

MIG 아크용접에서의 교류중첩펄스를 이용한 용접성능향상

(Improvement of Welding Performance of MIG Arc Welding using Superposition Ac Pulse)

김태진*

(Tae-Jin Kim)

요 약

최근 에너지 절감과 환경개선 문제가 대두되면서 아크용접에서도 깨끗하고 불량률이 낮은 아크용접기의 개발을 본격적으로 추진하고 있다. 본 연구에서는 알루미늄 등과 같은 비철금속에 주로 적용되는 MIG 아크용접에서의 용접성능을 개선하고자 한다. 기존의 직류펄스 MIG 아크용접은 박판 금속에 용접을 하는 경우 아크전압이 낮아 단락이 빈번하게 발생하고 용접 불량률을 일으킨다. 이를 개선하기 위하여 중첩교류 펄스를 적용한 MIG 아크용접방법을 제안하고 중첩교류펄스의 설계와 실험을 통하여 그 타당성을 검증하였다.

Abstract

Because aluminum has a lighter weight and higher strength than iron, it is frequently used in the transportation industry for the purpose of reducing the weight of a chassis, and thereby increasing fuel efficiency. However, there are some difficulties with arc welding aluminum due to its lower melting point, high thermal conductivity and oxidation coating on its surface.

This study proposed using superposition ac pulse MIG arc welding, which has been improved from the pulse waveform of conventional MIG welding. A MIG arc welding power source was developed to test the effectiveness of this method.

Key Words : MIG Arc Welding, Welding Current Control, Superposition Ac Pulse, Penetration Control

1. 서 론

아크용접 기술은 우수한 용접 성능을 얻기 위하여 기계, 금속 공학 분야에서 오랫동안 연구되어 왔다. 하지만, 아크 제어를 담당하는 용접 전원의 제어기

술은 미약한 수준으로, 아크 용접사의 숙련된 기술에만 많이 의존해 오고 있다. 최근 생활수준이 향상과 더불어 3D 업종의 기피 현상이 두드러지면서 기존 아크 용접 기술자의 수급도 상당히 어려워지고 있다.

또한 기계적 가공물의 생산 방식도 단순한 기능 중심에서 벗어나 기술 집약적으로 변화함에 따라서, 기존의 용접기술사에 의존하던 아크 용접 공정 중 일부분을 산업용 로봇으로 대체시키는 한편, 엄격한

* 주저자 : 한국전기연구원 신재생에너지연구그룹 에너지 저장기술팀장
Tel : 055-280-1412, Fax : 055-280-1339

E-mail : tjkim@keri.re.kr
접수일자 : 2008년 9월 22일
1차심사 : 2008년 10월 1일
심사완료 : 2008년 10월 13일

품질관리를 노력하고 있다[1].

그 중에서 알루미늄과 같은 비철금속의 경우 용접하기가 매우 까다로운 금속이다. 알루미늄은 철에 비해 가볍고 강도가 높은 기계적 장점이 있다. 반면 용융점이 낮고, 열 전도성이 뛰어나며, 표면에는 산화피막(酸化皮膜: Al_2O_3)이 존재하고 있어 용접 전원의 제어 기술 측면에서는 가장 까다로운 용접 금속 중 하나이다[2]. 특히 주목받고 있는 박판 알루미늄 용접의 기술은 용락(鎔落: burn through) 발생, 스파터(spatter) 발생 등을 줄이기 위한 다양한 연구가 시도되었으며 그 결과가 크게 주목받고 있다.

본 연구에서는 기존의 MIG 아크용접기술을 소개하고 기존의 MIG 아크용접기술과 달리 용입제어가 가능한 새로운 MIG 아크용접 기술을 제안한다. 용입제어가 가능한 제안된 MIG 아크 용접기술 알고리즘을 검증하고 실험을 통하여 증명하였다.

2. MIG 아크용접

그림 1에서 보는 바와 같이 MIG 아크용접은 소모성 전극을 일정한 속도로 용융지로 공급하면서 전극과 모재 사이에서 아크를 발생되도록 하는 용접 방법이다. 이 용접 방법에서는 연속적으로 공급되는 전극이 아크의 높은 열에 의하여 용융되어 아크기둥을 거쳐 용융지로 이행하게 되며, 용융 부위는 가스 노즐을 통하여 공급되는 불활성 보호 가스 아르곤(Ar)에 의해 주위의 대기로부터 보호된다.

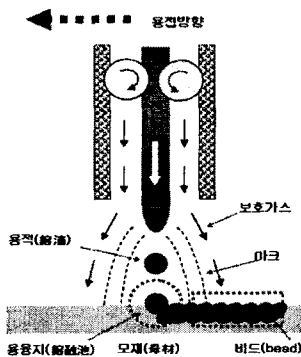


그림 1. MIG 용접 진행 과정
Fig. 1. MIG welding process

가는(0.9~1.6[mm]) 전극을 사용하기 때문에 대전류 밀도가 가능하게 되어 용착속도가 높다. 그러나, 장비가 다소 복잡하고 고가라는 측면과 경우에는 따라서는 스파터가 다량 발생하는 결점을 가지고 있다. 스파터가 모재 표면에 부착하면 외관을 손상시키고, 노즐에 부착하면 보호 가스의 공급을 원활치 못하게 하여 품질을 저하시키고 화재의 위험성이 있다.

MIG 아크용접은 고속 용접이 가능하지만 소모성 전극을 사용하기 때문에 아크에 의한 열량과 이행하는 용적이 보유하는 열량이 더해져 모재에 입열되고 이로 인해 박판의 경우 용락이 발생할 가능성이 매우 높으며, 저 전류에서 다량의 스파터가 발생하게 된다. MIG 아크용접은 피복 아크 용접 방법에 비해서 능률적인데, 이는 비교적 큰 직경(9~16[mm])의 전극을 사용하기 때문에 대전류 밀도(피복 아크 용접의 약 6배)가 가능하게 되어 용착속도가 높기 때문이다. 또 주행대차 등을 사용하여 용접 자동화가 비교적 용이한 것도 용접 생산성을 높일 수 있다[3].

3. MIG 아크용접의 기존 전류제어

기존의 MIG 아크용접에서 저전류 영역(150[A]이하)은, 단순 직류만 흘려주는 단락이행 용접방식과는 달리 그림 2에서와 같은 용접 전류를 펄스 형태로 입력하여 용적을 이행하는 방법이다[4-5]. 이 전류 제어 방식은 전류 펄스 하나의 크기는 하나의 용적이 맺혀질 만큼의 에너지로 되어, 1펄스 1용적 이행으로 용적이 이행되어 펄스 주기와 용적의 크기가 일치되도록 제어하는 기법이다. 이 기법은 주기적으로 단락을 이행해야 하는 단락 이행 방식에 비해 단락 횟수가 거의 없어 아크 전압을 낮게 할 수 있어 매우 박판 용접에 적합하다. 또한, 1펄스 1이행으로 용적의 크기가 일정하고 균일하게 떨어지므로 고속 용접 역시 가능한 기법이다.

그러나 기존의 MIG 아크용접은 박판 용접시의 저전류 저전압 영역에서는 원래부터 짧은 아크 길이를 갖고 있어서 단락 시간이 조금만 길어지면 용융하지 않은 전극 끝이 용융지 바닥에 닿게 되면서 번백(burn back)이 일어나기 쉽다. 또한 아크 재 점호 전류를 낮게 하여 스파터를 감소시키기 위하여 단락

직후 전류가 일정한 값에 이르면 리액턴스를 크게 하여 단락시의 피크 전류를 감소시키게 된다.

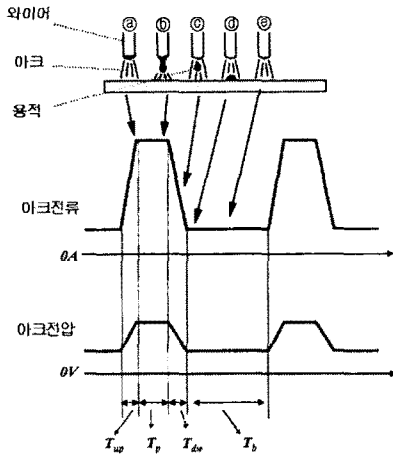


그림 2. 기존 MIG 아크용접의 용접전류 및 전압
Fig. 2. Arc current and voltage of conventional MIG arc welding

4. 중첩교류 펄스 MIG 아크용접의 제안

4.1 중첩교류 펄스의 개념

그림 3에서 보는 바와 같이 기존의 MIG 용접에서는 직류펄스를 인가하기 위하여 전극을 (+)극성으로, 모재를 (-)극성으로 두어 전극과 모재의 전압극성을 두는 EP 용접이 일반적으로 이용되고 있다. 그러나, 전극의 극성을 반대방향으로 하여 전극을 (-)극으로, 모재를 (+)로 두는 EN 용접의 경우에, EP 용접보다 전극의 용융 속도가 높지만 용적의 보유 열량이 작다.

본 연구에서는 이러한 원리를 이용하여 EP 용접과 EN 용접을 혼합하는 중첩교류 펄스 용접을 제안하고 파형 제어 기법을 설계한다. 또, EP 용접 구간과 EN 용접 구간에 의한 중첩교류 비율에 따라 용접 성능을 평가한다. 중첩교류 펄스 용접에서는 일정한 용접전류는 중첩교류 비율 증가함에 따라 전극 용융 속도는 증가하여 용착량의 증가로 인한 고속 용접이 가능하게 되고, 일정한 전극 송급 속도에서는 중첩교류 비율이 증가함에 따라 용접전류는 감소하여 입열이 낮게 되는 특징이 있다. 이런 특징으로 인해 중

첩교류 비율이 증가함에 따라 용적의 온도, 용입 깊이, 비드 폭은 감소하고, 비드 높이는 높아지며, 용착량 증가로 인한 고속 용접과, 낮은 입열, 스패터 없는 용접이 가능하게 된다[6].

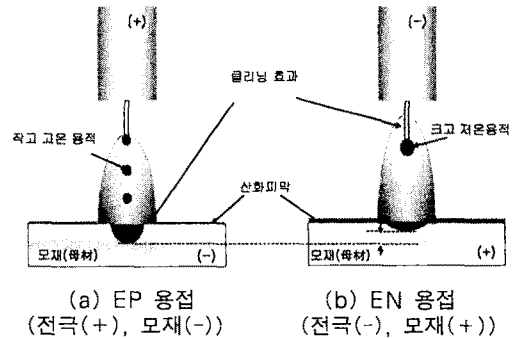


그림 3. 전류 극성에 대한 용접 특성
Fig. 3. Welding characteristic of current polarity

그림 4는 제안된 새로운 중첩교류 펄스 용접의 파형으로 그림 2에서 펄스 용접 파형에 EN 용접구간을 추가하였다. 제안된 전류 파형은 상승 구간, 피크 구간, 하강 구간, 베이스 구간에 추가로 EN 용접을 위한 구간을 Ten하였고, 이 때 흐르는 전류를 EN 용접 전류 I_{en}으로 정의한다. 이 새로운 전류 파형으로 1펄스 1용적 이행을 기본으로 하며, 용접전류 실효치에 따라 또, Ten을 일정한 비율로 가변시켜, 박판 알루미늄의 고속 용접 조건을 찾기 위해 다음 절에서 용접 파형 상세 설계를 한다.

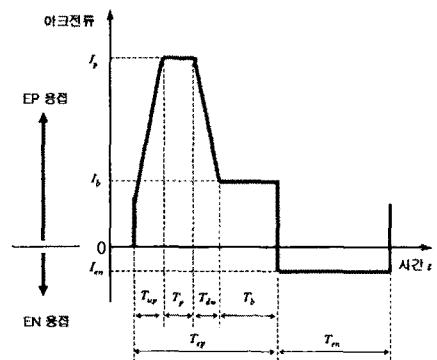


그림 4. 제안된 중첩교류 펄스 용접의 파형
Fig. 4. Waveform of proposed superposition ac pulse welding

4.2 중첩교류 펄스의 상세설계

중첩교류 펄스 용접 파형은 EP 용접과 EN 용접을 주기적으로 반복하는 것으로서 식 (1)과 같이 정의되는 중첩교류 비율을 적용하여 전극 용융 속도 및 입열량을 제어하였다.

$$\text{중첩교류 비율} \equiv \frac{I_{en} \times T_{en}}{I_{ep} \times T_{ep}} \times 100[\%] \quad (1)$$

I_{ep} , I_{en} 은 각각 EP, EN 용접 구간의 실효치 전류

아크 용접의 전극 용융은 고온의 아크와 돌출된 전극의 저항발열이 합해져서 이루어진다. 저항발열의 경우 식 (2)와 같이 전류의 제곱과 소재의 고유저항에 비례하기 때문에 용접전류가 증가할수록, 금속의 고유저항이 높을수록 저항발열은 증가한다. 따라서 일반적으로 철을 용접하는 경우의 전극 송급 속도는 전류에 따른 2차식으로 증가한다. 그러나 알루미늄의 경우는 전기 전도도는 철에 비해 약 4배정도로 높고, 고유저항은 철의 약 1/4정도이기 때문에 돌출된 전극의 저항 발열에 대한 고려 없이 1차식의 전극 송급 속도로 설계할 수 있다.

$$Q(J) = I_{arc}^2 \times R \times t = \rho \times J^2 \times W \times t \quad (2)$$

Q 는 발열량 [J], I_{arc} 는 용접전류 [A], J 는 전류 밀도 [A/mm²], R 는 저항 [Ω], t 는 시간[s], ρ 는 고유저항 [Ω], W 는 부피 [mm³]

그림 5는 본 연구에서 설계된 용접전류에 대한 전극 송급 속도를 나타낸 것이다. 용접전류의 증가에 따라 전극 송급 속도가 1차식으로 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 전극 송급 속도가 정해졌을 때, 적절한 용적 크기를 이행시키기 위해서는 그에 상응하는 용적 펄스 주파수를 결정해야 한다.

식 (3)은 용적 크기와 펄스 주파수의 관계에서 펄스 주파수는 용적 직경에 반비례함을 알 수 있다.

$$f_d = (S_w \times (\frac{M_w}{2})^2 \times \pi) / ((\frac{M_d}{2})^3 \times \frac{4}{3} \times \pi) \quad (3)$$

f_d 는 용적 펄스 주파수[Hz], S_w 는 전극 송급 속도 [mm/sec], M_w 는 전극 직경[mm], M_d 는 용적 직경 [mm]

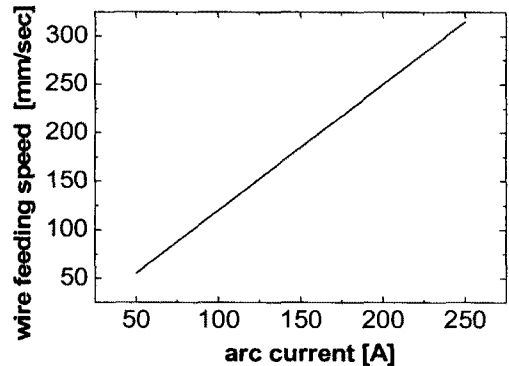


그림 5. 용접전류와 전극 송급 속도의 관계
Fig. 5. Relationship of arc current and wire feeding speed

그림 6은 중첩교류 비율 20[%]를 기준으로 식 (3)으로부터 계산된 용적 펄스 주파수를 나타낸 것이다. 이러한 방식으로 50~250[A]까지의 파형을 설계하였고, 중첩교류 비율에 따라 파형의 형태를 연속적으로 변할 수 있도록 하였다.

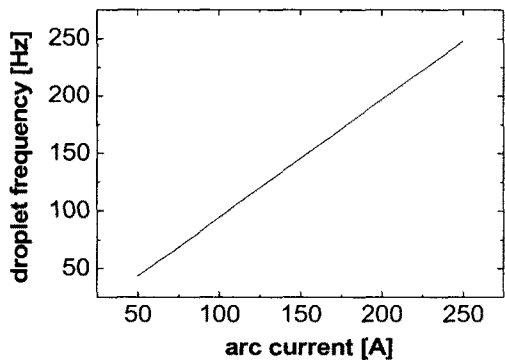


그림 6. 용접전류와 용적 펄스 주파수 f_d 의 관계
Fig. 6. Relationship of arc current and droplet pulse frequency

전극 송급 속도와 그에 따른 용적 펄스 주파수를 결정하고, 그림 7과 같이 용접전류에 따른 EN 용접 전류를 결정한 다음 이를 토대로 하여 중첩교류 비율이 20[%]일 때의 중첩교류 펄스 파형을 설계하였

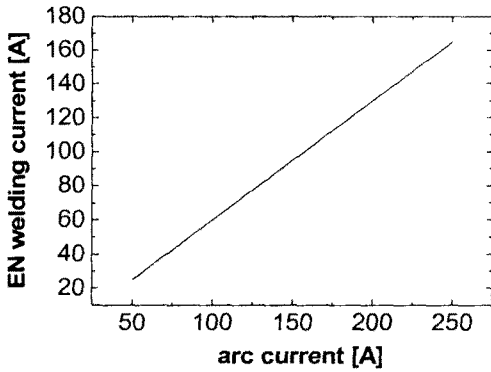


그림 7. 용접전류와 EN 용접 전류 I_{en} 의 관계
Fig. 7. Relationship of arc current and EN welding current

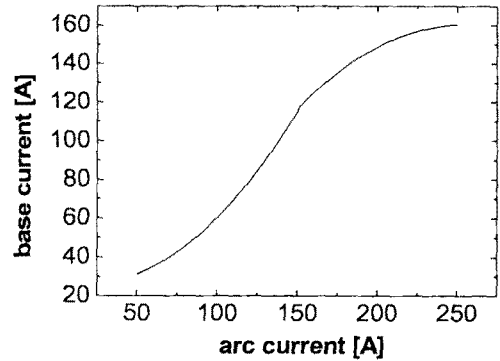


그림 9. 용접전류와 베이스 전류 I_b 의 관계
Fig. 9. Relationship of arc current and base current

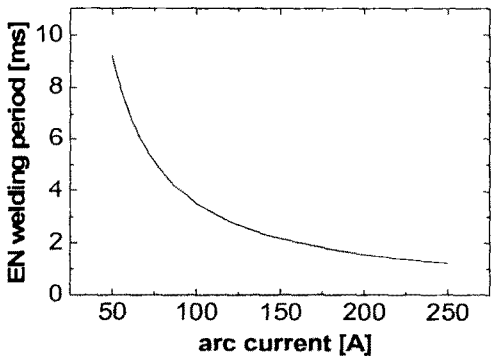


그림 8. 용접전류와 EN 용접 구간 T_{en} 의 관계
Fig. 8. Relationship of arc current and EN welding period

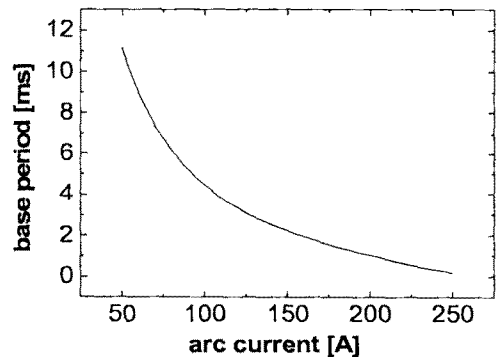


그림 10. 용접전류와 베이스 구간 T_b 의 관계
Fig. 10. Relationship of arc current and base period

다. 그림 8은 용접전류에 따른 EN 용접 구간을 나타내었고, 그림 9는 용접전류에 따른 베이스 전류, 그림 10은 용접전류에 따른 베이스 시간을 나타내었다.

5. 실험결과

제한된 중첩교류 펄스 용접의 용접 성능 향상을 입증하기 위하여 그림 11과 같이 용접 전원을 구성하였다. 입력단에 EMI필터, 입력단 정류기, 입력단 고주파 인버터를 거쳐서 고주파 변압기와 출력단 정류기와 출력 인덕터를 통과한 직류 성분은 출력단 인버터를 거치면서 전류의 극성을 바꾸어 준다. 제어기는 2개의 제어 루프가 존재하며 내부 제어 루프

는 전류 제어로 순시 전류 파형을 추종하고 있으며, 외부 제어 루프는 전압 제어로 와이어와 모재간의 간격인 아크 길이를 일정하게 유지하며 우수한 용접성을 확보하는 데 있다. 이때 와이어의 송급 속도는 전류 지령치 혹은 전압에 비례 상수의 곱에 의해 결정된다. 아크 전압의 지령치는 아크 전압과 비교하여 중첩교류 펄스 파형의 베이스 전류를 설정하고 용접전류의 지령치에 의해서 결정된 나머지 중첩교류 펄스 파형의 설계 요소인 I_p , I_{up} , I_{dw} , T_p , T_{dw} , T_b , T_{up} 등은 4.2절에 설계된 바와 같이 중첩교류 펄스 파형 설계치를 완성한다. 이는 순시용접전류 i_{arc} 와 비교하여 입력단 고주파 인버터와 출력단 저주파 인버터를 각각 스위칭한다.

MIG 아크용접에서의 교류중첩펄스를 이용한 용접성능향상

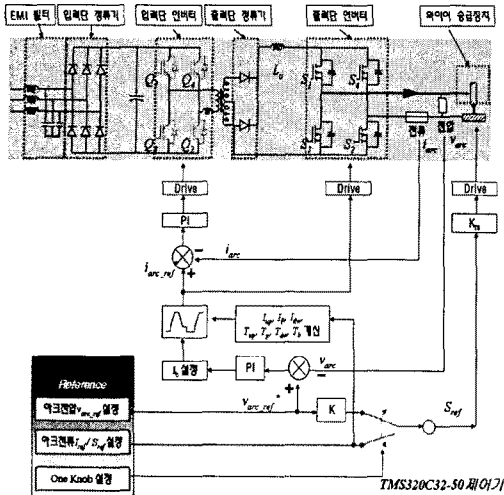


그림 11. 제안된 중첩교류 펄스 용접의 시스템도
Fig. 11. Schematic of proposed superposition ac pulse welding

그림 12와 같은 용접 전원 장치를 구성하여 실험을 수행하였다. 용접 장치는 용접 전원과 가스, 송급 장치, 용접 토치로 구성되어 있고 용융 현상 및 실시간 전압 전류를 관찰을 위한 고속 용접 카메라로 구성하였다.

기존의 펄스 용접과의 비교 실험은 대표적인 저전류 영역인 130[A]와 90[A]를 임의 선정하여 기존의 용접 방법과 제안된 용접 방법을 비교한 실험이다. 이 비교 실험에서는 알루미늄 판재(AI 5052, 길이 : 300[mm], 폭 : 50[mm], 두께 : 3[mm])를 사용하였다. 용접은 보호 가스 100[%]Ar, A5356(φ1.2) 와이어를 사용하여 120[cm/min]의 속도로 용접을 하였다. 용접 중 출력 전류와 전압을 계속하기 위한 계측 장비로는 전류, 전압을 계속할 수 있는 모니터링 시스템인 WAM4000N(모니텍코리아(주))을 사용하였다.

그림 13에서와 같이 박판 용접을 수행하기 위하여 이 용접 전원의 V-I 특성으로 전압 및 전류의 분포 상황을 알 수 있고, 용접에 미치는 영향을 한 눈에 파악할 수 있다. 용접 전원의 V-I 특성은 크게 EP 용접 영역인 1사분면과 EN 용접 영역인 3사분면으로 나눌 수 있다. EP 용접 영역에서는 펄스 이행, 순시 단락 이행, 정상 단락 이행으로 나눌 수 있다.

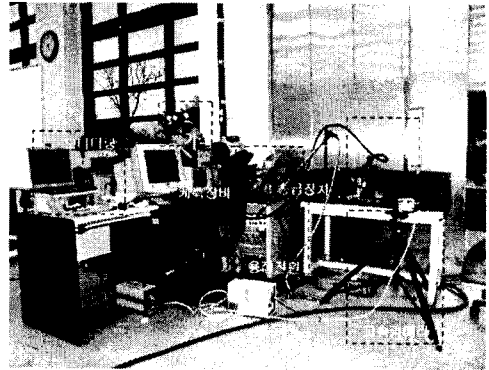


그림 12. 제안된 용접 방법의 평가 시스템
Fig. 12. Evaluation system of proposed welding method

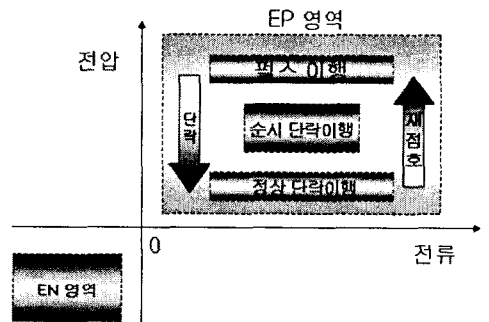


그림 13. 용접 전원의 V-I 특성
Fig. 13. V-I characteristic of welding power source

5.1 실험 1 : 기존 펄스 MIG 아크용접

그림 14는 기존 펄스 직류 용접에 의한 용접 방식으로 용접전류 130[A]인 경우이다. 전압은 약 18[V]로, 빈번한 단락에 의하여 용접전류와 전압이 불규칙함을 알 수 있다.

그림 15는 용접시작 후 4초간 40,000개의 데이터를 용접 전원의 V-I 특성으로 그린 그래프이다. 용접 전원의 V-I 특성에서 아크 전압과 용접전류는 빈번한 단락으로 인하여 20[V] 부근에서 50~300[A]까지 집중적으로 분포되어 있는 한편 단락 발생으로 인한 0[V]부근의 전류 분포가 존재함을 알 수 있다. 순간 단락은 약 41회, 정기단락은 5회 발생하였다. 이는 스파터 발생에 영향을 미쳐 용접 품질을 나쁘게 한다.

5.2 제안된 중첩교류 펄스MIG 아크용접

그림 17은 제안된 중첩교류 펄스의 파형 제어 알고리즘으로 용접한 경우이며, 용접전류는 130[A]로, 중첩교류 비율은 20[%]인 경우이다.

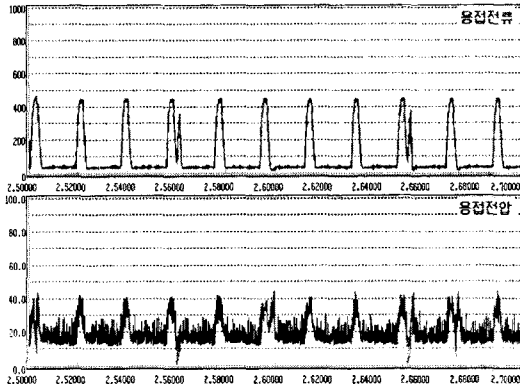


그림 14. 기존 MIG용접의 용접전류와 전압 파형(130[A])
Fig. 14. Arc current and voltage waveforms of conventional pulse welding(130[A])

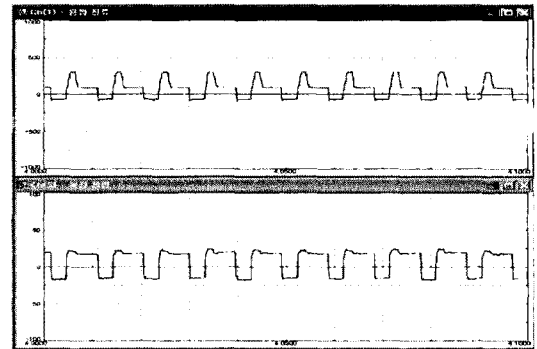


그림 17. 제안된 중첩교류 펄스 용접의 용접전류와 전압 파형(130[A])
Fig. 17. Arc current and voltage waveforms of proposed superposition ac pulse welding (130[A])

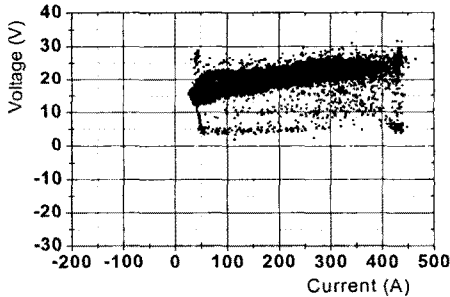


그림 15. 기존 MIG용접전원의 V-I 특성(130[A])
Fig. 15. V-I characteristic of conventional MIG welding power source(130[A])

그림 16 (a)와 (b)에서 보는 바와 같이 알루미늄 판재의 불안정한 용접결과 스패터가 발생하였고 비드 단면은 구멍이 뚫리는 용락이 발생하게 되어 박판 알루미늄용접에 실패한 경우이다.



(a) 비드 외관 (b) 비드 단면

그림 16. 기존 MIG 아크용접의 비드(130[A])
Fig. 16. Bead of conventional pulse welding (130[A])

그림 18은 용접시작 후 4초간 40,000개의 데이터를 용접 전원의 V-I 특성으로 그린 그래프이다. 순시 및 장기 단락이 거의 발생하지 않고 있어, 그림 19 (a)와 같이 깨끗한 비드 모양을 얻을 수 있었다. 단락에 의한 스패터는 발생하지 않았다. 그림 19 (b)와 같이 비드의 단면 역시 용입이 2[mm]정도로 적당히 깊어졌음을 알 수 있고 용락이 발생하지 않았다.

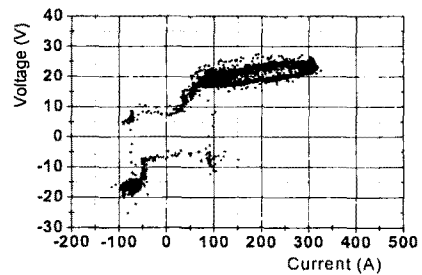


그림 18. 제안된 중첩교류 펄스 용접 전원의 V-I 특성(130[A])
Fig. 18. V-I characteristic of proposed superposition ac pulse welding power source(130[A])

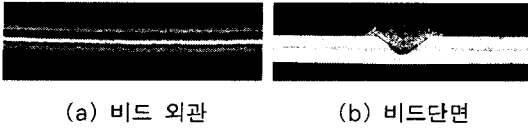


그림 19. 제안된 중첩교류 펄스 용접 전원의 비드(130[A])
Fig. 19. Bead of proposed superposition ac pulse welding(130(A))

그림 20은 제안된 중첩교류 펄스의 파형 제어 알고리즘으로 용접한 이며, 용접전류는 90[A]인 경우이고, 중첩교류 비율은 20[%]인 경우이다.

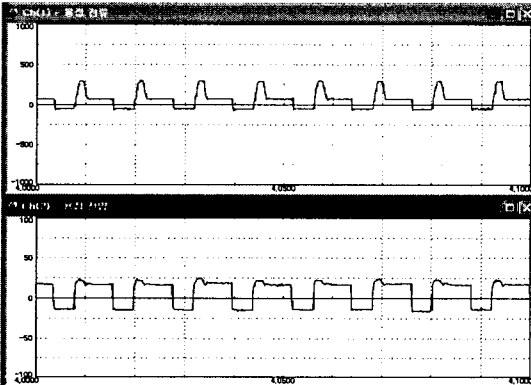


그림 20. 제안된 중첩교류 펄스 용접의 용접전류와 전압 파형(90(A))
Fig. 20. Arc current and voltage waveforms of proposed superposition ac pulse welding (90(A))

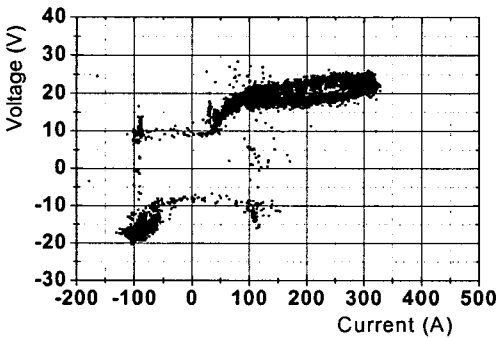


그림 21. 제안된 중첩교류 펄스 용접 전원의 V-I 특성(90(A))
Fig. 21. V-I characteristic of proposed superposition ac pulse welding power source(90(A))

그림 21에서 보듯이 전압 및 전류 분포가 집중되어 있고 균일한 용적 이행을 했음을 알 수 있다. 4사분면에 존재하는 전압 전류의 분포는 EN 용접에 의해 발생한 경우이다. 그림 22 (b)에서 보는 바와 같이 3[mm] 알루미늄 판재에 용입이 약 1[mm] 정도로 다소 얇음을 알 수 있고, 이는 1[mm]의 박판 용접의 경우 적당함을 알 수 있다.

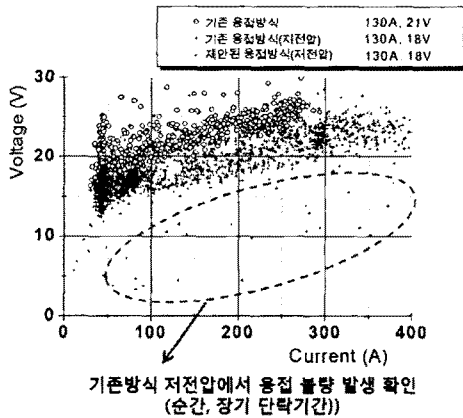


그림 22. 제안된 중첩교류 펄스 용접 전원의 비드(90(A))
Fig. 22. Bead of proposed superposition ac pulse welding(90(A))

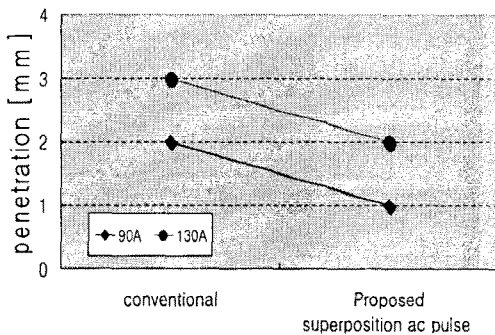
그림 23 (a)는 펄스 용접의 3가지 경우에 대하여 비교한 용접 전원의 V-I 특성이다. 기존의 펄스의 경우 20[V]이상 전압을 높게 하면 단락이 발생되지 않고 용접이 가능하지만 용입이 너무 깊어 아크 길이를 낮추어야 한다. 그러나 기존 MIG 아크용접조건에서 아크 전압을 18[V] 낮추고 아크 길이를 짧게 하면 단락이 빈번하게 발생하고 단락에 의한 전압 전류 분포는 넓은 1사분면을 차지하게 됨을 알 수 있다. 제안된 중첩교류 펄스인 경우 아크 전압을 낮추어도 단락이 발생하지 않고 단락이 발생하는 경우 신속한 단락 제어 등으로 장기 단락을 방지할 수 있다. 이에 그림 23 (a)에서 보는 바와 같이 기존 직류 펄스에 비하여 낮은 약 3[V]이상 낮은 아크 전압을 형성하여도 와이어의 단락이 거의 일어나지 않음을 알 수 있다. 이는 스페터 저감은 물론이고, 모재의 용입을 낮게 가져갈 수 있음을 용접 전원의 V-I 특성으로 확인 할 수 있다.

그림 23 (b)에서 알 수 있듯이 용입의 깊이는 기존 직류 펄스인 경우 130[A]에서 용입이 3[mm]를 초과하는 용락이 발생하여 용접이 실패한 경우이다. 그러나 제안된 중첩교류 펄스의 경우 130[A]에서 2[mm]로 동일한 전류 용량에 대하여 용입이 얇게 이루어 짐을 알 수 있었다. 또, 90[A]의 경우도 기존의 직류와 용입이 2[mm]이며 제안된 방식은 1[mm]의 용입이 발생하여 동일한 전류 용량에 대하여 용

입이 안정적으로 이루어 졌음을 알 수 있다.



(a) 용접 전원의 V-I 특성 비교



(b) 용입 비교

그림 23. 기존 방식과 제안된 방식의 용접특성비교
Fig. 23. Welding characteristic comparison of conventional and proposed method

6. 결 론

MIG 아크용접에 있어서 기존의 펄스 용접방법과 제안된 중첩교류 펄스용접방법과의 실험을 실시하였다. 기존 방식과 달리 제안된 방식에서는, 용입의 깊이가 동일한 전류에 대하여 1[mm]정도 얇게 제어되어 얇은 박판에서 용락이 발생하지 않는 용접 특성을 얻을 수 있음을 확인하였다.

박판 알루미늄에 있어서의 스파터 저감을 위한 방법으로 아크전압을 낮추기 위하여 기존의 MIG 아크용접에 비하여 약 3[V]이상 낮출수 있음을 알 수 있

었다. 또한 용입의 깊이가 동일한 전류용량에 대하여 1[mm] 이상 얇아져서 용락이 발생하지 않음을 확인하였다. 특히, 박판 알루미늄 등과 같은 정밀 자동화 용접시 용접 전원으로써 우수한 특성을 가짐을 확인하였다.

References

- [1] H. Ohada, C. Ueha and K. Agatsuma, "Innovative Vehicle - the train Hitachi review", Hitachi review, vol. 50, no. 4, pp. 130-133, Apr. 2001.
- [2] L. A. Guitterez, C. Neye and E. Zschech, "Microstructure hardness profile and tensile strength in welds of aa6013 T6 extrusion", Welding Journal, vol. 75, no. 3, pp. 115-121, Mar. 1996.
- [3] B. Altshuller, "A guide to GMA welding of aluminum", Welding Journal, vol. 77, no. 9, pp. 83-90, Aug. 1998.
- [4] J. Needham, C. Cooksey, and D. Milner, "The transfer of metal in inert gas shielded arc welding", Welding Journal, vol 45, no. 1, pp. 101-114, Jan. 1966.
- [5] U. Tomoyuki, "MG welding machine of aluminum and its Alloy", Journal of the Japan Welding Society, vol. 30, no. 3, pp. 39-44, Mar. 2001.
- [6] T. J. Kim, C. U. Kim, R. H. Rim, "Development of a power supply for the Pulse MG arc welding with the changes of output current polarity", in Proc. IEEE IECON'04, vol 1., pp. 203-206, Nov. 2004.

◇ 저자소개 ◇

김태진 (金泰鎭)

1968년 8월 29일생. 1994년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1995년 일본 오사카대학 초전도 연구센터 연구원. 1997년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2007년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1997년~현재 한국전기연구원 신재생에너지연구그룹 에너지저장 기술 팀장.