

## Mixed Hydrogen Gas Generator용 전력변환장치 개발

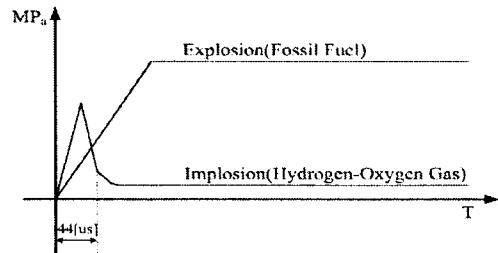
정장근문상필\*조길제\*\*김창일  
 남해전문대학경남대학교\*(주)에너지 마스타\*\*

### Development of Mixed Hydrogen Gas Generator Power Conversion System

Jang-Gun Jung, Sang-Pil Mun\*, Gil-Je Cho\*\*, Chang-Il Kim  
 Namhae College, Kyungnam University\*, Energy Master Co.,Ltd\*\*

Abstract - In this paper, the basic experiment, electrolytic cell design and basic manufacturing have been made to interpret the characteristics of Hydrogen-Oxygen-Gas-Generator. As for the detailed matters, the data research on basic technology on Hydrogen-Oxygen-Gas and analysis on characteristics of Hydrogen-Oxygen-Gas from basic experiment. Also the experiment of characteristics and comparative evaluation between constant current source using IGBT converter from existing method and constant current source using new phase shift PWM control method converter. As results when it has injected constant DC current, we has compared Gas quantities by variable ripple frequencies using phase shift PWM control method converter. Therefore, in linear region, it has not different Gas quantities by constant DC current and by phase shift PWM control method converter. Also, it has increased Gas quantities wider linear region when put ripple frequency at saturation region. Through, Gas quantities and input power, it has acquired higher input power per Gas quantities at put pulse curren. Therefore, when designing converter or inverter for electrolysis, which has ripple current.

하기 위해서는 높은 전압을 필요로 하므로 촉매인 전해질(KOH)을 첨가하면 필요한 전압을 크게 줄일 수 있기 때문이다. 그림 1은 물을 전기분해하여 얻어진 혼합수소 가스의 특성을 나타낸 것이며, 그림 2는 물의 전기분해를 간단히 설명하기 위해 나타낸 모식도이다.



(a)화석연료와 혼합수소의 폭발시 압력특성

구 분	혼합수소가스	LPG	아세틸렌가스
압력[Kg/cm <sup>2</sup> ]	2.8	20	17.4
열량[kcal]	5,000	5,000	5,000
소요경비[원]	526	1,690	9,974
CO <sub>2</sub> 발생량 [ppm]	0	75	75

(b)혼합수소와 기존 연료용 가스의 특성  
 그림 1 혼합수소의 특성

## 1. 서 론

국외에서는 이미 상용화되고 연구 중인 물을 전기분해하여 얻어진 수소와 산소의 혼합가스는 화석연료를 대체할 수 있는 청정에너지원이며, 기존의 연료가스인 LPG와 아세틸렌가스 등에 비해 경제적, 환경측면에서 우수한 특성을 보여 큰 관심 대상이 되고 있다. 본 연구에서는 여러 가지 수소제조방법 중에서도 특히, 전기에너지를 이용한 전기분해법에 수행하기 위한 새로운 전력변환장치를 설계하여 기존의 직류전원을 일정하게 공급하는 방식에서 발생하는 문제점인 전원제어불가와 성능 및 효율저하 등을 해결하면서 물 전기분해의 효율을 얻기 위한 최적의 전원 조건을 제시하고자 한다. 이러한 모든 사항은 실험을 통하여 타당성을 증명하고자 한다.

## 2. 혼합수소 발생기용 전력변환장치

### 2.1 혼합수소가스의 발생원리

일반적으로 물을 전기분해 시키기 위해서는 산화되기 어려운 금속판 2개와 전해질(KOH), 순수 물로 구성된 전해조와 전기에너지 공급원인 직류전원을 필요로 한다. 전해질을 사용하는 이유는 순수한 물(H<sub>2</sub>O)분자를 분해

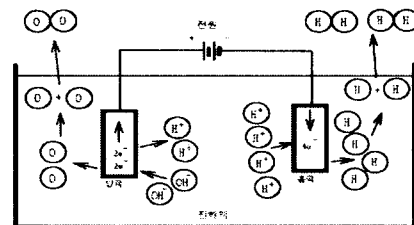


그림 2 물의 전기분해 모식도

### 2.2 전기분해를 위한 새로운 전력변환장치의 설계

본 연구에서는 그림 3과 같이 제안한 새로운 전원방식은 전원으로부터 정류 다이오드, 입력 평활 필터를 통하여 완전한 평활의 직류 전압을 얻는 전력변환장치로써 기존의 혼합수소가스 발생기용 전원의 단점을 개선하면서 제어범위와 전극의 수명을 확장하고 전원장치의 무게와 부피를 줄였다. 그리고 물을 전기분해할 때 효율적인

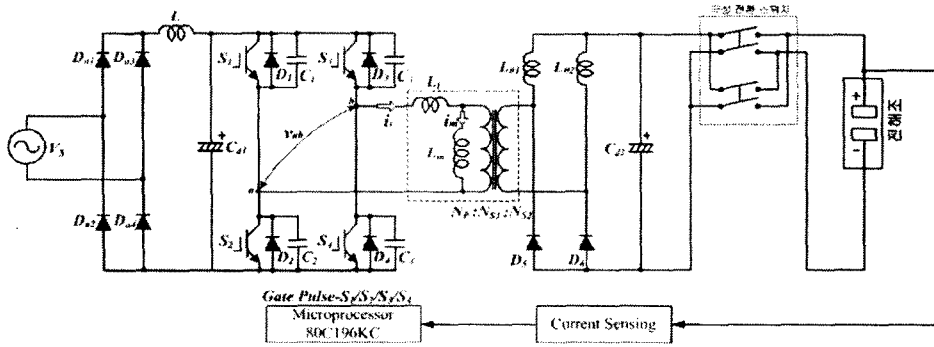


그림 3 제안한 혼합수소가스 발생기용 전력변환장치

반응을 위해 일정전류를 공급하거나 특성 주파수의 펄스 전원을 공급할 수 있도록 인버터와 80C196KC로 제어회로를 구성하였으며, 전극의 수명을 연장하기 위하여 (+)극과 (-)극의 극성을 일정한 시간마다 전환할 수 있는 회로로 구성하여 산화되는 (+)극을 교대로 분담함으로써 극판의 소모를 줄여 수명을 2배로 늘였다.

그림 4는 고효율 DC-DC 컨버터의 각부 전압과 전류 동작파형을 나타낸 것으로 게이트 신호를 포함한 한 주기의 동작 파형을 나타내었다. 그림 5는 고효율 DC-DC 컨버터의 각부 파형을 나타낸 것이다. 그림 5에서 알 수 있듯이 각각의 스위치는 영전압 스위칭을 하고 있다. 그림 6은 출력전류와 인덕터의 전류 파형을 나타낸 것으로 출력 리플이 저감되고 있는 것을 확인할 수 있다.

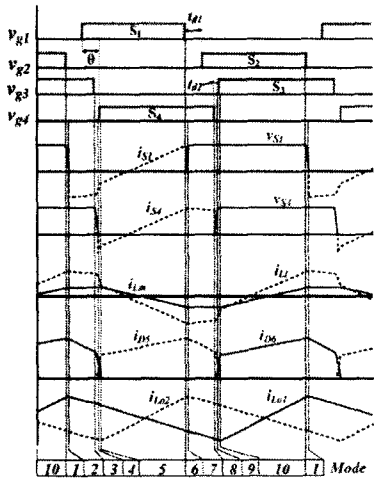
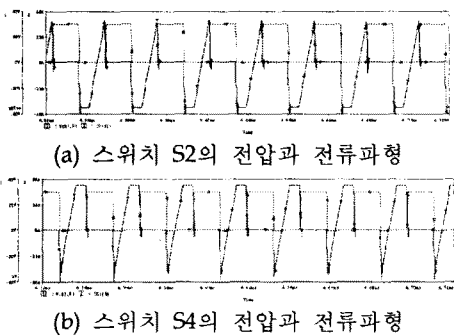
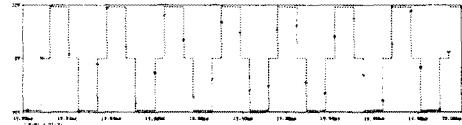


그림 4 DC-DC 컨버터의 각부 전압과 전류 동작 파형

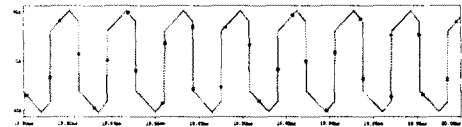


(a) 스위치 S2의 전압과 전류파형

(b) 스위치 S4의 전압과 전류파형



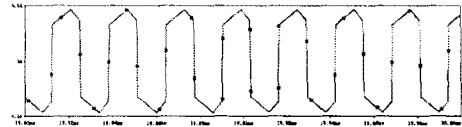
(c) 변압기 1차측의 전압파형



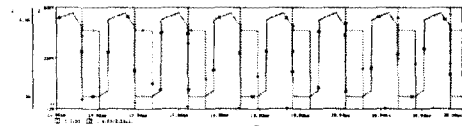
(d) 변압기 1차측의 전류파형



(e) 변압기 2차측의 전압파형



(f) 변압기 2차측의 전류파형



(g) 다이오드 D5의 전압과 전류파형

그림 5 DC-DC 컨버터의 각부의 시뮬레이션 파형

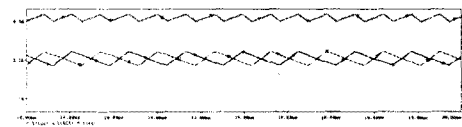


그림 6 인덕터 전류  $I_{L01}$ ,  $I_{L02}$ 와 출력전류  $I_{out}$  파형

표 1은 실험에 사용된 회로정수를 나타낸 것이며, 그림 3에서 고주파 절연형 ZVZCS PS-PWM DC-DC 컨버터는 전력용 반도체 스위치 각각에 ZVS용 무손실 커패시터를 병렬 접속한 풀-브리지형으로 구성하였으며, 모든 스위치는 지연시간을 포함한 반주기동안 교차적으로(S2-S3, S1-S4) 턴-온 한다. 그리고 제어 신호는 스위치 S1을 턴-온한 후 임의의 위상 차이 후에 S4를 턴-온 하는 방식으로 출력전력을 얻는 위상천이 PWM 제어법을 사용하였다. 이 제어법을 이용하여 부분 공진에 의한 ZVS를 실현하였으며, 일정 스위칭 주파수와 및 스

위치의 스위칭 손실, 피크 전압과 전류를 저감시켰다. 그리고 변압기는 누설 인덕턴스  $L_l$ , 여자 인덕턴스  $L_m$  및 권수비  $n(=N_S/N_P)$ 를 고려한 고주파 변압기로 역L자형 등가 회로로 구성하였다. 고주파 변압기에 의해 전달된 전압과 전류는 출력 인덕터를 2개 사용한 배전류 정류방식을 통해 평활된 직류 전압과 전류를 부하측에 공급하는 시스템으로 구성하였다.

그림 7은 제안한 혼합수소가스 발생기용 전력변환장치를 구동시키는 위한 인버터부의 제어회로 구성도를 나타낸 것이다. 그림 7에서 알 수 있듯이 위상 시프트 PWM의 전압 구동 신호를 만드는 IC(ML4828(Micro Linear))의 10 핀(EA+)에 임의의 직류 전압을 주고, 그 전압과 IC 내부에서 만들어진 램프파를 비교한 후에 발생시키는 전압에 의해서 구동 신호의 위상차가 결정된다. 그리고 1 핀(RA)은 스위치S1과 스위치S2 사이의 Dead Time 2 핀(RB)은 스위치S4와 스위치S3 사이의 Dead Time를 가변 저항에 의해 정하며, 3 핀(RT)과 4 핀(CI)에 의해 스위칭 주파수를 결정한다. 발생한 전압 구동 신호는 포토 커플러(TLP250)를 이용하여 각 구동 신호를 절연하면서 스위치소자인 IGBT를 구동시키 전압인 +15[V]를 증폭하고, 게이트 저항을 통하여, Gate/Emitter 사이에 신호를 준다. 반대인 스위치S2와 스위치S4도 마찬가지다.

표 1 실험에 사용된 회로정수

출력(Pout)	1.2[kW]
스위칭 주파수(fs)	40[kHz]
무손실 스너버 커패시터(C1~C4)	22[nF]
MOSFET(S1~S4; FQP65N06)	65[A], 60[V]
정류다이오드(D5~D6; DSE120)	1200[V], 17[A]
변압기 누설 인덕턴스(Ll)	2[uH]
변압기 여자 인덕턴스(Lm)	2.2[mH]
변압기 권수비(NP:NS)	1:16
출력 인덕터(L01(=L02))	2.8[mH]
출력 커패시터(C0)	2200[μF]

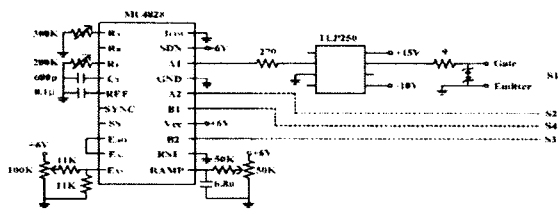
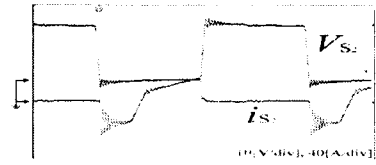


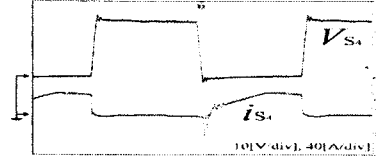
그림7 제어 회로의 구성도

### 2.3 실험결과 및 고찰

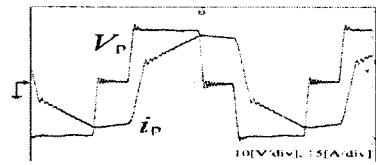
그림 8은 스위치의 전압과 전류 파형을 나타낸 것으로서 각각의 스위치는 ZVS로 동작하고 있음을 알 수 있으며, 그림 9는 변압기의 전압과 전류파형을 나타내는 것으로서 30[V]의 입력전압이 약 400[V]로 승압되고 있는 것을 알 수 있다. 그림 10은 정류부의 전압과 전류 파형을 나타낸 것으로서 다이오드D5는 양의 반주기 동안 도통되고 있으며, 인덕터에 걸리는 전압과 전류의 파형을 통해 전류 리플이 줄어들음을 알 수 있다.



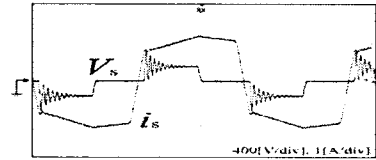
(a)스위치S2의 전압과 전류파형



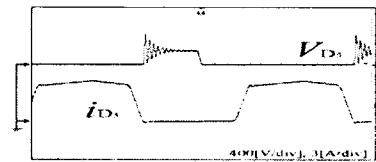
(b)스위치S4의 전압과 전류파형  
그림8 스위치의 전압과 전류파형



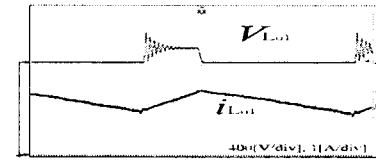
(a)변압기 1차측의 전압과 전류파형



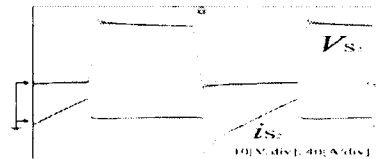
(b)변압기 2차측의 전압과 전류파형  
그림9 변압기의 전압과 전류파형



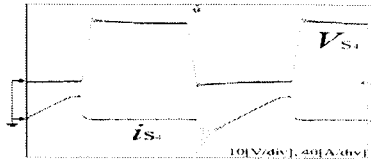
(a)다이오드D5의 전압과 전류 파형



(b)인덕터L01의 전압과 전류의 파형  
그림10 정류부 전류과 전압파형

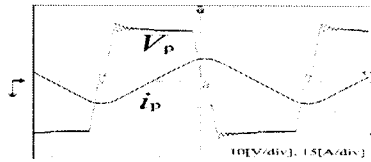


(a)스위치S2의 전압과 전류파형

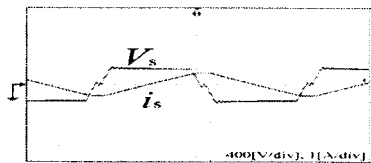


(b)스위치S4의 전압과 전류파형

그림 11 스위치의 전압과 전류파형(듀티율 최대인 경우)



(a)변압기 1차측의 전압과 전류파형



(b)변압기 2차측의 전압과 전류파형

그림12 변압기의 전압과 전류파형(듀티율 최대인 경우)

그림 11과 그림 12는 듀티비가 최대인 경우(DMAX = 0.4)의 각부 파형을 나타낸 것이다. 그림 11과 그림 12에서 스위치는 최대 듀티비 0.4인 경우에 ZVS로 동작하는 것을 확인 할 수 있다. 그림 13은 출력전류에 따른 효율 특성을 나타낸 것이다. 그림 13에서 알 수 있듯이 최대 효율은 92[%]이다.

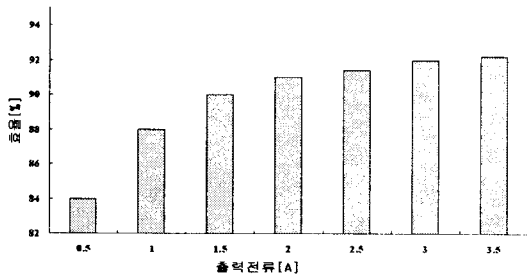


그림 13 출력전류에 따른 효율 특성

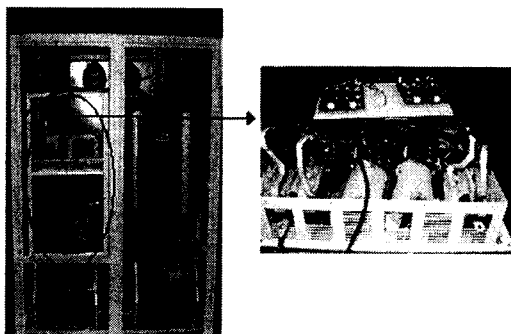


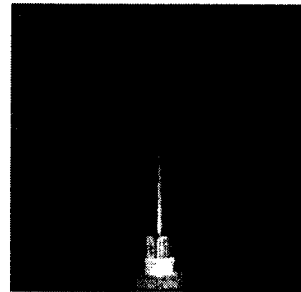
그림 14 실제 제작한 시제품

그림 14는 실험에 사용된 시제품을 나타낸 것이다. 이 장치에서 노즐과 전해조는 (주)에너지 마스터에서 제작한 제품을 사

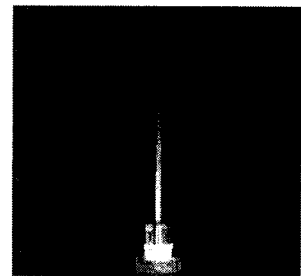
용하였다. 표 2는 제안한 전력변환장치가 혼합수소 발생기 전원으로 적합한지를 알기 위하여 10분간 직류전류인가시의 가스발생량을 측정하였으며, 펄스전류의 형태로 전류를 공급할 경우 주파수에 따른 발생량의 변화를 관찰하기 위하여 PWM 컨버터에 공급하는 펄스전류의 주파수를 120[Hz]~400[Hz]까지 각각의 경우 발생량 및 출력전압과 전류를 Voltech사의 PM-3000을 통해 측정하였다. 표 2에서 일정 직류전류시의 포화영역이 펄스 전류 인가시에 선형영역으로 변화하며, 선형영역에서는 일정직류전류와 펄스 전류의 가스발생량이 큰 차이가 없으나 포화영역에서는 전류 및 주파수의 변화에 따라 가스 발생량이 변화하는 것을 확인할 수 있다.

표 2 평균전류에서의 일정직류전류 및 주파수의 발생량

구 분	일정직류전류	120[Hz]	200[Hz]	300[Hz]	400[Hz]
10[A]	7[L]	7.5[L]	7.2[L]	5.2[L]	5.2[L]
20[A]	20[L]	24.4[L]	20.1[L]	21.1[L]	24.1[L]
30[A]	33[L]	38.9[L]	35.4[L]	34.7[L]	37.6[L]
40[A]	48.9[L]	53[L]	51.4[L]	49.6[L]	53[L]
50[A]	63.2[L]	66.8[L]	62.2[L]	61.9[L]	65.7[L]
60[A]	79[L]	80.2[L]	70.1[L]	74.1[L]	74.6[L]
70[A]	84.4[L]	87.6[L]	89.2[L]	89.6[L]	91.4[L]



(a)기존 전력변환장치+노즐설치 후 결과



(b)시도한 전력변환장치+노즐설치 후 결과

그림 15 전력변환장치에 노즐설치 후 결과

그림 15는 전력변환장치에 노즐을 결합하여 실제 실험한 결과를 나타낸 것이다. 기존에 방식에 일반적인 노즐을 이용하여 혼합가스를 연소시키면 그림 15(a)와 같이 전형적인 연소 특징인 핀포인트 형태를 띤다. 하지만 시도한 전력변환장치에 (주)에너지 마스터에서 제작한 노즐을 사용할 경우에는 그림 15(b)와 같이 화염이 높은 불꽃이 생긴다. 이것은 기존의 방식보다 시도한 방식이 좀 더 혼합 수소가스를 적절하게 제어한다고 할 수 있다. 이와 같이 본 연구의 목적인 혼합수

소가스 발생기용 전력변환장치를 설계하고 기본적인 실험을 통하여 그 특성을 살펴보았다. 일정 직류전류 인가 실험을 통해 전해조의 포화점이 존재하는 것을 확인할 수 있으며, 포화 구간에서의 펄스 전류 인가시 가스 발생량이 선형적으로 변화함을 고찰하였다.

### 3. 결 론

기존 물의 전기분해하는 전원은 제어하지 않는 단상 정류기를 사용하거나 SCR정류기를 사용하여 공급하는 전기에너지를 제한적인 범위에서 제어하였다. 그리고 전원장치를 대용량화하기 위해서 상용 변압기를 사용하였기 때문에 부피와 무게가 커지는 문제점이 있었고, 물의 전기분해반응시에 양(+)극판에서 산화 반응이 일어나 전극의 부식으로 인해 수명이 짧다는 단점을 가지고 있었다. 본 연구에서는 물의 전기분해장치에 제안한 새로운 전력변환장치를 적용하여 기존 전원장치의 문제점을 개선하였으며, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

- (1) 제안한 전력변환장치를 이용하여 혼합수소가스 발생기의 부하전류를 일정하게 제어하여 혼합수소 가스의 발생량을 조절하여 출력에서 발생하는 불꽃의 화염을 높일 수 있다.
- (2) 부하에 흐르는 전류의 크기와 주파수를 원하는 파형으로 제어할 수 있어 광범위한 제어가 가능하게 함으로써 전원측면에서 성능을 개선하였다.
- (3) 새로운 전력변환방식은 배정류 방식과 위상천이 PWM제어법을 이용하여 부분 공진에 의한 ZVS를 실현하였으며, 일정 스위칭 주파수화 및 스위치의 스위칭 손실, 피크 전압과 전류를 저감시켰다. 그리고 스위치 및 변압기의 턴-온, 턴-오프시에 오버슈트를 방지하였다.

본 연구의 결과를 바탕으로 제안한 혼합수소가스 발생기용 전력변환장치를 향후 가정의 도시 가스나 산업용 보일러시설에 응용할 수 있을 것으로 판단되어진다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 이환철, 정목근, "물을 전기분해하여 제조한 수소/산소 혼합가스의 특성에 관한 연구", 대전대학교 신과학연구소, pp43-55, 1998
- [2] George Wiseman, "Super Gas Saver Secretes", Eagle Rearch, 1990.
- [3] George Wiseman, "Brown's Gas, Book1", Eagle Rearch, 1995.
- [4] 설수덕, "무기공업화학", 대영사, pp184-192, 1996
- [5] Patterson and D. M. Divan, "Pseudo-resonant full bridge DC/DC converter", IEEE PESC Record, Vol. 2, pp. 424~430, 1987.
- [6] J.A. Sabate, B.H. Cho, "Design considerations for high voltage high-power full-bridge zero-voltage switched PWM converter", Proc. IEEE APEC conf., pp. 275~284, 1990.
- [7] E.S.Kim, B.D.Yoon, "An improved soft-switching PWM FB DC/DC converter for reducing conduction losses", IEEE Trans., Vol. 14, No.2, pp.258~263, 1999.

- [8] J.G. Cho, J.W. Back, C.Y. Jeong, D.W. Yoo, and K.Y. Joe, "Novel zero-voltage and zero-current-switching full bridge PWM converter using transformer auxiliary winding", IEEE Trans., Vol. 15, No. 2, pp. 250~257, 2000.
- [9] S.J. Jeon, G. H. Cho, "A zero-voltage and zero-current switching full bridge DC-DC converter with transformer isolation", IEEE Trans., Vol. 16, No. 5, pp. 573~580, 2001.
- [10] 이원용, "가정용 연료전지 코제너레이션 시스템", 전력 전자학회 2001년 4월호 특집 : 신에너지기술, pp.11-20.