

액티브 스너버형 플라이백 컨버터를 적용한 60W급 초소형 어댑터에 관한 연구

A Study on 60W Class Ultra-small Adapter with Active Snubber Type Flyback Converter

안 태 영*[★]

Tae-Young Ahn*[★]

Abstract

In this paper, an active snubber type flyback converter was applied to a 60W class adapter and its test results are reported by producing a prototype. Especially, the prototype of the adapter was designed for both input voltage of 110V and 220V. The output voltage was designed for 60W with 19V class which is the most commonly used in laptops. The prototype was designed to a volume of about 50cm³ and a power density of about 1.22W/cm³ to minimize the size and verify portability. The maximum efficiency of the prototype was 90.88% at its maximum load of 60W against input voltage change and 91.04% was observed at 60W under input voltage of 220V. Furthermore, the stability of the output voltage against load power was observed to be within about 0.07%.

요 약

본 논문에서는 액티브 스너버형 플라이백 컨버터를 60W급 어댑터에 적용하고 시험 회로를 제작하여 그 시험 결과를 보고 하였다. 특히 어댑터의 시험 회로는 입력전압이 110V와 220V 겸용으로 설계하였으며 출력전압은 노트북 컴퓨터 등에서 가장 많이 사용되는 19V 60W급으로 설계하였다. 시험용 60W급 어댑터의 체적은 약 50cm³, 전력밀도는 약 1.22W/cm³로 설계 하여 사이즈를 최소화 시켜서 휴대성을 확인 하였다. 시험 회로는 입력전압 변화에 대해 최대부하 60W에서는 최대 90.88%의 고효율을 나타내었다. 입력전압 220V에서 효율은 60W 출력에서 최대 91.04%이었다. 또한 부하 전력에 대한 출력전압 안정도는 약 0.07%이내로 관측되었다.

Key words : Active snubber, Quasi resonant switching, Valley switching, Flyback converter, AC adaptor

* Department of Applied Electronic Engineering,
Cheongju University

★ Corresponding author

E-mail : tyahn@cju.ac.kr, Tel : +82-43-229-8439

Manuscript received Aug, 27, 2018; revised Sep. 18, 2018;
accepted Sep. 19, 2018

This is an Open-Access article distributed under the
terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License

(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which
permits unrestricted non-commercial use, distribution,
and reproduction in any medium, provided the original
work is properly cited.

1. 서론

최근 노트북 컴퓨터나 태블릿 PC와 같이 휴대할 수 있는 전자기기는 점차 처리 속도가 증가하고, 사용 가능 시간이 증가하면서 대용량의 배터리를 필요로 하지만 제품의 무게를 증가시키는 단점이 존재한다. 따라서 AC 어댑터와 같은 휴대형 전자 기기에서 사용되는 전원장치는 교류에서 안정된 직류전원으로 변환하는 높은 전압 안정도 외에도 대용량의 배터리를 빠르게 충전시키는 높은 전류 공급 능력이 필요하며, 휴대성을 높이기 위해서 사

이즈를 최소화 시킬 필요가 있다. 일반적으로 어댑터는 제조 가격과 사용 부품 수를 줄이기 위해서 플라이백 회로 방식을 기본 회로로 사용하며, 내부 전력손실을 줄이고 전력변환 효율을 높이기 위해서 정류 손실을 최소화 시키는 동기 정류기 회로와 스위칭 손실을 저감시켜주는 소프트 스위칭 제어 회로를 주로 사용하고 있다[1].

본 논문에서는 스위치의 전압 서지를 최소화 시키고, 소프트 스위칭이 가능하며 낮은 정격의 스위치를 사용하게 되어 스위치의 전도손실을 줄여줌으로서 높은 효율의 플라이백 컨버터 구현이 가능하다고 알려진 액티브 스너버형 플라이백 컨버터를 60W급 어댑터에 적용하고 시험 회로를 제작하여 그 시험 결과를 보고한 것이다. 특히 어댑터의 시험 회로는 입력전압이 110V와 220V 겸용으로 설계하였으며 출력전압은 노트북 컴퓨터 등에서 가장 많이 사용되는 19V로 설계하였다. 시험용 60W급 어댑터의 체적은 약 50cm^3 , 전력밀도는 약 $1.22\text{W}/\text{cm}^3$ 로 설계하여 사이즈를 최소화 시켜서 휴대와 사용을 편리하게 하였다.

II. 액티브 스너버형 플라이백 컨버터

그림 1에는 본 논문에서 적용하려는 액티브 스너버형 플라이백 컨버터의 기본 회로가 나타나 있다. 그림에서는 주스위치의 턴 오프 서지를 억제하기 위한 커패시터-스위치 직렬형 액티브 스너버를 추가한 회로로서 스위치의 위치에 따라 N-ch 스위치 방식과 P-ch 스위치 방식으로 분류할 수 있다. 일반적으로 N-ch 스위치 방식은 낮은 온 저항과 높은 내전압의 모델이 존재하여 스너버 손실을 최소화 시킬 수 있지만 보조 스위치가 접지와 분리되어 있어서 구성이 복잡한 하이사이드 구동회로가 필요하다. P-ch 스위치 방식은 메이커 등에서 제공하는 고내전압의 모델이 적고, 손실이 상대적으로 많지만 구동회로가 간단하여 소형화에 적합하다. 그림 1에서 변압기 2차 측에 존재하는 정류용 스위치 S_R 은 다이오드 대신 정류 기능을 수행하는 동기정류기로서 부하전류가 증가할수록 정류기 전도손실을 저감시켜 효율을 개선시키는 역할을 한다[2].

그림 2에는 이론 동작 파형을 나타내었다. 그림의 위로부터 주스위치 S_1 의 양단 전압, 주스위치 S_1 의 전류, 변압기 자화전류, 정류기 S_R 의 전류, 주스위치

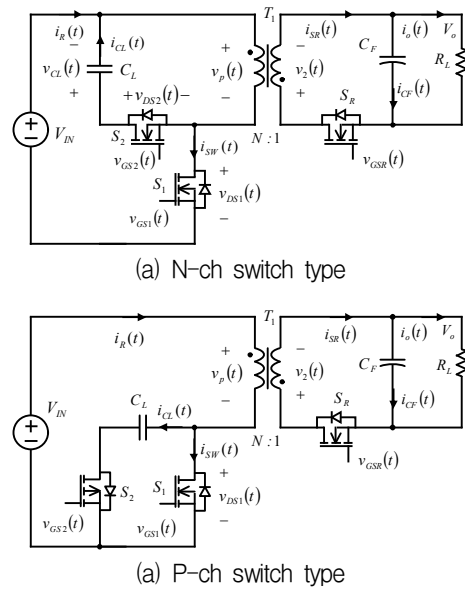


Fig. 1. Basic circuit of active snubber type flyback converter. 그림 1. 액티브 스너버형 플라이백 컨버터의 기본회로

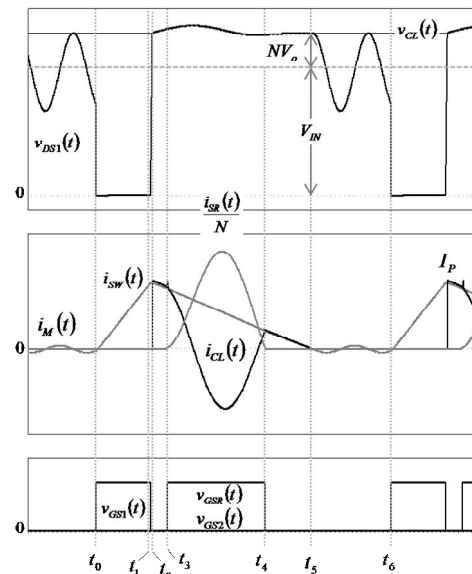


Fig. 2. Theoretical waveform of the circuit. 그림 2. 회로의 이론 동작 파형

S_1 과 동기정류기 S_R 의 구동신호이다. 특히 본 논문에서 사용된 액티브 스너버는 보조 스위치 S_2 가 동기정류기 구동신호와 동일하게 인가되어 어댑터 회로를 간단하게 할 수 있다는 장점이 있다[3].

그림에서 주스위치가 턴 온 되면, 변압기 자화인덕터의 자화전류 I_M 이 일정하게 증가하고, 식 (1)과 같은 에너지가 변압기에 저장된다. 이후 턴 오프 되면 자화인덕턴스 L_M 와 액티브 스너버용 클램프 커패시터 C_L 이 공진하여 스위치 전압이 일정하게 클램핑 되면서, 그 결과 기존 플라이백 컨버터

에서 문제가 되었던 과도한 서지 전압을 억제하는 역할을 수행하게 된다. 이 때 액티브 스너버 커패시터는 식 (2)와 같이 설계된다[4]. 이 후 스위치 전압은 전류불연속 상태가 되고 자화인덕턴스와 스위치 커패시터에 의한 공진으로 소위 밸리 스위칭 상태에 돌입하며 스위치 전압이 최저점에서 선택적으로 턴 온 되는 제어동작으로 턴 온 손실을 최소화 시키게 된다[5][6].

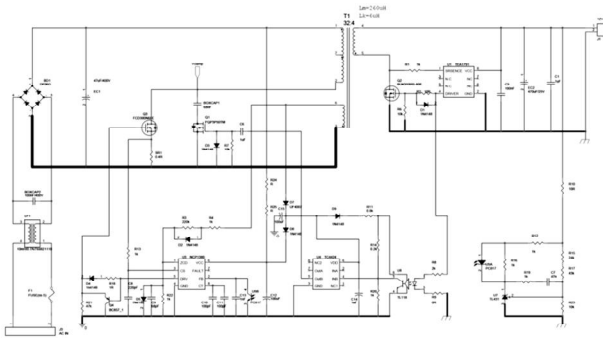


Fig. 3. Schematic of the experimental circuit.
그림 3. 실험 회로도

Table 1. Transformer Specifications.

표 1. 변압기 스펙

Parameters	Value	Unit
Model	RM7	PC40
Turn ratio	32:4:5	
Magnetizing inductance	254	μH
Leakage inductance	11.4	μH
Primary wire diameter	0.25	mm
Secondary wire diameter	0.8	mm

$$P_o = \frac{1}{2} L_M I_{sw}^2 f_{sw} \quad (1)$$

$$C_L = \frac{1}{L_K} \left(\frac{2I_{sw} L_M}{3\pi N V_o} \right)^2 \quad (2)$$

그림 3은 본 논문에서 시험용 어댑터를 제작하기 위해 설계한 회로도이다. 회로도의 시험용 어댑터는 입력전압이 110V와 220V 겸용으로 설계하였으며, 일반적인 노트북형 컴퓨터에 적용할 수 있도록 출력전압은 19V, 최대출력은 60W로 설정하였다. 그림에서는 앞서 설명한 액티브 스너버형 플라이백 컨버터를 기본회로로 적용하였으며, 플라이백 컨버터용 제어소자는 밸리 스위칭에 최적화된 NCP1380, 동기 정류기용 제어소자는 TEA1791, 액티브 스너

버용 보조 스위치의 구동 소자는 TC4424를 사용하였다[7][8].

초소형 어댑터의 사이즈를 줄이기 위해서는 변압기의 설계가 중요하며, 표 1과 같은 최적화된 시험용 변압기를 제작하여 적용하였다. 표 2에는 어댑터 시험 회로에 사용된 반도체 스위치의 모델과 정격 등을 정리하여 나타내었다. 특히 동기정류기용 스위치 S_R은 온 저항에 따라 효율변화를 관찰하기 위해서 두 가지를 사용하였다.

그림 4에는 초소형 어댑터 시험 회로의 사이즈를 나타내었다. 그림에서 가로와 세로 비율을 거의 같게 유지하였고, 길이는 손바닥 넓이와 유사한 74mm로 설계하여 어댑터를 한 손에 쉽게 잡을 수 있도록 설계하였다.

Table 2. Specifications of major switches.

표 2. 주요 스위치의 스펙

Switch	Model name	Volt.	Current	Resistance
S1	FCD380N60	600 V	10.2 A	380mΩ
S2	FQD3P50TM	-500V	-2.1A	4.9Ω
S _R	PSMN013-80YS	80V	60A	12.9mΩ
	BUK9Y8R5	80V	100A	8.5mΩ

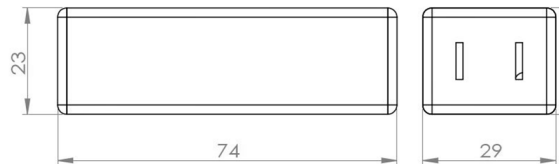


Fig. 4. Size of the prototype ultra-small adapter.
그림 4. 초소형 어댑터 시험 회로의 사이즈

그림 5에는 실험 회로도를 기본으로 PCB를 설계한 결과이며, 그림에서 세 개의 반도체 스위치는 사이즈 제한 때문에 방열판 부착이 어렵고 따라서 PCB 패턴을 최대한 넓게 하여 방열효과를 극대화하였다.

그림 6에는 시험용 어댑터의 케이스와 회로의 구성을 나타내었다. 시험용 어댑터는 그림 4의 도면을 이용하여 3D 프린터로 제작하였으며, PCB를 내부에 끼워서 고정 할 수 있도록 케이스에 슬롯을 만들었다. 그 결과 시험용 60W급 어댑터의 체적은 약 50cm³이었으며, 전력밀도는 약 1.22W/cm³로 설계하여 시험 회로의 사이즈를 최소화 시켜서 휴대와 사용을 편리하게 하였다.

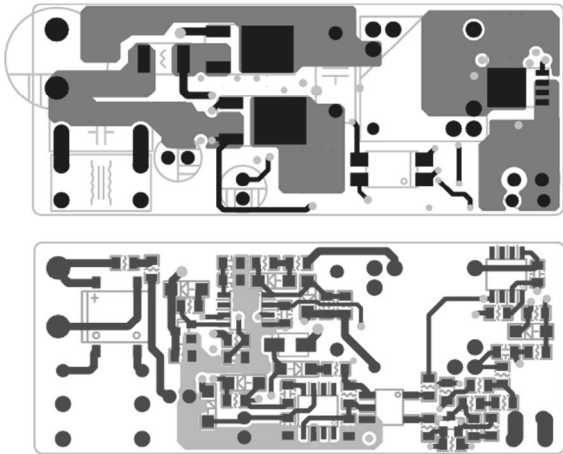


Fig. 5. Double sided PCB layout.
그림 5. 양면 PCB 설계

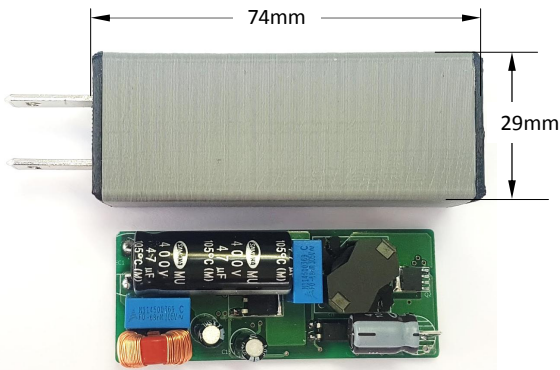


Fig. 6. Case and circuit configuration of the prototype.
그림 6. 시험용 어댑터 케이스와 회로 구성

III. 실험 결과

그림 7에는 액티브 스너버형 플라이백 컨버터를 적용한 60W급 초소형 어댑터를 시험하는 전경 사진이다. 시험에서 사용된 입력전원과 전자부하 장치는 Kikusui사의 PCR500M과 PLZ1004WH이며 입력과 출력의 전력측정 장치는 Yokogawa사의 WT1600 모델이며, 파형 관측은 Teledyne Lecroy사의 HDO6104이었다.

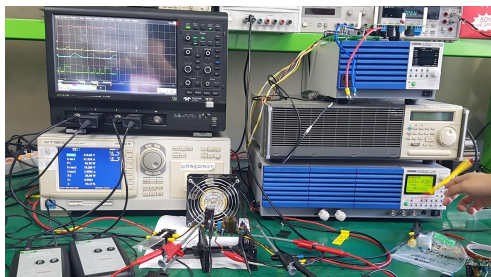


Fig. 7. Picture of experimental setup.
그림 7. 시험 전경 사진

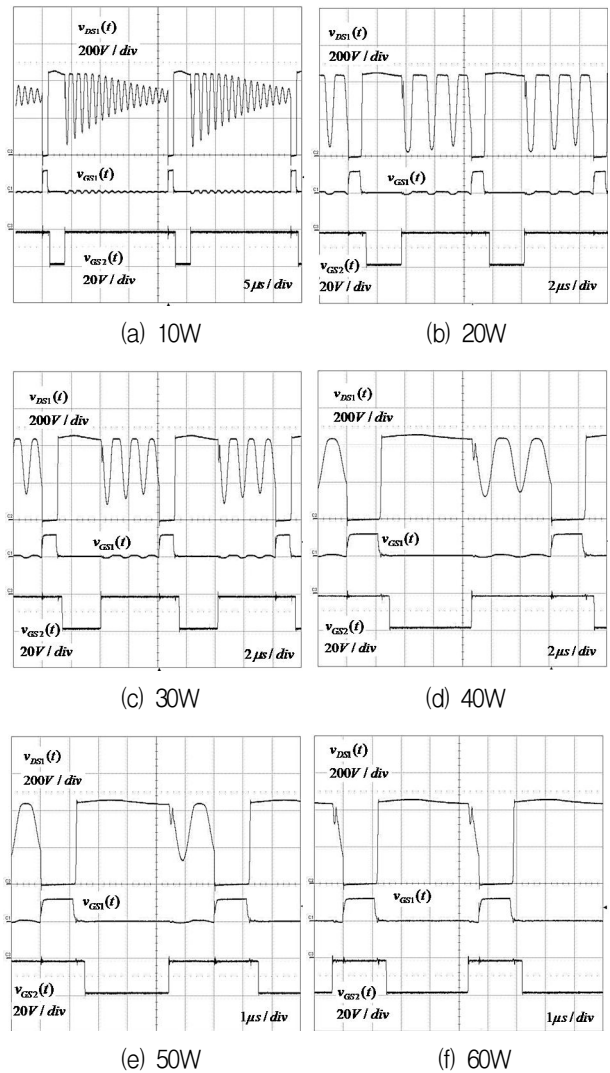


Fig. 8. Steady-state waveform of the prototype.
그림 8. 정상 상태 실험 파형

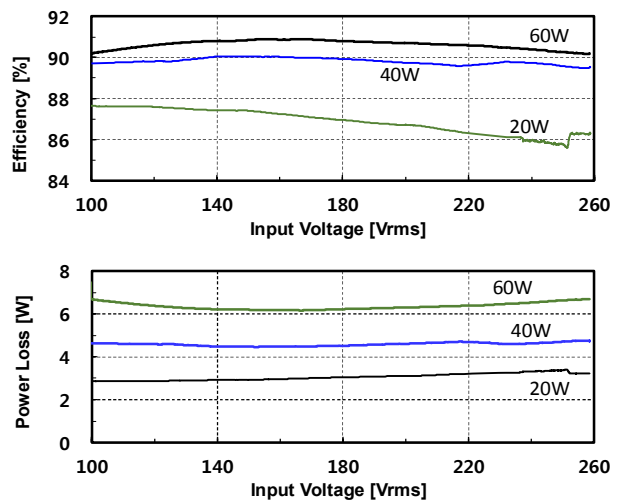


Fig. 9. Efficiency and loss characteristics for input voltage.
그림 9. 입력 전압에 대한 효율과 손실 특성

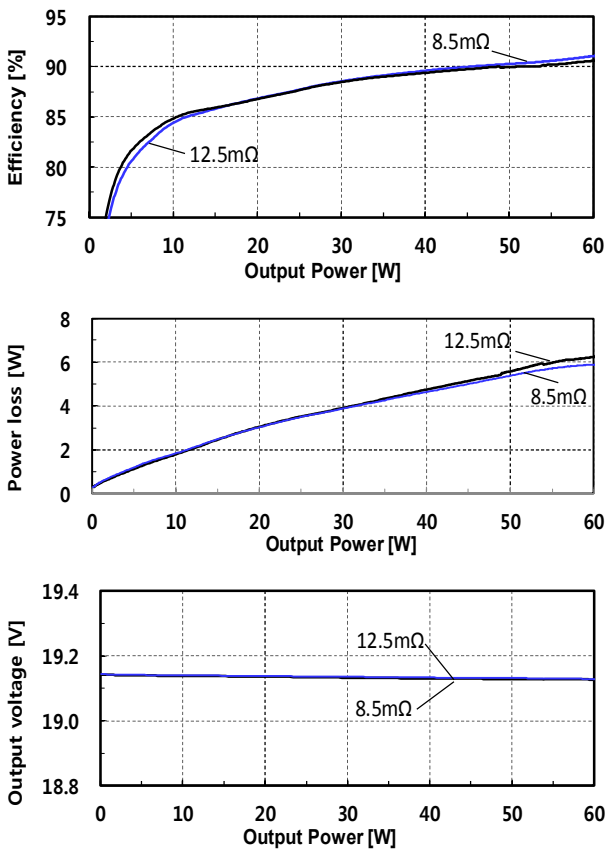


Fig. 10. Steady-state characteristics for load power.
그림 10. 부하 전력에 대한 정상상태 특성

그림 8에는 정상상태에서 시험회로의 실험과형을 나타낸 것이다. 입력전압은 220V이며, 위로부터 부하에 따른 주스위치 S_1 의 전압, 주스위치 S_1 의 구동전압, 액티브 스너버용 보조스위치 S_2 의 구동전압을 나타내었다. 그림에서 10W의 부하전력에서는 시비율이 최소가 되며, 스위치 전압이 감쇄공진 형태를 나타내었다. 20W부하에서는 공진전압 즉 4번째 밸리에서 턴 오프 되고 있고, 부하 전력이 증가할수록 밸리의 개수가 감소하여 최대전력 60W에서는 첫 번째 밸리에서 턴 온 되며 최대 시비율에서 구동되고 있다는 것을 알 수 있었다. 특히 액티브 스너버를 적용한 결과 전 부하전력 범위에서 스위치의 턴 오프 서지는 거의 관측되지 않았으며, 서지 전압이 거의 없는 안정된 스위칭 동작을 확인할 수 있었다.

그림 9는 입력전압에 대한 효율과 손실특성을 그래프로 나타낸 것이다. 실험에서 입력전압은 100V에서 260V까지 가변 하였으며, 이때 부하전력은 각각 20W, 40W, 60W로 고정하였다. 그림에서 40W 이상에서는 전체 입력전압 범위에 대해 89%이상의

효율을 나타내었고, 특히 60W 최대 출력에서는 90% 이상의 높은 효율이 관찰 되었다. 최대 효율은 150V입력전압에서 약 90.88%로 관측 되었다. 어댑터의 최대 손실은 최대전력에서 발생하며, 그래프에서 100V입력에서 6.7W의 내부손실이 발생하였다.

그림 10은 부하전력에 대한 정상상태 특성을 그래프로 나타낸 것이다. 이 때 입력전압은 220V이었으며, 무부하에서 최대부하까지 가변 하여 측정하였다. 특히 동기정류기용 스위치를 온 저항이 각각 8.5mΩ과 12.5mΩ의 MOS FET를 적용하여 특성을 비교하였다. 그림에서 부하에 대한 전력변환 효율은 최대 부하에서 최대 효율이 나타났으며, 이 때 91.04%와 90.6%이었다. 동기정류기의 두 모델에 대한 효율 차이는 약 0.44%이며 이 때 내부전력손실은 약 6.23W와 5.88W으로 그 차이는 약 0.35W로 낮은 온 저항의 동기정류기용 스위치의 효과가 높지 않다는 것을 알 수 있었다. 이러한 특징은 온 저항이 낮은 스위치일수록 게이트 정전용량이 증가하여 구동 손실이 비례하기 때문으로 판단된다. 또한 그림에서 부하 전력에 대한 출력전압은 약 0.07% 이내의 안정도를 나타내었다.

IV. 결론

본 논문에서는 액티브 스너버형 플라이백 컨버터를 60W급 어댑터에 적용하고 시험 회로를 제작하여 그 시험 결과를 보고하였다. 특히 어댑터의 시험 회로는 입력전압을 110V와 220V 겸용으로 설계하였으며 출력전압은 노트북 컴퓨터 등에서 가장 많이 사용되는 19V 60W급으로 설계하였다. 시험용 60W급 어댑터의 체적은 약 50cm³, 전력밀도는 약 1.22W/cm³로 설계하였으며, 3D 프린터로 케이스를 제작하여 휴대성을 확인 하였다.

시험 회로에서 정상상태의 동작 과형으로부터 안정된 액티브 스너버 효과를 확인하였으며, 입력전압 변화에 대한 효율은 최대 부하 60W에서는 최대 90.88%의 고효율 특성을 나타내었다. 특히 입력전압 220V에서는 두 종류의 동기정류기 스위치에 따라 시험하였으며 최대 효율은 각각 91.04%와 90.6%이었다. 또한 부하 전력에 대한 출력전압 안정도는 약 0.07% 이내로 관측되어 액티브 스너버형 플라이백 컨버터를 적용한 60W급 초소형 어댑터의 실용성을 확인하였다.

References

- [1] J. S. Yoo, T. Ahn, G. Yu, J. Lee and J. Lee, "A study on novel active clamp snubber applied DC-DC quasi resonant flyback converter to effectively reduce switch voltage surge," *ICEMS*, 2017, pp. 1-5 DOI:10.1109/ICEMS.2017.8056280
- [2] T. Wu, Y. Chang, C. Chang and J. Yang, "Soft-Switching Boost Converter With a Flyback Snubber for High Power Applications," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.27, no.3, pp.1108-1119, March 2012. DOI:10.1109/TPEL.2011.2126024
- [3] L. Chen, H. Hu, Q. Zhang, A. Amirahmadi and I. Batarseh, "A Boundary-Mode Forward-Flyback Converter With an Efficient Active LC Snubber Circuit," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.29, no.6, pp.2944-2958, June 2014. DOI:10.1109/TPEL.2013.2272661
- [4] J. Zhang, X. Huang, X. Wu and Z. Qian, "A High Efficiency Flyback Converter With New Active Clamp Technique," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.25, no.7, pp.1775-1785, July 2010. DOI:10.1109/TPEL.2010.2042302
- [5] Y. Wang, S. Zhang, Y. Guan, X. Liu and D. Xu, "Single-stage QR AC - DC converter based on buck - boost and flyback circuits," in *IET Power Electronics*, vol.10, no.1, pp. 103-111, Jan 2017. DOI:10.1049/iet-pel.2016.0264
- [6] J. Li, F. B. M. van Horck, B. J. Daniel and H. J. Bergveld, "A High-Switching-Frequency Flyback Converter in Resonant Mode," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol.32, no.11, pp.8582-8592, Nov. 2017. DOI:10.1109/TPEL.2016.2642044
- [7] J. Park et al., "Quasi-Resonant (QR) Controller With Adaptive Switching Frequency Reduction Scheme for Flyback Converter," in *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol.63, no.6, pp.3571-3581, June 2016. DOI:10.1109/TIE.2016.2523931
- [8] C. Pesce, R. Blasco Gimenez, J. Riedemann, I. Andrade and R. Pena, "A DC-DC Converter Based On Modified Flyback Converter Topology,"

in *IEEE Latin America Transactions*, vol.14, no.9, pp.3949-3956, Sept. 2016. DOI:10.1109/TLA.2016.7785917

BIOGRAPHY

Tae-Young Ahn (Member)



1984 : BS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
 1990 : MS degree in Electronics Engineering, Hanyang University.
 1994 : PhD degree in Electronics Engineering, Kyushu University.

1997~present : Professor, Department of Applied Electronic Engineering, Cheongju University