

인버터 TIG용접기의 전원전류 고조파 저감

이정호, 김준호, 원충연, 김영렬*, 김학성**
성균관대학교, 안양대학교*, 동양공업전문대학**

Input Current Harmonic Reduction of Inverter TIG Welder

J.H. Lee, J.H Kim, C.Y. Won, Y.R. Kim*, H.S. Kim**
Sung Kyun Kwan Univ., An Yang Univ.*, Dongyang Technical College.**

ABSTRACT

In this paper, we proposed AC/DC boost converter to improve input current harmonic reduction in TIG welder. The proposed harmonic reduction circuit with UC2854AN acting on constant switching frequency average current control has a three-loop control structure: the inner current loop, the line voltage feed-forward loop, and the outer voltage loop. Also, we applied the constant current strategy on full bridge IGBT inverter to stabilized the output current using the analog PI controller.

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

1. 서론

일반적으로 용접기는 저압, 대전류에서 발생하는 전기적인 에너지가 방전현상에 의하여 생성되는 아크의 열로 변환되어 모재와 모재를 접합하는 방식이다. 비소모성 전극을 사용하는 용접기로 텅스텐 전극봉을 사용하는 TIG(GTAW : Gas Tungsten Arc Welding) 용접기를 들 수 있으며, 아크가 안정되고 작업성이 우수하여, 박판, 후판 및 모든 금속용접에 적합한 용접 방법이다. 한편, TIG 용접기는 저전압, 대전류의 안정된 전력을 출력측에 공급해야 아크를 원활히 발생하므로, 최근에는 제어기법의 향상과 고속의 스위칭 소자의 개발에 따라 인버터 용접기의 사용이 증가되고 있다. 그러나 인버터의 입력측에 사용된 평활용 커패시터로 인해 용접기의 입력전류는 입력전압이 출력 커패시터의 충전전압을 초과할 때만 흐르게되어, 통상적인 운전상태에서도 돌입전류에 가까운 전류가 흐르기 때문

에 입력측에 많은 양의 고조파 전류를 함유하게 된다. 이러한 고조파 전류는 선로의 용량성 및 유도성 임피던스로 인해서 공진 현상을 발생시켜 고조파 전류의 증폭으로 인해, 기기의 과열이나 소손이 발생한다. 용접기 시스템의 경우 대전력 변환기이므로, 입력전류의 고조파 성분에 의한 전원 오염은 개선되어야 한다.

본 논문은 인버터 TIG 용접기의 전원측에 AC/DC 승압형 컨버터를 삽입함으로써 용접기의 입력전류를 정현파 형태로 제어하여 입력측 고역률화를 통해 전원측 전류의 고조파를 저감하였다. 또한, 용접기 출력단의 전류를 제어하기 위해 신호발생용 IC인 TL494를 사용하여 정전류제어 하였다. [1-3]

2. 용접기 전원전류 고조파 저감

산업현장에서 많이 사용되고 있는 직류 TIG 인버터 용접기의 전원부에는 보통 그림 1과 같이 다이오드 정류기를 사용하며 따라서 입력전류는 교류전압의 파형에서 피크전압을 중심으로 15° 전후로 발생한다. 그 결과 예상 평균전류보다 5~10배 높은 전류펄스가 발생하며 출력전압 맥동이 크고 교류측 전류가 불연속적이며, 돌입전류에 가까운 펄스형태의 전류가 흐르게 되어 입력단에 많은 양의 고조파 전류가 함유된다.

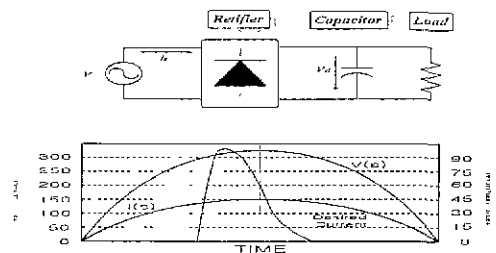


그림 1. 기존 용접기 전원전압·전류파형

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 교류측 전류를 정현파에 가깝게 제어하기 위해 AC/DC 승압형 컨버터를 삽입하여 전원전압과 동상인 정현파형의 전류를 만들어 전원전류의 고조파 성분을 저감하였다

2.1 AC/DC 승압형 컨버터 제어^[2]

AC/DC 승압형 컨버터는 입력전류가 연속적이고 전도성 노이즈레벨이 작아 능동 역률개선 방법으로 적합하다. 본 논문에서는 피드백 루우프에 증폭기를 사용하여 입력전류가 지령신호를 아주 작은 오차를 가지고 추종할 수 있도록 하는 평균전류 검출 방식을 채택하였다. 그림 2는 용접기 전원측 전류의 고조파를 제거하기 위해 필요한 기본 제어회로를 보여주고 있으며, 각 루우프를 좀 더 살펴보면 먼저 아날로그 곱셈기는 정류된 선전압과 출력전압이 전압오차증폭기를 거쳐 곱해져 전류 지령신호 I_{mo} 를 발생하게 되며 입력전류와 출력전압을 제어하는 평균크기의 형태를 갖게 된다. 전압오차증폭기의 출력전압 V_{vea} 는 정류된 입력전압신호에 의해 곱해지기 전에 피드포워드 전압인 평균입력전압 V_{II} 의 제곱으로 나누어진다. 그림 2-2에서 상승기와 배분기회로는 전압오차증폭기 출력의 전력 제어를 통해 루우프 이득을 일정하게 유지시킨다.^[4]

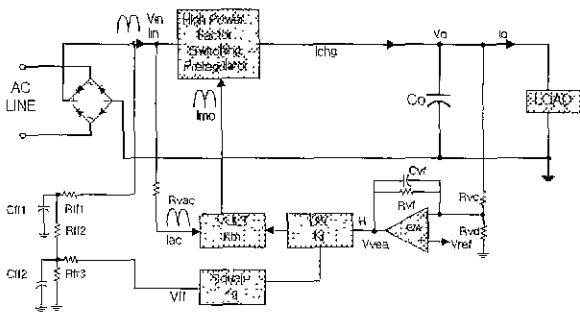


그림 2. 전원측 전류 고조파 제거를 위한 승압형 컨버터 회로도

2.2 고주파 인버터 전류제어^[2]

본 제어시스템에서는 신호발생용 IC로서 가장 많이 사용되고 있는 TL494를 통해 복잡한 PWM 회로의 구성을 피하고 고속 응답성을 가지도록 전체 아날로그 제어부의 구성을 간략화 시켰다.

출력단 정전류 조절을 위한 두 개의 오차증폭기 중 첫번째 오차증폭기는 (+)단자에 홀소자를 통해 검출된 출력전류 검출값을, (-)단자에 출력전류 상한치를 설정하기 위한 기준신호를 입력하였으며, 두번째 오차증폭기는 출력전류 검출값과 최소전류

조정 및 정전류 기준신호를 각각 (+), (-)의 입력으로 하여 펄스폭을 가감하게 하였다. TL494에서 출력되는 PWM 신호는 토치스위치 Enable신호와 IGBT소자 등의 과열을 방지하기 위한 Heat sink 저항온도신호등이 PAL(Programmable Array Logic)소자인 16L8을 통해 논리 연산된다. 스위칭 소자의 도통구간을 가변저항을 통하여 제한함으로써 5 μ sec의 Dead time이 주어진 신호는 구동회로를 거쳐 IGBT 소자를 동작시킨다.

3. 시뮬레이션 및 실험결과

3.1 시뮬레이션

본 논문에서는 입력역률개선 단상 브리지형 인버터 TIG 용접기의 실제용접을 모사하기 위하여 용접상태가 양호하다고 가정하고 토치와 모재사이의 전압강하를 저항에 의한 전압강하와 직렬로 연결된 전압원으로 모델링 하였다.^[5]

역률개선회로 및 인버터부의 이론적인 동작특성과 실험상에 필요한 각 파라미터를 구하기 위하여 PSpice 소프트웨어 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터

소자	파라미터
인덕터	560 μ H
커패시터	3000 μ F
컨버터 스위칭 주파수	20kHz
출력전압	400V
인버터 스위칭 주파수	20kHz
리액터	33 μ H

역률개선을 위한 AC/DC 승압형 컨버터 회로는 UC2854AN의 제어기능을 모사 하였다. 그림 3과 같이 평균전류 검출제어방식의 아날로그 PI 제어를 사용하여 입력전류제어 루우프와 전압 루우프로 구성하고 승압기를 사용하여 구성하였다. 또한 정전류제어를 위한 단상 브리지형 인버터 회로는 20KHz의 스위칭 주파수와 PI제어를 구성하여 출력단 전류를 시뮬레이션 하였다. 입력전류 고조파 저감의 효과를 비교하기 위하여 콘덴서 삽입형 정류기를 채용한 기존의 인버터식 용접기의 전원측 전압과 전류를 보면, 그림 4와 같이 용접기 입력측에 펄스형태의 전류가 흐른다. 펄스형태의 입력전류의 고조파 분석을 통해 그림 5와 같이 3, 5, 7차 등 다량의 저차 고조파가 함유되어 있으며, 고조파의 함유량이 기본파의 약 40~80%에 이르는 것을 알 수 있다. 그림 6은 용접기 입력전류의 고조파

성분을 저감하고자 AC/DC 승압형 컨버터를 인버터 TIG 용접기 정류회로부에 삽입한 후의 입력전압과 전류의 파형으로 입력전류가 전원전압과 동상이고 정현파 형태로 제어됨으로써 그림 7과 같이 저차 고조파 성분이 제거되고 기본파 성분이 증가하였다. 그림 8은 인버터의 공급되는 전압 즉, 승압형 컨버터의 출력전압으로서 설정치인 400V로 제어됨을 볼 수 있는 시뮬레이션 파형이다. 그림 9와 그림 10은 용접상태를 모사한 부하저항 0.25Ω에서 40A, 80A의 용접전류를 기준값으로 설정하였을 때 기준전류값을 추종함을 보여준다.

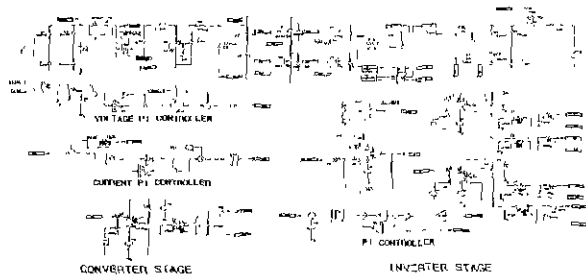


그림 3. 시뮬레이션 구성도

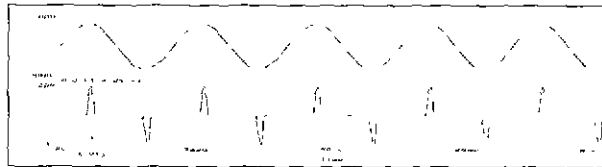


그림 4. 기존 용접기의 입력전압, 전류 시뮬레이션 파형



그림 5. 기존 용접기의 고조파 분석 시뮬레이션 파형

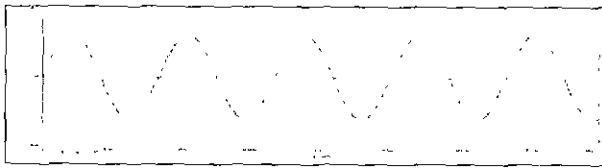


그림 6. 역률 개선후 전원측 전압·전류 시뮬레이션 파형

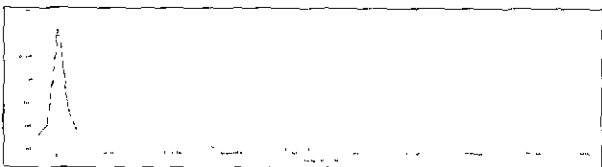


그림 7. 역률 개선후의 고조파 분석 시뮬레이션 파형



그림 8. 400V 제어시 컨버터 출력전압 시뮬레이션 파형

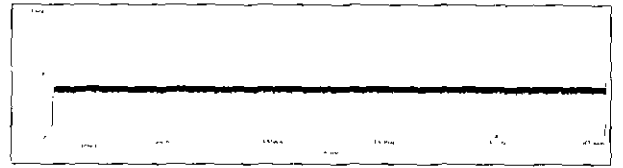


그림 9. 용접전류 40A시의 시뮬레이션 파형

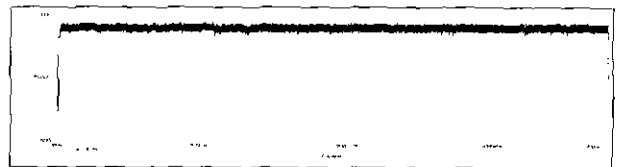


그림 10. 용접전류 80A시의 시뮬레이션 파형

3.2 실험결과

그림 11은 인버터 TIG 용접기의 전원전류 고조파 저감을 위한 전체 시스템 구성도이며, 그림 12는 콘덴서 삽입형 정류기를 채용한 기존 용접기의 입력전압, 전류의 실험 파형으로서 입력측 전류가 펄스 형태의 전류의 흐름으로서 입력전류에 다량의 저차 고조파 성분이 존재함을 알 수 있다.

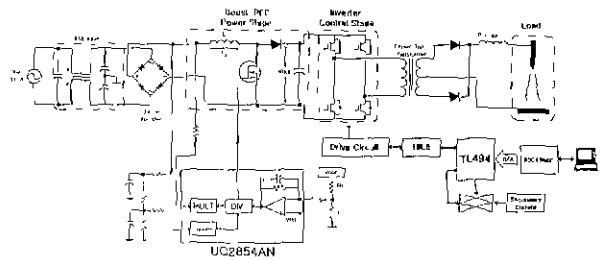


그림 11. 전체 시스템 구성도

그림 13은 인버터 TIG 용접기의 입력측에 AC/DC 승압형 컨버터를 삽입하고 역률 개선용 소자인 UC2854AN을 사용하여 입력전류를 평균전류 제어방식으로 제어한 경우의 실험 파형이며 이때의 용접전류 설정치 40A시의 입력전류가 정현파 형태로 흘러 저차 고조파 성분이 제거됨을 알 수 있다. 그림 14는 용접전류 80A인 경우의 입력전압, 전류 파형으로서 전원전압과 전류가 동상으로 제어됨을

확인 할 수 있었다. 그림 15는 용접상태에서의 AC/DC 승압형 컨버터의 직류출력전압으로서 400V로 제어됨을 확인 할 수 있었다. 그림 16, 17은 용접전류 40A, 80A의 용접기 출력전류 실험 파형을 보여주고 있다.

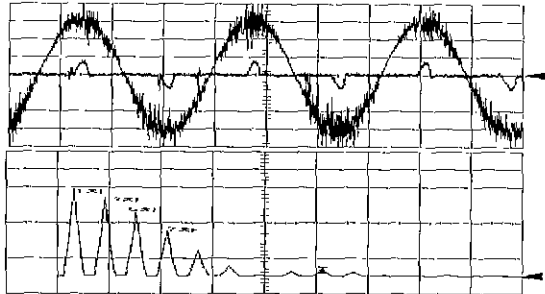


그림 12. 기존 용접기의 입력전압, 전류 실험파형 및 입력전류 고조파 분석파형
(100V/div, 20A/div), (1A/div, 0.2KHz/div)

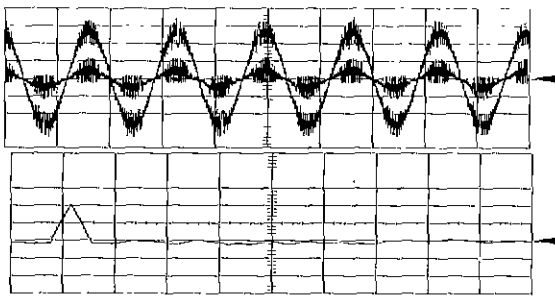


그림 13. 용접전류 40A시의 입력전압, 전류 실험파형 및 입력전류 고조파 분석파형
(100V/div, 10A/div, 10ms), (2A/div, 50Hz/div)

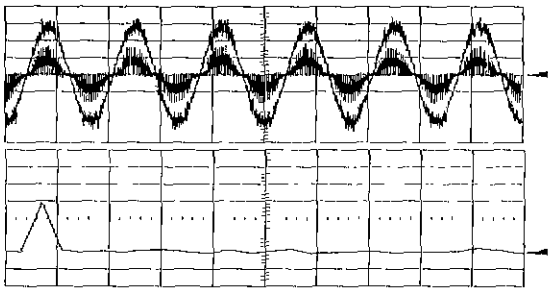


그림 14. 용접전류 80A시의 입력전압, 전류 실험파형 및 입력전류 고조파 분석 파형
(100V/div, 10A/div, 10ms/div), (2A/div, 50Hz/div)

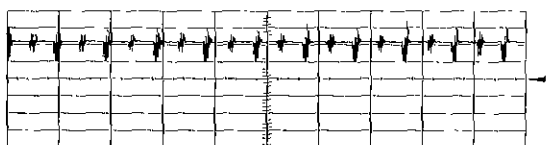


그림 15 직류 링크단 실험파형
(200V/div, 10ms/div)

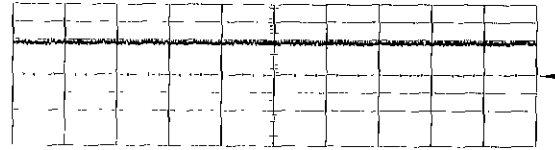


그림 16. 40A 용접전류의 실험파형
(20A/div, 5ms/div)

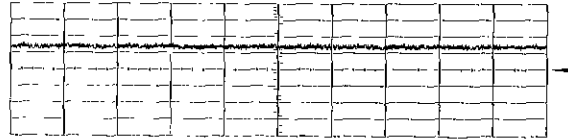


그림 17. 80A 용접전류의 실험파형
(50A/div, 5ms/div)

4. 결론

종래의 인버터 용접기는 커패시터 삽입형 정류기로 인해 낮은 입력역률을 가진다. 본 논문에서는 입력측에 2kW급 AC/DC 승압형 컨버터를 인버터 용접기의 입력측에 결합하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- (1) 용접기 입력역률을 개선하고자 AC/DC 승압형 컨버터를 설계하고 역률개선용 집적소자인 UC2854AN을 사용하여 인덕터의 평균전류를 연속모드로 제어하였다.
- (2) 기존의 인버터 용접기의 약 62% 역률을 98%로 개선하므로써 입력전류의 저차고조파를 저감하였으며, 출력전압을 제어하여 인버터단에 일정한 직류전압을 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] Marty Brown, "Power Supply Cookbook," pp.195~206, 1994.
- [2] M Horvath, J, Borka, "Welding Equipment with Power Factor Correction," PEMC, pp.181 ~ 185, vol. 2, 1995.
- [3] Martin Schlecht, Brett Miwa, "Active Power Factor Correction for Switching Power Supplies," IEEE Trans. on Power Electronics, Vol. PE-2, No.4, Oct., pp.273~281, 1987.
- [4] Philip C. Todd, "UC3854 Controlled Power Factor Correction Circuit Design," Unitrode Application Note, pp.10-303~10-322, 1994.
- [5] S. Marques, C. Cruz, F Antunes, J. Farias, "Step Down Converter with Hysteretic Current Control for Welding Applications," IECON'97, pp.676~681. 1997.