

## 두 개의 공진탱크를 적용한 넓은 입력전압 및 부하 제어범위를 가지는 LLC 공진컨버터

尹光鎬\*, 丁烽根\*, 張相皓\*, 李升珉\*\*, 金恩洙†

### A Wide Input Voltage And Output Load Range LLC Resonant Converter with Two Resonant Tanks

Kwang-Ho Yoon, Bong-Gun Chung, Sang-Ho Jang, Seung-Min Lee, and Eun-Soo Kim

#### 요 약

본 논문에서 다이오드정류기와 커패시터 필터로 구성된 입력전원을 가지고 동작되는 60W이하의 출력과워용량을 갖는 노트북용 어댑터를 위한 새로운 LLC 공진컨버터에 대한 내용이다. 보조스위치의 동작에 의해 제한된 LLC 공진컨버터는 모든 입력전원 (110VAC/220VAC) 및 부하조건에서 높은 효율특성을 가지고 전력을 전달 할 수 있다. 제한된 컨버터에 대한 동작특성에 대해 분석, 서술되어 있으며, 60W 시제품제작 및 실험을 통하여 적용 가능성을 보였다.

#### ABSTRACT

In this paper, for the notebook adapter with power level below approximately 60W, a novel LLC resonant converter preceded by diode rectifier with a capacitor filter is presented. Due to the switching operation of the auxiliary switching device, the proposed LLC resonant converter can deliver power with the high efficiency characteristics from the universal line(110VAC/220VAC) and load conditions. The operating schemes on the proposed converter are analyzed and described. A 60W prototype product is built, tested and verified.

**Key Words** : Adaptor, Wide input voltage, Two resonant tanks, LLC resonant converter

### 1. 서 론

최근 노트북 사용증가에 따라 노트북 시장이 확대되고 있으며 반도체 성능의 향상으로 인해 높은 수행능력을 가지면서 가볍고 슬림화된 노트북이 출시되고 있는 중이다.

이러한 슬림화된 노트북에 공급하는 어댑터 또한 작

은 크기와 높은 효율특성을 가지는 고밀도 어댑터가 요구가 되고 있다.<sup>[1-5]</sup>

하지만 어댑터는 밀폐형 구조이기 때문에 발열문제를 개선하기 위해서는 높은 효율특성을 가지는 컨버터를 적용하여 전원시스템을 구성하여야 한다. 뿐만 아니라, 그림 1(a)과 같이 입력유효전력 75W 이상의 용량을 가지는 어댑터의 경우 고조파 규제인 IEC 61000-3-2<sup>[6]</sup>를 만족시키기 위해 입력단에 PFC(Power Factor Correction Circuit) 회로부 적용과 절연된 낮은 출력전압을 제어하기 위한 절연형 DC/DC 컨버터를 사용함으로써 여러 단계의 주회로 적용에 의해 어댑터의 크기가 증가하게 된다. 하지만 입력유효전력 75W이하 어댑터의 경우 그림 1(b)과 같이 입력단 PFC 회로

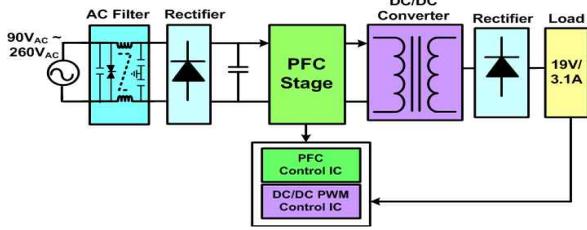
†교신저자 : 정희원, 전주대 전기전자정보통신공학부 부교수  
E-mail : eskim@jj.ac.kr

\*학생회원, 전주대 전기전자정보통신공학부 석사과정

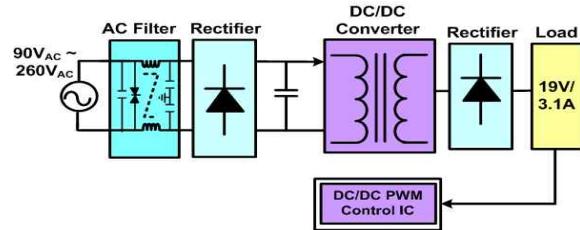
\*\*학생회원, 전주대 전기전자정보통신공학부 학부과정

접수일자 : 2010. 8. 30 1차 심사 : 2010. 9. 10

심사완료 : 2010. 10. 15



(a) 70W 이상일 때 2단구성의 어댑터  
(a) Adapter with two-stage configuration above 70W



(b) 70W 이하일 때 1단구성의 어댑터  
(b) Adapter with single-stage configuration below 70W

그림 1 프리볼트(110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>)를 가지는 어댑터의 구성  
Fig. 1 Configurations of the universal-line adapter (110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>)

부를 사용하지 않아 어댑터의 사이즈를 줄일 수 있지만 넓은 AC전압 범위(90V<sub>AC</sub>~260V<sub>AC</sub>)에서 사용 가능하도록 제작하여야 하기 때문에 일반적으로 플라이백(Flyback) 컨버터와 같은 PWM (Pulse Width Modulation) 제어방식을 가지는 주 회로를 적용하여 어댑터를 구성하게 된다. 하지만 이러한 PWM 제어방식의 컨버터는 스위칭 주파수가 증가하게 되면 스위칭 손실에 의한 전체효율이 감소하게 되어 스위칭주파수를 증가시키는데 제약을 받게 되므로 전원시스템의 부피를 줄이고, 고집적화 하는데 한계를 가지게 된다.

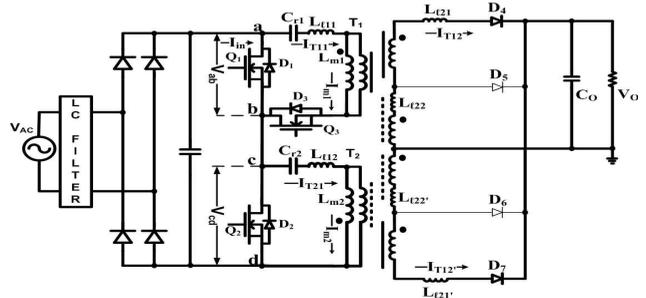
이러한 스위칭손실 저감 및 고집적화를 위해 LLC 공진컨버터를 적용할 수 있지만 입력단에 PFC 회로부가 없을 경우 넓은 AC전압 범위(90V<sub>AC</sub>~260V<sub>AC</sub>)에서 동작되기 위해서는 큰 전압이득특성을 가지는 LLC 공진컨버터가 적용되어야 하기 때문에 적은 값의 자화인덕턴스를 갖는 변압기를 사용하여 시스템을 구성하게 된다. 하지만, 변압기 자화전류가 증가하게 되어 도통손실 및 전류 스트레스가 증가하는 문제점이 발생된다. 또한 높은 입력전압 또는 경부하시에 일정한 출력전압을 제어하기 위해 이득을 낮추도록 스위칭동작 주파수를 증가시키면 순환전류가 증가하게 되어 넓은 입력전압 범위에서 적용되는 LLC 공진형 컨버터의 효율은 PWM제어를 적용한 플라이백 컨버터보다 낮은 효율특

성을 가지게 된다. 따라서 본 논문에서는 입력단에 PFC 회로부를 포함하지 않는 70W급 미만의 어댑터에 적용이 가능한 넓은 입력AC전압범위(90V<sub>AC</sub>~260V<sub>AC</sub>)에서 동작할 수 있는 LLC 공진컨버터를 제안하여 실험 검토하였다.

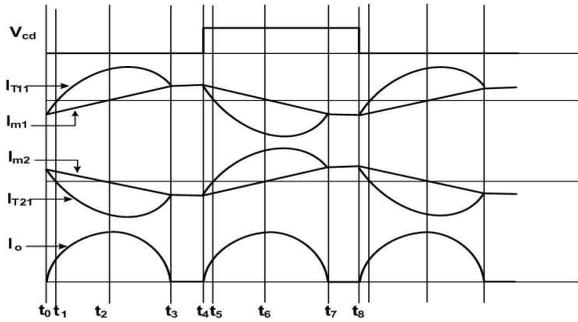
## 2. 제안된 LLC 공진컨버터 동작원리

넓은 AC전압범위(90V<sub>AC</sub>~260V<sub>AC</sub>)에서 동작되는 제안된 LLC 공진컨버터의 경우 입력 AC전압이 110V<sub>AC</sub>(132V<sub>DC</sub> ~ 178V<sub>DC</sub>)에서는 입력전압이 낮기 때문에 높은 전압이득특성을 얻기 위해 그림 2(a)와 같이 보조스위칭소자 Q<sub>3</sub>를 턴-온(Turn-On) 시켜 두 개의 공진회로가 동작되도록 하였다. 이때 1차측은 두 개의 독립된 병렬 연결된 공진회로로 구성되어 있어서 전류분담에 따라 작은 자화전류 및 공진전류가 흐르므로 적용 부품의 전류 스트레스를 절반으로 줄일 수 있고, 변압기 사이즈도 작은 구조로 가지고 갈 수 있어 고집적화 하는데 용이하다. 또한 두 개의 독립된 공진회로의 변압기(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>) 2차측 권선은 출력정류부에서 각각 직렬 연결되어 부하에 공진전류를 전달하기 때문에 높은 출력전압특성을 얻을 수 있고, 각 변압기 간 파라미터 오차에 따른 전류 불평형도 감소시킬 수 있다.

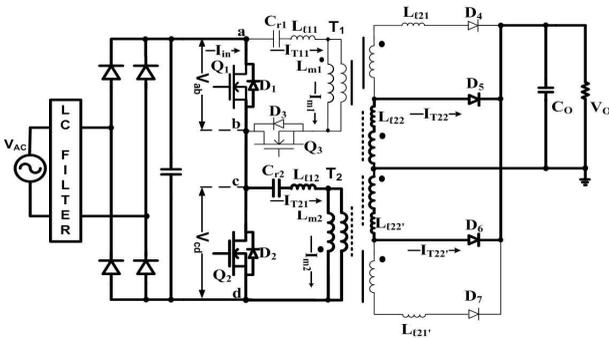
입력 AC전압이 220V<sub>AC</sub>(265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)가 인가된 경우 높은 입력전압 때문에 그림 2(c)와 같이 보조스위칭소자 Q<sub>3</sub>가 턴-오프(Turn-Off) 되어 상단부 공진회로가 차단되고, 공진커패시터 (C<sub>r1</sub>)에는 입력전압만큼 충전된 후 공진전류는 더 이상 Q<sub>3</sub>의 내부다이오드 D<sub>3</sub>를 통해 흐르지 않게 된다. 따라서 그림 2(c)와 같이 변압기(T<sub>2</sub>)와 공진커패시터(C<sub>r2</sub>)로 구성된 하단부 공진회로만 동작된다. 그리고 출력정류부는 하단부 공진회로의 변압기(T<sub>2</sub>) 2차측 권선만을 통해 공진전류가 부하에 전달된다.



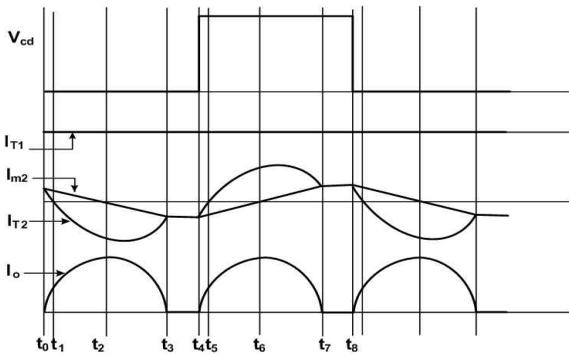
(a) 낮은 입력전압 110V<sub>AC</sub>에서의 주회로 구성  
(a) Main circuit configuration in the low input voltage 110V<sub>AC</sub>



(b) 낮은 입력전압 범위 110V<sub>AC</sub>(132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>)에서의 동작파형  
(b) Operation waveforms in the low input voltage 110V<sub>AC</sub>



(c) 높은 입력전압 220V<sub>AC</sub>(265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)에서의 주회로 구성  
(c) Main circuit configuration in the high input voltage 220V<sub>AC</sub>



(d) 높은 입력전압 범위220V<sub>AC</sub>(265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)에서의 동작파형  
(d) Operation waveforms in the high input voltage 220V<sub>AC</sub>

그림 2 입력전압 범위 변화에 따른 주회로 및 동작상태  
Fig. 2 Main circuits and operation modes in the wide input voltage range (90V<sub>AC</sub>~260V<sub>AC</sub>)

따라서 낮은 입력 AC전압 110V<sub>AC</sub>(132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>)인 경우에는 제안된 LLC 공진컨버터의 보조스위치 Q<sub>3</sub>의 턴-온 동작에 의해 두 개의 공진탱크회로가 동작하여 높은 전압이득 특성을 갖도록 하였으며, 높은 입력

AC전압 220V<sub>AC</sub> (265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)인 경우에는 보조스위치 Q<sub>3</sub>가 턴-오프 되어 하나의 공진탱크회로만 동작하여 원하는 전압이득특성을 얻을 수 있으므로 제안된 LLC 공진컨버터의 경우 큰 값의 자화인덕턴스(L<sub>m</sub>) 갖는 변압기를 사용 할 수 있어 저감된 변압기 자화전류에 따라 높은 효율특성을 갖는다. 또한, 제안된 LLC 공진컨버터의 효율특성 개선 및 최적설계를 위해서는 정상동작입력전압 (110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>)에서 공진주파수가 가까이에서 동작되도록 설계 할 필요성이 있다.

제안된 LLC 공진컨버터는 각 입력전압에 따른 동작모드를 각각 4개의 모드로 나눌 수 있고, 중복되는 부(Negative)의 반주기 4개 동작모드는 생략하였다.

## 2.1. 제안된 LLC 공진컨버터 동작모드

### 2.1.1 입력전압이 110V<sub>AC</sub>일 경우

(보조스위치 Q<sub>3</sub>가 턴-온(Turn-on) 되어있음)

#### (a) Mode1 (t<sub>0</sub> < t < t<sub>1</sub>)

모드 1구간에서는 주스위칭소자 Q<sub>1</sub>이 턴-오프 되고 변압기(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>) 1차측 자화인덕턴스(L<sub>m1</sub>, L<sub>m2</sub>)에 저장되었던 에너지는 주스위칭 소자 Q<sub>1</sub>의 내부 커패시터를 입력전압 만큼 충전시키고 주스위칭 소자 Q<sub>2</sub>의 내부 커패시터를 영전압 (Zero Voltage)까지 방전을 시키고 주스위칭 소자 Q<sub>2</sub>의 내부다이오드를 통해 부전류가 흐르게 되어 주스위칭 소자 Q<sub>2</sub>가 영전압(Zero Voltage) 스위칭조건에서 턴-온 되며 공진전류가 흐르기 시작하는 구간이다.

#### (b) Mode2 (t<sub>1</sub> < t < t<sub>3</sub>)

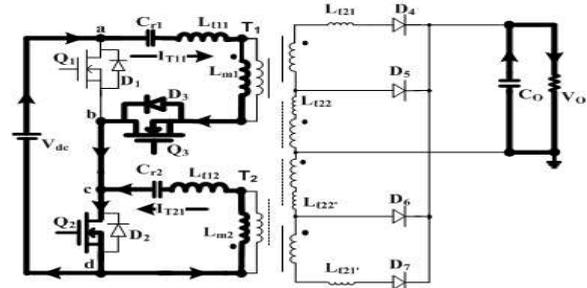
모드 2구간에서는 공진모드구간으로 주스위칭소자 Q<sub>2</sub>와 변압기(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>)를 통해 각각 독립된 공진전류(I<sub>T1</sub>, I<sub>T2</sub>)가 흐른다. 상단부 공진회로의 공진전류(I<sub>T1</sub>)는 공진 커패시터(C<sub>r1</sub>), 변압기(T<sub>1</sub>)의 누설인덕턴스(L<sub>l11</sub>)와 자화인덕턴스(L<sub>m1</sub>), 보조스위치 Q<sub>3</sub>의 역병렬다이오드 D<sub>3</sub>를 통해 흐르며 충전하게 되고, 하단부 공진회로의 공진전류(I<sub>T2</sub>)는 공진커패시터(C<sub>r2</sub>), 변압기(T<sub>2</sub>)의 누설인덕턴스(L<sub>l12</sub>)와 자화인덕턴스(L<sub>m2</sub>)를 통해 방전하며 동작하게 된다. 이때 출력정류부는 변압기(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>) 2차측 권선들이 같은 전압극성으로 직렬연결 되어있어 부하에 공진전류를 전달할 수 있기 때문에, 낮은 입력 AC전압 110V<sub>AC</sub> (132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>) 및 중부하(Heavy load) 조건에서도 일정 출력전압(V<sub>o</sub>)을 제어, 전달 할 수 있다.

#### (c) Mode3 (t<sub>3</sub> < t < t<sub>4</sub>)

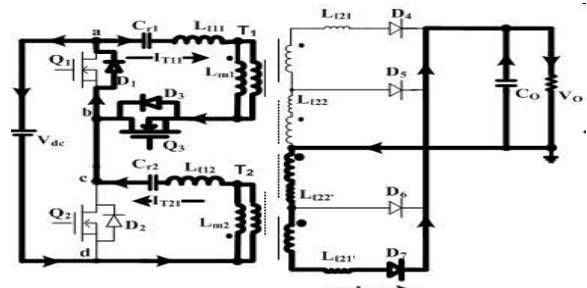
모드 3구간동안 모드 2처럼 주스위칭소자  $Q_2$ 는 계속 턴-온 된 상태로 동작하는 구간이지만 이 모드에서는 부하공진전류는 더 이상 흐르지 않고 상단부 공진회로 동작은 공진커패시터( $C_{r1}$ )와 변압기( $T_1$ )의 자화인덕턴스( $L_{m1}$ )에 의하여 공진을 이루며 여자전류( $I_{m1}$ )만 흐르게 되고, 하단부 공진회로 동작은 공진커패시터( $C_{r2}$ )와 변압기 ( $T_2$ )의 자화인덕턴스( $L_{m2}$ )에 의하여 공진을 이루며 여자전류( $I_{m2}$ )만 흐르게 되는 구간이다. 따라서 출력정류부의 변압기( $T_1$ ,  $T_2$ ) 2차측 권선에는 공진전류가 흐르지 않고, 단지 출력커패시터( $C_o$ )에 저장된 에너지만이 부하에 일정전류를 공급한다.

(d) Mode4 ( $t_4 < t < t_5$ )

모드 4구간에서는 주스위칭소자  $Q_2$ 가 턴-오프 되고, 변압기( $T_1$ ,  $T_2$ ) 1차측 자화인덕턴스( $L_{m1}$ ,  $L_{m2}$ )에 저장되었던 에너지에 의해 주스위칭소자  $Q_1$ 의 내부 커패시터는 영전압으로 방전되고 주스위칭소자  $Q_2$ 의 내부 커패시터는 입력전압( $V_{in}$ )으로 충전된 후 주스위칭소자  $Q_1$ 의 내부다이오드를 통해 부전류가 흐르게 되어 주스위칭소자  $Q_1$ 이 영전압(Zero Voltage)에서 스위칭을 하게 되는 시점이다. 이때 출력정류부에서 직렬연결된 변압기( $T_1$ ,  $T_2$ ) 2차측 권선의 전압극성이 바뀌어서 출력정류부 다이오드( $D_7$ )를 통해 공진전류가 흐르기 시작한다.



(c) Mode3 ( $t_3 < t < t_4$ )



(d) Mode4 ( $t_4 < t < t_5$ )

그림 3 낮은 입력전압 110V<sub>AC</sub>(132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>)에서의 동작모드  
Fig. 3 Operation modes in the low input voltage 110V<sub>AC</sub> (132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>)

2.1.2 입력전압이 220V<sub>AC</sub>일 경우

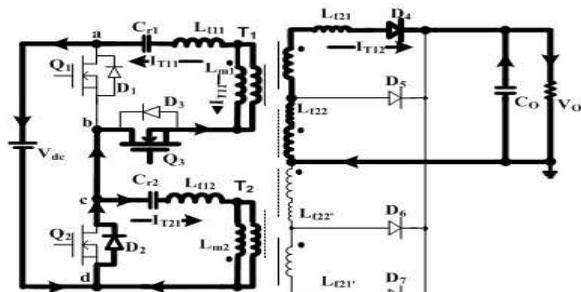
(보조스위치  $Q_3$ 가 턴-오프(Turn-off) 되어있음)

(a) Mode1 ( $t_0 < t < t_1$ )

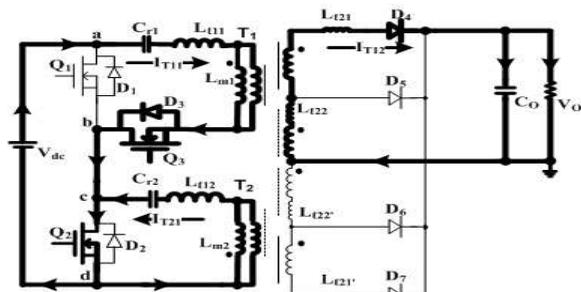
입력전압이 220V<sub>AC</sub>(265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)가 인가될 경우 보조스위치  $Q_3$ 가 턴-오프 된 상태에 있으므로, 상단부 공진탱크회로는 동작되지 않고 단지 하단부의 공진탱크회로만 동작하고 있다. 따라서 모드 1에서는 주스위칭소자  $Q_1$ 이  $t_0$ 시점에서 턴-오프 되고, 하단부 변압기( $T_2$ )의 1차측 자화인덕턴스( $L_{m2}$ )에 저장되었던 에너지는 주스위칭소자  $Q_1$ 의 내부 커패시터를 입력 전압 ( $V_{in}$ )만큼 충전시키고 주스위칭소자  $Q_2$ 의 내부 커패시터를 영전압 까지 방전된 후 주스위칭소자  $Q_2$ 의 내부 다이오드를 통해 부전류가 흐를 때 주스위칭 소자  $Q_2$ 가 영전압(Zero Voltage)에서 스위칭이 되며 공진전류가 흐르기 시작한다.

(b) Mode2 ( $t_1 < t < t_3$ )

모드 2구간은 공진모드구간으로 주스위칭소자  $Q_2$ 가 계속 턴-온 되어있고, 하단부 공진회로의 공진전류 ( $I_{T2}$ )는 공진커패시터( $C_{r2}$ ), 변압기( $T_2$ )의 누설인덕턴스



(a) Mode1 ( $t_0 < t < t_1$ )



(b) Mode2 ( $t_1 < t < t_3$ )

( $L_{12}$ )와 자화인덕턴스( $L_{m2}$ )를 통해 방전하며 공진회로가 동작하게 된다. 이때 보조스위치  $Q_3$ 가 턴-오프되어 있기 때문에 상단부 공진탱크회로에는 공진전류가 흐르지 않아서 출력정류부의 변압기( $T_1$ ) 2차측 권선에 전압이 유도되지 않고, 단지 하단부 공진탱크회로의 변압기( $T_2$ ) 2차측 권선에만 전압이 인가되어 공진전류가 흐르게 된다.

**(c) Mode3 ( $t_3 < t < t_4$ )**

모드 3구간에서는 모드 2와 마찬가지로 주스위칭소자  $Q_2$ 는 계속 턴-온 동작하고 있지만 이 모드에서는 하단부 공진회로의 변압기( $T_2$ ) 2차측 권선을 통한 부하 공진전류는 더 이상 흐르지 않고, 단지 공진커패시터 ( $C_{r2}$ )와 변압기( $T_2$ )의 1차측 자화인덕턴스( $L_{m2}$ )를 통하여 공진을 이루며 자화전류( $I_{m2}$ )만 흐르게 되는 구간이다. 이때 출력정류부의 변압기( $T_2$ ) 2차측 권선에는 전압이 유도되어 있지 않으므로 단지 출력커패시터에 저장된 에너지만 부하로 일정전류를 방전한다.

**(d) Mode4 ( $t_4 < t < t_5$ )**

모드 4구간에서는 주스위칭소자  $Q_2$ 가 턴-오프 되는 시점으로 변압기( $T_2$ ) 1차측 자화인덕턴스에 저장되었던 에너지는 주스위치  $Q_1$ 의 내부 커패시터를 방전을 시키고 주스위치  $Q_2$ 의 내부 커패시터는 충전을 시킨 후 주스위칭소자  $Q_1$ 의 내부다이오드를 통해 공진전류가 흐르게 되면 주 스위칭소자  $Q_1$ 이 영전압(Zero Voltage)에서 턴-온 스위칭되며 공진전류가 흐르기 시작한다. 이때 변압기( $T_2$ ) 2차측 권선전압은 극성이 바뀌어서 출력정류부 다이오드( $D_6$ )를 통해 공진전류가 흐르기 시작한다.

**3. 전압이득특성분석**

**3.1 입력전압이 110V<sub>AC</sub>일 경우**

(보조스위치  $Q_3$ 가 턴-온(Turn-on) 되어있음)

본 논문에서 제안된 LLC 공진컨버터는 입력 AC전압의 범위에 따라 두 개의 동작 상태로 나누어진다. 첫 번째로 낮은 입력 AC전압 110V<sub>AC</sub>(132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>) 경우에 보조스위칭소자  $Q_3$ 가 턴-온 되어 두 개의 공진탱크가 동작을 하게 된다. 주회로는 변압기 ( $T_1$ )과 공진커패시터 ( $C_{r1}$ )로 구성된 상단부 공진회로와 변압기 ( $T_2$ )와 공진커패시터 ( $C_{r2}$ )로 구성된 하단부 공진회로로 구성되어 있다. 또한 상단부 공진회로의 변압기 ( $T_1$ )과 하단부 공진회로의 변압기 ( $T_2$ )의 2차측 결선 방법이 직렬로 연결되어있기 때문에 두 개의 변압기

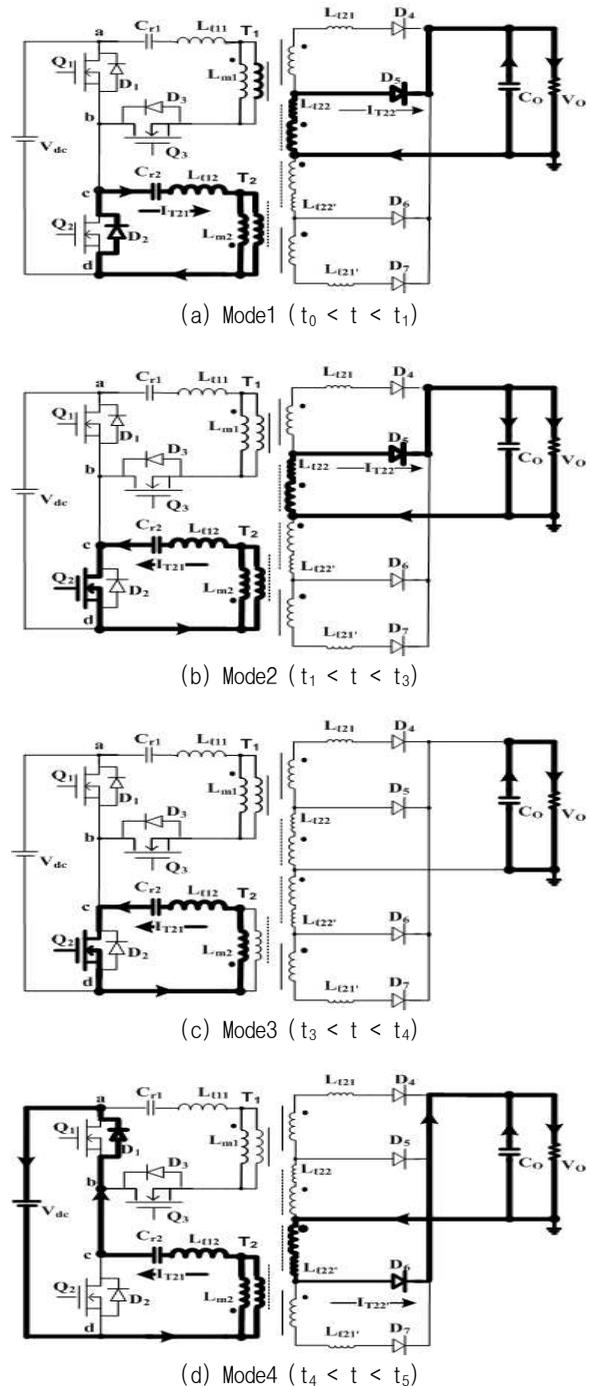
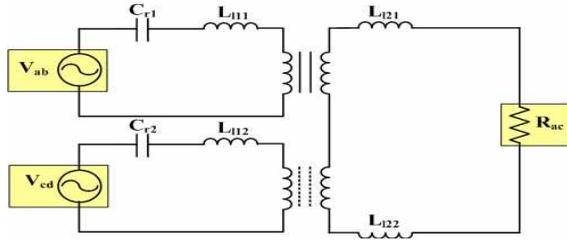
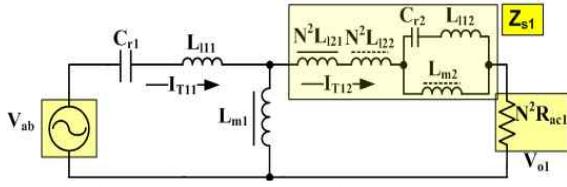


그림 4 높은 입력전압 220V<sub>AC</sub>(265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)에서의 동작모드  
 Fig. 4 Operation modes in the high input voltage 220V<sub>AC</sub>(265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)

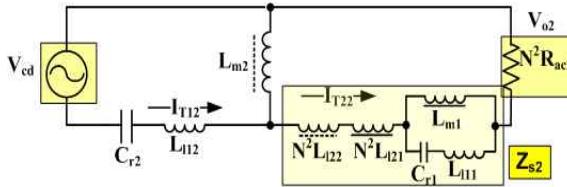
$T_1$ 과 변압기  $T_2$ 의 커플링관계에 따라서 이득특성에 중요한 영향을 미치는 점도 고려해야 한다. 두개의 공진탱크회로 동작 시 2개의 입력전원이 존재하기 때문



(a) 두 개의 전원을 갖는 등가회로도  
(a) Equivalent circuit with two sources



(b) 전압원(V<sub>ab</sub>)에 대한 등가회로  
(b) Equivalent circuit due to an independent source(V<sub>ab</sub>)



(c) 전압원(V<sub>cd</sub>)에 대한 등가회로  
(c) Equivalent circuit due to an independent source(V<sub>cd</sub>)

그림 5 두 개의 공진탱크 등가회로  
Fig. 5 Equivalent circuits with two resonant tanks

에 등가회로로 나타내기 위해서는 중첩원리(Superposition Theory)를 적용하여 등가화 한다. 중첩의 원리는 두 개의 별도의 전압원(V<sub>ab</sub>, V<sub>cd</sub>)을 가지고 있는 제안된 회로를 T형 등가회로로 변환하는 방법으로 이를 적용하여 나타낸 T형 등가회로는 그림 5와 같다.

낮은 입력AC전압 110V<sub>AC</sub>(132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>)인 경우 두 개 공진 탱크가 동작하므로 각 탱크에 대한 전압이득 특성을 추출하여야 한다. 또한 두 개의 변압기(T<sub>1</sub>, T<sub>2</sub>)의 2차측 결선방법이 상호직렬 연결에 따라 이득특성에 중요한 영향을 미치는 커플링관계에 대한 임피던스 관계를 식 (1)에서부터 식(6)에 나타내었다.

$$Z_{S1} = N^2 j\omega L_{121} + N^2 j\omega L_{122} + j\omega L_{m2} / \left( \frac{1}{j\omega C_{r2}} + j\omega L_{112} \right) \quad (1)$$

$$Z_{S2} = N^2 j\omega L_{122} + N^2 j\omega L_{121} + j\omega L_{m1} / \left( \frac{1}{j\omega C_{r1}} + j\omega L_{111} \right) \quad (2)$$

$$Z_{in1} = \frac{1}{j\omega C_{r1}} + j\omega L_{111} + j\omega L_{m1} / (Z_{S1} + N^2 R_{ac1}) \quad (3)$$

$$Z_{in2} = \frac{1}{j\omega C_{r2}} + j\omega L_{112} + j\omega L_{m2} / (Z_{S2} + N^2 R_{ac2}) \quad (4)$$

$$Z_{S1} = N^2 j\omega L_{122} + j\omega L_{m2} / \left( \frac{1}{j\omega C_{r2}} + j\omega L_{112} \right) \quad (5)$$

$$Z_{S2} = N^2 j\omega L_{121} + j\omega L_{m1} / \left( \frac{1}{j\omega C_{r1}} + j\omega L_{111} \right) \quad (6)$$

상단측변압기 (T<sub>1</sub>)의 1차측 누설인덕턴스(L<sub>111</sub>)과 자화인덕턴스(L<sub>m1</sub>)의 비를 A<sub>1</sub>로 나타내었고, 하단측변압기 (T<sub>1</sub>)의 1차측 누설인덕턴스(L<sub>112</sub>)와 자화인덕턴스(L<sub>m2</sub>)의 비를 A<sub>2</sub>로 나타내었다. 또한 상단측변압기 (T<sub>1</sub>)의 2차측 누설인덕턴스(L<sub>121</sub>)과 자화인덕턴스(L<sub>m1</sub>)의 비를 B<sub>1</sub>로 나타내었고, 하단측변압기 (T<sub>2</sub>)의 2차측 누설인덕턴스(L<sub>122</sub>)와 자화인덕턴스(L<sub>m2</sub>)의 비를 B<sub>2</sub>로 식 (7~10)으로 나타내었다.

$$A_1 = \frac{L_{111}}{L_{m1}} \quad (7)$$

$$B_1 = \frac{N^2 L_{121}}{L_{m1}} \quad (8)$$

$$A_2 = \frac{L_{112}}{L_{m2}} \quad (9)$$

$$B_2 = \frac{N^2 L_{122}}{L_{m2}} \quad (10)$$

그림 5의 등가회로에서 얻어진 입력 V<sub>ab</sub>, V<sub>cd</sub> 와 출력 V<sub>o1</sub>, V<sub>o2</sub>에 대한 임피던스 관계 및 위의 수식(1)~(6)를 바탕으로 얻어진 입력 V<sub>ab</sub>와 출력 V<sub>o1</sub>에 대한 전압이득특성 G<sub>1</sub>은 식(11)과 같고, 입력 V<sub>cd</sub>와 출력 V<sub>o2</sub>에 대한 전압이득특성 G<sub>2</sub>는 식(12)와 같다. 따라서 두 개의 공진회로를 갖는 LLC 공진컨버터의 전압이득특성 G<sub>T</sub>은 G<sub>1</sub>과 G<sub>2</sub>의 합으로 식(13)과 같이 나타낼 수 있다.

$$G_1 = \frac{1}{N} \cdot \left[ \frac{1}{\left( 1 + A_1 - \frac{1}{\omega^2 L_{m1} C_{r1}} \right) \left( 1 + \frac{Z_{S1}}{N^2 R_{ac1}} + j \frac{\omega L_{m1}}{N^2 R_{ac1}} \left[ (1 + A_1 - \frac{1}{\omega^2 L_{m1} C_{r1}}) (B_1 + 1) - 1 \right] \right)} \right] \quad (11)$$

$$G_2 = \frac{1}{N} \cdot \left[ \frac{1}{\left( 1 + A_2 - \frac{1}{\omega^2 L_{m2} C_{r2}} \right) \left( 1 + \frac{Z_{S2}}{N^2 R_{ac2}} + j \frac{\omega L_{m2}}{N^2 R_{ac2}} \left[ (1 + A_2 - \frac{1}{\omega^2 L_{m2} C_{r2}}) (B_2 + 1) - 1 \right] \right)} \right] \quad (12)$$

$$G_T = G_1 + G_2 \quad (13)$$

### 3.2 입력전압이 220V<sub>AC</sub>일 경우 (보조스위치 Q<sub>3</sub>가 턴-오프(Turn-off) 되어있음)

입력 AC전압이 높은 경우 220VAC (265VDC~357VDC) 보조스위칭소자 Q<sub>3</sub>는 턴-오프 되고 하단부 공진회로가 동작하게 된다. 이때 등가회로는 그림 6에 나타내었다. C<sub>r2</sub>는 공진커패시터, L<sub>112</sub>, L<sub>122</sub>는 1차측, 2차측 누설인덕턴스, L<sub>m2</sub>는 자화인덕턴스를 나타내었다. 등가부하 저항은 R<sub>ac</sub> = 8R<sub>f</sub>/π<sup>2</sup>로 나타내었고, 적용한 공진주파수는 직렬커패시터(C<sub>r2</sub>)와 등가누설인덕턴스(L<sub>eq</sub>; Equivalent leakage inductance)가 공진 할 때의 주파수로 공진주파수는 식 (14)에 나타내었고, 그림(6)의 등가회로부터 각각의 정규화된 값들을 식 (15~21)로 나타내었다. 식 (15)의 f<sub>n</sub>는 스위칭 주파수 f<sub>s</sub>와 공진주파수 f<sub>r</sub>의 비로써 정규화된 공진주파수를 나타낸 것이며, 식 (18)번은 자화인덕턴스(L<sub>m2</sub>)와 1차측 누설인덕턴스(L<sub>112</sub>)의 비율로 나타낸 것이고, 식 (19)은 자화인덕턴스(L<sub>m2</sub>)와 2차측 누설인덕턴스(N<sup>2</sup>L<sub>122</sub>)의 비율을 나타낸 것이다. 또한 식 (20)에서 L<sub>eq</sub>는 부하가 단락되었을 때 등가 누설 인덕턴스를 나타낸 것이고, 식 (21)의 Q는 부하 Quality factor를 나타낸 것이다. 그림 6의 등가회로와 식 (14)~(21)에 의하여 얻은 전압이득(G)특성 식은 식(22)과 같다.

그림 7은 식 (13)과 식 (22)의 전압이득 수식과 표 1에서 나타낸 설계된 변압기를 제작하여 제작된 변압기의 측정된 파라미터를 적용하여 부하(N<sup>2</sup>R<sub>ac</sub>)변화에 따른 전압이득특성 G<sub>T</sub>와 G를 알아보기 위해 Math-CAD를 이용한 시뮬레이션 결과이다. 입력전압 변화에 따라

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{eq} \cdot C_{r2}}} \quad (14)$$

$$f_n = \frac{f_s}{f_r} : \frac{\text{스위칭주파수(Switching Frequency)}}{\text{공진주파수(Resonant Frequency)}} \quad (15)$$

$$Z_{in} = Z_p + Z_M // (Z_s + Z_o) : \text{Input Impedance} \quad (16)$$

$$Z_o = R : \text{Output Impedance} \quad (17)$$

$$A = \frac{L_{112}}{L_{m2}} \quad (18)$$

$$B = \frac{N^2 L_{122}}{L_{m2}} \quad (19)$$

$$L_{eq} = L_{112} + (L_{m2} // L_{122}) \quad (20)$$

$$Q = \frac{2\pi f_r L_{eq}}{R} \quad (21)$$

$$G = \frac{1}{N} \left| \frac{1}{1 + A - \left(\frac{1}{f_n}\right)^2 \cdot \left(A + \frac{B}{B+1}\right) + jQ \left(\frac{1}{N^2} + \frac{B}{N^2}\right) \left(f_n - \frac{1}{f_n}\right)} \right| \quad (22)$$

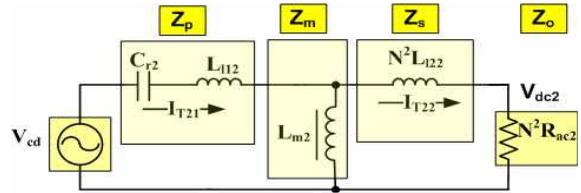


그림 6 하나의 공진탱크 등가회로  
Fig. 6 Equivalent circuit with one resonant tank

표 1 측정된 변압기 파라미터  
Table 1 Measured parameters in T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub>

	제안된 컨버터			
		변압기 T <sub>1</sub>		변압기 T <sub>2</sub>
1차측누설인덕턴스	L <sub>111</sub>	99.35uH	L <sub>112</sub>	100.9uH
2차측누설인덕턴스	L <sub>121</sub>	1.293uH	L <sub>122</sub>	1.264uH
자화인덕턴스	L <sub>m1</sub>	542.6uH	L <sub>m2</sub>	545uH
등가누설인덕턴스	L <sub>eq1</sub>	190.67uH	L <sub>eq2</sub>	189.98uH
N(n <sub>1</sub> /n <sub>2</sub> )		9.1(55/6)		9.1(55/6)
직렬공진커패시터	C <sub>r1</sub>	6.8nF	C <sub>r2</sub>	6.8nF
적용코아	코아: EFD2025			

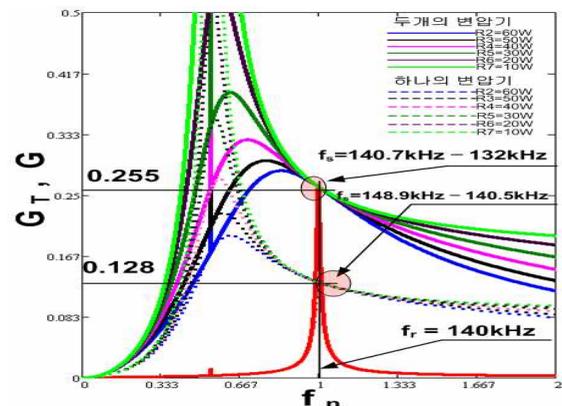


그림 7 부하 변화에 따른 전압이득 특성  
Fig. 7 Voltage gain characteristics due to the load variations

실선으로 표시된 이득곡선은 낮은 입력 AC전압 110V<sub>AC</sub>(132V<sub>DC</sub>~178V<sub>DC</sub>)일 때 상단부 및 하단부의 두 공진회로가 동작할 때의 이득특성곡선 G<sub>T</sub>를 나타내었고, 부하가 모두 단락(N<sup>2</sup>R<sub>ac1</sub>=N<sup>2</sup>R<sub>ac2</sub>=0)일 때의 주파수를 f<sub>n</sub>로 나타내었다. 이때의 공진주파수는 140kHz이고, 스위칭 주파수는 각 부하별(2W, 60W)로 140.7kHz-132kHz에서 동작함을 알 수 있었고, 점선으로 표시된 이득곡선은 높은 입력AC전압 220V<sub>AC</sub>(265V<sub>DC</sub>~357V<sub>DC</sub>)일 때 하단부 공진회로가 동작할 때의 전압이득특성 G를 나타내었고, 이때 부하가 단락(N<sup>2</sup>R<sub>ac2</sub>=0)인 주파수는

$f_n$ 으로 나타내었다. 이때의 공진주파수는 140kHz이고, 스위칭 주파수는 각 부하별(2W, 60W)로 148.9kHz~140.5kHz에서 동작함을 알 수 있었다.

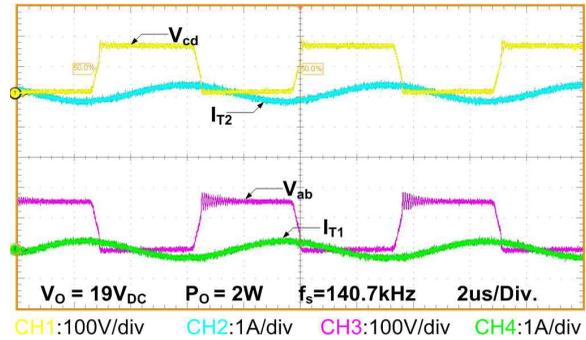
#### 4. 실험 결과

본 논문에서는 60W급 정격출력용량을 가지는 제안된 LLC공진컨버터를 적용하여 입력전압 110V<sub>AC</sub>, 220V<sub>AC</sub>의 조건에서 최대정격출력용량 60W(19V/3.15A)에 대해 각각 실험하였다. 그리고 제안된 컨버터의 실험조건과 주요 정격에 대해 표 2에 나타내었다.

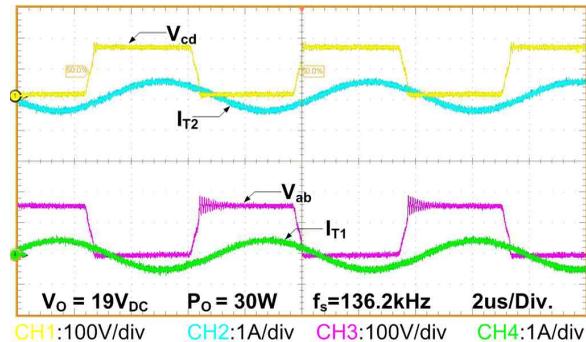
표 2 제안된 LLC 공진 컨버터 주요 정격  
Table 2 Specifications of the proposed LLC resonant converter

입력 전압( $V_{in}$ )	110V <sub>AC</sub> ~220V <sub>AC</sub>
출력전압 및 전류	19V/3.15A
출력 용량( $P_o$ )	60W
스위칭주파수( $f_s$ )	132kHz~148.9kHz
공진주파수( $f_r$ )	140kHz
공진 커패시터( $C_r$ )	6.8nF
입력/출력 커패시터( $C_{in}/C_o$ )	320uF (450V), 470uF X 2 (25V)
스위칭 소자( $Q_1, Q_2$ )	IRFP460 500V, 20A
출력전류 다이오드( $D_3$ ~ $D_6$ )	MBRF2080CT 100V, 20A
적용된 LLC공진컨버터 제어 IC	L6599

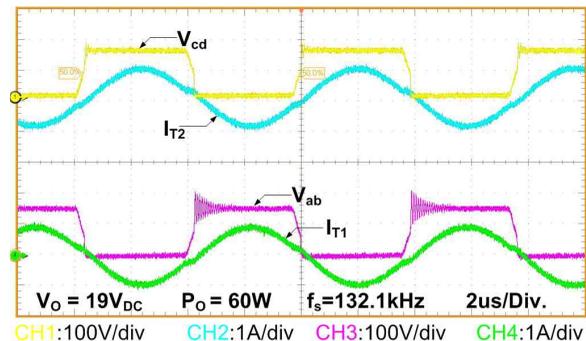
그림 8과 그림 9는 제안된 컨버터의 실험파형으로 입력전압110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>의 두 가지의 입력전압 변화에 대하여 경부하(19V/ 0.1A)일 때와 50%부하(19V/1.58A), 최대정격부하(19V/ 3.15A)일 때의 각각의 1차측 단자전압( $V_{ab}, V_{cd}$ )과 전류( $I_{T11}, I_{T21}$ )를 측정된 파형이다. 실험결과 그림 7의 부하변화에 따른 전압이득 특성 시뮬레이션 결과와 비교하여 이득특성 및 동작스위칭주파수범위가 일치하는 것을 확인하였다. 그림 8, 그림 9에서 나와 있는 것처럼 모든 부하조건에서 단자전류( $I_{T11}, I_{T22}$ )는 단자전압( $V_{ab}, V_{cd}$ )에 대하여 항상 지상전류가 흐르고 있기 때문에 스위칭소자는 최대정격부하(19V/ 3.15A)에서도 항상 영전압 스위칭(ZVS: Zero Voltage Switching) 동작됨을 확인할 수 있었다. 또한 그림 10에 나와 있는 것처럼 상단부 공진회로의 변압기( $T_1$ )과 하단부 공진회로의 변압기( $T_2$ )의 2차측 권선을 교차하여 상호직렬로 결선함으로써 전류 불평형 문제가 나타나지 않음을 알 수 있었다.



(a) 19V/ 0.1A (2W)일때의 단자 전압/전류  
(a) Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the load condition (19V/0.52A(2W)). (100V/Div., 1A/Div., 2us/Div.)

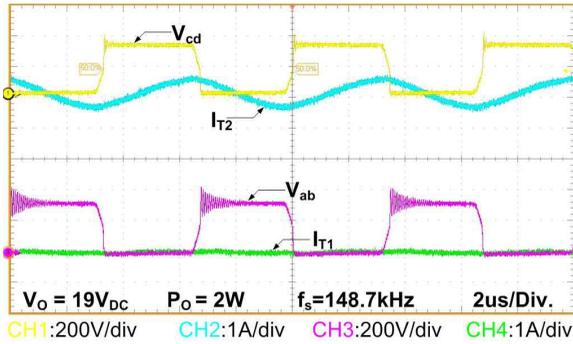


(b) 19V/ 1.58A (30W)일때의 단자 전압/전류  
(b) Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the load condition (19V/2.1A(30W)). (100V/Div., 1A/Div., 2us/Div.)

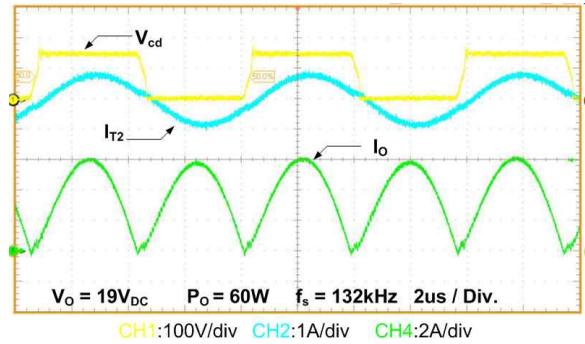


(c) 19V/ 3.15A (60W) 일때의 단자 전압/전류  
(c) Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the load condition (19V/3.15A(60W)). (100V/Div., 1A/Div., 2us/Div.)

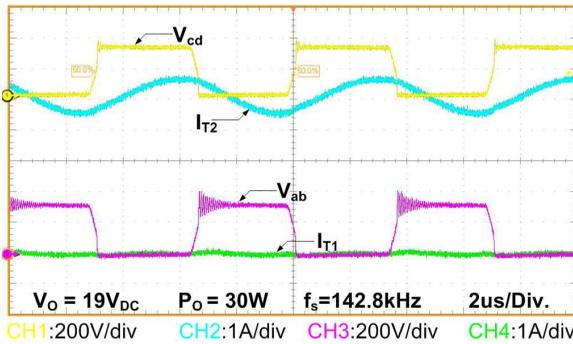
그림 8 입력전압 110V<sub>AC</sub> 일 때의 단자 전압/전류  
Fig. 8 Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the input voltage 110V<sub>AC</sub>



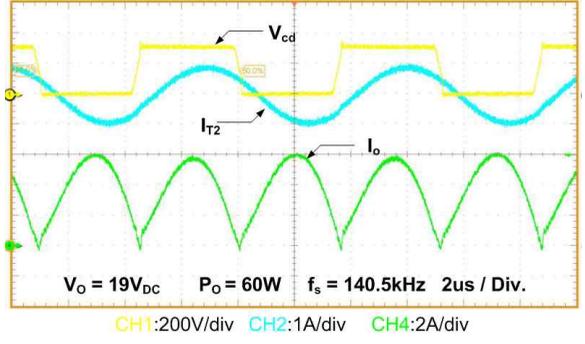
(a) 19V/ 0.1A (2W) 일때의 단자 전압/전류  
 (a) Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the load condition (19V/0.52A(2W)). (200V/Div., 1A/Div., 2us/Div.)



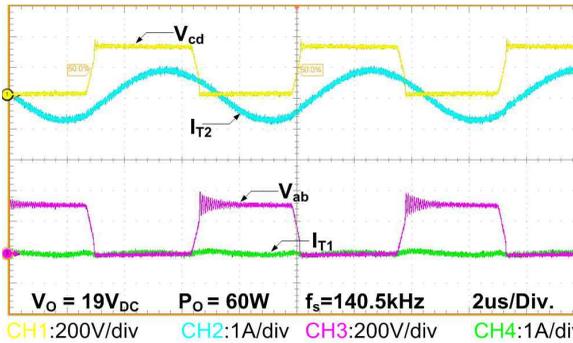
(a) 입력전압 110V<sub>AC</sub>일 때의 단자 전압/전류 및 부하전류  
 (a) Experimental waveform of the terminal voltage, current and output current in the input voltage 110V<sub>AC</sub> (100V/Div., 1A/Div. 2A/Div., 2us/Div.)



(b) 19V/ 1.58A (30W) 일때의 단자 전압/전류  
 (b) Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the load condition (19V/2.1A(30W)). (200V/Div., 1A/Div., 2us/Div.)



(b) 입력전압 220V<sub>AC</sub>일 때의 단자 전압/전류 및 부하전류  
 (b) Experimental waveform of the terminal voltage, current and output current in the input voltage 220V<sub>AC</sub>, (200V/Div., 1A/Div. 2A/Div., 2us/Div.)



(c) 19V/ 3.15A (60W) 일때의 단자 전압/전류  
 (c) Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the load condition (19V/3.15A(60W)). (200V/Div., 1A/Div., 2us/Div.)

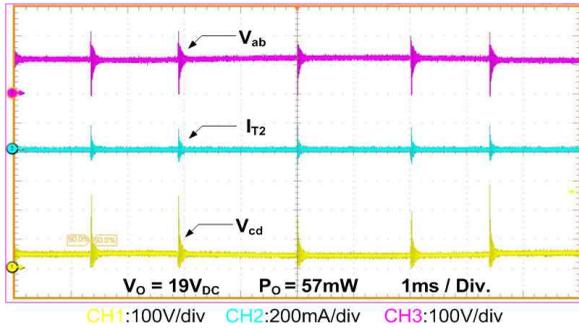
그림 9 입력전압 220V<sub>AC</sub> 일 때의 단자 전압/전류  
 Fig. 9 Experimental waveforms of the terminal voltage and current in the input voltage 220V<sub>AC</sub>

그림 10 넓은 입력전압 범위에 따른 단자 전압/전류 및 부하전류

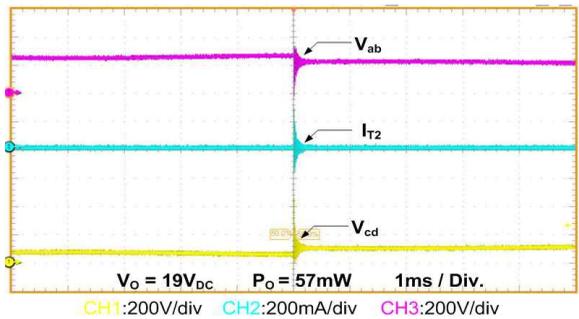
Fig. 10 Experimental waveforms of the terminal voltage, current and output current in the wide input voltage range

그림 11(a),(b)는 110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>의 넓은 입력전압에서 대기전력모드 동작 시 (19V, 3mA)일 때 1차측 단자전압/전류를 측정된 파형이다. 경부하 및 대기전력시 Burst mode모드로 동작됨에 따라 주스위칭소자(Q<sub>1</sub>, Q<sub>2</sub>)의 스위칭 횟수가 저감되어 대기전력을 저감할 수 있었다. 특히 스위칭을 계속 하지 않아도 일정 출력전압을 제어 할 수 있어 제어 및 구동전원의 소모전력이 대기전력 시 67.6mW 이하로 감소되었다.

또한 그림 12(a)에서처럼 효율측정 결과 입력전압 110V<sub>AC</sub>에서는 최대부하 (60W)에서 90.6%의 효율이 나타내고 있고, 입력전압 220V<sub>AC</sub>에서는 최대부하 (60W)에서 91.5%의 효율특성을 보여주었다. 여기서



(a) 낮은 입력전압 110V<sub>AC</sub>일 때의 대기전력시 단자 전압/전류  
 (a) Experimental waveforms of the terminal voltage and current under standby mode operation in the 110V<sub>AC</sub> input voltage (100V/Div., 200mA/Div., 1ms/Div.)

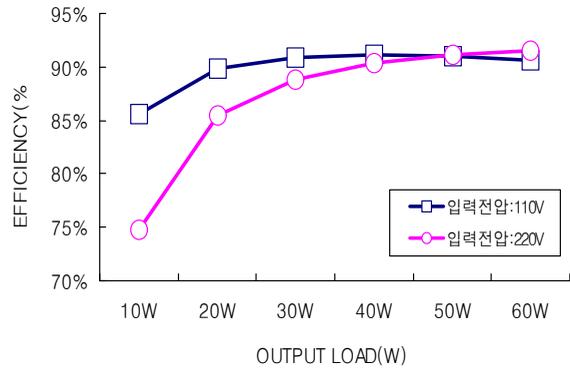


(b) 높은 입력전압 220V<sub>AC</sub>일 때의 대기전력시 단자 전압/전류  
 (b) Experimental waveforms of the terminal voltage and current under standby mode operation in the 220V<sub>AC</sub> input voltage (200V/Div., 200mA/Div., 1ms/Div.)

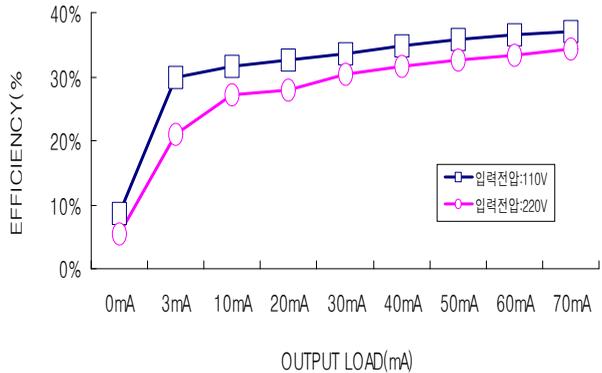
그림 11 넓은 입력전압 범위(110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>)에서 대기전력모드 동작 시(19V, 3mA) 단자 전압/전류  
 Fig. 11 Experimental waveforms of the terminal voltage, current under the standby mode operation(19V, 3mA) in the wide input voltage range (110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>)

스위칭주파수 동작범위를 공진점 부근에서 동작 할 수 있도록 변압기 및 주회로를 최적 설계한다면, 효율특성을 보다 개선할 수 있을 것으로 생각된다. 또한 그림 12(b)는 대기전력 및 경부하시 (19V, 3mA~70mA) 각 부하별 에 따른 효율을 나타내었고, 그림 12(c)는 대기전력 및 경부하시 입력소모 전력량을 나타내었다.

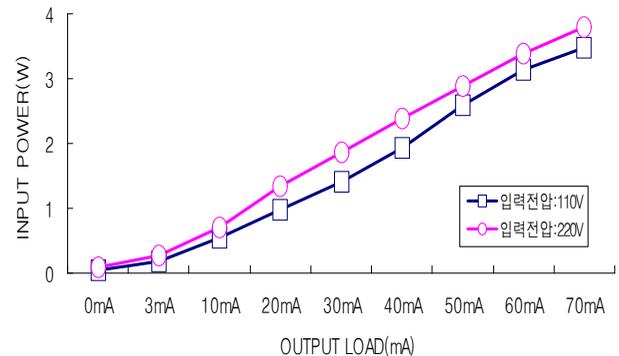
대기전력 및 경부하시(19V, 3mA~70mA) 각 부하별 효율은 낮은입력전압 110V<sub>AC</sub>에서 30%~37%의 결과를 얻었고, 높은입력전압 220V<sub>AC</sub>에서는 20%~34%의 결과를 얻었다. 또한 대기전력시 (19V, 3mA) 제어회로



(a) 정상모드 일 때의 각 부하별 효율  
 (a) Efficiency characteristics in the normal mode



(b) 대기전력모드 시 각 부하별 효율  
 (b) Efficiency characteristics in the standby mode



(c) 대기전력모드 시 각 부하에 따른 입력전력  
 (c) Input power in the standby mode under load conditions

그림 12 입력전압(110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>)에서 부하변화에 대한 효율특성

Fig. 12 Efficiency characteristics for each input voltage (110V<sub>AC</sub>/220V<sub>AC</sub>) with load conditions

소모전력은 LLC 공진컨버터에 제어IC L6599를 적용함으로써 대기전력 및 경부하시 (19V, 3mA~70m) Burst Mode로 제어가 되기 때문에 제어 및 구동전원의 소모전력이 정상모드일 때 보다 많이 줄어들어 낮은입력전압 110V<sub>AC</sub>에서 78mW, 높은입력전압 220V<sub>AC</sub>에서는 67.6mW의 제어전원의 소모전력이 나타난다.

따라서, 대기전력시 (19V, 3mA~70mA) 각 부하별 입력소모전력은 입력전압 110V<sub>AC</sub>에서는 0.191W~3.488W의 결과를 얻었다. 입력전압 220V<sub>AC</sub>에서는 0.281W~3.8W의 결과를 얻었다.

### 5. 결 론

본 논문에서는 다이오드정류기와 커패시터 필터로 구성된 입력전원을 가지고 동작되고, 넓은 입력전압범위에서 동작할 수 있는 60W 이하의 노트북용 어댑터에 적용된 LLC 공진컨버터를 제안하였다. 적용 가능성을 보여주기 위해 60W 시제품을 제작, 실험하였고, 넓은입력전압(110V<sub>AC</sub> /220V<sub>AC</sub>) 및 부하조건에서 19V의 일정한 출력전압을 제어 하였고, 정상모드 및 대기전력 및 무부하시 효율을 측정하였다. 또한 제안된 컨버터에 대한 전압이득특성식의 시뮬레이션을 비교 분석한 결과 실험의 값과 일치하는 것을 확인 할 수 있었다.

본 논문은 지식경제부의 지원으로 수행한 에너지 기술인력양성사업 학술진흥 (2007-E-AP-HM-P-18-0000)의 연구결과입니다.

### 참 고 문 헌

[1] J. Zhang, M. M. Javanovic, and F. C. Lee, "Comparison Between CCM Single-Stage And Two-Stage Boost PFC Converters", *IEEE APEC*, pp. 335-341, 1999.

[2] Yuri Panov and M.M Jovanovic, "Performance evaluation of 70W two-stage adapters for notebook computers", *IEEE APEC*, pp. 1059-1065, 1999.

[3] L. Huber and M. Jovanovic, "Evaluation of flyback topologies for notebook ad/dc adapter/charger applications", *High Frequency Power Conversion May 1995*, pp.284-294, 1995.

[4] 김봉철, 박기범, 문건우, 윤명중 "단일단 아답터를 위한 새로운 형태의 DC/DC 컨버터", *전력전자학회 2008년도 학술대회 논문집*, pp. 487-489, 2008. 6.

[5] 유병우, 한정만, 이동욱, 이종달, 이병희, 최성욱, 문건우, "85W급 고밀도전원개발", 2009년도 하계학술대회 논문

집, pp. 193-196, 2009. 7.

[6] IEC 61000-3-2, International Electro technical Commission, 3, Geneva, Switzerland, 1998.

[7] 최성욱, 유병우, 이종달, 오동성, "노트북 컴퓨터 AC/DC 어댑터의 대기전력 저감기법", *2010년도 하계학술대회 논문집*, pp. 273-274, 2010. 7.

[8] Yu-Kang Lo, Shang-Chin Yen, Jin-Yuan Lin, "A High Efficiency AC-to-DC Adapter with a Low Standby Power Consumption", *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol 55, No. 2, pp. 963-965, 2008. Feb.

### 저 자 소 개



#### 윤광호(尹光鎬)

1983년 4월 28일생. 2010년 전주대 전기 전자정보통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.



#### 정봉근(丁烽根)

1982년 11월 24일생. 2009년 전주대 전기 전자정보통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.



#### 장상호(張相皓)

1983년 11월 5일생. 2010년 전주대 전기 전자정보통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 석사과정.



#### 이승민(李升珉)

1987년 3월 16일생. 2010년 현재 전주대 전기전자정보통신공학부 재학 중.



#### 김은수(金恩洙)

1964년 3월 26일생, 1986년 중앙대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 2000년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1989년~2001년 한국전기연구원, 전력전자연구그룹 선임연구원. 2001년 9월~현재 전주대 공과대학 전기 전자정보통신공학부 부교수. 현재 당 학회 국문지 편집위원.