

### 동적 부하 특성을 갖는 인버터 TIG 용접기의 역률 개선에 관한 연구

이태원\*, 김재문\*, 원충연\*, 김규식\*\*, 최규하\*\*\*, 목형수\*\*\*  
\* 성균관대 전기공학과, \*\* 서울시립대 제어계측공학과, \*\*\* 건국대 전기공학과

### A Study on the PFC of Inverter TIG Welder with Dynamic Load Characteristics

T.W.LEE\*, J.M.KIM\*, C.Y.WON\*, K.S.KIM\*\*, K.H.CHOI\*\*\*, H.S.MOK\*\*\*  
\* Dept. of Electrical Eng. Sung Kyun Kwan Univ.,  
\*\* Dept. of Control & Instrument. Eng. Seoul City Univ.,  
\*\*\* Dept. of Electrical Eng. Kon Kuk Univ.

**Abstract** - In recent years, A PWM Converter or Switched Mode Converter with high power factor and sinusoidal input current have got widespread studied. But, Almost all of studies is based on linear load.

This paper reports on research aimed at achieving high power factor and sinusoidal input current waveform for electronic arc welder, which has nonlinear dynamic characteristics. It is shown that simulation result yield its property.

#### 1. 서 론

근래의 용접기가 점차 고도화되고 출력의 고속, 정밀한 제어전원, 소형, 경량화 됨에 따라 종래 용접기의 단점을 없앤 고성능 용접기의 필요에 따라 인버터 용접기의 보급이 두드러지고 있으며 TIG(Tungsten Inert Gas)용접은 대부분의 금속을 접합할 수 있어 사용범위가 매우 넓다.

기존 인버터 용접기에서는 다이오드 정류기를 사용함으로써 출력측에 입력 주파수의 2배에 해당하는 맥동 전압이 나타나며 저차 고조파가 입력전류에 많이 포함되어 있기 때문에 역률을 저하시키고 전원계통으로 유입되어 다른 시스템에 나쁜 영향을 미치므로 이에 대한 규제가 필요하다.

최근 들어 역률(Power Factor, PF)과 고조파 왜율(Total Harmonic Distortion, THD)에 대한 각종 규제가 정립되고 시행되면서 국내에서도 전원측을 단위 역률로 동작하도록 PWM 컨버터나 스위치 모드 컨버터를 적용하는 연구가 다양하게 이루어지고 있으나 대부분 일정부하를 전제로 이루어지고 있다. 따라서 용접기와 같은 부하 변동이 심한 시스템에서의 동적 부하 특성에 대한 응답 특성의 고찰이 필요하다[1][2].

본 논문에서는 아크가 안정되고 작업성이 우수한 인버터 직류 TIG용접기의 성능을 개선하고자 승압형 컨버터를 IGBT 고주파 인버터의 정류회로부에 삽입하여 역률을 개선하였으며, 동적 부하 특성을 가지는 인버터 TIG 용접기의 부하변동에 따라 용접전류에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 보이고자 한다. 또한, 기존 TIG용접기를 가지고 용접이 진행되는 동안 입력전류 파형을 고찰하고 고조파 분석을 통해 고조파의 함유량을 확인하였다.

#### 2. 전체적인 시스템 구성

본 논문에서는 상용전원을 직류화 시키기 위한 단상 전파 정류기, 역률 개선용 승압형 컨버터, 직류를 고주

파 교류로 변환시키는 반파형 인버터, 인버터 출력전압을 용접전압인 저전압으로 변환시켜주는 중간탭 변압기, 변압기 2차측 전압을 전파 정류하는 형태로 전체적인 시스템을 구성하였다[4][5].

#### 2.1 승압용 컨버터

승압형 컨버터를 사용한 역률 개선 방법은 연속 전류 모드와 불연속 전류 모드로 나누어지고, 각 모드는 평균 전류검출, 피크전류검출, 히스테리시스전류 검출방법으로 나누어진다.

본 논문에서는 연속전류모드 운전이 가능하고 역률 보상효과가 좋고 일정부하수 스위칭을 행함으로써 EMI Filter 등의 설계가 용이한 평균전류 검출방법을 채택하였으며, 승압용 컨버터의 구성요소로는 다이오드 정류기, 승압용 인덕터, 스위칭 소자, 환류 다이오드, 평활용 커패시터 및 저항부하로 되어있다[6].

그림 1은 입력전류를 고역률로 유지하기 위한 승압형 컨버터의 기본 구성도이다.

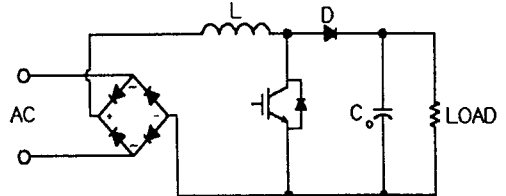


그림 1. 승압용 컨버터의 기본 구성도

본 논문에서는 입력용량 : 6.3KVA(4.7KW), 입력전원 : 단상 220V, 출력전압 : 700V, 스위칭 주파수 : 20kHz로 설정하여 역률 개선회로의 파라미터를 설계하였으며, 시뮬레이션에 적용하였다.

#### 2.2 반파형 인버터를 포함한 용접 부하단

용접기용 인버터로는 기존 전파형 인버터에서 스위칭 소자를 줄이기 위해 반파형 인버터를 채택하였다.

인버터 스위칭 주파수는 20kHz로 하였으며, 단상 반파형 인버터에서 직류측 평활용 커패시터의 전압불균형 현상으로 인한 변압기 포화현상 방지를 위해 블로킹 커패시터를 사용하였다. 상용전원보다 높은 주파수의 인버터 출력전압은 중간탭 변압기를 거쳐 변압기 권수비에 의해 교류전압의 크기가 결정되고 다시 다이오드 정류기를 거쳐 전파 정류하게 된다. 또한 용접부하단에는 안정한 아크 발생과 전류의 급격한 변화를 방지하기 위하여 리액터를 직렬로 연결되어 있는 형태로 그림 2와 같이 구성하였다.

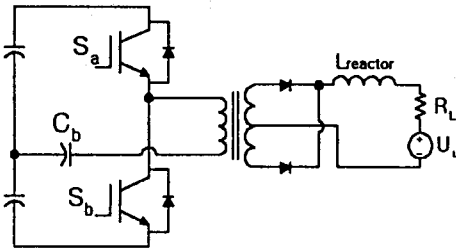


그림 2. 단상 반파형 인버터

### 3. 시뮬레이션 및 기존시스템 분석

#### 3.1 시뮬레이션

본 논문에서 제시된 그림 1, 2와 산정된 회로정수를 사용하여 시뮬레이션을 하였으며, 이때의 파라미터의 값은 표 1과 같다.

표 1. 회로에 사용된 파라미터

입력 전압	1 $\phi$ 220 V
직류 전압	700 V
승압용 리액터	800 $\mu$ H
직류측 커패시터	1500 $\mu$ F
스위칭 주파수	20 kHz
변압기 권수비	4.5:1

한편, 인버터 TIG 용접기에 대해 시뮬레이션을 하기 위해 그림 2에서 부하단을 모델링하면, 우선 용접상태가 양호하다고 가정하고 변압기 2차측 회로 부분을 1차로 환산하면 인버터 출력단은 저항에 의한 전압강하  $R_E$ 와 직렬로 연결된 전압원  $U_E$ 로 나타낼 수 있으며 용접기 부하를 증가화 하면 식(1),(2)와 같이 표현이 가능하다 (3).

$$U_E = \frac{\pi N}{2\sqrt{2}} U_L \quad (1)$$

$$R_E = \frac{\pi^2}{8} N^2 R_L \quad (2)$$

여기서, N : 변압기 권수비

$U_L$  : 용접기 일정 전압강하

$R_L$  : 용접기 부하측 저항

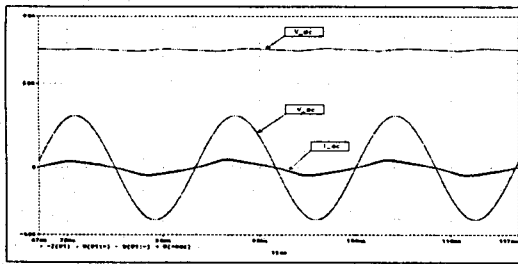


그림 3. 입력전압, 전류 및 DC출력전압

그림 3은 시뮬레이션을 한 결과 정상상태에서 변압기 2차측 용접부하에 용접전류 100[A]가 흐르고 있는 동안 입력전압, 입력전류, 승압형 컨버터 출력전압 파형을 보여주고 있으며, 컨버터의 직류 출력 전압은 약간의 리플이 존재하지만 700[V]로 제어되고 있으며, 입력전류는 입력전압과 동상을 이루고 있음을 보여준다.

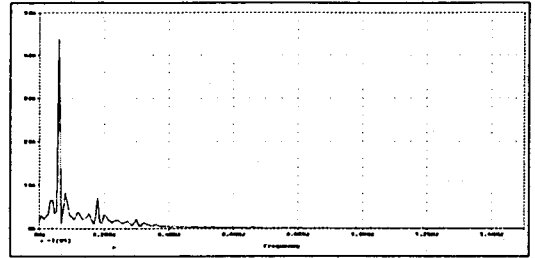


그림 4. 입력전류에 대한 고조파 분석 파형

그림 4는 그림 3의 입력전류에 대해 고조파 분석 파형을 나타내고 있다. 기본파 성분을 제외하고 저차 고조파 성분이 거의 없음을 보여준다.

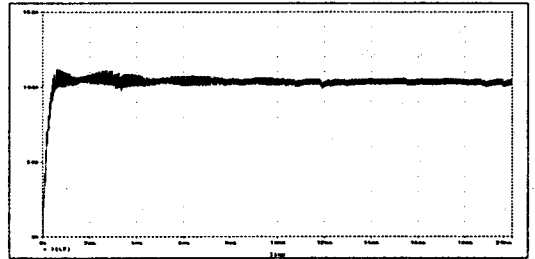


그림 5. 일정부하시 출력전류(기준전력 100[A])

그림 5는 3-1절에서 제시한 부하모델링을 바탕으로  $R_E$ 와  $U_E$ 를 일정한 전압원으로 모델링한 후 시뮬레이션을 통해 얻은 출력 전류 파형으로 출력전류 100[A]로 제어되고 있다.

한편, 실제 용접이 이루어지는 동안 비선형적인 부하특성을 갖는 용접기의 특성을 고려하기 위해 부하를 연속적으로 변화를 주어 동적 부하에 대한 출력전류 특성을 고찰하여 보았다.

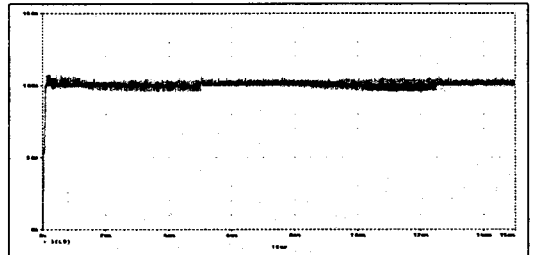


그림 6. 부하 변동시의 출력전류 (부하단: 연속적인 구형파 형태)

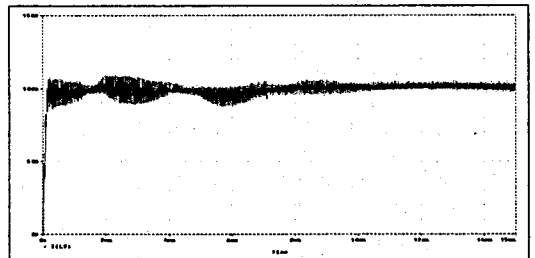


그림 7. 부하 변동시의 출력전류 (부하단: 연속적인 정현파 형태)

그림 6은 용접부하단을 연속적인 구형파 형태로 모델링하여 전압차를 15[V]정도로 두고 시뮬레이션을 한 결과 용접기 부하측에 흐르는 출력 전류 파형으로 대체적으로 잘 제어되고 있음을 알 수 있다.

그림 7은 용접부하단을 정현파 형태의 전압원으로 모델링하여 정현파 크기가 40[V]일 때의 출력전류 파형을 보이고 있다. 이와 같은 결과로 알 수 있듯이 부하변동이 심한 경우를 제외하고는 출력전류에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

### 3.2 기존 시스템 분석

3상 상용전원을 사용하는 기존의 시스템(MTT 300A 민텍 리서치)에 대해 각 부 파형을 측정하였다.

그림 8은 100[A]의 용접전류가 흐를 때의 입력 전류 파형으로 반주기마다 두 개의 펄스전류가 흐르고 있으며, 펄스의 크기가 서로 다른 것은 용접부하단의 특성에 기인한 것이다. 그림 9는 그림 8에 대해 고조파 분석을 한 결과로 저차 고조파가 상당량 포함되어 있음을 알 수 있다.

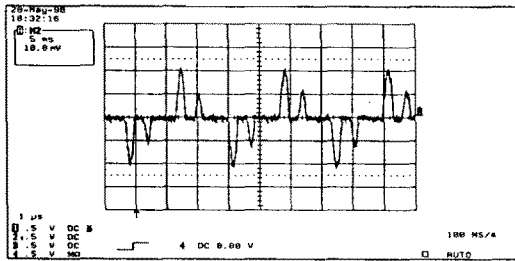


그림 8. 용접전류 100[A]일 때의 입력 전류 파형

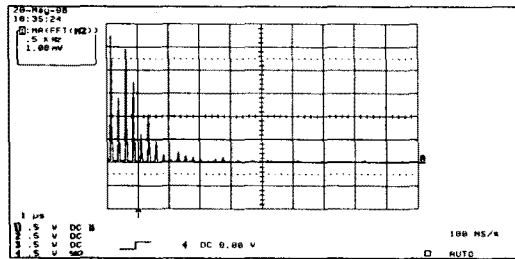


그림 9. 그림 8에 대한 입력전류의 FFT 분석

표 2는 그림 9에 대해 입력전류의 기본파 성분에 대한 각 고조파의 함유량을 보여주고 있는데 5차, 7차 3차 등 저차 고조파 성분이 매우 큼을 알 수 있다.

표 2. 입력전류의 고조파 함유량

3th	0.509	19th	0.090
5th	0.890	21th	0.063
7th	0.636	23th	0.045
9th	0.230	25th	0.036
11th	0.381	29th	0.036
13th	0.163	31th	0.045
15th	0.063		

그림 10은 용접전류 100[A]일 때의 파형으로 필터를 사용하지 않았을 때의 경우이며, 결과 파형은 홀소자(4[V]/600[A])를 통해 얻었다. 용접이 이루어지고 있는 동안 노이즈성분이 매우 많음을 알 수 있다. 그림 11은 그림 10에 대해 저주파 필터를 사용하였을 때의 파형으로 기준전류 100[A]에 대해 제어가 잘 되고 있음을 보여주고 있다.

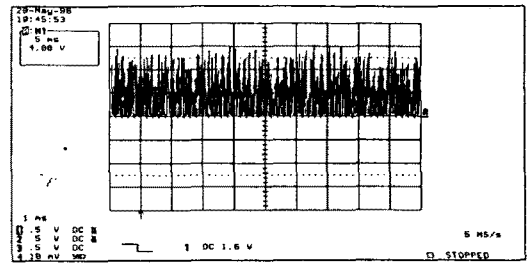


그림 10. 필터를 사용하지 않은 경우 기준전류 100[A]에 대한 용접전류 파형

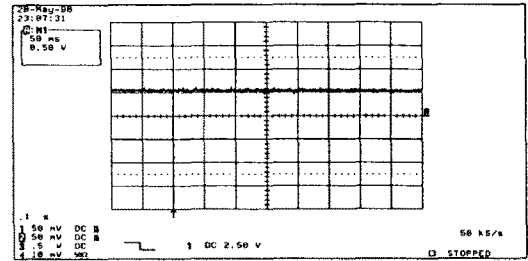


그림 11. 그림 10에 대해 필터를 사용한 경우 용접전류 파형(100A/div)

## 4. 결 론

본 논문에서는 인버터 TIG용접기의 성능개선을 위해 송압용 컨버터를 사용하였으며, 제시된 회로정수를 이용하여 동적인 용접기 부하에 대한 특성을 시뮬레이션을 통해 고찰한 결과 출력전류가 대체로 잘 제어되는 것을 확인하였으며, 실험을 통해 기존시스템의 입력전류에서 저차 고조파성분이 많이 함유되어 있음을 확인하였다.

향후 연구계획은 제시된 회로정수를 가지고 실제 시스템을 구성하여 시뮬레이션을 통한 결과를 토대로 실험 및 기존시스템과 비교, 분석할 예정이다.

본 논문은 1997년도 에너지 기술개발과제 연구비에 의해 연구되었음.

### (참 고 문 헌)

- [1] M. Horvath, J. Borka, "Welding Equipment with Power Factor Correction", PEMC, vol. 2, pp.181-185, 1995.
- [2] Lloyd Dixon, "High Power Factor Switching Preregulator Design Optimization", Unitrode Switching Regulated Power Supply Design Seminar Manual, pp.13.1-13.12, 1994.
- [3] L. Malesani, P. Mattavelli, L. Rosseto, P. Tenti, "Electronic Welder with High-Frequency Resonant Inverter", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. 31, no. 2, pp.273-279, March/April, 1995.
- [4] G. E. Cook, "The Effect of High-Frequency Pulsing of a Welding Arc", IEEE Trans. Ind. Appl., Vol. IA-21, no. 5, pp.1294-1299, Sept., 1985.
- [5] 백동영 외 5인, "송압형 컨버터를 이용한 인버터 TIG용접기 역률 개선에 관한 연구", 전력전자학회 춘계학술대회는 문집, pp.115-120, 1998.
- [6] C. Zhou, M.M.Jovanovic, "Design Trade-Offs in Continuous Current-Mode Controlled Boost Power Factor Correction Circuits", VPEC, pp.15-26, 1992.