

소프트 스위칭형 PFC 벡-부스트 AC-DC 컨버터에 관한 연구

郭東杰[†]

A Study on PFC Buck-Boost AC-DC Converter of Soft Switching

Dong-Kurl Kwak

요 약

본 논문에서는 새로운 소프트 스위칭형 PFC 벡-부스트 AC-DC 컨버터에 대해 연구된다. 제안된 컨버터에 사용된 제어스위치의 턴-온과 턴-오프는 부분공진 동작에 의해 소프트 스위칭으로 되어 스위칭 손실을 줄이고, 입력전류는 듀티율 일정제어에 의한 교류 입력전압의 크기에 비례된 불연속적 유사 펄스열의 정현파 형태를 가진다. 그 결과 컨버터는 효율이 증대되고 입력역률이 증대되는 효과를 가진다. 또한 제안된 컨버터의 출력전압은 제어스위치의 PWM 제어에 의해 조정되고 벡-부스트용 인덕터에 흐르는 전류는 불연속모드로 제어되어 제어회로와 제어기법이 간단한 장점이 주어진다. 제안된 PFC 벡-부스트 컨버터는 기존의 PFC 벡-부스트 컨버터와 비교되어 해석되고 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 그 해석적 타당성이 입증된다.

ABSTRACT

The system efficiency of the proposed Buck-Boost AC-DC converter is increased by soft switching method. The converter includes to merit of power factor correction (PFC) from sinusoidal control of input current. The switching behavior of control switches operates with soft switching by partial resonance, and then the proposed converter has high system efficiency with decrement of switching power loss. The input current waveform in proposed converter is got to be a sinusoidal form of discontinuous quasi-pulse row in proportion to magnitude of AC input voltage under the constant duty cycle switching. Therefore, the input power factor is nearly unity. The output voltage of the converter is regulated by PWM control technique. The discontinuous mode action of current flowing into inductor makes to simplify control method and control components. The proposed PFC Buck-Boost converter is analyzed to compare with the conventional PFC Buck-Boost converter. Some computer simulative results and experimental results confirm to the validity of the analytical results.

Key Words : PFC, Buck-Boost converter, Partial resonant technique, Discontinuous current control, Soft switching method

1. 서 론

교류 상용전원을 입력으로 하는 많은 전력변환기들은 전력변환에 의해 입력전류의 왜형을 발생시켜 입력

역률을 저하시키고 많은 고조파를 발생시켜 큰 문제점으로 되고 있다. 최근 입력전류 파형개선에 관한 연구들이 활발히 진행 중이며, 특히 입력단 정류회로에 AC-DC 벡-부스트 컨버터를 접속하여 입력전류를 정현파상으로 제어하여 파형개선을 이루고 입력역률을 증대시키는 역률개선용(PFC) 컨버터들이 많이 연구된다.^[1-5] 일반적으로 사용되는 PFC 벡-부스트 AC-DC 컨버터는 그림 1과 같이 에너지 축적용 인덕터 L을

[†]교신저자 : 정희원, 강원대 방재기술전문대학원 조교수

E-mail : dkkwak@kangwon.ac.kr

접수일자 : 2007. 8. 16 1차 심사 : 2007. 9. 4

심사완료 : 2007. 10. 4

이용하여 스위치의 PWM제어에 의해 실현된다.

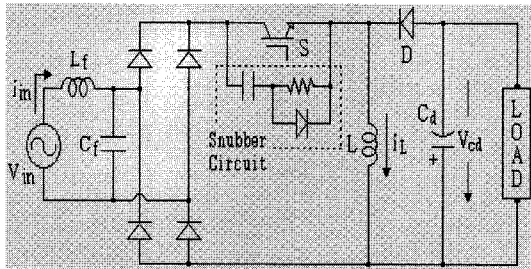


그림 1 기존의 PFC 벡-부스트 AC-DC 컨버터
Fig. 1 A Conventional PFC Buck-Boost AC-DC converter

PWM제어에 의해 벡-부스트용 인덕터에 흐르는 전류는 불연속모드 또는 연속모드로 제어된다.^[6,7] 전류불연속 모드 제어방식은 그림 2와 같이 인덕터 전류를 불연속으로 제어하는 방식으로 스위치의 듀티율 일정 제어에 의해 정현파 입력전압의 크기에 비례된 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 만들어 역률을 개선시킨다.^[7,8] 또한 전류불연속 제어에 의한 구성소자의 용량이 감소되고 듀티율 일정제어에 의해 제어회로와 제어 알고리즘이 간단하며, 사용된 제어스위치 턴-온 동작이 인덕터 전류 i_L 이 영전류에서 스위칭되어 스위칭 손실이 없는 장점이 주어진다.

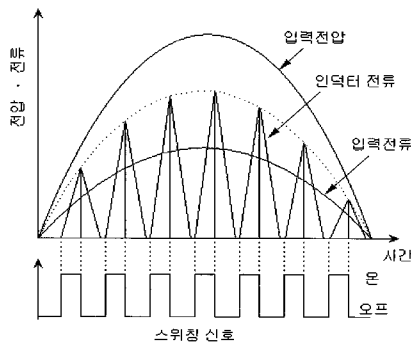


그림 2 전류불연속 제어에 의한 입력전류 파형
Fig. 2 Waveforms of input current with discontinuous current control

이러한 이점이 많은 전류불연속 제어방식의 가장 큰 문제점으로, 제어 스위치의 턴-오프 동작이 스위칭 시점의 최대 인덕터 전류에서 동작되는 하드 스위칭으로 되어 스위칭 주파수의 증가와 더불어 스위치 스트레스와 스위칭 손실이 증대되는 문제점이 있다. 그리고 하드 스위칭에 의한 스위치의 소손을 방지하기위해 컨버터들은 필히 스너버(snubber)를 사용하게 되지만[그림

1], 이에 상당한 스너버 손실로 인한 컨버터의 효율을 감소시키는 요인이 된다.

본 논문에서는 스위칭 손실을 최소화 하여 컨버터의 효율을 상승시키기 위해, 제어스위치들의 소프트 스위칭을 위한 부분공진회로가 첨부된 새로운 고효율 컨버터가 제안된다. 제안한 부분공진회로는 기존의 스너버를 활용하여 구성되며 스너버 저항이 제거된 구조로써 부분공진에 의해 스너버 커패시터는 무손실로 동작된다.^[6,9] 부분공진동작에 의해 커패시터에 저장된 에너지는 손실없이 입력측으로 유입되어 입력전류를 상승시키게 되며, 이는 기존의 PFC 컨버터에 비해 고조파 저감과 입력역률을 더욱 증대시키는 효과를 가진다.

2. 제안된 PFC 벡-부스트 AC-DC 컨버터

2.1 회로구성

제안한 소프트 스위칭형 PFC 벡-부스트 AC-DC 컨버터를 그림 3에 나타낸다. 회로구성은 기존의 PFC 벡-부스트 컨버터에 소프트 스위칭(ZCS, ZVS)을 위한 부분공진회로를 접속한다. 부분공진회로는 벡-부스트용 인덕터 L_r , 기존의 스위치 보호용으로 이용되는 스너버 커패시터 C_r 과 제어소자들로 구성된다.

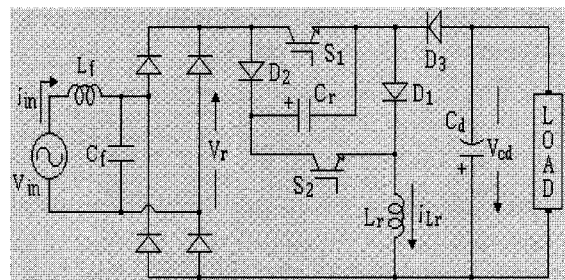


그림 3 제안된 소프트 스위칭형 PFC 벡-부스트 컨버터
Fig. 3 A proposed PFC Buck-Boost AC-DC converter of soft switching

제안된 컨버터는 PWM제어에 의해 출력전압이 조정되고, 출력전압이 결정되면 듀티율 일정 스위칭 제어에 의해 전류불연속 모드로 동작되고 인덕터 전류는 정현파 입력전압의 크기에 비례된 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 되어 역률을 개선시킨다. 그리고 사용된 제어스위치 S_1 , S_2 의 턴-온, 턴-오프 동작은 소프트 스위칭으로 되어 변환기의 효율을 증대시킨다. 또한 공진용 소자로 이용된 스너버 커패시터 C_r 은 축적된 에너지를 손실없이 입력측으로 유입시켜 무손실 스너버 커패시터로 동작되고 입력전류를 상승시키게 된

다. 그 결과 입력전류의 고조파 성분이 감소되어 역률을 증대시키는 특징이 있다.

2.2 동작원리 해석

그림 4는 스위칭 1주기(T_c)에 대한 동작모드별 등가회로를 나타내고 있으며 4가지 동작모드로 구분된다. 공진회로부의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2 는 오프이며 공진용 커패시터 C_r 에는 정류기 출력전압 v_r 과 출력측 평활용 커패시터 전압 V_{cd} 의 합($= v_r + V_{cd}$)으로 충전되어 있다.

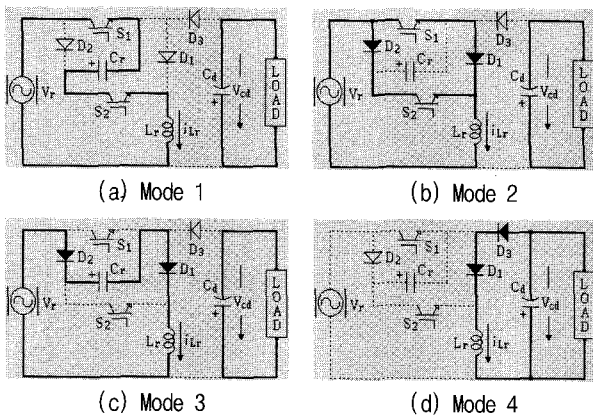


그림 4 스위칭 1주기에 대한 동작모드별 등가회로
Fig. 4 Equivalent circuits in one cycle switching

교류 입력전압 v_{in} 과 전파 정류기의 출력전압 v_r 은 다음 식으로 놓는다.

$$v_{in} = V_m \sin \omega_s t \tag{1}$$

$$v_r = |v_{in}| = |V_m \sin \omega_s t| \tag{2}$$

Mode 1 ($T_1, t_0 \sim t_1$)

시각 t_0 에서 스위치 S_1 과 S_2 를 동시에 턴-온하면, 회로경로는 $v_{r+} - S_1 - C_r - S_2 - L_r - v_{r-}$ 의 직렬 공진회로가 형성된다. 스위치 턴-온 직전의 인덕터 L_r 에 흐르는 전류 i_{Lr} 은 영이므로 S_1, S_2 는 ZCS로 동작된다. 그리고 공진에 의해 정류기 출력전압 v_r 과 커패시터 충전전압 v_{cr} 과의 합이 인덕터 L_r 에 인가되고 커패시터 C_r 은 방전한다. 공진 인덕터의 저항을 무시하면, 커패시터의 전압 v_{cr} 은 식 (3)과 같이 방전하고 인덕터에 흐르는 전류 i_{Lr} 은 식 (4)와 같이 증가한다. 커패시터 전압이 영으로 되면 이 모드는 끝나며, 식 (5)는 이 모드의 기간이고 식 (6)은 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전

류이다.

$$v_{cr} = (2v_r + V_{cd}) \cos \omega_r t - v_r \tag{3}$$

$$i_{Lr} = \frac{2v_r + V_{cd}}{X} \sin \omega_r t \tag{4}$$

$$T_1 = \sqrt{L_r C_r} \cos^{-1} \left(\frac{v_r}{2v_r + V_{cd}} \right) \tag{5}$$

$$I_1 = \frac{1}{X} \sqrt{(2v_r + V_{cd})^2 - v_r^2} \approx \frac{2v_r + V_{cd}}{X} \tag{6}$$

여기서, $\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_r C_r}}$, $X = \sqrt{\frac{L_r}{C_r}}$ 이다.

Mode 2 ($T_2, t_1 \sim t_2$)

모드 2는 커패시터 전압 v_{cr} 이 영으로 되어 다이오드 D_1, D_2 가 도통되는 모드이다. 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r 의 전류는 $S_1 - D_1, D_2 - S_2$ 의 두 회로로 분류한다. 이 모드의 기간에서 인덕터 L_r 은 에너지를 축적한다. 이 때의 인덕터 전류 i_{Lr} 은 식 (7)과 같이 직선적으로 증가한다. T_2 는 스위치 S_1, S_2 를 오프하기까지의 시간으로 식 (8)과 같다. 식 (9)는 이 모드가 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

$$i_{Lr} = \frac{v_r}{L_r} t + I_1 \tag{7}$$

$$T_2 = T_{on} - T_1 \tag{8}$$

$$I_2 = \frac{v_r}{L_r} T_2 + I_1 \tag{9}$$

Mode 3 ($T_3, t_2 \sim t_3$)

시각 t_2 에서 스위치 S_1, S_2 를 오프하면, 인덕터 L_r 의 전류 i_{Lr} 은 $D_2 - C_r - D_1$ 을 통하여 흐르고 인덕터 L_r 과 커패시터 C_r 은 다시 직렬공진을 하여 C_r 을 충전시킨다. 커패시터 C_r 과 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진 초기에서 커패시터 전압이 영이므로 ZVS로 동작된다. 이 모드의 커패시터 전압은 식 (10)과 같으며, 인덕터에 흐르는 전류는 식 (11)과 같다. 커패시터 전압 v_{cr} 이 입력전압 V_d 와 출력전압 V_{cd} 의 합으로 될 때 이 모드는 끝나며, 이 모드의 기간 T_3 은 식 (12)로 주어지고 인덕터의 최종전류 I_3 은 식 (13)과 같다.

$$v_{cr} = v_r + \sqrt{\frac{L_r}{C_r}} I_2 \sin(\omega_r t + \theta) \tag{10}$$

$$i_{Lr} = I_a \cos(\omega_r t + \theta) \quad (11)$$

$$T_3 = \sqrt{L_r C_r} \left\{ \sin^{-1} \left(\frac{v_r}{\sqrt{v_r^2 + \frac{L_r}{C_r} I_2^2}} \right) - \theta \right\} \quad (12)$$

$$I_3 = I_2 \cos \omega_r T_3 + \sqrt{\frac{C_r}{L_r}} v_r \sin \omega_r T_3 \quad (13)$$

여기서,

$$I_a = \sqrt{\frac{C_r}{L_r} v_r^2 + I_2^2}, \quad \theta = \sin^{-1} \left(-\frac{v_r}{\sqrt{v_r^2 + \frac{L_r}{C_r} I_2^2}} \right) \text{이다.}$$

Mode 4 (T₄, t₃~t₄)

모드 4는 커패시터 C_r의 충전이 끝난 후 다이오드 D₃을 통하여 인덕터 L_r의 전류가 부하측으로 유입되는 모드이다. 이때의 인덕터 전류 i_{Lr}은 직선적으로 감소하며 인덕터 전류가 영으로 되면 이 모드는 끝난다. 이 모드에서 인덕터 전류 i_{Lr}은 식 (14)와 같고 이 모드의 기간 T₄는 식 (15)와 같다.

$$i_{Lr} = -\frac{V_{cd}}{L_r} t + I_3 \quad (14)$$

$$T_4 = \frac{L_r}{V_{cd}} I_3 \quad (15)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안한 PFC 벡-부스트 컨버터의 동작특성을 확인하기 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 표 1에 나타낸다.

표 1 시뮬레이션에 사용된 회로정수
Table 1 Parameters of simulated circuit

입력전압 v _m	100V, 60Hz	평활 커패시터 C _d	1000μF
필터 인덕터 L _f	2mH	스위칭 주파수 f _c	40kHz
필터 커패시터 C _f	3μF	출력전압 V _{cd}	250V
공진 인덕터 L _r	50μH	부하저항 R _L	100Ω
공진 커패시터 C _r	50nF	듀티율 D _c	30%

제어스위치는 가변저항 스위치로 가정하고 그 외 소자는 이상적인 소자로 간주하였다. 제안된 컨버터의 스위칭 동작에 대한 각부의 시뮬레이션 동작파형을 그림 5에 나타낸다. 그림 5에는 스위칭 1주기에 대한 모

드별로 공진회로의 인덕터 전류 i_{Lr}과 커패시터 전압 v_{cr} 그리고 제어스위치의 양단전압 v_{s1}, v_{s2}와 전류 i_{s1}, i_{s2} 동작파형 등을 나타낸다. 결과파형을 검토해보면, 시각 t₀에서 스위치 S₁, S₂를 턴-온하면 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r이 방전을 시작하고 인덕터 L_r은 에너지를 축적하게 된다. 이 시점에서의 스위치 S₁, S₂를 흐르는 전류 i_s는 인덕터 전류 i_{Lr}과 같고 스위치들은 ZCS로 동작된다. 시각 t₁에서 커패시터 전압 v_{cr}이 영으로 되면 제어스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r의 전류는 직선적으로 증가하며 에너지를 축적한다. 이 시점의 인덕터 전류 i_{Lr}은 스위치 S₁과 S₂로 분류된다. 시각 t₂에서 스위치를 오프하면 다시 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r이 충전을 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S₁, S₂ 양단전압은 커패시터 전압 v_{cr}과 같고 스위치들은 ZVS로 동작한다. 시각 t₃에서 커패시터 전압 v_{cr}은 입력전압 v_r과 출력전압 V_{cd}의 합으로 되고 인덕터 전류 i_{Lr}은 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소하여 시각 t₄에서 영으로 된다.

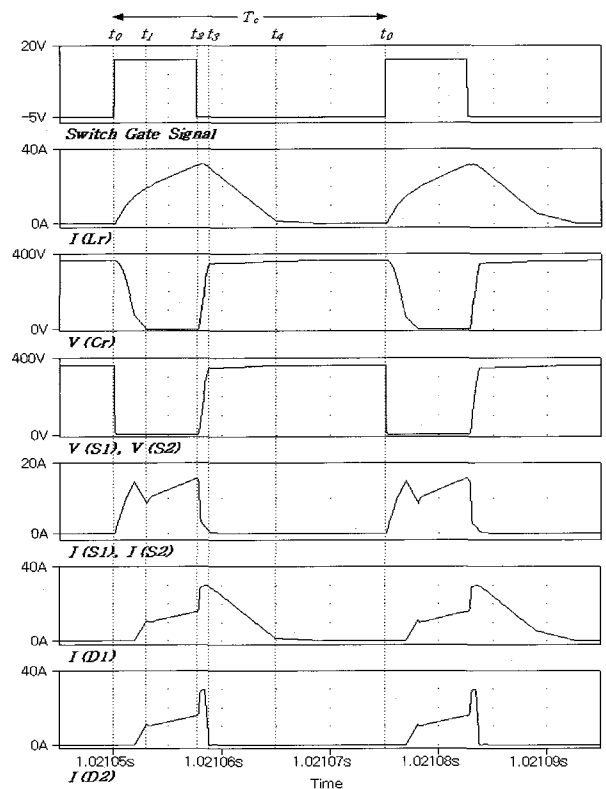


그림 5 스위칭 동작에 대한 시뮬레이션 파형
Fig. 5 Simulation waveforms in switching one cycle

그림 6과 그림 7은 기존의 PFC 컨버터[그림 1]와 제안된 PFC 컨버터에 대해 동일한 회로정수 및 조건에서 측정된 입력전압과 입력전류 파형 그리고 입력전류에 대한 고조파 성분을 분석하기 위한 주파수 스펙트럼을 보인다. 제안된 PFC 컨버터는 공진용 스너버 커패시터의 충전전류가 입력측으로 유입되어 인덕터에 인가되므로 그림 7처럼 입력전류는 제로부근에서 상승된 형태를 보이며 더욱 정현파에 가깝게 된다. 그 결과 주파수 스펙트럼분석과 같이 제안된 PFC 컨버터의 기본파 성분이 기존의 컨버터보다 높게 주어진다.

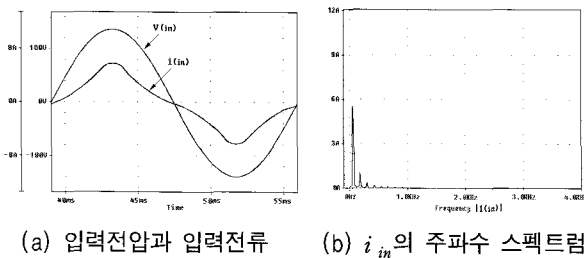


그림 6 기존의 PFC 컨버터의 파형분석
Fig. 6 Waveform analyses of conventional PFC converter

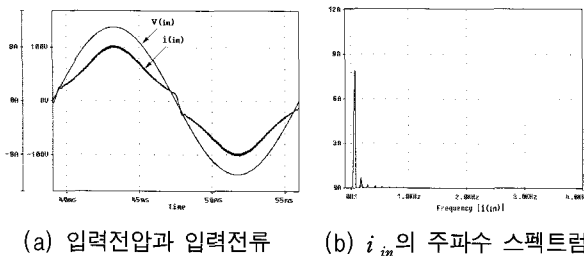


그림 7 제안된 PFC 컨버터의 파형분석
Fig. 7 Waveform analyses of proposed PFC converter

4. 실험결과 및 검토

실험회로 구성은 전력용량 1.0[kW]급으로 하여 사용된 입력전원과 수동소자들의 변수들은 표 1에 주어진 값들을 기준하여 설계되었다. 전력용 스위치는 IGBT(Fairchild사, HGT 1N40N60A4D)를 사용하였고 다이오드는 고속 역회복용 FRD(NIE사, KSF30A60E)를 사용하였다. 제어스위치의 구동 스위칭 주파수는 40[kHz]를 기준하여 DSP프로세서에 PWM 데이터 테이블을 작성하여 듀티율 변화에 따른 각부 동작파형들을 측정 검증하였다. 그림 8은 부분공진과 소프트 스위칭동작을 확인하기 위해 듀티율 30[%]의 스위칭 1주기에 대한 인덕터 전류 i_{Lr} , 커패시터 전압 v_{cr} , 그리고 스위치 전류 i_s , 스위치 양단전압 v_s 를 나타낸다. 그림 8(a)에서

공진동작은 공진 1주기 동안 지속적으로 이뤄지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프에서 부분적인 공진동작을 볼 수 있으며, 이러한 동작에 의해 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 줄이고, 출력전류가 증가할 경우 공진손실이 감소된다. 그리고 그림 8(b)에서 제어스위치들은 부분공진 동작에 의해 영전류에서 턴-온되고 영전압에서 턴-오프되는 소프트스위칭 동작을 보인다. 이것은 무손실 스너버 회로가 적용된 제안된 벡-부스트 컨버터가 기존의 하드 스위칭 벡-부스트 컨버터와 비교하여 스위칭 손실이 적게 되어 컨버터의 효율을 증대시켰다. 또한 스위치들은 dv/dt , di/dt 의 영향이 없으므로 EMI 등의 전자유도 잡음이 나타나지 않았다. 이상의 실험파형들은 스위칭 주파수 40[kHz], 듀티율 30[%]에 대한 앞서의 시뮬레이션결과와 잘 일치된다.

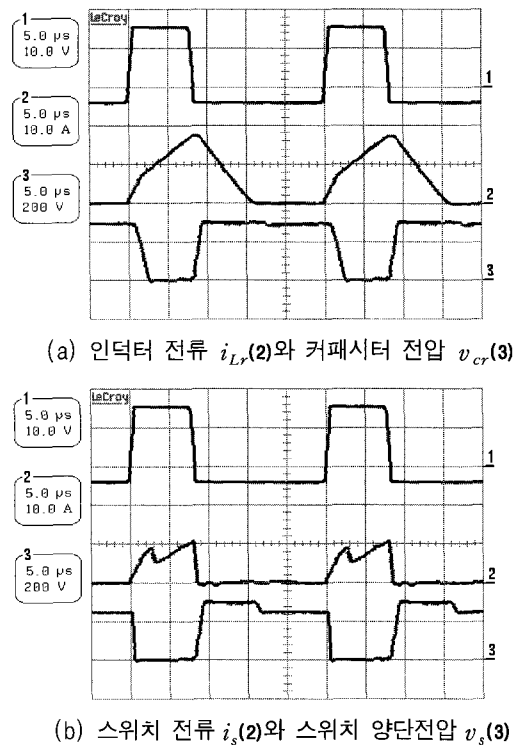
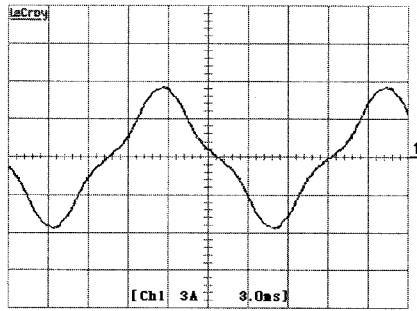
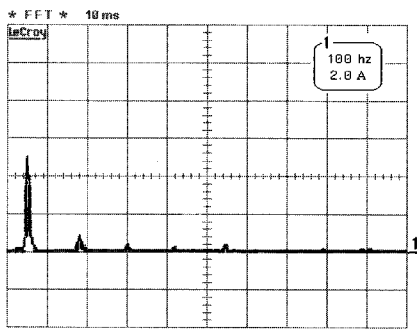


그림 8 스위치 제어신호(1)에 대한 각 부의 실험파형
Fig. 8 Experimental waveforms of each part for switching control signal (1)

입력전류 파형을 분석하기위해 그림 9와 그림 10에 기존의 PFC 컨버터와 제안된 PFC 컨버터의 입력필터를 통한 입력전류 i_{in} 의 파형과 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼을 각각 나타낸다. 제안된 PFC 컨버터가 기존의 PFC 컨버터보다 기본파성분은 증대되고 고조파성분이 감소된 결과를 보인다.

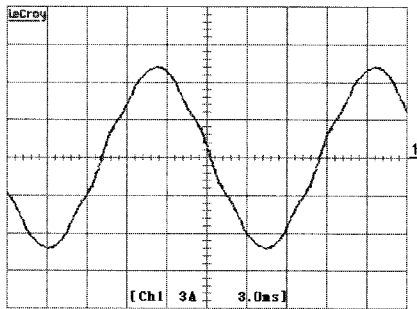


(a) 입력전류 i_{in}

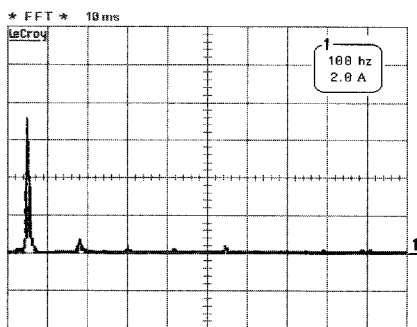


(b) 입력전류의 주파수 스펙트럼

그림 9 기존의 PFC 컨버터의 입력전류 파형분석
Fig. 9 Waveform analyses of conventional PFC converter



(a) 입력전류 i_{in}



(b) 입력전류의 주파수 스펙트럼

그림 10 제안된 PFC 컨버터의 입력전류 파형분석
Fig. 10 Waveform analyses of proposed PFC converter

그림 11에는 시비율 변화에 대한 전고조파율(THD)의 변화를 기존의 컨버터와 제안된 컨버터에 대해 각각 나타낸다. 여기서 고조파분석은 9차 고조파까지 고려한 것이다.

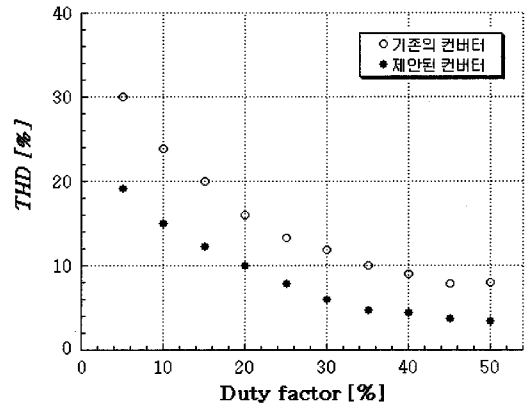


그림 11 시비율에 대한 전고조파율의 변화
Fig. 11 Relationship between THD and D_c

이상의 실험과형들은 앞서의 이론적 해석과 스위칭 주파수 40[kHz]에 대한 컴퓨터 시뮬레이션 결과들과 잘 일치된다.

제안된 PFC 컨버터와 기존의 PFC 컨버터에 대한 PWM에 의한 듀티율 변화에 따른 입력역률의 변화를 그림 12에 나타낸다. 제안된 컨버터가 듀티율의 증가에 따른 높은 입력역률을 보인다. 이것은 공진용으로 사용된 스너버 커패시터의 충전전류가 손실 없이 입력 측으로 유입되기 때문이다.

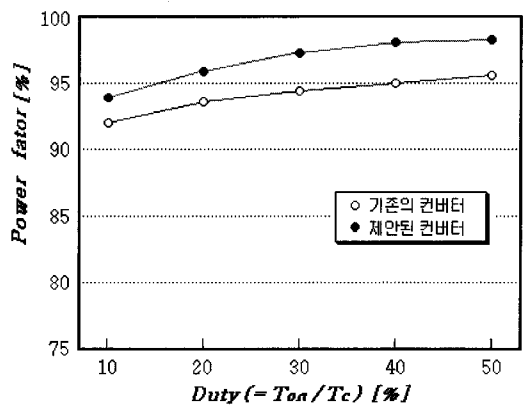


그림 12 듀티율 변화에 대한 입력역률의 변화
Fig. 12 Relationship between input PF and duty cycle

그림 13은 제안된 컨버터와 기존의 컨버터에 대한 출력용량 변화에 따른 효율측정 비교를 나타낸다. 소

프트 스위칭으로 동작되는 제안된 컨버터가 스너버 회로를 장착한 기존의 컨버터보다 상당한 효율증대를 보였다. 이것은 기존의 컨버터의 경우 출력용량의 증가와 더불어 스너버의 손실이 증대되었기 때문이다.

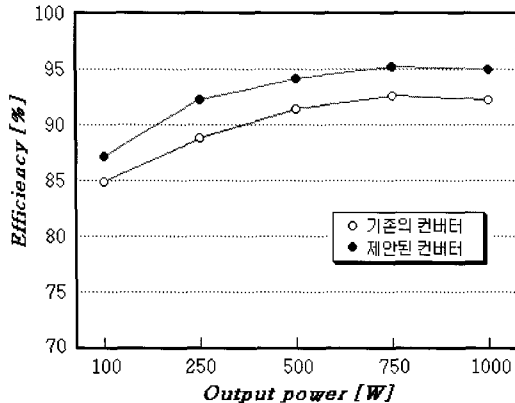


그림 13 효율측정 비교

Fig. 13 Measured efficiency comparison

5. 결 론

본 논문에서는 새로운 소프트 스위칭형 PFC 벡-부스트 AC-DC 컨버터를 제안하여 기존의 PFC 컨버터와 비교 검토하였다. 제안된 PFC 컨버터는 기존의 컨버터에 스위치 보호용으로 사용되는 스너버 회로를 소프트 스위칭을 위한 부분공진회로로 변형 설계한 새로운 회로 토폴로지를 개발하였으며 입력전류 불연속제어에 의한 제어방식이 용이하였다. 그리고 소프트 스위칭에 의해 기존의 PFC 컨버터에 나타나는 스너버 손실이 없고 부분적인 공진동작에 의해 컨버터의 효율을 증대시켰다. 특히 출력용량의 증가와 더불어 기존의 컨버터와 비교해서 효율의 차이가 크게 나타났다. 또한 제안된 PFC 컨버터는 전류불연속모드의 듀티율 일정 제어에 의해 입력전류를 정현파 입력전압의 크기에 비례한 불연속적인 펄스열의 정현파상으로 만들어 입력역률을 상승시켰으며, 특히 공진용 스너버 커패시터의 저장된 에너지의 입력측 유입으로 인해 저차 고조파성분이 감소되어 입력역률이 더욱 증대되었다.

참 고 문 헌

[1] O. Garcia, J. A. Cobos, R. Prieto, P. Alou, and J. Uceda, "Single phase power factor correction: A survey", IEEE Trans. on PE, Vol. 18, No. 3, pp. 749-755, 2003.

- [2] Q. Zhao, M. Xu, F. C. Lee, and J. Qian, "Single-Switch Parallel Power Factor Correction AC-DC Converters with Inherent Load Current Feedback", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No.4, pp. 928-936, 2004.
- [3] W. Guo, and P. K. Jain, "A Low Frequency AC to High Frequency AC Inverter with Build-In Power Factor Correction and Soft-Switching", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 2, pp. 430-442, 2004.
- [4] Y. Jang, M. Jovanovic, and D. L. Dillman, "Soft-Switched PFC Boost Rectifier With Integrated ZVS Two-Switch Forward Converter", IEEE Trans. on PE, Vol. 21, No. 6, pp. 1600-1606, 2006.
- [5] K. Nishimura, K. Hirachi, E. Hiraki, N. A. Ahmed, H. W. Lee, and M. Nakaoka, "Advanced Three-Phase PFC Power Converter with Three-Phase Diode Rectifier and Four-Switch Boost Chopper", Journal of Power Electronics, Vol. 6, No. 4, pp. 356-365, 2006.
- [6] D. K. Kwak, C. S. Kim, J. S. Shim, C. S. Kim, and H. W. Lee, "A Novel Step-up AC-DC Converter with PFC by Discontinuous Current Control", Journal of KIPPE, Vol. 11, No. 2, pp. 142-148, 2006.
- [7] D. Sadarnac, W. Abida, "The double discontinuous mode operation of a converter: A method for soft switching", IEEE Trans. on PE, Vol. 19, No. 2, pp. 453-460, 2004.
- [8] K. S. Leung, and S. H. Chung, "A comparative study of boundary control with first and second-order switching surfaces for buck converters operating in DCM", IEEE Trans. on PE, Vol. 22, No. 4, pp. 1196-1209, 2007.
- [9] D. K. Kwak, "A Study on Buck-Boost DC-DC Converter of Soft Switching", Journal of KIPPE, Vol. 12, No. 5, pp. 394-399, 2007.

저 자 소 개



곽동길(郭東杰)

1964년 11월 11일생. 1990년 경남대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1991년 한국전기연구원 기술원. 1997년 거창기능대학 전기계측제어과 전임강사. 1998년~2007년 한중대 전기전자공학과 조교수. 2007년~현재 강원대 방재기술전문대학원 조교수. 당 학회 협력이사.