

LED 조명장치 구동용 200[W]급 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터

한우용¹, 박효식^{1*}
¹전주비전대학 신재생에너지과

200[W] Half-Bridge LLC Series Resonant Converter for driving LED Lamp

Woo-Yong Han¹ and Hyo-Sik Park^{1*}

¹Dept. of New & Renewable Energy, Vision University of Jeonju

요 약 LED는 다른 광원에 비해 동작수명이 길고, 친환경적이며, 에너지 효율이 높은 장점을 가지고 있다. 최근 LED 기술의 발전으로 인해 고휘도, 고용량의 LED가 개발됨에 따라, 표시장치에만 적용되던 LED를 조명장치에도 적용하는 기술이 확산되고 있다. 파워 LED는 동작의 안정성 및 신뢰성을 확보하기 위해 구동전류를 일정한 값 이하로 유지하는 전류제한기능이 필요한데, 본 논문에서는 전류제한기능을 포함한 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터를 제안한다. 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터는 다른 공진형 컨버터에 비해 상대적으로 입력전압 및 출력부하 범위가 광범위한 장점이 있으며, 변압기의 누설인덕턴스를 공진인덕터로 이용할 수 있기 때문에 마그네틱 소자를 줄일 수 있는 장점이 있다. 전류제한기능 및 역률개선기능을 포함하고 있는 출력전압 DC24[V], 200[W]급의 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 설계 및 실험을 통해 타당성을 입증하였다.

Abstract In comparison with some other light sources, LED has merits such as long lifetime, pollution free, and high energy efficiency. Lately, due to development of LED with high brightness and capacity, LED, which has been applied in display system only, has applied in the field of lighting system. Driving current of power LED has to be controlled below the designed value. In this paper, half-bridge LLC series resonant converter, which has the current limiting function, has been described. Half-bridge LLC series resonant converter allows in relatively wide input voltage and output load range when compared to the other resonant converter. Also, it is possible to reduce a magnetic component, because leakage inductance of transformer is used as a resonant inductance. It has been validated by designing and testing 200[W] half-bridge LLC converter of DC24[V] output voltage for LED lamp driver, which includes a current limiting function and power factor correction(PFC) function.

Key Words : LED lamp driver, Half-bridge LLC series resonant converter, Current limit, PFC

1. 서론

조명장치의 주요 광원으로 사용되는 3파장 램프나 백열전구는 방전가스를 내부에 포함하고 있기 때문에 램프 폐기 시 유해가스를 방출하여 환경오염의 문제를 유발하고, 램프의 수명이 2~3년으로 짧기 때문에 주기적으로 교체할 필요성이 발생하여 유지보수 비용이 많이 발생하는

단점을 안고 있다.

이에 비해, LED는 반도체 기술을 이용한 조명소자이기 때문에 동작수명이 반영구적이며, 유해가스를 포함하고 있지 않아 유해가스 배출에 따른 환경오염문제도 해결할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나 지금까지 개발된 LED는 휘도가 낮기 때문에 표시장치에만 적용되었고, 조명장치에는 적용이 불가능하였다[1,2].

*교신저자 : 박효식(hspark@jvision.ac.kr)

접수일 10년 08월 30일

수정일 10년 11월 17일

계재확정일 10년 11월 19일

최근에 개발된 파워 LED는 일반 LED에 비해 휘도가 높기 때문에 파워 LED를 조명장치의 광원으로 적용하는 것이 가능하게 되었다. 그러나 파워 LED는 구동전류가 흘러 점등되면 내부 PN 접합면의 온도가 상승하여 내부 저항값이 감소함으로 인해 구동전류가 상승하는 현상이 발생한다. 구동전류가 상승하게 되면 온도가 다시 상승하여 결국에는 파워 LED가 소손되는 동작특성을 가지고 있다. 따라서 파워 LED를 조명장치의 광원으로 이용하기 위해서는 파워 LED의 구동전류를 정격전류 이내로 제한하기 위한 전류제한기능을 갖는 파워 LED 전용의 전원공급장치를 필요로 한다[3,4].

본 논문에서는 파워 LED의 특성을 고려하여 파워 LED 구동전류의 전류제한기능을 포함하고 있는 파워 LED 구동 전용 전원공급장치를 제안한다. 제안된 파워 LED 전용 전원공급장치는 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터로서, 저렴하고, 효율이 높으며, 출력전압이 다소 높은 시스템에 적합한 구조이다. 제안된 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터는 입력단의 역률을 높이기 위해 승압형 DC-DC 컨버터를 적용한 PFC 회로를 포함하고 있으며, LLC 컨버터 파워단의 제어와 PFC용 승압형 DC-DC 컨버터의 제어를 하나의 소자를 이용하여 제어하는 구조이다.

본 논문의 타당성을 입증하기 위하여 전류제한기능 및 역률개선기능을 포함하고 있는 출력전압 DC24[V], 출력용량 200[μF]급의 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터를 제작하고 실험데이터를 도출하여 안정적으로 동작됨을 확인하였다.

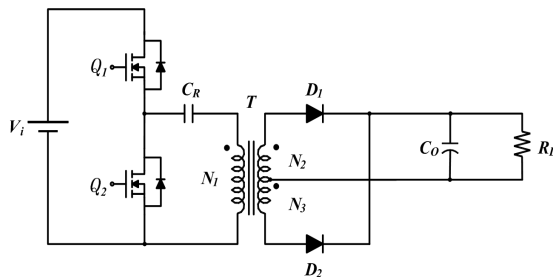
2. 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터

LCD 및 PDP TV 시장의 확대에 따라 이에 적합한 200~600[W]급 전용 전원공급장치의 필요성이 대두되었다. LCD 및 PDP TV용 전원공급장치가 갖추어야 할 필수 요소는 공간이 제한되어 있기 때문에 부피 및 무게를 줄인 소형경량화가 필요하며, 냉각용 팬을 설치할 수 없기 때문에 발열이 적어야 할 필요성이 있다. 이에 따라 전력밀도가 높고, 동작효율이 높은 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터 개발에 대한 연구활동이 활발히 진행되고 있다.

하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터는 다른 공진형 컨버터에 비해 입력전압 및 부하범위가 상대적으로 넓은 장점이 있으며, 변압기의 누설인덕턴스를 공진탱크의 공진인덕턴스로 활용할 수 있기 때문에 공진인덕터를 생략할 수 있는 장점이 있다. 또한 정상적인 부하의 전범위에

걸쳐 1차측 스위치에 대해 영전압(ZVS) 스위칭이 이루어지기 때문에 스위칭 손실을 줄일 수 있으며, 2차측의 정류다이오드는 영전류(ZCS) 스위칭이 가능하기 때문에 다이오드의 역회복 손실이 발생하지 않아 스위칭 효율을 높일 수 있는 장점이 있다[5-10].

그림 1은 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 회로도로서, 변압기를 중심으로 1차측에 주스위치(Q_1, Q_2)와 공진커패시터(C_R)가 위치하며, 2차측에는 정류다이오드(D_1, D_2) 및 평활커패시터(C_O)로 구성된다.

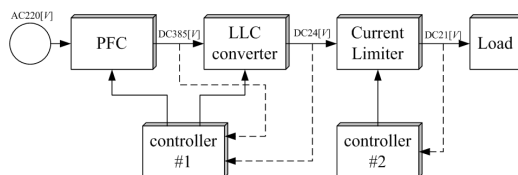


[그림 1] 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터

3. LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터

파워 LED를 광원으로 이용하는 LED 조명장치는 보통 50~200[W]급의 용량을 사용하는데, 다른 구조의 직류 전원공급장치에 비해 출력전압의 범위가 넓고, 전력밀도가 높으며, 에너지 효율이 우수한 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터를 LED 조명장치 구동용 전원공급장치로 적용하는 것을 제안한다.

그림 2는 본 논문에서 제안한 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 구성을 나타낸 그림이다.



[그림 2] LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 구성

AC220[V]의 상용전원을 입력받은 후, PFC를 통해 교류 입력단의 전압 및 전류의 위상차를 줄여 무효전력을

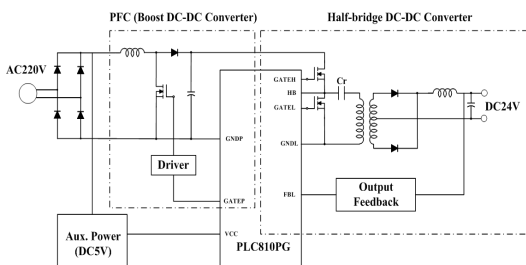
감소시킴으로써 에너지 효율을 높여 준다. 본 논문에서는 PFC 회로로 입력측의 전압에 비해 출력측의 전압이 높은 승압형 DC-DC 컨버터 회로구조를 적용한다.

전원공급장치의 주회로는 하프브리지 LLC 직렬 공진형 컨버터로서, 인덕터와 커패시터의 공진동작을 이용해 전력을 전달하는 공진형 컨버터의 한 종류이다. 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터는 강압형 변압기의 내부에 포함된 누설인덕턴스를 공진탱크에 흡수할 수 있기 때문에 회로가 간단해지는 특징이 있다. PFC로부터 공급되는 385[V]의 직류전압을 L,C 공진회로 및 고주파 변압기를 이용하여 출력측으로 전달한 후, 필터를 통해 안정화시킨다. 또한 본 논문에서는 PFC와 하프브리지 LLC 직렬 공진형 컨버터의 출력전압제어를 하나의 제어 IC를 이용하여 사용함으로써 회로구조를 간단히 하고 안정적인 동작을 얻을 수 있도록 설계한다.

파워 LED는 휘도가 높은 반면에, 구동 시 PN접합면의 온도가 상승하여 소손되는 문제점이 있기 때문에 파워 LED의 구동전류를 일정한 값 이하로 제한해야 할 필요성이 있다. 따라서 본 논문에서는 LLC 컨버터의 출력단에 전류제한회로를 추가하여 파워 LED로 공급되는 구동전류가 일정한 값 이하를 유지하도록 한다.

본 논문에서 부하로 적용한 파워 LED 조명장치는 하나의 구동전압이 DC3.5[V]인 파워 LED 6개를 직렬로 연결하여 하나의 스트링으로 제작하기 때문에 스트링당 파워 LED의 구동전압은 DC21[V]가 된다. 따라서 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 출력전압 DC24[V]를 전류제한회로를 통해 DC21[V]로 변환하여 부하에 공급한다.

그림 3은 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 회로도를 나타내는 그림으로서, 교류입력전압을 정류한 후, 승압형 DC-DC 컨버터 구조의 PFC를 통해 입력역률을 개선하여 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터 공급하는 구조이며, PFC 및 LLC 컨버터를 하나의 제어 소자를 이용하여 제어함으로써 회로를 간단히 구성할 수 있는 장점이 있다.



[그림 3] LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터

4. 실험결과

본 논문에서 제안한 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 타당성을 입증하기 위하여 200[W]급의 시제품을 제작하여 동작을 확인하였다.

표 1은 본 논문의 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터 PFC부의 설계사양이며, 표 2는 LLC 컨버터 주회로의 설계사양이다. PFC는 승압형 DC-DC 컨버터 구조로 설계하였으며, LLC 컨버터 주회로는 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터 구조로 설계하였다. 두 컨버터는 하나의 제어 소자를 사용하여 각각 별도로 제어되도록 설계함으로써, 부품의 수량을 줄여 회로가 간단하고 저렴한 LED 조명장치 구동용 전원공급장치가 가능하도록 하였다.

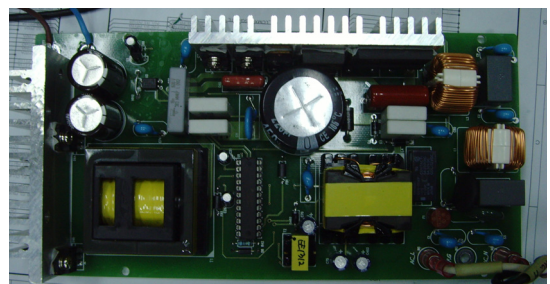
[표 1] PFC용 승압형 컨버터 사양

항 목	설계값	단위
입력전압	AC 220	V
입력역률	99	%
스위칭 주파수	70	kHz
출력전압	DC 385	V
출력전류	1	A
입력인덕터	10	mH
출력커패시터	180	μ F

[표 2] 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터 사양

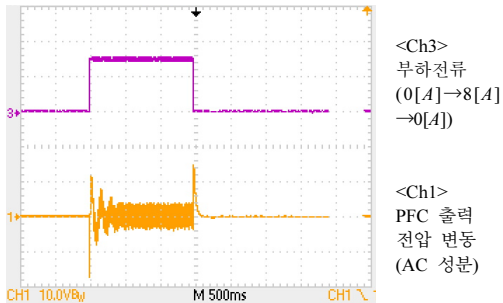
항 목	설계값	단위
입력전압	DC 385	V
스위칭 주파수	100	kHz
출력전압	DC 24	V
출력전류	8	A
공진커패시터	18	nF

그림 4는 본 논문의 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터 시제품 사진이다.

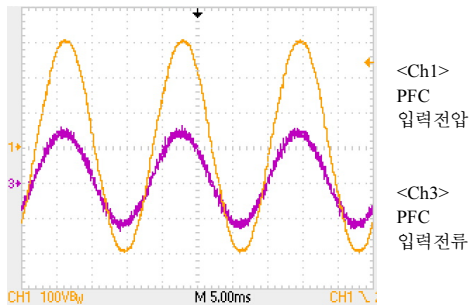


[그림 4] LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터

그림 5는 PFC 출력전압의 교류성분을 측정한 파형으로써, 채널 3의 부하전류가 0[A]→8[A]→0[A]로 변화될 때 385[V]의 PFC 출력전압이 ±20[V] 내외로 제어됨을 보여주고 있다. 그림 6은 PFC 입력단의 전압 및 전류 파형을 나타내는 것으로 전압과 전류 파형의 위상이 거의 일치함을 확인할 수 있다. 계측기를 통한 입력역률 측정결과는 0.99 임을 확인하였다.



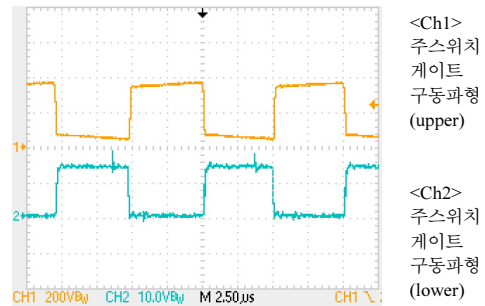
[그림 5] PFC 부하변동실험



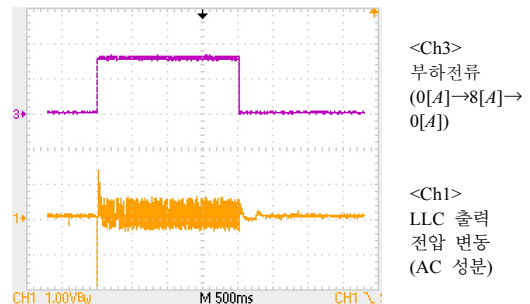
[그림 6] PFC 입력단 전압 및 전류

그림 7~10은 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터의 실험파형으로서, 그림7은 LLC 컨버터 주 스위치의 게이트 구동 파형을 나타낸다. 파형의 채널 1은 upper에 위치한 스위치의 게이트 구동 파형을, 채널 2는 lower에 위치한 스위치의 게이트 구동 파형을 각각 나타낸다. 파형에서 보면 upper 스위치 파형인 채널 1의 [V/div]은 200 [V/div]인데 이것은 upper 스위치의 소스 단자가 플로팅되어 있어 그라운드를 기준으로 파형을 측정하면 200[V]에 가깝게 측정되는 것이며, 실제로는 lower 스위치와 마찬가지로 0[V]와 15[V] 사이에서 변화되는 펄스 파형이다. 그림 8은 부하를 0[A]→8[A]→0[A]로 변화시킬 때 LLC 컨버터 출력전압 DC24[V]에 포함된 교류성분의 변동을 나타낸 것으로 무부하에서 전부하로 부하가 변화되어도 ±2[V] 이내로 출력전압이 제어됨을 보여준다. 그림

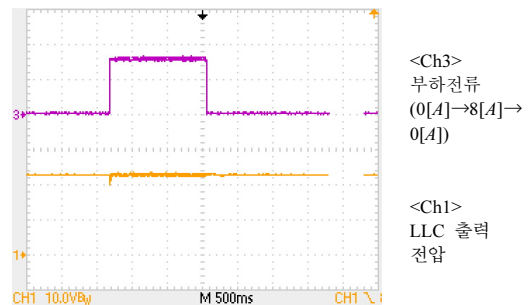
9는 부하가 변화될 때 출력전압의 변동을 나타내는 파형으로서, 부하가 변동되어도 출력전압은 변화되지 않고 안정적으로 DC24[V]를 출력됨을 알 수 있고, 그림 10은 8[A]의 전부하전류가 흐를 때 출력전압의 리플을 나타내는 파형으로써, 전부하 상태에서도 ±400[mV] 이내로 리플이 제어되고 있음을 알 수 있다.



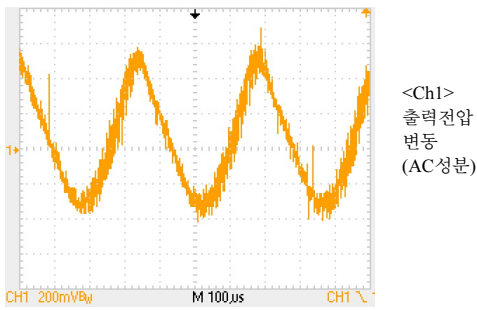
[그림 7] LLC 컨버터 주스위치 게이트 구동파형



[그림 8] LLC 부하변동실험

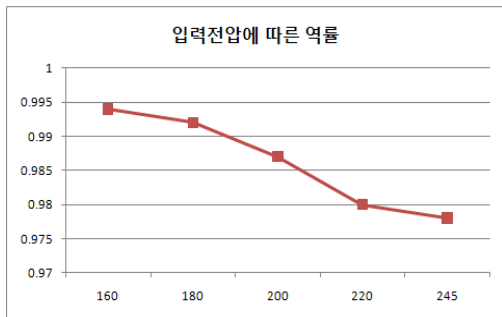


[그림 9] LLC 출력전압

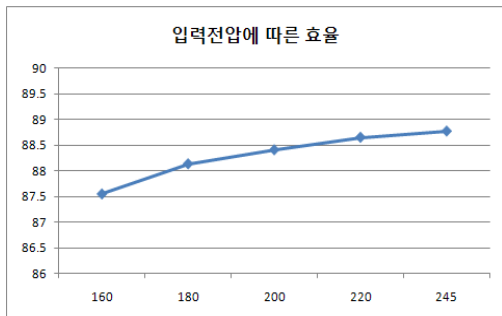


[그림 10] 전부하 시 LLC 출력전압 변동

그림 11, 12는 입력전압 변동에 따른 역률 및 효율의 변동을 나타낸 그래프로써, 입력전압이 AC 160[V]~245[V]까지 변동될 때 역률이 0.978 이상으로 제어되고 있고, AC 220[V]에서는 0.98의 역률을 나타내고 있음을 알 수 있다. 또한 효율은 87.56[%]~88.77[%]로 높게 유지되고 있음을 알 수 있다.

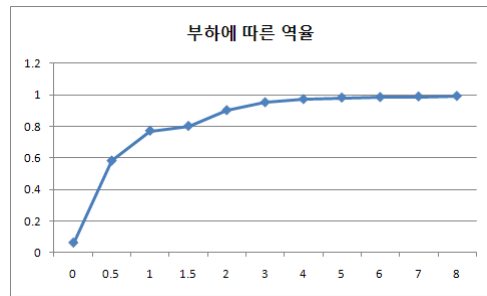


[그림 11] 입력전압에 따른 역률변화

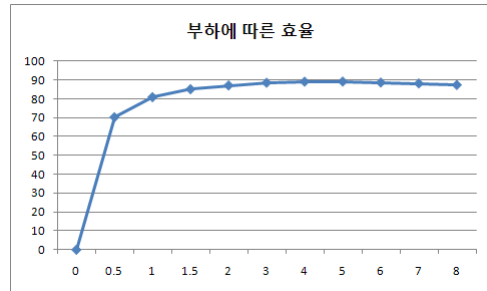


[그림 12] 입력전압에 따른 효율변화

그림 13, 14는 부하 변동에 따른 역률 및 효율의 변화를 나타내는 그래프로써, 무부하 상태를 제외하면 부하전류가 변동되어도 역률이 0.9 이상으로 유지되고 있으며, 효율도 85[%] 이상으로 제어되고 있음을 확인할 수 있다.



[그림 13] 부하 변동에 따른 역률변화



[그림 14] 부하 변동에 따른 효율변화

5. 결론

본 논문에서는 파워 LED를 안정적으로 구동할 수 있도록 하기 위해 전류제한기능을 포함한 LED 조명장치 구동용 하프브리지 LLC 직렬공진형 컨버터를 제안하고 시제품을 제작하여 실험데이터를 도출하였다. 제작된 200[W]급 시제품은 AC220[V]를 입력받아 DC24[V]를 출력하며, 출력전류는 8[A]까지 공급이 가능하다. 개발된 시제품의 성능시험을 실시한 결과 역률은 전부하 상태에서 0.99까지 측정되었으며, 효율도 전부하 상태에서 87[%]로 매우 양호하여 전기안전시험 인증의 요건인 85[%] 이상을 충족하는 것으로 측정되었다. 부하변동 및 입력전압변동에 대해서도 출력전압이 안정적으로 제어되고 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] Yuequan Hu, Milman M. Jovanovic, "LED Driver With Self-Adaptive Drive Voltage", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.23, No.6, November 2008.
- [2] N. Narendran, Y. Gu, "Life of LED-based white light sources", *J. Display Technol.*, vol.1, no.1, pp.167-171,

Sep. 2005.

- [3] H. Broeck, G. Sauerlander, M. Vendt, "Power driver topologies and control schemes for LEDs", in *Proc. IEEE Appl. Power Electron. Conf.(APEC)*, 2007, pp.1319-1325.
- [4] M. Goldman, A. F. Witulski, "Predicting regulation for a multiple output current-mode controlled DC-to-DC converter", *IEEE PESC*, pp.617-623, 1993.
- [5] 강성인, 윤광호, 김은수, 박준호, 허동영, "LLC 직렬공진 컨버터 동작특성", *전력전자학회논문지*, 제12권, 제6호, pp472-482, 2007. 12.
- [6] Bo Yang, Fred C. Lee, Matthew Concannon, "Over Current Protection Methods for LLC Resonant Converter", *IEEE APEC'03 Vol.2*, pp. 605-609, 2003. 2.
- [7] K. H. Liu, F. C. Lee, "Topological constraints basic PWM converters", *IEEE PESC*, pp.164- 172, 1988.
- [8]Bo Yang, Fred C. Lee, Alpha J. Zhang, Guisong Huang, "LLC Resonant Converter for Front End DC/DC Conversion", *IEEE APEC'02, Vol.2*, pp. 1108-1112, 2002.3.
- [9] Jinrong Qian, Fred C. Lee, "Charge Pump Power-Factor-Correction Technologies Part I : Concept and Principle", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.15, No.1, January, 2000.
- [10] Robert L. Steigerward, "A Comparison of Half- Bridge Resonant Converter Topologies", *IEEE Trans. on Power Electronics*, Vol.3, pp.172-182, 1988.

박 호 식(Hyo-Sik Park)

[정회원]



- 1989년 2월 : 한양대학교 전기공학과 (공학사)
- 1991년 2월 : 한양대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2001년 8월 : 한양대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1991년 1월 ~ 2001년 2월 : 현대엘리베이터 기술연구소 선임연구원
- 2002년 3월 ~ 현재 : 전주비전대학 신재생에너지과 부교수

<관심분야>
전력전자, 신재생에너지 전력변환

한 우 용(Woo-Yong Han)

[정회원]



- 1986년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학사)
- 1990년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학석사)
- 1994년 2월 : 전북대학교 전기공학과 (공학박사)
- 1992년 3월 ~ 현재 : 전주비전대학 신재생에너지과 교수

<관심분야>
전력전자, 신재생에너지 전력변환