

# 비시변 시비율 전달함수 구현에 의한 양방향 충전기 제어특성 개선

황정구<sup>1</sup>, 김선필<sup>1</sup>, 한상택<sup>2</sup>, 김기선<sup>2</sup>, 추영배<sup>3</sup>, 박성준<sup>†</sup>

## Implementation of Non-time-varying Duty Ratio Transfer Function for Improvement of Control Characteristics Bi-directional Charger

Jung-Goo Hwang<sup>1</sup>, Sun-Pil Kim<sup>1</sup>, Sang-Taek Han<sup>2</sup>, Ki-Seon Kim<sup>2</sup>,  
Young-Bae Choo<sup>3</sup>, and Sung-Jun Park<sup>†</sup>

**Abstract** - In this paper, we implement a non-time-varying transfer function of the duty ratio to improve the control characteristics in a control system that Input voltage and the output voltage is varied, DC / DC converters for bi-directional charging. When control is performed with using controller gain of conventional design, characteristics of the control is varied to fluctuations of the input voltage. The proposed method is the equivalently removing method for duty ratio in entire control block, by voltage controller gain is changed for inverse of the duty ratio. The proposed non-time-varying duty ratio transfer function is applied to DC / DC converter for bi-directional charging. In this paper, feasibility and superiority is verified through PSIM simulations and experiments.

**Keywords:** battery charger, bi-directional DC/DC converter, controller, compensator

### 1. 서 론

최근 석탄에너지를 대체할 수 있는 신재생에너지의 관심과 수요가 증가하고 있다. 신재생에너지 중에서 태양광발전은 세계적으로 상용화가 많이 이루어 졌으며 발전량이 가장 많은 에너지원으로 많은 연구가 진행되어 왔다. 이러한 태양광 발전은 환경에 따라 출력이 불규칙하여 배터리가 필수적이며, 전기자동차에 대한 관심과 더불어 배터리 사용의 연구가 많이 이뤄지고 있다.<sup>[1]-[5]</sup>

일반적인 제어시스템에서 제어기설계는 입력이 일정하고 출력이 가변하는 플랜트에 대하여 제어이득을 결정하게 된다. 그러나 양방향 충전기용 DC/DC 컨버터와

같이 입력전압과 출력전압이 가변하는 시스템에서 기존 제어설계에 의해 설계된 이득을 사용하여 제어를 행할 경우 입력전압의 변동에 따라 제어특성이 가변하게 되는 문제점이 발생한다.

이것은 승압컨버터의 특성상 시비율 D에 따른 선형성이 보장되지 않는 것에 기인한다.<sup>[6]</sup>

본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 입·출력 전압이 가변하는 형태의 제어시스템에서 비시변 시비율 전달함수를 구현하여 제어기의 선형성을 보장함으로써 제어특성을 개선하고 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통하여 제안된 알고리즘의 타당성을 검증하고자 한다.

### 2. 충전기의 일반적인 특성

그림 1은 일반적인 배터리 방전 특성 곡선을 나타내고 있다. 배터리에 부하를 연결하여 일정한 전류로 방전을 하면 초기에는 급격히 배터리 단자 전압이 떨어진다. 이 영역을 Exponential Area라고 하며 그 이후에는 배터리 단자전압은 천천히 조금씩 떨어지는데 이 영역을 Nominal Area라고 한다. 이 영역이 실제로 배터리의 동

Paper number: TKPE-2014-19-2-4

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

<sup>†</sup> Corresponding author: sjpark1@jnu.ac.kr, Dept. of Electrical Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

Tel: +82-62-530-0629 Fax: +82-62-530-0629

<sup>1</sup> Dept. of Electrical Engineering, Chonnam Nat'l Univ.

<sup>2</sup> ESS Development, Samsung SDI

<sup>3</sup> Dept. of Electrical Engineering, Kojé College

Manuscript received Oct. 10, 2013; accepted Jan. 2, 2014

— 본 논문은 2013년 전력전자학술대회 우수추천논문임

작 영역이다. 배터리의 잔존용량이 없어지면 단자전압은 급격히 하강한다. 더욱 방전이 진행되어 방전종지전압(cut off voltage) 이하로 방전을 하면 배터리의 특성은 나빠져 수명이 줄어든다.

배터리를 충전하기 위해 일반적으로 다음과 같은 단계를 거치게 된다. 단계 1에서 일정한 전류를 흘려 배터리의 전압을 높인다. 이 과정에서 배터리는 70%정도까지 충전이 된다. 단계 2에서 토폭 충전 되는 동안, 배터리가 포화 상태가 되면서 충전 전류는 서서히 감소한다. 이 부분은 배터리가 대부분 충전되는 일반적인 과정이다. 전압이 한계점에 다다르고, 전류가 정격 전류의 3% 떨어지거나 수평을 유지한다. 마지막 단계 3은 자체방전을 보상하는 float 충전이다. 충전 방법으로는 일반적으로 정전류 충전(CC), 정전압 충전(CV), 정전류-정전압 충전(CC-CV), 펄스 충전과 같은 다양한 충전 방법이 연구되고 있다.<sup>[7]-[9]</sup>

### 3. 배터리 충전 방법

#### 3.1 정전류 충전(CC)

정전류 충전법이란 제어 지령을 배터리에 주입되는 전류지령으로 인가하여 배터리에 지속적으로 일정 전류가 인가되도록 제어하는 방식이다. 충전초기부터 만충전까지 일정 전류로 충전하므로 충전전류 및 충전시간의 정확한 제어가 되지 않으며, 과충전으로 인한 배터리 손실이 발생할 수 있으므로 주의하여야 한다. 정전류 충전법은 일반 충전법, 급속 충전법 2가지로 나뉘게 된다. 일반 충전법은 배터리를 저전류로 장시간 충전하는 방식으로 급속 충전법에 비해서 충전 효율이 좋으며, 충전 전류는 배터리 용량(Ah)의 1/10~1/20 사이로 선택하는 것이 바람직하다. 급속 충전법은 고전류로 단시간에 충전하며 충전효율이 낮고 배터리에 손상을 줄 수 있어 제한적인 경우만 사용되는 방법이다.

#### 3.2 정전압 충전(CV)

정전압 충전방식은 충전기의 출력전압을 일정하게 유지시키며 충전하는 방식으로 충전이 진행됨에 따라서 배터리에 들어가는 전류가 점차 감소한다. 배터리의 과충전을 방지하며 충전 시간이나 충전 전류에 대한 특별

한 관리가 없이도 충전할 수 있다. MF(Maintenance Free)배터리 충전에 적합한 충전 방법이다. 제어 알고리즘은 제어 지령 전압을 인가하여 배터리에 지속적으로 일정 전압이 인가 되도록 제어하는 방식이며, 초기 배터리 전압이 낮을 경우 제어 지령 전압과 입출력 전위차가 커서 대전류가 흐를 수 있으므로, 제한하는 Limiter가 필요하다.

#### 3.3 정전류-정전압 충전(CC-CV)

정전류-정전압 충전 방식은 충전 초기에는 전류를 일정하게 하여 충전하다가 충전 말기에는 전압을 일정하게 하는 충전 방식으로 배터리 충전시 발생하는 손상을 최소화하기 위해서 사용되는 기법이다.

일반적으로 적절한 Limit를 하여  $I_{batt}^*$ 를 미리 결정하고, 최종 충전 지령 전압을 전압제어기의 지령으로 인가하여 배터리 전압이 일정 전압까지 충전될 동안은 Limiter에 의해 포화된 일정 전류 지령이 발생하도록 구성한다. CV 방식에 비해 충전시간이 빠르며, CC모드에 비해 안전한 충전이 가능하며 충전기 대부분이 CC-CV 알고리즘을 적용하고 있다.

### 4. 배터리 등가회로

배터리의 간략한 등가회로는 기전력  $E(s)$ 와 배터리의 충·방전에 관여하는 직렬임피던스  $Z(s)$ 로 간략하게 나타낼 수 있으나, 실제적인 배터리의 모델링은 그림 3과 같이 왼쪽루프의 메인루프와 오른쪽의 기생루프로 나타낼 수 있다.

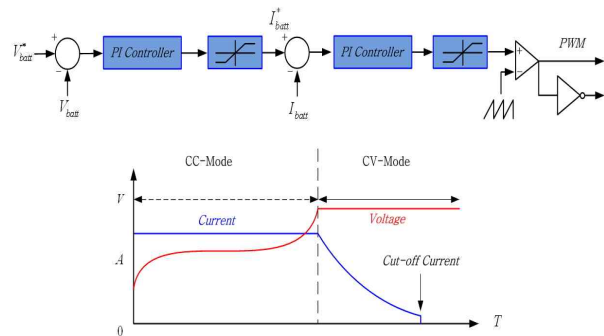


Fig. 2 CC-CV charging control block diagram & characteristic curve

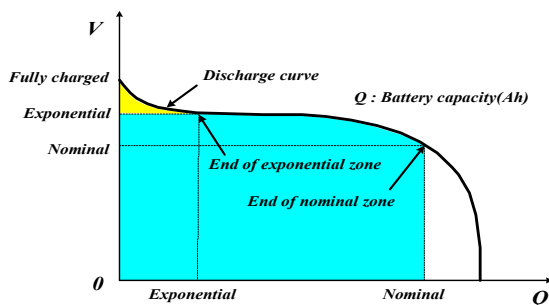


Fig. 1 Battery discharge curve

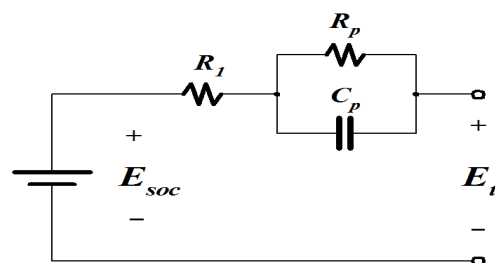


Fig. 3 Battery Simple equivalent circuit

그림에서 보듯이 배터리에 관련된 회로는 선형적이지 않으며  $E_m$ 과  $Z_m$ 은 충전시 온도특성을 포함하고 있다. 충전기의 입장에서는 배터리의 저항이 댄프 역할을 하게 되며, 이 값의 크기에 따라 충전기의 안정성에 큰 영향을 미치게 된다.

### 5. 고성능 충전기의 구성

그림 4는 양방향 충전기용 전력변환기 구성도를 나타내고 있다.

양방향 충전을 위하여 Half-Bridge 스위치 암을 이용하였으며, 전류의 연속 불연속에 관계없이 입출력 함수를 하나로 사용하고, 양방향 전력 수수의 특성을 개선하기 위해  $S_U, S_D$  스위치를 인덕터 회로로 구성하였다. 또한 스위치 출력은 상위 암 스위치( $S_U$ )를 기준으로 목적 함수를 암 출력전압인  $V_{SW}$  전압으로 설정하여 인덕터에 흐르는 전류를 제어하였다.

그림 5는 양방향 충전기의 전체 제어 블록도를 나타

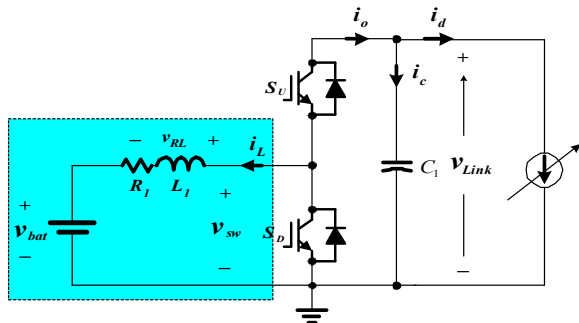


Fig. 4 Power converter configuration for bi-directional charger

내고 있다. 충전기용 DC/DC 컨버터는 CC-CV제어 기능이 장착되어 있다. 배터리의 커패시턴스는 매우 크기 때문에 CV제어시의 전압으로 제어할 경우 PI제어기는 포화된다. 따라서 PI제어기의 포화 제한 값을 제어하고자 하는 CC구간에서의 전류 지령치로 제한할 경우 PI제어기의 포화구간에서 출력하는 전류지령은 설정된 리미터 블록을 통한 전류 지령 값을 출력하게 된다. 이때 PI제어기는 anti-windup기능을 수행하여 되며 CV제어 전압에 도달하면 PI제어기의 비 포화구간에서 출력한다. 즉 CC제어에 의해 배터리의 전압이 상승하여 CV전압까지 도달할 경우 포화된 PI제어기의 출력은 점점 줄어들게 된다.

그림 5는 양방향 충전기의 전체 제어 블록도에서 전류제어기의 특성은 전체제어기 특성에 큰 영향을 미치게 된다. 따라서 전류제어기의 설계가 충전기에서 중요한 부분이 된다. 블록도에서  $R_1$ 은 앞 절에서 언급한 배터리, 리액터, 스위치소자의 등가저항이 되며, 이 값은 충전기에서 댄프로 작용함으로 제어기의 특성에 큰 영향을 미치게 된다.

전류제어기와 파워필터부에서 배터리의 전압을 검출하여 피드포워드항으로 보상한다면, 그림 5는 그림 6과 같이 간략화된 제어블록으로 표현 할 수 있다.

그림 6의 간략화 전류제어기는 식 (1)과 같은 표준 2차 시스템으로 표현된다.

$$H(s) = \frac{1}{s^2 + 2\zeta\omega_n s + \omega_n^2} \tag{1}$$

따라서 전류제어기의 고유공진주파수와 감쇄비는 식 (2), 식 (3)으로 표현된다.

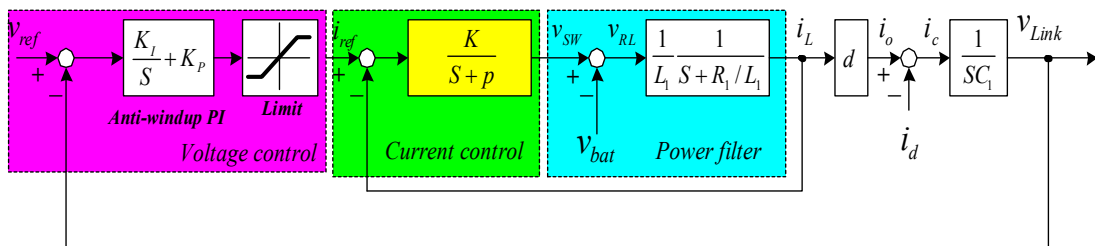


Fig. 5 Entire block diagram of bi-directional battery charger

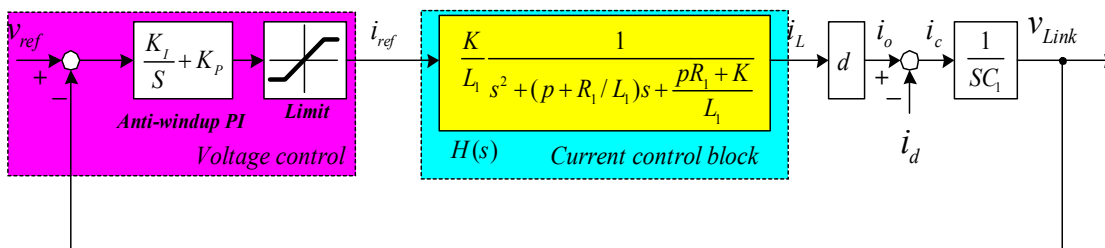


Fig. 6 Entire control block diagram by simply current control expression

$$\omega_n = \sqrt{R_1 / (L_1 \tau_c) + P / L_1} \quad (2)$$

$$\zeta = 2 \frac{1 / \tau_c + R_1 / L_1}{\sqrt{R_1 / (L_1 \tau_c) + P / L_1}} \quad (3)$$

양방향 충전기에서 전류제어기는 지상전류보상기를 사용함으로 제어기의 설정 파라미터는 2개가 된다. 충전기에서 성능평가의 중요한 축도는 정착시간과 전류오버슈터비가 됨으로 전류제어기의 설계시 주안점은 이 2개의 축도를 기준으로 제어기를 설계하는 것이 바람직하다. 전류제어기에서 정착시간과 전류오버슈터 비는 식 (4), 식 (5)로 주어진다.

$$t_s = \frac{4}{\omega_n \zeta} \quad (4)$$

$$M_p = e^{-\pi \zeta / \sqrt{1 - \zeta^2}} \quad (5)$$

제어기 설계는 정착시간과 오버슈터 비가 주어지면 이에 적합한 제어이득을 결정하는 것이 일반적이다. 본 전류 제어기는 표준 2차 시스템으로 정착시간과 오버슈터 비가 주어지면 고유공진주파수와 감쇄비는 쉽게 구할 수 있으며, 이 값을 기초로 하여 제어이득을 설계하기 위한 수식은 식 (6), 식(7)과 같다.

$$p = 2\zeta\omega_n - \frac{R_1}{L_1} \quad (6)$$

$$K = L\omega_n^2 - pR_1 = L\omega_n^2 - (2\zeta\omega_n - \frac{R_1}{L_1}) \quad (7)$$

식(6) 및 (7)에 의해 전류 보상기의 시정수가 결정되면 전압제어기를 설계하여야 한다. 전류보상기는 시정수는 개선할 수 있으나 정상상태에서 에러가 존재하게 됨으로 전압제어기를 설치함으로써 정상상태 에러분을 영으로 할 수 있다. 따라서 전압제어기는 정상상태 에러를 영으로 하기 위해서는 PI제어기로 구성하여야 한다.

### 6. 제안하는 제어기 구성

일반적인 제어시스템에서 제어기 설계는 입력이 일정하고 출력이 가변하는 플랜트에 대하여 제어이득을 결정하게 된다. 하지만 양방향 충전기용 DC/DC 컨버터와 같이 입력전압과 출력전압이 가변하는 시스템에서 기존 제어 설계에 의해 설계된 이득을 사용하여 제어할 경우 입력전압의 변동에 따라 제어특성이 가변하게 된다. 이는 제어기의 구성에서 승압컨버터의 특성상 시비율 D에 따라 비선형적으로 변화하는 이유이다. 그림 5의 제어블록에서 시비율 계수를 블록에서 제거하여 그림 7과 같은 제어블록을 구성하였다. 본 제어블록은 전압제어기의 각 이득을 시비율 역수를 취하여 변화함으로서 전체 제어블록에서 시비율 항을 제거할 수 있는 방법이다. 시비율 역수를 구하기 위해서는 출력전압과 입력전압을 나누는 방식을 취하여 구하였다.

그림 7의 전달함수에 대한 나이퀴스트 선도를 그림 8에 나타내었다. Matlab tool을 사용하였으며, -1+j0 점을 포함하여 회전하지 않으므로 시스템은 안정하다.

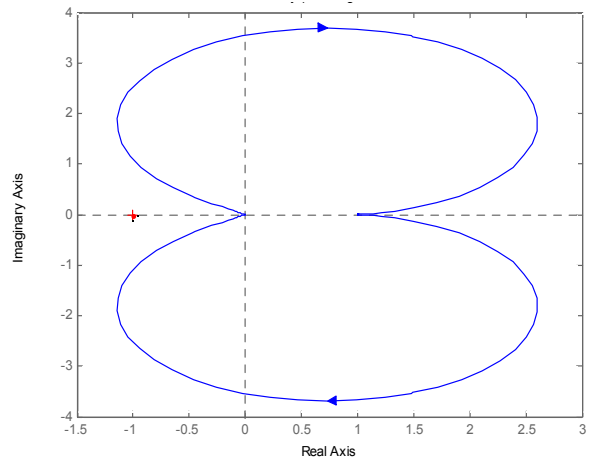


Fig. 8 Nyquist diagram of Proposal Control System

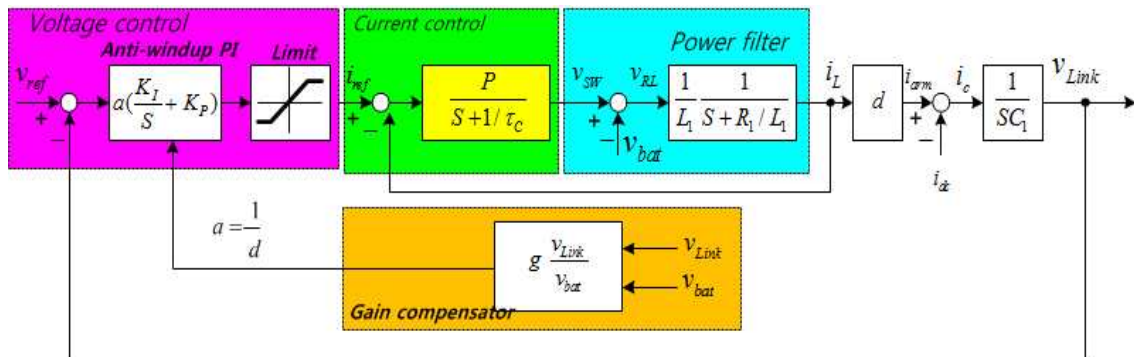


Fig. 7 Proposal Non-time-varying Duty Ratio control block diagram

### 7. 시뮬레이션

그림 9는 양방향 배터리 충전기의 시뮬레이션 회로도이다. 배터리는 전압원과 저항으로 등가화 하였으며, 부하는 인버터부하와 유사한 3상 전파정류 파형에 1.5Hz로 극성을 부여함으로 충전과 방전특성을 관찰 할 수 있게 하였으며, 제어기는 C언어로 작성한 DLL파일을 이용하여 제어알고리즘을 구현 하였다. 또한 전력회로와 제어기의 타당성을 검증하기 위해 양방향 컨버터의 전달함수에 대한 Step 응답과 전달함수로 구성된 제어기를 구성하였다.

### 8. 전류 보상기 적용

본 논문에서 적용된 전류보상기의 함수는 식(8)과 같다.

$$G(s) = \frac{K}{s+p} \tag{8}$$

전류보상기를 디지털 프로세서(DSP)에 적용시키기 위하여 s도메인에서 Z도메인으로 변환시켜야 한다.

변환수식은 식(9)와 같은 쌍선형(bilinear)변환 방식(또는 Tustin 방식)을 사용하여 해석하였다. 여기서 T는  $T_{sampling}$  을 의미한다. 이 방식은 s와 Z간의 관계가 단순한 선형관계이므로 변환이 간편하여 가장 많이 사용되는 방식이다.

$$G(s) = \frac{C(s)}{R(s)} = \frac{a}{s+a}$$

$$\rightarrow G(z) = \frac{a}{\frac{2}{T} \left[ \frac{z-1}{z+1} \right] + a} \tag{9}$$

식(9)를 사용하여 전개하면 식(10)과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

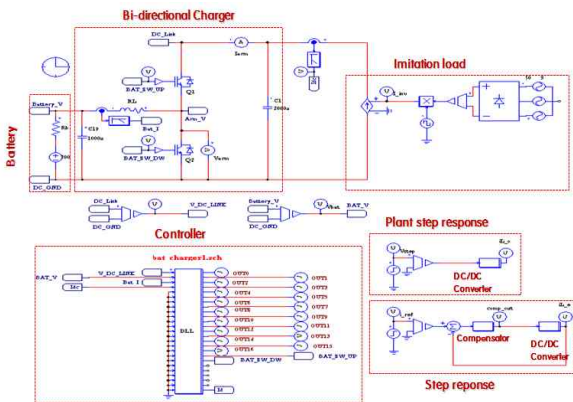


Fig. 9 Battery charger simulation schematic

$$G(z) = \frac{K}{\frac{2}{T_s} \left[ \frac{z-1}{z+1} \right] + p} \tag{10}$$

$$= \frac{K}{\frac{(2+pT_s)}{(2+pT_s)} T_s z + \frac{K}{(2+pT_s)} T_s}$$

$$= \frac{(2-pT_s)}{z - \frac{(2+pT_s)}{(2+pT_s)}}$$

$$= \frac{k_2 z + k_1}{z - k_1}$$

(여기서  $k_1 = \frac{2-pT_s}{2+pT_s}$ ,  $k_2 = \frac{KT_s}{2+pT_s}$ )

식(10)은 실제 DSP 프로그램에서 이산시간신호를 식(12)과 같은 입출력 관계식을 사용하여 구현할 수 있다.

$$Y(z) = z^{-1}Y(z)k_1 + X(z)k_2 + z^{-1}X(z)k_2 \tag{11}$$

$$Y(n) = k_1 \times Y(n-1) + k_2 \times X(n) + k_2 \times X(n-1) \tag{12}$$

### 9. 시뮬레이션 결과

그림 10은 전류보상기의 이득 P=2000,  $\tau=0.001$ 로 설정하였을 경우의 시뮬레이션 결과이다. 전류는 5.26[%]의 오버슈터를 가지며 약 10[ms]후에 정상상태가 됨을 알 수 있으며, 정상상태 에러는 약 5[%]가 됨을 알 수 있었다. 메인 루프인 전압제어기에 적분제어 항이 존재한다면 마이너 루프인 전류보상기의 정상상태 에러가 존재하더라도 전압제어기의 에러는 영으로 수렴하게 된다. 따라서 전류보상기는 정상상태 에러보다 응답상태에 초점을 맞추어 설계를 하는 것이 바람직하다.

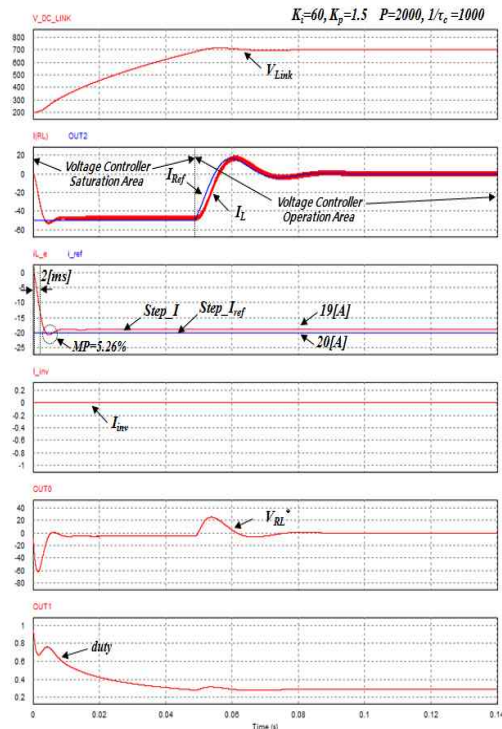


Fig. 10 Current compensator simulation result



그림 11은 입력전압 200[V]에서 설계된 제어이득을 사용하여 입력전압이 가변 할 경우의 제어특성을 시뮬레이션 한 결과이다. VLink는 양방향 컨버터와 인버터 모의부하사이의 Link단 전압이고,  $i_{L1}+i_{L2}$ 는 컨버터 병렬운전시의 L1과 L2의 전류의 합을 나타낸다. 시뮬레이션 결과에서 보는 바와 같이 200[V] 입력을 사용하여 700[V] 출력을 발생한 경우 제어특성은 양호하나 400[V] 입력을 사용한 경우 전류에는 오실레이션 하면서 감소하여 출력전압은 약 0.1[sec] 후에 안정됨을 알 수 있다. 그러나 600[V] 입력을 사용한 경우 전류는 정상상태가 없는 발진형태를 유지하며 이로 인하여 출력전류도 평균치는 700[V]로 제어되나 전압 전압리플이 상당히 커짐을 알 수 있다. 이는 시비율 D에 따른 승압 컨버터의 비선형성으로 기인한 것이다.

그림 12는 가변이득 적용 시 입력전압 200[V], 400[V], 600[V]로 설정하고 5[A]피크를 가진 3상 전류파형에 2.5[Hz]의 양방향 전류원 부하가 가 인가된 상태에서 승압측 컨버터의 전압 지령치를 700[V]로 인가한 상태에서 병렬컨버터 출력전류, 컨버터 출력전압 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 출력전압 특성은 부하 변동 시 출력전압 리플은 입력전압에 관계없이 거의 유사함을 알 수 있다.

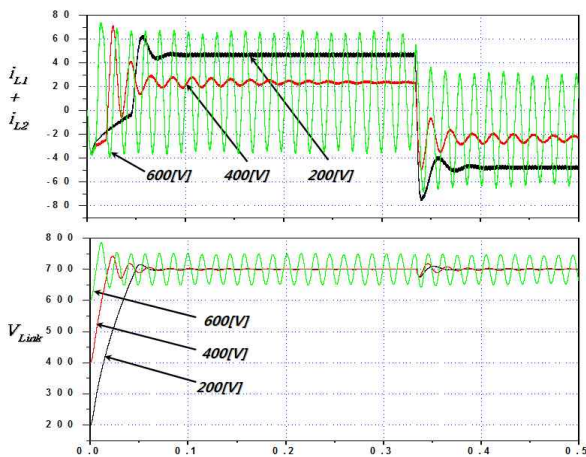


Fig. 11 Variable gain not applied simulation result

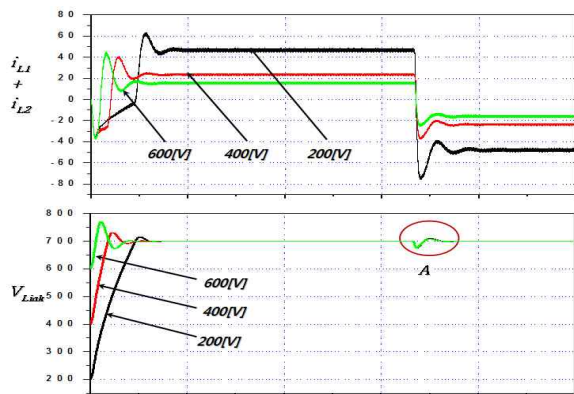


Fig. 12 Variable gain applied simulation result

Table 1 Experimental parameters

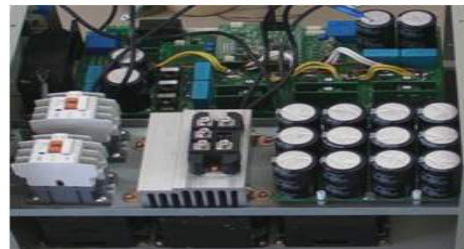
Component	Value	Unit
Switching Frequency	20	kHz
Inductor	2	mH
Input Side Capacitor	340	uF
Output Side Capacitor	340	uF
Load Resistor	50, 100	Ω

### 10. 프로토타입 제작

시뮬레이션 결과를 검증하기 위하여 그림13과 같은 프로토타입을 제작하였으며, 실험에 적용된 파라미터를 표 1에 정리하였다.

### 11. 실험 결과

양방향 충전기의 방전특성을 측정하기 위하여 그림 14(a)는 입력전압 20[V]를 인가하여 부하저항 100[Ω]에서 출력전압 60[V]로 제어하였을 때 양방향 컨버터 출력 전압(파랑), 컨버터의 인덕터 전류(하늘)파형이다. 제어특성을 검증하기 위해 1[Hz] 간격으로 출력전압 지령치를 20[V]에서 60[V]로 변화를 주어 측정하였다. 파형에서 전압, 전류는 오실레이션 하면서 약 1초뒤에 정상상태에 도달하였다. 그림 14(b)는 입력전압 40[V]를 인가하여 부하저항 100[Ω]에서 출력전압 지령치를 20[V]에서 60[V]로 변화시켜 측정한 파형이다. 파형에서 전압, 전류는 정상상태가 없는 발진형태를 유지하며 시뮬레이션과 동일한 형태로 나타난다. 그림 14(c)는 입력전압 40[V]를 인가하여 부하저항 50[Ω]에서 출력전압 지령치를 20[V]에서 60[V]로 변화시켜 측정한 파형이다. 파형에서 전압, 전류는 오실레이션 하면서 약 300[ms] 뒤에 정상상태에 도달하였다.

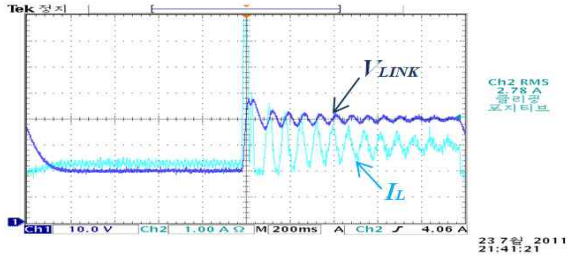


(a) Entire Stack

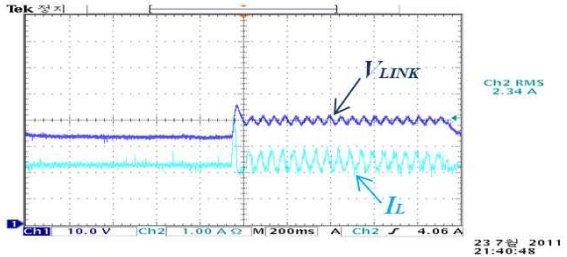


(b) Hardware PCB Board & Control Board

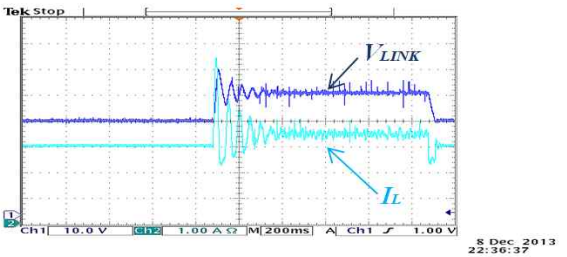
Fig. 13 Making bi-directional converter prototype



(a) Input Voltage: 20[V], load: 100[Ω] - No Compensator

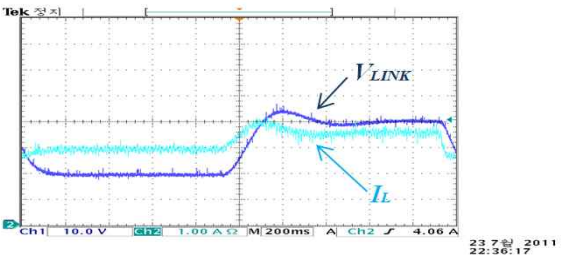


(b) Input Voltage: 40[V], load: 100[Ω] - No Compensator

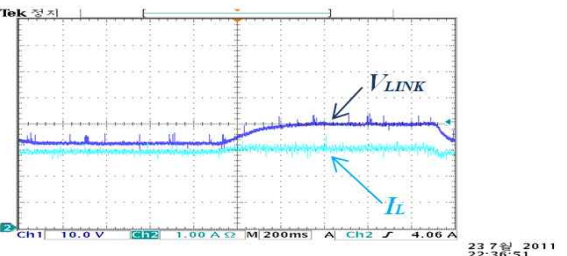


(c) Input Voltage: 40[V], load: 50[Ω] - No Compensator

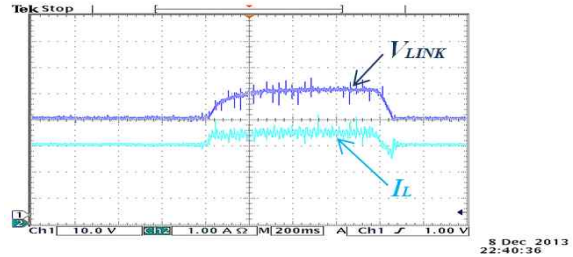
Fig. 14 Discharge - Voltage and current characteristic by variable input voltage



(a) Input Voltage: 20[V], load: 100[Ω] - Compensator



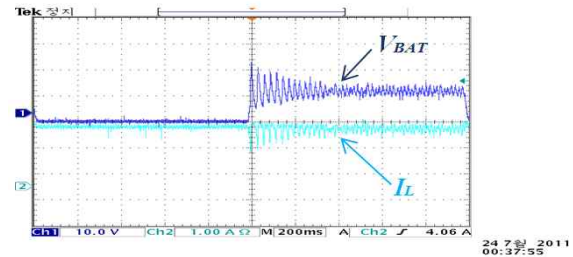
(b) Input Voltage: 40[V], load: 100[Ω] - Compensator



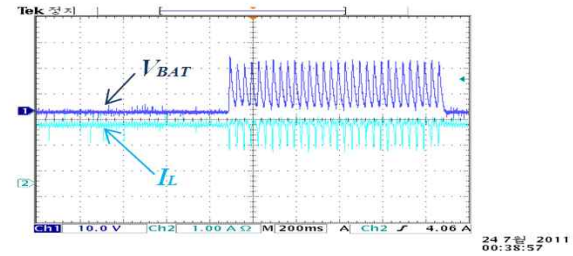
(c) Input Voltage: 40[V], load: 50[Ω] - Compensator

Fig. 15 Discharge - Voltage and current characteristic by variable input voltage (apply Non-time-varying Duty Ratio)

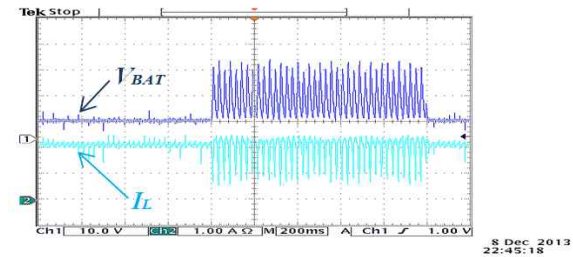
그림15(a)와 (b)와 (c)는 그림 14와 같은 실험 조건에서 비시변 시비율 전달함수를 적용하여 측정한 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 전압은 약 400[ms]후에 정상 상태에 도달하고 입력전압이 다른 조건에서도 출력은 안정된 상태를 유지하였다.



(a) Input Voltage: 40[V], load: 100[Ω] - No Compensator



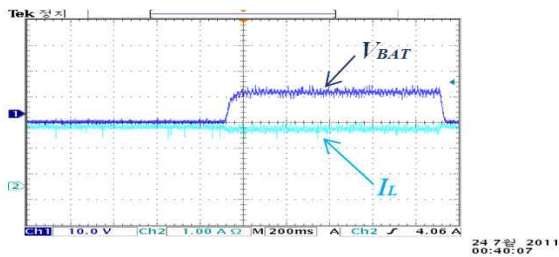
(b) Input Voltage: 60[V], load: 100[Ω] - No Compensator



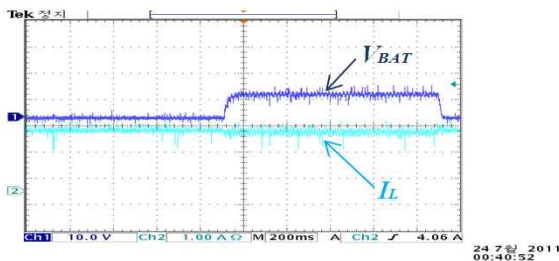
(c) Input Voltage: 60[V], load: 50[Ω] - No Compensator

Fig. 16 Charge - Voltage and current characteristic by variable input voltage

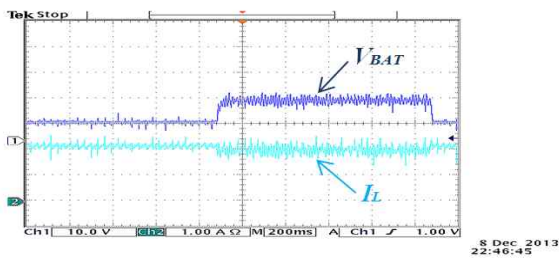
그림16 (a)와 (b)와 (c)는 충전시의 컨버터의 출력 전압, 출력전류 파형이다. 그림 16(a)는 입력전압 40[V]를 인가하고 제어특성을 파악하기 위하여 부하저항 100[Ω]에서 출력전압 지령치를 0[V]에서 20[V]로 변화시켰을 때의 파형이다. 충전시의 양방향 충전기는 Buck 컨버터 형태로 전류의 방향은 음의 형태를 띠고 있으며, 출력전압과 출력전류가 오실레이션 하면서 약 400[ms]후에 정상상태에 도달함을 알 수 있다. 그림 16(b)는 입력전압 60[V]를 인가하고 부하저항 100[Ω]에서 출력전압 지령치를 0[V]에서 20[V]로 변화시켰을 때의 파형이다. 출력전압, 출력전류 파형은 발진형태를 유지하며 시물레이션과 같이 입력전압에 따라 비선형적인 출력이 나타남을 확인하였다. 그림 16(c)는 입력전압 60[V]를 인가하고 부하저항 50[Ω]에서 출력전압 지령치를 0[V]에서 20[V]로 변화시켰을 때의 파형이다. 출력전압, 출력전류 파형은 발진형태를 유지하였다.



(a) Input Voltage: 40[V], load: 100[Ω] - Compensator



(b) Input Voltage: 60[V], load: 100[Ω] - Compensator



(c) Input Voltage: 60[V], load: 50[Ω] - Compensator

Fig. 17 Charge - Voltage and current characteristic by variable input voltage (apply Non-time-varying Duty Ratio)

그림 17(a)와 (b)와 (c)는 그림16과 같은 실험 조건에서 비시변 시비율 전달함수를 적용하여 측정된 파형이다. 그림에서 알 수 있듯이 전압은 약 100[ms]후에 정상상태에 도달하고 출력전압 특성은 입력전압과 부하조건에 관계없이 거의 유사함을 알 수 있으며, 이는 제어기가 선형제어기 특성을 유지함을 알 수 있다.

## 12. 결 론

본 연구는 입력전압과 출력전압이 가변하는 시스템에서 비시변 시비율 전달함수를 표준 2차 시스템에 적용하여 제어특성을 개선하기 위한 새로운 제어기법을 제안하였다.

또한 제어기법을 양방향 충전기 시스템에 적용하여 시물레이션 및 프로토타입을 제작하여 실험을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 양방향 충전기 시스템에서 전류보상기를 추가하여 표준 2차 시스템으로 구성함으로써 제어기 설계를 용이하게 하였다.
- 전류보상기의 최적 설계시 출력전류가 약5[%]의 오버슈터를 가지며 약10[ms]후에 정상상태에 도달하며, 정상상태 에러는 약 5[%]가 됨을 확인하였다.
- 기존 제어기가 입력 및 출력전압이 변화함에 따라 제어기의 특성이 비선형적으로 동작함을 확인하고, 비시변 시비율 보상기법을 적용하여 입, 출력 전압의 변화시 제어기의 출력이 정상상태에서 거의 선형적인 형태로 나타남을 확인하였다.

본 논문에서 제안한 비시변 시비율 보상기법은 양방향 배터리 충전기용 DC/DC 컨버터뿐만 아니라 입력 및 출력전압이 가변하는 시스템의 제어기 설계에 적용될 수 있을 것으로 사료된다.

## References

- [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, July 2009.
- [2] J. S. Kim, G. Y. Choe, H. M. Jung, B. K. Lee and Y. J. Cho, "Design and Implementation of 3.3 kW On-Board Battery Charger for Electric Vehicles," *Journal of Power Electronics*, Vol. 15, No. 5, pp. 369-375, Oct. 2010.
- [3] S. Y. Yun, H. J. Chae, W. Y. Kim, H. T. Moon, Y. S. Jeong and J. Y. Lee, "Battery Charger for EV," *Journal of Power Electronics*, Vol. 15, No. 6, pp. 460-465, Dec. 2010.
- [4] Du-Hee Jang and Sang-Kyoo Han, Low Cost High Power Density Photovoltaic Power, "Conditioning



System with an Energy Storage System," *Journal of Power Electronics*, Vol. 12, No. 3, pp. 487-494, May 2010.

- [5] Sun-Jae Park, Hwa-Seok Lee, Chan-In Kim, Joung-Hu Park, Hee-Jong Jeon and Jeongduk Ryeom, "Controller Design of a Novel Power Conditioning System with an Energy Storage Device for Renewable Energy Sources under Grid-Connected Operation," *Journal of Power Electronics*, Vol. 13, No. 3, pp. 390-399, May 2013.
- [6] Young-Chang Jo, Ji-Hoon Lim, Seung-Ho Song, Ju-Yeop Choi, Kook-Sun Lee, Ick Choy, Tae-Suk Kwon, Sang-Joon Lee and Hyun-Dong Lee, "Digital Voltage Controller Design for the Bi-directional DC - DC Converter during Mode Change," *2010 Power Electronics Annual Conference*, pp. 6-8, July 2010.
- [7] Y. C. Chuang and Y. L. Ke, "High-efficiency and low-stress ZVT- PWM DC-to-DC converter for battery charger," *IEEE Trans. Ind. Electron*, Vol. 55, No. 8, pp. 3030-3037, Aug. 2008.
- [8] The Korean Institute of Power Electronics Technical report, "Green Car electric power system power electronic circuits", The Korean Institute of Power Electronics, 2010.
- [9] David Linden, "Handbook of Batteries and Fuel Cells," McGraw Hill, 1984.



### **황정구(黃貞九)**

1985년 9월 5일생. 2011년 전남대 전기공학과 졸업. 2013년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2013년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.



### **김선필(金善必)**

1985년 4월 7일생. 2011년 한밭대 제어계측공학과 졸업. 2013년 동 대학원 제어계측공학과 졸업(석사). 2013년~현재 전남대 전기공학과 박사과정.



### **한상택(韓相宅)**

1975년 11월 17일생. 2002년 연세대 전기공학과 졸업. 2004년 미국 콜로라도 주립대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2012년 미국 조지아공대 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2012년~현재 삼성SDI ES사업부 책임연구원.



### **김기선(金起善)**

1979년 2월 8일생. 2004년 대불대 전기공학과 졸업. 2006년 전남대 전기공학과 졸업(석사). 2010년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2010년~현재 삼성SDI ES사업부 책임연구원.



### **추영배(秋榮培)**

1955년 6월 23일생. 1982년 부산대 전기기계공학과 졸업. 1984년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 1984년~1985년 (주)효성중공업 근무. 1986년~1991년 한국전기연구원. 1994년~현재 거제대학 선박전기와 교수.



### **박성준(朴晟濬)**

1965년 3월 20일생. 1991년 부산대 전기공학과 졸업. 1993년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공박). 2002년 동 대학원 지능기계공학과 졸업(공박). 1996년~2000년 거제대학 전기과 조교수. 2000년~2003년 동명대학 전기공학과 조교수. 2003년~현재 전남대 전기공학과 교수.