

입력역률 제어형 인버터 용접기 특성해석에 관한 연구

송성학* 채영민* 우동학* 최규하* 장도현**
(건국대* 호서대**) (건국대* 호서대**)

A Study on Characteristics of input current controlled inverter arc welder

S.H Song* D.H Woo* Y.M Chae* G.H Choe* D.H Jang**
*Kon-Kuk Univ. **Hoseo Univ.

Abstract - This paper presents the adoption of PWM converter to enhance input power factor in inverter arc welder. By using PWM converter in inverter arc welder, the disadvantages of bridge diode converter such as low input power factor is improved. new NCT(Noise Cut Transformer) is designed to reduce noise which has harmful effect in switching component. half bridge PWM inverter is adopted to reduce cost in inverter arc welder.

1. 서론

현재 산업현장에서 광범위하게 사용되어지고 있는 용접기는 사용진원에 따라 교류아크 용접기와 직류 아크 용접기로 나누어 질수 있다.[1][2]

교류 아크 용접기는 단순한 구조로 이루어져 있어 고장이 적고 가격이 저렴하며 보수가 용이한 장점은 있으나 출력전류나 전압을 제어하지 않으므로 아크 자체가 불안해지고 용접전류를 변압기 텔이나 리액터에 의해 조절하므로 전체시스템의 부피 및 무게가 커지는 단점이 있다.

또한 무부하시 단자전압이 높아져 전격 또는 감전의 위험성까지 항상 존재하고 사용시 역률 및 효율이 낮아지는 문제도 있다.

따라서 본 연구에서는 기존의 교류 아크용접기의 단점을 개선하기 위하여 전력변환장치인 고주파 인버터를 사용하여 용접기의 출력을 고주파 펄스형태의 직류전압으로 출력하는 방식을 선택하였고 또한 AC/DC 변환시 사용되는 다이오드 또는 위상제어정류회로 등은 그 구성이 간단한 반면 입력전류의 고조파 함유량이 많고 역률이 낮은 특성을 나타내므로 이러한 문제점을 해결하기 위해 PWM 컨버터를 용접기시스템에 적용하였다.[6] 또한 인버터의 출력측에는 용접기 부하(용접시 발생하는 아크)에서 발생되는 노이즈가 전원으로 유입되는 것을 방지하고 또한 용접시 부하의 급격한 개방-단락의 과도과정에서 발생하는 노이즈로 인한 스위칭소자의 손상을 방지하기 위하여 노이즈 차폐 변압기(NCT:Noise-Cut Transformer)를 제작, 적용하였다.[4][5][6]

2. 시스템의 구성

2.1 전체 시스템의 구성

PWM 컨버터와 인버터 및 NCT를 적용한 고입력역률 인

버터 아크 용접기의 진체적인 구성도는 다음 그림 1.에서 보여진다.

저기형 용접기 시스템 구성을 위해 컨버터 쪽에는 스위칭 소자 하나를 쓰는 단방향성 PWM 컨버터를 사용했고 half-bridge 방식의 인버터를 사용하였다. 특히 부하 단의 arc시 발생하는 노이즈로 인한 스위칭 소자의 보호를 위해 NCT를 제작 사용하였다.

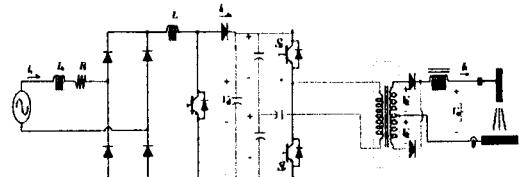


그림 1. 전체 시스템 구성도

2.2 PWM 컨버터의 구성

본 연구에서는 다이오우드 정류기의 단점인 입력역률 저하를 개선하고 저가의 회로구성이 가능한 단방향성 PWM 컨버터구조를 설계 제작하였다.

각 모드별 회로동작과 상태는 아래와 같다.

1) 스위치 Q가 온될 경우

전원전압이 양인 경우를 기준으로 스위치 Q가 ON되면 직류링크는 스위치 Q에 의해 부하측 회로와 분리되고 리액터 L은 전원측으로부터 에너지를 공급받아 전류가 증가하게 된다.

이때의 회로 방정식은 아래와 같다.

$$\frac{di_s}{dt} = \frac{v_s}{L + L_s} - \frac{R_s}{L + L_s} i_s \quad (1)$$

$$\frac{dv_s}{dt} = -\frac{1}{C} i_s \quad (2)$$

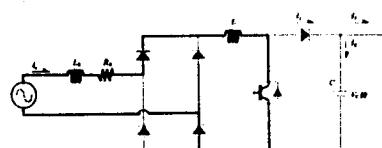


그림 2. 스위치 Q 가 ON 일때

2) 스위치 Q가 오프될 경우

스위치 Q가 오프되면 인덕터 L의 축적에너지가 부하측으로 방출되고 입력측 전류는 감소하게 된다. 이 때 회로방정식은 아래와 같다.

$$\frac{di_s}{dt} = \frac{v_s}{L+L_s} - \frac{R_s}{L+L_s} i_s - \frac{v_c}{L+L_s} \quad (3)$$

$$\frac{dv_c}{dt} = \frac{i_s - i_t}{C} \quad (4)$$

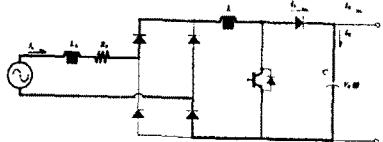


그림 3. 스위치 Q가 OFF 일때

DC링크단 입력전류 i_s 를 컨버터의 스위칭함수 $S(t)$ (1이면 Q가 온되고 0이면 오프임)를 사용하여 표현하면 식 (5)와 같다

$$i_s = S(t)i_t \quad (5)$$

전원전류 $i_s(t)$, 직류커패시터전압 $v_c(t)$ 를 상태변수로 하고 전원전압 $v_s(t)$ 를 입력으로 하였을때 PWM컨버터를 고려한 시스템의 상태 방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \frac{di_s}{dt} \\ \frac{dv_c}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{R_s}{L+L_s} & -\frac{S(t)}{L+L_s} \\ \frac{S(t)}{C} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} i_s \\ v_c \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{1}{L+L_s} \\ 0 \end{bmatrix} v_s + \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{-1}{C} \end{bmatrix} i_t \quad (6)$$

인버터 용접기의 PWM컨버터 제어를 위한 제어블럭도는 그림 4. 와 같고 직류전압제어와 전류제어를 위한 전압신호의 PWM변조 등으로 구성된다.

부하의 변동시 DC링크단 전압을 일정하게 유지시키기 위하여 사용되는 전압제어기로는 PI제어기를 사용하였고 PI제어기의 이득은 식(7)과 같다.

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt \quad (7)$$

단, $e(k)$: 오차신호

k_p : 적분기의 이득, k_i : 비례기의 이득

본 논문에서는 전류제어기로 구성이 간편하고 속응성이 우수한 삼각파 비교방식을 사용하였다.

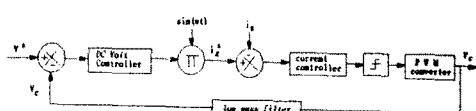


그림 4. PWM 컨버터 제어 블럭도

2.2 PWM 인버터의 구성

용접기 시스템의 인버터는 교류전원으로부터 변환된 일정한 DC를 용접에 적절한 교류펄스 형태로 변환시키기 위해서 스위칭 소자가 적게 사용되고 단자가 저렴한

half-bridge형 인버터를 사용했다.

스위치 Sa와 Sb의 ON,OFF 상태에 따라 아래의 표 1과 같이 4가지의 동작모드로 나눌 수 있다.

모드	회로 방정식
MODE 1(Sa:ON, Sb:OFF)	$v_{tl} = V_{C1} - V_{cb}$, $I_{s1} = I_{t1}$
MODE 2(Sa:OFF, Sb:OFF)	$v_{tl} = -V_{C2} - V_{cb}$, $I_{t1} = I_{c2}$
MODE 3(Sa:OFF, Sb:ON)	$v_{tl} = -V_{C2} - V_{cb}$, $I_{t1} = -I_{c2}$
MODE 4(Sa:OFF, Sb:ON)	$v_{tl} = V_{C1} - V_{cb}$, $I_{t1} = -I_{s1}$

표 1. PWM 인버터 동작모드

그림 5는 용접시 아크 길이에 따른 출력전류의 변동을 제어하기 위한 인버터 제어부이다. 제어기의 입력신호로 측정이 용이한 1차측 전류를 입력으로 사용하였고 2차측 전류로 환산하여 기준치와의 오차를 P제어기에 입력시켜 램프 신호와 비교된후 PWM 제어신호를 얻는다. PWM 출력펄스는 Flip-Flop에 의해 인버터 스위치 Sa, Sb로 보내진다.

식 8은 1차 전류와 2차 전류의 관계를 나타낸다.

$$G(s) = \frac{K_p}{R_s C s + R_s / R_0 + 1} = \frac{I_2(s)}{I_1(s)} \quad (8)$$

where $K_p = K_1 * K_2$

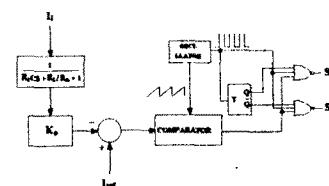


그림 5. PWM 인버터 제어부

3. 노이즈 차폐 변압기

용접기의 경우에 용접중에 발생되는 노이즈는 변압기의 1차권선으로 전달되고 바로 1차측에 있는 IGBT 등의 반도체 소자에 손상을 입힌다. 따라서 전체 용접기의 성능이 나빠지거나 동작 자체가 불가능해지는 문제가 생기고 이를 해결하기 위해 노이즈 차폐변압기를 사용할 필요가 있다.

본 연구에서 제안하는 NCT의 구조는 1차권선은 일반 변압기와 같이 구성하고, 2차권선은 관상의 형태로 되어 있다. 2차권선은 구리동판, AI박판 및 절연지를 이용하여 절연된 이중구조로 하여 제작하여 권선자체에 분포 커뮤니케이션을 증가시켰다. 따라서 노이즈 저감을 위한 필터를 내장한 형태로 되고 커뮤니케이션의 크기는 절연자의 두께나 재질에 따라 조절이 가능하다.

그림 6은 제안된 NCT의 2차 권선 구조를 보여준다.

본 연구에서 제안한 새로운 구조의 NCT에 대한 동가모델은 2차측 권선의 특수한 구조를 감안할때 다음의 그림 7와 같은 동기화로로 구해질수 있다.



그림 6. 2자 권선의 구조

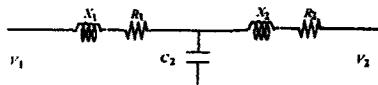


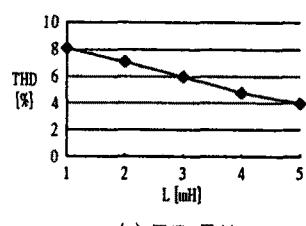
그림 7. NCT 등가모형

4. 디지털 시뮬레이션

본논문에서는 PWM 컨버터 특성해석과 제안된 NCT의 노이즈에 대한 주파수 특성을 위해 시뮬레이션 전용언어인 ACSL(Advanced Continuous Simulation Language)을 사용하였다.

그림 8.(a)와 8.(b)는 정격 부하시 PWM 컨버터를 10[kHz]로 스위칭운전하면서 전원측 인덕턴스를 1[mH]에서 5[mH]로 변경할 경우 전류의 THD와 PF 특성을 나타낸다. 그림에서 알수 있듯이 인덕터의 크기를 증가시킴에 따라 THD 및 PF 특성이 향상되니 크기 및 가격을 고려하여 본연구에서는 2.5mH로 설정하였다.

그림 9.는 부하시 전류파형으로써 동상으로 전원 전압 및 전류제어가 이루어짐을 알수 있다.



(a) THD 특성

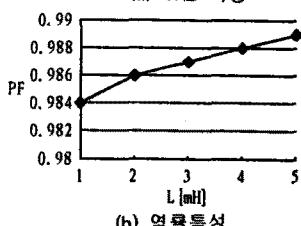


그림 8. 역률 및 THD 특성

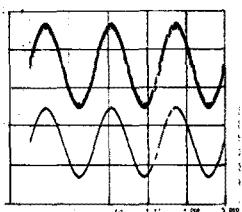
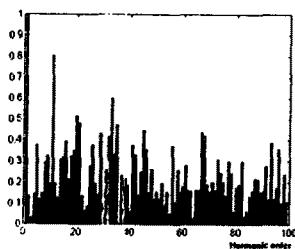
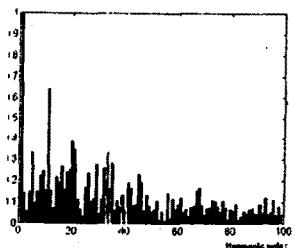


그림 9. 부하시 교류전원측 전류파형

그림 10.(a)와 10.(b)는 노이즈에 대한 NCT의 주파수 응답특성을 시뮬레이션 한 것으로 노이즈원을 NCT의 2차 측에 연결하여 1차측에 나타나는 영향을 조사하였다. 노이즈 원으로는 ACSL 내의 하이트 노이즈함수를 사용하였다. 그림에서 보는 바와 같이 NCT를 사용한 경우가 노이즈원이 갖고 있는 고주파 성분을 억제시키고 있음을 주파수 스펙트럼으로부터 알 수 있다.



(a) 노이즈원 스펙트럼



(b) NCT 사용시 노이즈 스펙트럼

그림 10. 주파수 스펙트럼

6. 실험결과

PWM 컨버터를 고주파용접기에 적용하여 실험을 한 경우의 입력전류 파형은 그림 11. 과 같다. 그림에서 알수 있듯이 정격부하시 전압과 거의 동상으로 정현파 전류가 흐르며, 그 결과 입력측 역률이 약 98(%)로 유지되었다.

용접시 출력전압과 전류는 그림 12.(a)와 12.(b)에서 나타난다.

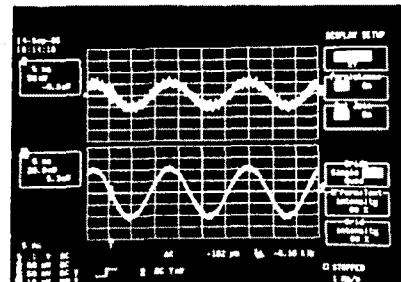
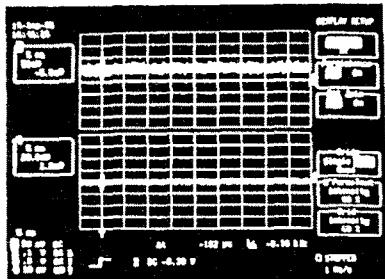
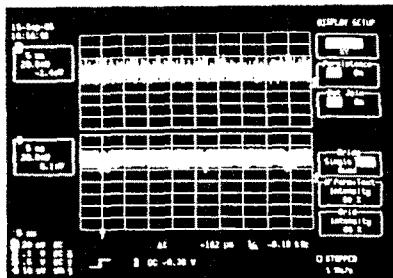


그림 11. 부하시 교류전원측 전류파형



(a) 무부하시 출력전압과 전류파형



(b) 부하시 출력전압과 전류파형

그림 12. 용접시 출력전압과 전류

그림 13은 그림 12.(b)를 시간축으로 확대한 파형이다. 무부하의 경우 출력전압은 약 80(V)정도로 유지되었고, 용접시의 경우는 출력전압이 약30(V), 출력전류가 약 180(A)로 나타났다. 특히 용접중 출력전압이 80(V)에서 30(V)로 떨어짐은 곧 용접전원이 수하특성을 나타낸을 확인할수 있다.

출력전류 파형상에서 전류가 상당히 변동된된 용접시 아크의 비선형성이나 용융금속의 이행으로 인한 용접의 등가 저항값이 랜덤하게 변화하는 데에 기인한다.

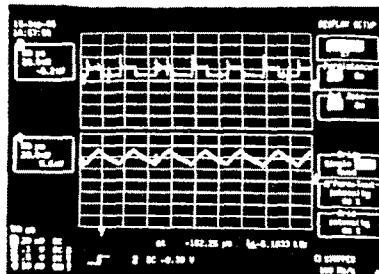


그림 13. 부하시 출력전압 및 전류파형

7. 결론

본연구에서는 인버터 용접기시스템에 고입력역률을 얻기위해 PWM 컨버터를 적용하였고 시뮬레이션과 실험을 통해 PWM 컨버터를 적용했을때가 다이오우드 정류기를 적용했을때에 비해 역률과 THD 면에서 유리함을 알게 되었다. 또한 제안한 NCT를 사용하여 일반 변압기의 사용으로 인한 2차측 스파이크에 의한 IGBT의 소손을 방지하였고 half-bridge PWM인버터를 사용함으로써 저기의 용접기 구현을 가능하게 하였다.

참고문헌

- [1] 인버터 제어방식의 전기용접기 개발에 관한 연구, 상공부
- [2] G.E.Cook, "Modeling of Electric Welding Arcs for Adaptive Feedback Control," IEEE publ, Conference Record, Ind. Appl. Soc., 83CH19000, pp.1234-1240, 1983.
- [3] 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
- [4] Ralph E.Tarter, P.E., Solid-State Power Conversion Handbook, pp.120-202, 420-422, 1993.
- [5] W.J.GU, "A Study of Volume Weight vs. Frequency Transformers," IEEE, pp.1123-1129, 1993.
- [6] 소정환, 최규하, "PWM 컨버터를 이용한 무정전 시스템에 관한 연구", 대한전기학회 학술대회 논문집, pp.206-208