

# 비상용 발전기 제어시스템의 배터리 충전기를 위한 고효율 LLC 공진형 컨버터의 연구

(Study of High Efficiency LLC Resonant Converter for a Battery Charger of Emergency Electric Power Generator Control System)

이준민\* · 박민기 · 이용근 · 나재두\*\*

(Joonmin Lee · Min-Gi Park · Young Keun Lee · Jae-Du La)

## Abstract

Generally, the conventional battery charging system using an analog method has the large, heavy hardware and low efficiency. Also, it has the disadvantage that it is necessary to replace the control circuit on the basis of the characteristic curve of the specific battery cell. The proposed programmable digital LLC resonant charging system use high efficiency control system(CC-CV), and has characteristic a small hardware and advantage that a digital programming of the voltage, current, and battery capacity characteristics can be flexible. The system proposed the use of Half-bridge LLC resonant converter is possible to improve efficiency and reduce switching losses by using ZVS topology. Further, a constant voltage - constant current(CC-CV) control algorithm apply to the charger which using a buck converter. The performance of the proposed system is demonstrated through experiments.

Key Words : Battery Charger, LLC Resonant Converter, CC-CV(Constant Voltage-Constant Current) Control

## 1. 서 론

### 1.1 연구의 배경

일반적으로 비상용 자가 발전장치는 태풍이나 풍수해 등 천재에 의한 예기치 않았던 정전사고와 기기고체등 보완작업으로 발생할 수 있는 재산 및 인명피해를 미연에 방지하기 위하여 사용된다. 일반 공공장소 및 방송국, 전화국, 공장 호텔, 병원 및 일반 빌딩의 비상전원장치로 널리 보급되고 있으며 최근에는 전력비 절감을 목적으로 공장내 부산물(폐열, 폐가스 등)을

---

\* 주저자 : 인하대학교 공대 전기공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 인하공업전문대학 전기정보과 조교수  
\* Main author : Dept. of Electrical and Electronic Engineering, Inha University, Korea  
\*\* Corresponding author : Dept. of Electric Information, Inha Technical College, Korea  
Tel : 010-9252-3974, Fax : 032-863-5822  
E-mail : joonminlee82@gmail.com  
접수일자 : 2013년 8월 13일  
1차심사 : 2013년 8월 20일  
심사완료 : 2013년 9월 10일

이용하는 상용, 자가발전장치(열병합 발전) 및 침두 부하시에도 사용할 수 있는 비상용 자가발전장치도 점차 증가하고 있다. 게다가 2011년 9월 15일 대규모 정전상태(이하 9·15 정전)으로 말미암아 전국적으로 엄청난 재산, 인명 피해가 발생하였으며 9·15 정전 시 비상발전기 대부분이 정상 가동이 안되어 피해가 더 커진 것으로 나타났다. 대 정전 이후에도 매년 전력공급이 전력수요를 감당하지 못하여 전력 준비, 경보 발령이 여름철 뿐만 아니라 겨울철에도 발령이 되는 등 1년 내내 전력부족 현상에 시달리고 있는 현 상황에서 비상발전기는 이제 비상 시 뿐만 아니라 전력 부족 시에도 가동을 해야 하는 실정으로 비상발전기의 중요성이 날로 증가하고 있다. 따라서 배터리 저장 장치는 비상 발전기 등에 사용하기 위한 목적으로 활발히 연구가 진행되고 있다[1-2].

비상용 발전설비는 상용 전원의 정전시를 대비하여 자가용 발전설비, 축전지 설비, 무정전 전원장치(UPS)로 구성되었으며, 발전시스템은 발전기, 원동기, 조정 제어장치 및 보호기기로 구성되어 있다[3].

비상용발전기의 배터리 충전기는 그림 1에서 보는 바와 같이 컨트롤 패널 내부에 위치하여 한전의 전력을 받아 배터리를 충전하는 기능을 한다. 현재 사용하는 비상발전기의 배터리 충전기는 아날로그 방식으로 하드웨어 특성 상 크기가 크고 무거우며, 충전효율이 낮고 전압조정을 수동으로 조정해야 하므로 정밀한 제어가 어려우며 충전기 내부온도가 높아 외관에 알루미늄을 적용하여 내부의 열을 방열하는 구조로 되어있는 등의 단점이 있다. 또한 배터리 충전기의 특성 상 배터리 특성곡선에 따라 제어회로를 교체해야 하는 단점을 가지고 있다.

제안하는 디지털 공진형 비상 발전기 시스템은 아날로그 발전기 시스템과 비교할 때 하드웨어의 특성 상 크기가 작고, 고효율 제어 방식을(CC-CV) 사용하며, 배터리 특성에 따라 전압(V), 전류(A), 배터리 용량특성(Ah)을 디지털로 프로그래밍할 수 있는 유연한 장점을 가지고 있다. 또한 마이크로 컨트롤러의 유연한 시스템 제어 성능을 이용하여 정전이나 화재를 감시하며 비상시에 엔진을 시동시키고 엔진 측과 직결되어 있는 동체에서 전압을 감시 보호할 수 있고, 엔진의

과열 오일부족, 배터리 이상 등을 감시하는 이상검출 기능과 발전된 전기의 전압, 주파수, 전력을 검출하여 이상 시 전원을 차단하여 부하 단을 보호하는 사용자 지향적인 보호기능을 제공한다[4].



그림 1. 비상발전기의 구조  
Fig. 1. The structure of the emergency generator

## 1.2 연구의 목적 및 방법

이 논문은 비상용 자가발전기 제어 시스템을 위하여 디지털 방식을 제어되는 마이크로컨트롤러를 이용한 Half-bridge LLC 공진형 컨버터 충전 시스템을 제안한다.

아날로그 배터리 충전기의 경우 배터리 충전기의 특성 상 배터리의 고유한 특성 곡선에 따라 배터리의 H/W를 교체해야 하는 시간적, 경제적 단점이 있는 반면에 제안된 시스템은 사용자에게 편의에 맞춰 배터리의 전압(V), 전류(I), 용량특성(AH)을 설정하여 유연하게 제어할 수 있으며, 아날로그 장치를 제거함으로써 시스템의 크기를 소형화 할 수 있는 장점을 가지고 있다.

또한 LLC 공진형 컨버터를 사용하여 주 스위치에 내장된 역방향 다이오드가 턴 온(turn-on)된 상태에서 주 스위치를 턴온 또는 턴 오프시키는 ZVS(Zero Voltage Switching)모드로 동작시킴으로써, 스위칭 주파수 증가에 의해 발생하는 스위칭 손실을 감소시키고, 컨버터의 크기를 소형화 할 수 있는 장점이 있다[5].

배터리 충전 시스템은 배터리를 CC/CV 제어를 통해 비상용 자가 발전기용 전력을 배터리에 저장하는 역할을 한다. 본 연구는 충전제어 알고리즘의 타당성을 검증하기 위하여 6개의 셀이 직렬로 구성되어 있는 12V, 12AH의 용량을 갖는 납축전지를 직렬로 연결하고 24V, 12AH 용량을 갖는 그림 2와 같은 시스템을 구현하였다.

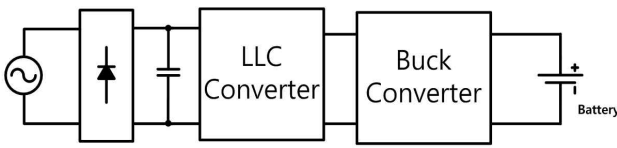


그림 2. 비상발전기 제어를 위한 배터리 충전기용 LLC 공진형 컨버터 시스템  
Fig. 2. LLC resonant converter system for the charger for the control of the Emergency-generator

## 2. 이론고찰

### 2.1 LLC 공진형 컨버터

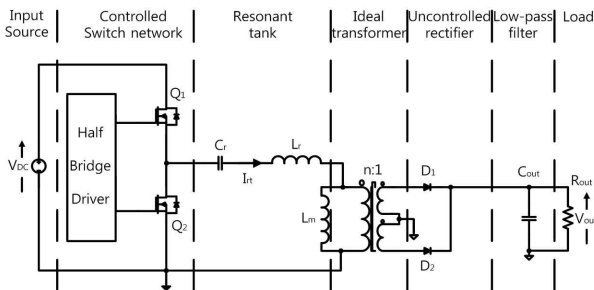


그림 3. LLC 공진형 컨버터  
Fig. 3. LLC resonant converter

그림 3은 LLC 공진 컨버터의 회로를 보여준다. 컨버터 입력 단은 듀티비가 50%로 서로 반전 동작하는 두 개의 하프 브리지 형태로 구성되어 있다.

공진탱크의 입력  $v_{ac}$ 는 푸리에 급수를 통해 다음과 같이 전개 가능하다. ( $V_{in}$ : DC 링크 입력전압)

$$v_{ac}(t) = \frac{V_{in}}{2} + \frac{2}{\pi} V_{in} \sum_{n=1,3,5\dots} \frac{1}{n} \sin(n2\pi f_{sw}t) \quad (1)$$

LLC 공진 컨버터의 해석 기법 중 하나인 1조파 근사화(First Harmonic approximation : FHA)[6]을 사용하면 공진탱크의 입력전압  $v_{ac}$ 의 1조파는 다음 식과 같다.

$$v_{ac,FHA}(t) = \frac{2}{\pi} V_{in} \sin(2\pi f_{sw}t) \quad (2)$$

공진탱크 입력전압의 실효값은 다음과 같으며

$$V_{ac,FHA} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} V_{in} \quad (3)$$

공진탱크의 입력전류의 실효치를  $I_{rt}$ 라 하면, 전원에서부터 컨버터로의 입력전류의 평균값은 다음과 같다.

$$I_{in,av} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} I_{rt} \cos\phi \quad (4)$$

여기서  $\phi$ 는 LLC 공진 컨버터의 입력 임피던스에 따른 위상이다. 위에서 구한 값들을 이용하여 컨버터로의 입력 전력을 구하면 다음과 같다.

$$P_{in} = V_{in} I_{in,av} = V_{ac,FHA} I_{rt} \cos\phi \quad (5)$$

위와 같은 방법으로 출력 전압의 1조파 실효치는 다음과 같다.

$$V_{o,FHA} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{o,ac} \quad (6)$$

2차측 다이오드 전류의 실효치의 1조파를  $I_{rect}$ 라 하면, 출력전류의 평균값은 다음과 같다.

$$I_{o,av} = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} I_{rect} \quad (7)$$

부하의 출력 전력을 구하면 다음과 같다.

$$P_o = V_{o,ac} I_{o,av} \quad (8)$$

출력 전압의 1조파와 다이오드 전류 실효치의 1조파

를 변압기의 턴수비를 통해 변압기 2차측의 실효 부하 저항  $R_{ac}$ 를 구하면 다음과 같다.

$$R_{ac} = \frac{V_{o,FHA}}{I_{rect}} = \frac{8}{\pi^2} n^2 R_o \quad (9)$$

위에서 구해진 수식을 이용하여 얻어진 등가 회로는 그림 4와 같다.

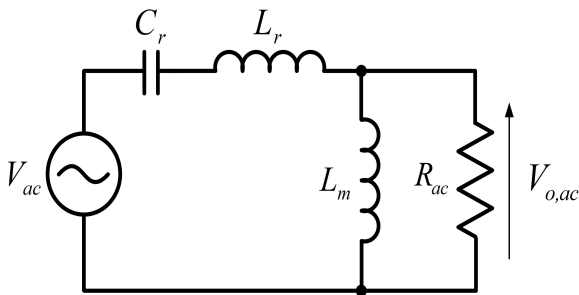


그림 4. LLC 공진 컨버터의 등가회로  
Fig. 4. The equivalent circuit of LLC resonant converter

## 2.2 LLC 공진형 컨버터의 DC 이득

LLC 공진형 컨버터의 파라미터는 다음과 같이 정의되며 그림 5는 컨버터의 DC 이득곡선이대[7]. 제안된 시스템의 선택도 Q가 일정할 시 스위칭 주파수 변화에 따른 LLC 공진형 컨버터의 이득 곡선을 나타낸다. LLC 공진형 컨버터는 부하에 원하는 일정 출력 전력을 공급하기 위하여 스위칭 주파수를 가변시키며 페루프 제어를 한다.

$$\text{1st resonance frequency : } f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_r C_r}}$$

$$\text{2nd resonance frequency : } f_o = \frac{1}{2\pi \sqrt{(L_r + L_m) C_r}}$$

$$\text{Normalized frequency : } f_n = \frac{f_{sw}}{f_r}$$

$$\text{Quality factor : } Q = \frac{Z_o}{R_{ac}}$$

$$\text{Inductance ratio : } \lambda = \frac{L_r}{L_m}$$

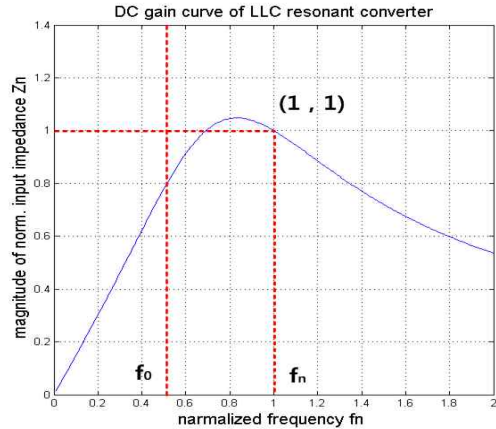


그림 5. LLC 공진형 컨버터의 DC 이득곡선  
Fig. 5. DC gain curve of LLC resonant converter

## 2.3 배터리 충전 알고리즘

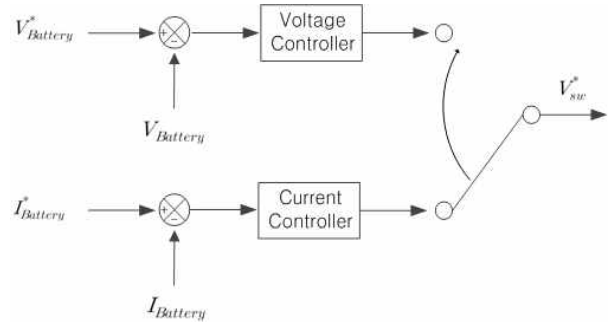


그림 6. 정전류/정전압 충전 제어 알고리즘  
Fig. 6. The constant current / constant voltage charging control algorithm

배터리의 정전류/정전압 제어 방법은 그림 6, 7과 같이 초기에 배터리를 정전류 제어로 충전하여 배터리의 충전 용량을 설정한 충전 기준치까지 일정하게 충전한다. 충전 용량이 설정된 기준치 이상 상승하면 충전 전압을 일정하게 유지하기 위하여 정전압 제어 모드로 전환하여 식 (10), (11)과 같이 배터리를 충전한다. 정전압으로 전환되는 구간에서 배터리에 유입되는 전류는 서서히 감소하며, 정전압 모드에서 전류가 서서히 감소하여 배터리의 전류가 차단 용량에 도달하게 되면 모든 제어동작이 종료된다. 이 방법은 정전압 제어 방법에 비해 충전시간이 빠르며, 정전류 제어 방법에 비해 안정적인 제어 특성을 갖는다[8-9].

$$CC \text{ mode} : P_{Batt} < SOC^* (\text{State of charge}) \quad (10)$$

$$CV \text{ mode} : P_{Batt} > SOC^* (\text{State of charge}) \quad (11)$$

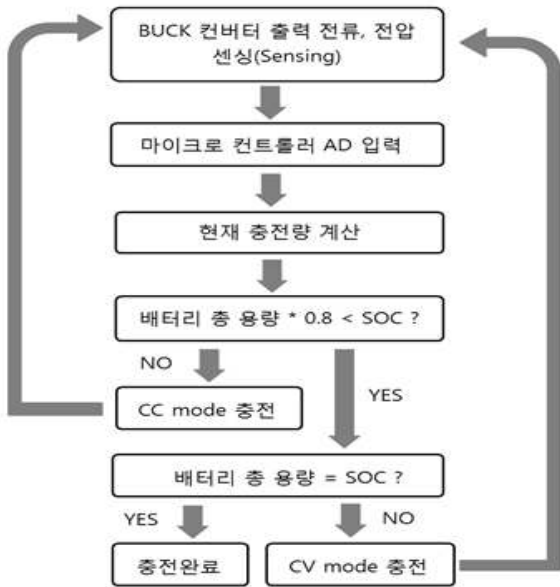


그림 7. 정전류/정전압 충전 제어 알고리즘 플로우차트  
Fig. 7. Flowchart of the constant current / constant voltage charging control algorithm

### 2.4 제안된 시스템 회로도

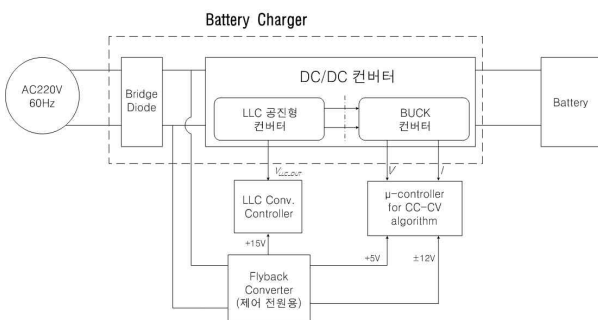


그림 8. 제안된 시스템의 전체 블록도  
Fig. 8. Overall block diagram of the proposed system

그림 8은 제안된 시스템의 전체 회로도를 나타낸다. 계통으로부터 입력된 AC 파워는 다이오드 정류기를 통해 Half Bridge LLC 컨버터로 입력된다. LLC 컨버

터는 배터리 충전기의 출력에 맞는 전압의 크기로 출력 전압을 공급하도록 제어되며, LLC 컨버터로부터 입력된 전압을 이용하여 식 (10), (11)과 같이 배터리를 충전한다.

### 2.5 전체 시스템의 파라미터

표 1, 2, 3은 제안된 시스템의 파라미터를 나타낸다.

표 1. LLC 컨버터 파라미터

Table 1. LLC converter parameters

Parameter	Value
Input voltage, $V_{in}$	220Vac, 60Hz
Rated switching frequency, $F_{sw}$	100kHz
Magnetization inductance, $L_m$	150uH
Leakage inductance, $L_r$	23uH
Leakage capacitance, $C_r$	136uF
Converter output voltage	30Vdc
Converter output current,	10A dc
Maximum converter output power	300W

표 2. 벅 컨버터 파라미터

Table 2. Buck converter parameters

Parameter	Value
Rated converter Input voltage	30Vdc
Converter output voltage	24Vdc
Converter output current	10A dc
Filter inductance	300uH
Filter capacitance	220uF
Switching frequency	40kHz

표 3. 배터리 파라미터

Table 3. Battery parameters

Parameter	Value
Rated battery voltage	12V
Rated battery capacity	12AH
Maximum battery capacity	14.4AH
Reference battery capacity	11.52AH

### 3. 실험결과

#### 3.1 LLC 공진형 컨버터

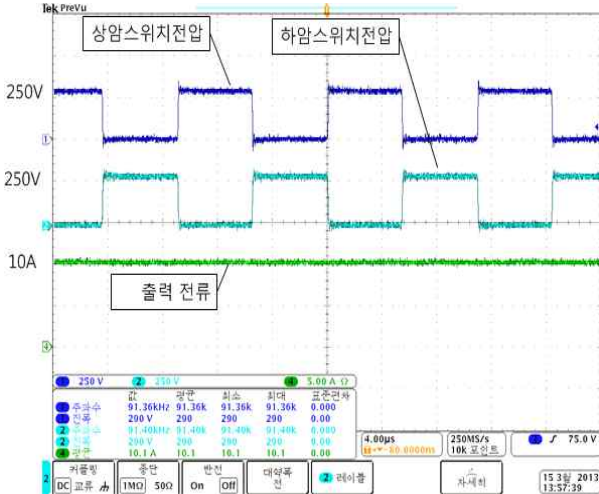


그림 9. LLC 컨버터 상-하암 스위치 전압과 출력전류 (4us/div)

Fig. 9. LLC converter upper-lower arm switch voltage and output current (4us/div)

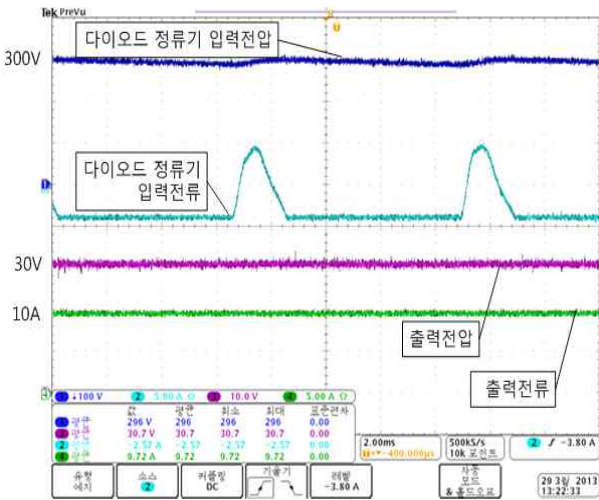


그림 10. DC 입력측 전압-전류와 LLC 컨버터 출력측 전압 전류(2ms/div)

Fig. 10. DC input side voltage - current and output side of the LLC converter of voltage and current (2ms/div)

그림 8과 9는 정격 부하 시 LLC 컨버터의 출력 파형을 나타낸다. LLC 컨버터의 상-하암 스위치는 상보

스위칭을 하며 정격 부하에 부합한 전류인 10A 전류를 출력함을 확인 가능하다. 또한 220Vac의 상용전압을 정류한 DC 전압을 컨버터에 입력하여 배터리 충전을 위한 DC 30Vdc와 정격 전류 10Adc를 출력하는 것을 확인할 수 있다.

#### 3.2 배터리 충전기용 Buck 컨버터

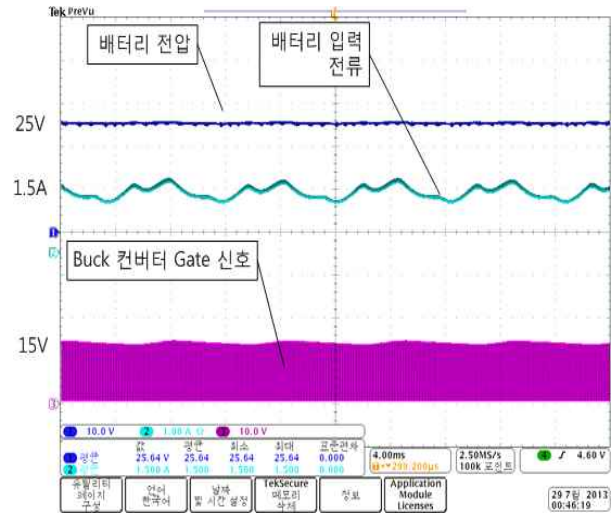


그림 11. 배터리의 전압과 입력전류, Buck 컨버터 Gate 전압(4ms/div)

Fig. 11. Battery voltage and input current, Buck converter Gate Voltage (4ms/div)

그림 10은 배터리 충전 시작 후 1시간 경과시의 배터리 출력 파형이다. 정전류 제어 구간동안 배터리의 전류는 0.125C인 1.5Adc로 충전되며 충전 전류에 따라 배터리의 전압이 상승하는 것을 파형을 통해 확인 가능하다. 지령 전류치로 배터리를 충전하기 위한 게이트 신호를 확인 가능하다.

#### 3.3 LLC 컨버터 효율 측정 결과

표 4는 정격전압의  $\pm 10\%$  입력 범위에서 동작시킨 LLC 컨버터의 효율 측정 결과이다. 제안된 컨버터는 정격부하에서도 90% 이상의 효율을 내는 것을 확인 가능하며 배터리를 충전하기 위하여 30Vdc의 전압을 출력하는 것을 확인 가능하다.

표 4. 컨버터 효율 측정 결과  
Table 4. Converter efficiency measurements result

Vin V	Iin A	Vo V	Io A	Po W	Pin W	Efficiency %
198	1.6	30.56	10	305.6	332.38	91.94
209	1.5	30.56	10	305.6	331.33	92.23
220	1.4	30.56	10	305.6	328.41	93.05
231	1.4	30.54	10	305.4	328.15	93.06
242	1.3	30.55	10	305.5	329.07	92.83

### 3.4 배터리 충전 전류와 용량 곡선

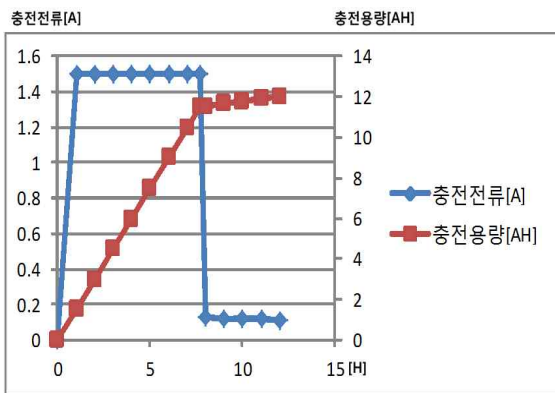


그림 12. 배터리의 충전 전류와 충전용량  
Fig. 12. Charge current and charge capacity of the battery

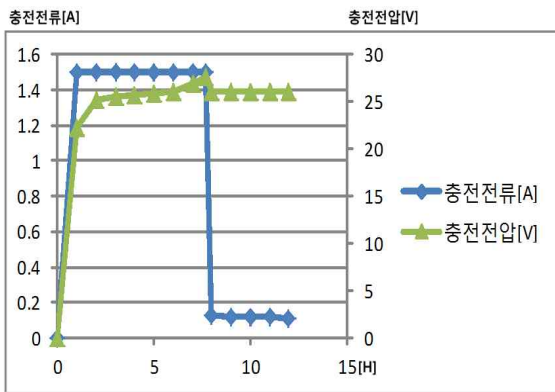


그림 13. 배터리의 충전 전류와 충전전압  
Fig. 13. The battery charge current and charge voltage

그림 12, 그림 13은 배터리의 충전 전류, 전압, 용량

의 그래프를 나타낸다. 배터리의 기준용량인 12AH의 80%인 정전류 제어 구간동안 배터리는 0.125C인 1.5Adc 입력 전류로 충전되어 0.96C가 되는 7시간 40분후 완충된다. 기준용량의 80% 이상의 용량으로 배터리를 충전한 후 정전압 제어 모드로 동작하며, 최대 충전용량으로 배터리를 충전하기 위하여 동작한다 [10].

## 4. 결 론

본 논문은 LLC 공진형 컨버터를 이용한 자가발전기 용 고효율 배터리 충전기를 설계하고 실험을 통해 성능을 입증하였다. 본 연구의 특징은 다음과 같다.

첫째, 공진형 LLC 컨버터의 특징인 변압기를 작게 설계하고, 고효율 전원을 공급할 수 있는 것이다. 일반적인 컨버터가 통상 최대 85%정도의 효율을 보이는 것에 반해, LLC 공진형 ZVS와 ZCS스위칭으로 인해 컨버터는 90% 이상의 효율을 보이는 고효율 컨버터임이 본 논문을 통해 확인 가능하다.

둘째, 사용자 편의를 위하여 배터리 특성에 따라 프로그래밍이 가능한 비상전원 상치를 사용하는 모든 곳에 폭 넓게 사용가능할 수 있는 것이다. 시장의 요구에 따라 마이크로 그리드 시스템이 대두될 것으로 예상되는 지금 제안된 시스템의 효과는 점점 더 커질 것이라 생각할 수 있다.

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동 기술개발사업(No. C0037008)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

## References

- [1] H.S Lee, "The Kind of Emergency Private Power System and Caution of Selection", Journal of Korea Electric Association No.141, 1988.9, pp. 19-26.
- [2] H.S. Ahn, et al, "Experiment of Single-phase Grid Connected Battery Charger", Journal of the Korean Institute of Power Electronics, Vol 18, No 1, 2013.2, pp.84-90.
- [3] Myeong-il Choi, et al., "The Study of Accidents on an auxiliary power system in case of a blackout", KIEE, Proceedings of the Korean Institute of Electrical Engineers,

- 2009.10, 192-194 (3 pages).
- [4] Y.B.Byun, et al., "Development of Digital Type Battery Charger based on Milti-Mode Control" Journal of the korean institute of Illuminating and Electrical installation Engineers Vol, 15.No 5,pp. 55~60 September 2001.
  - [5] H. Choi, "Analysis and design of LLC resonant converter with integrated transformer," inProc. IEEE Appl. Power. Electron. Conf., 2007, pp. 1630-1635.
  - [6] S.De Simone, et al., "design-oriented steady state analysis of LLC resonant converter based on FHA", Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion, 2006. SPEEDAM 2006. International Symposium, May, 2006, pp. 200-207.
  - [7] Bo Yang, Fred C. Lee, Alpha Zhang. and G. Huang, "LLC Resonant Converter for Front End Dcloc Conversion," Proceedings of the IEEE Applied Power Electronics Conference., February, 2002, pp. 1108-1112.
  - [8] Young Jin Lee, et al., "A Study on the Grid Connected Battery Charge System", KIPE, Power electronics annual conference, Vol.2010.11, 367-368 (2 pages).
  - [9] Tae-Hoon Kim, et al., "Design of the Phase Shift Full Bridge Converter for the Battery Charger", KIPE, Power electronics annual conference, Vol.2010.11, 22-23 (2 pages).
  - [10] SEBANG, ES Series, Detailed Specifications "http://www.gbattery.com/dtcenter/brochure".



**박민기 (朴玟基)**

1991년 2월 20일생. 2013년 인하대학교 IT 공대 전기공학과 졸업. 2013년 현재 인하대학교 공대 전기공학과 석사과정.  
Tel : (032)860-7397  
E-mail : parkmk91@naver.com



**이용근 (李龍根)**

1960년 11월 6일생. 1985년 인하대학교 전기공학과 졸업. 1989년 미국 University of Missouri-Columbia 전기공학 졸업(석사). 1993년 동 대학원 졸업(박사). 1995년 3월~현재 인하공업전문대학 전기정보과 정교수.

Tel : (032)870-2196  
Fax : (032)870-2507  
E-mail : leeyong@inhac.ac.kr



**나재두 (羅在斗)**

1970년 10월 10일생. 1994년 인천대학교 전기공학과 졸업. 1996년 인하대 IT공대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2008년 영국 The University of Birmingham EECE 졸업(박사). 2008년 3월~현재 인하공업전문대학 전기정보과 조교수.

Tel : (032)870-2195  
Fax : (032)870-2507  
E-mail : jdna@inhac.ac.kr

◆ **저자소개** ◆



**이준민 (洪吉東)**

1982년 6월 16일생. 2009년 인하대학교 IT 공대 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기 공학과 졸업(석사). 2012~2013년 LS산전 자동화 제품연구소 근무. 현재 인하대 공대 전기공학과 박사과정.  
Tel : (032)860-7397  
E-mail : joonminlee82@gmail.com