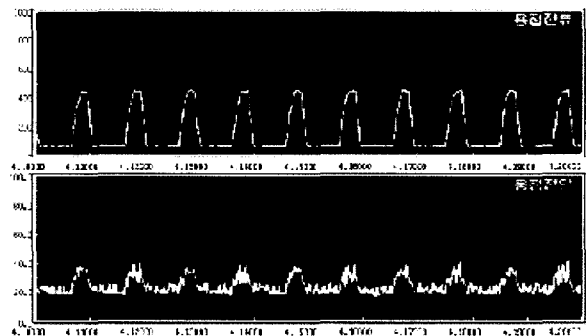


Fig. 9 Waveform without short circuit in pulse MAG welding by high arc voltage.(wire feed rate 5m/min, I_{ave} 160A, 24V)

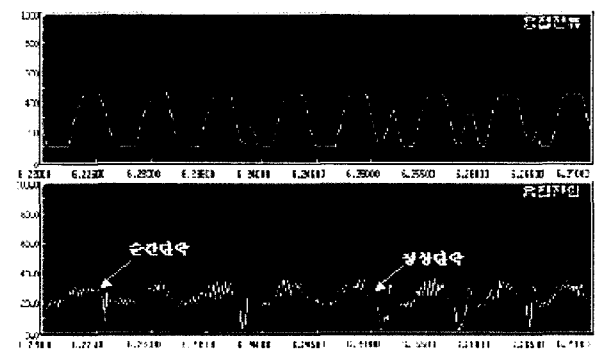


Fig. 10 Waveform with short circuit by low arc voltage in pulse MAG welding. (wire feed rate 9m/min, I_{ave} 270A, 24V)

제어를 고속으로 적절히 해야만 아크 재점호로 인한 스파터를 줄이면서 아크 안정성을 확보할 수 있으며, 본 용접기는 이러한 단락제어를 적절히 구현시킨 것이다.

5. 극성가변 AC펄스 MIG용접에서의 파형 특성

극성가변 AC펄스 MIG용접법은 DCEP(Direct Current Electrode Positive, 와이어 플러스)보다 와이어의 용융속도가 높지만 용적의 보유 열량이 작은 DCEN(Direct Current Electrode Negative, 와이어 마이너스) 구간을 두어서 두 구간을 주기적으로 반복하는 용접법이다. 즉 TIG용접에서는 DCEN의 극성으로 용접할 때 모재의 용입이 깊지만, GMA용접에서는 DCEP로 용접할 때 용입이 깊어지고 아크가 안정되며 DCEN일 때는 용입이 얇아지는 현상을 이용한 것이 극성가변 AC펄스 MIG용접이다.

여기서는 알루미늄 박판에 대한 극성가변 AC펄스 MIG용접에 있어서 전류 파형의 정의와 용접 특성에 대하여 소개하고자 한다.

5.1 극성가변 AC펄스 MIG용접에서의 극성효과 및 EN 극성비

아크용접에서의 극성은 DCEP와 DCEN으로 나눌 수 있다.

가스메탈 아크용접에 있어서 아크전압강하는 양극 전압강하, 음극 전압강하, 플라즈마 전압강하의 세부분으로 나눌 수 있다.

Table 1은 가스메탈 아크용접에 있어서 일반적으로 알려진 극성 효과를 정리한 것이다⁶⁾.

TIG용접에서는 DCEN 즉 텅스텐 전극이 음극으로 되면 열전자가 방출하면서 아크는 텅스텐 전극 끝에 집

Table 1 Polarity effect in GMAW(Gas Metal Arc Welding)

극성	DCEP	DCEN
전류밀도	10 ² - 10 ³ A/cm ²	10 ³ - 4×10 ³ A/cm ²
전압강하	About 1 - 10V	About 10 - 20V
아크형성	와이어 끝에 집중	와이어의 끝과 뒤쪽 표면을 둘러싸는 모양으로 형성
아크 안정성	안정성 우수	불안정
와이어 용융속도	낮은 용융속도	높은 용융속도
용적의 온도	높다	낮다
용입	깊다	얕다
비드 외관	평평하다	불룩하다

중하게 되어 음극점 형성이 제한된다. 따라서 강한 플라즈마 기류가 형성되어 아크력이 크게 되고 모재의 용입이 깊게 된다. 그러나 모재가 음극이 되면 비열전자 방출이 되면서 음극점은 불안정하게 이동하면서 넓은 면적에서 형성되므로 모재의 용입이 얇고 넓게 된다.

반면에 가스메탈 아크용접에서는 열전자 방출은 없고, DCEN 및 DCEP 모두 비열전자 방출에 의하여 아크가 형성된다. 즉 TIG용접에서 DCEN일 때 텅스텐 전극에서의 열전자 방출이 오히려 예외적이라고 할 수 있다.

일반적인 가스메탈 아크용접에서와 같이 와이어가 양극으로 되는 DCEP극성일 때 아크가 와이어 선단에 집중하게 되어 아크 안정성도 우수하며, 용적의 온도도 높게 되어 용입이 깊게 된다. 또한 DCEN의 경우 즉 와이어가 음극이 되면 비열전자 방출이 되고, 전자는 일함수(work function)가 낮은 와이어 표면의 산화물에서 우선적으로 방출되어 음극점을 형성하므로 음극점이 불규칙적으로 이동하면서 아크를 형성하기 때문에 와이어 끝에 집중하지 못하고 와이어 선단뒤쪽까지 아크로 둘러싸이게 된다. 그러므로 와이어의 용융속도는 높아지지만 용적의 온도는 낮아지고 아크가 커지기 때문에 모재의 용입은 얇게 되는 특징이 있다.

Fig. 11은 극성가변 AC펄스 MIG용접에서의 전류파형을 정의한 것이다.

한편, 모재의 용입을 제어하고 입열량 및 비드 외관을 제어하기 위하여 사용하는 EN극성비는 다음 식과 같이 정의한다.

$$EN \text{ 극성비} = \frac{I_{EN} \times T_{EN}}{I_{EP} \times T_{EP} + I_{EN} \times T_{EN}} \times 100(\%)$$

여기서, I_{EN}: EN구간의 평균전류(A), I_{EP}: EP구간의 평균전류(A),

T_{EN}: EN구간 유지시간(sec), T_{EP}: EP구간 유지시간(sec)

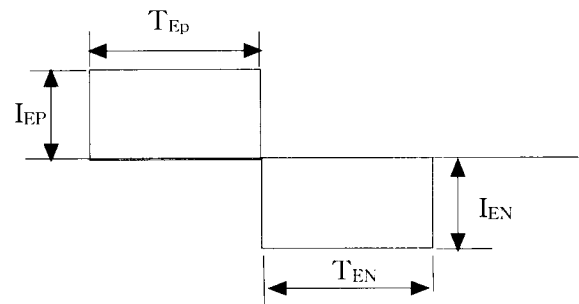


Fig. 11 Definition of current waveform in polarity control AC pulse MIG welding

5.2 극성가변 AC펄스 MIG용접에서의 EN 극성비에 따른 용접특성

Fig.12는 극성가변 AC펄스 MIG용접에서 EN극성비 40%일 때의 전류와 전압 파형이다. 전류와 전압의 0선 상부가 EP극성이고, 하부가 EN극성이다. 기본적으로는 1펄스 1드롭의 스프레이 이행이 얻어지도록 한 것으로서 EN극성에서는 와이어의 용융을 촉진하고, EP의 피크전류에서 강한 아크를 형성시켜서 용적이 형성되도록 하면서 하나의 용적을 정확히 이탈시키기 위하여 큰 전자기적 핀치력이 생기도록 하고 있다. 따라서 용접설정 전류를 크게 하고 와이어 송급속도를 크게 하면 펄스 주파수도 높게 하여 용적의 이탈 주파수도 높게 한다. 대체로 알루미늄 MIG용접에서는 이탈되는 평균용적의 직경은 와이어의 직경과 유사하거나 약간 크게 설계하는 것이 일반적이다.

Fig. 13은 알루미늄 와이어를 이용하여 AC펄스 MIG용접하였을 때, EN극성비에 따른 와이어의 용융

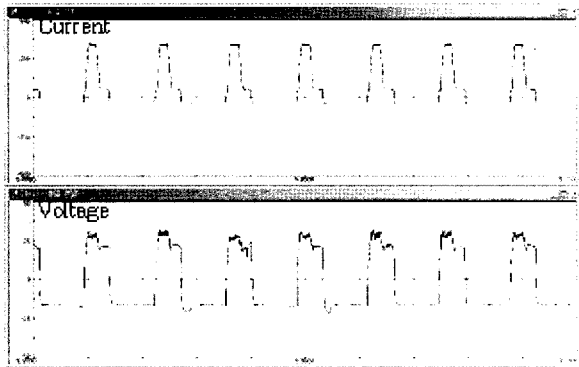


Fig. 12 Waveform at EN ratio 40% in polarity control AC pulse MIG welding(Current 60A)

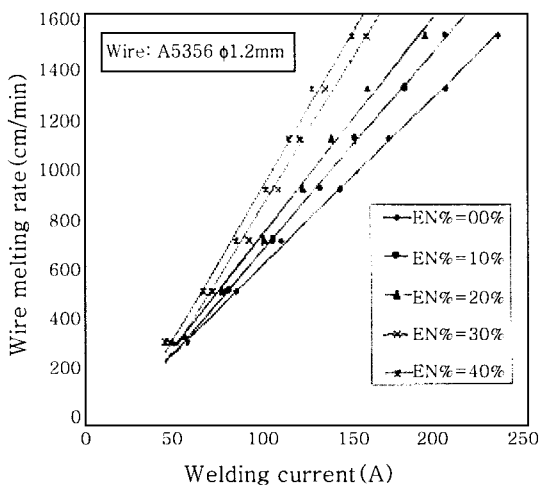


Fig. 13 Relationship between EN ratio and Al wire melting rate⁶⁾

속도를 나타낸 것이다⁷⁾. 같은 용접전류일 때 EN극성비가 0%에서 40%까지 증가함에 따라 와이어 용융속도는 증가함을 알 수 있고, 용적의 온도는 낮고 모재의 용입은 알아지게 된다. 이와 같이 극성가변 AC펄스 용접기에서는 같은 와이어 송급속도일 때도 EN극성비에 따라서 출력전류를 다르게 파형설계를 해야 할 필요가 있는 것이다.

Fig. 14는 알루미늄 합금 A5052 모재를 A5356와 이어에 의해서 극성가변 AC펄스 MIG용접하였을 때 용접부 단면을 보인 것이다^{8,9)}. DC펄스 MIG용접이라고 할 수 있는 EN극성비 0%에서는 루트간격이 1.5mm정도에서 용적이 생겼지만, EN극성비 20%의 AC펄스 MIG용접을 하면 안정된 이음부를 얻을 수 있다.

Setting Gap / EN ratio	0mm	0.5mm	1mm	1.5mm
0%				
20%				

Fig. 14 Variation of lap joint quality by setting gap and EN ratio using Al alloy(1.2t) in AC pulse MIG welding.

6. 결 언

전류의 파형을 펄스 형태로 만들어서 용접을 하면 연속적인 전류에 의한 아크용접과는 다른 특성을 다양하게 보인다. 본 특집에서는 펄스 TIG용접과 펄스 MAG 용접 및 극성가변 AC펄스 MIG용접에 대하여 검토하여 보았다.

자동생산 라인에 있어서 용접이라고 하는 조립공법은 디지털화가 어렵고, 품질 수준을 높이기가 곤란한 공정으로 막연히 인식되는 경향이 크다. 그러나 품질에 영향을 미치는 공정인자가 많고 관리가 분명히 가능하지만 까다롭다고 하는 것으로 인식하면 문제의 실마리는 풀어지기 시작한다. 이것은 바로 용접공정은 시급히 디지털화 되어야 하고, 지식경영이 꼭 필요한 제조업 분야의 한 공정이라는 것을 역설적으로 말한다고도 할 수 있다.

특히 최근 자동화하기만 하면 인력절감이 획기적으로 되기를 기대하는 다른 공정과는 달리 용접공정은 작업자가 육체적으로는 편하고 안전하게 공정을 관리하되, 많은 이론과 실무지식을 가지고 임해야 하는 공정으로 인식하는 것이 요구된다. 즉 용접자동화는 일자리를 줄이는 것이라기보다는 일자리의 성격이 달라지도록 하는 기술이라는 이미지가 필요하다.

펄스용접은 그 조건 설정이 복잡하고, 많은 전문지식

이 있어야만 적절하게 응용할 수가 있을 것이다. 그러나 이런 복잡한 공정을 적용해서 생산성을 높일 수 있고, 품질을 세계최고의 수준으로 높일 수 있도록 용접 기술자의 입장에서 지속적인 학습을 통하여 스스로를 개혁하여 산업현장에 기여하여야 할 것이다.

고가의 설비투자만을 통하여 생산성을 높이고 품질수준을 높이는 것은 자본만 있으면 제조업을 잘 할 수 있었던 산업사회에서 빛을 발하던 경영방법이었다. 그러나 오늘날과 같은 지식정보 사회에서는 역시 저렴한 설비투자를 하면서도 그 활용을 최대로 잘 할 수 있도록 기술자들이 학습을 충분히 해서 그 전문지식과 정보를 현장에 널리 적용함으로써 부가가치 창출을 해낼 수 있는 시스템이어야만 역시 세계적인 경쟁력을 가질 수가 있을 것이다.

펄스 용접은 전체적으로 박판 모재의 가접 상태가 불량하여 루트 간격이 다소 큰 경우에도 높은 생산성과 고품질을 확보할 수 있다고 하는 면에서 매력이 있다. 금후 또 다른 형태의 펄스 용접이 개발되어 용접 공정을 혁신할 수 있기를 기대한다.



- 조상명 (趙相明)
- 1955년생
- 부경대학교 재료공학부 생산기공공학전공
- 용접공정 개발, 용접파형제어기술 개발, 용접 설계, 용접품질 모니터링 및 설비진단
- e-mail: pnwcho@pknu.ac.kr

참고 문헌

1. AWS : Welding Handbook, Vol.2 Welding process, 8th Edition, 1991, 85-86
2. Y. Adonyi, R. W. Richardson and W. A. Baeslack III : Investigation of arc force effects in subsurface GTA welding, AWS Welding Research Supplement, September, 1992, 321s-330s
3. 김기정, 김진우, 강윤배, 조상명 : 스테인리스강과 연강 파이프의 자동 원주 GTA용접의 입열량 제어, 대한용접학회 2002년 추계학술발표대회 개요집
4. 이광원, 김행원, 김선희, 구현희, 조상명 : 고속 펄스 마그 용접에서의 와이어 종류에 따른 용접특성의 평가, 1998년 춘계학술발표대회 개요집
5. 김태진, 김은수, 조기연, 변영복, 조상명 : 펄스 마그용접법, 발명특허, 2001.2.14
6. 란카스타 : 溶接アークの物理, 溶接學會, 溶接アーク物理研究委員會, 1990, 129-156(in Japanese)
7. T. Ueyama, H. Tong, S. Harada : Improve Sheet Metal Welding Quality & Productivity with AC Pulsed Welding System, IIW Doc. XII-1629-00
8. 임성룡, 공현상, 김기정, 김태진, 이창주, 조상명 : 박판 Al MIG 용접용 AC Pulse 파형의 설계 개념 및 출력특성, 2002년 대한용접학회 춘계학술대회 개요집.
9. 김태진, 백주원, 변영복, 조기연, 조상명, 공현상 : 펄스 아크 용접 방법, 발명특허, 2002. 8. 30