

## The Secondary LLC Series Resonant Converter for the Boost DC/DC Converter

李賢官\* · 金恩洙<sup>†</sup> · 車仁洙\*\* · 李奇植\*\*\* · 丁烽根<sup>§</sup> · 姜聲仁<sup>§§</sup>

(Hyun-Kwan Lee · Eun-Soo Kim · In-Su Cha · Gi-Sik Lee · Bong-Geun Chung · Sung-In Kang)

**Abstract** - Recently, the high frequency isolated boost DC/DC converter has been widely used for the PCS (Power Conditioning System) system because of its small size and low cost. However, the high frequency isolated boost DC/DC converters applied the conventional voltage-fed converter and current-fed converter have the problems such as the high conduction losses and the surge voltage due to the high circulating current and the leakage inductance, respectively. To overcome this problems, in this paper the secondary LLC resonant converter is proposed, and the experimental results of the secondary LLC series resonant converter for boost DC/DC converter are verified on the simulation based on the theoretical analysis and the 700W experimental prototype.

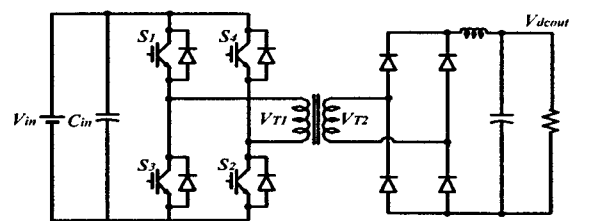
**Key Words** : PCS (Power Conditioning System), LLC (Inductor-Inductor-Capacitor) Series Resonant Converter

### 1. 서 론

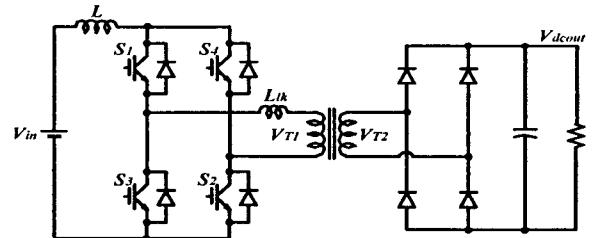
최근 화석에너지 고갈과 세계적으로 국제 석유 값 상승 등으로 태양광 발전 및 연료전지를 이용한 대체에너지 발전 시스템 기술개발이 요구되고 있다. 이러한 연료전지나 태양광을 이용한 계통연계형 발전 시스템은 일반적으로 대체에너지에서 발전된 직류전압을 비절연 승압형 DC/DC 컨버터(Boost converter)를 사용하여 높은 전압으로 승압시켜 고주파 인버터 입력전원으로 공급하고 고주파 인버터를 통해 고주파 AC 전압을 변환시킨 후 저주파 60Hz 절연형 변압기를 사용하여 계통 연계하는 시스템으로 구성되어 있다. 하지만 최근에 PCS(Power Conditioning System)는 고집적화 및 고기능화를 통해 소형화 및 단가 저감하는 추세에 있다. 따라서 PCS 시스템에 적용되는 승압형 DC/DC 컨버터 또한 소형화 및 단가저감을 위해서 고주파 승압형 DC/DC 컨버터가 꾸준히 증가되어 왔다.<sup>[1]-[3]</sup>

낮은 입력전압 (25VDC ~ 27VDC)에서 높은 출력전압 (400VDC)으로 승압하는 고주파 승압형 DC/DC 컨버터들 중 검토될 수 있는 주회로는 그림 1에 나타난 바와 같이 일반적으로 전압형 컨버터(Voltage-fed Converter)<sup>[1]-[3]</sup>와 전류형 컨버터(Current-fed converter)<sup>[4]</sup>로 나눌 수 있다. 이러한 고

주파 승압형 DC/DC 컨버터는 절연된 높은 전압으로 승압하기 위해서는 변압기의 높은 턴-수비가 필요하게 되고 이에 따라 변압기의 누설인덕턴스 증가로 순환전류에 따른 도통손실 증가와 서지 전압 등으로 직류 승압 컨버터는 낮은 효율 특성을 갖게 된다. 따라서, 본 논문에서는 이를 보완한 새로운 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터를 제안하였다. 이에 대한 이론적 해석 및 시뮬레이션을 통해 700W급 시제품을 제작하여 실험 결과에 대해 서술하였다.



(a) 풀-브리지 전압형 DC/DC 컨버터



(b) 풀-브리지 전류형 DC/DC 컨버터

그림 1 전압형 컨버터와 전류형 컨버터

Fig. 1 voltage-fed converter and current-fed converter

(a) Full-bridge voltage-fed dc/dc converter

(b) Full-bridge current-fed dc/dc converter

<sup>†</sup> 교신저자, 正會員 : 全州大 工大 電氣電子工學科 助敎授 · 工博  
E-mail : eskim@jj.ac.kr

\* 學生會員 : 全州大 工大 電氣電子工學科 碩士課程

\*\* 正會員 : 東新大 工大 水素에너지學科 敎授 · 工博

\*\*\* 學生會員 : 全州大 工大 電氣電子工學科 學部課程

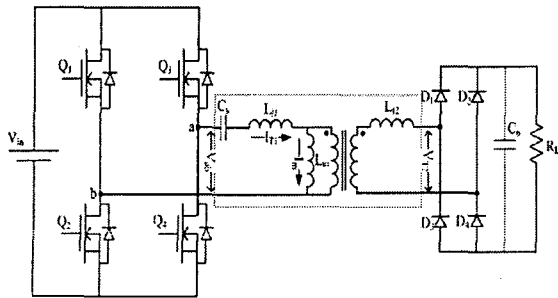
§ 學生會員 : 全州大 工大 電氣電子工學科 學部課程

§§ 學生會員 : 全州大 工大 電氣電子工學科 學部課程

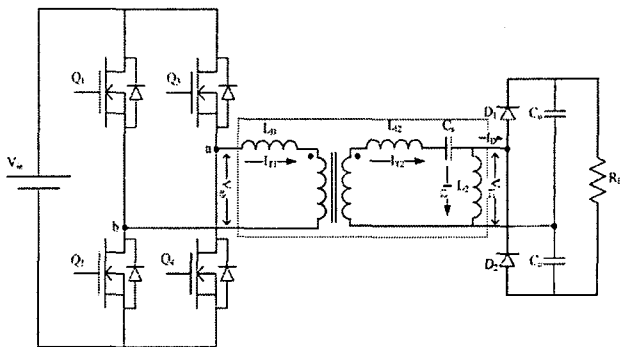
接受日字 : 2006年 5月 2日

最終完了 : 2006年 6月 20日

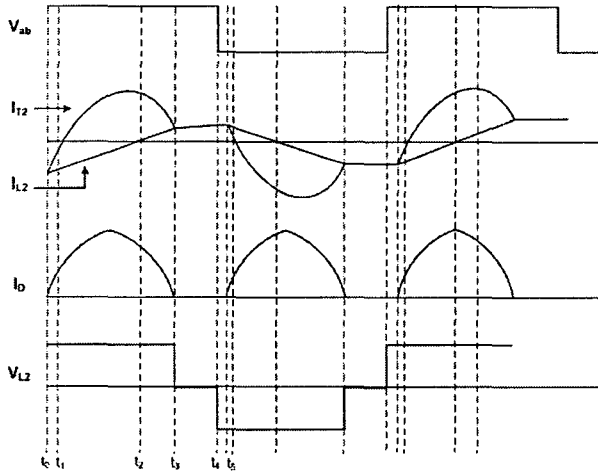
2. 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터



(a) LLC 직렬공진컨버터 주회로



(b) 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터 주회로



(c) 동작파형

그림 2 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 주회로와 동작파형

Fig. 2 The main circuit and its operating waveform of the secondary LLC series resonant converter for the boost dc/dc converter

- (a) The main circuit of the LLC series resonant converter
- (b) The main circuit of the proposed secondary LLC series resonant converter for the boost dc/dc converter
- (c) Operating waveform

본 논문에서는 승압모드와 강압모드 둘 다 동작될 수 있고, 상대적으로 좁은 주파수 제어범위에서 넓은 범위의 입·출력 전압제어를 할 수 있으며, 스위칭 동작영역에서 모든 스위칭소자들이 소프트 스위칭 할 수 있는 등의 여러 장점들을 갖고 있는 고효율 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터를 제안하였다. 제안된 LLC 직렬 공진컨버터는 고주파 스위칭 동작에 있어 몇 가지 장점을 가지고 있다. 첫째는 크기와 부피를 줄일 수 있고, 두 번째는 스위칭 손실과 고조파 성분을 줄일 수 있으며, 세 번째는 높은 효율특성을 얻을 수 있다. 하지만, 본 논문에서 적용하고자 하는 LLC 직렬 공진컨버터는 낮은 입력전원(25VDC~27VDC)에서 높은 출력전압(400VDC)으로 전압을 승압시켜 동작되므로 그림 2(a)의 LLC 직렬 공진컨버터와 같이 공진요소인 직렬 공진커패시터를 1차측에 사용하게 되면, 1차측에 흐르는 대전류로 인해 직렬공진 커패시터가 열화되어 특성이 저하될 수 있고, 커패시터 크기 증가에 따른 고집적화의 어려움 및 적용 단가상승 등 여러 문제점이 따른다.

따라서, 이러한 문제점을 개선하기 위해 본 논문에서는 그림 2(b)와 같이 LLC 직렬공진 컨버터의 공진요소를 변압기 2차측에 위치시켜 직렬공진을 위한 직렬커패시터( $C_s$ )의 크기 및 단가를 저감할 수 있었고, 변압기 자화인덕턴스( $L_m$ : Magnetizing Inductance)를 가능한 크게 하기 위해 변압기에 갭(Gap)을 두지 않았으며 1차측 누설인덕턴스( $L_{l1}$ )와 2차측 누설인덕턴스( $L_{l2}$ )를 직렬공진요소로 이용하였다. 특히, 변압기 1차측 Bridge 주 스위칭소자의 영전압 스위칭을 위한 전류를 흐르도록 하기 위해 변압기 2차측에 병렬 인덕터( $L_2$ )를 추가하여 LLC 직렬공진컨버터의 특성을 얻도록 하였다. 추가된 병렬 인덕터( $L_2$ ) 값 변화에 따라 높은 전압 이득특성을 갖게 되어 변압기의 적은 턴-수비에도 높은 출력전압을 얻을 수 있고 넓은 입력전압 범위와 모든 부하 범위에서 사용 가능한 장점을 가지게 되었다.

이와 같은 권선 방법에 의해 얻어진 변압기 2차측 등가 누설인덕턴스( $L_{l1}, L_{l2}$ )와 직렬 커패시터( $C_s$ ) 그리고 외부에 추가한 병렬 인덕터( $L_2$ )에 의해 변압기 2차측의 LLC 직렬 공진 특성을 얻었다. 본 논문에서 제안한 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터의 특성은 기존 LLC 직렬 공진컨버터의 특성과 유사하며 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터의 주회로에 대한 각 소자별 동작파형을 그림 2(c)에 나타냈다.

또한 본 논문에서 실험 적용한 회로는 그림 3(a)에서 보는 바와 같이 변압기의 손실저감과 고집적화를 위해 변압기 2개를 이용하여 변압기 1차측은 병렬로 연결하여 변압기의 크기 및 각 변압기의 1차측 전류를 1/2로 줄였고, 변압기의 2차측은 직렬로 연결하여 적은 턴-수비에서도 요구되는 출력전압을 얻을 수 있게 하였다. 또한 변압기 2차측 정류회로를 전압 더블러(Voltage Doubler)를 사용하여 변압기 2차측 외부에 추가한 병렬 인덕터( $L_2$ ) 양단전압을 1/2로 줄여 병렬 인덕터 전류 감소 및 크기를 저감할 수 있었다.

그림 3(a)는 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터에 대한 주 회로이고, 그림 3(b)는 등가회로를 나타낸 것이다. 그림 3(b)의  $V_{T2}(V_{IN} \cdot \frac{2}{N})$ 는 주스위칭 소자( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ )의 스위칭 동작에 의해서 얻어진 1차측 구형파 단자전압을 권선

비를 고려하여 2차측으로 반영한 등가전원이며,  $C_s$ 과  $\frac{1}{N^2} \cdot (L_{1n} + L_{2n}), L_{12}, L_{22}$ 는 2차측의 공진을 위한 직렬 커패시터와 턴 수비를 고려하여 2차측으로 반영한 1차측 누설인덕턴스 합과 2차측 누설인덕턴스이다. 그리고  $L_2$ 는 변압기 2차측에 추가한 병렬 인덕터이고,  $R_{eq}$ 는 부하저항, 정류다이오드 및 커패시터 필터를 등가화한 등가부하저항이다. 식(2-1)의  $L_T$ 는 변압기 등가모델을 이용하여 변압기 2차측에서 권선비( $N=n_1/n_2$ )를 고려하여 바라본 1차측 누설인덕턴스와 2차측 누설인덕턴스 및 2차측 자화인덕턴스의 관계로 등가누설인덕턴스를 얻을 수 있다. 하지만 이러한 등가누설인덕턴스( $L_T$ )는 2차측 자화인덕턴스가 권선비를 고려한 1차측 누설인덕턴스보다 크므로( $(1/N^2)L_{1n} \leq N^2L_{1m}, (1/N^2)L_{2n} \leq N^2L_{2m}$ ) 해석의 용이성을 위해 식 (2-2)과 같이 간략화 된 등가누설인덕턴스를 나타내었다.

$$R_{eq} = \frac{2}{\pi^2} R_L \quad (1)$$

$$L_T = \frac{\frac{1}{N^2} L_{1n} \cdot N^2 L_{1m}}{\frac{1}{N^2} L_{1n} + N^2 L_{1m}} + \frac{\frac{1}{N^2} L_{2n} \cdot N^2 L_{2m}}{\frac{1}{N^2} L_{2n} + N^2 L_{2m}} + L_{12} + L_{22} \quad (2-1)$$

$$\cong \frac{1}{N^2} \cdot (L_{1n} + L_{2n}) + L_{12} + L_{22} \quad (2-2)$$

그리고 본 논문에서는 그림 3(a)를 등가화한 그림 3(b)로부터 등가 부하저항이 단락일 때의 주파수 즉 공진주파수( $f_r$ )와 개방일 때의 주파수 즉 코너 주파수(Conner frequency :  $f_o$ )를 식(3)과 식(4)에 정의하였다.

$$f_r = 1/2\pi \sqrt{L_T \cdot C_s} \quad (3)$$

$$f_o = 1/2\pi \sqrt{(L_T + L_2) \cdot C_s} \quad (4)$$

규준화된 공진 주파수( $f_n$ )는 공진 주파수( $f_r$ )와 스위칭 주파수( $f_s$ )의 비이고, A는 병렬인덕턴스( $L_2$ )와 등가누설인덕턴스( $L_T$ )의 비이다. 그리고 Q는 Quality Factor이다.

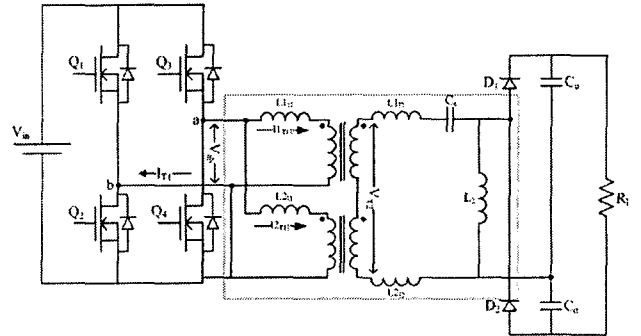
$$f_n = \frac{f_s}{f_r} \quad (5)$$

$$A = \frac{L_T}{L_2} \quad (6)$$

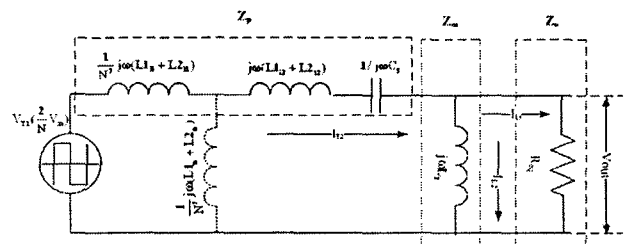
$$Q = \frac{2\pi \cdot f_r \cdot L_T}{R_{eq}} \quad (7)$$

그리고 임피던스 관계 및 위의 수식(1)~(7)를 바탕으로 얻어진 입·출력에 대한 전압이득(M) 특성은 식(8)과 같이 얻었다.

$$|M| = \left| \frac{Z_o Z_m}{Z_o Z_p + Z_m Z_p + Z_o Z_m} \right| = \left| \frac{1}{1 + A - \left(\frac{1}{f_n}\right)^2 \cdot A + jQ \left(f_n - \frac{1}{f_n}\right)} \right| \quad (8)$$



(a) 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터 주회로



(b) 등가회로

그림 3 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터 주회로와 등가회로

Fig. 3 The main circuit and its equivalent circuit of the secondary LLC series resonant converter for the boost dc/dc converter,

(a) The proposed secondary LLC series resonant converter using voltage doubler

(b) Equivalent circuit

전압이득( $M = \frac{V_{out}}{V_T}$ ) 특성식 (8)으로부터 알 수 있듯이 전

압이득은 등가누설인덕턴스인 직렬공진인덕턴스( $L_T$ )와 2차측 병렬인덕턴스( $L_2$ )의 비(A) 및 부하 Quality factor(Q)와 규준화된 공진주파수( $f_n$ ) 값에 의존한다. 이러한 경우 규준화된 공진 주파수( $f_n$ ) 및 Q 변화에 대해 전압이득(M) 변화를 알아보기 위해 식(8)을 이용하여 시뮬레이션 한 결과를 그림 4에 나타내었다. 그림 4는 등가 누설인덕턴스( $L_T$ )와 변압기 2차측 병렬인덕턴스( $L_2$ ) 비인 A가 0.4일 때 규준화된 주파수( $f_n$ )와 Q 변화에 대한 전압이득 특성 곡선이다. 등가누설인덕턴스와 병렬인덕턴스 비(A)가 클수록 즉 병렬 인덕턴스가 작아질수록 전압이득이 높아지며 스위칭 동작을 하기 위한 규준화된 공진주파수의 스위칭 범위가 협소해진다. 이러한 협소한 스위칭 주파수 범위와 높은 전압이득 특성은 병렬인

덕턴스 값이 감소하고, 병렬 인덕터에 흐르는 전류를 증가시켜 도통 손실을 증가시키는 원인이 된다. 따라서 중 부하에서도 주어진 입력 전압변동 범위에 대한 1차측 스위칭소자가 영 전압 스위칭을 이룰 수 있는 병렬 인덕턴스( $L_2$ ) 값과 병렬 인덕터 전류를 구하기 위해 A와 Q 값을 적절하게 사용해야 한다. 또한 본 논문에서 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터는 그림 4에서 볼 수 있듯이 ZVS 영역 중에서도 스위칭 동작영역이 표준화된 주파수( $f_n$ )가 1보다 낮은 주파수에서 사용하고 있으며, 이러한 경우 주스위칭 소자의 영전압 스위칭(ZVS) 뿐만 아니라 변압기 2차측 정류 다이오드의 영전류 스위칭(ZCS)을 얻을 수 있다. 그리고 2차측 정류부의 전압 더블러(Voltage Doubler)를 사용하여 변압기의 2차측 턴 수 및 병렬 인덕터의 크기와 2차측 정류 다이오드 소자 개수를 줄임으로 도통 손실을 저감할 수 있다.

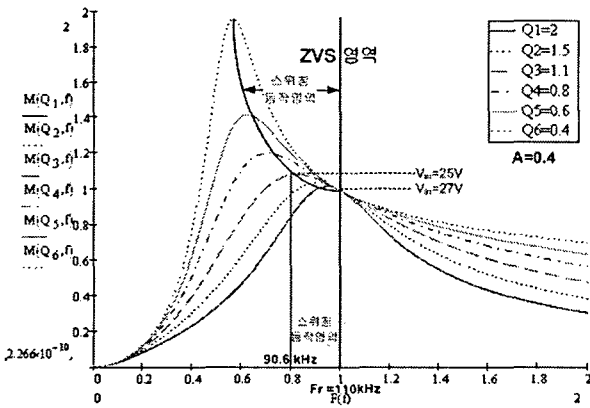


그림 4 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터의 전압이득 특성 곡선

Fig. 4 Voltage gain characteristics of the secondary LLC series resonant converter

### 3. 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터 설계

제안된 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터의 설계사양은 아래와 같다.

입력전압	$V_{in}=25\sim 27VDC$
출력전압	$V_{out}=400VDC$
출력용량	$P_o=700W$
공진주파수	$f_r=110kHz$
스위칭 주파수	$f_s=90\sim 150kHz$
최소 부하저항	$R_{Lmin}=230\Omega$

위의 설계조건에 대해 병렬인덕턴스를 고려하여 시뮬레이션 한 그림 4의 표준화된 전압이득 특성곡선을 이용하여 최대 효율을 얻기 위한 최적화된 LLC 직렬 공진 컨버터를 설계해야 한다. 그리고 본 논문에서는 모든 부하변화에 대해 일정 출력전압을 얻기 위해 주파수 가변제어를 하였으며, 주

스위칭 소자 또한 ZVS(Zero Voltage Switching) 동작을 하는 영역을 얻기 위해  $A=0.4$ ,  $Q=1.1$ 을 선택하였다. 이러한 경우 그림 4의 전압이득 특성을 이용하여 표준화된 공진 주파수( $f_n$ )가 1인 부분에서 최대 입력전압에 대해 요구된 출력전압을 얻기 위한 권선비 N은 식 (9)과 같다.

$$N = \frac{n_1}{n_2} = 0.263 \tag{9}$$

그리고 위의 설계조건과 식(1)~(7)를 이용하여 표준화된 공진주파수가 1인 경우에 등가누설인덕턴스와 병렬 인덕터, 그리고 직렬공진커패시터는

$$L_T = \frac{Q \cdot R_{eq}}{2\pi f_r} \approx 73.72\mu H \tag{10}$$

$$L_2 \approx 184\mu H \tag{11}$$

$$C_s \approx 28.4nF \tag{12}$$

이다. 그리고 설계절차에 따라 변압기와 병렬 인덕턴스를 제작하였다. 변압기와 병렬 인덕터는 이수코어 EER 4042(PM5), 이수코어 EQ 2625(PM5)를 사용하여 제작하였고, 변압기와 인덕터의 실제 측정된 값과 직렬 커패시터 및 두 변압기 연결방법을 표 1에 나타내었다. 또한 그림 5는 표1의 측정된 변압기의 파라미터와 실제 적용한 직렬 커패시터 (28.7nF) 및 병렬 인덕터(200uH) 값을 이용하여 부하 변화에 대해 전압이득 시뮬레이션이다. 실측값을 적용한 부하변화에 대한 그림 5의 시뮬레이션 결과로 볼 수 있듯이 이론적인 계산 값에 의해 얻은 그림 4의 시뮬레이션 결과와 동일한 특성을 나타내는 것을 볼 수 있다. 그러나 중 부하에서 그림 5의 스위칭 동작 범위 (85.9kHz~104kHz)와 그림 4의 스위칭 동작범위(90.6kHz~110kHz)는 다소 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 이러한 오차는 이론적인 값을 기본으로 설계한 변압기 및 병렬 인덕터 오차와 사용된 커패시터 값 차이에 의해서 발생된 것이다. 그리고 계산에 의해서 얻어진 식 (9)(10)(11)(12)의 이론값과 표 1의 측정값의 오차가 있어 공진주파수의 경우 요구된 공진주파수( $f_r = 110kHz$ )보다 낮은 공진주파수 (104kHz)를 얻었다.

표 1 측정된 변압기 및 병렬 인덕터 변수들

Table 1 The measured parameters of transformer and parallel inductor

	1차측 누설 인덕턴스( $L_{l1}$ )	2차측 자화 인덕턴스( $L_{m2}$ )	2차측 누설 인덕턴스( $L_{l2}$ )
변압기 1	1.21uH	475.5uH	22.56uH
변압기 2	1.26uH	452.08uH	23.26uH
등가누설 인덕턴스( $L_T$ )	81.53uH	병렬 인덕턴스( $L_2$ )	200uH
직렬 커패시터( $C_s$ )	28.7nF	변압기 연결방법	1차측:병렬 2차측:직렬

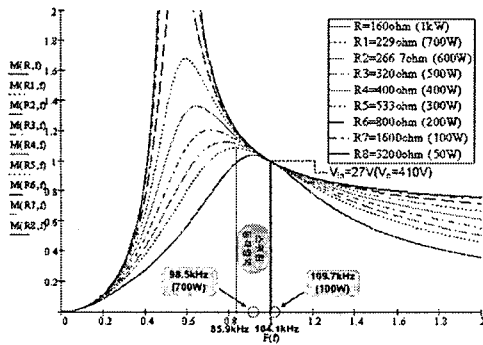


그림 5 측정값을 적용하여 부하변화에 대해 시뮬레이션 한 DC 전압이득 특성곡선  
 Fig. 5 Simulation results of the voltage gain characteristics due to load change

4. 실험 결과

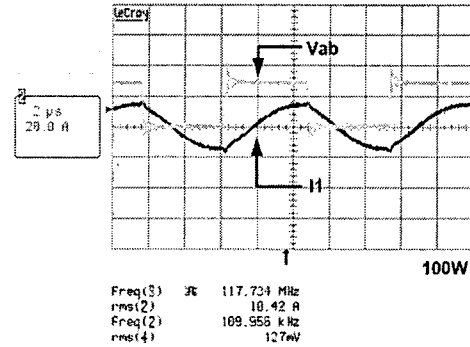
표 2 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터 주요성격

Table 2 The specifications of the secondary LLC series resonant converter for the boost dc/dc converter

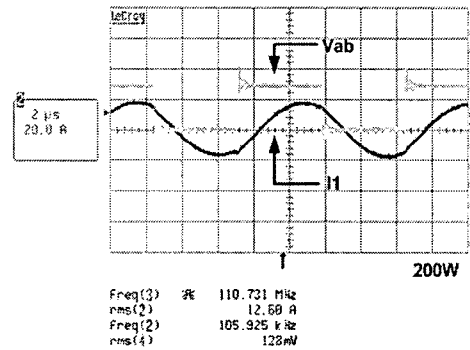
입력전압	25~27VDC
출력전압	400VDC
출력전류	1.75A
주스위칭 주파수	90kHz~125kHz
직렬공진 주파수	110kHz
주스위칭 소자( $Q_1, Q_2, Q_3, Q_4$ )	IRF1405Z (55V, 169A, $R_{DS}=5.3m\Omega$ )
출력 정류 다이오드( $D_1, D_2$ )	DESP 9-06CR (600V, 9A, $V_F=2.5V$ )

본 논문에서 제안한 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터는 낮은 입력전압(25~27VDC)에서 높은 출력전압(400VDC)으로 승압시킬 수 있도록 700W급으로 설계하였다. 또한 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터에 대한 실험조건과 적용된 소자 등을 표 2에 나타내었다. 그림 6 (a), (b), (c), (d), (e), (f), (g)는 일정 출력전압에 대해 100W, 200W, 300W, 400W, 500W, 600W, 700W에 대한 변압기 1차측 단자전압과 전류에 대한 실험파형이다. 그림 6(a)에서부터 그림 6(g)까지 볼 수 있듯이 중부하(700W)에서 경부하(100W)까지 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터는 모든 단자전류가 단자전압 ( $V_{ab}$ )에 대해 지상전류가 흐르는 것을 볼 수 있으며, 모든 부하변화에 대해 주스위칭 소자의 영전압 스위칭을 확인하였다. 그리고 그림 6 (d)에서 그림 6 (g)까지 실험결과 파형의 주파수 변화(104.026kHz~98.65kHz)는 그림 5의 시뮬레이션 스위칭 주파수 범위(104.1kHz~85.9kHz)와 동일한 스위칭 주파수 범위 내에서 동작하는 것을 볼 수 있다. 또한 변압기 1차측 공진 전류가 불연속으로 흐르기 때문에 변압기 2차측 정류 다이오드의 역회복 손실을 줄일 수 있다. 그림 7은 부하 변화에 대한 효율특성을 나타낸 것이다.

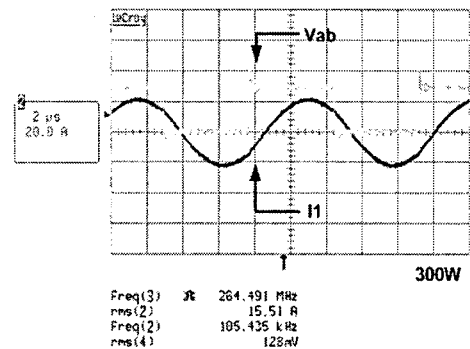
그림 7에서 볼 수 있듯이 모든 부하 범위에 대해 82%~93%까지 높은 효율 특성이 나타나는 것을 볼 수 있다. 또한 그림 8은 700W급 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터에 대한 시제품 사진이다.



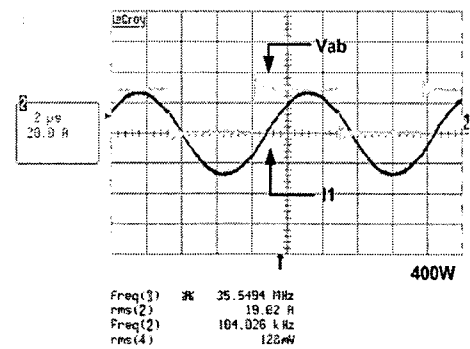
(a) 100W



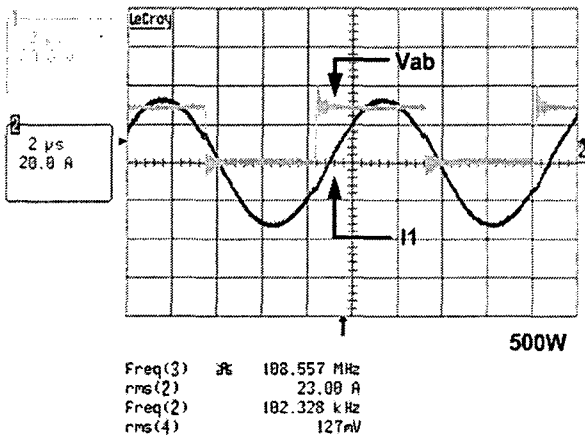
(b) 200W



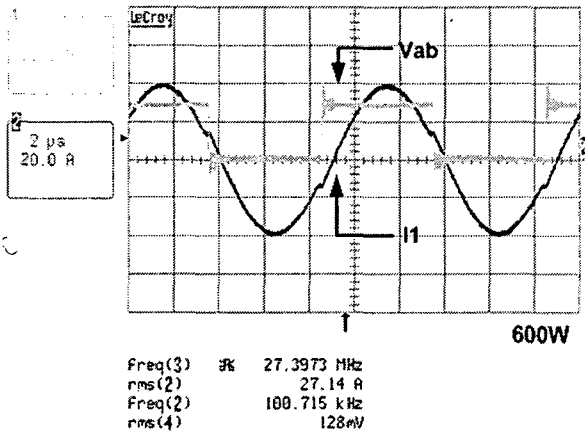
(c) 300W



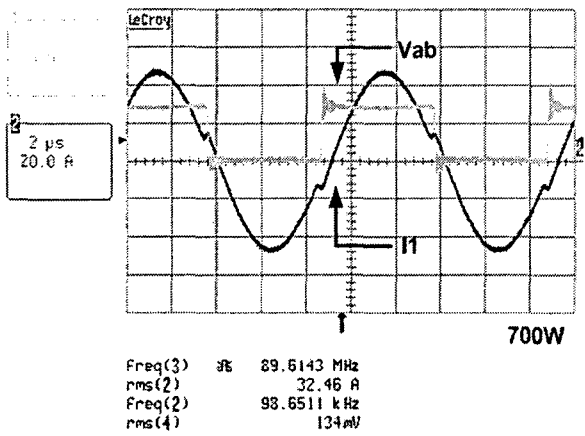
(d) 400W



(e) 500W



(f) 600W



(g) 700W

그림 6 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터의 1차측 전압( $V_{ab}$ )과 전류( $I_{T1}$ ) 실험 파형 (20V/div., 20A/div., 2μs/div.)

Fig. 6 The experimental waveforms of the terminal voltage ( $V_{ab}$ ) and current ( $I_{T1}$ ) in the primary of the secondary LLC series resonant converter for the boost dc/dc converter (20V/div., 20A/div., 2μs/div.)

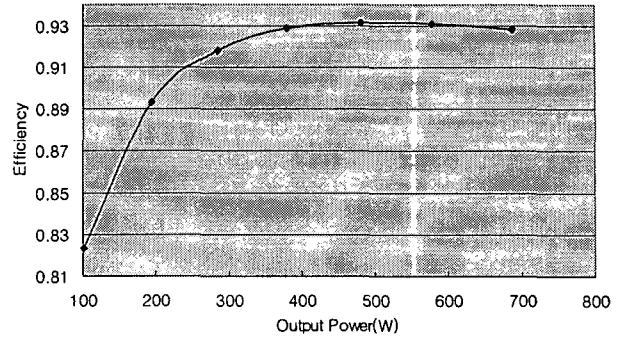


그림 7 부하변화에 따른 효율특성

Fig. 7 Efficiency characteristics for load change

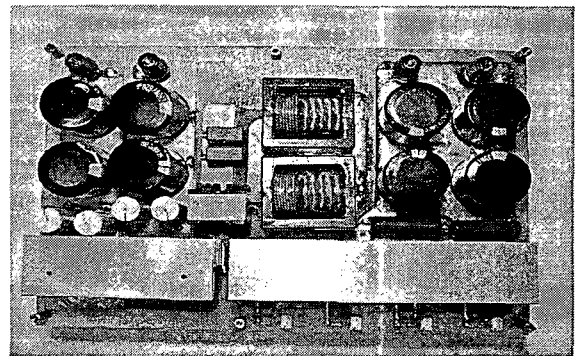


그림 8 변압기 2차측 LLC 직렬공진 컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터 시제품 사진

Fig. 8 Prototype of the secondary LLC series resonant converter for the boost dc/dc converter

## 5. 결론

본 논문에서는 PCS 시스템 중 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬 공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터를 제안하였고, 전압이득 특성에 대해 이론적인 해석하였으며, 이 해석을 기본으로 700W급 시제품을 제작하여 실험한 결과에 대해 서술하였다. 실험 결과 제안된 변압기 2차측 LLC 직렬공진컨버터 적용 승압형 DC/DC 컨버터는 모든 부하 범위에 대해 주스위칭 소자가 소프트 스위칭을 이룰 수 있었고, 출력 부하변화에 대해 일정 출력 전압을 얻을 수 있었으며, 모든 부하 범위에 대해 82%~93%까지 높은 효율을 얻을 수 있었다.

## 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력 연구원(R-2005-B-117) 주관으로 수행된 과제임.

참 고 문 헌

- [1] Lai, J.-S. "A High-Performance V6 Converter for Fuel Cell Power Conditioning System" Vehicle Power and Propulsion, 2005 IEEE Conference, sept 2005, pp 624-630.
- [2] M. Schenck, K. Stanton, and J.S Lai, "Fuel Cell and Power Conditioning System Interactions", Proc. of IEEE Applied Power Electronics Conference, Austin, TX, March 2005, pp.114-120
- [3] C.Liu, A.johnson and J.-S. Lai, "A Novel Three-Phase High Power Soft Switched DC/DC Converter for Low Voltage Fuel Cell Applications," Proc. of IEEE Applied Power Electronics Conference and Exposition, Anaheim, CA, Feb 2004, pp.1365-1371.
- [4] Kunrong Wang, F.C Lee, J. Lai, "Operation principles of bi-directional full-bridge DC/DC converter with unified soft-switching scheme and soft-starting capability" IEEE-APEC Feb 2000, Vol 1, pp.111-118
- [5] Bo Yang, F.C Lee, A.J. Zhang, "LLC Resonant Converter for Front End DC/DC Conversion", IEEE-APEC2002, Vol. 2, pp.1108-1112, 2002.
- [6] M.K Kazimierczuk, T. Nandakumar, "Class D voltage-switching inverter with tapped resonant inductor", IEEE Proceeding on Electric Power Applications, Vol. 140, pp.172-182, 1988.

저 자 소 개



**이 현 관 (李賢官)**

1979년 10월 26일생. 2005년 전주대 전기전자공학부 졸업. 2005년~현재 동대학원전기전자과 전력전자 전공 석사과정  
 Tel : 063-220-2906, Fax : 063-220-2056  
 E-mail : h1k2758@empal.com



**김 은 수 (金恩洙)**

1964년 3월 26일생. 1986년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1989년~2001년 한국전기연구원 전력전자 연구그룹 선임연구원(T/L). 2001년~현재 전주대 전기전자공학과 조교수. 현재 당 학회 편집위원.  
 Tel : 063-220-2906  
 Fax : 063-220-2056  
 E-mail : eskim@jj.ac.kr



**차 인 수 (車仁洙)**

1959년 8월 6일생. 1982년 조선대학교 전기공학과 졸업. 1984년 중앙대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1989년 조선대학교 대학원 전기공학과(제어계측) 졸업(박사). 1997년 9월~1997년 11월 독일 Darmstadt 방문교수. 2000년 7월~2000년 8월 동경농공대 중견과학자 방문연구교수. 현재 동신대학교 수소에너지학과 교수  
 Tel : 061-330-3206  
 Fax : 061-330-2909  
 E-mail : ischa@dsu.ac.kr



**이 기 식 (李奇植)**

1981년 4월 25일생. 2006년 현재 전주대 전기전자공학부 재학.  
 Tel : 063-220-2906  
 Fax : 063-220-2056  
 E-mail : lbhcha20@paran.com



**정 봉 근 (丁烽根)**

1982년 11월 25일생. 2006년 현재 전주대 전기전자공학부 재학.  
 Tel : 063-220-2906  
 Fax : 063-220-2056  
 E-mail : cbg821125@nate.com



**강 성 인 (姜聲仁)**

1982년 5월 10일생. 2006년 현재 전주대 전기전자공학부 재학.  
 Tel : 063-220-2906  
 Fax : 063-220-2056  
 E-mail : riosyss@nate.com