

박판 알루미늄 고속용접 알고리즘에 관한 연구

김태진* 김은수* 변영복* 조기연* 조상명**
*한국전기연구원 **부경대학교

High speed thin aluminum welding Algorithm

T.J.Kim*○ E.S.Kim* Y.B.Byun* K.Y.Joe* S.M.Cho**
*Korea Electrotechnology Research Institute **Pukvona Univ.

Abstract - 알루미늄은 일반 연강에 비하여 가볍고 강도가 높으며, 내식성이 뛰어나 고속전철, 항공기, 자동차, 선박등 수송기기의 외함으로 이용이 확대되고 있다. 하지만 알루미늄의 용접은 일반 연강에 비하여 열전도도가 4배이상 높고, 용접은 2배이상 낮은 열적특성을 가진다. 이로 인한 기존의 박판 알루미늄의 용접의 문제점을 파악하고 해결을 위한 알고리즘을 소개한다.

되고 있다. 그러나 이를 그대로 1~2mm의 알루미늄 박판(薄板)용접에 적용하면 용입이 너무 깊어 용락(熔落)이 발생한다. 또한 용락방지를 위하여 전류와 전압을 낮추면 아크길이가 짧아지면서 와이어와 모재(母材)간의 단락이 자주 발생하고 아크가 불안정해져서 실용화가 곤란하였다.

표1 박판 알루미늄 고속용접 알고리즘추이

용접방식 구분	특징	관련특허
DC TIG 용접		
AC TIG 용접		(1984)JP 62124076
극성비가변 AC TIG 용접		(1994)JP 02303681
저주파 DC 펄스 MIG 용접		(1993)JP 06190561
극성비가변 AC 펄스 MIG 용접		(1998)JP 10328837

1. 서 론

알루미늄 및 그 합금은 가볍고 강도가 높으며, 높은 내식성과 자원의 재활용성이 뛰어난 특성을 가지고 있어서 각종 구조물 및 부품의 경량화가 요구되는 분야에 급속하게 이용이 확산되고 있다. 특히, 고속전철, 지하철 등의 철도차량, 선박, LNG선 탱크, 건축 등은 물론이고, 알루미늄 엔진 및 차체개발로 경량화를 목표로 하는 자동차 산업에 확대 적용되고 있다.

알루미늄의 용접은 그림1에 있는바와 같이 용접시의 산화 방지를 위해 주로 불활성 가스를 이용한 TIG(Tungsten Inert Gas)용접과 MIG(Metal Inert Gas)용접이 주류를 이루고 있다.

표1은 박판 고속용접을 위한 알루미늄 용접을 위한 출력전류파형의 기술변화추이를 보여주고 있다.

본 연구에서는 출력축의 DCEN(Direct Current Electrode Negative) 극성 가변비를 0~60%로 조절하여 용입의 깊이를 제어함으로써 1~2mm의 박판 용접시에도 용락의 발생을 최소화 하고, 모재의 조립 공차를 최대한으로 허용이 가능하며, 용접기의 출력 파형 제어시에 순시펄스전류와 동기되어 정확한 용적이행을 하는 1 사이클 1드롭 방식의 펄스 MIG 용접 알고리즘을 구현함으로써 균일한 용적이행으로 저스퍼터의 실현과 고속용접이 가능하도록 하는 기술을 소개하고자 한다.

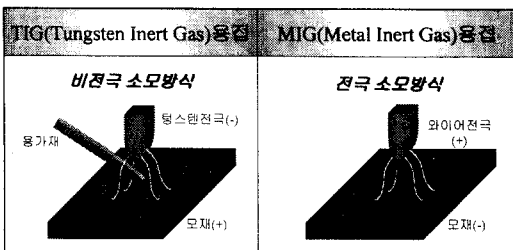


그림1 TIG용접과 MIG용접의 비교

TIG 용접의 경우 아크가 상당히 안정되면서도 용융 금속과 용접봉이 직접 반응하지 않으므로 고품질의 미려한 용접 비드를 얻을 수 있다. 그러나 용접속도의 증가와 용접 자동화에 큰 어려움이 있어 저 생산성이 문제를 갖고 있다.

또한 대전류 MIG용접의 경우 DCEP(Direct Current Electrode Positive)의 극성으로 용접되기 때문에 용입(熔入)이 깊어 5mm 이상 후판(厚板)용접에만 주로 적용

2. 본 론

2.1 알루미늄과 연강과의 물성비교

알루미늄과 철강재료의 물성 및 용접성에 관하여 비교한 것이다. 알루미늄은 용접은 낮지만 기존의 연강에 비해 열전도율이 4배이상 높아 열확산이 쉽고, 비열도 약 2배이므로 국부가열이 어려워져서 큰 입열 제어와 집중가열이 반드시 요구되며, 이러한 성질 때문에 박판용접에서는 용락이 쉽게 일어난다. 또한, 산화가 매우 잘 일어

나므로 공기 중에 단시간만 노출되어도 강력한 산화 피막을 형성하고 그 용점이 약2300℃정도로 모재의 용점보다 현저히 높기 때문에 이 산화 피막을 반드시 제거해야만 양호한 용접 품질을 얻을 수 있다.

표2 알루미늄합금과 연강의 물성비교

물성비교	알루미늄 합금	연강
용점(℃)	560~660	1500~1540
비열(cal/g/℃)	0.21~0.24	0.11
열전도율(cal/cm/℃/sec)	0.48~0.54	0.12~0.18
용접잠열(cal/g)	97	66
선팽창계수(10 ⁻⁶)	23~25	12
탄성계수(kgf/mm ²)	7000~7200	21000
와이어용착량(mg/A/sec)	2.5~2.9	4~5

2.2 기존의 알루미늄 용접시의 문제점

알루미늄의 후판 용접에는 주로 대전류 MIG용접을 적용함으로써 자동화가 용이하여 생산성을 높이면서 품질을 향상시킬 수가 있었다. 그러나, 알루미늄 박판의 용접에는 주로 TIG용접을 적용하여 왔는데, 이 경우에는 다음과 같은 문제점이 발생한다.

- ① TIG용접의 아크 개시 때에는 고주파의 방사 노이즈가 심해서 주위의 컴퓨터나 로봇과 같은 장비에 치명적인 손상을 끼치는 수가 자주 있다.
- ② 대전류로 고속용접을 하면 불안정 비드(Humping bead)가 발생하므로 근본적으로 생산성이 매우 낮다.
- ③ 용접도중에 텅스텐 전극을 계속적으로 관리해야 하므로 자동 생산이 곤란하고, 전극 교체를 위해서 작업자가 항상 수고를 해야 한다.
- ④ 텅스텐 전극의 상태에 따라 용접 품질이 현저하게 영향을 받으므로 품질의 안정성을 자동으로 확보하기 곤란하다.

특히 박판에서 용락문제를 해결하면서도 조립공차를 크게 허용할 수 있도록 하기 위하여 용입제어를 하면서도 아크 안정성과 스파터를 감소시킨 극성비를 제어형 AC펄스 MIG용접기를 개발이 요구되고 다음과 같은 용접조건들이 요구된다.

- ① 스파터의 발생을 방지하기 위한 스프레이 이행모드
- ② 박판에서 용락 방지를 위한 입열량 감소
- ③ 명확한 비늘상 비드 외관 획득
- ④ 알루미늄, 마그네슘 등의 산화 피막을 보유한 금속을 용접하는 경우에는, 역극성 전류의 아크에 의해 산화 피막을 제거시킨다.

2.3 용접전류패턴에 따른 용접알고리즘

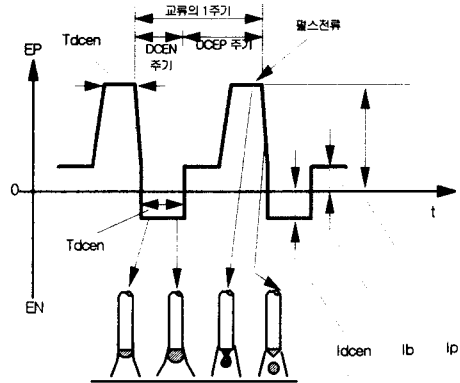


그림2 펄스MIG 용접의 용접알고리즘

그림 2는 박판 알루미늄의 고속용접을 위한 용접기의 출력 파형 제어시에 순시펄스전류와 동기되어 정확한 용적이행을 하는 1사이클 1드롭 방식의 펄스 MIG 용접 알고리즘이며 균일한 용적이행으로 저스패터의 실현과 고속용접이 가능하다.

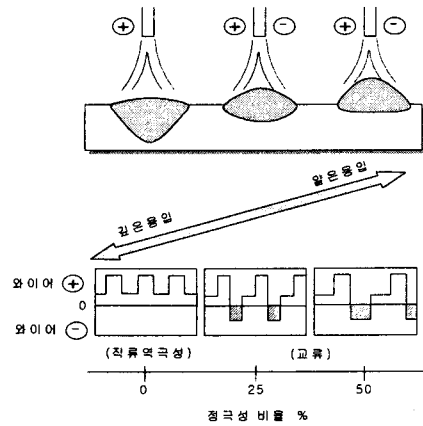


그림3 극성비율과 용입 형상과의 관계

그림3은 출력측DCEN(Direct Current Electrode Negative) 극성 가변비를 0~60%로 조절하여 용입의 깊이를 제어함으로써 1~2mm의 박판 용접시에도 용락의 발생을 최소화 하고, 모재의 조립 공차를 최대한으로 허용하도록 시도한 기술의 개요를 나타낸 것이다.

종래의 펄스 미그 아크 용접방법은 아크에 의한 입열과 이행한 용적의 보유 열량에 의한 입열이 피 용접제에 더해지기 때문에, 판 두께 1mm미만의 극 박판의 용접에서는 용락이 발생하고 규칙적인 비늘상의 비드 외관을 얻을 수 없다. 따라서, 그림4에서와 같이 와이어 선단의 발열량이 역극성보다 작은 정극성 구간이 있는 교류 펄스 전류[ACP]와 용적의 이행 회수를 교류 펄스보다 적게 하고 아크길이를 짧게 하는 직류 전류[DC]를 주기적

으로 되풀이하여 스프레이 이행모드로 용접하는 펄스 아크 용접방법을 채택한다.

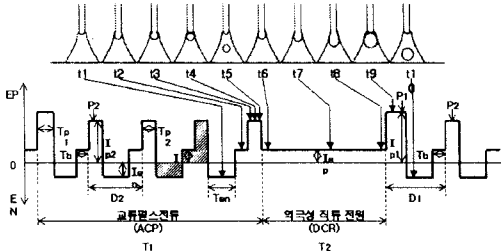


그림 4 새로운 극성가변 교류 펄스 미그 용접알고리즘

그림4에서 보여주는 바와 같이 DCR구간의 존재는 와이어 끝단의 용적이 이행할 수 있는 전류보다 작은 전류를 흐르게 하여 아크 길이를 짧게 해주는 구간이다. 이 결과로는 용적을 이행시키지 않는 구간인 T2(DCR)과 용적의 보유 열량을 낮게 억제하면서 용적을 이행시키는 T1(ACP)를 주기적으로 반복함으로써 종래 기술보다 저입열로 아크길이를 변화시키면서 판 두께가 1mm이하의 알루미늄이라도 용락 등의 용접 불량 발생이 발생하지 않게 비상상 비드 외관으로 되는 용접이 기대된다.

2.4 실험 및 결과

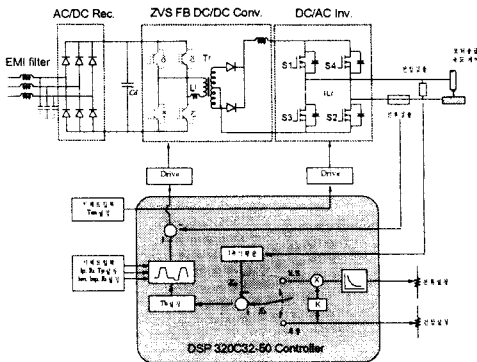


그림 5 박판 알루미늄 고속용접장치의 구성

박판 알루미늄의 고속용접을 위한 주회로 및 제어회로 구성은 그림 5에 나타난 바와 같다. 3상 220V 60Hz의 입력전압을 다이오드 정류기를 통하여 300V의 평활된 직류전압으로 변환하고 이를 20kHz 스위칭 풀브리지 DC/DC 컨버터를 거쳐 고주파 변압기로 절연된 2차측으로 에너지를 전달한다. 이때 에너지 전달효율을 최대 높이기 위하여 변압기 제작시 변압기 1차측과 2차측을 교번으로 감아 코일 쇠교수를 높였다. 또, 2차측의 변압기 출력을 센터 탭 방식으로 출력하여 다이오드와 정류한 뒤에 저주파 인버터(60Hz~200Hz)를 통하여 저항부하에 연결하여 출력전류 및 출력전압을 얻었다. 그림 6,

7은 최종 출력전류 및 출력전압의 실험 파형을 실었다. 그림 6은 피크전류 I_p 는 320A, 베이스전류 I_b 는 60A, 피크 시간 T_p 는 1.7ms, 정극성전류 I_{en} 은 5A, 정극성시간 T_{dcen} 은 1ms로 펄스파터를 정의하였고, 출력주파수가 약 190Hz인 경우의 출력전압 및 출력전류 파형이다. 이때 평균전압은 약 9.2V이고 평균전류는 약100A이다. 그림 7은 그림 30과 펄스패턴으로출력주파수가 약55Hz인 경우의 출력전압 및 출력전류 파형이다. 이때 평균전압은 약 8.9V이고 평균전류는 약50A이다. 그림 8은 변압기 1차측 양단전압 및 전류 파형이다. 그림 9은 본 개발장치의 포트타입 장치사진이다.

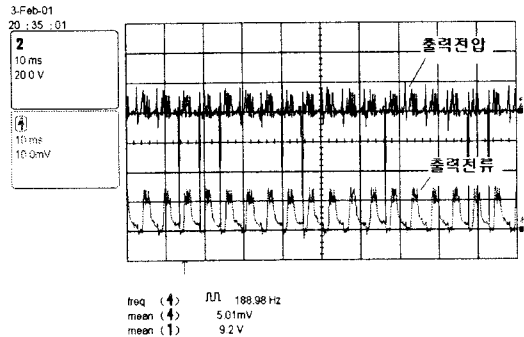


그림 6 출력전압 및 출력전류 파형 ($f_o=190\text{Hz}$)
(20V/div, 200A/div, 10ms/div)

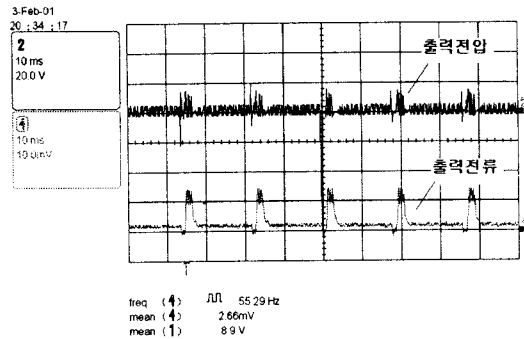


그림 7 출력전압 및 출력전류 파형 ($f_o=66\text{Hz}$)
(20V/div, 200A/div, 10ms/div)

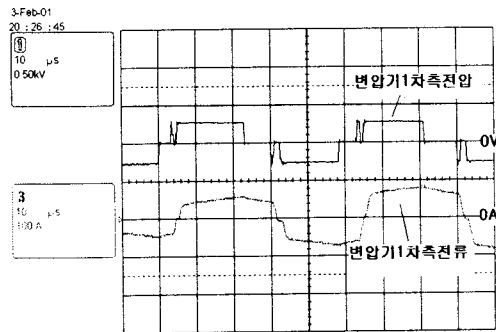


그림 8 변압기 1차측 양단전압 및 전류 파형
(500V/div, 100A/div, 10us/div)

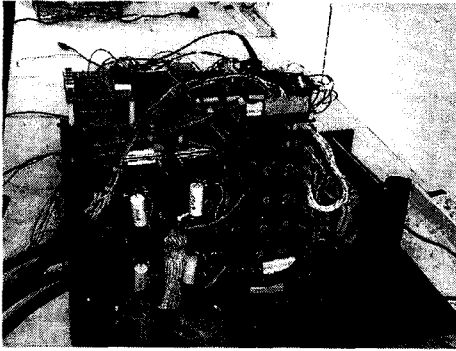


그림33 용접전원장치 시작품

표 3 용접전원장치에 사용된 소자

항 목	박판고속 용접전원장치
입력전압	AC 220V 3상 60Hz
스위칭소자	1차 컨버터: IGBT(2NBI300N-60) : 600V, 300A 2차 인버터: IGBT(CM600-HA-5F) : 250V, 600A
스위칭주파수	20kHz
변압기	페라이트 코어 Eetype 1조 14 : 4
누설인덕턴스	4.5 μH (20kHz)
출력전류(피크전류)	320A
출력전압(무부하시)	100V
출력단 다이오드	FRD(MEO 500-06 DA) : 600V, 500A
입력단 전해 커패시터	BWP 4400 μF, 400VDC
입력단 고주파 커패시터	10 μF*4EA, 3.5 μF*2EA, 1600VDC
데드타임	1.2 μs
출력단 인덕턴스	50 μH(20kHz)

3. 향후계획

본 실험은 저항부하에 대하여 실험한 단계이고 실제 용접부하에 대한 실험을 통하여 용접시 발생하는 문제점을 해결하고, DCR구간에서의 용적이 이행되지 않아 비늘모양의 비드가 발생함을 반드시 고찰하여야 한다. 또 2차측 인버터에 사용하고 있는 IGBT대신 도통손실이 낮은 MOSFET를 사용하여 2%이상 효율을 개선해야 한다. 또 일정한 와이어 송급을 위한 모타 제어 등이 해결해야 할 문제이다. 그리고 급격한 용접부하변동에 변압기의 편여자 문제를 소프트웨어적으로 해결하여 기존의 블럭킹 커패시터를 사용하지 않도록 하고자 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 생산기술연구원 : 용접Arc 현상 및 고용착 GMA용접 Process, 신기술 신상품 용접기술 세미나, 1996
- [2] J.F.Lancaster : The Physics of Welding, International Institute of Welding, Second Edition, 1985.
- [3] 寺本, 島田, 平本 : 薄鋼板アーク溶接の實際. 産報出版, 1986
- [4] 日本溶接協會 溶接棒部會編 : マグ.ミグ溶接の缺陷と防止對策, 産報出版, 1991
- [5] (社)溶接學會 關西支部 : 溶接品質の安定化へのアプローチ, パートI, 平成5年
- [6] (社)溶接學會 溶接法研究委員會編 : アーク溶接の自動化技術, 1995
- [7] 酒井, 菅 : 最近のマグ.ミグ溶接の動向, 溶接技術, 1993
- [8] 原田, 安田 : 炭酸ガス.マグ溶接におけるスパッタ低減の方法, 溶接技術, 1993
- [9] 三田 : 最近のアーク溶接機, "バルスマグ.ミグ溶接機の電流波形制御, 溶接技術, 1991
- [10] J.G.Goo, J.W.Baek, G.H.Rim, I.R.Kang. "Novel Zero Voltage Transition PWM Multi-Phase Converters", IEEE, '96PESC, pp.500-505(1996)
- [11] Jun Oyama, Xiarong Xia, Tsuyoshi Higuchi, Eiji Yamada, "Effect of PWM Pulse Numbers on Matrix converter Characteristics", IEEE, '96 PE SC, pp.1306-1311(1996)
- [12] H.Hanselmann, "Hardware-in-the-Loop Simulate aStandard Approach for Decelopment, Custominazion, and induction Test", SAE paper 930207
- [13] Tagnolini M,Rufer A.-Ch, "A DSP based Control a Symmetrical Three-Phase Two-Switch PFC-Power Supply for Variable Output Voltage", 1996,IEEE Records, pp.1588-1594
- [14] Meng-Yu Chang, Jiann-Yow Lin, Ying-Yu Tzou, "DSP-based Fully Digital Control of a AC/DC Converter with Nonlinear Digital Current Mode Control", 1996,IEEE Records, p. 1702-1708
- [15] D.M Sable,F.C.Lee. and B.H.Cho, "A zero-voltage-switching bi-direc tional battery charge & discharge for the NASA EOS satellite," VPEC Annual Seminar,1992 Proceeding,pp.41-46
- [16] PULSED ARC WELDING "Technical Commision on Phtsics of Welding The Japen Welding Society"