Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 19, No.7, pp. 45~52 November 2005

논문 19-7-8

고역률 고효율 승압형 AC-DC 컨버터

(Boost AC-DC Converter of High Power Factor and High Efficiency)

곽동걸* · 김춘삼 · 박하용 · 심재선 · 심상흥

(Dong-Kurl Kwak · Choon-Sam Kim · Ha-Yong Park · Jae-Sun Shim · Sang-Heung Shim)

요 약

본 논문은 전류불연속 제어에 의한 고역률, 고효율로 동작되는 승압형 AC-DC 컨버터에 대해 연구된다. 전류불연속 제어 컨버터는 제어회로 구성이 간단하고 구성소자의 수를 줄일 수 있는 장점을 가진다. 제안된 컨버터의 입력전류는 듀티율 일정제어에 의한 교류 입력전압의 크기에 비례된 불연속적인 정현파 형태로 된다. 그 결과 입력역률은 거의 단위역률로 주어지며 듀티율 일정제어에 의해 제어기법이 간단하다. 또한 제안된 컨버터의 스위칭 소자들은 부분공진 기법에 의해 소프트 스위칭 동작으로 되어 스위칭 손실이 매우 낮으며 컨버터의 효율을 증대시킨다. 부분공진 회로부는 승압용으로 사용된 인덕터와 무손실 스너버 커패시터에 의해 설계되어 컨버터의 회로 토폴로지가 간단하다. 제안된 컨버터는 컴퓨터 시뮬레이션과 실험결과에 의해 그 타당성이 입증된다.

Abstract

This paper is studied on boost AC-DC converter of high power factor and high efficiency for discontinuous current control. The converter operated in discontinuous current control eliminates the complicated circuit control requirement, and reduces a number of components. The input current waveform in proposed circuit is got to be a discontinuous sinusoidal form in proportion to magnitude of ac input voltage under the constant duty cycle switching. Therefore, the input power factor is nearly unity and the control circuit is simple. Also the switching devices in a proposed circuit are operated with soft switching by the partial resonant method. The result is that the switching loss is very low and the efficiency of system is high. The partial resonant circuit makes use of a inductor using step up and loss-less snubber capacitor. The circuit topology of the converter is simplified. Some simulative results on computer and experimental results are included to confirm the validity of the analytical results.

Key Words : Boost converter, Discontinuous sinusoidal form, Loss-less snubber capacitor

* 주저자 : 한중대학교 전기전자공학과 조교수
Tel : 033-520-9320, Fax : 033-521-9407
E-mail : dkkwak@donghae.ac.kr
접수일자 : 2005년 6월 28일
1차심사 : 2005년 8월 16일, 2차심사 : 2005년 8월 23일
심사완료 : 2005년 9월 6일

1. 서 론

전력변환 장치에서 정류회로는 일반적으로 커패시터 입력형 정류회로가 많이 사용되어져 왔다. 이러한 회로의 입력전류는 입력전압의 피크 부분에서

흐르는 펄스형으로 되어 입력역률이 낮으며 많은 고조파성분이 포함된 전류로써 전원계통에 나쁜 영향을 주게 되어 심각한 문제가 된다[1]. 이러한 관점에서 정류회로의 역률개선과 고조파 제어 등의 파형개선이 중요한 과제로 된다[2]. 이를 해결하기 위해 입력단 정류회로에 승압 초퍼를 접속해서 입력전류를 정현파상으로 제어하여 파형개선을 이루고 입력역률을 단위역률로 개선하는 역률개선형(PFC : Power Factor Correction)컨버터들이 많이 연구되고 있다[3-5]. 그러나 이들 컨버터들은 구성소자의 수가 증대되어 변환기의 효율을 상당히 감소시키고, 각 부에 사용되는 스위치들의 제어기법이 복잡하고 난이한 문제점들이 나타난다. 따라서 본 논문에서 제안되는 승압형 AC-DC 컨버터는 부분공진의 기법[6]을 적용하여 승압과 소프트 스위칭을 동시에 이루어지는 회로구조로 설계되어 역률과 효율을 개선시키고 앞서의 문제점을 개선한다. 컨버터들에 사용되는 스위치 보호용 스너버 커패시터를 제안된 컨버터에서는 부분공진 회로소자로 대용되며 커패시터에 축적된 에너지는 공진동작에 의해 전원측으로 회생되는 무손실 스너버 커패시터로 동작된다. 또한 제안된 컨버터와 기존에 연구된 무손실 스너버를 이용한 고효율 컨버터[6]와 효율 측정결과가 검토되고, 제안된 컨버터의 다이오드 손실저감에 따른 효율증대의 효과를 제시한다.

2. 제안된 승압형 AC-DC 컨버터

기존에 이용되는 하드 스위칭에 의한 고역률 승압형 AC-DC 컨버터를 그림 1에 나타낸다.

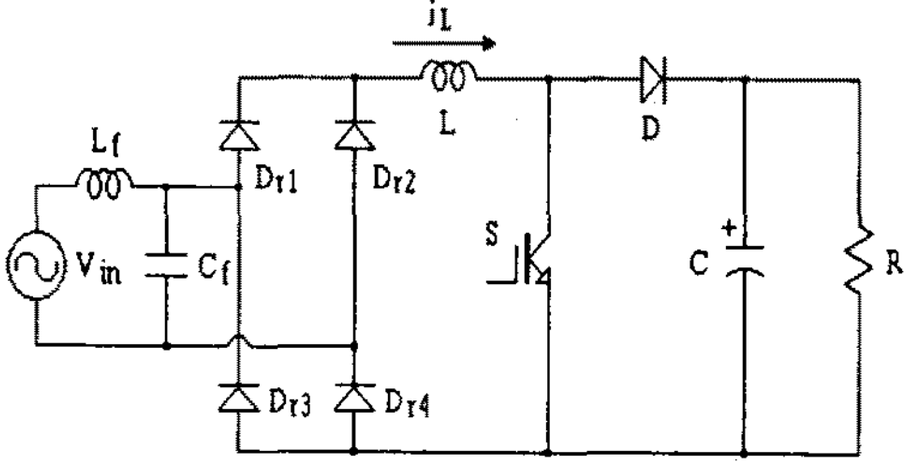


그림 1. 기존의 하드 스위칭 고역률 승압형 컨버터
Fig. 1. A conventional boost AC-DC converter of high power factor for hard switching

그림 1과 같은 전력용 제어소자를 포함한 능동형 컨버터에 있어, 파형개선 및 역률개선에 대한 초퍼 제어방식으로는 사용된 인덕터의 전류를 연속모드로 제어하는 방식(CCM : Continuous Conduction Mode)과 불연속모드로 제어하는 방식(DCM: Discontinuous Conduction Mode)이 있다[3][4]. CCM제어방식은 출력전압과 전류를 검출해서 PWM 제어에 의한 입력전류를 정현파상으로 제어하는 방식으로써 그 제어가 복잡하고 사용된 제어용 능동소자들은 높은 전압과 전류에서 동작되므로 소자들의 스트레스가 증대된다. 한편 DCM 제어방식은 그림 2와 같이 인덕터 전류를 불연속으로 제어하는 방식으로 스위치의 듀티율 일정 제어에 의해 정현파 입력전압의 크기에 비례해서 입력전류를 정현파상으로 만들어 역률을 개선시키는 방식으로 제어방식이 간단하고 스위치의 턴-온 동작은 영전류에서 이루어져 스위치의 턴-온 손실이 없는 장점이 있다. 또한 고주파 스위칭 동작이 가능하여 필터 설계를 소형화할 수 있다[7].

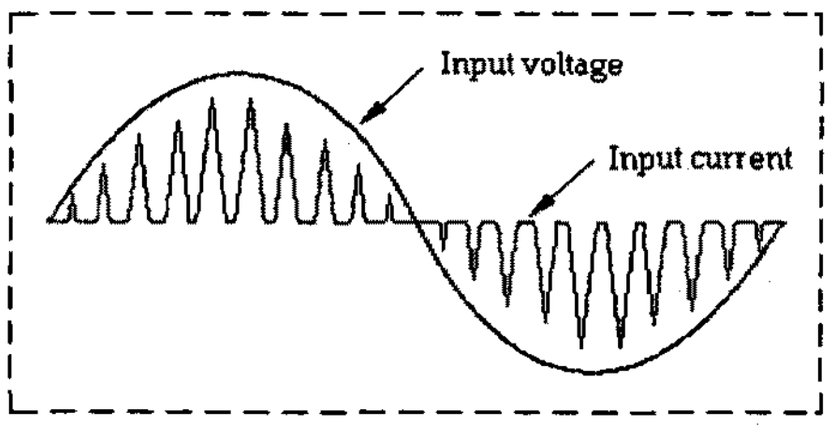
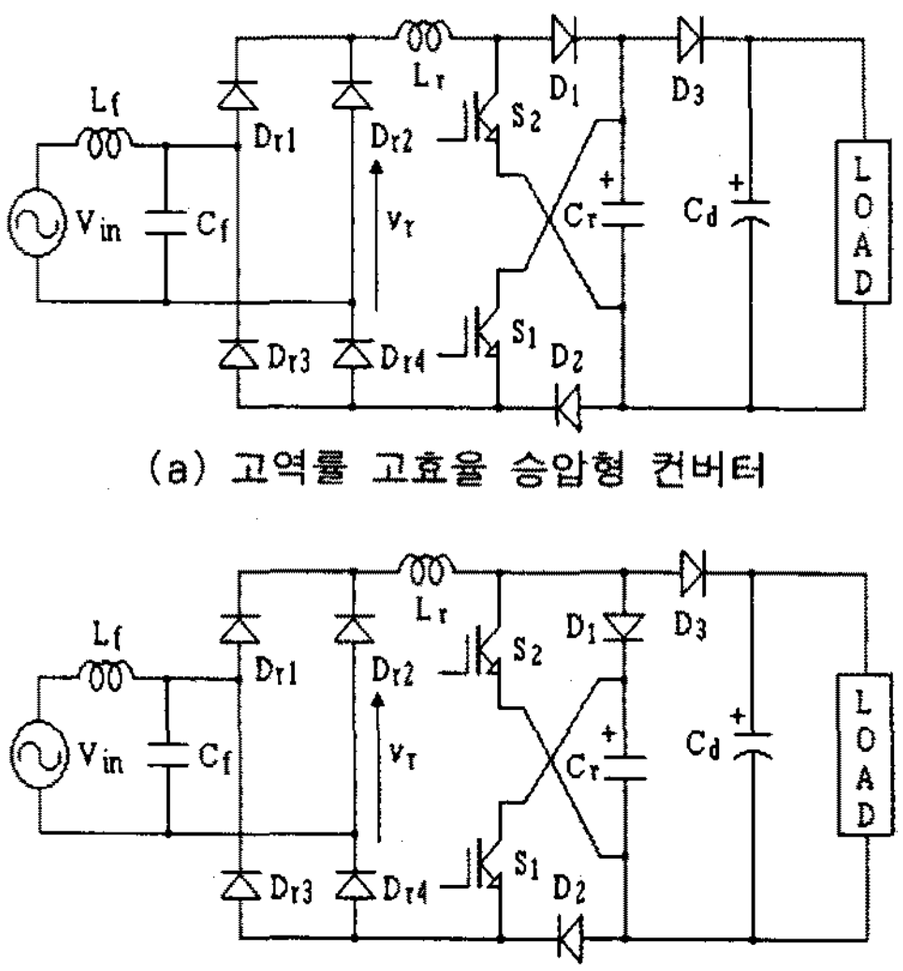


그림 2. 전류불연속 제어에 의한 입력전류 파형
Fig. 2. Waveform of input ac current with DCM

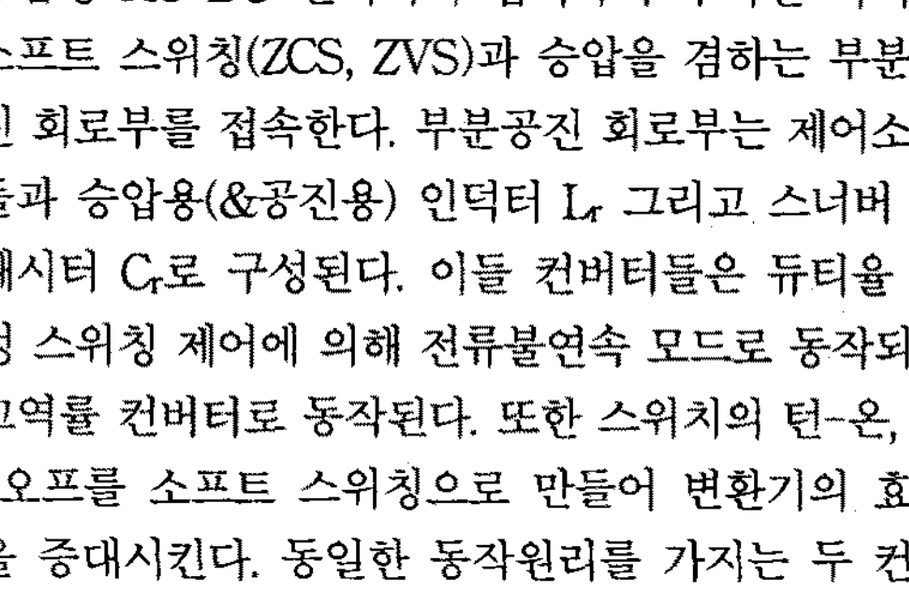
한편 사용된 제어 스위치의 동작을 보면 스위치의 턴-온 동작은 인덕터의 전류가 영에서 이루어져 영전류 스위칭(ZCS : Zero Current Switching)으로 되나 턴-오프 동작은 높은 전류에서 동작되는 하드 스위칭(hard switching)으로 되어 스위치의 손실 증대 및 자기유도 잡음 등이 나타난다. 대부분의 컨버터들은 이를 개선하기위해 스너버 회로를 이용하여 보완하지만 스위칭 손실에 상당하는 스너버 손실이 있으므로 스위칭 주파수의 증가와 더불어 컨버터의 효율이 감소되는 문제점이 있다. 본 논문에서는 이를 개선시키는 회로 토폴리지를 개발하여 고역률 고효율로 동작되는 컨버터를 제안한다.

2.1 회로 토폴로지 및 개요

기존의 고역률 승압형 AC-DC 컨버터에서 나타난 효율감소의 문제점을 해결하고 더욱 높은 역률을 얻을 수 있는 무손실 스너버를 이용한 고역률 고효율 승압형 AC-DC 컨버터를 그림 3에 제안한다.



(a) 고역률 고효율 승압형 컨버터



(b) 개선된 고역률 고효율 승압형 컨버터

그림 3. 고역률 고효율 승압형 AC-DC 컨버터
Fig. 3. Boost AC-DC converters of high power factor and high efficiency

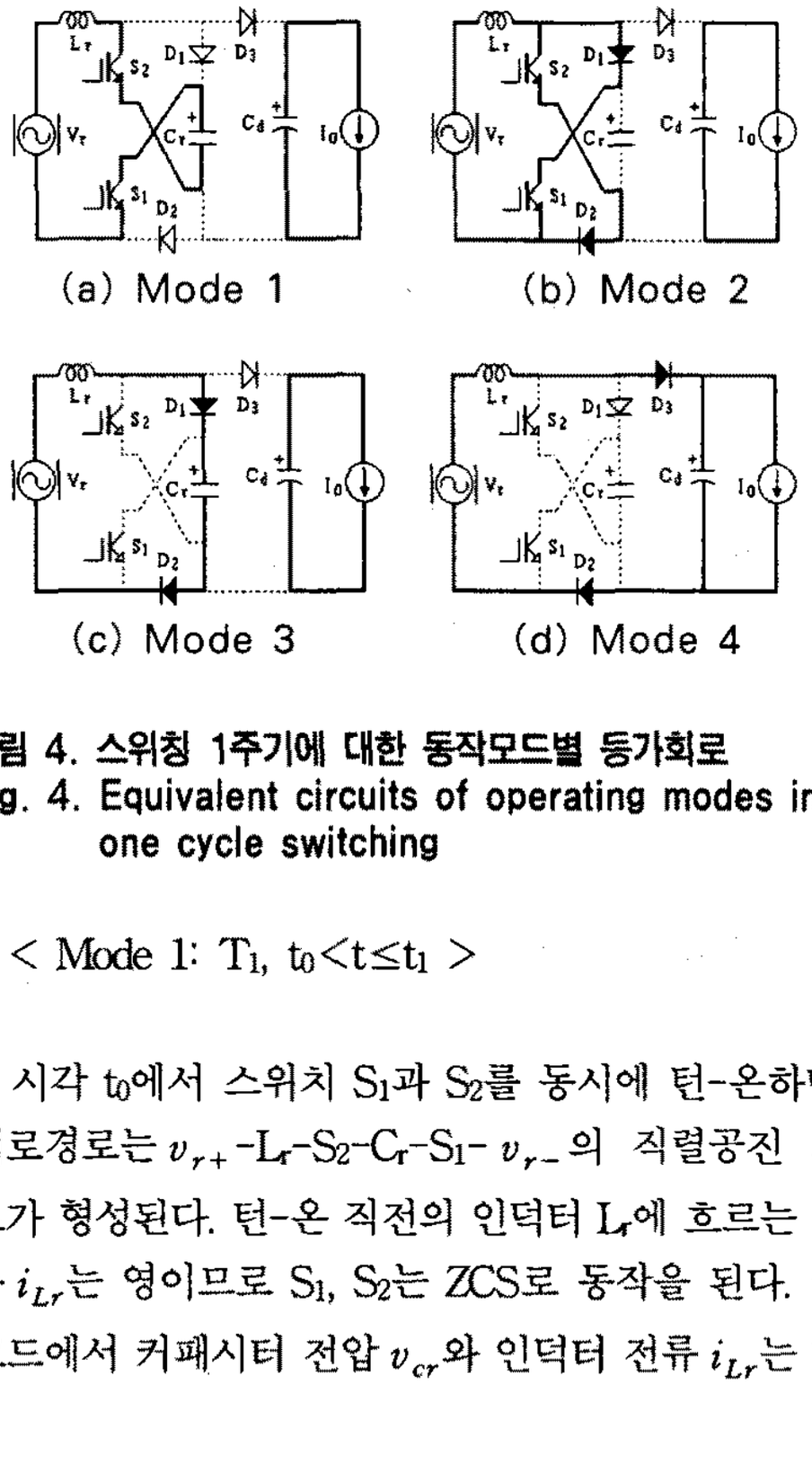
이들 두 컨버터의 회로구성은 기존의 하드 스위칭 승압형 AC-DC 컨버터의 입력측과 부하단 사이에 소프트 스위칭(ZCS, ZVS)과 승압을 겸하는 부분공진 회로부를 접속한다. 부분공진 회로부는 제어소자들과 승압용(&공진용) 인덕터 L_r 그리고 스너버 커패시터 C_r로 구성된다. 이들 컨버터들은 듀티율 일정 스위칭 제어에 의해 전류불연속 모드로 동작되어 고역률 컨버터로 동작된다. 또한 스위치의 턴-온, 턴-오프를 소프트 스위칭으로 만들어 변환기의 효율을 증대시킨다. 동일한 동작원리를 가지는 두 컨버터에 있어, 인덕터 L_r 전류의 부하측 유입모드에 대해 그림 3(b)의 컨버터가 다이오드 D_1의 손실이 발생되지 않아 효율개선의 효과를 가진다. 공진용 소자로 사용된 스너버 커패시터는 부분공진 동작에 의해 축적된 에너지를 전원측으로 유입시켜 무손실 스너버 커패시터로 동작하며, 이에 따른 기존의 하드 스위칭 컨버터[그림 1]와 비교하여 불요 고조파성분이 감쇠되어 역률이 더욱 개선되는 특징이 있다.

2.2 동작모드별 회로해석

출력 부하측 인덕턴스가 공진용 인덕턴스와 비교하여 충분히 큰 것으로 가정하면, 공진 1주기 동안에는 부하를 정전류원 I_o로 보는 것이 가능하다. 그림 4는 스위칭 1주기에서의 동작모드별 등가회로를 나타낸다. 공진회로부의 초기조건으로 스위치 S_1, S_2는 오프이며, 공진용 커패시터 C_r에는 출력 커패시터 C_d의 전압 V_{cd}로 충전되어 있다. 교류입력전압 v_{in}과 전파정류기의 출력전압 v_r은 다음 식으로 놓는다.

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

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



(a) Mode 1 (b) Mode 2

(c) Mode 3 (d) Mode 4

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

< Mode 1: T_1, $t_0 < t \leq t_1$ >

시각 t_0에서 스위치 S_1과 S_2를 동시에 턴-온하면, 회로경로는 v_{r+}-L_r-S_2-C_r-S_1-v_{r-}의 직렬공진 회로가 형성된다. 턴-온 직전의 인덕터 L_r에 흐르는 전류 i_{Lr}는 영이므로 S_1, S_2는 ZCS로 동작을 된다. 이 모드에서 커패시터 전압 v_{cr}와 인덕터 전류 i_{Lr}는 다

음 식으로 된다.

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

$$i_{Lr} = \frac{v_r + V_{cd}}{X} \sin \omega_r t \quad (4)$$

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

< Mode 2 : T_2, $t_1 < t \leq t_2$ >

모드 2는 커패시터 전압이 영으로 되어 다이오드 D_1, D_2가 도통되는 모드이다. 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터의 전류는 D_1-S_1, S_2-D_2의 두 회로로 분류한다. 이 모드에서 인덕터 전류는 직선적으로 증가한다. I_1은 모드 1이 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

$$i_{Lr} = \frac{v_r}{L_r} t + I_1 \quad (5)$$

< Mode 3 : T_3, $t_2 < t \leq t_3$ >

시각 t_2에서 스위치 S_1, S_2를 오프하면, 인덕터 전류는 D_1-C_r-D_2를 통하여 흐르며 인덕터 L_r와 커패시터 C_r는 다시 직렬공진을 하여 C_r를 충전시킨다. 커패시터 C_r와 병렬로 배치된 스위치들의 턴-오프 동작은 공진초기에 커패시터의 전압이 영이므로 영전압 스위칭(ZVS: Zero Voltage Switching)으로 동작된다. 이 모드에서 커패시터 C_r의 충전전하량 Q_{T3}는 다음과 같다.

$$Q_{T3} = C_r V_{cd} \quad (6)$$

< Mode 4 : T_4, $t_3 < t \leq t_4$ >

모드 4는 커패시터 C_r의 충전이 끝난 후 다이오드 D_3를 통하여 인덕터 전류가 부하측으로 유입되는 모드이다. 이 때의 인덕터 전류는 다음 식과 같이 직선적으로 감소한다. 이 모드는 인덕터 전류가 영으로 되면 끝난다. I_3은 모드 3이 끝나는 시점의 인덕터 전류이다.

$$i_{Lr} = \frac{v_r - V_{cd}}{L_r} t + I_3 \quad (7)$$

3. 시뮬레이션 결과 및 검토

제어 스위치는 가변저항 스위치로 가정하고, 그 외 소자는 이상적인 소자로 간주하여 PSpice 프로그램에 의한 컴퓨터 시뮬레이션을 실행한 결과이다. 시뮬레이션에 사용된 회로정수들을 표 1에 나타낸다.

그림 5는 부분공진과 그에 따른 소프트 스위칭 동작을 확인하기 위하여 스위칭 주파수 40[kHz], 듀티율 30[%]인 스위칭 1주기(T_c)에 대한 각 부 시뮬레이션 파형을 나타낸다. 그림 5의 시뮬레이션 결과파형에서 공진회로는 공진 1주기 동안 지속적으로 이루어지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프 때에 부분적인 공진동작을 볼 수 있으며, 이러한 동작에 의해 공진 소자들의 용량분담과 스트레스를 줄인다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 회로정수
Table 1. Parameters of simulated circuit

입력전압 v_{in}(rms)	100[V], 60[Hz]
필터 인덕터 L_f	2[mH]
필터 커패시터 C_f	3[μF]
공진 인덕터 L_r	50[μH]
공진 커패시터 C_r	80[nF]
평활용 커패시터 C_d	1000[μF]
부하저항 R_L	100[Ω]
스위칭 주파수 f_c	40[kHz]
듀티율 $D_c(T_{on}/T_c)$	30[%]

또한 그림 5에는 각 모드의 구간에 대해서 나타내고 있으며, 시각 t_0에서 스위치 S_1, S_2를 턴-온하면 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r이 방전을 시작하고 인덕터 L_r는 에너지를 축적하게 된다. 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2를 통하는 전류 i_s는 인덕터 전류 i_{Lr}와 같으므로 스위치들은 ZCS로 동작을 한다.

시각 t_1에서 커패시터 전압 v_{cr}이 영으로 되면 제어 스위치들에 의한 단락회로가 형성되어 인덕터 L_r의 전류는 직선적으로 증가하며 에너지를 축적한다. 이 시점의 인덕터 전류 i_{Lr}는 스위치 S_1과 S_2로 분류

되므로 스위치의 도통 손실이 반으로 감소된다. 시각 t_2에서 스위치를 오프하면 다시 LC 직렬 공진회로에 의한 커패시터 C_r이 충전을 시작한다. 그리고 이 시점에서의 스위치 S_1, S_2 양단전압은 커패시터 전압과 같으므로 스위치들은 ZVS로 동작을 한다. 시각 t_3에서 커패시터 전압 v_{cr}은 출력전압 V_{cd}로 되고 인덕터 L_r의 전류 i_{Lr}는 부하측으로 유입되어 직선적으로 감소한다. 시각 t_4는 i_{Lr}이 영으로 되는 시각이다.

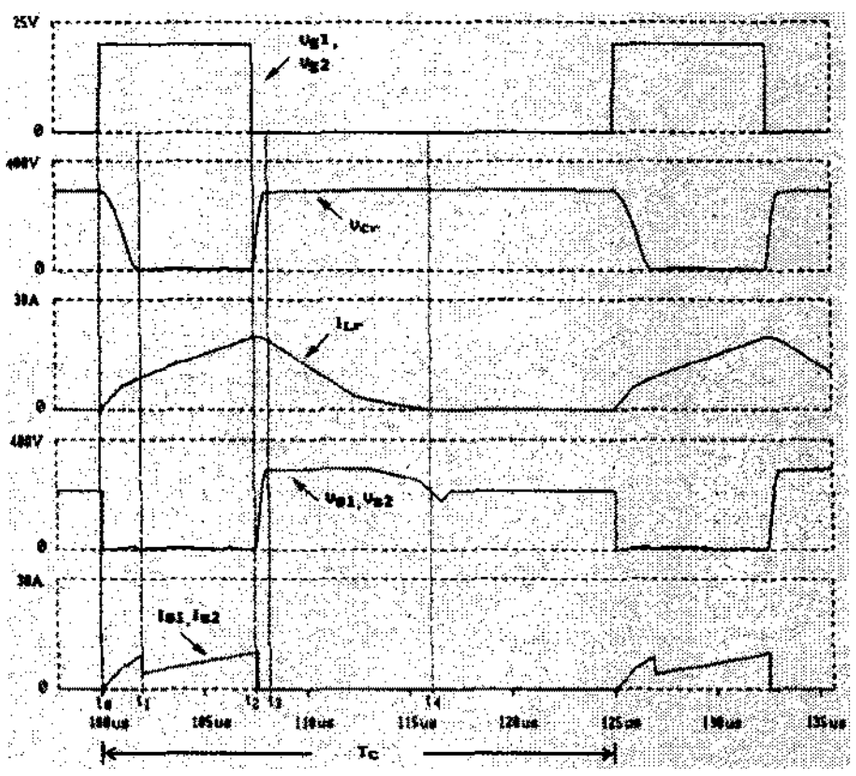
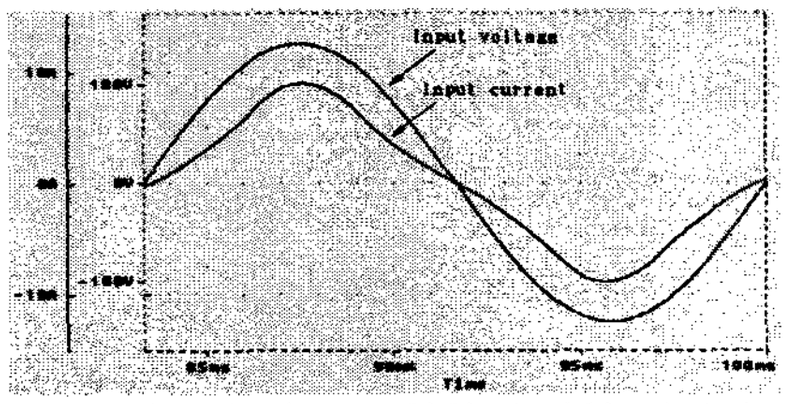


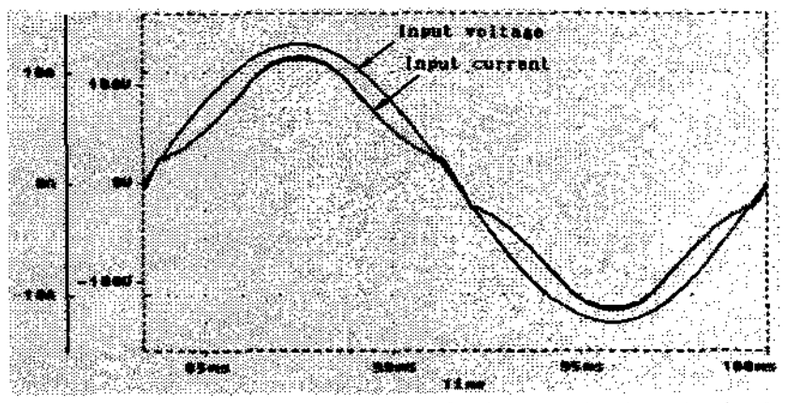
그림 5. 스위칭 1주기에 대한 각부 시뮬레이션 파형
Fig. 5. Simulation waveforms of each part in one cycle switching

그림 6은 제안한 소프트 스위칭 AC-DC 승압형 컨버터와 기존의 하드 스위칭 AC-DC 승압형 컨버터[그림 1]에 대해 동일한 입력 필터에서의 입력전압과 입력전류 파형을 나타내며, 그림 7은 각 컨버터의 입력전류에 대한 고조파 성분을 분석하기 위한 주파수 스펙트럼을 보인다.

그림 6(a)의 기존의 하드 스위칭 승압형 AC-DC 컨버터의 입력전류 파형이 제로부근에서 감소된 것은 원리적으로 3고조파성분 및 저차 고조파성분이 많이 포함된 것이라 할 수 있다. 그러나 제안된 회로에서는 공진용 스너버 커패시터의 방전전류가 전원측으로 회생되어 그림 6(b)처럼 입력전류의 제로부근을 부스트 시키므로 파형이 정현파에 더욱 가깝게 된다. 그러므로 그림 7과 같이 본 방식은 저차 고조파 성분이 감소되어 왜형률이 개선되는 특징이 주어진다. 또한 스너버 손실을 가지는 기존의 하드 스위칭 컨버터에 대해 제안된 컨버터는 무손실 스너버로 동작되므로, 동일한 듀티율에서 기존의 컨버터와 비교하여 높은 출력을 낼 수 있는 장점이 주어진다.

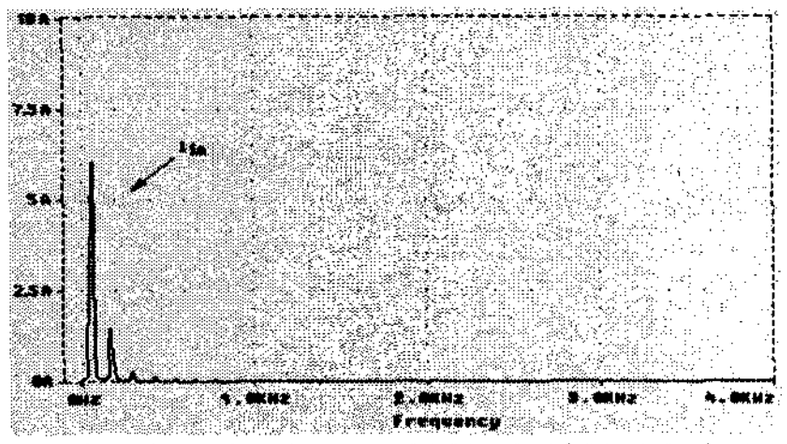


(a) 기존의 하드 스위칭 승압형 컨버터

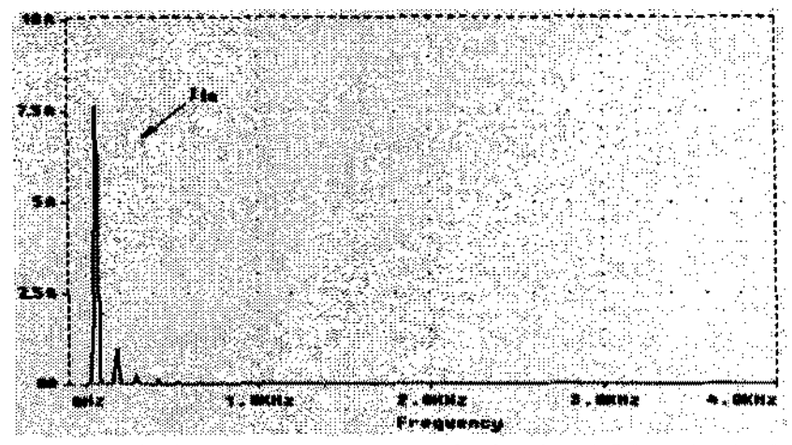


(b) 제안한 소프트 스위칭 승압형 컨버터

그림 6. 각 컨버터에 대한 입력전압과 입력전류 파형
Fig. 6. Waveforms of input voltage and input current for each converter



(a) 기존의 하드 스위칭 승압형 컨버터



(b) 제안한 소프트 스위칭 승압형 컨버터

그림 7. 입력전류에 대한 주파수 스펙트럼
Fig. 7. Frequency spectra for input currents

그림 8은 듀티율 D_c 변화에 대한 고조파율(Total Harmonic Distortion factor, THD)의 변화를 기존의 하드 스위칭 승압형 컨버터와 제안한 소프트 스위칭

승압형 컨버터에 대해 각각 나타낸다. 여기서 고조파분석은 9차 고조파까지 고려한 것이다.

그림 9는 제안된 컨버터의 공진 소자로 사용된 무손실 스너버 커패시터 C_r와 승압용 인덕터 L_r의 변화에 대한 출력전압 V_{cd}의 변화 관계를 스위칭 주파수 20[kHz]인 경우와 40[kHz]인 경우에 대한 비교 분석결과를 나타낸다. 출력전압은 스위칭 주파수의 증대와 더불어 증대된 모습을 보인다. 특히 공진용 인덕터의 변화에 대해 두드러진 변화를 나타낸다.

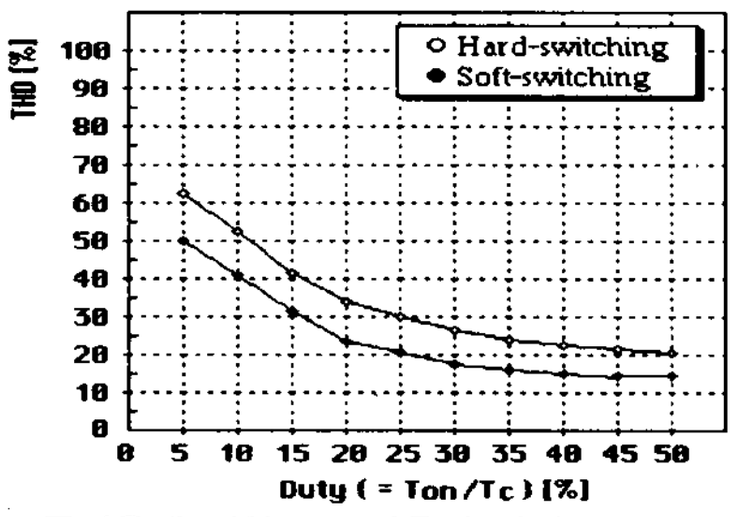
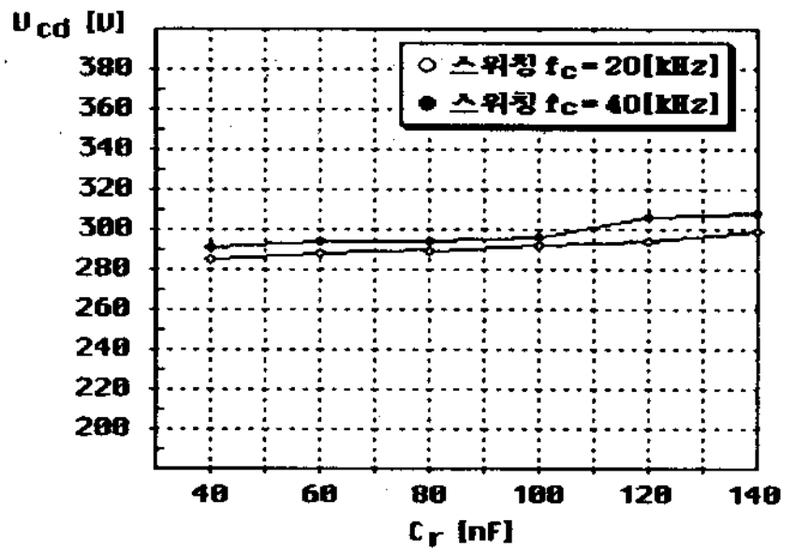
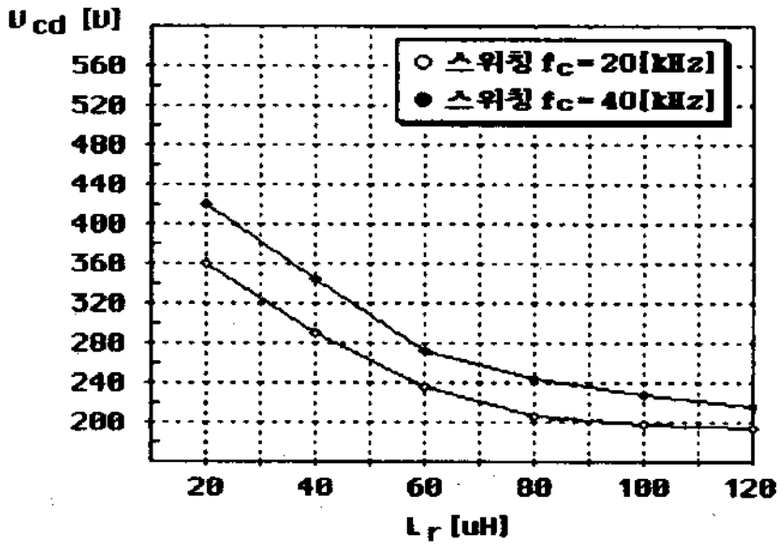


그림 8. 듀티율에 대한 고조파율의 관계
Fig. 8. Relationship between THD and D_c



(a) 커패시터 C_r와 출력전압 V_{cd}의 관계



(b) 인덕터 L_r와 출력전압 V_{cd}의 관계

그림 9. 공진용 소자에 대한 출력전압 V_{cd}의 관계
Fig. 9. Relationship between output voltage V_{cd} and capacity resonant devices

4. 실험결과 및 검토

실험회로 구성은 전력용량 1.0[kW]급으로 하여 사용된 입력전원과 수동소자들의 변수들은 표 1에 주어진 값을 기준하여 설계되었다. 그림 10은 전원 주파수의 1주기에 대한 인덕터 전류 i_{Lr}와 커패시터 전압 v_{cr}을 나타낸다. 그림 10에서 인덕터 전류는 입력전압의 크기에 비례한 정현파 형태로 나타난다.

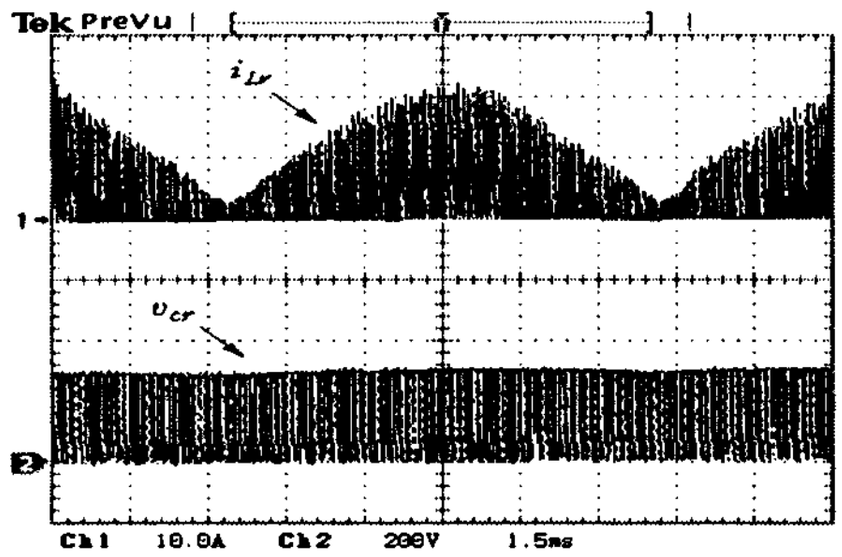
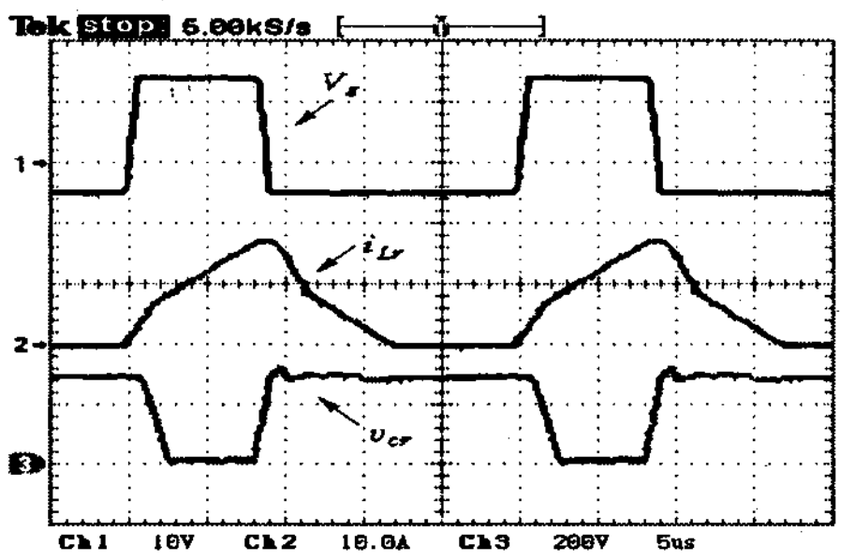
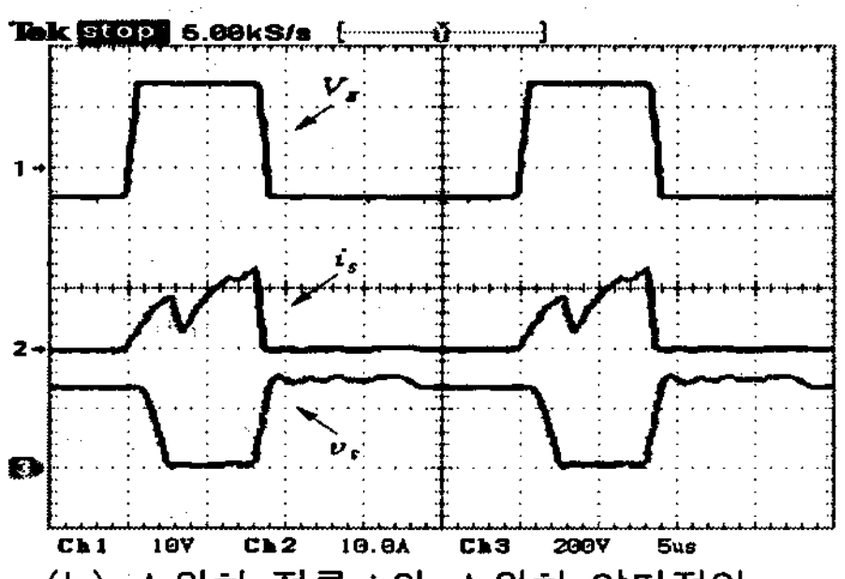


그림 10. 인덕터 전류 i_{Lr}와 커패시터 전압 v_{cr}
Fig. 10. Inductor current i_{Lr} and capacitor voltage v_{cr}



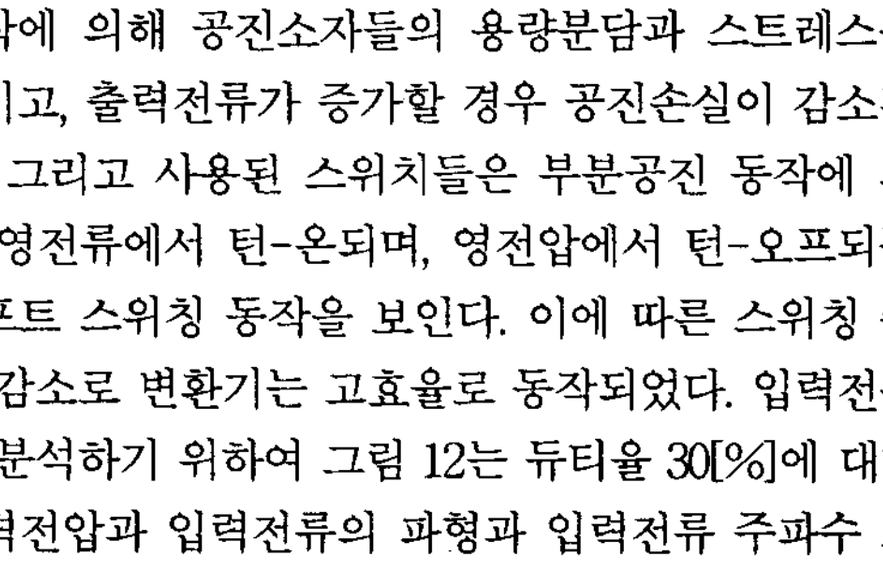
(a) 인덕터 전류 i_{Lr}와 커패시터 전압 v_{cr}



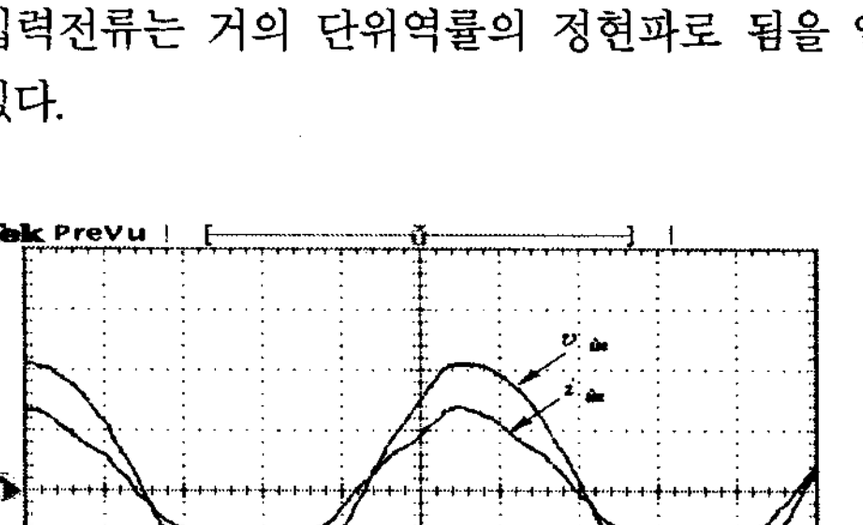
(b) 스위치 전류 i_s와 스위치 양단전압 v_s

그림 11. 스위칭 신호 V_g에 대한 각 부의 파형
Fig. 11. Waveforms in switching signal

그림 11은 부분공진과 소프트 스위칭 동작을 확인하기 위하여 스위칭 주파수 40[kHz], 듀티율 30[%]인 스위칭 신호에 대한 인덕터 전류, 커패시터 전압, 스위치에 흐르는 전류 i_s와 스위치 양단전압 v_s를 나타낸다. 실험 파형에서 공진회로는 공진 1주기 동안 지속적으로 이뤄지지 않고 스위치의 턴-온과 턴-오프 때에 부분적인 공진 동작을 볼 수 있으며 이러한 동작에 의해 공진소자들의 용량분담과 스트레스를 줄이고, 출력전류가 증가할 경우 공진손실이 감소된다. 그리고 사용된 스위치들은 부분공진 동작에 의해 영전류에서 턴-온되며, 영전압에서 턴-오프되는 소프트 스위칭 동작을 보인다. 이에 따른 스위칭 손실 감소로 변환기는 고효율로 동작되었다. 입력전류를 분석하기 위하여 그림 12는 듀티율 30[%]에 대한 입력전압과 입력전류의 파형과 입력전류 주파수 스펙트럼을 나타낸다. 이 결과에서 입력단 필터를 통한 입력전류는 거의 단위역률의 정현파로 됨을 알 수 있다.



(a) 입력전압 v_{in}과 입력전류 i_{in}



(b) 입력전류 i_{in}의 주파수 스펙트럼

그림 12. 입력전압, 입력전류 및 주파수 스펙트럼
Fig. 12. Input voltage, current and frequency spectrum

이상의 실험파형들은 스위칭 주파수 40[kHz], 듀티율 30[%]에 대한 앞서의 시뮬레이션 결과들과 잘 일치된다. 그림 13은 스위칭 주파수 40[kHz]에 의한 제안된 소프트 스위칭 AC-DC 컨버터와 기존의 하드 스위칭 AC-DC 컨버터에 대한 듀티율 변화에 따른 역률의 변화를 나타내며, 스위칭 주파수 20[kHz]에 대한 제안된 컨버터의 역률 변화를 포함하여 나타낸다. 제안된 컨버터는 듀티율의 증가에 대해 높은 입력역률을 보이며, 스위칭 주파수의 증가에 대해서도 역률증대의 효과를 가진다. 이것은 하드 스위칭 컨버터에 대해 제안된 컨버터는 공진용으로 사용된 스너버 커패시터의 방전전류가 손실 없이 전원측으로 회생되기 때문이다.

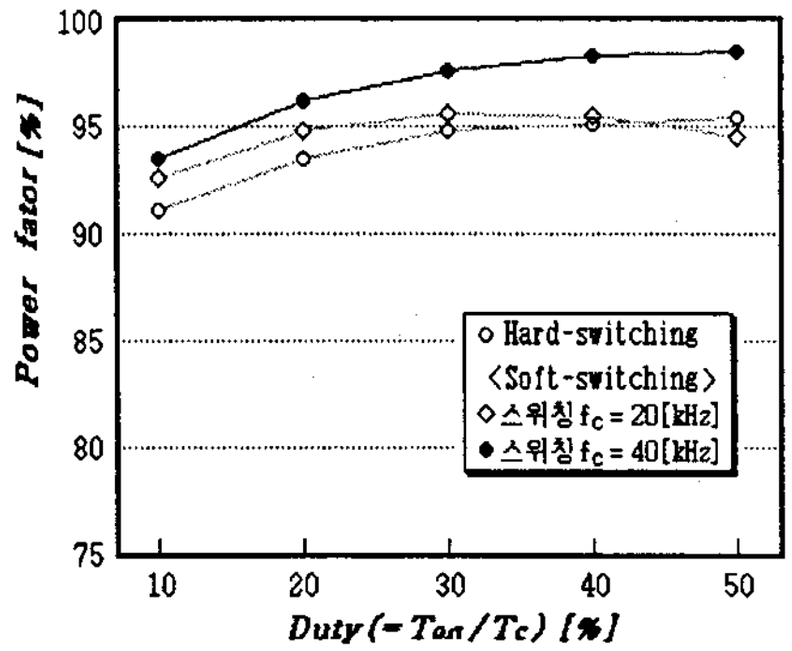


그림 13. 듀티율 변화에 대한 입력역률의 변화
Fig. 13. Relationship between input power factor and duty cycle

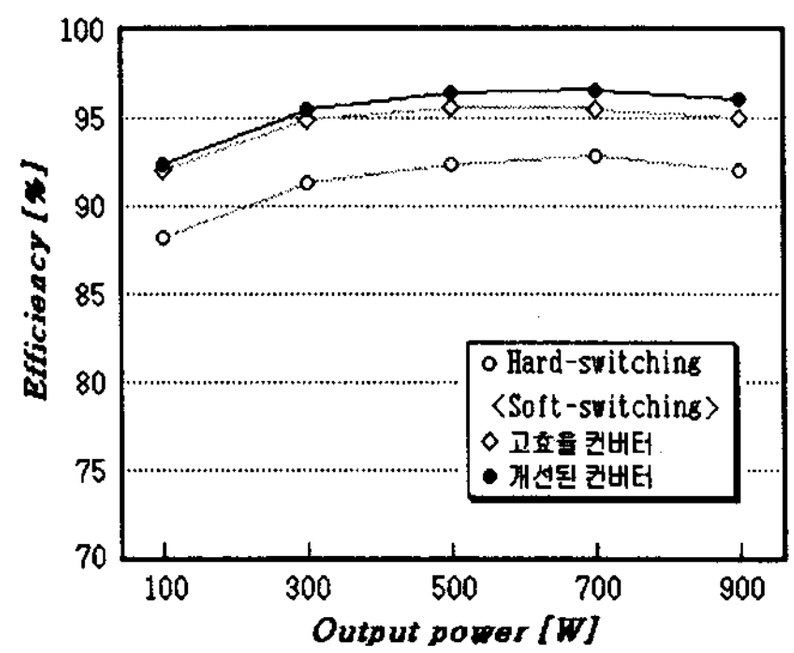


그림 14. 효율측정 비교
Fig. 14. Measured efficiency comparison

그림 14는 그림 3 (a), (b)의 무손실 스너버를 이용한 소프트 스위칭 고효율 컨버터와 하드 스위칭

컨버터에 대해 듀티율 30[%]에서 부하용량 변화에 따른 효율측정 비교를 나타낸다. 소프트 스위칭 컨버터들은 부분공진의 기법에 의해 스위칭 손실이 현저히 감소되어 효율의 증대를 보였으며, 또한 제안한 개선된 고효율 컨버터가 그림 3(a)의 고효율 컨버터보다 다이오드 D_1의 도통 손실의 감소에 의해 부하용량의 증가와 더불어 다소 상승된 효율을 보였다.

5. 결 론

본 논문에서는 개선된 고역률 고효율 승압형 AC- DC 컨버터를 제안하여 기존의 PFC 승압형 컨버터와 비교 검토되었다. 제안된 회로에 사용된 인덕터는 승압과 공진용으로 사용되고 스너버 커패시터가 공진용 소자로 이용되어 회로구조가 간단하였으며, 사용된 공진 커패시터는 무손실 스너버로 동작되었다. 또한 회로 내에 사용된 제어소자들은 적정배치로 인해 용량분담이 줄고 제어기법도 간단하였다. 부분공진 기법이 적용된 승압용 제어 스위치들은 소프트 스위칭에 의해 스위칭 손실이 저감되어 기존의 하드 스위칭 컨버터와 비교하여 효율이 증대되었다. 그리고 스위치의 듀티율 일정의 전류불연속 제어에 의해 입력전류는 불연속적인 정현파 형태의 전류로 되어 입력역률이 거의 단위역률로 되었으며 공진용 무손실 스너버 커패시터의 에너지 회생에 의해 기존의 승압형 컨버터보다 고조파성분이 상쇄되어 왜형율이 개선되는 것을 확인하였다. 또한 제안된 컨버터는 스위칭 주파수 20[kHz]와 비교되어 상당한 역률증대를 보였다.

References

[1] H. L. Huy, J. P. Ferrieux, E. Toutain, "An AC-DC Converter with Low-Harmonics Input Current", EPE, pp. 1201-1207, 1987.

[2] B. Williams, "Design of feedback loop in unity power factor ac to dc converter", IEEE PESC, Conf. Rec. pp. 959-964, 1989.

[3] M. C. Chanem, K. AL-Haddad, G. Roy, "A New Single phase Buck-Boost Converter with Unity Power Factor", IEEE IAS Conf. Rec. pp. 785-792, 1993.

[4] 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.

[5] 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.

[6] D. K. Kwak, K. Y. Suh, S. K. Kwon, H. W. Lee, "A High Efficiency DC-DC Boost Converter by Partial Resonant Switching Mode", Trans. KIEE. Vol. 45, No. 9, pp. 1272-1278, 1996.

[7] E. Silva, M. Cavalcanti, and C. B. Jacobina, "Comparative study of pulsed DC-link voltage converters", IEEE Trans. on PE, Vol.18, No. 4, pp. 1028-1033, 2003.

◇ 저자소개 ◇

곽동걸(郭東杰)
1964년 11월 11일생. 1990년 경남대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1991년 한국전기연구원 기술원. 1997년 거창기능대학 전기계측제어과 전임강사. 1998년~현재 한중대 전기전자공학과 조교수.

김춘삼(金春杉)
1960년 11월 12일생. 1984년 동아대 전기공학과 졸업. 1988년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001년 Univ. of Akron 방문연구교수. 1994년~현재 삼척대 컴퓨터제어계측공학과 교수.

박하용 (朴河鎔)
1956년 5월 2일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1982년 동국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1985년~현재 삼척대 전기공학과 교수.

심재선 (沈在先)
1950년 7월 23일생. 1973년 성균관대 전기공학과 졸업. 1979년 단국대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 성균관대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1975년~현재 삼척대 전기공학과 교수.

심상흥 (沈相興)
1941년 11월 20일생. 1965년 한양대 전기공학과 졸업. 1979년 동 대학원 졸업(석사). 2005년 강릉대 대학원 재료공학과 졸업(박사). 1974년~현재 삼척대 전기공학과 교수.