

5kW 배터리 충전기용 양방향 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터 설계 및 실험

李雨鐘*, 嚴柱鏡**, 韓炳文***, 車翰周†

Design and Experiment of Three-phase Interleaved DC-DC Converter for 5kW Lead-Acid Battery Charger

Wujong Lee, Ju-Kyoung Eom, Byung-Moon Han, and Hanju Cha

요 약

본 논문은 5kW 배터리 충전기용 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터 설계 및 실험에 대하여 서술하였으며, 배터리 시스템은 풍력 시스템의 안정화를 위해 사용한다. 배터리 충전기는 배터리, 3상 인터리브드 양방향 DC-DC 컨버터, 직류단, 계통연계형 인버터로 구성된다. 납축전지는 matlab으로 간단한 R-C모델링 하였으며, 스텝 전류 방전 실험에 따라 배터리 파라미터를 구하였다. 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 이용해 배터리의 전류 리플을 감소시켰으며, 5kW 배터리 충전기를 제작하여 충·방전모드 제어기를 설계하고 실험하였다.

ABSTRACT

This paper proposes a design and experiment of three phase interleaved dc-dc converter for 5kW battery charger. The charger consists of a three-phase interleaved dc-dc converter, which interfaces batteries and DC link, and a grid connected inverter. Lead-acid battery is modeled in a simple R-C model by matlab. Parameters of the battery are estimated based on step current discharging test. The battery is connected to three-phase interleaved DC-DC converter in order to reduce the ripple current to the battery and so, increase the lifetime of battery. Controller for charging and discharging mode is designed and tested in a 5kW charger prototype.

Key Words : Battery, Charger, three-phase Interleaved DC-DC converter, Bidirectional converter

1. 서 론

현재 수요가 많은 석탄에너지를 대신 할 수 있는 대체에너지에 대한 개발과 투자는 계속 진행되어오고 있다. 신재생에너지라고 불리는 이것들은 태양광에너지, 풍력에너지, 연료전지 등으로써, 점차 친환경적인 깨끗

한 에너지를 활용하는 방향으로 에너지 소비의 형태가 바뀌고 있다. 최근 추세로는 친환경적인 신재생에너지가 널리 사용될 수 있도록 많은 연구가 이루어지고 있고, 연구를 바탕으로 상용화 시키려고 하고 있다. 하지만 경제적인 측면에서 신재생에너지는 상용화되기까지 어려움이 있지만 현 시대적 흐름에 비추어 앞으로 경제적 요소가 보완된다면, 이러한 친환경에너지의 경우 효율성은 증대될 전망이다. 신재생에너지원 중 풍력발전의 경우 에너지 변환 효율이 높고, 발전단가가 싸기 때문에 앞으로도 발전 효과가 크기에 다른 신재생에너지원에 비해 많은 연구가 이뤄지고 있다. 이러한 풍력발전과 함께 풍력발전의 불규칙 출력에 대응하기 위해

†교신저자 : 정희원, 충남대 전기공학과 부교수

E-mail : hjcha@cnu.ac.kr

*학생회원, 충남대 대학원 박사과정

**정회원, 인텍에프에이 연구소장

***정회원, 명지대 전기공학과 교수

접수일자 : 2010. 11. 12

2차 심사 : 2011. 2. 9

1차 심사 : 2010. 12. 17

심사완료 : 2011. 2. 11

배터리의 사용 연구가 많이 이뤄지고 있다^{[1]-[2]}. 배터리 충·방전기에 사용되는 DC-DC 컨버터 구조는 현재 보다 높은 효율을 지향하기 위해 다양한 기법들이 논의 되고 있지만 그중에서 인터리브드 방식은 전류 흐름의 다분화와 상의 수만큼 분배된 위상차 발생으로 전류 간 리플전류의 상쇄효과에 기인하여 전체 전류 리플크기의 감소와 입·출력 필터의 용량과 체적을 줄일 수 있는 이점을 제공하며, 배터리 수명을 증가시킬 수 있다^{[3]-[5]}. 현재 배터리 충전기는 리튬이온, 납축전지 등 다양한 배터리를 이용해 연구되고 있고^[6], 연구된 배터리를 이용해 충·방전 시스템의 경우 최근까지 양방향 DC-DC 컨버터를 이용해 연구되어지고 있다^[7]. 본 논문에서는 배터리 모델링을 하고, 배터리와 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 연결하는 알고리즘을 통해 배터리 충·방전 시스템의 동작 방법에 대해 제시하고 실험을 통하여 그 특성을 확인하였다.

2. 배터리 특성

그림 1은 배터리의 방전특성곡선이다. 배터리에 부하를 연결하여 일정한 전류로 방전을 하면 초기에는 급격히 배터리 단자 전압이 떨어진다. 이 영역을 exponential 영역이라 하며 그 이후에는 배터리 단자전압은 천천히 조금씩 떨어지는데 이 영역을 nominal 영역이라고 하며, 이 영역이 실제로 배터리의 동작영역이다. 배터리의 잔존용량이 없어지면 단자전압은 급격히 하강한다. 더욱 방전이 진행되어 방전종지전압 이하로 방전을 하면 배터리의 특성은 나빠져 수명이 줄어든다. 본 연구에서 사용된 배터리 모델은 내부저항, 분극저항, 분극전압으로 SOC(State of Charge)의 함수로 표현된다.

납축전지는 충·방전 과정에서 일어나는 히스테리시스 현상과 충전 시 나타나는 특성에 의해 배터리의 수학적 모델은 충전과 방전에서 다르게 표현된다^[8].

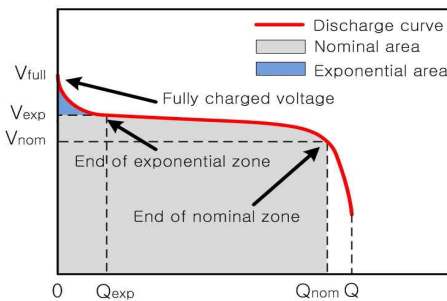


그림 1 배터리 방전 특성 곡선 (Capacity-Ah)
Fig. 1 Characteristic of battery discharging curve

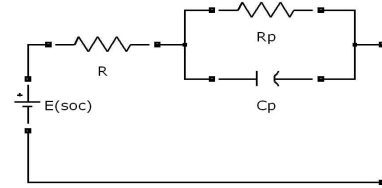


그림 2 배터리 모델
Fig. 2 Battery model

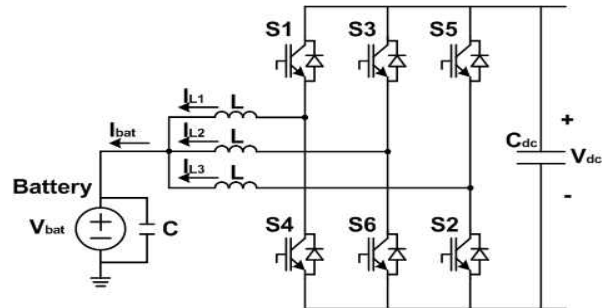


그림 3 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터
Fig. 3 Three-phase interleaved dc-dc converter

$$\text{Discharge: } V_{batt} = E_0 - Ri - K \frac{Q}{Q-it} (it + i^*) + \text{Exp}(t) \quad (1)$$

$$\text{Charge: } V_{batt} = E_0 - Ri - K \frac{Q}{it - 0.1Q} i^* - K \frac{Q}{Q-it} it + \text{Exp}(t) \quad (2)$$

그림 2와 같이 배터리 모델은 전기회로 모델로, 간단하며 널리 사용된다. Randles 회로에서 그림 2와 같은 배터리 모델을 얻는다. 이 모델은 전극과 용액계면에 일어나는 현상을 R, C 로 표현하였다. 모델의 파라미터는 실험을 통해서 구할 수 있으며, 스텝 함수의 전류를 방전시켜서 전압의 변화를 통해 각 파라미터를 구한다. 개로전압(E)와 SOC는 서로 선형관계이다. 방전 초기에는 커패시턴스 성분에 의해 단락되어 저항 R 만 보이게 되고, 정상상태에서 커패시턴스는 개방된 것으로 볼 수 있으므로 R, R_p 성분의 합을 알 수 있게 된다. C_p 는 시상수로부터 계산할 수 있다.

3. 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터

그림 3과 같이, 6개의 스위치를 통하여 배터리 충·방전 모드를 자유자재로 바꾸면서 전류 및 전압을 제어하는 방식으로 6개의 스위치에 의해 각각 충전모드, 방전모드로 동작하게 된다. 직류단을 제어하고, 전류 기준치를 원하는 값으로 입력하여 출력전력을 결정한다.

3.1 3상 인터리브드 방식의 특징

배터리 충·방전 시스템에서의 인터리브드 방식의 다상 구조는 배터리와 컨버터 사이의 입력 전류의 리플을 감소시켜 직류단의 전압 및 전류의 리플을 감소시켜 효율 상승을 유도하고, 부가적으로 능동 소자의 용량과 사이즈를 줄이기 위한 효과를 얻을 수 있다. 상의 수는 상승되는 고전압의 출력 측이 갖는 전력 품질을 고려하여, 설계 계획 시, 만족하는 수준에서 결정한다. 본 논문에서의 다상 채널의 수는 3상으로 구성하였다. 인터리브드 방식의 동작은 각 상의 위상을 $2\pi/N$ 만큼 (N : 상의 개수) 차이가 나도록하여, 이에 맞추어 스위치를 ON, OFF하며 결국 전류의 120° 위상을 발생시킨다. 각 상전류(인덕터 전류)의 합인 입력전류는 결과적으로 위상차를 갖는 전류가 중첩됨으로써 리플 상쇄 효과를 얻게 되고, 이에 리플의 크기는 그림 4와 같이 듀티비에 따라 감소하며, 3상의 경우에 듀티비가 0.33과 0.67에서 영의 리플을 갖는다. 전류 뿐 아니라 출력 전압이 리플 역시 동일한 효과를 얻을 수 있다. 또 다른 특징은 부스트 및 벅 컨버터에서의 낮은 스위칭 주파수 선택은 높은 인덕턴스를 요구하게 된다. 하지만, 상전류가 중첩되어, 단상에 비해 3배의 스위칭 주파수 효과를 노릴 수 있고, 각 상으로 전류가 분배되기 때문에, 시스템 설계에 필요한 인덕턴스와 커패시턴스는 작아진다. 따라서 시스템 제작 시 제품의 크기와 비용을 절감할 수 있다. 인터리브드 방식은 본 논문에서 뿐만 아니라, 기타 응용범위의 확장성이 높은 기법이라 말할 수 있다.

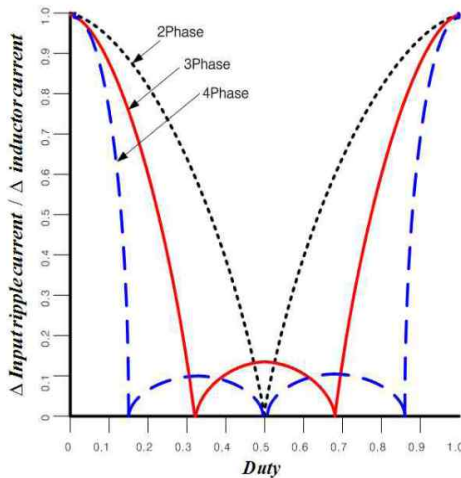


그림 4 (a) 입력 전류 리플 크기와 상전류 리플 크기의 비
Fig. 4 (a) Rate of input current's ripple value and phase current's ripple value

3.2 DC-DC 컨버터의 리플 해석 및 인덕터 설계

동일한 인덕터 전류 리플 조건을 만족시키는 인덕터 용량은 방전모드로 동작할 때 충전 모드 시 보다 더 큰 용량이 필요하다. 따라서 인덕터 설계는 방전모드를 기준으로 설계한다. DC-DC 컨버터는 3상 동작, 즉 각은 상 120° 의 위상차를 갖는다. I_{L1} 상을 기준으로 상 전류의 기울기는 스위치 ON의 경우,

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{V_{bat}}{L} \quad (3)$$

스위치가 OFF의 경우,

$$\frac{di_{L1}}{dt} = \frac{V_{bat} - V_{dc}}{L} \quad (4)$$

이다. 배터리 전압을 입력으로 보았을 시, 입력전류의 리플 크기는 단상의 입력전류와 비교해 감소될 수 있으며, 식(3)과 식(4)로부터 입력전류의 주기를 고려하여, 입력전류의 리플 크기를 구할 수 있다. 3상 시스템의 듀티비 범위는 전류리플의 크기가 0이 되는 기점을 기준으로 3개 범위의 듀티 구간으로 나눌 수 있다.

$$0 < D < 0.33, \quad \Delta I_{bat} = \frac{V_{bat}}{L} \left(\frac{1-3D}{D} \right) \frac{T}{3} d \quad (5)$$

$$0.34 < D < 0.66, \quad \Delta I_{bat} = \frac{V_{bat}}{L} \left(\frac{2-3D}{D} \right) \frac{T}{3} d \quad (6)$$

$$0.67 < D < 1, \quad \Delta I_{bat} = \frac{V_{bat}}{L} \left(\frac{3-3D}{D} \right) \frac{T}{3} d \quad (7)$$

3개 구간의 입력전류의 리플 크기 수식을 일반화하면, 다음과 같다.

$$\Delta I_{bat} = \frac{1}{3} \frac{V_{bat}}{L} \frac{dd'}{D} T \quad (8)$$

단상의 전류리플 크기는 $\Delta I_{bat_1phase} = \frac{V_{bat}}{L} DT$ 이며, 3상의 리플의 크기는 그림 4와 같이 듀티비에 따라 감소한다. 본 논문에서는 듀티비가 0.34에서 0.66 구간인 식 (6)의 모드에서 동작하므로 리플 크기는 단상에 비해 15%이하로 감소된다.

인덕터의 경우 충·방전 모드와 관련하여 두 가지 모

드의 전류 입출력 동작 변화를 모두 감안하여 인덕터 전류를 항상 연속모드로 동작하도록 인덕턴스 값을 결정한다. 본 논문에서는 입력전압과 출력전압에 의해 0.514의 듀티값이 정해지고, 식 (6)에 의해 식 (9)를 유추하여 전류리플 크기를 20%로 선정, 인덕터를 설계하였다.

$$L = \frac{V_{bat}}{\Delta I_{bat}} \left(\frac{2-3D}{D'} \right) \frac{T}{3} d \tag{9}$$

$$= \frac{340}{14.7 \times 0.2} \left(\frac{2-3 \times 0.514}{0.486} \right) \frac{10^{-4}}{3} 0.542 = 2\text{mH}$$

식(9)에서 계산된 값에 의해 2mH 용량의 인덕터를 사용하였다.
 (d :배터리전류의 듀티, D :상전류의 듀티, L :인덕턴스, V_{bat} :배터리전압, ΔI_{bat} :배터리전류 리플크기, $D' = 1 - D$)

3.3 배터리 충전기 시스템 구성

3.3.1 충전모드

충전 시스템의 경우 DC-DC 컨버터가 벡 모드로 동작할 경우이다. 그림 5는 충전모드로, 충전의 경우 각 상마다 두 개의 스위치 중 상단의 스위치가 능동스위치(S_1, S_3, S_5)로 동작하고 하단의 스위치가 다이오드(D_2, D_4, D_6)로 동작하여 벡 컨버터가 된다. 따라서 직류단 측에서 배터리로 에너지가 전달되는 충전모드로 동작하게 된다. 직류단의 경우 700V로 일정하게 유지되고 있기 때문에 입력된 전류 기준치가 일정하게 흐르게 되어 필요한 에너지를 공급받게 된다. 충전모드에서 계속해서 일정 전류 기준치로 충전하게 되면 배터리에 충전되는 전압은 한없이 증가하게 되는데 이러한 문제를 해결하기 위해 전압제어를 한다. 그림 6처럼 충전모드에서의 제어기는 정전압제어와 정전류제어를 사용하여 일정 전류 기준치로 충전하다가 기준 전압이 되었을 경우에 전류 기준치를 감소시켜 더 이상 전압이 상승하지 않고 기준 전압으로 유지하도록 제어하게 된다.

3.3.2 방전모드

그림 7은 방전모드를 나타내고 있다. 방전 시스템의 경우 DC-DC 컨버터가 부스트 모드로 동작한다. 방전의 경우 각 상마다 두 개의 스위치 중 하단의 스위치가 능동스위치(S_2, S_4, S_6)로 동작하고 상단의 스위치가 다이오드(D_1, D_3, D_5)로 동작할 경우, 그림 7과 같이

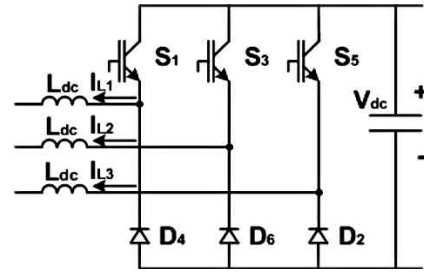


그림 5 충전모드
 Fig. 5 Charging mode

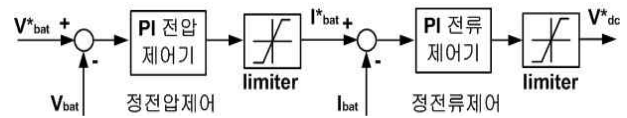


그림 6 정전압 정전류 제어 블록도
 Fig. 6 CV-CC controller

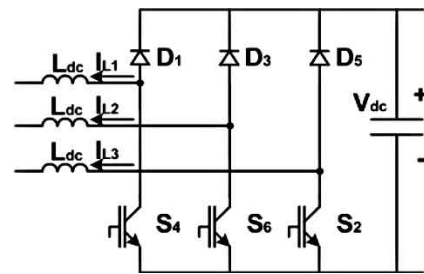


그림 7 방전모드
 Fig. 7 Discharging mode

부스트 컨버터가 된다. 따라서 배터리에서 직류단으로 에너지가 전달되고 직류단 측에 연결된 인버터를 통해 에너지가 소비되는 방전모드로 동작한다. 직류단의 경우 700V로 일정하게 유지되고 있기 때문에 입력된 전류 기준치가 일정하게 흐르게 되어 필요한 에너지를 배터리로부터 공급받게 된다.

3.3 DC-DC 컨버터 전류제어기

컨버터 모듈 각 상의 하드웨어적인 조건은 이론적으로 동일하다고 가정하나, 인덕터의 권선저항, 다이오드 및 스위치 소자의 전압 손실을 고려해 실제, 입력전류 I_{bat} 가 1/3씩 각 상으로 균등하게 분배될 것이라 보장할 수 없다. 따라서 입력전류의 제어를 위해 제어 알고리즘은 각 3상에서 모두 수행한다. 즉 입력전류 기준치의 1/3이 각 상에 흐르도록 상전류 기준치로 설정한다. 3상의 전류 합은 입력전류가 되므로, 입력전류 기준치를 만족시킬 수 있다. PI제어를 사용하였으며,

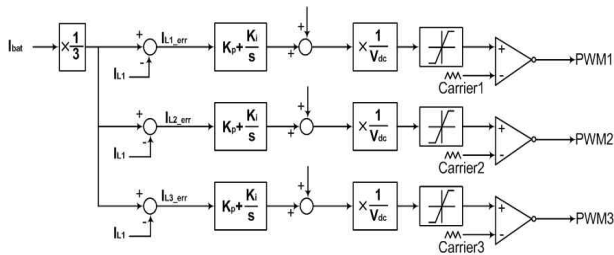


그림 8 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터 모듈의 전류제어 알고리즘

Fig. 8 Current controller of the three-phase interleaved dc-dc converter

상전류 기준치와 현 상전류의 차이로 PI제어 결과 값을 산출 후, 현재의 입력전압 V_{bat} 와의 합을 출력 전압 V_{dc} 비율에 맞게 PWM을 내보낸다.

4. 실험 결과

배터리 충전기용 3상 인터리브드 컨버터 실험 하드웨어는 그림 9와 같이 구성된다. 28개의 배터리를 사용하고(배터리전압:285~386V), TI사 DSP28335보드로 시스템을 제어하였다. 충·방전 모드의 변화는 MITSUBISHI사 PM150CSD120 IPM(Intelligent Power Module)으로 제어하였다. 실험은 표 1과 같은 조건으로 진행되었다.

표 1 실험조건

Table 1 Experiment condition

배터리 전압	285~386V
직류단 전압	700V
계통 전압	380V
컨버터측 인덕터	2mH
스위칭 주파수	10kHz
배터리 커패시터	280 μ F

5.1 배터리 파라미터 확인

공칭전압이 12V인 배터리 20개를 직렬로 연결한 후, DC 전자부하의 CC 모드를 이용하여 일정한 전류로 방전하였다. 배터리의 5시간을 용량은 15.3Ah이므로 0.2C(3.06A)로 30분을 방전하면 10%의 SOC가 감소되어 90%가 된다. 30분 방전한 후에는 30분의 완화시간을 준다. 방전과 충전을 1주기로 보면 1주기마다 10%의 SOC가 감소되고 5시간 후에는 50%가 감소하게 된다. 방전 시에는 배터리의 내부저항의 전압강하에 의



그림 9 실험 하드웨어

Fig. 9 Hardware

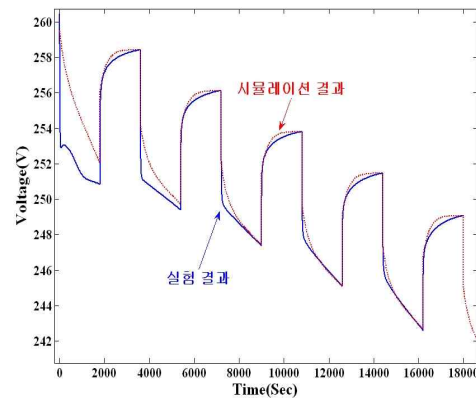


그림 10 스텝함수의 전류에 대한 전압 응답

Fig. 10 Voltage response according to current of step

표 2 배터리 실험 조건

Table 2 Battery experiment parameter

배터리 모델	ES18-12	
배터리 개수	20EA (직렬연결)	
파라미터	R	1.3396 Ω
	R_p	0.7516 Ω
	C_p	360 μ F

해서 단자전압은 떨어지고 개방회로 상태에서는 내부 저항에 전류가 흐르지 않으므로 전압강하가 발생하지 않아 전압이 상승하는 과도상태를 볼 수 있다. 그림10을 보면 시뮬레이션 결과와 실험결과와의 오차는 크지 않은 것을 확인할 수 있다. 따라서 표 2에 선정한 파라미터의 값은 적절하다고 볼 수 있다.

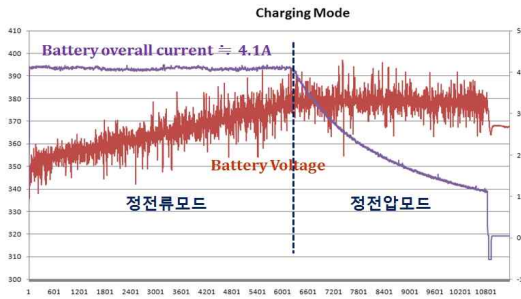


그림 11 랩뷰 측정 결과 (충전)
Fig. 11 Result using Labview (charging)

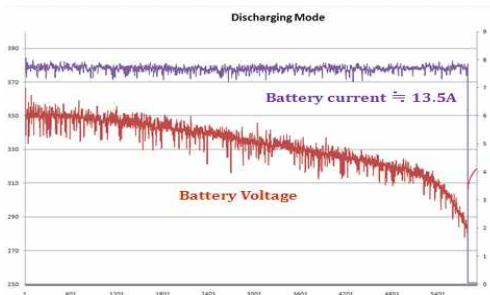


그림 12 랩뷰 측정 결과 (방전)
Fig. 12 Result using Labview (discharging)

5.2 배터리 충전 실험

충전모드에서는 최대 0.25C의 전류로 충전할 수 있다. 이 또한 배터리의 수명에 영향을 미치기 때문에 더 큰 전류로 충전을 하게 되면 배터리의 수명이 짧아지게 된다. 배터리 이론에 의해 0.25C의 경우 수식적으로 계산하면 4.1A의 전류를 구할 수 있다. 그림 11은 충전모드에서 랩뷰로 시간에 따라 측정한 결과 그래프이다. 그래프를 살펴보면 6300초(105분)까지는 계속해서 일정 전류로 배터리 전압이 충전되었지만 이때에는 SOC에 의한 배터리 최대 전압을 넘어서기 때문에 전압제어로 동작하게 된다. 전압제어 루프로 동작하게 되면, 충전되는 전류 기준치는 작아지면서 일정한 전압의 값으로 유지되고 있음을 확인할 수 있다.

5.3 배터리 방전 실험

배터리 방전 실험은 5kW 용량으로 실험하였다. 배터리 전압이 370V일 때 5kW 용량으로 방전하려면 배터리 전류는 13.5A로 출력된다. 모델링한 배터리 SOC에 의하면, 각 배터리는 10.2V 전압 밑으로 내려가게 되면 배터리의 수명이 급격하게 줄어든다. 즉, 28개의 배터리를 최소 전압 10.2V까지 방전시키게 되면 배터리 전압은 285V까지 방전을 시킬 수 있다. 그림 12는 랩뷰로 측정한 5kW 방전실험 결과이다.

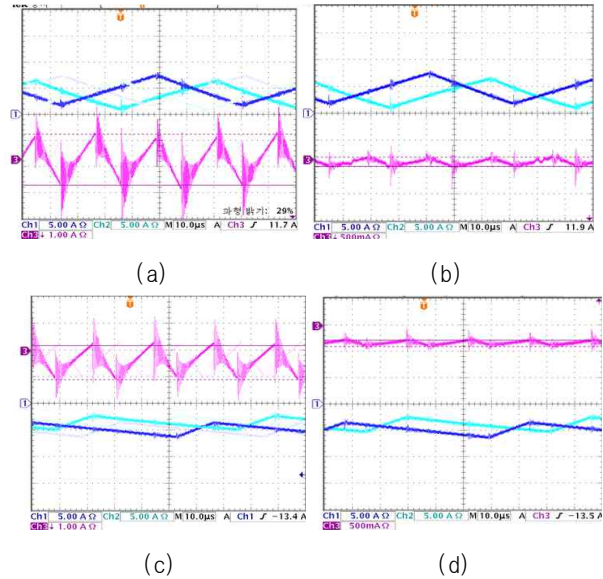


그림 13 배터리 전류 리플 저감 실험
(a)(b) 충전모드에서의 커패시터 전/후단 전류
(c)(d) 방전모드에서의 커패시터 전/후단 전류
Fig 13 Ripple current reduction experiment
(a)(b)Ripple current without/with capacitor in charge
(c)(d)Ripple current without/with capacitor in discharge

5.4 배터리 리플 전류 특성

그림 3을 보면 배터리 양측에 커패시터가 달려있는 것을 확인할 수 있다. 이 커패시터는 배터리 전류의 리플을 줄여주는 역할을 한다. 그림 13에서 (a)(b)는 충전모드, (c)(d)는 방전모드로 각각 커패시터의 전·후단을 나타내고 있으며, 커패시터 전단은 커패시터와 인덕터 사이, 커패시터 후단은 커패시터와 배터리 사이를 의미한다. 충전모드일 때, 커패시터 전단과 후단 전류리플은 14%에서 1.1%로 줄어들었다. 그리고 방전 모드일 때 마찬가지로, 커패시터 전단과 후단 전류리플은 9.2%에서 0.8%로 줄어들었다. 즉, 커패시터를 통과한 후엔 전류의 리플이 감소하였음을 확인할 수 있다.

6. 결 론

5kW 3상 인터리브드 DC-DC 컨버터를 제작하고, 배터리와 연결하여 배터리 충·방전 시스템에서 전력을 효율적으로 제어하였다. 스텝 전류실험을 통하여 배터리 파라미터를 산출하여, 배터리 모델을 만들었으며, 이를 시뮬레이션과 실험으로 확인하였다. 제작한 충전기 시스템 실험을 통하여, 입력된 전류 기준치만큼 충·

방전 모드에서 원하는 상전류가 출력되었고, 각각의 모드가 변했을 시 안정적으로 3상의 전류가 균형을 이루면서 제어되고 있음을 확인하였다. 인터리브드 방식 컨버터에 사용된 인덕터를 설계하여 인덕턴스의 용량을 감소시키고 배터리 양단에 커패시터를 사용함으로써 입력전류와 인덕터의 상전류 리플 크기를 감소시켰으며, 배터리 전류의 리플을 감소시킴으로 배터리의 수명을 증가시키는 장점이 있다.

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임. (No. 2010-0004398)

참 고 문 헌

- [1] Zhenhua Jiang, Xunwei Yu, "Modeling and Control of an Integrated Wind Power Generation and Energy Storage System", *IEEE, Power and Energy Society General Meeting (PES)*, pp. 1-8, 2009, July.
- [2] SS Choi, KJ Tseng, DM Vilathgamuwa, TD Nguyen, "Energy Storage Systems in Distributed Generation Schemes", *IEEE, Power and Energy Society General Meeting (PES)*, pp. 1-8, 2008, July.
- [3] John Betten, Robert Kollman, "Interleaving dc-dc converters boost efficiency and voltage", *Texas Instruments. EDN*, pp. 78, 84, 2005, October.
- [4] J. Allen Byrne, "An Update on the Codes, Standards and Guides Applicable to stationary Lead-Acid Batteries", *Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, pp. 1-5, 2010, June.
- [5] Nadia M. L. Tan, Takahiro Abe, Hirofumi Akagi "A 6-kW, 2-kWh Lithium-Ion Battery Energy Storage System Using a Bidirectional Isolated DC-DC Converter", *Power Electronics Conference (IPEC)*, pp. 46-52, 2010.
- [6] J. Allen Byrne, "An Update on the Codes, Standards and Guides Applicable to tationary Lead-Acid Batteries", *Telecommunications Energy Conference (INTELEC)*, pp. 1-5, 2010, June.
- [7] Nadia M. L. Tan, Takahiro Abe, Hirofumi Akagi, "A 6-kW, 2-kWh Lithium-Ion Battery Energy Storage System Using a Bidirectional Isolated DC-DC Converter", *Power Electronics Conference (IPEC)*, pp. 46-52, 2010.
- [8] Tremblay, O., Dessaint, L.-a., Dekkiche, A.-I., "A generic Battery Model for the Dynamic Simulation of

Hybrid Electric Vehicles", *Vehicles Power and Propulsion Conference, 2007. VPPC 2007. IEEE*, pp. 284-289, 2007, Sept. 9-12.

저 자 소 개



이우중(李雨鐘)

1983년 10월 27일생. 2009년 충남대 공대 전기공학과 졸업. 2011년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2011년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



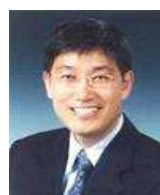
엄주경(嚴柱鏡)

1988년 2월 고려대 전기공학과 졸업. 1990년 7월 동대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년~2002년 LS산전 중앙연구소 책임연구원. 2002년~2004년 코어세스 신뢰성 개발팀 부장. 현재 인텍에프에이 연구소장.



한병문(韓炳文)

1976년 서울대 전기공학과 졸업. 1988년 미국 아리조나 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1992년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 미 Westinghouse 중앙연구소 선임연구원. 현재 명지대 전기공학과 교수. 당 학회 회장.



차한주(車翰周)

1988년 서울대 전기공학과 졸업. 1990년 포항공대 전자전기공학과 졸업(석사). 2004년 미국 Texas A&M University, College station(공학박). 1990년~2001년 LG 산전 연구소 책임연구원. 2009년 미국 UTRC 연구소 방문교수. 2005년~현재 충남대 전기공학과 부교수. 당 학회 총무이사.