

연료전지에 의해 구동되는 용접기용 단상 컨버터 설계

민명식*, 박상훈**, 박소리**, 원중연**
(주)에스원 테크놀로지*, 성균관대학교**

Single Phase Converter Design for Fuel Cell Based Welding Machine

Myoung-Sik Min*, Sang-Hoon Park**, So-Ri Park**, Chung-Yuen Won**
As-one Technology Co.,Ltd.* ,Sungkyunkwan University**

ABSTRACT

It is generally used the boost converter for the welding machine using fuel cell. But this type generates the duplicate loss between boost converter and inverter. As a result, the whole efficiency is lower than conventional inverter arc welder and the cost is expensive due to additional switching device.

Therefore, we proposed the inverter rectification type DC-DC converter with boost converter function in fuel cell based TIG welder.

The performance of the proposed technique is evaluated on a 1.2kW fuel cell stack based experimental prototype circuit.

1. 서론

TIG용접은 불활성가스인 아르곤 가스의 보호 속에서 텅스텐 금속전극과 모재사이에 아크를 발생시켜 용접하는 방법이다. 종래의 SCR 제어 TIG 용접기는 부피가 크고 무게가 무거우며 상용교류전원으로 운전되므로 이동성과 작업성에 제약이 많다. 상용교류전원이 없을 경우 디젤발전기를 사용해야 하므로 소음과 공해물질 발생 및 중량에 따른 이동이 어렵다.[1]

반면, 인버터 아크 용접기는 고주파 스위칭기술을 응용한 용접전원으로 20kHz 이상의 높은 주파수로 스위칭하기 때문에 변압기가 소형 경량으로 설계 가능하므로 이동과 작업이 편리하다.[2]-[4] 그리고 빠른 아크 응답특성에 의한 고품질의 용접이 가능할 뿐만 아니라 전력변환 효율이 높은 절전형 용접기로서의 장점을 가지고 있다. 이러한 이유로 상용 교류전원이 없는 지역에서 연료전지에 의한 용접 작업이 적절하다. 기동성과 정속함이 요구되는 군 작전 및 이동정비 용도에는 저소음과 소형 경량이라는 장점이 결합된 연료전지결합형 인버터 용접기의 사용이 큰 이점이 될 수 있다. 연료전지의 큰 특징으로, 개질기를 사용했을 경우 부하의 급격한 변동 시에 느리게 추종하는 동특성을 가지고 있으며 출력공급전류에 따른 출력전압의 맥동이 크고 대전류, 저전압의 출력특성을 특징으로 한다.

본 논문에서는 Ballard사의 1.2kW급 고체 고분자형(PEMFC) 연료전지를 전원으로 사용한다.[5] 부스트 컨버터의 기능과 인버터 용접전원의 기능을 하나의 컨버터로 가능하게 한 직접변환방식의 TIG 용접기용 DC-DC 전력변환회로를 설계하고 제작하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 성능을 확인하였다.

2. TIG 용접전원용 DC-DC 컨버터 구성

그림 1의 NEXA 연료전지는 DC 1-46[A]의 출력전류 범위에서 DC 26-42[V]까지의 광범위한 범위로 전압이 변한다. 그러므로 일반적인 TIG 용접 전원을 사용할 경우 이러한 광범위한 입력전압변동을 흡수하여 일정한 고전압으로 출력할 수 있는 부스트 컨버터가 필요하게 된다. 부스트 컨버터의 회로방식은 Chopper 방식과 브리지 방식이 있는데 연료전지의 최소전압출력 26[V_{dc}]에서 용접전원에서 필요한 일정한 DC 전압 300[V]로 승압시키기 위해서는 승압비가 적어도 12배 이상이 되어야 한다.

그러나 Chopper형은 승압비가 3-4배가 한계이며 입출력이 비절연형이므로 높은 승압비를 얻기 위해서는 스위칭 변압기의 권선비를 이용하여 승압비를 조절할 수 있는 하프 브리지 또는 풀 브리지형 컨버터를 사용하는 것이 일반적이다.

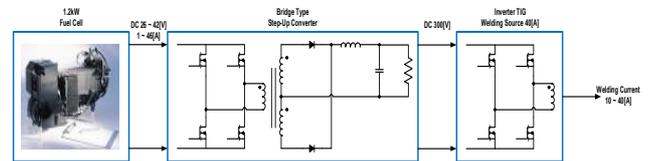


그림 1. 부스트 컨버터형 TIG 용접전원 블록다이어그램

직접 변환형 TIG 용접전원은 부스트 컨버터 없이 연료전지의 넓은 출력 전압특성에 적응하면서도 수하특성의 TIG 용접을 가능하게 하는 인버터 용접전원이다. 이것은 상용 인버터 TIG 용접전원의 전력변환 스위칭회로가 부스트 컨버터와 거의 같은 원리와 회로로 구성되어 있다. 부스트 컨버터에서 승압된 전압은 인버터 TIG용접특성인 수하특성을 만들기 위하여 무 부하 전압이 DC75[V] 정도가 되도록 용접전원의 전력변환 회로에서 다시 강압 한다. 이러한 특성을 가지고 인버터 TIG 용접전원의 전력변환 회로에서 부스트컨버터의 승압기능과 TIG 용접전원의 정전류 출력기능을 하나의 회로로 구현하였다.

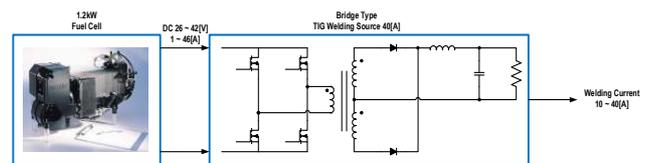


그림 2. 직접변환형 TIG 용접전원 블록다이어그램

3. TIG 용접전류와 연료전지 출력전압의 관계

연료전지의 출력을 TIG 용접전원의 입력으로 사용했을 때 TIG

용접전류에 따른 연료전지 출력전압과의 관계는 그림 3과 같은 형태로 나타난다. 용접전류를 D에서 F로 증가시키면, 용접전류가 증가할수록 용접전원의 입력전류(연료전지출력전류)도 증가하게 되고, 연료전지의 출력전압은 감소하게 된다. 용접기가 무 부하 상태에서는 연료전지의 출력전압도 무 부하 출력전압 42[V]정도가 출력된다.

아크가 시작되어 용접부하가 가해지는 상태가 되면 용접부하 전류가 증가하는 상태가 되므로 연료전지의 출력전압은 A에서 C로 더 붙어 감소한다. 그러므로 그림 3에서 용접전원의 V-I 특성곡선과 아크길이가 일정할 때의 아크특성곡선이 교차하는 점 D, E, F가 해당 용접전류이다. 이때의 용접전류와 연료전지 출력전압이 만나는 점 A, B, C가 각각의 해당 용접 전류에서의 연료전지의 출력전압 또는 TIG 용접전원의 입력전압이 된다.

본 논문에서는 그림3의 용접전원 V-I 특성에 적합하도록 고주파 변압기에 의한 승압과 직접변환방식의 DC/DC 컨버터를 설계하였다.

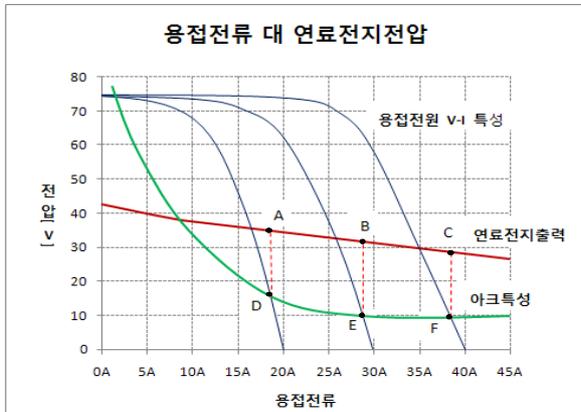


그림 3. TIG 용접전류 대 연료전지 출력 전압

4. TIG 용접전원용 DC-DC 전력변환회로설계

4.1. PWM 회로설계

가. 연료전지의 출력전력(1.2kW)을 감안하여 TIG 용접전원은 정전류 출력 40[A]의 Full Bridge PWM switching 방식의 전원을 설계 제작한다.

나. 시비율 D는 트랜지스터가 ON하고 있는 시간을 T_{ON} , OFF하고 있는 시간을 T_{OFF} 라 하면 다음 식과 같다.

$$D = \frac{T_{ON}}{T_{ON} + T_{OFF}} \quad (1)$$

그 결과 상하의 IGBT가 동시에 ON하는 시간이 생기게 되어 과전류가 흐르게 되므로 스위칭 소자가 파괴된다. 이 과전류가 흐르는 것을 방지하기 위해 데드타임(Dead time)의 시간만큼 IGBT가 ON하는 것을 방지할 필요가 있다. 본 설계에서는 D를 0.86 으로 한다.

다. 정전류 특성을 위하여 출력단에서 고주파 CT를 사용하여 출력전류를 감지하여 직류전압으로 정류하여 오차증폭기로 입력한다.

4.2. 주 변압기 설계

가. 입력전압 : NEXA 연료전지 출력전압이 무 부하에서 42[V_{dc}] 출

력이고, 최대 출력전류 46[A]에서 26[V_{dc}]로 V_i는 26-42[V_{dc}]로 한다.

나. 출력전압과 전류 : 무 부하 출력전압은 용접전류가 흐르지 않는 상태에서 용접전원의 출력전압으로서 통상 일반 상용 220[V_{ac}] 전원을 사용하는 TIG 용접기의 경우 아크 스타트를 좋게 하기 위하여 1, 2차 권선비를 4.5 : 1 정도로 하여 2차 무 부하 전압을 65[V] 정도로 설정한다. 본 설계에서는 소전류 용접영역에서 아크스타트 특성을 좋게 하기 위해 75[V]로 설정하였다. 최대 용접전류 I_o는 입력의 연료전지 용량을 고려하여 40[A]로 설정하였다.

다. 스위칭 주파수 및 변압기 설계 : 코어의 손실 및 성능을 감안하여 스위칭 주파수는 20[kHz]로 정한다. 변압기의 1차 권선의 권수 n₁은 코어의 최대자속밀도를 B_m, 코어의 유효면적을 A, 주파수를 f, 최대 펄스폭을 D_{max}, 입력전압의 평균값을 V_{av}라 하면 다음 식과 같다.

$$n_1 = \frac{V_{av} \times D_{max}}{4B_m A f} \times 10^8 \quad (2)$$

본 설계에서는 연료전지의 최대출력전압을 42V로 하고 펄스폭이 최대가 되었을 때 DC-DC 컨버터의 변압기 1차 권선에는 직류 입력전압의 최대값이 36.12[V_{dc}]가 가해진다.

코어는 손실과 최대출력 전력을 고려하여 TDK사의 PC40 재질로 EI160Z(60X35.85X15.6) 코어를 2개 겹쳐서 사용한다. 이 코어의 단면적은 2.47[cm²]으로 2개를 겹쳐서 사용하므로 단면적은 4.94[cm²] 이 된다. PC40 코어의 최대 자속밀도 B_m은 5000[Gauss]이지만 포화를 고려하여 B_m은 3000[Gauss]로 한다, 주파수는 20kHz이고 코어의 단면적은 2.47[cm²] x 2 로 하면 1차 권수 n₁은 다음과 같다.

$$n_1 = \frac{40 \times 10^8 \times 0.86}{4 \times 3000 \times 2.47 \times 2 \times 20 \times 10^3} \approx 3 \quad (3)$$

변압기의 1차 권선수와 2차 권선수의 비는 직류 입력전압 V_i, 출력전압을 V_o, 정류기의 순방향 전압강하를 V_D라 하면 다음과 같다.

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{V_o + V_D}{V_i \times \eta} \quad (4)$$

V_D는 Schottky Barrier Diode를 사용한 경우 약 0.4[V], 실리콘 다이오드를 사용한 경우는 약 1[V]가 된다. 여기서, 1차 권선에 입력되는 전압을 V_i 라고 하면 V_i = V_J × η 로 되며 2차 정류기의 전압강하를 무시하면 변압기의 2차 권수는 다음과 같이 구해진다.

$$V_o = \frac{n_2}{n_1} \times V_i \quad (5) \text{ 따}$$

라서 2차 권수 n₂는 다음 식을 이용하여 계산된다.

$$75[V] = \frac{n_2}{3} \times 36.12[V] \quad (6)$$

위의 식(6)에서 n₂ = 6.229 ≈ 6회로 구해진다. 여기서 2차 정류회로는 센텀 방식의 정류방식으로 되어 있으므로 2차 권수는 6회×2의 권수로 된다.

4.3. 전체 시스템 구성도

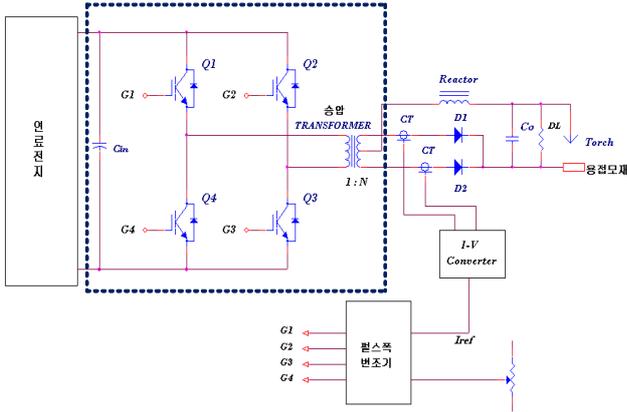


그림 4. 연료전지를 이용한 TIG 용접기용 전원장치의 구성도

그림 4는 승압 및 정전류 수하특성의 전력변환회로를 나타낸 것이다. 전력변환회로에는 Full Bridge DC-DC 컨버터 회로방식을 사용하고 있으며 전력스위칭소자는 IGBT를 사용하였다.

이 시스템은 무 부하 전압 출력은 컨버터의 입력전압에 의존하므로 연료전지의 최대출력전압 $V_{I_{max}} = 42[V_{dc}]$ 일 때 TIG용접 전력변환시스템의 최대 무 부하 전압 $V_0 = 75[V_{dc}]$ 가 되어야 한다.

5. 시뮬레이션 및 실험

5.1. 시뮬레이션 구성

그림 5는 TIG 용접전원 컨버터의 전체 시뮬레이션 회로도를 나타내고 있다. 시스템 구성은 주 전력변환회로와 제어회로로 구성되어 있다.

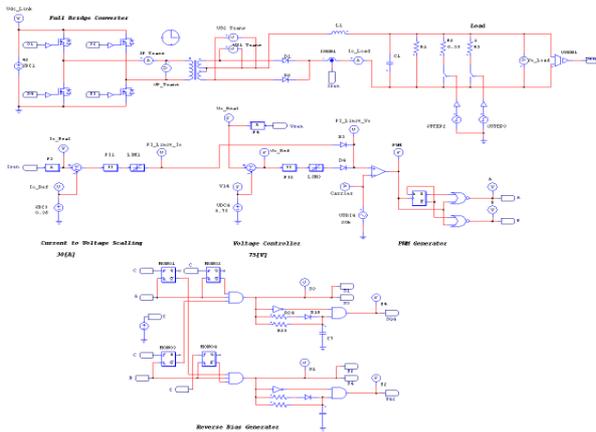


그림 5. 전체 시뮬레이션 회로도

5.2. 시뮬레이션 결과

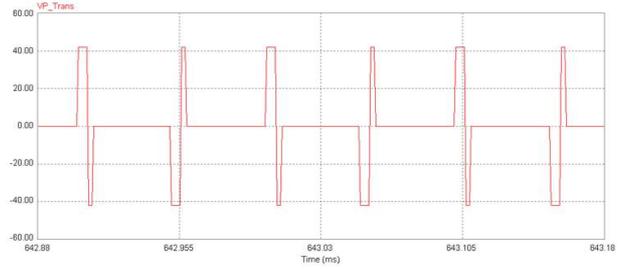


그림 6. 주 변압기 1차측 입력 시뮬레이션 파형

그림 6은 전력변환회로의 주 변압기 1차측 양단의 입력파형이다. IGBT의 턴-오프 신호에 연이어 따라 나오는 짧은 펄스파형은 IGBT가 턴-오프 될 때 변압기에 축적된 에너지가 환류 다이오드를 거쳐서 입력 전원으로 환원되는 파형을 보여주고 있다. 또한 이 파형은 전원전압에 의해서 클램프 되어 있기 때문에 스위칭 소자에 가해지는 전압 스트레스는 전원전압 이상으로는 가해지지 않음을 보여주고 있다.

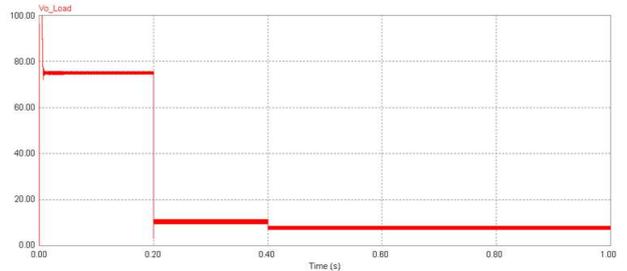


그림 7. 출력전압 시뮬레이션 결과 파형

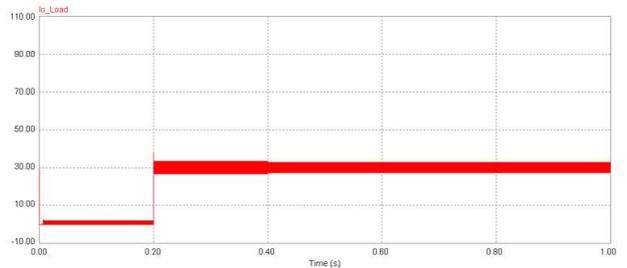


그림 8. 출력전류 시뮬레이션 결과 파형

그림 7은 입력전압 42[V]일 때 출력전압에 대한 시뮬레이션 결과이다. 본 시뮬레이션에서 용접부하는 저항 $0.35[\Omega]$ 과 $0.26[\Omega]$ 을 사용했으며 각각 용접 아크길이에 해당한다고 할 수 있다. 무 부하 상태에서는 75[V]를 출력하고 있으며 200[ms]후에 $0.35[\Omega]$ 의 저항을 걸었을 때 9.7[V]의 전압을 나타내고 다시 200[ms]후에 $0.26[\Omega]$ 을 걸었을 때 8.31[V]가 되는 것을 나타낸다.

그림 8은 같은 조건에서 출력전류 특성을 시뮬레이션한 것이다. 무 부하 상태에서는 전류는 흐르지 않다가 200[ms]후 $0.35[\Omega]$ 의 저항이 걸리면 전류는 30[A]의 전류가 흐른다. 다시 200[ms]후에 $0.26[\Omega]$ 을 걸었을 때 마찬가지로 30[A]의 정전류를 유지하는 것을 보여주고 있다. 결론적으로, 부하가 걸렸을 때 출력전압은 변하지만 출력전류는 부하에 관계없이 일정한 전류를 출력하는 정전류 특성을 가진다. 무 부하 상태에서는 출력전압은 75[V]로 설계사양 대로 동작하고 있음을 확인 할 수 있다.

5.3. 실험세트

그림 9의 좌측 그림은 TIG 아크용접기 구동을 위한 DC-DC 컨버

터 및 제어기이고, 우측 그림은 입력전원으로 실제 연료전지를 사용한 TIG 아크용접기의 전체 실험 세트이다.

그림 10은 본 연구에서 제안된 용접전원을 가지고 꺾치기 용접으로 0.5[mm] 스테인리스강의 용접 결과를 나타내었다.



그림 9. 전체 실험 세트



그림 10. 용접사진과 용접된 시료

5.4. 실험 결과

그림 11은 입력전압 40[V]에서 30A의 용접을 할 때 주 변압기의 1차측 입력파형으로 시뮬레이션 결과와 동일함을 확인할 수 있다. 그림 12는 입력전압 40[V]일 때 무 부하시의 출력전압 파형으로 출력전압은 76.8[V]로 측정 되었으며, 그림 13은 입력전압 40[V]에서 30A의 용접을 할 때 출력전압 파형으로 용접전압은 12.14[V]로 측정되었다.

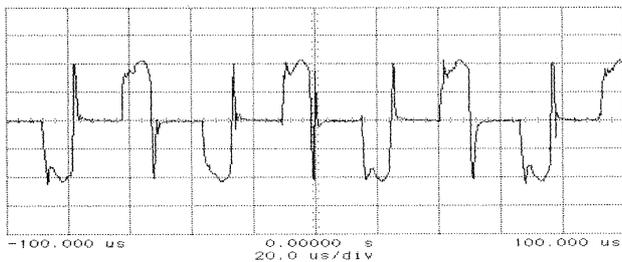


그림 11. 주 변압기 1차측 입력파형
(X-축 : 20[us]/Div., Y-축 : 20[V]/Div.)

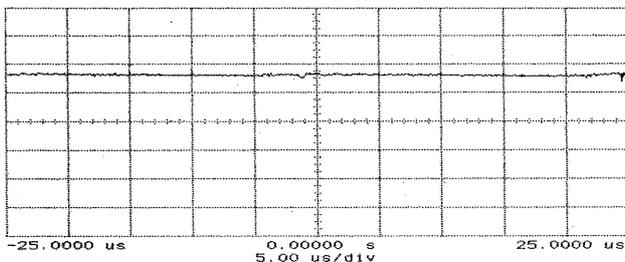


그림 12. 무 부하 시 출력전압 파형
(X-축 : 5[us]/Div., Y-축 : 50[V]/Div.)

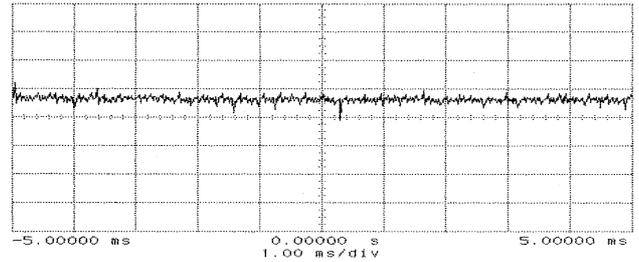


그림 13. TIG 아크용접 시 출력전압 파형
(X-축 : 1[ms]/Div., Y-축 : 20[V]/Div.)

6. 결론

본 논문에서는 1.2kW급 고체 고분자형(PEMFC) 연료전지를 전원으로 사용하여 별도의 승압컨버터와 인버터 없이 승압용 컨버터의 기능과 TIG 용접전원의 기능을 하나의 컨버터로 구현 하였다. 그 결과로서 연료전지 구동형 직접변환 방식의 TIG 용접기용 전력변환장치를 설계하고 제작하여 시뮬레이션과 실험을 통하여 그 기능성을 확인 하였다.

참 고 문 헌

- [1] 강인찬, "현대용접공학", 도서출판 구민사, pp.12-14, pp.24-27, pp.32-33, pp.44-46, pp. 62, 1990.
- [2] L. Malesani, P. Mattavelli, L. Rosseto, P. Tenti, "Electronic Welder with High Frequency Resonant Inverter", IEEE Trans. Ind. Application, Vol.31,no.2,pp.273-279, March/April, 1995.
- [3] Keiki. M, Nabil A. Ahmed Tarek. A, "Innovative DC Blsline Active Sunbber-Assited Soft Switching PWM DC-DC Power Supply with High Frequency Transformer for High Performance Arc Welder", IAS conference on, pp.1965-1972, 2005.
- [4] D. Toshimitsu, M. Keiki. K. Yanaguchi, T. Etoh, H. Ogwara, N. Mutsuo. "New DC rail side diode-clamping AERC-assisted soft-switching PWM DC-DC converter with high-frequency link for high performance Arc welding", IEEE Power Electronics, Machined and Drive, 2008. PEMD 2008, 4th IET conference on April, pp.737-741, 2008.
- [5] 이태원, 장수진, 김진태, 구자성, 원충연, 김창연, "연료전지용 Simulator에 의한 PWM 컨버터/인버터 구동시스템에 관한 연구", 전력전자학회 논문지 제9권, 제3호, pp.222-230, 2004.6.