

# 새로운 멀티 모드 DC-DC 컨버터를 이용한 하이브리드 전기자동차용 전력변환 시스템

박태식<sup>†</sup>

## Energy Conversion System using a Novel Multi-Mode DC/DC Converter for Hybrid Electric Vehicles

Tae-Sik Park<sup>1</sup>

**Abstract** - The rapidly growing demand for electric power systems in electric vehicles (EVs) and hybrid electric vehicles (HEVs) require simpler, cost-effective, and higher performance components. In this paper, a novel power conversion system for hybrid electric vehicles is proposed for these needs. The proposed power conversion system reduces the conversion system cost while preserving same functionality. The proposed power conversion system can boost multi-sources to drive a traction motor and to store energy at the same time reducing number of switching components. In this paper, all operational modes of the proposed converter are explained in detail and verified by a computer simulation first. Then, the topology and operational modes are experimentally verified. Based on the results, the feasibility of the proposed multi-mode single leg power conversion system for EV and HEV applications is discussed.

**Keywords:** electrical vehicle, multi-mode dc/dc converter, bidirectional converter, boost converter

### 1. 서 론

최근 하이브리드 전기 자동차(HEV)와 플러그-인 전기 자동차(PHEV)의 수요는 전세계적으로 급증하고 있고 HEV와 PHEV 기술은 상호 보완적으로 또는 경쟁적으로 발전하고 있다. 새로운 파워 트레인의 패러다임은 에너지 및 환경이슈와 함께 자동차 산업으로 이동되어 가고 있어 진보된 전기 자동차 연구에 많은 관심이 더해지고 있다. HEV와 PHEV에서 전력변환장치의 급격한 수요 증가는 고신뢰성 및 저가의 전력변환 시스템에 대한 새로운 기술을 요구하고 있다. 특히 전기화된 파워트레인 시스템은 다수의 고전력 반도체 스위칭 소자를 포함하고 있는 전력 변환장치를 주요 구성으로 하고 있다. 그러나 시스템의 고신뢰도와 고성능의 지향은 시스템의 복잡성 및 비용을 증가시키고 그리고 유지보수와 고장 진단의 어려움이 증가되었다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 인버터와 양방향 컨버터와 같은 전력 변환 장치의 구조에 대해 지속적인 연구가 수행되어 왔으며,

다양한 연구를 통해 전력변환 시스템의 비용을 줄이고 간략화된 시스템 구조를 가지는 새로운 방법이 제시되고 있다.<sup>[1-9]</sup>

본 논문에서는 상기의 기술적인 장벽을 넘어설 수 있는 저비용의 에너지 변환장치를 제공하는 것을 목적으로 하고 있으며, 새로운 전력 변환 시스템의 개념을 제시하고 있다. 제안된 전력 변환 시스템은 기존의 방식과 동일한 기능과 성능을 가지면서도 감소된 소자를 사용하는 전력변환 장치로서 승압 컨버터와 양방향 컨버터의 기능을 하나의 컨버터로 구현하였다. 따라서 기존의 방식에 비해 비용대 성능비를 높일 수 있고 간단한 구조로 인해 유지보수 또한 용이하다. 제안된 방식의 동작과 성능을 확인하기 위해 PSIM 시뮬레이션 패키지를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였고, TI TMS240F2812 DSP 시스템 및 MOSFET 스위치를 이용하여 실험적으로 구현되어 활용가능성을 확인하였다.

### 2. 기존의 HEVs용 전력 변환 시스템의 구조

하이브리드 전기 자동차와 플러그-인 하이브리드 전기 자동차는 그림 1에서와 같이 고에너지밀도 배터리, 울터네이터, 승압 컨버터, 양방향 DC/DC 컨버터, PWM

Paper number: TKPE-2013-18-2-11 ISSN: 1229-2214  
<sup>†</sup> Corresponding author: points33@naver.com, KIPO  
 Tel: +82-42-481-8496 Fax: +82-42-472-3517  
 Manuscript received Jan. 16, 2013; accepted Feb. 4, 2013

AC/DC 컨버터 그리고 전동기 구동을 위한 DC/AC 인버터를 채용하고 있다. 배터리 및 울트라 캐패시터의 충방전을 위한 양방향 DC/DC 컨버터 그리고 울터네이터와 트랙션 전동기를 위한 DC/AC 인버터는 HEV 전력 변환 시스템의 전형적인 회로 구성이다. 본 논문에서는 설명의 간략화를 위해 절연 변압기는 구성에서 생략되었다. 울트라 캐패시터는 급격한 전력 수용의 변동에 대응성 있는 대응을 위한 구성으로 배터리의 응답속도 이상의 성능을 보장하고 있으며, 양방향 컨버터는 울트라 캐패시터를 충전하거나 방전하기 위한 감압 및 승압 컨버터로서 동작한다. 배터리는 회생 제동 또는 울터네이터 그리고 플러그인으로부터의 전력을 저장하기 위한 구성요소로서 전동기 구동을 위한 주에너지원으로서 동작하며, 배터리를 이용한 전력 저장 또는 공급을 위하여 감압 및 승압이 가능한 양방향 컨버터가 주로 사용되고 있다.

### 3. HEVs와 PHEVs를 위한 제안된 전력 변환 시스템

그림 2에는 제안된 HEV를 위한 회로 구조를 보여주고 있다. 제안된 전력 변환 시스템은 단방향 감압 컨버터, 멀티 모드 DC/DC 컨버터, PWM AC/DC 컨버터, DC/AC 인버터 그리고 울터네이터와 전동기로 구성되어 있다. 기존 방식과 제안된 방식의 주된 차이점은 기존의 울트라 캐패시터와 배터리를 위한 두 개의 양방향 컨버터의 구조에서 하나의 양방향 컨버터를 제외하고, 하나의 감압 컨버터와 두 개의 스위치 ( $SW_a, SW_b$ ), 인덕터들 ( $L_1, L_2$ ) 그리고 하나의 다이오드 ( $D_1$ )로 구성된 멀티 모드 DC/DC 컨버터를 채용한 점이다. 감압 컨버터는 울트라 캐패시터 충전기로서 작동하고, 제안된 멀티 모드 DC/DC 컨버터는 승압 컨버터와 양방향 DC/DC 컨버터의 동작을 동시에 수행하게 된다. 즉, 기존 방식에 비해 하나의 전력 스위치 및 스위칭 드라이버 그리고 이를 위한 PWM 포트를 전력 변환 성능 및 기능의 저하 없이 제거할 수 있으며, 멀티 모드 DC/DC 컨버터는 동시에 울트라 캐패시터의 전압을 승압하고 배터리를 충전할 수 있다.

앞단에 감압 컨버터는 기존 방식과 동일한 동작을 수행하게 된다. 제안된 전력 변환 시스템의 동작은 전기자동차의 주행 및 전력 상태를 고려하여 다음과 같이 5개의 다른 모드로 분류되어 설명될 수 있다.; 모드1(배터리 충전), 모드2(배터리 충전 및 울트라 캐패시터 방전), 모드3(배터리 및 울트라캐패시터 방전), 모드4(배터리 및 울트라 캐패시터 충전), 모드5(울트라 캐패시터 방전). 또한, 전기자동차를 운전하는 동안 제안된 전력 변환 시스템의 모드는 울터네이터에서 발전된 전력, 배터리 및 울트라 캐패시터에 저장된

에너지, 회생된 에너지 및 전기 자동차의 운전 상태에 따른 전력 관리 알고리즘에 따라 선택되고 전환되어 질 수 있다. 그림 3은 제안된 전력 변환 시스템에서 멀티 모드 DC/DC 컨버터의 각 모드에 따른 PWM 패턴 및 전류 파형을 보여주고 있다.

#### 3.1 모드1(배터리 방전)

배터리 방전 모드는 울터네이터가 발전을 시작하기 전에 배터리에 저장된 전력으로부터 울트라 캐패시터 전압( $V_{uc}$ ) 및 버스 전압( $V_{bus}$ )을 셋업하는 것을 목적으로

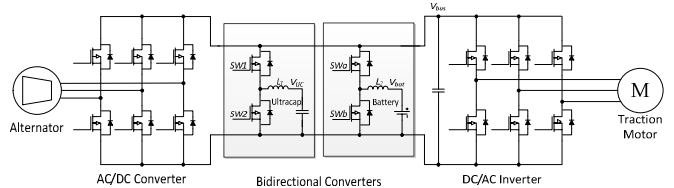


Fig. 1 Conventional circuit configuration for HEV systems

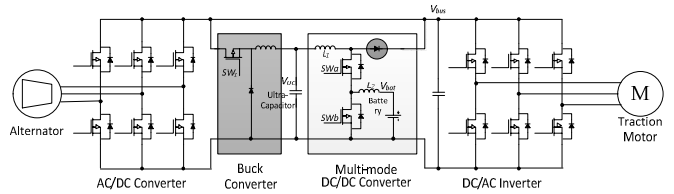


Fig. 2 The proposed circuit configuration for HEV systems

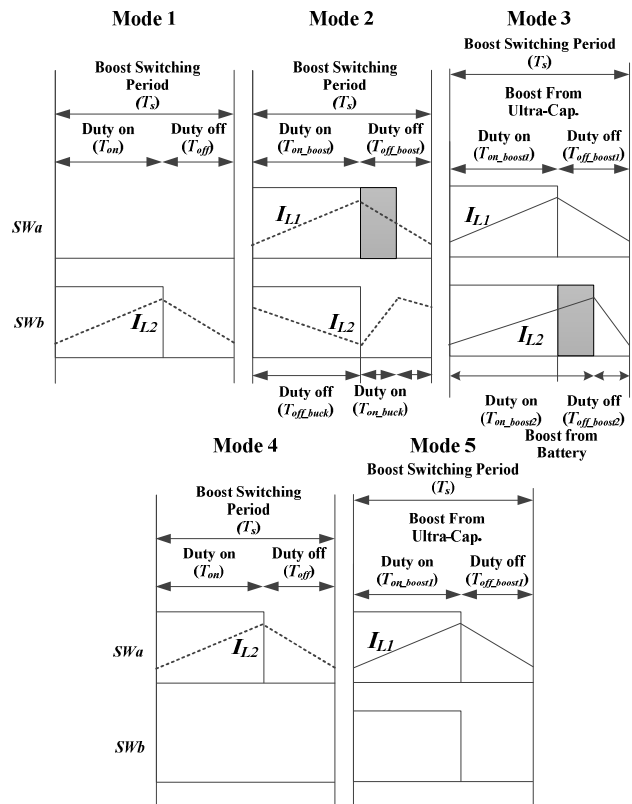


Fig. 3 PWM patterns and Inductor currents for 5 modes of the proposed multi-mode DC/DC converter

하며, 전체 전력은 배터리로부터 공급된다. 기존의 방식에 있어서는 두 개의 양방향 컨버터가 울트라캐패시터를 위한 충전기 및 배터리의 전원을 버스로 공급하기 위한 승압컨버터로서 동작하는 구성과 대응된다. 그림 4(a), 4(b)는 배터리 방전모드의 제어 구조 및 울트라 캐패시터, 배터리, 울터네이터와 전동기 사이에 전력 흐름을 나타내고 있다. 이 모드에서는 배터리 전압( $V_{bat}$ )이 울트라 캐패시터 전압( $V_{uc}$ ) 보다 높기 때문에 역방향 다이오드가 턴온되고 따라서 버스 전압( $V_{bus}$ )은 그림 3의 모드 1의 스위칭 패턴과 같이 스위치( $SW_b$ )에 의해 제어될 수 있다. 스위치( $SW_b$ )가 온되면 인덕터( $L_2$ )는 배터리 전압( $V_{bat}$ )으로부터 충전되고, 인덕터 전류( $I_{L2}$ )의 변동분은 식(1)로 주어질 수 있다.

$$\Delta I_{L2} = \frac{V_{bat}}{L_2} T_{on} \quad (1)$$

스위치( $SW_b$ )가 오프되면 인덕터( $L_2$ )에 저장된 에너지는 배터리에 에너지와 함께 버스쪽으로 공급된다. 이 경우 인덕터 전류( $I_{L2}$ )의 변동분은 식(2)와 같다.

$$\Delta I_{L2} = \frac{(V_{out} - V_{bat})}{L_2} T_{off} \quad (2)$$

식(1) 및 식(2)로부터 버스 전압 ( $V_{bus}$ )은 다음과 같이 도출된다.

$$V_{bus} = \frac{V_{bat}}{1-D} \quad (3)$$

$$\text{여기서 } D = \frac{T_{on}}{T_s} \quad (4)$$

### 3.2 모드 2(배터리 충전 및 울트라 캐패시터 방전)

배터리 충전 및 울트라 캐패시터 방전 모드에서 감압 컨버터는 울터네이터로부터 발전된 전력으로부터 지속적으로 울트라캐패시터를 충전한다. 멀티 모드 DC/DC 컨버터는 울트라 캐패시터에 대해서는 승압 컨버터로 동작하고, 배터리에 대해서는 감압 컨버터로서 동작한다. 즉 멀티 모드 DC/DC 컨버터는 울트라 캐패시터 전압( $V_{uc}$ )를 버스 전압( $V_{bus}$ )로 승압하고 배터리를 충전하게 된다. 모드 2는 그림 1의 기존의 방식에 있어서 배터리에 연결된 양방향 컨버터가 감압 컨버터로 동작하여 배터리를 충전하고 울트라 캐패시터에 연결된 양방향 컨버터는 승압 컨버터로 동작하여 버스로 전력을 공급하여 주는 상황에 대응된다. 그림 5(a)는 배터리 충전 및 울트라 캐패시터 방전 모드의 제어 구조를, 5(b)는 전력의 흐름을 보여준다. 그림 3의 모드 2에서와 같이 스위칭 주기동안 스위치( $SW_a$ )와 스위치( $SW_b$ )는  $T_{on\_boost}$  동안 동시에 턴온 및 오프된다. 그리고  $T_{on\_boost}$ 가 지나

면 감압 컨버터 동작을 위해 스위치( $SW_a$ )는 부가시간  $T_{on\_buck}$  동안 계속해서 온상태를 유지한다. 스위치( $SW_a$ )와 스위치( $SW_b$ )가 동시에 온이되면 입력 인덕터( $L_1$ )은 충전되고 스위치( $SW_b$ )가 오프되면 인덕터( $L_1$ )에 충전된 에너지는 버스로 공급되어진다. 스위치( $SW_b$ )의 오프상태동안 스위치( $SW_a$ )가 온되면 배터리가 충전된다. 이러한 동작을 통해 승압 및 감압 동작이 동일 스위칭 주기 ( $T_s$ )내에서 구현된다.

인덕터 전류( $I_{L1}$ )은  $T_{on\_boost}$  동안 식(5)에 주어진 바와 같이 증가되며 이때 스위치, 다이오드 및 인덕터의 자체 전압 강하는 무시하였다.

$$\Delta i_{L1} = \frac{V_{uc}}{L_1} T_{on\_boost} \quad (5)$$

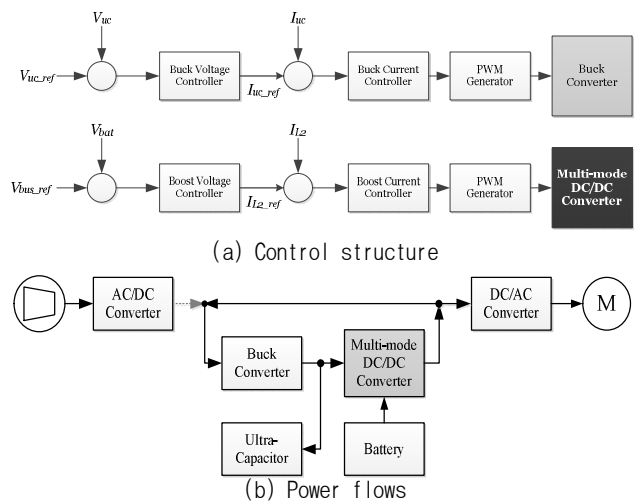


Fig. 4 Mode 1(Battery discharging)

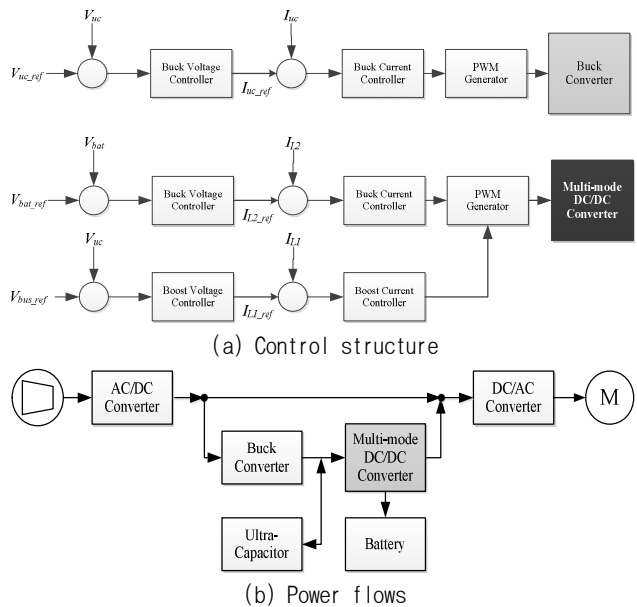


Fig. 5 Mode 2(Battery charging and ultra-capacitor discharging)

스위치 ( $SW_b$ )가 오프되면 인덕터( $L_1$ )과 울트라 캐패시터에 저장된 에너지는 버스로 함께 전달된다. 인덕터 리플 전류는 식(6)과 같다.

$$\Delta i_{L1} = \frac{(V_{bus} - V_{uc})}{L_1} T_{off\_boost} \quad (6)$$

식(6)과 식(5)로부터 버스 전압( $V_{bus}$ )가 식(7)로 유도된다.

$$V_{bus} = \frac{V_{uc}}{1 - D_{boost}} \quad (7)$$

여기서  $D_{boost} = \frac{T_{on\_boost}}{T_s}$  (8)

배터리 충전의 경우  $T_{on\_buck}$  동안 스위치( $SW_a$ )가 온되고 스위치( $SW_b$ )는 오프된다. 인덕터 전류( $I_{L2}$ )는 식(9)와 같이 증가한다.

$$\Delta I_{L2} = \frac{(V_{uc} - V_{bat})}{L_2} T_{on\_buck} \quad (9)$$

반대로,  $T_{off\_buck}$  과  $T_{on\_boost}$  동안 인덕터 전류( $I_{L2}$ )는 감소된다.

$$\Delta I_{L2} = \frac{V_{bat}}{L_2} (T_{off\_buck} + T_{off\_boost}) \quad (10)$$

따라서  $T_{on\_buck}$  동안 배터리는 충전되고  $T_{off\_buck}$  과  $T_{on\_boost}$  동안 인덕터 전류( $I_{L2}$ )는 감소된다. 식(9)와 식(10)으로부터 배터리 충전을 위한 출력 전압은 식(11)과 같이 유도된다.

$$V_{bat} = D_{buck} V_{uc} \quad (11)$$

여기서  $D_{buck} = \frac{T_{on\_buck}}{T_s}$  (12)

### 3.3 모드 3(배터리 및 울트라 캐패시터 방전)

배터리 및 울트라 캐패시터 방전 모드는 갑작스런 가속 또는 경사도로와 같은 고전력을 요구하는 조건에서 전동기로 충분한 전력을 공급하기 위한 모드이다. 울트라 캐패시터와 배터리에 저장된 에너지는 전동기로 동시에 공급된다. 이 때 멀티 모드 DC/DC 컨버터는 두 개의 승압 컨버터로 동작한다. 그림 3의 모드 3에서와 같이  $T_{on\_boost1}$  동안 스위치( $SW_a$ ) 및 스위치( $SW_b$ )는 턴온되어 울트라 캐패시터와 배터리로부터 인덕터( $L_1$ )과 인덕터( $L_2$ )를 동시에 충전한다. 스위치( $SW_a$ )가 오프된 후에 인덕터( $L_1$ )은 방전을 시작하고 인덕터( $L_2$ )는  $T_{on\_boost2}$  동안 계속해서 충전된다.  $T_{on\_boost2}$  가 끝나는 시점에 인덕터( $L_2$ )는 버스쪽으로 방전을 시작한다. 그림 6(a)와 6(b)는 배터리 및 울트라 캐패시터 방전모드의 제어 구조와 전력의

흐름을 보여준다. 모드3의 동작은 기존 방식에서 고전력을 공급하기 위하여 배터리 및 울트라 캐패시터에 연결된 두 개의 양방향 컨버터가 모두 승압 컨버터로 동작하여 버스쪽으로 전력을 공급하는 구성과 대응된다. 배터리 및 울트라 캐패시터로부터 방전되는 버스전압은 모드 1과 모드 2의 방전모드와 동일한 방법으로 식(13) 및 식(15)로 유도될 수 있다.

$$V_{bus} = \frac{V_{uc}}{1 - D_{boost1}} \quad (13)$$

여기서  $D_{boost1} = \frac{T_{on\_boost1}}{T_s}$  (14)

$$V_{out} = \frac{V_{bat}}{1 - D_{boost2}} \quad (15)$$

여기서  $D_{boost2} = \frac{T_{on\_boost2}}{T_s}$  (16)

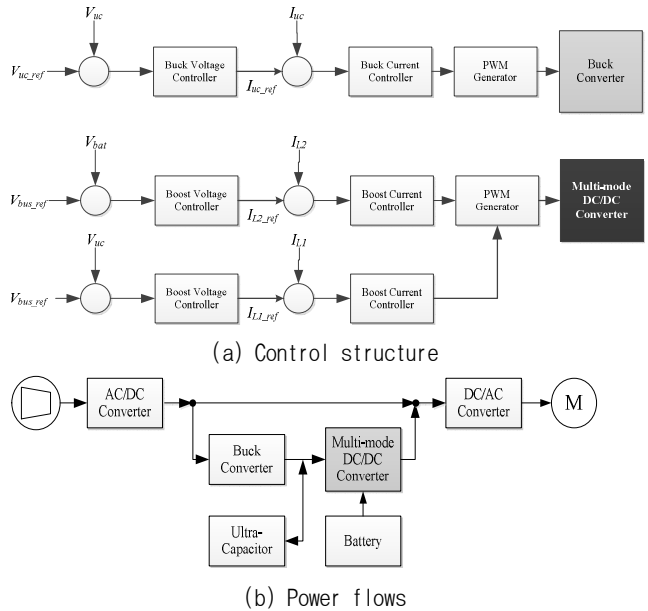


Fig. 6 Mode 3(Battery and ultra-capacitor discharging)

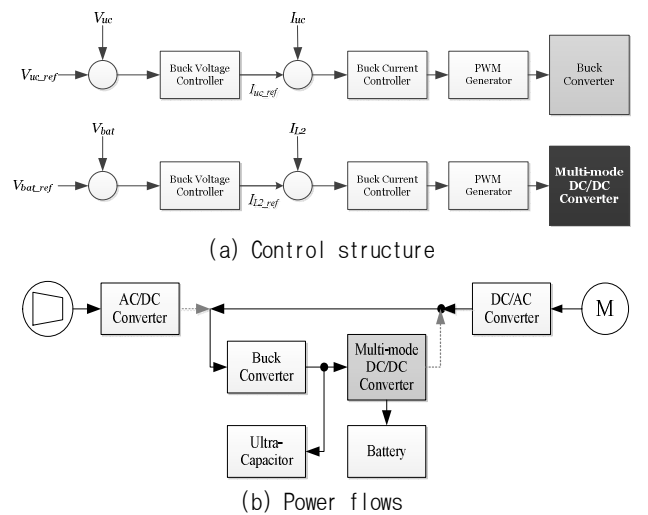


Fig. 7 Mode 4(Battery and ultra-capacitor charging)

3.4 모드 4(배터리 및 울트라 캐패시터 충전)

전기 자동차의 회생에너지로부터 울트라 캐패시터와 배터리를 충전하는 모드로서 앞단에 감압 컨버터는 회생에너지로부터 울트라 캐패시터를 충전하고 동시에 배터리 측으로 전달된다. 또한, 울트라 캐패시터에 충전된 에너지는 멀티 모드 DC/DC 컨버터의 감압 동작에 의해 배터리로 공급된다. 그림 3에 모드 4에서와 같이 스위치( $SW_a$ )는 감압 컨버터의 스위치와 동일하게 작동하고 스위치( $SW_b$ ) 오프상태를 유지한다. 그림 7(a)와 7(b)는 배터리 및 울트라 캐패시터 충전 모드의 제어 구조 및 전력의 흐름을 도시하고 있다. 모드4는 기존 방식에 있어 두 개의 양방향 컨버터가 감압 컨버터로 동작하여 전력을 울트라 캐패시터와 배터리에 저장하는 단계이다. 배터리 및 울트라 캐패시터로부터 방전되는 전압은 모드 2의 배터리 충전모드에서와 동일한 방법으로 유도될 수 있으며 결과는 다음과 같다.

$$V_{bat} = D_{buck} V_{uc} \tag{17}$$

여기서  $D_{buck} = \frac{T_{on,buck}}{T_s}$  (18)

3.5 모드 5(울트라 캐패시터 방전)

배터리의 SOC(Status of charge)가 지정된 경계치 이하로 떨어지면 울트라 캐패시터와 함께 주전력원으로 울트라 캐패시터가 방전을 수행하게 된다. 앞단에 감압 컨버터는 울트라 캐패시터로부터 방전되는 전력으로부터 울트라 캐패시터를 지속적으로 충전하고 멀티 모드 DC/DC 컨버터는 울트라 캐패시터 전압( $V_{uc}$ )를 버스 전압( $V_{bus}$ )로 승압하게 된다. 이 모드에서 멀티 모드 DC/DC 컨버터의 스위치( $SW_a, SW_b$ )는 기존의 승압 컨버터의 단일 스위치 동작을 위한 PWM 패턴과 동일하게 동작하며 그림 3에 모드5에 도시되어 있다.

그림 8(a)와 8(b)는 울트라 캐패시터 방전모드의 제어 구조 및 전력 흐름을 도시하고 있다.

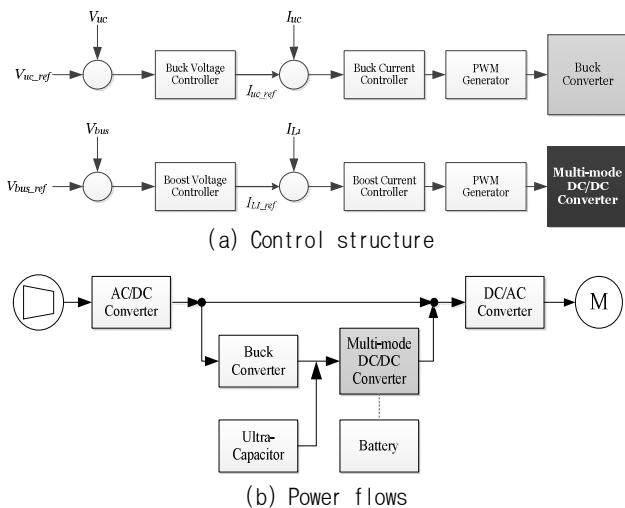


Fig. 8 Mode 5(Ultra-capacitor discharging)

Table 1 Simulation Parameters

Nominal bus voltage	360V	Switching freq.	50kHz
Ultra-cap charge voltage	300V	Inductor (L1)	0.8mH
Nominal output current	50A	Inductor (L2)	0.6mH
Battery	160V,50A	FET	100A, 600V

울트라 캐패시터로부터 방전되는 전압은 모드 2의 울트라 캐패시터 방전모드와 동일한 방법으로 유도될 수 있으며 결과는 다음과 같다.

$$V_{bus} = \frac{V_{uc}}{1-D} \tag{19}$$

여기서  $D = \frac{T_{on}}{T_s}$  (20)

따라서 출력전압은 PWM 시비율에 직접적으로 연관되고 기존의 단일 스위치를 사용하는 승압 컨버터의 동작원리와 동일하게 작동하게 된다. 스위치( $SW_a$ )가 온되면 에너지는 인덕터( $L_1$ )에 저장되고 스위치( $SW_b$ )가 오프되면 인덕터( $L_1$ )에 저장된 에너지와 울트라 캐패시터에 저장된 에너지는 전동기로 전달된다.

4. 시뮬레이션 결과

HEV와 PHEV를 위해 제안된 전력 변환 시스템에 대해 표1에 파라미터를 사용하여 PSIM을 통해 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 10에 PWM 발생기, 승압 컨버터를 위한 전류 및 전압 제어기, 감압 컨버터 그리고 멀티 모드 DC/DC 컨버터로 구성된 PSIM 시뮬레이션을 보여주고 있다. 배터리 모델로 이중 브랜치 배터리 모델을 사용하였고 초기 전압을 160V로 설정하였다. 그림 10(a)는 배터리 방전모드의 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에서 초기 울트라 캐패시터 전압은 320V로 설정하였고 t=0.1s에 기준 버스 전압을 320V에서 380V로 변동하였다. 그림 10(a)에서 보여주듯이, 버스 전압( $V_{bus}$ )는 320V에서 380V로 승압되고 배터리는 전동기측으로 모든 에너지를 공급하고 있다. t=0.3s에서 전동기의 기준속도를 50rpm에서 100rpm으로 증가시켰고 배터리로부터 토크 전류가 공급되어짐을 알 수 있다. 그림 10(b)는 배터리 충전/울트라 캐패시터 방전 모드의 시뮬레이션 결과이다. 여기서 버스 전압( $V_{bus}$ )는 320V로 승압되고 동시에 배터리가 충전된다. t=0.3s에서 기준 버스 전압을 380V로 변경되었다. 양의 배터리 전류( $I_{L2}$ )는 배터리가 충전됨을 보여주고 있고, t=0.4s에서 기준 속도는 50 rpm에



서 100rpm으로 변동되었다. 그림 11(c)는 배터리 방전/울트라 캐패시터 방전 모드 시뮬레이션 결과이다.  $t=0.2s$ 에서 기준 버스 전압을 320V에서 380V로 승압하였고, 울트라 캐패시터와 배터리에 저장된 에너지는 동시에 버스로 공급되어 진다.  $t=0.3s$ 에서 기준 속도를 50 rpm에서 100 rpm으로 증가시켰으며, 울트라 캐패시터 및 배터리로부터 토크 전류가 공급되고 있다. 그림 10(d)는 울트라 캐패시터 방전 모드의 시뮬레이션 결과를 보여주고 있다. 초기 울트라 캐패시터 전압을 300V로 설정하고,  $t=0.2s$ 에서 기준 버스 전압을 380V로 증가시켰다. 버스 전압 ( $V_{bus}$ )는 300V에서 380V로 승압되었음을 알 수 있고, 울트라 캐패시터는 모든 에너지를 버스로 공급하고 있고, 따라서 배터리 전류는 영이다.

5. 실험 결과

제안된 방식은 TI TMS320F2812 DSP 시스템을 이용하여 실험적으로 검증되었다. 실험에 사용된 파라미터는 표2와 같다. 전체 시스템은 실험을 위해 스케일을 축소하여 행하여 졌으며 리튬이온 배터리 (3Ah)가 에너지 저장장치로 사용되었고 충전 전압을 4.2V로 설정하였다. 그림 11은 전체 실험 세트를 보여주고 있다.

그림 12는 제안된 전기자동차를 위한 전력 변환 시스템의 실험 결과를 도시하고 있다: (a) 배터리 방전 (b) 울트라 캐패시터 및 배터리 방전 (c) 울트라 캐패시터방전 및 배터리 충전 (d) 울트라 캐패시터 방전(버스 전압 ( $V_{bus}$ )를 7V에서 12V로 승압 및 일정한 기준 토크로 전동기 구동).

그림 12(a)에서 출력 전압 커맨드는  $t=0.1s$ 에서 7V로부터 12V로 승압하였고, 정상상태 이후 일정 기준 토크로 전동기를 구동하였다. 그림 12(b)는 울트라 캐패시터 방전/배터리 충전 모드의 실험결과를 도시하고 있다. 여기서 기준 버스 전압은 7V로 하였고 울트라 캐패시터로부터 방전된다. 그리고 0.1s후에 동작모드를 울트라 캐패시터 및 배터리 방전모드로 변경하였고 기준 버스 전압을 12V로 승압하였다. 인덕터 전류( $I_L$ )는 배터리가 부하전류의 일부를 공급하는 동안 음의 값을 가짐을 알 수 있다.

그림 12(c)는 울트라 캐패시터 방전/배터리 충전 모드의 실험 결과를 보여주고 있다. 울트라 캐패시터 방전 모드에서 버스 전압을 7V로 설정하였고, 0.1s 후에 동작 모드를 울트라 캐패시터 방전 및 배터리 충전모드로 변경하였다. 그림 12(d)는 울트라 캐패시터 방전 모드의 실험결과이다. 출력 전압 명령은 7V에서 12V로  $t=0.1s$ 에서 변경하였고 정상상태 후에 일정 기준 토크로 전동기를 구동하였다.

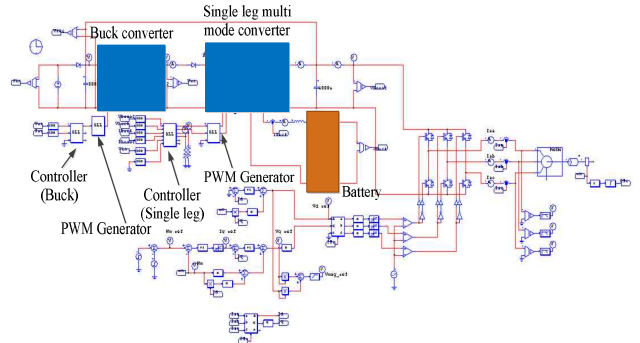


Fig. 9 Simplified simulation model focusing on the operational modes of the multi-mode DC/DC converter

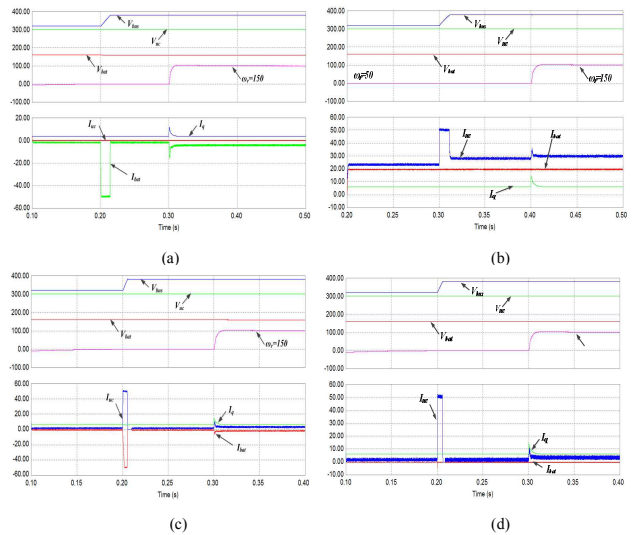


Fig. 10 Simulation results: (a) Battery discharging mode; (b) Ultra capacitor and battery charging; (c) Ultra capacitor discharging and battery discharging; (d) Ultra capacitor discharging (from top to bottom: 1. Bus voltage ( $V_{bus}$ ); 2. Ultra-capacitor voltage ( $V_{uc}$ ); 3. Battery voltage ( $V_{bat}$ ); 4. Motor speed ( $\omega r$ ); 5. Motor torque current ( $I_q$ ); 6. Ultra-capacitor current ( $I_{uc}$ ); 7. Battery current ( $I_{bat}$ ))

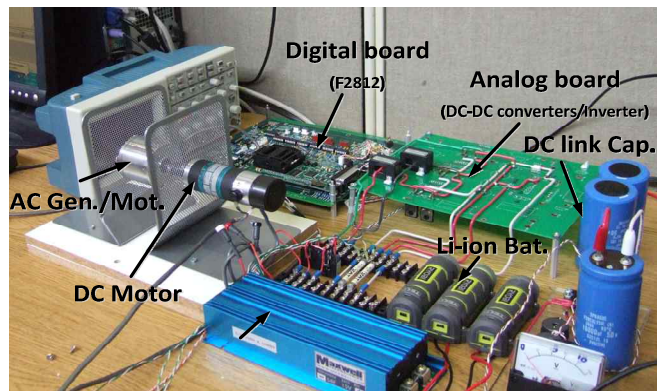


Fig. 11 Experimental setup

Table 2 Experimental Parameters

Nominal output voltage	12V	Inductor (L1)	0.8mH
Nominal output current	4A	Inductor (L2)	0.6mH
Battery	4V,3A	MOSFET	10A,100V

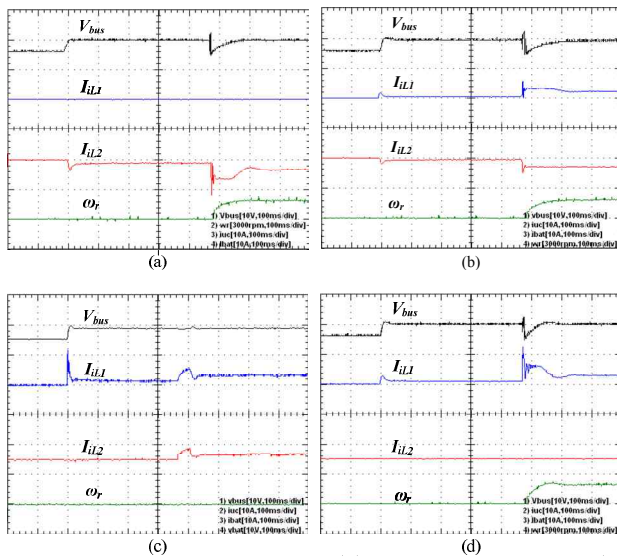


Fig. 12 Experimental results: (a) battery discharging; (b) Ultra capacitor and battery discharging; (c) Ultra capacitor discharging and battery charging; top to bottom: (d) Ultra capacitor discharging; top to bottom: 1.  $V_{bus}$ ; 2.  $I_{L1}$ ; 3.  $I_{L2}$ ; 4.  $\omega_r$ ; [10V, 10A, 3000rpm,50ms/div]

### 6. 결 론

본 논문에서는 하이브리드 전기 자동차의 전력 변환 시스템의 구현을 위해 새로운 멀티 모드 DC/DC 컨버터를 포함하는 전력 변환 시스템을 제안하였다. 제안된 방식은 스위칭 소자의 수를 줄이고 동일한 성능과 기능을 실현함으로써 저비용 및 고신뢰성의 전력 변환 특성을 획득할 수 있었다. 제안된 하이브리드 전기자동차용 전력 변환 시스템은 두 개의 스위치를 가지는 하나의 레그가 두 개의 독립된 컨버터(승압 컨버터 및 양방향 DC/DC 컨버터)를 대체하고 있고, 제안된 방식의 회로 구조 및 제어 방식은 5개의 모드로 분류하여 설명하였다. 제안된 방식은 컴퓨터 시뮬레이션과 실험을 통해 성능과 구현 가능성을 검증하였으며, 실험 결과로부터 하이브리드 전기 자동차를 위한 다양한 에너지 변환 응용분야에 적용할 수 있음을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- [1] Sang-tak Lee, Choo-hee Cho, Dae-kyung Kim, "Development Trends of Driving system in Electrical vehicles," *KIPE Magazine*, Vol. 16, No. 2, pp. 32-37, April 2011.
- [2] Toyota, "Power source device for vehicle and vehicle," International Patent Publication, WO 2008/081983 A1, Oct. 2008.
- [3] M. Ehsani, Y. Gao, S. E. Gay, A. Emadi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles*. CRC Press, 2005.
- [4] Won-yong Kim, Jong-won Kim, Hyun-jun Kim, Young-dong Kim, Do-hyun Kim, Dae-sik, Choi, Hyung-lok Oh, Jun-young Lee, "3.3kW Bidirectional Battery Charger for EV/PHEV," *Power Electronics Annual Conference*, pp. 7-8, July 2011.
- [5] Su-Young Yun, Hyung-Jun Chae, Won-Yong Kim, Hyung-Tae Moon, Yu-Seok Jeong, Jun-Young Lee, "Battery Charger for EV," *The Trans. of the KIPE*, Vol. 15, No. 6, Dec. 2010.
- [6] F. R. Salmasi, "Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles: Evolution, Classification, Comparison, and Future Trends," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 56, No. 5, pp. 2393-2404, Sep. 2007.
- [7] M. Ehsani, Y. Gao and K. L. Butler, "Application Of Electrically Peaking Hybrid (ELPH) Propulsion System To A Full Size Passenger Car With Simulated Design Verification," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 48, No. 6, Nov. 1999.
- [8] C. B. Jacobina, M. B. Rossiter Corrêa, A. M. Nogueira Lima, E. R. Silva, "AC Motor Drive Systems With a Reduced-Switch-Count Converter," *IEEE Trans. on Industry Applications*, Vol. 39, No. 5, Sep. 2003
- [9] A. Emadi, K. Rajashekara, S. S. Williamson, and S. M. Lukic, "Topological overview of hybrid electric and fuel cell vehicular power system architectures and configurations," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 54, No. 3, pp. 763 - 770, May 2005.

#### 박태식(朴太植)



1972년 1월 19일생. 1996년 고려대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 2000년~2005년 삼성전자 책임 연구원. 2010년~2011년 미국 University of Michigan Researching fellow. 2005년~현재 특허청 사무관.

2005년~현재 특허청 사무관.