

IGBT 인버터제어 TIG용접기 성능개선에 관한 연구

이정호*, 김재문*, 김연충*, 원충연*, 김규식**, 김영렬***
성균관대학교*, 서울시립대학교**, 안양대학교***

A Study on the Performance-Improvement of TIG Welder with IGBT Inverter System.

J.H Lee*, J.M Kim*, Y.C Kim*, C.Y Won*, G.S Kim**, Y.R Kim***
Sung Kyun Kwan Univ.*, Seoul City Univ.**. An Yang Univ.***

Abstract - This paper describes the performance improvement of dc TIG (Tungsten Inert Gas) welder. The TIG welder consists of single phase full bridge IGBT inverter which incorporates the high frequency transformer, the boost converter for improving the input power factor, and the arc start system. The arc will be generated without fail even when the extension cable between the torch and the power source is 100m long. In addition, the arc start system with a short dc output voltage will generate less EMI noise than the traditional arc start system with a high frequency output voltage.

To demonstrate the practical significance of the proposed methods, some simulation studies are presented.

1. 서 론

근래 용접기가 점차 고도화 되고 출력의 고속, 정밀한 제어전원, 소형,경량등 종래 용접기에서의 단점을 없앤 고성능 용접기의 필요에 따라 인버터 용접기의 보급이 두드러지고 있다. 그중에서 티그 용접은 알루미늄합금, 스테인레스강을 비롯하여 거의 대부분의 금속을 접합할 수 있어 항공기, 원자로 등의 제조에도 응용되며 그 사용범위가 넓다.

따라서 본 연구에서는 트랜스타입의 티그용접기나 SCR제어방식 직류 티그용접기에 비하여 아크가 안정되며 작업성이 우수한 인버터 직류 티그용접의 성능을 개선시키고자 기존의 좁은 펄스폭을 갖는 입력전류에 기인한 전류의 고조파 성분을 갖는 콘덴서 평활용 정류기 대신에 Boost 컨버터를 IGBT 고주파 인버터의 정류회로부에 삽입하여 역할을 개선하였다[1][2].

최근 일본에서는 고주파누설로 인하여 연장케이블

의 한계나 주변기에 전자장애를 유발하는 고주파 방식 대신에 직류고전압스타트방식을 채용하여 우수한 아크스타트특성 및 용접기의 신뢰성 향상을 이루고 있으나 국내에서는 전혀 고려되고 있지 않아 이 부분을 소개하고자 한다.

2. 본 론

2.1 티그용접 특성

2.1.1 티그용접의 원리

티그용접은 그림1에서와 같이 아르곤 가스의 보호아래 텅스텐 전극과 모재간에 아크를 발생시켜 모재 및 용가봉을 용융시켜 금속을 접합하는 방법이다.

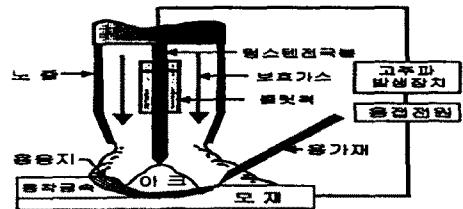


그림 1. 티그용접의 원리

텅스텐(Tungsten)은 전류를 아크로 전도하는 전극을 말하며 아크를 일으켜서 열을 내는 역할만을 하며 불활성가스(Inert Gas)는 다른 원소와 화학적으로 화합하지 않고 용융지와 아크를 덮어버리는 재료로서 용접주위영역으로 부터의 공기를 차단하는 보호가스 역할을 한다. 모재와 텅스텐 전극 사이에 용접전원과 아크를 쉽게 발생시키기 위한 고주파 발생장치가 접속되어 있고, 모재 표면과 텅스텐 전극 전단과의 사이에서 아크가 발생한다[4].

2.1.2 티그용접전원의 특성

그림2은 두 개의 전극에 적당한 직류전원과 저항을 접속하여 아크를 발생시킨 경우의 아크전압 분포를 보인 것이다. 전원의 (+)측에 접속된 전극을

양극,(-)측에 접속된 전극을 음극이라 하고, 음극과 양극간의 부분은 아크기둥 또는 아크프라즈마라고 부른다. 아크 전압은 음극과 양극의 근처에는 각각 급격한 전압강하가 있고, 아크 기둥부분에서는 길이에 비례한 전압강하가 있다. 이러한 전압강하를 각각 음극강하(VA), 양극강하(Vk), 아아크기둥 강하라 하고 전체의 전압을 아크 전압(V_a)이라고 한다[4].

그림3는 티그아크의 전압·전류특성을 보이는 것으로 아크 발생후 부하전류가 일정하도록 단자전압변동 즉 아크전압이 변동되더라도 용접전류 변동하지 않는 정전류특성을 보이고 있다.

$$V_a = a + bL + \frac{c + dL}{i} \quad (1)$$

식(1)에서 V_a 는 아크전압, L 은 아크길이, i 는 전류, a,b,c,d는 상수이며, 상수a는 양극전압강하(VA)+음극전압강하(Vk)로 표현되며, bL은 양극기둥에서의 전압강하로 전체아크길이 L과 동일하게 본다. 전류가 커지면 아크전압은 식(2)와 같이 표현되고, 아크가 길어지면 식(3)과 같이 된다.

$$V_a = a + bL \quad (2)$$

$$V_a = bL \quad (3)$$

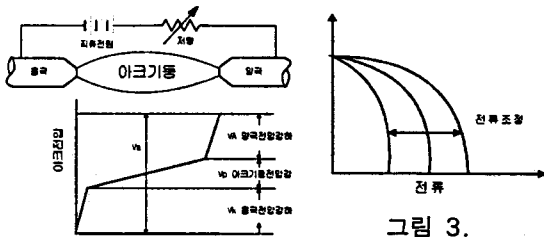


그림 2. 아아크 전압분포 전압·전류특성곡선

정전류특성 때문에 아크길이(L)가 변하더라도 전압의크기는 크게 변하지만 전류의 변동폭은 작다. 즉 아크길이에 무관하게 일정전류를 유지하게 된다.

2.1.3 아크 스타트 특성

일반적으로 TIG 용접기에는 전극과 모재간에 2,000~5,000V의 고주파전압을 인가함으로써 텅스텐 전극과 모재간에 공간 절연과피를 유도하여

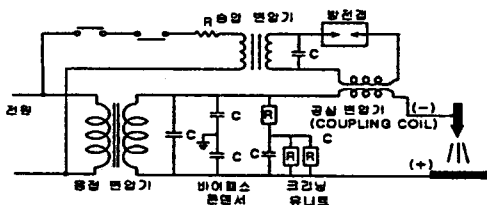


그림 4. 종래의 고주파전압 아크 스타트방식

아크스타트를 일으킨 다음 용접전류를 급격히 올리는 그림4와 같은 방법이 이용되어 왔다.

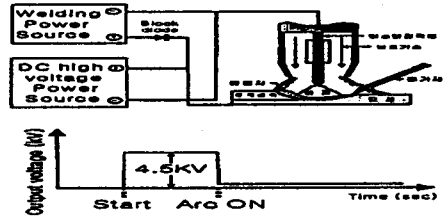


그림 5. 직류고전압 아크 스타트방식

그러나 교류전원을 사용할 경우 고주파누설로 인해 연장케이블의 한계나 주변에 전자환경을 산란하는 노이즈를 비교적 많이 발생하여 사고의 원인이므로 본 연구에서는 그림5에서와 같이 우수한 아크스타트특성과 노이즈 레벨의 저감 및 전극의 소모가 줄어들고 용접기의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 직류고전압 아크스타트 방식을 행하고자 한다.

2.2 역률개선

대표적인 AC/DC전력변환장치로는 PWM 컨버터를 들 수 있으나 단위역률 유지를 위한 전류제어 루프와 직류링크 전압유지를 위한 복잡한 전압제어 루프 등의 제어루프와 스위칭 소자수의 증대로 가격상승이 요구되어 용접기에 거의 사용되지 않는다.

반면에 승압형 컨버터를 사용한 역률개선방법은 연속전류모드와 불연속전류모드로 나누어지며 각모드는 다시 그림6에서 처럼 평균전류검출, 피크전류검출, 히스테리시스전류검출방법으로 나누어진다.

피크전류모드제어는 램프 슬립보상문제와 입력전압의 낮은 부분에서 왜곡이 심하여 제어가 복잡하며, 히스테리시스 전류제어는 정상상태에서 스위칭 주파수가 변하며 특히 입력전압 및 부하변동시 스위칭 주파수의 변동폭이 큰 단점이 있다.

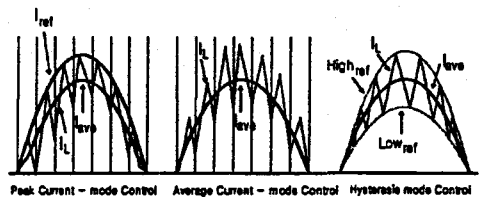


그림 6. 전류검출방법

본 연구에서는 연속전류모드 운전이 가능하고 역률보상효과가 좋고 일정주파수 스위칭을 행하므로써 EMI Filter 등의 설계가 용이한 평균전류검출방법을 택하였다.

한편, 평균전류검출방법에 있어 널리 실용화되어 있는 One Chip Controller 방식을 사용하여 고정된 스위칭 주기마다 boost컨버터의 인덕터에 흐

르는 평균전류를 제한하여 입력 라인에 펄스 모양의 전류가 흐르지 않는 입력역역용 용접기를 구현하는데 목적이 있다(6)(7).

2.3 고주파 인버터의 구성

그림7의 시스템 구성도와 같이 상용전원에서 EMI 필터를 통해 필터링된 전압은 정류기를 통해 직류화되고, 역률개선통 컨버터를 통해 전압 피드백되어 안정된 직류전압을 20KHz 스위칭 주파수로 동작하는 단상전파형 인버터부에 공급된다. 인버터 시스템의 제어를 위해 16비트 마이크로 컨트롤러인 80C196KC를 사용하여 부하단으로부터 검출된 전류의 값이 필터회로를 통하여 10비트 8채널 A/D 컨버터로 입력된다.

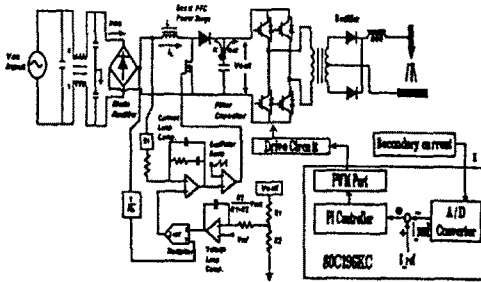


그림 7. 전체 시스템 구성도

이 값은 프로그램상에서 기준 전류값과의 오차를 가지고 PI 제어 알고리즘을 수행하게된다. 제어기에서 출력된 제어량은 PWM포트의 제어레지스터로 입력되어 비교기를 통해 비교된후 양의 반주기 동안은 PWM0, 음의 반주기동안은 PWM1 포트로 출력되어 IGBT게이트 드라이브단을 거쳐 게이트를 구동시킨다.

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

시뮬레이션을 통한 특성해석에는 연산속도가 빠르고 회로해석이 용이한 PSIM (Power Simulation)을 사용하였고 AC/DC 전력변환장치 출력은 4.7KW로 설정하였다.

전력변환장치의 시뮬레이션에 사용한 회로 정수는 표1과 같다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 회로정수

구 분	Boost 컨버터
필터리액턴스	1mH
스위칭 주파수	40 KHz
필터커패시턴스	3000uF
출력 전압	380V
출력전력	4.7KW

그림8은 역률개선통 전의 전원전압·전류의 파형으로 피크전압을 중심으로 15° 전후로 펄스모양의 전원전류가 흐르고 있다.

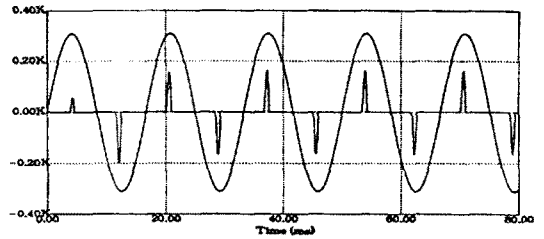


그림 8. 역률개선통 전의 전원전압·전류파형

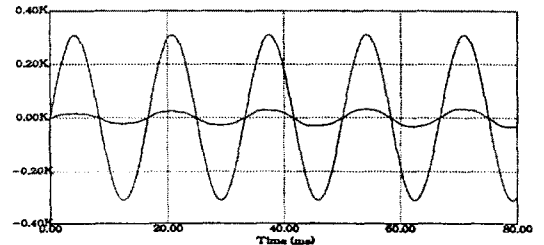


그림 9-a. 역률개선통 후의 전원전압·전류파형

고조파 성분을 함유한 전류파형이 역률개선통 후 그림 9-a에서와 같이 입력전원전압과 동상이며 정현파 형태로 제어됨을 볼 수 있다. 그림9-b는 정상상태의 전원전류파형을 보여주고 있다.

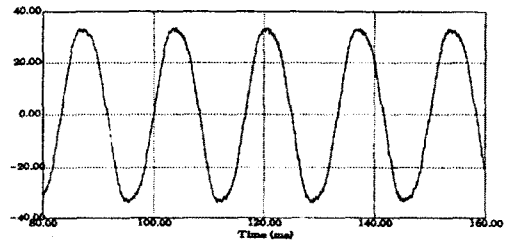


그림 9-b. 정상상태의 전원전류파형

그림10은 역률개선통 전의 전원전류 고조파분석파형이고,역률개선통 후 전원전류의 고조파분석은 그림11와 같다.

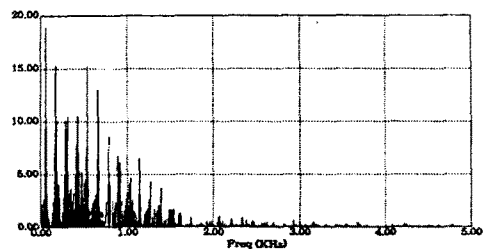


그림 10. 역률개선통 전의 전원전류 고조파분석파형

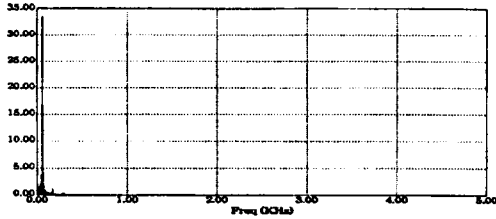


그림 11. 역률개선후의 전원전류 고조파분석파형

그림12,13은 역률개선 전·후의 THD (Total Harmonic Distortion)파형이다. THD는 식(4)로 표현된다.

$$THD = \frac{\sqrt{I_{rms}^2 - I_{rms(1)}^2}}{I_{rms(1)}} \quad (4)$$

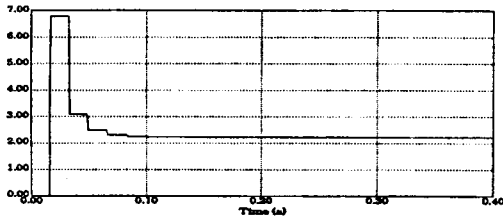


그림 12. 역률개선전의 THD

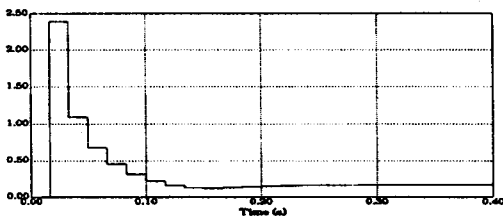


그림 13. 역률개선후의 THD

역률과 THD의 관계식 식(5)을 통해 정상상태의 역률을 알 수 있다.

$$Power\ Factor = \frac{1}{\sqrt{1 + THD^2}} \quad (5)$$

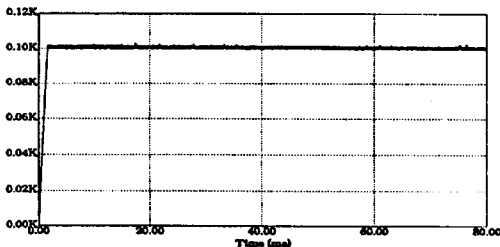


그림 14. 용접기 출력단 전류파형

그림14는 PI제어에 의해 100A기준전류를 추종하는 용접기출력단 전류파형이다.

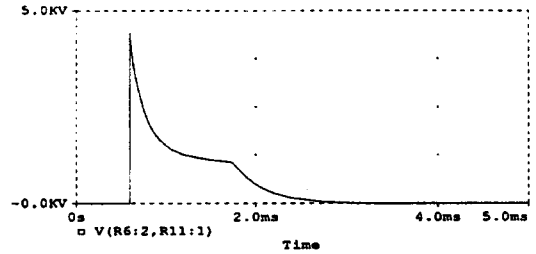


그림 15. 아크스타트 직류고전압파형

그림15은 직류고전압스타트 방식을 PSpice Software로 구현한 파형이다. 자료에 근거하면 용접기로부터 연장 케이블이 100m 근처에서도 순시 아크스타트율이 거의 100%의 성공률을 가지고 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 직류 티그용접기시스템의 성능개선을 위해 Boost 컨버터를 사용하여 콘덴서 평활용 다이오드 정류기보다 역률의 향상을 보여주었으며 full-bridge 인버터를 사용한 정전류제어를 통해 티그용접기 전류파형을 관찰하였다. 또한 종래의 고주파 발생회로와 직류 고전압아크스타트방식을 구현하여 장단점을 비교하였다.

향후연구계획은 시뮬레이션결과를 기본으로 실험을 통해 티그용접기의 성능향상을 확인할 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] M. Horvath, J. Borka "Welding Equipment with Power Factor Correction". PEMC, pp. 181 ~ 185, vol 2, 1995.
- [2] Lloyd Dixon, "High Power Factor SwitchingPreregulator Design Optimization", Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual, pp. 13-1 ~ 13-12, 1994.
- [3] 인버터 제어방식의 전기용접기 개발에 관한 연구, 상공부, 1990. 6
- [4] 이두희, 박상흠, 박상기, 특수용접, 일진사, pp. 22 ~ 29.
- [5] "역률 개선 및 고조파제거에 관한연구", 월간전자기술, 1995. 11~12, 1996. 1.
- [6] C. Zhou, M.M.Jovamovic, "Design Trade-Offs in Continuous Current-Mode Controlled Boost Power-Factor-Correction Circuits". VPEC, pp. 15 ~ 26, 1992.
- [7] Marty Brown, Power Supply Cookbook, pp. 195~206. 1994.
- [8] PowerSim Consulting Inc. PSIM User Manual, 1996.4.