

## 소프트 스위칭 모듈을 이용한 3상 고역률 컨버터

김재홍\*, 정진규\*, 백승택\*, 한병문\*, 김현우\*\*

\*명지대학교 전기공학과, \*\*경민대학 소방안전관리과

### A Three-Phase Converter with High Power Factor Using Soft-Switching Module

Jae-Hong Kim\*, Jin-Kyu Jung\*, Seung-Tack Baek\*, Byung-Moon Han\*, Hyun-Woo Kim\*\*

\*Myongji University, \*\*Kyungmin Junior College

#### Abstract

This paper describes a three-phase converter with high power factor using a scheme of discontinuous current mode(DCM). The proposed system can replace the conventional diode bridge with step-up chopper which is used as a converter for adjustable speed drive. In this system, the current of reactor is zero at turn-on instance because of operation in DCM, while the switch turns off at the instance of maximum current. A soft-switching scheme with lossless snubber was proposed. Therefore, a zero-voltage switching at turn off can be achieved by lossless snubber and zero-current switching at turn on can be obtained by operating under DCM. A theoretical analysis and computer simulations with PSpice were done to verify the operation of the proposed system. Also a prototype of hardware system was built and tested for verifying the feasibility of proposed system.

#### 1. 서론

기존의 직류링크단에 캐패시터가 결합된 컨버터에서는 입력전류에 고조파 성분이 포함되어 있고 입력역률이 저하된다는 문제점을 가지고 있다. 이를 해결하기 위해 승압초퍼를 삽입하여 입력역률을 개선하여 왔다. 이러한 역률 보정을 위한 제어 방식중에 하나인 리액터 전류 불연속제어(DCM)방식은 입력전류나 전압을 센싱할 필요없이 일정 시비율로 주스위칭 소자를 스위칭하면 입력전류의 피크 값이 입력전압을 따라가게 되어 입력전류의 평균값이 저질로 정현파가 되기 때문에 역률보정이 가능하고 제어가 간단해 널리 사용되어져 왔다. 그러나 승압초퍼의 스위칭 주파수를 상승하면서 컨버터의 성능 개선에는 많은 효과

를 가져왔지만 스위칭 손실이 커지는 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해결하기 위해 최근 스위칭 소자를 영전류에서 턴온하고 영전압에서 턴오프하는 소프트 스위칭기법이 활발히 연구되고 있다. 본 논문에서는 역률보정을 위한 DCM제어를 통해 영전류 스위칭을 얻고 턴오프시 스너버 캐패시터를 스위치와 병렬로 삽입해서 영전압 스위칭을 얻을 수 있는 소프트 스위칭 3상 고역률 컨버터를 제안한다. 제안된 컨버터는 소프트 스위칭을 통해 손실을 줄이고 DCM제어의 단점인 입력전류 파형의 고조파에 의한 왜곡을 줄일 수 있는 특성을 갖는다. 제안한 컨버터의 성능을 각 모드별 해석하고, PSpice 시뮬레이션과 하드웨어 실험을 통해 검증하였다.

#### 2. 주회로 구성과 동작원리

##### 2-1 회로 구성

제안하는 소프트 스위칭 고역률 3상 컨버터의 회로를 그림1에 나타내었다. 회로구성은 승압용 인덕터  $L_r$ 과 스위칭 소자  $S_1$ 과  $S_2$ , 두 개의 다이오드  $D_1$ 과  $D_2$ , 턴오프시 소프트스위칭을 위한 무손실 스너버 캐패시터  $C_r$ , 출력다이오드  $D_B$ , 직류 캐패시터  $C_d$ , 그리고 부하저항  $R$ 로 구성되어있다. 스위치를 턴온시 무손실 스너버 캐패시터  $C_r$ 의 단락을 막기위해 전원측에 있는  $L_r$ 을 분할하여 분산 배치하고 있다.

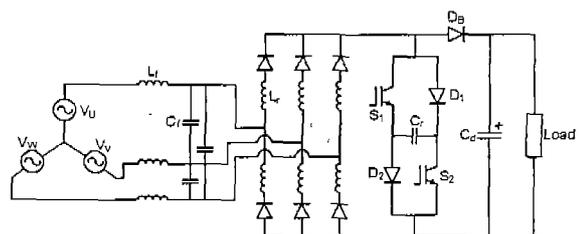


그림1. 소프트스위칭 3상 고역률 컨버터

## 2-2 동작모드해석

제안된 회로는 스위치 상태 및 회로의 전류 상태에 의해 5가지 동작모드를 가진다. 그림 2는 각각의 동작모드와 그 때의 회로 상태를 나타내고 있다. 단, 배선 등의 기생인덕턴스는 무시한다.

### 모드 1

리액터 전류 0의 상태에서 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 를 동시에 턴 온 시킨다. 한편 스위칭 소자에 흐르고 있는 전류는 스위치를 온한 순간에 0이며,  $L_r$ 에 흐르는 전류 및  $i_{Cr}$ 의 상승에 따라 증가하기 때문에 영전류 스위칭이 이루어진다.

### 모드 2

$C_r$ 의 전압이 0이 된 후, 전류는  $S_1$ - $D_2$ ,  $D_1$ - $S_2$ 의 2가지 경로로 흐른다.

### 모드 3

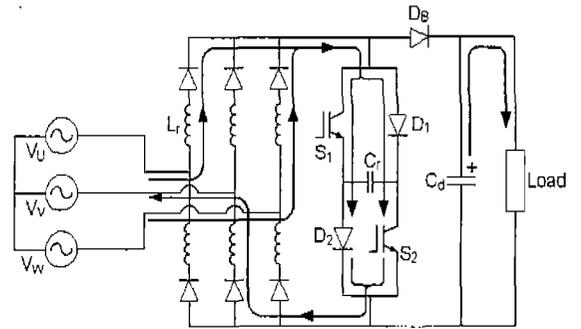
이 모드의 시작점에서 스위치  $S_1$ 과  $S_2$ 를 턴 오프한다. 이 때 스위칭 소자에 대해 초기 전하 0인 캐패시터  $C_r$ 의 전압이 병렬로 삽입된다. 따라서 콘덴서  $C_r$ 의 전압과 스위칭 소자의 전압이 동등해져 캐패시터 충전에 따라 스위칭 소자의 전압이 상승한다. 그러므로 영전압 스위칭이 달성된다.

### 모드 4

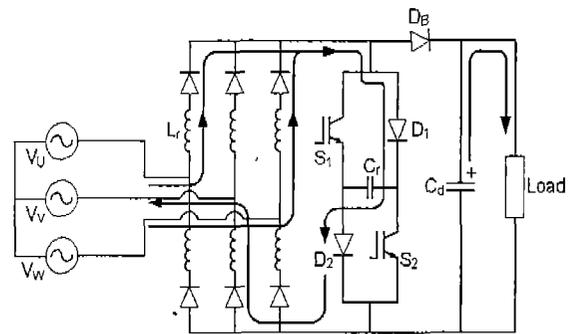
$C_r$ 의 전압이 출력전압  $C_d$ 와 동등해지면 출력다이오드  $D_B$ 가 도통한다.

### 모드 5

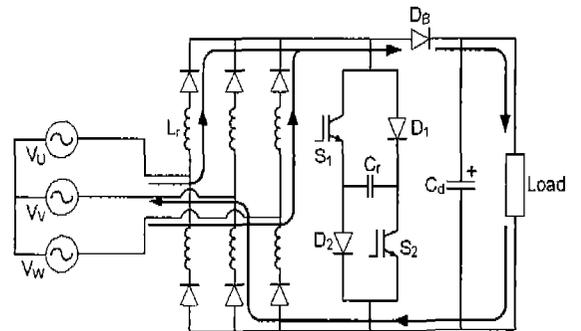
리액터 전류는 0이고 다음 스위칭주기까지 스너버 캐패시터의 전압이  $C_d$ 상태가 이어진다.



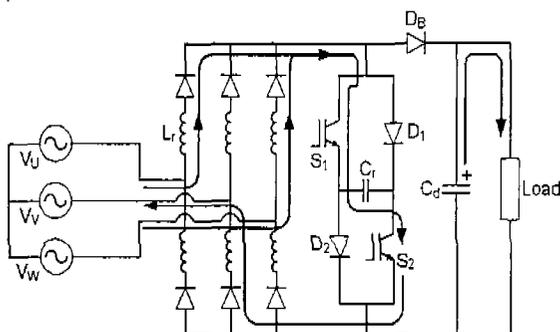
(b) 모드 2



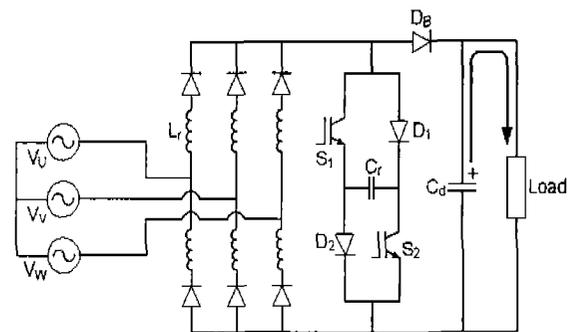
(c) 모드 3



(d) 모드 4



(a) 모드 1



(e) 모드 5

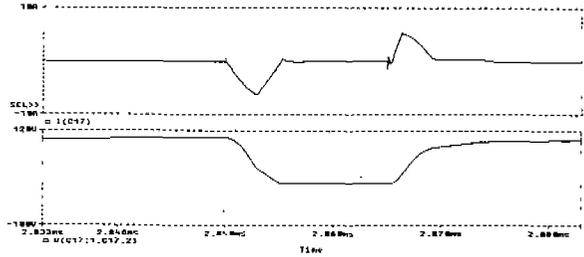
그림 2. 동작모드

### 3. 시뮬레이션 결과

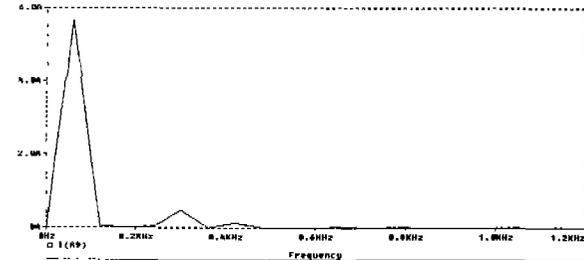
본 논문에서 제안한 컨버터의 동작 특성을 시뮬레이션을 통해서 확인하였다. 표1은 시뮬레이션에 사용된 회로 정수들을 나타내었다. 그림 3(a)는 스위치가 턴온될 때 영전류 스위칭을 나타낸 것이고, 그림 3(b)는 스위치가 턴오프될 때 영전압 스위칭을 나타낸 것이다. 그림 3(c)는 캐패시터 Cr의 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 3(d)와 4(e)는 하드스위칭형과 소프트스위칭형의 입력전류의 고조파분석을 비교 분석한 것이다. 소프트스위칭형의 경우 고조파가 줄어들음을 확인할 수 있다

표1. 시뮬레이션 회로정수

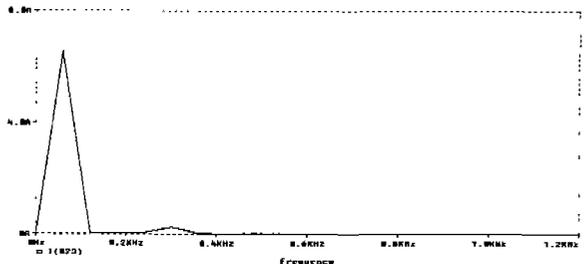
$L_r (\times 6)$	50 [ $\mu\text{H}$ ]
$C_r$	0.15 [ $\mu\text{F}$ ]
$C_d$	2000 [ $\mu\text{F}$ ]
부하	30 [ $\Omega$ ]
입력선간전압	70 [V]
스위칭주파수	20 [kHz]
시비율	0.3



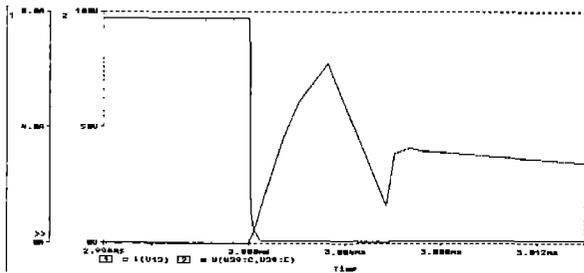
(c) 캐패시터 Cr의 전압, 전류



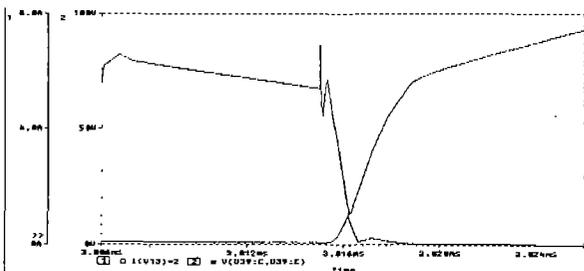
(d) 하드스위칭시 입력전류의 고조파분석



(e) 소프트 스위칭시 입력전류의 고조파분석



(a) 스위치 온시 전압, 전류



(b) 스위치 오프시 전압, 전류

그림 3. 시뮬레이션 결과

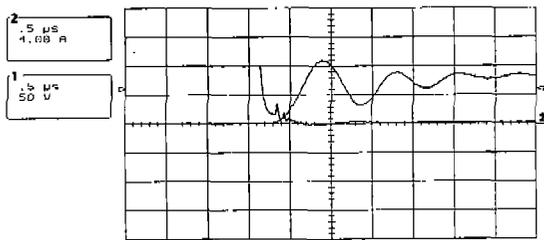
### 4 실험결과

본 논문에서 제안된 소프트 스위칭 3상 고역률 컨버터의 동작특성을 실험을 통해 확인하였다. 스위칭 소자로는 IGBT(600[V], 50[A])를 사용하였다. 실험에 사용된 회로정수는 표 2와 같다.

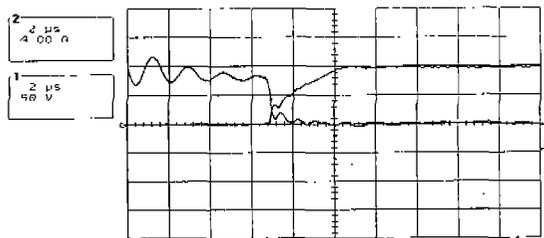
표2. 하드웨어 실험 회로정수

$L_r (\times 6)$	50 [ $\mu\text{H}$ ]
$C_r$	0.2 [ $\mu\text{F}$ ]
$C_d$	2200 [ $\mu\text{F}$ ]
부하	30 [ $\Omega$ ]
입력선간전압	70 [V]
스위칭주파수	20 [kHz]
시비율	0.3

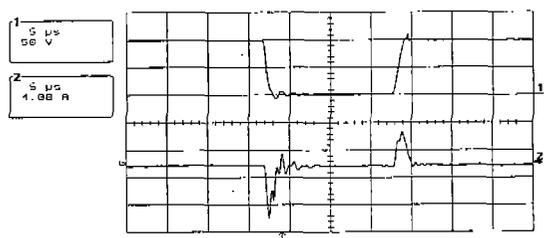
그림 4는 하드웨어 실험결과를 나타낸 것이다. 그림 4(a)는 스위치가 턴온될 때 리액터 전류 불연속 제어 모드에 의한 영전류 스위칭을 나타낸 것이다. 그림 4(b)는 스위치가 턴오프될 때 스위치와 병렬로 연결된 캐패시터  $C_r$ 에 의한 영전압 스위칭을 나타낸 것이다. 그림 4(c)는 캐패시터  $C_r$ 의 전압, 전류 파형을 나타낸 것이다. 그림 4(d)와 4(e)는 하드스위칭 컨버터와 소프트스위칭 컨버터의 입력전류의 고조파 분석을 나타내었다. 이상의 결과는 앞의 시뮬레이션 결과와 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다.



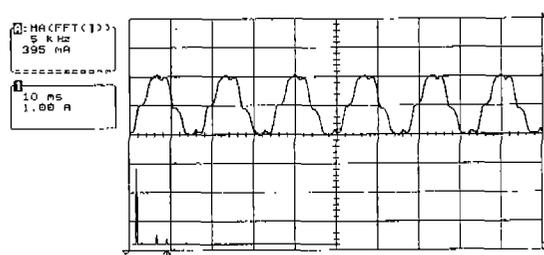
(a) 스위치 온시 전압, 전류



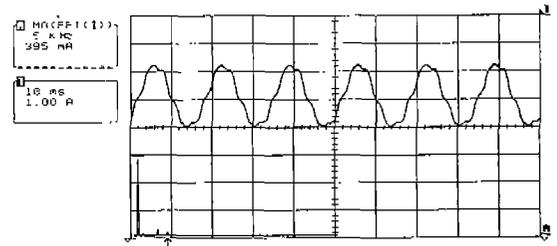
(b) 스위치 오프시 전압, 전류



(c) 캐패시터  $C_r$ 의 전압, 전류



(d) 하드스위칭시 입력전류의 고조파분석



(e) 소프트 스위칭시 입력전류의 고조파 분석

그림4. 실험파형

## 5. 결론

본 논문에서는 소프트 스위칭 3상 고역률 컨버터를 제안하고 그 동작을 시뮬레이션과 하드웨어 실험에 의해 확인하였다. 제안하는 컨버터는 다음과 같은 장점을 갖는다.

- 1) 비교적 간단한 회로구성이다.
- 2) 리액터 전류 불연속모드를 이용하기 때문에 간단한 제어로 입력전류 파형을 입력전압과 동상의 정현파 형태로 하여 고역률이 가능하다.
- 3) 턴온 시는 영전류스위칭을 그리고 턴오프 시는 영전압스위칭을 하여 컨버터의 스위칭손실을 줄일수 있고 스위칭 주파수의 고주파화가 가능하다.
- 4) 주 스위칭소자에 흐르는 전류가 턴온시 2개의 경로로 흐르기 때문에 소자의 전류 스트레스가 경감된다.
- 5) 리액터 전류불연속모드제어의 단점인 고조파에 의한 입력전류의 왜곡을 줄일 수 있다.

이상의 장점이 있는 소프트 스위칭 고역률 3상 컨버터를 현재 전자기기의 전원으로 많이 사용되고 있는 캐패시터 입력형 정류회로에 대체하여 사용하면 입력측의 저역률이나 고조파 문제를 해결할 수 있을 것으로 생각된다.

## 참고문헌

- [1] A. R Prased, P. D. Ziogas, and S.Manias, "An Active Power Factor Correction Technique for Three-Phase Diode Rectifier", IEEE PESC'89, pp.58-66 (1989)
- [2] Guihao Hau, Ching-Shan Leu and Fred C. Lee "Novel Zero Voltage-Transition PWM converter", PESC'92, pp.55-61 (1992)
- [3] L. D Salazar, G. Joss, "A Low Loss Soft Switching PWM CSI", PESC'92, pp.1098-1140 (1992)