

전기자전거 응용을 위한 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터

김다솜¹, 김상연¹, 강경수¹, 노정욱[†]

Boost Converter Embedded Battery Charging Function for Application of E-bike

Da-Som Kim¹, Sang-Yeon Kim¹, Kyung-Soo Kang¹, and Chung-Wook Roh[†]

Abstract

In the conventional E-bike, a 42 V/10 A Li-ion battery drives a 24 V/10 A BLDC motor via a 6-switch PWM DC/AC inverter. The major problems of the conventional battery-fed motor drive systems are listed as follows. To charge the battery, an external battery charger (adapter) is required, which degrades the portability of E-bike users. In addition, given the high-frequency operation of the motor drive inverter, the switching losses are significant, which degrades the whole power efficiency. High-voltage batteries (42 V) require a complex battery management system (BMS), which degrades the reliability of the battery pack. In this paper, an embedded boost-converter battery charger for E-bikes is proposed. The variable output boost converter, which converts 16.8 V battery voltage to the required variable voltage of the inverter input, can use a low-voltage battery and thus improve the reliability of batteries. By varying the inverter input voltage via boost converter, a DC link voltage control method can be applied to reduce the switching frequency of the inverter, which improves the whole power efficiency. Given that the function of a flyback charger is integrated in the proposed boost converter, the portability of the E-bike user can be maximized by excluding an external adapter. The validity of the proposed circuit will be confirmed by operation mode analysis and simulation. Moreover, experimental results of integrative charger using Li-ion battery and 200 W motor test will be showed with a prototype sample as well.

Key words: Boost converter, Motor drive inverter, Battery, Integrated flyback converter, E-bike

1. 서 론

최근 화석에너지 고갈 및 환경 문제로 인해 친환경 녹색 산업에 대한 투자가 전 세계적으로 이루어지고 있다. 특히, 친환경 이동수단이며, 주행 편의성이 높고, 경제적인 이동수단으로 전기자전거(E-bike)가 각광받고 있다.

전기 자전거는 배터리를 충전하는 충전 모드, 모터를 구동하는 방전 모드로 나누어진다.

그림 1은 기존 전기자전거의 회로 구성을 나타낸 블록도이다. 그림 2는 기존 전기자전거 회로도이다. 기존 E-bike는 동력원인 배터리에서 모터 구동 인버터를 통해 구동원인 모터로 전력이 전달되면 모터의 회전력으로 E-bike의 바퀴를 구동하여 운전이 가능한 형태이다. 방전된 배터리는 충전이 필요하며, 이를 위하여 별도의 충전기를 연결하여 충전이 필수적이다. 별도의 외장형 충전기는 부피가 크고 휴대가 불편하다는 단점이 있다. 또한 통상 강압형 인버터 방식 채용으로, 모터 정격전압(24V)보다 배터리 전압을 높게(36V) 설정해야 한다. 높은 배터리 전압은 배터리 셀의 직렬연결 개수가 많아지고, 이는 무게와 부피를 증가시킨다.

제안 회로는 충전, 방전 기능을 통합하면서 배터리 부피 절감 방안 및 기능적 손실이 없는 충전 기능 내장형 부스트 컨버터를 제안한다. 배터리 충전 시, 60W급 절연형 플라이백 컨버터를 이용하여 그 기능을 수행한다.

Paper number: TKPE-2016-21-2-11

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

[†] Corresponding author: drno@kookmin.ac.kr, Electronic Engineering, Kookmin University

Tel: +82-2-910-4947 Fax: +82-2-910-4449

¹ Electronic Engineering, Kookmin University
Manuscript received Nov. 20, 2015; revised Jan. 6, 2016;
accepted Feb. 26, 2016

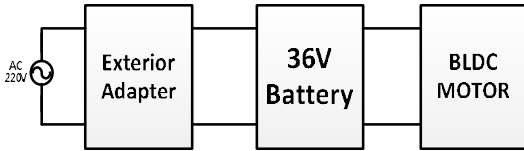


Fig. 1. Conventional E-bike system block diagram.

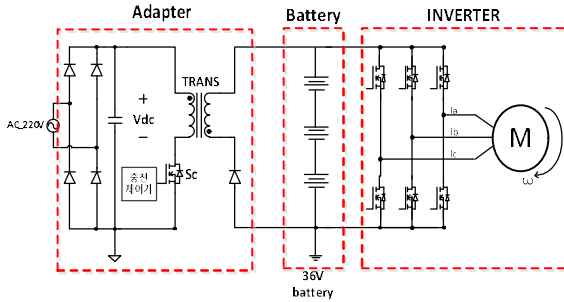


Fig. 2. Conventional E-bike circuit.

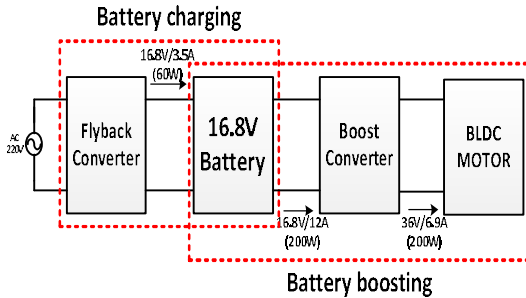


Fig. 3. Proposed integrated E-bike system block diagram.

또한 전원케이블이 회로에 내장되어 있어, 안전규격을 만족시키고 AC 상용전원에 직접 연결하여 충전이 가능하다. 배터리 방전 시, 플라이백 2차 측에 구현한 부스트 컨버터로 모터를 구동한다. 이는 승압형 컨버터 사용으로 입력 전압이 출력 전압보다 작아지므로, 배터리 셀의 직렬연결 개수의 감소가 가능하다. 제안은 별도의 외장형 충전기가 불필요하여 휴대성이 극대화된다. 또한 부스트 컨. 터를 이용한 모터 구동은 배터리의 수를 감소시켜 통합형 회로의 부피와 무게를 저감한다. 이로써 친환경적이고 경제적인 개인용 이동수단 개발이 가능해질 것으로 보인다.

본 논문은 전기자전거 응용을 위한 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터의 충전, 방전 모드의 동작 원리, 제어 특성과 주요 기능의 특징에 대하여 설명한다. 마지막으로 이론적 분석의 타당성과 제안회로 효과를 실험 결과를 통해 증명한다^[1-2].

2. 제안 충전 기능 내장형 부스트 컨버터

그림 3은 제안 회로의 충전 기능과 모터 구동 시스템

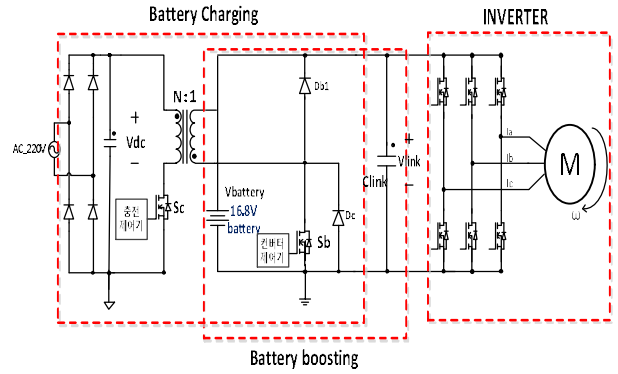


Fig. 4. Proposed integrated flyback converter circuit with 220Vac input voltage and BLDC motor.

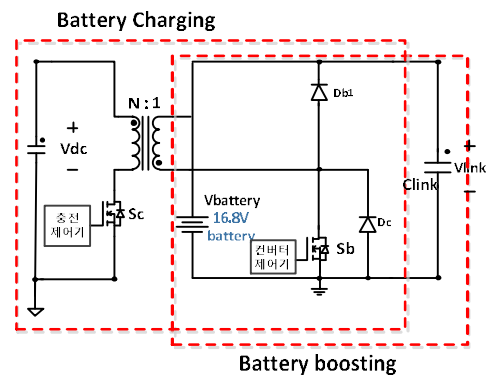


Fig. 5. Proposed integrated flyback converter circuit.

을 나타낸 블록도이고, 그림 4는 충전 모드 시 AC 상용전원을 연결한 모습과 모터 구동 시 INVERTER를 연결한 모습을 동시에 나타낸 통합 회로이다. 그림 5는 One-board에 구현한 플라이백과 부스트 컨버터의 전력 단이다. 배터리 충전은 플라이백 컨버터, 방전은 플라이백 컨버터의 2차 측에 구현한 부스트 컨버터로 동작한다. 2차 측에 스위치와 다이오드를 추가하고, 트랜스의 2차 측을 인덕터로 사용하여 부스트 컨버터를 구현하여, One-board에서 충전, 방전을 가능하게 한다. 부스트 컨버터의 출력 단에는 큰 캐패시터를 연결한다. 이는 모터 구동 시 부하 변동에 따른 Load Regulation을 강화하고 역기전력의 영향을 없게 한다. 속도 변화는 모터의 출력 정보인 DC Throttle 전압($V_{throttle}$)을 받아, 부스트 컨버터의 출력 전압 가변 제어를 통하여 가능하다^[3].

2.1 배터리 충전(Flyback)모드

배터리 충전 시, AC 상용전원이 풀 브릿지 회로와 DC link 캐패시터를 지나 평활 된 전압을 입력전압(V_{dc})으로 한다. 그림 6의 충전 회로 동작을 나타낸다. (a),(b),(c)는 스위치 on/off 동작을 나타내며, 이때 1차 측 스위치(S_c)가 주스위치로 동작한다.

DCM(Discontinuous Conduction Mode)으로 동작하여

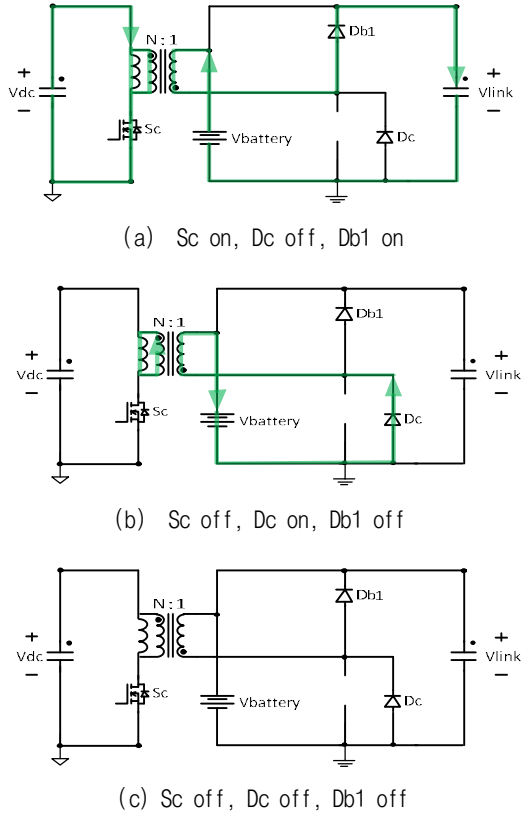


Fig. 6. Operation of proposed battery charging circuit.

마지막에 인덕터의 에너지를 모두 방전한 구간이 존재한다. 그림 6-(a)는 S_C on 구간을 나타낸다. 1차 측 인덕터에 에너지를 저장하는 구간이다. 2차 측 다이오드 (D_C)는 off로 동작하며, 다이오드(D_{b1})는 on이다. D_{b1} 이 on 되었을 때, 부스트 출력 캐패시터는 2차 측 트랜스 입력에 걸리는 전압(V_{dc}/N)과 $V_{battery}$ 합만큼 충전된다. 식 (2)에 나타내었다. 그림 6-(b)는 S_C off 구간을 나타낸다. 인덕터의 에너지를 방출하는 구간으로 D_C 가 on되고 $V_{battery}$ 를 충전한다. 그림 6-(c)는 S_C 스위치 off로 D_C off, D_{b1} off인 상태이다. 1차 측 인덕터의 에너지를 모두 방전한 모드로 DCM의 마지막 구간이다. 이 구간을 통하여 S_C 의 스위칭 손실을 줄일 수 있다는 장점이 있다.

배터리는 CCCV(Constant Current Constant Voltage)로 동작하여 충전한다. CC(Constant Current)는 정 전류로 충전 시작부터 원하는 전압에 도달할 때까지 배터리로 일정한 전류를 공급하는 구간이다. CV(Constant Voltage)는 일정한 전압이 배터리에 완전히 충전되고 변하지 않은 구간을 말한다. 이때 출력에 흐르는 전류는 점차 감소되어 Cut-off 전류에 이르게 된다. 제안회로는 3.5A CC로 16.8V CV로 충전하도록 설계하였다.

$$\frac{V_{battery}}{V_{dc}} = D \cdot \sqrt{\frac{R_o T_s}{2Lm}} \quad (1)$$

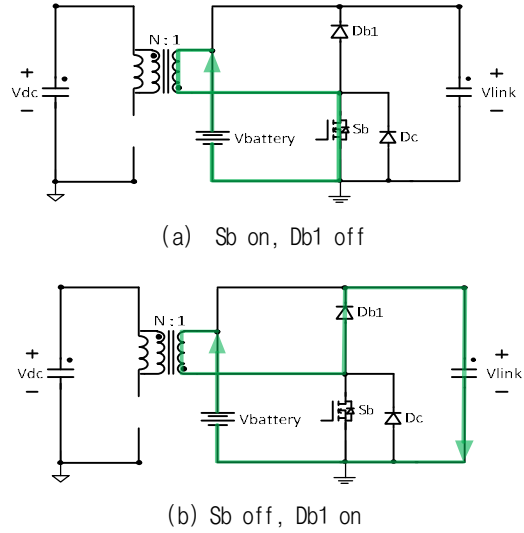


Fig. 7. Operation of proposed battery discharging circuit.

$$V_{link} = \frac{V_{dc}}{N} + V_{battery} \quad (2)$$

식 (1)은 플라이백 컨버터의 DCM 동작을 위한 입력력 관계식이다. D 는 시비율, R_o 는 60W 플라이백의 부하, T_s 는 한주기 그리고 L_m 은 플라이백의 1차 측 인덕턴스를 나타낸다. 식 (2)는 부스트 컨버터의 출력 캐패시터에 충전되는 전압을 나타내는 식이다^{[4],[5]}.

2.2 모터 구동(Boost)모드

그림 7은 제안 모터 구동 회로(Boost) 동작을 나타낸다. 입력 전압은 주 배터리 단인 $V_{battery}$ 이고 출력 전압은 V_{link} 단이다. 모터 구동 시, 2차 측의 S_b 와 D_{b1} 으로 부스트 컨버터 동작을 하고 다이오드 D_C 는 off상태이다. 그림7의 (a),(b)는 S_b 의 on/off 동작을 나타낸다. 그림 7-(a)의 도통 경로는 S_b on, D_{b1} off로 알 수 있다. 이때 인덕터에 에너지를 저장한다. 그림7-(b)는 S_b off, D_{b1} on구간으로 인덕터의 에너지를 방전하는 도통 경로이다.

모터의 속도 가변은 부스트 컨버터의 출력 전압 변화에 따른다. 속도 정보를 가지고 있는 DC Throttle 전압 ($V_{throttle}$)으로 제어한다. Throttle을 회전하지 않을 때는 부스트 컨버터가 동작하지 않고, 입력 전압이 출력 전압에 그대로 보인다. Throttle 회전 시 $V_{throttle}$ 이 올라가면서 부스팅 동작을 한다. 이는 모터의 속도를 증가시킨다.

$$\frac{V_{link}}{V_{battery}} = \frac{1}{1-D} \quad (3)$$

식 (3)은 부스트 컨버터의 CCM(Continuous Conduction Mode)동작 입출력 관계식이다.

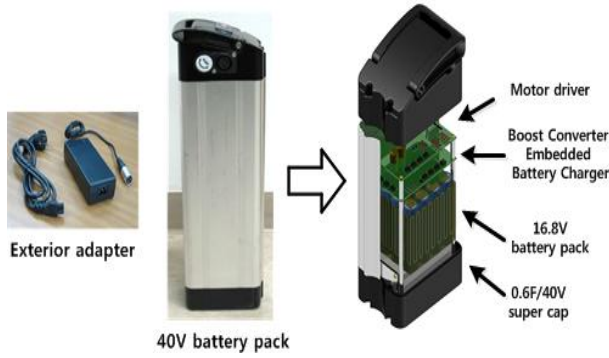


Fig. 8. Comparison the conventional and proposed battery pack.



Fig. 9. One-board PBA of proposed boost converter embedded battery charging function circuit.

2.3 모터 구동 시 속도 제어

부스트의 출력 전압이 변함에 따라서 모터의 속도 가변이 가능하다. 식 (3)을 통하여 입력 전압이 일정할 때 D인 duty의 변화에 따라 출력이 변화 하는 것을 알 수 있다. duty가 작아지면 입력전압이 유지 상태에서 출력이 감소한다. 반대로 duty가 커지면 출력은 증가한다. 위의 이론으로 모터의 속도를 가변한다. duty의 변화를 위해서 속도 정보를 가지고 있는 DC Throttle 전압인 $V_{throttle}$ 을 사용한다.

그림 10은 $V_{throttle}$ 의 변화로 부스트 컨버터의 출력 전압과 모터의 속도 제어를 보여주는 블록도이다. $V_{throttle}$ 은 최소 0.9V에서 최대 4.2V가 나온다. 0.9V 전압일 때는 Boost 컨버터는 0duty가 나오게 되며, 입력 전압이 출력 단에 그대로 보인다. $V_{throttle}$ 이 최대 4.2V일 때, 제어하고 있는 최대 duty가 발생하고 출력 전압은 36V가 된다. Throttle을 중간만 돌려 2.4V 전압이 나올 시, 0duty와 최대 duty 간의 중간 값이 나온다. 전압도 같이 16.8V에서 36V의 중간 값인 약 27V가 나온다. 그림 11은 $V_{throttle}$ 에 따라 duty 가변을 보여주는 블록도이다.

이는 $V_{throttle}$ 값이 커지면 duty가 증가하는 것을 보여준다. duty가 증가하면 Boost 컨버터 출력전압이 최대가 되고 모터의 속도는 빨라진다^{[6],[7],[8]}

2.4 제안 회로의 특징

다음은 제안된 회로의 특징을 정리한 것이다. .

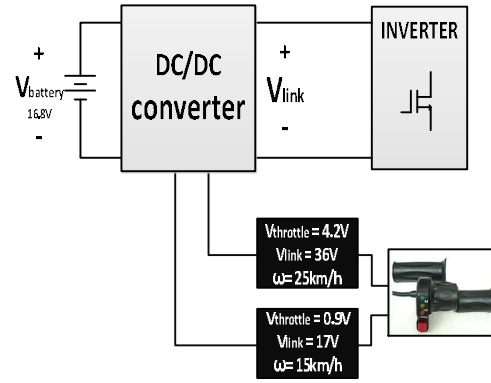


Fig. 10. The process of output voltage of boost converter and speed of motor.

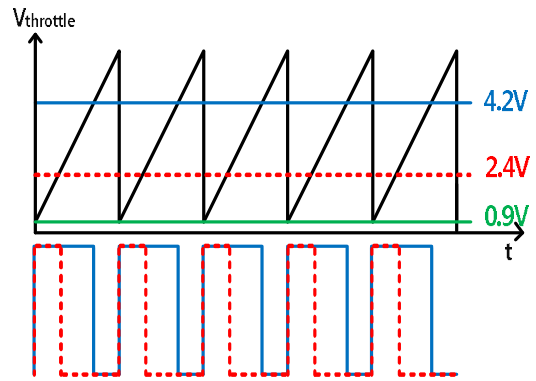


Fig. 11. The method of duty control in boost converter.

1) 기존 E-bike는 배터리 충전을 위하여 별도의 외장형 충전기가 필요하다. 반면 제안은 통합형 회로에 내장된 충전 회로를 통하여 가능하다. 그림 8은 기존 E-bike의 배터리 팩과 외장형 충전기, 제안회로가 적용된 배터리 팩을 비교한다. 제안 배터리 팩은 전원 케이블을 내장한 충전 겸용 부스트 컨버터, 모터 드라이버와 배터리를 포함한다. 이는 휴대성 극대화뿐만 아니라 무게와 부피를 감소시킨다. 그림 9는 팩 안에 장착되는 One-board PBA(Printed Board Assembly)이다. PBA의 사이즈는 가로 14.9cm, 세로 9cm, 높이 3.6cm이다.

2) 기존 모터는 강압형(buck) 방식으로 구동하여, 모터 정격전압(24V)보다 배터리 전압(36V)을 높게 설정해야한다. 이는 배터리 셀의 직렬연결 개수가 많아져, 배터리의 부피와 무게를 증가시킨다. 또한 큰 배터리 전압은 cell balance 낮게 한다. 반대로 제안회로는 승압형(boost) 회로와 모터를 연동한다. 모터를 구동시키는 출력 전압(36V)보다 입력 전압(16.8V)이 낮다. 배터리를 입력 전압으로 사용하므로, 배터리의 직렬연결 개수는 줄어든다. 통상 배터리 36V에 비해 16.8V는 직렬연결의 수가 약 1/3배 정도이다. 이에 따라 부피와 무게의 절감이 가능하고, 낮은 배터리 전압은 cell balance가 잘 맞아 안정성이 높아진다.

TABLE I
SIMULATION AND TEST CONDITION OF PROPOSED
CIRCUIT

| Flyback converter | | Boost converter | |
|------------------------------------|---------|----------------------------------|---------|
| Input voltage (V_{dc}) | 315Vdc | Input voltage ($V_{battery}$) | 16.8Vdc |
| Output power ($P_{o,max}$) | 60W | Output power ($P_{o,max}$) | 200W |
| Battery voltage ($V_{battery}$) | 16.8Vdc | Output voltage (V_{link}) | 36V |
| Output voltage (V_{link}) | 38V | - | - |
| Charging current ($I_{battery}$) | 3.5A | - | - |
| Inductor (L_m) | 1.7mH | Inductor (L_{boost}) | 8uH |
| Switching frequency (f_{sw}) | 65kHz | Switching frequency (f_{sw}) | 100kHz |

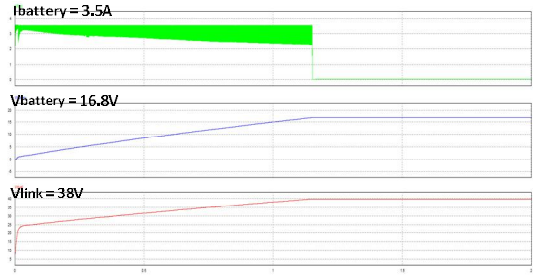
3) 부스트 컨버터 초기 동작 시, 출력단의 큰 캐패시터가 0V라면 입력 단에서 큰 inrush 전류가 발생한다. 이것은 소자와 인덕터에 파손을 일으킨다. 제안회로는 배터리와 출력 단을 동시에 충전한다. V_{link} 전압으로 충전된 상태에서는 inrush 전류가 크지 않고, 소자와 인덕터에 큰 영향을 주지 않는다. 또한 부스트의 출력 캐패시터는 큰 값으로 사용한다. 이는 모터 구동 시 Regulation을 좋게 하고 모터의 속도가 감소할 때 발생하는 역기전력에 의한 회로 파손도 막아준다.

4. 제안회로의 실험 결과

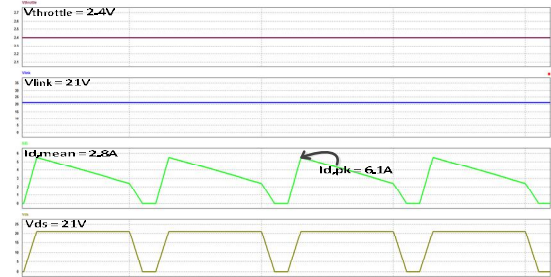
본 논문에서는 제안된 배터리 충전 기능 내장형 부스트 컨버터 통합형 회로를 검증하기 위해 표 1의 조건하에서 200W급 저항과 모터 부하의 PSIM 모의실험과 시제품 실험을 수행하였다. 이를 통해 제안한 회로의 우수성을 검증하였다.

4.1 모의실험 결과

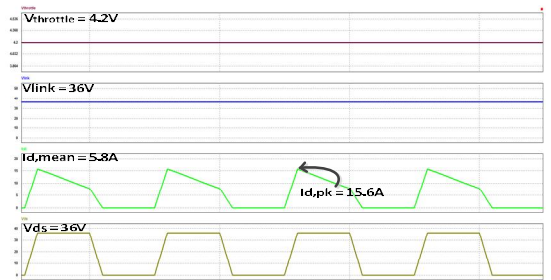
그림 12-(a)는 충전회로의 60W 급 모의실험 결과이다. CCCV를 통하여 일정한 전류 3.5A로 일정한 전압 16.8V를 충전한다. 또한 Boost 컨버터의 출력 캐패시터 (V_{link})에 38V가 충전되는 결과가 나왔다. 그림 12-(b),(c)는 Boost 컨버터의 출력 전압 변화를 Throttle 전압 대신 DC 전압으로 한 모의실험 결과이다. 그림 12-(b)는 $V_{throttle}$ 에 2.4V 인가 시 27V의 출력 전압이 나



(a) battery charging waveform of simulation



(b) Waveform of boost converter at low output voltage



(c) Waveform of boost converter at high output voltage

Fig. 12. Main waveform of simulation.

오는 것을 확인하였다. 그림 12-(c)는 $V_{throttle}$ 에 4.2V를 인가하는 경우로 최대 duty와 최대 출력 36V가 나오는 결과를 확인하였다.

4.2 저항 부하 및 모터 연동 실험 결과

제안된 컨버터의 타당성을 검증하기 위하여 60W 급 충전 회로와 부스트 컨버터에 200W 급 저항 부하 및 모터 연동 실험을 수행하였다. 5F super capacitor로 충전 기능 실험과 부스트의 출력 전압 변화 즉, 속도 변화를 제어하는 실험이다. 제안회로의 사양은 표2와 같다. 그림 13은 배터리 충전 모드 실험 결과이다. 3.5A 전류로 16.8V 전압을 충전하는 실험으로, 동시에 부스트 출력 단을 38V로 충전하였다.

그림 14는 부스트 컨버터의 저항 부하 실험으로 Throttle 전압 ($V_{throttle}$) 출력 전압 (V_{link}), 다이오드 전류 (I_d)와 스위치 양단 전압 (V_{ds})를 보여준다. $V_{throttle}$ 값의 변화에 따라서 출력 가변이 이루어지는 것을 볼 수 있으며 이때 $V_{throttle}$ 은 DC 서플라이를 통하여 입력하였다.

TABLE II
EXPERIMENTAL PARAMETERS OF PROPOSED
CIRCUIT BY RESISTIVE LOAD CONDITION AND 200W
DRIVING MOTOR

| Flyback converter | | Boost converter | |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------------------------|----------|
| Input voltage (V_{ac}) | 220Vac | Input voltage ($V_{battery}$) | 16.8Vdc |
| Output power ($P_{o,max}$) | 60W | Output power ($P_{o,max}$) | 200W |
| Core | EER4954S | Core | EER4954S |
| Turn Ratio n (n:1) | 15 | - | - |
| Number of Turn (N) | 75 | Number of Turn (N) | 5 |
| Inductor (L_m) | 1.7mH | Inductor (L_{boost}) | 8uH |
| Battery voltage ($V_{battery}$) | 16.8Vdc | Output voltage (V_{link}) | 36V |
| Output voltage (V_{link}) | 38V | - | - |
| Charging current ($I_{battery}$) | 3.5A | - | - |
| Battery Capacitor | 5F(2.7/100F*20ea) | Output Capacitor (C_{link}) | 0.6F/42V |
| Control IC | FSL176 MRT | Control IC | TL494 |
| Switching frequency (f_{sw}) | 65kHz | Switching frequency (f_{sw}) | 100kHz |

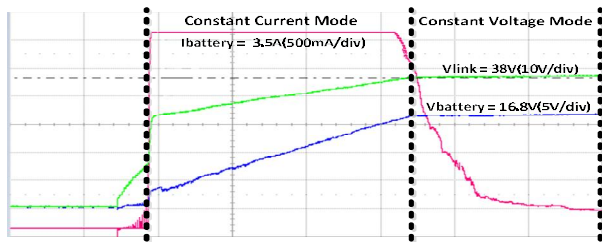
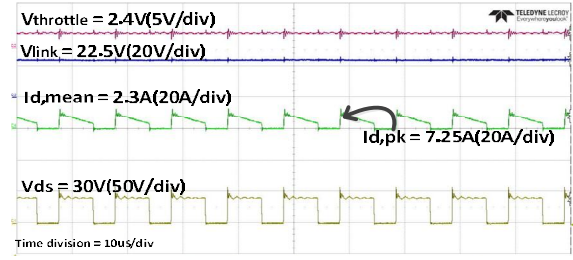


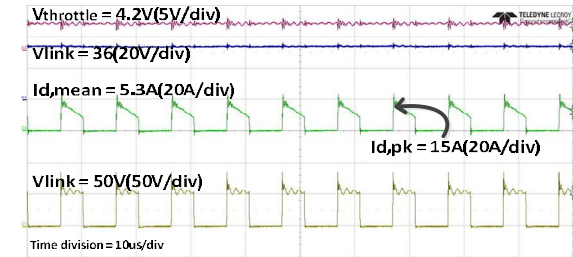
Fig. 13. Experimental waveform of battery charging.

그림 14-(a)는 $V_{throttle}$ 이 2.4V 일 때의 결과이다. V_{link} 전압은 22.5V, 출력 전류는 2.3A로 51.75W급 저항 부하 제어가 가능함을 보인다. 그림 14-(b)는 $V_{throttle}$ 이 4.2V 일 때의 결과이다. V_{link} 는 36V, I_d 평균은 5.3A로 191W급 저항 부하 제어가 가능했다.

그림 15는 부스트 컨버터로 모터 제어하는 실험으로 $V_{throttle}$, V_{link} , I_d 와 V_{ds} 를 측정하였다. $V_{throttle}$ 은 실제

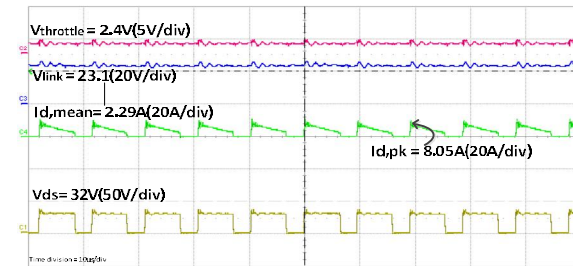


(a) Waveform of boost converter at low output voltage

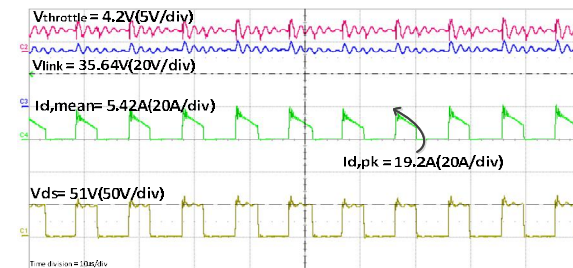


(b) Waveform of boost converter at high output voltage

Fig. 14. Key experimental waveform of 200W resistive load condition under variable throttle voltage condition.



(a) Waveform of boost converter at low output voltage



(b) Waveform of boost converter at high output voltage

Fig. 15. Key experimental waveform of 200W motor load condition under variable throttle voltage condition.

Throttle과 연동하여 실험하였다. 그림 15-(a)는 50W급 모터 제어 실험이다. $V_{throttle}$ 이 2.4V 일 때 V_{link} 는 23.1V, I_d 의 평균은 2.29A의 결과를 보인다. 전력은 52.9W로 저항 부하와 유사한 결과를 보였다. 그림 15-(b)는 200W급 모터 제어 실험이다. $V_{throttle}$ 이 4.2V로 V_{link} 는 35.64V I_d 의 평균은 5.42A로 전력은 약 193.2W

이다. 이는 200W 급 저항 부하 실험과 유사한 값을 보인다.

모의실험과 실험 결과파형을 통해 제안된 충전 기능 내장형 부스트 컨버터의 동작을 확인하였다. CCCV로 배터리 충전이 가능함을 확인하고 $V_{throttle}$ 전압의 변화에 따라서 모터 구동 시 가변 속도가 가능함을 보았다.

5. 결 론

본 논문은 E-bike 응용을 위한 충전 기능 내장형 부스트 컨버터를 제안하고, 200W급 시작품을 통하여 제안 회로의 타당성을 검증한다. 기존은 외장형 충전기를 휴대하기 위해서 구매가 필수적이라는 단점이 있다. 또한 모터 구동을 위해서 배터리 전압이 높아 셀의 수가 증가한다. 이는 기존 E-bike의 부피와 무게를 크게 하며 휴대하기가 불편하고 제품 단가 상승의 원인이 된다.

제안은 배터리 전압은 낮고 모터를 구동하는 전압은 크게 하는 승압형(boost) 컨버터를 통하여 배터리 셀의 직렬연결 개수를 감소시킨다. 모터의 속도 제어는 Throttle 회전을 통하여 가능하게 하였다. 또한 승압형(boost) 컨버터와 안전 규격에 맞는 충전 기능 회로(Flyback)을 통합시키면서 별도의 외장형 충전기를 불필요 하게 한다.

상기 결과를 바탕으로 기존의 모터 구동 성능과 큰 차이 없이 부피와 무게를 절감하는 것과 동시에 휴대성의 극대화를 가능하게 하며 원가 절감의 결과를 기대해 볼 수 있다. 따라서 친환경적이고 경제적인 개인용 이동수단 개발이 가능할 것이다.

이 논문은 2016년 국민대학교 교내 연구비 지원과 산업통상자원부의 자전거해양레저 장비 기술개발지원사업(과제번호:2014-1-005)과 글로벌 전문기술개발사업(과제번호:10052092)의 연구결과로 수행되었음

References

[1] J. Weinert, C. Ma, and C. Cherry, "The transition to electric bikes in china : history and key reasons for rapid growth," *Journal of Transportation*, Vol. 34, Issue 3, pp. 301-318, May 2007.

[2] T. C. Jeong, C. S. Jin, S. J. Kim, J. H. Han, and J. Lee "A study on high performance through improvement of PWM commutation method for E-bike BLDC motor," *The Korean Institute of Electrical Engineers*, pp. 71-73, Nov. 2012.

[3] Y. M. Lee, B. S. Kim, and C. W. Roh. "Boosting two-way about battery charge and discharge circuit,"

Power Electronics Annual Conference, pp. 423-424, Jul. 2014.

[4] C. C. Hua and M. Y. Lin. "A study of charging control of lead-acid battery for electric vehicles," *IEEE Trans. Industrial Electron*, Vol. 1, pp. 135-140, 2000.

[5] S. S. Park, J. H. Kim, and K. B. Lee, "Performance improve of transient state in CC-CV mode change for PV battery chargers," *Power Electronics Annual Conference*, pp. 206-207, Jul. 2013.

[6] C. Sreekumar and V. Agarwl. "A hybrid control algorithm for voltage regulation in DC-DC boost converter," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 55, No. 6, pp. 2530-2538, June 2008.

[7] J. M. Um, T. E. Kim, J. H. Kim, and B. K. Lee, "Modeling of variable DC link inverter for high efficient motor drives," *Power Electronics Annual Conference*, pp. 237-239, Oct. 2008.

[8] S. H. Lee, S. G. Kang, P. Awasthim J. G. Hwang, S. Y. Lee, H. B. Wi, and S. J. Park. "Variable output and parallel operation control of EV charger," *The Transactions of Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 18, No. 2, pp. 153-160, Apr. 2013.



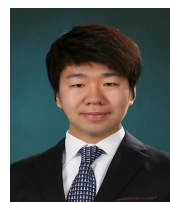
김다솜(金多歙)

1991년 11월 22일생. 2015년 국민대 전자정보통신대학 전자공학부 졸업. 2015년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정.



김상연(金相然)

1989년 6월 25일생. 2014년 국민대 전자정보통신대학 전자공학부 졸업. 2015년~현재 동 대학원 전자공학과 석사과정.



강경수(姜景琇)

1988년 9월 9일생. 2013년 국민대 전자정보통신대학 전자공학부 졸업. 2015년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2015년~현재 동 대학원 전자공학과 박사과정.



노정욱(盧政煜)

1971년 9월 10일생. 1993년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 2000년 동 대학원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 2000년~2004년 삼성전자(주) 영상 디스플레이 사업부 책임연구원. 2004년~현재 국민대 전자정보통신공학부 교수. 미래창조과학부 대학 IT 인력 양성 사업(ITRC) 에너지-ICT 융합 연구센터 센터장.