

3상 AC/DC 스위치 모드 승압형 컨버터를 이용한 CO₂ 아크 용접기 역률개선에 관한 연구

이정훈*, 김재문*, 안정준*, 이상석*, 원충연*, 김세찬**

* 성균관 대학교 전기공학과, ** 부천대학 컴퓨터 제어과

A Study on Power Factor Correction of CO₂ Arc Welder Using Three Phase Switch Mode Converter

J. H. LEE*, J. M. KIM*, J. J. AHN*, S. S. LEE*, C. Y. WON*
, S. C. KIM**

* Dept. of Electrical Eng., Sung Kyun Kwan Univ.,

** Dept. of Computer Control Eng., Bucheon Univ.

Abstract

In this paper A switched mode AC/DC three phase boost converter with high power factor and sinusoidal input current waveform is analyzed and simulated. The proposed converter retain high power factor and sinusoidal input current waveform even under electric arc welder load. It is shown that experimental result and simulation waveform yield a sinusoidal input current waveform at high power factor.

1. 서론

최근에 유럽 및 미국에서는 전력변환 장치에 대한 역률보상 및 고조파저감에 대한 규격들 (IEC 555-2, IEEE 519)이 정립되어 산업용 전기, 전자제품들에 대한 전고조파 왜형 (THD)에 대해 제한 받고 있다. 이와 관련하여 AC/DC 승압형 컨버터를 이용한 역률보상 및 전원고조파 저감에 관한 연구가 활발하게 이루어 지고 있다[1][2].

기존의 AC/DC 전력변환 장치는 다이오드 정류기와 PWM 컨버터 및, 스위치 모드 컨버터로 구분할 수 있다. 다이오드 정류기는 저가형 전력 변환장라

는 장점 때문에 산업현장에서 널리 쓰이고 있으나, 구조적으로 맥동이 크고 다량의 고조파를 함유하므로 역률의 저하를 초래한다.

PWM 컨버터는 단위역률을 유지하고, 입력전류를 전원전압과 동상으로 제어하지만 제어기구성이 복잡하고 6개의 스위칭소자를 사용하므로 생산단가를 상승시키는 단점이 있다[1][3].

본 논문에서는 제어기설계 및 제작이 간단하고 경제적인 3상 AC/DC 스위치모드 승압형 컨버터의 동작원리와 용접기 부하 모델링을 설명하고 시뮬레이션 및 실험으로 타당성을 보이고자한다.

시뮬레이션 및 실험결과는 순시 비선형부하인 아크 용접기에서도 입력전류가 다이오드정류기에 비교하여 역률이 향상되고 스펙트럼 분석을 통하여 전원측 고조파가 많이 저감됨을 확인 하였다.

2. 전체 시스템 구성도 및 컨버터 동작원리

아크 용접기의 입력전류를 고역률로 유지하기 위해 3상 스위치 모드 컨버터가 사용되는데 이를 위한 전체 시스템 구성도는 그림 1과 같다. 전체 시스템은 2개의 주 전력 변환부로 구성된다. 첫 번째는 입력필터, 승압용 인덕터, 3상 다이오드 정류기, 승압용 스위치인 한 개의 IGBT소자, 환류 다이오드, 평활용

커패시터로 구성되는 3상 스위치 모드 컨버터는 그림 2와 같다. 두 번째는 용접기 부하단으로 용접기 용 인버터로서 스위칭 소자가 적게 사용되는 반파형 인버터를 채택하였다[4][5].

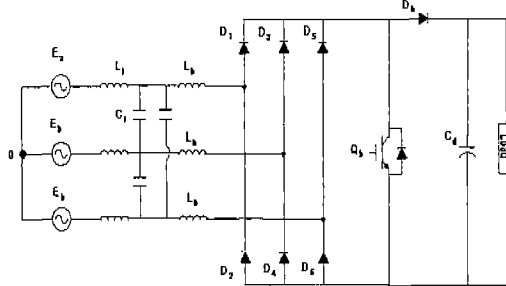


그림 2. 3상 스위치 모드 컨버터 구성도

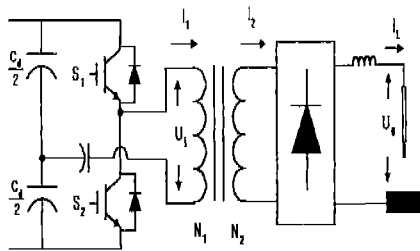


그림 3. 아크 용접기 부하단

3상 스위치 모드 컨버터는 스위칭 소자가 턴-온 시에는 전원과 승압용 인덕터 사이에 단락회로가 형성되므로 전류가 선형적으로 상승되어 인덕터로 저장되고, 저장된 에너지는 스위칭 소자의 턴-오프 시 DC링크단 커패시터를 충전하여 출력전압을 항상 일정하게 유지시키게 된다. 이때 스위치의 듀티비 제어를 통하여 각상의 입력 상전류가 불연속적으로 흐르도록 제어하면 입력전류는 전원전압을 초평한 형태로 흐르게되어 전원전압과 항상 동상을 유지하게 된다. 그림 4는 한 스위칭 주기에서의 각상의 전류파형을 나타내며 세부적으로 4개의 모드로 나눌 수 있다[1][4][5].

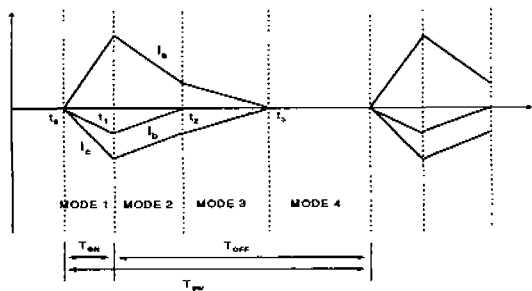


그림 4. 한 스위칭 주기내에서 각상의 전류 파형

I. MODE 1 ($t_0 < t < t_1$)

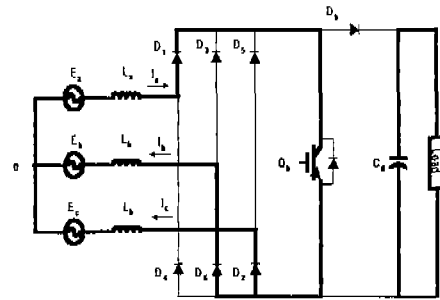


그림 5. Mode 1 (Switch On)

스위치 Q_b 가 On 구간동안 3상 입력 AC 전원은 L_b 와 6개의 정류기 다이오드와 스위치 Q_b 를 통하여 단락된다. 인덕터를 통하는 3상 입력전류 I_a, I_b, I_c 는 각각의 상전압 비례하여 증가한다.

II. MODE 2 ($t_1 < t < t_2$)

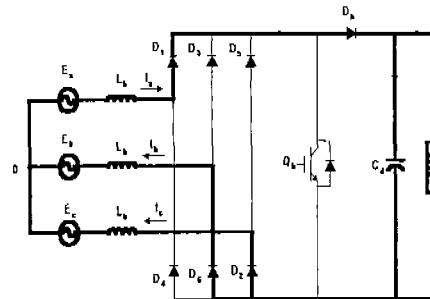


그림 6. Mode 2 (Switch Off)

스위치 Q_b 가 Off 상태로 되면 인덕터에 축적한 에너지는 출력커패시터와 부하측으로 전달된다. 따라서 출력 커패시터 전압은 증가하고 승압용 인덕터에 흐르는 전류는 감소하게 된다. 이때 I_b 가 t_2 에서 가장 작은값을 갖게되며 다른 두상의 전류보다 먼저 영에 도달하게 된다.

III. MODE 3 ($t_2 < t < t_3$)

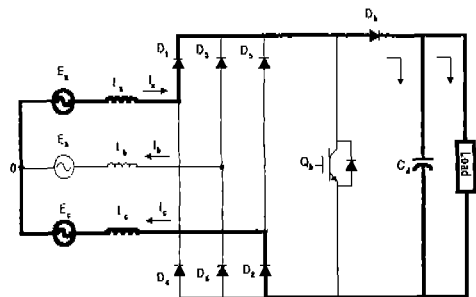


그림 7. Mode 3 (Switch Off)

I_b 가 t_2 에서 흐르지 않고 다른 두상의 전류 I_a, I_c 만이 부하로 흐르게 된다.

IV. MODE 4 ($t_3 < t < t + \Delta T$)

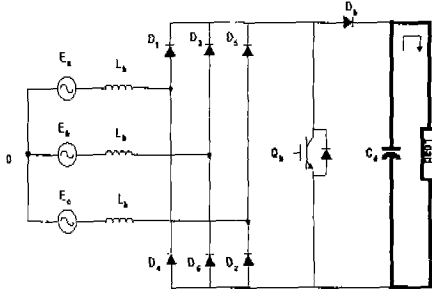


그림 8. Mode 4 (Switch Off)

각상의 인덕터 전류가 영이되면 전원측은 전류가 흐르지 않고 출력 커패시터는 축적된 에너지를 부하측에 전달한다. 이구간은 불연속적인 전류구간으로 스위칭 소자가 턴-온 될 때 까지 유지된다[1][6].

3, 아크용접기 부하 모델링

본 논문에서는 전체 시스템을 시뮬레이션 하기 위해 변압기 기생성분의 영향과 변압기 2차측 전력소자의 특성을 고려하기 위하여 아크 용접기 부하모델링을 유도하였다. 인버터 아크 용접기를 모델링하기 위하여 용접상태가 양호하다고 가정하고, 토치와 모재사이의 전압강하는 저항에 의한 전압강하와 직렬로 연결된 전압원으로 가정하였다. 아크 용접기는 구형파 형태의 전압 U_i 를 입력으로 정상상태 동안의 변압기 2차측 부하단을 1차측으로 환산하면 그림 9와 같은 등가저항 R_E 와 직렬로 연결된 전압원 U_E 로 등가화할수있다[2][3][7].

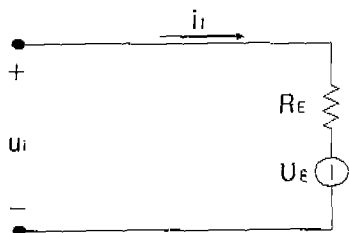


그림 9. 아크 용접기 정상상태 등가회로

정상상태에서 변압기 2차측 정류된 전압 U_0 는 부하 양단의 DC 전압강하와 같다. 전기적 아크에서 부하는 아주 작은 부하저항 R_L (수십 $m\Omega$)과 직렬로 연

결된 정전압 전압 강하 U_L (수 십 볼트)로 표현할 수 있다. 이를 표현하면 식(1)과 같이된다.

$$U_0 = U_L + R_L I_L = \frac{U_i}{N} \quad (1)$$

U_L : 정상상태에서 용접시 음극과 양극등가 전압강하
 I_L : 용접시 부하전류
 R_L : 용접시 부하저항

여기에서 N 은 변압기 권선비 N_1/N_2 이고 U_i 는 변압기 1차측 전압이다. 출력전압(몇 십 볼트)와 높은 동작주파수(20 KHz)를 고려하면 권선의 인덕턴스는 부하전류를 필터링하기 충분하다. 따라서, 부하전류 I_L 의 DC 값에서 리플치는 무시할 수 있으므로 변압기 1차측 전류 I_1 는 구형파 형태로 표현된다. 실효값은 식 (2)와 같다.

$$I_1 = \frac{I_L}{N} \quad (2)$$

식(1)과 식(2)를 조합하면 식 (3)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} U_i &= N U_L + N R_L I_L \\ &= N U_L + N^2 R_L I_1 \\ &= U_E + R_E I_1 \end{aligned} \quad (3)$$

여기서 U_E 와 R_E 는 그림 9의 파라미터이고 다음과 같이 주어진다.

$$\begin{aligned} U_E &= N U_L \\ R_E &= N^2 R_L \end{aligned} \quad (4)$$

위의 식들로부터 부하를 하나의 등가저항으로 정의될 수있다.

$$\begin{aligned} R_T &= \frac{U_d}{I_1} = \frac{U_E + R_E}{I_1} \\ &= R_E + \frac{U_E}{I_1} \\ &= R_E + N^2 \frac{U_L}{I_L} \end{aligned} \quad (5)$$

최종적으로 단일 등가저항은 식 (6)으로 표현된다.

$$R_T = R_E + N^2 \frac{U_L}{I_L} \quad (6)$$

4, 시뮬레이션 및 실험파형

앞에서 설명한 3상 스위치 모드 컨버터에 아크 용접기 부하모델링을 근거로 한 시뮬레이션 와 실험을 보이고자 한다. 다음은 시뮬레이션을 하기위한 파라미터값 들이다.

- 시뮬레이션 설계입력

파라미터	소자 값
입력 전압	3상 AC 220[V]
입력 용량	30 [KVA]
DC link 제어전압	700 [V]
승압용 인덕터	50 [uH]
컨버터 스위칭 주파수	10 [KHz]
컨버터 출력 커패시터	4700 [uF]
인버터 스위칭 주파수	20 [KHz]

그림 9는 그림 2의 한 스위칭 주기내의 각 상전류 파형의 시뮬레이션 결과로서 4개의 모드별 분석의 타당성을 보여준다. 그림 10은 기존의 아크 용접기의 입력전압과 입력전류의 파형을 보여주고 있는데 입력전류가 왜형되어 있고 그림 11은 그림 10에 대한 FFT 분석으로 저차 고조파가 많이 함유되어있는 것을 볼 수있다.

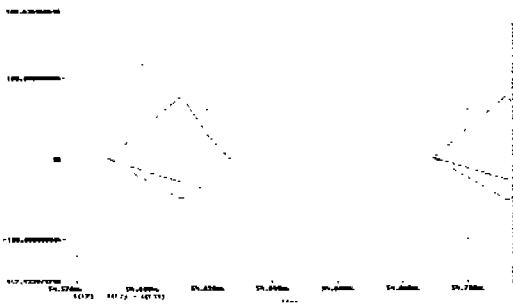


그림 9. 시뮬레이션 파형

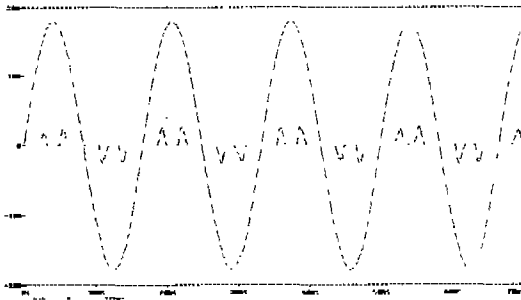


그림 10. 3상 다이오드 정류기의 입력전압, 입력전류

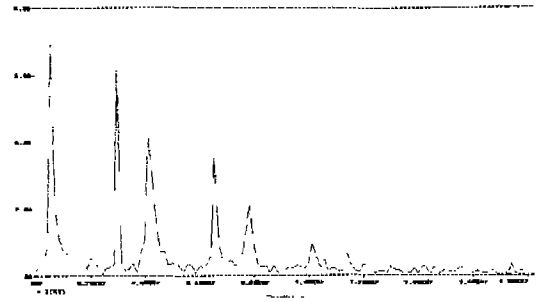


그림 11. 그림 7의 입력전류에 대한 고조파 분석 파형

그림 12과 그림 13은 변압기 2차측 용접부하에 전류가 흐르고 있는 동안 3상 스위치모드 컨버터의 전원전압과 입력전류의 파형과 FFT 분석파형으로 전원전압과 입력전류가 동상이며 입력전류 부근의 저차고조파 성분이 저감됨을 볼 수 있다. 그림 14와그림 15는 전원전압 AC 110[V]로 3상 스위치모드 컨버터에 저항부하만을 연결하였을 때의 실험파형인데 시뮬레이션 결과의 타당성을 보여준다.

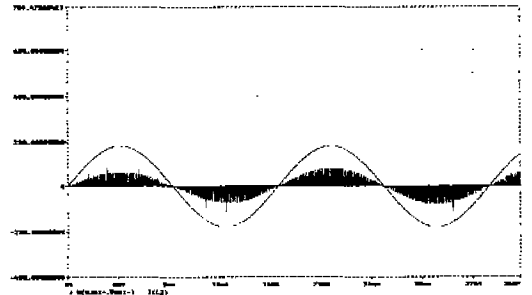


그림 12. 3상 스위치 모드 컨버터의 입력 전압, 입력전류



그림 13. 그림 9의 고조파 분석파형

본 연구는 1997년도 공업기반 기술과제 사업에 의하여 수행된 위탁연구 결과의 일부임

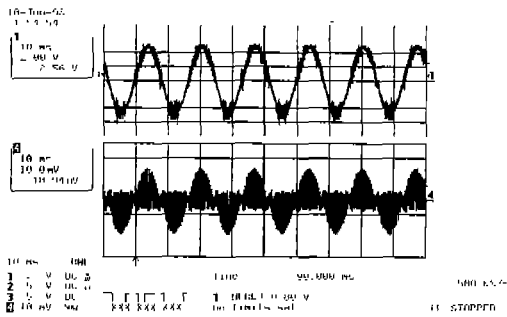


그림 14. 입력필터가 없는 입력전압,전류

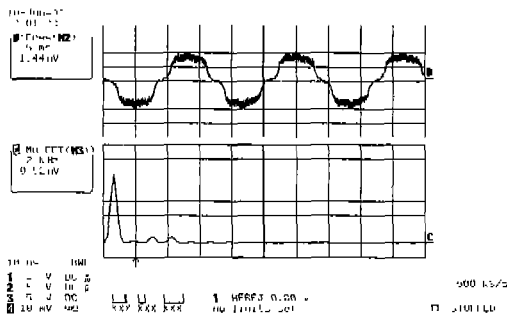


그림 15. 그림 14의 입력전류를 필터했을 때의 파형 및 고조파 분석

5. 결론

본 논문은 3상 스위치 모드 컨버터를 사용하여 아크 용접기의 전원측 역률개선 방법을 제안하였다. 시뮬레이션과 실험결과는 전원전압과 입력전류가 동상이고 입력전류의 저차 고조파 성분이 제거됨을 알 수 있었다.

향후 실제 아크 용접기를 3상 스위치모드 컨버터에 연결하여 실험을 하고 LC 전원필터의 최적설계를 위한 연구를 수행하고자 한다.

6. 참고 문헌

- [1] 채 영민의 4인, "인버터 용접기용 3상 SMR 의 운전특성에 관한 연구", 전력전자 학술대회 논문집 pp. 49~54, 1997.7
- [2] 이정호의 4인, "IGBT 인버터 제어 TIG 용접기 역률개선에 관한 연구", 대한전자공학회 전력전자 연구회 추계학술회의, pp 1~5, 1997.
- [3] 백 동영 의 4인, "승압형 컨버터를 이용한 인버터 TIG 용접기 역률개선에 관한 연구", 전력전자 연구회 학술발표회 논문집, PP.115~120,1998.
- [4] A. R. Prasad and P. D. Ziogas , "An Active Power Factor Correction Technique for Three-phase Diode Rectifiers", IEEE Trans. ,PE, Vol.6 No 1, pp. 83~92, Jan.1991.
- [5] 오 인석 외 3인 , " AC/DC 스위치 모드 컨버터의 해석모델에 관한 연구 ", 전력전자학회 논문집 제 3권 제 1호, PP. 70~76, 1998. 3
- [6] J.W.Kolar, H. Ertl, and F.C.Zach, "Space vector-based analytical analysis of the input current distortion of a three phase discontinuous mode boost rectifier system", in PESC'93 Rec.,pp. 696~703 ,1993.
- [7] Luigi Mialesani et al, "Electronic Welder with High-Frequency Resonant Inverter", IEEE Trans., Industry Application, Vol. 31, No. 2, pp. 273~279, March 1995.

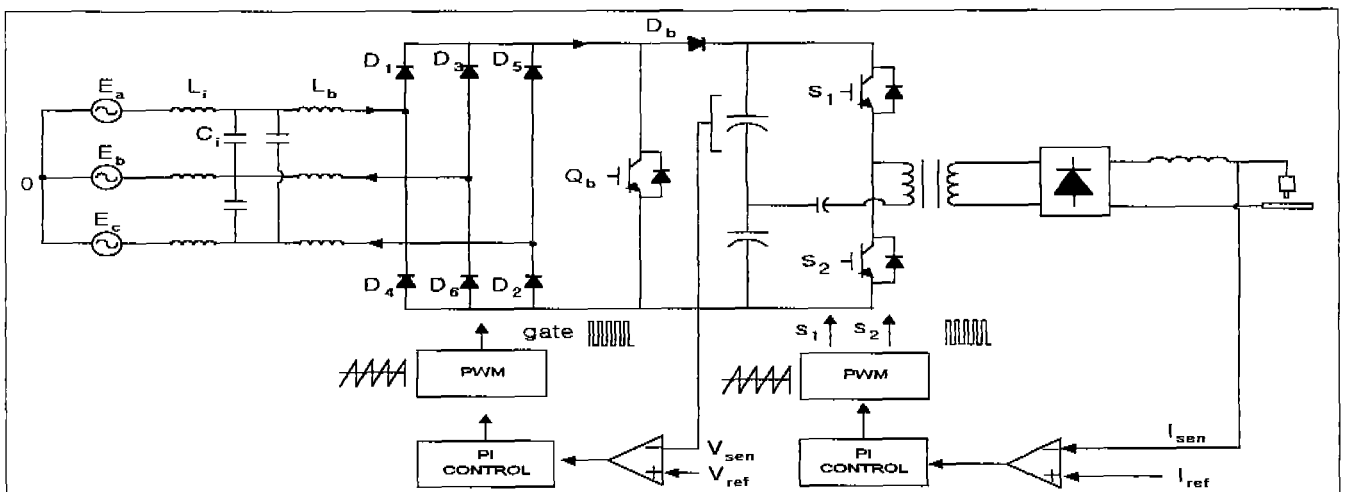


그림 1. 전체 시스템 구성도