

## 인버터 아크용접기를 위한 3상 승압/강압형 컨버터의 운전특성비교

최해룡\*, 구영모, 채영민, 최규하, 목형수, 김규식\*\*, 원충연\*\*\*

\* 건국대학교 전기공학과 \*\* 서울시립대학교 제어계측공학과 \*\*\* 성균관대학교 전기공학과

### A Comparison of Operation Characteristics for 3 $\phi$ Boost/Buck Converter to Inverter Arc Welding Machine

H.R. Choi\*, Y.M. Goo, Y.M. Chae, G.H. Choe, H.S. Mok, K.S. Kim\*\*, C.Y. Won\*\*\*

\*Dept. of Electrical Eng. , Konkuk Univ.

\*\*Dept. of Contr. & Instru. Eng. , Seoul City Univ.

\*\*\*Dept. of Electrical Eng. , Sung kyun kwan University

#### Abstract

Three phase Boost/Buck converter which have economical merits and simple control scheme, are analyzed and evaluated through comparative methods and digital simulation for equivalent load. Those play a part of voltage boost/buck as well as power factor correction with single switch. Controller operating in constant and variable frequency is used for rapid output response and stable system condition respectively. Moreover low THD property of single switched converters is available for inverter arc welding machine known as high power and low power factor.

So, in this paper a comparison of the characteristics in boost and buck converter is described and then simulation results conforms the merits from the point of view of power factor and voltage regulator.

#### 1. 서론

3상 Boost/Buck컨버터는 단일스위치의 제어를 통해 고역률 및 저 고조파의 기능과 함께 입력측을 센싱하지 않고도 양질의 입력전류를 얻는 장점을 지니며 단일주기 제어를 통해 위의 장점과 아울러 다음의 장점들을 지니게 된다.[1-3]

- (1) 회로구현 및 제어의 단순성
- (2) 고조파 저감 및 역률개선효과
- (3) 안정한 제어특성 및 응답특성
- (4) 출력전압제어의 우수한 조정성

본 논문에서는 3상 Boost/Buck컨버터의 운전특성을 비교하여 저역률기로 알려진 인버터용접기의 전원공급장치로서의 타당성을 검토하여 전원환경에 맞는 적절한 전원공급장

치의 선정 및 같은 유효출력에서의 각 시스템요소의 운전조건 및 소자특성에 대한 분석을 수행한다.[4-6]

#### 2. 시스템 구성 및 동작원리

##### 2.1 Boost 컨버터

Boost컨버터는 다이오드 정류기의 입력전류에 함유되어있는 저차고조파성분을 스위칭동작에 의해 고차 고조파성분으로 변화시킴으로써 다이오드 정류기에 비해 매우 작은 리액티브 요소로도 우수한 필터링효과를 얻을 수 있다. 그림 2는 Boost 컨버터의 스위칭 한 주기동안의 각 상의 입력전류이며 스위칭조건 및 전압 조건에 따라 4가지의 회로상태가 얻어지게 된다. 스위칭 한 주기동안 상전압이 일정하다는 가정하에서  $T_{on}$ 동안에는 각상의 전류가 입력 상전압과 선형적으로 증가하고  $T_{off}$ 동안에는 에너지가 출력측에 전달된다.  $T_{off}$ 동안에는 a상전류가 먼저 영점에 도달하고 이후에 나머지 b,c상이 각각 영점에 도달하게 된다. 각 상전류가 모두 영점에 도달하는 Mode 4는 불연속적인 전류구간으로서 영전류가 다음 제어신호때까지 유지되며 커패시터에 저장되어 있던 에너지가 부하로 전달된다.

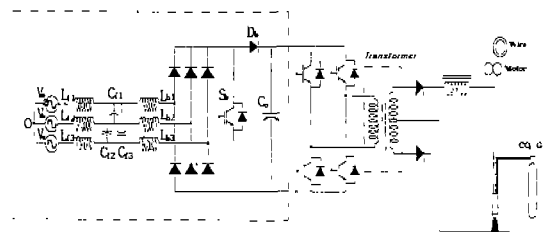


그림1. Boost 컨버터

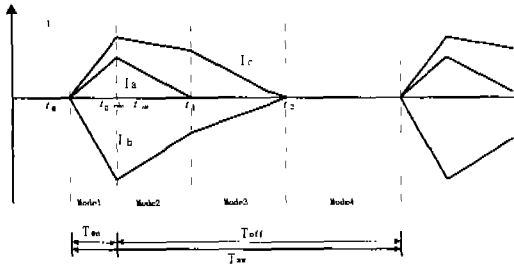


그림2. 입력리액터전류

## 2.2 Buck 컨버터

Buck컨버터는 다이오드 정류기 및 입력측의 교류필터로 구성된 수동부와 강압을 위한 스위치, 프리휠링 다이오드, 그리고 출력필터로 구성된 능동부로 구성되어 있다. 입력측 커패시터  $C_e$ 는 출력측의 필터리액터와 공진회로를 구성하며 이를 통하여 스위치에서의 소프트스위칭이 형성된게된다. 또한 Boost 컨버터와 같이 소자의 수에 있어서 장점을 지니고 있으며 매우 단순한 제어가 요구된다. 입력역률이 출력전압에 의존적이지 않고 입력상태에 따른 출력의 제한이 없으므로 아크용접시스템에서의 적용 및 회로구현이 용이한 장점을 지니고 있다.

불연속전압모드로 운전되는 Buck컨버터는 입력전류가 스위칭주기동안 일정하도록 입력리액터가설계되어야하며 또한 입력전류를 필터링하게 된다. Boost컨버터와 반대로 off-Time시 입력측의 커패시터에 걸리는 전압은 입력리액터의 전류와 서로 선형관계를 유지하게되고 on-Time시 입력전류조건에 따라서 각각 비선형적으로 감소하게 된다.

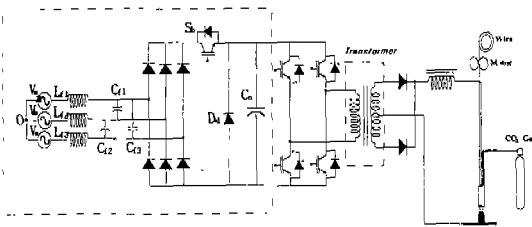


그림3. Buck 컨버터

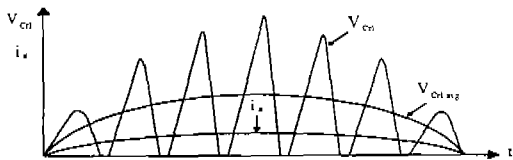


그림4 입력커패시터전압

## 3. Boost/Buck컨버터

### 3.1 제어기법

#### (1) 전향제어기법

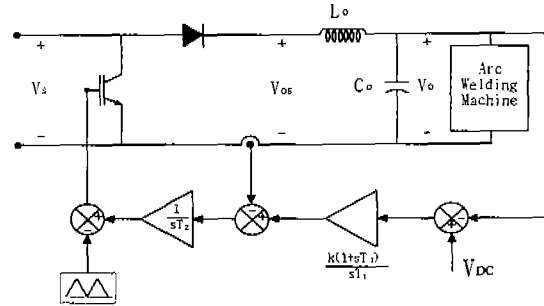


그림5. Boost컨버터의 제어

단일스위치를 갖는 Boost컨버터의 동작은 일정주파수및 시비율로 운전하는 것을 가정한다. Boost컨버터는 여러 가지의 제어기법에도 불구하고 입력측의 역률이 결국 전압이득(M)에 의존하게되며 그 값이 높을수록 좋은 역률특성을 나타내게된다. 하지만 인버터 아크용접기의 경우 직류링크단의 전압상승으로 인해 시스템요소들의 별도의 설계가 요구되며 특히 구현의 어려움이 발생할 수 있다. 또 다른 제어기법으로써는 컨버터가 DCM의 경계조건에서 동작되도록 하는 것으로 이 운전을 통해서 시스템에서 사용되고 있는 요소들의 최대사용율을 보장할 수 있다.

위 그림5. 은 Boost 컨버터에 적용한 제어알고리즘을 나타내며 외부 feedback루프에 전향제어항을 포함하여 보상하는 기법을 나타내며 특히 용접부하와 같이 출력이 급변하는 경우에 뛰어난 동특성을 얻을 수 있다.

#### (2) 변조적분제어기법

기존의 리셋적분 제어기법은 스위치의 지연이 없는 한 좋은 동작특성을 나타내지만 그러나 실제로 스위칭지연은 존재하며 특히 용접기와 같은 고출력부하의 경우 그러한 현상은 더욱 지배적이 된다. 이러한 현상은 기존의 리셋제어 적분기에 필요이상의 보상량을 할당하며 결국 출력전압이저령치를 벗어나는 현상에 이를 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 변조적분제어기법(Modulated integral control)을 적용하여 일정한 출력전압을 제어하였다. 특히 큰 필터리액턴스에 의한 전압강하를 보상하기 위하여 필터 후단에 부하전압 피드백루프를 아래그림6. 과 같이 포함하여 구성하였다.

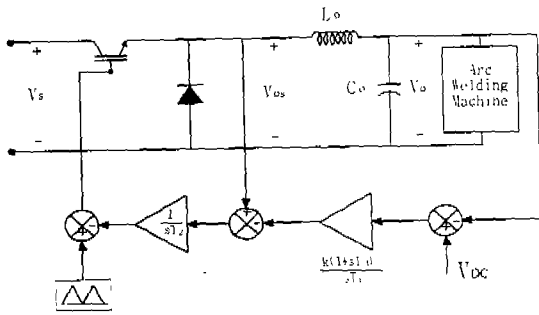


그림6. Buck컨버터의 제어

### 3.2 입력역률특성

본 절에서는 제시된 컨버터의 각각의 특성에 대해서 비교 하였으며 특히 주 관심사인 입력전류의 역률 및 소자 스트레스의 분석을 통해 전원 및 부하상태에 대한 운전조건 및 회로 각요소의 선정조건을 제시한다. 아크용접기에 있어서 단락모드가 유지되는 용접조건이 20V,250A라고 가정하여 각각 5kW출력을 대상으로 특성을 분석하였으며 용접부하 상태를 정부하로 가정하여 분석하였다.

#### 3.2.1 역률특성

표1. 전부하시 Boost컨버터 입력특성

고조파 차수	Normalized Amplitude	Normalized Phase(DEG)
1차	1	0
5차	0.089	154
7차	0.061	132
THD	12.41%	
PF	0.98	

표2. 전부하시 Buck컨버터 입력특성

고조파 차수	Normalized Amplitude	Normalized Phase(DEG)
1차	1	0
5차	0.045	167
7차	0.042	161
THD	5.74%	
PF	0.99	

위의 표1,2는 전부하에서의 입력전류의 역률특성을 나타내고 5차,7차 고조파가 기본파에 대해서 가장 큰 성분임을 알 수 있다. 특히 전류가 DCM운전을 하는 Boost컨버터는 전부하조건하에서도 전압이득이 낮은 경우 5차,7차 고조파성분의 증가와 위상의 변위에 의한 역률저하 현상이 발생한다.

### 3.2.2 소자 스트레스

두 시스템의 구조적 유사성에도 불구하고 각소자에 걸리는 최대 전압과 전류는 그 정격의 선정과 아울러 시스템의 효율에 중요한 영향을 미치는 요소이다. 그림7,8을 통해 동일한 출력의 두 시스템에 대한 각 요소의 전압전류특성이 비교된다. 전반적으로 Buck컨버터의 전압스트레스가 Boost컨버터에 비해 높은 값을 가지며 이에 대한 적절한 대책이 요구된다.

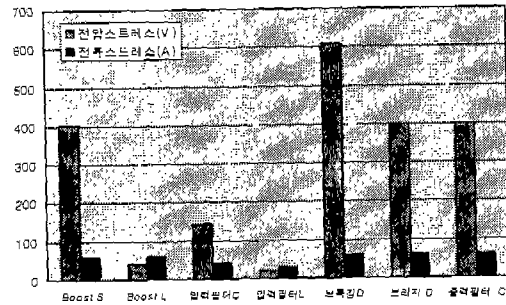


그림7. boost컨버터의 각 소자 스트레스

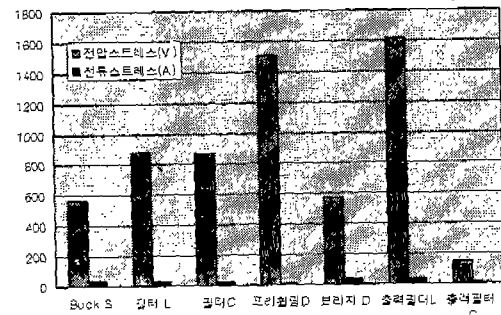


그림8. buck컨버터의 각 소자 스트레스

## 4. 시뮬레이션 결과

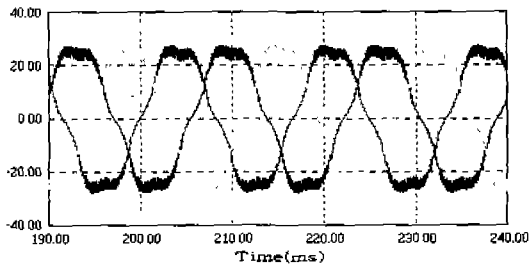
시뮬레이션을 통한 특성해석에는 이상적이고 간략화된 소자모델로 연산속도가 빠르고 회로해석이 용이한 PSIM (Power Sim)을 사용하여 입출력특성 및 고조파특성을 조사하였고 또한 적용 예로 제시한 인버터 아크용접기의 실효출력 및 부하특성을 근사화하여 해석하였다. 충분한 전압이득을 보장하기 위해 Boost컨버터의 입력전압을 선간 155V로 선정하고 또한 앞절에서 언급한바와 같이 일정한 출력을 가정하여(5kW) 각각 다른 환경에서 시뮬레이션을 수행하였다. 3절에서 제시한 전향제어를 고려한 피드백제어 및 변조적분제어기를 각각의 경우에 적용하여 각각 그 특성을 수치분석적인 방법으로 해석하였다.

시뮬레이션에 사용된 상수는 표1 과 같다.

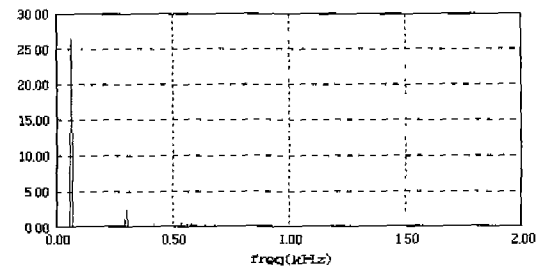
표1. 시뮬레이션 상수

	Boost	Buck
$V_{LL}$	155V	220V
$P_{out}$	5kW	5kW
$C_{out}$	1000uF	330uF
$L_{out}$	-	1mH
$f_{sw}$	10kHz	10kHz
$L_f$	45uH	1mH
$C_f$	25uF	1uF
$V_o$	400V	147V

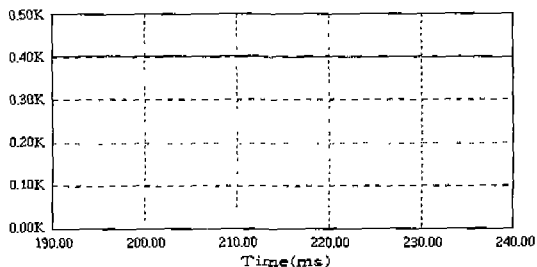
#### 4.1. Boost 컨버터



(a) 3상입력전류

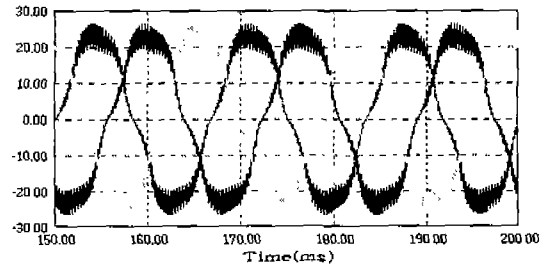


(b)전류 스펙트럼

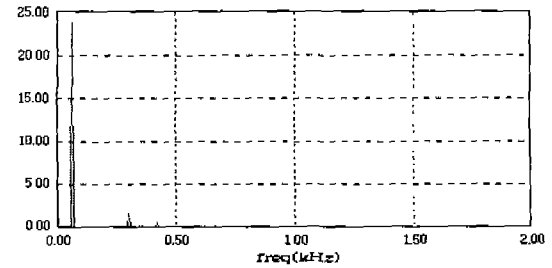


(c)출력전압

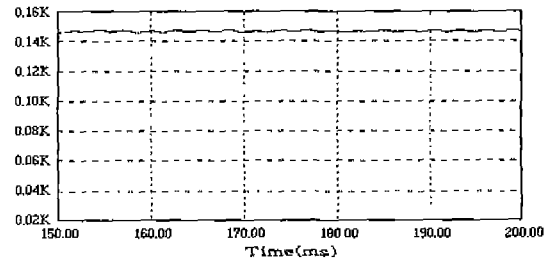
#### 4.2 Buck 컨버터



(d)3상입력전류



(e)전류 스펙트럼



(f) 출력전압

그림(a)는 전압이득(M)을 1.82 로 설정하였을때의 boost컨버터의 3상입력전류를 나타내며 높은 역률을 유지하고 있다. 입력역률이 전압이득에 종속적이므로 220V의 상용전원에 대해서는 800V이상의 출력전압이 요구되어 그 시스템구현의 어려움이 발생할 수 있다. 별도의 전향제어루프를 포함하여 그림(c)에서 처럼 전압이 안정적으로 제어되며 전류과형도 안정적으로 높은 역률을 유지하고 있다. 그림(b)는 전류 스펙트럼을 나타내고 5차고조파 성분이 다소 함유되어 있음을 알 수 있다. 전압이득이 낮게 될 경우 바로 이 5고조파와 7고조파 성분이 역률저하의 요인으로 작용게 된다.

전술한데로 Buck컨버터는 전류의 역률이 전압이득에 무관하기 때문에 입력전압보다 매우 낮은 출력전압(=147V)에 대해서도 매우 낮은 THD와 높은 역률을 유지하게 된다. 이러한 점dms buck컨버터의 장점이 될 수 있지만 높은 회로 요소들에서의 전압 스트레스로 인한 시스템 설계의 난점도 함께 지니고 있어서 무엇보다 이 부분에 대한 연구가 선행되어야 할 것이다.

## 5. 결 론

인버터 아크용접기의 전원공급장치로의 적용을 위한 3상 Boost/Buck컨버터의 운전특성이 정출력의 가정하에서 비교 분석되었다. 아울러 간략하게 그 동작원리, 각각의 제어기법 그리고 역률 및 각 소자의 전압전류특성이 상호 비교되었다. Boost컨버터의 경우 높은 전압이득이 보장되야만 높은 역률이 보장되는 문제점이 존재하며 Buck 컨버터의 경우는 스위칭에 의해 각부 소자들에 높은 소자스트레스가 발생되므로 이에대한 고려가 있어야 할 것이다.

이러한 문제들의 개선을 통해 시스템 각부요소의 선정 및 적용의 타당성이 증진될 수 있으며 저역률기기로 알려진 아크용접기의 현저한 역률개선에 기여할 수 있다.

본 연구는 1997년도 한국과학재단 특정기초 연구비 지원에 의하여 이루어 졌음.

## [참고문헌]

- [1] H. Oishi, H. Okada, K. Ishizaka, R. Itoh, "Single-phase switch mode rectifier employing voltage reversal circuit switched with a fixed frequency", IEE Pro. Electr. Power Appl., Vol. 142, No. 2, pp. 154-160, 1995.
- [2] J. T. Boys, A. W. Green "Current-forced Single-Phase reversible rectifier", IEE. Proce, September, vol. 136, No. 5, pp. 205-211, 1989.
- [3] Q. Huang, and F. C. Lee. "Harmonic Reduction in a Single -- Switch, Three-Phase Boost Rectifier with High Order Harmonic Injected PWM", Proceeding of the Virginia Power Electronics Conference, pp, 24-26, 1995.
- [4] Mohammad Sadighy, Francis P. Dawson. "Single-Switched Three-Phase Power Factor Correction", IPEC- Yokohama, pp. 293-297, 1995.
- [5] Tungtaek Jang, Robert W. Ericson "New Single-Switch Three-Phase High Power Factor Rectifiers Using Multi-Resonant Zero Crossing Switching", IEEE con., pp. 711-717, 1994.
- [6] Esam Ismail, Khaled AL-Rumahi and jamal Maadouh "Three-Phase High quality Multi-Sonament Buck Rectifier with zero vontage switching", ICPE 95., pp.