

구동 및 양방향 충전이 가능한 초소형 전기구동 장치의 인버터 토폴로지 연구

김 용 은* · 이 재 석 · 손 영 욱

한국자동차연구원 ICT융합연구센터

The Study of the Inverter Topology Capable of Bidirectional Charging and Driving

Yong Eun Kim* · Jae Seok Lee · Young Wook Son

ICT Convergence R&D Center, Smart Car Technology R&D Division, Korea Automotive Technology Institute,

303 Pungse-ro, Pungse-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungnam 31214, Korea

(Received 1 April 2020 / Revised 23 May 2020 / Accepted 27 May 2020)

Abstract : Small electric driving devices like electric bicycles, kickboards, segways, and wheelchairs are called “personal mobility devices(PMDs).” PMDs are widely used to address the problem of air pollution and to save energy. They are charged through a DC charger and uses a battery in the 12-72 V range. To reduce the volume and cost of the inverter and charger, research was conducted on an integrated inverter that could be charged. In this paper, a structure that allows bidirectional charging with an external power source using a six-switch arrangement of a drive inverter is proposed. To verify the function of the proposed topology, simulation was performed using Simulink, and the charging board was implemented to verify the charging function. After the analysis of the test results, it was confirmed that the proposed topology is capable of bidirectional charging.

Key words : Topology(토폴로지), Inverter(인버터), Bidirectional charging(양방향 충전), Micro EV(초소형 전기 구동장치), Integration(통합)

Nomenclature

A : ampere
V : voltage
W : watt

Subscripts

PHEV : plug-in hybrid electric vehicle
EV : electric vehicle
PWM : pulse width modulation
L : Inductance
C : capacitance
R : resistnace

1. 서 론

최근 퍼스널모빌리티가 다양한 모델로 개발되고 있으며 사용자가 증가하고 있다. 퍼스널모빌리티에서 사용하

는 배터리는 대부분 리튬이온 배터리를 사용하고 있으며 모터의 전력 시스템 전압에 맞추어 3.7 V 리튬이온 셀을 직병렬로 연결하여 배터리 팩을 제작한다.

대부분의 퍼스널모빌리티는 배터리에 직접 연결되는 와이어하네스를 통해 AC/DC 컨버터 즉 어댑터가 배터리를 직접 충전하는 방식을 사용하고 있다. 보통 어댑터는 가격/부피를 고려하여 설계되고 220 VAC 고전압을 저전압 DC로 변환시키므로 전력용량이 인버터에 비해 작은 편이고 수명도 인버터보다 더 길지 않다.

이러한 문제를 해결하고자 인버터를 이용하여 외부 소스로부터 배터리를 충전할 수 있는 방법들이 연구되었다.¹⁻⁴⁾

그러나 기존에 인버터를 이용하여 충전을 수행할 수 있는 기능이 탑재되었던 인버터는 외부 소스로부터 배터리를 충전하는 단방향 충전이 가능하였다. 그리고 단방향 승압 강압 충전이 가능한 경우는 인버터의 스위칭 소자의 어레이를 구조를 수정하여야 하였다.

*Corresponding author, E-mail: kimye@katech.re.kr

¹This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

본 논문에서는 외부 전원 소스에 및 배터리가 양방향 강압 승압 충전이 가능한 인버터의 토폴로지에 대해서 제안하였다.

2장에서는 구동 인버터의 일반적인 구조, 승압강압 컨버터 및 기존 방식의 충전이 가능한 인버터 토폴로지에 대해서 설명한다. 3장에서는 인버터의 형태를 유지하면서 구동 및 양방향 충전이 가능한 인버터 토폴로지에 대해서 제안한다. 4장에서는 제안된 토폴로지의 기능 검증을 위한 시뮬레이션 모델링 및 결과에 대해서 설명한다. 5장에서는 제안된 토폴로지를 구현하여 제안한 토폴로지를 시험한 결과에 분석하고 6장에서는 결론을 맺는다.

2. 구동 인버터, 승강압 컨버터 구조 및 기존의 충전이 가능한 인버터 구조

구동 인버터는 배터리의 DC 전압을 입력으로 받아 6개의 스위치를 통해 제어가 가능한 교류 전압으로 변환하여 모터를 구동시킨다. Fig. 1은 120도 위상제어를 위한 스위칭 구조와 스위칭 시퀀스를 보여주며 스위칭 구조는 상위와 하위 스위치가 하나의 상을 제어하는 토렘 폴 구조로서 보통 6개의 스위치가 사용된다.

S1~S6까지의 스위치가 모두 사용되며 필요에 따라 단순 6스텝 제어 백터 제어기법 등이 적용될 수 있다.

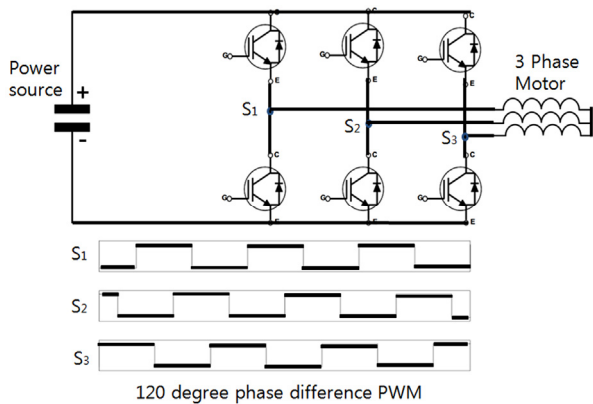


Fig. 1 Switch structure and 120 degree phase switching sequence of inverter

2.1 Step-up, Step-down 컨버터

강압 컨버터는 출력 전압을 입력전압보다 낮추는 기능을 하고 스위치, 인덕터, 커패시터, 다이오드로 구성되어 있다. Fig. 2는 강압 컨버터의 구성과 동작원리를 보여주며, 스위치가 ON되어 있을 때는 입력전압 High_side_SW → L(인덕터) → C(커패시터) → R(출력)으로 전류가 형성되며, OFF될 때는 L(인덕터) → C(커패시터) → R(출력) → D(다이오드)로 전류 패스가 형성되며 출력 전압을

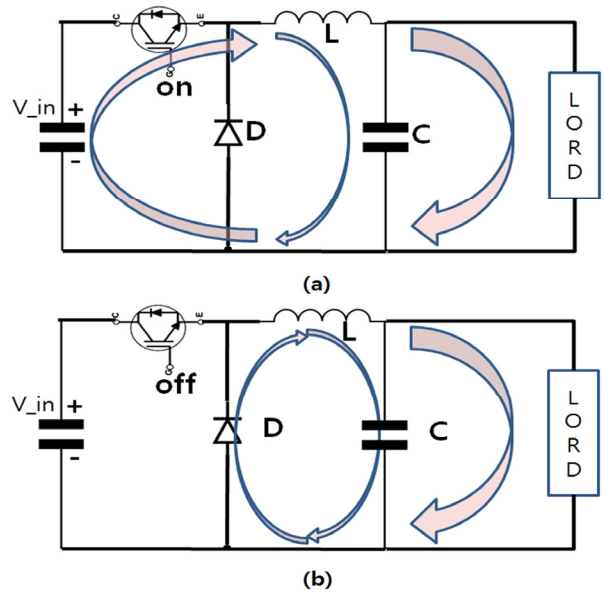


Fig. 2 The structure and operation principle of step-down converter: (a) Switch ON, (b) Switch OFF

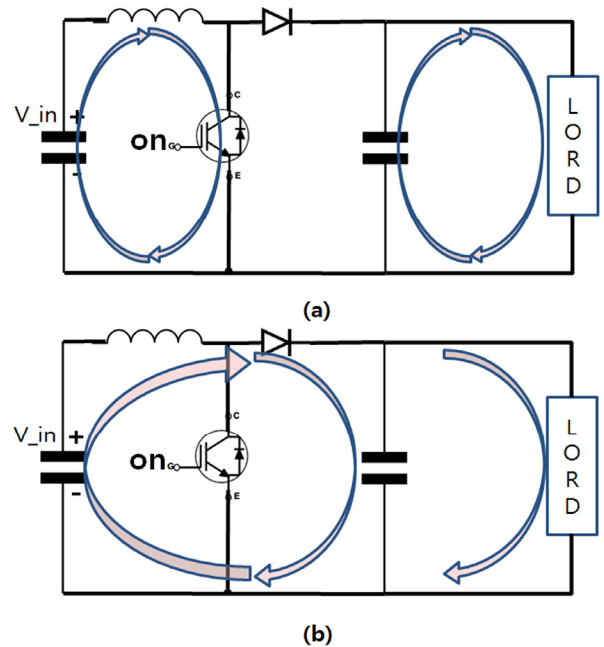


Fig. 3 The structure and operation principle of step-up converter: (a) Switch ON, (b) Switch OFF

입력전압보다 낮게 만들며 스위치로 인가되는 PWM 시퀀스 및 듀티 사이클에 따라 출력 전류량이 제어된다.⁵⁾

승압 컨버터는 입력전압보다 출력 전압을 높여주는 기능을 하며 강압 컨버터와 같이 스위치, 인덕터, 커패시터, 다이오드로 구성되어 있으나 강압컨버터와 배치가 다르다. Fig. 3은 승압 컨버터의 구성과 동작원리를 보여주며, 스위치가 ON되어 있을 때는 V_i (입력전압) → L(인

덕터) → Low_side SW → C(커패시터) → R(출력)으로 전류패스가 형성되며, 스위치가 OFF 될 때는 Vi(입력전압) → L(인덕터) → D(다이오드) → C(커패시터), R(출력)으로 전류패스가 형성되고 인덕터로 충전된 전압으로 인해 전압이 승압되는 구조를 가진다.

2.2 구동 및 충전이 가능한 기존의 단방향 인버터 토폴로지

김용은 등³⁾에서는 High_side_SW가 연결된 DC 링크단의 한상을 분리하여 승압 및 강압을 수행하는 단방향 충전이 가능한 인버터에 대해서 연구하였다. Fig. 4에서는 김용은 등³⁾에서 제안한 구동 및 충전이 가능한 인버터를 보여준다. Fig. 4(a)는 외부 전원 소스 전압이 배터리 전압보다 낮은 경우로 승압이 필요한 경우이고 전류 흐름은 외부소스① → 상단 WH 스위치(상시 ON)② → 모터 코일③ → 승압을 위한 하단 VL 스위치(PWM)④ → 다이오드⑤ → 출력⑥으로 일반적인 승압 컨버터 구조와 동일하다.

Fig. 4(b)는 외부 전원 소스 전압이 배터리 전압보다 높은 경우로 강압이 필요한 경우이고 전류 흐름은 외부소스① → 강압을 위한 상단 WH 스위치(PWM)② → 모터 코일③ → 상단 VH 스위치(상시 ON)④ → 출력⑤으로 강압 컨버터 구조와 동일하다.

3. 구동 및 양방향 충전이 가능한 제안된 인버터 토폴로지

2.2에서 설명한 기존의 충전전 통합 인버터의 경우 DC

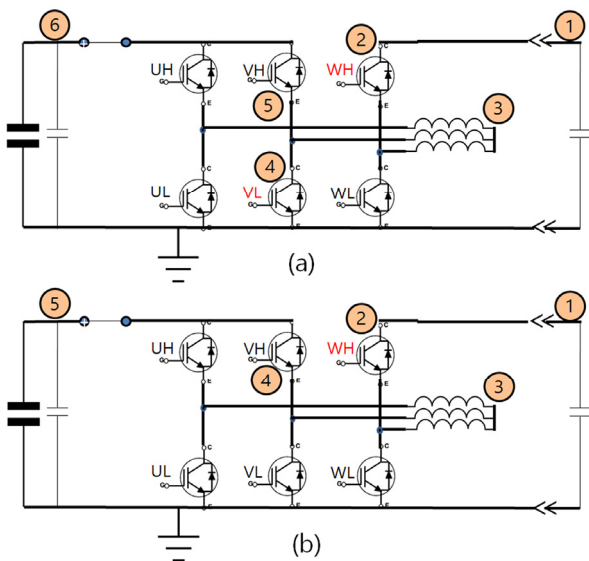


Fig. 4 Inverter topology that can be driven and charged in the paper³⁾: (a) Step-up charging (b) Step-down charging

링크단을 분리하여야 한다. 이로 인해 인버터의 6개의 스위치가 포함된 패키지 부품은 사용할 수 없으며 분리된 상을 구현하기 위해서 릴레이 또는 스위칭 소자를 이용하기 때문에 3상의 전압 불균형이 발생할 수 있다.

3.1 제안한 양방향 충전이 가능한 인버터의 구조

본 논문에서 제안한 양방향 통합형 인버터의 구조는 Fig. 5와 같다. Fig. 5에서 ①은 내부 배터리, ②는 배터리로부터 DC 링크단 또는 U상의 접점을 이동할 수 있는 릴레이, ③은 6개의 릴레이 스위치, ④는 모터, ⑤는 외부전원으로 부터 W상 또는 DC링크단을 접속할 수 있는 릴레이, ⑥은 외부전원소스를 나타낸다. 일반적으로 인버터에서 6개의 PWM 신호는 Micro controller에서 발생 시키며 각 채널은 독립적으로 구동될 수 있다. 인버터의 FET 또는 IGBT의 소자를 구동하기 위해서 Gate driver를 거쳐 12 V이상의 전압으로 증폭하여 인가하며 동작을 수행하며 각 상에 연결되어 있는 상위/하위 스위칭 소자에 적절히 ON/OFF를 수행하여 모터를 구동하거나 충전할 때 사용될 수 있다. Fig. 5에서 릴레이의 경우 Micro Controller에서 0/1 신호가 발생하면 이 신호를 FET에서 증폭시켜 릴레이의 코일에 전류가 흐를 수 있도록 하여 접점을 변경 시킬 수 있도록 만든다. 릴레이의 접점이 단순히 ON/OFF가 되는 방식이 있으면 릴레이 접점이 이동하는 방식(FORM C)이 존재하며 Fig. 5에서는 FORM C 릴레이 방식을 사용하여 접점이 이동할 수 있도록 한다.

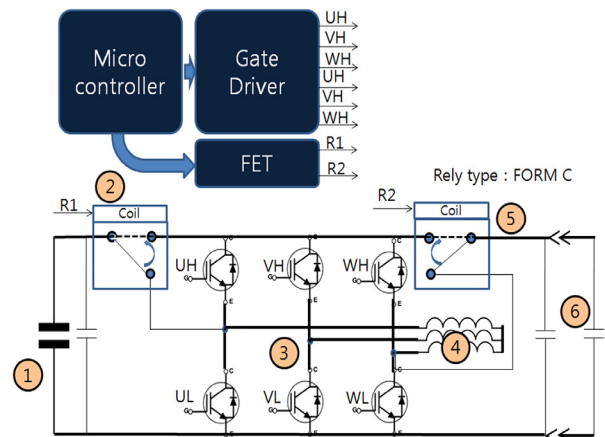


Fig. 5 The proposed inverter topology in this paper

3.2 외부소스를 이용하여 내부 배터리 승압 충전

먼저 외부 전원으로부터 배터리를 충전할 경우 외부 전원 소스 전압이 배터리보다 낮을 때 외부전원 소스를 승압시켜 배터리를 충전하여야 한다. 이 경우를 Fig. 6에서 보여준다.

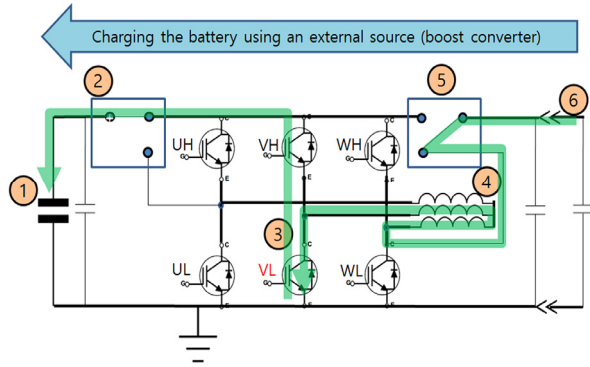


Fig. 6 The current flow chart when battery is charged by Ex. source (step-up)

Fig. 6에서 릴레이⑤는 외부소스와 W상이 만나도록 설정하며 릴레이②는 배터리와 DC링크가 만나도록 설정한다. 전류 흐름은 외부 소스⑥ → 모터코일④ → VL 스위치(PWM)③ → VH 기생 다이오드 → 배터리①로 전류 흐름이 형성되어 외부 소스에서 내부 배터리로 전류가 유입됨을 알 수 있다. 이 구조는 일반적인 승압 컨버터와 동일하다.

3.3 외부소스를 이용하여 내부 배터리 강압 충전

외부 전원으로부터 배터리를 충전할 경우 외부 전원 소스 전압이 배터리보다 높을 때 외부전원 소스를 강압시켜 배터리를 충전하여야 한다. 이 경우를 Fig. 7에서 보여준다.

Fig. 7에서 릴레이⑤는 외부소스와 DC-link가 만나도록 설정하며 릴레이②는 배터리와 모터의 U링크가 만나도록 설정한다. 전류 흐름은 외부 소스⑥ → VH 스위치(PWM)③ → 모터코일④ → 배터리①로 전류 흐름이 형성되어 외부 소스에서 내부 배터리로 전류가 유입됨을 알 수 있다. 이 구조는 일반적인 강압 컨버터와 유사하다.

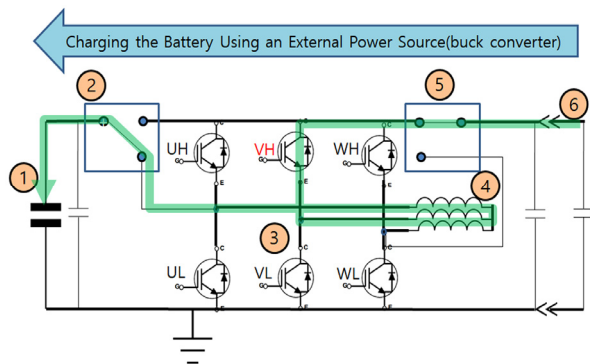


Fig. 7 The current flow chart when battery is charged by Ex. source (step-down)

3.4 배터리를 이용하여 외부 소스 승압 충전

배터리 전원으로부터 외부 소스를 충전할 경우 외부 전원 소스 전압이 배터리보다 높을 때 배터리 전원 소스를 승압시켜 외부소스를 충전하여야 한다. 이 경우를 Fig. 8에서 보여준다.

Fig. 8에서 릴레이⑤는 외부 소스와 DC-link가 만나도록 설정하며 릴레이②는 배터리와 모터의 U상이 만나도록 설정한다. 전류 흐름은 배터리① → VL 모터코일④ → VL 스위치(PWM)③ → 기생다이오드(VH) → 외부 소스⑥로 전류 흐름이 형성되어 배터리에서 외부소스로 전류가 유입됨을 알 수 있다. 이 구조는 일반적인 승압 컨버터와 유사하다.

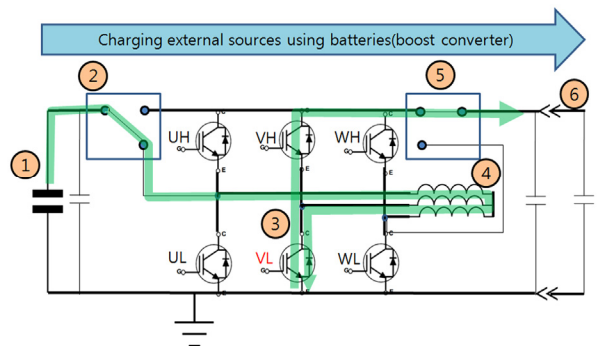


Fig. 8 The current flow chart when Ex. source is charged by battery (step-up)

3.5 배터리를 이용하여 외부 소스 강압 충전

배터리 전원으로부터 외부 소스를 충전할 경우 외부 전원 소스 전압이 배터리보다 낮을 때 배터리 전원 소스를 강압시켜 외부소스를 충전하여야 한다. 이 경우를 Fig. 9에서 보여준다.

Fig. 9에서 릴레이⑤는 외부 소스와 W상이 만나도록 설정하며 릴레이②는 배터리와 모터의 DC 링크가 만나도록 설정한다. 전류 흐름은 배터리① → VH 스위치

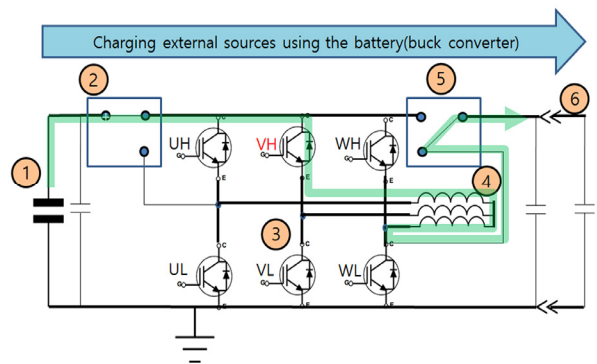


Fig. 9 The current flow chart when Ex. source is charged by battery (step-down)

(PWM)③ → VL 모터코일④ → 외부 소스⑥ 로 전류 흐름이 형성되어 배터리에서 외부소스로 전류가 유입됨을 알 수 있다. 이 구조는 일반적인 강압 컨버터와 동일하다. 이와 같이 제안된 구조를 이용하여 배터리와 외부소스의 전압 값에 따라 승압/강압 컨버터가 가능하며 양방향 충전이 가능하다.

4. 기능 검증을 위한 시뮬레이션

3장에서 제안한 토폴로지의 기능을 검증하기 위해 다음 그림과 같이 제안된 인버터 모델을 Simulink를 이용하여 설계하였다.⁶⁾

Fig. 10에서 사용한 모터, 배터리, 스위칭, 릴레이, 인덕터, 외부 충전소스의 파라미터 계수는 Table 1과 같다.

4.1 외부소스를 이용하여 내부 배터리 승압 충전

Fig. 6과 같이 외부 소스를 이용하여 배터리를 충전하는 경우 외부 소스의 전압(24 V)이 배터리 보다 낮을 때

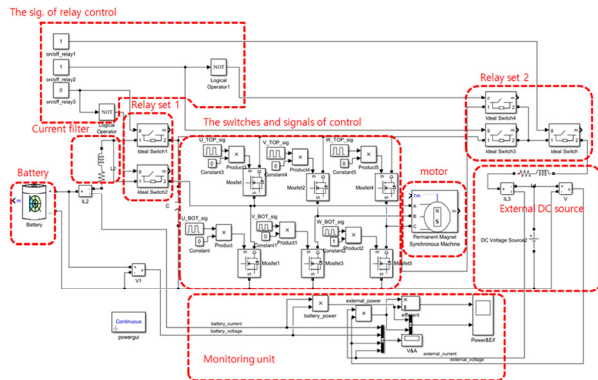


Fig. 10 Simulation diagram for verifying the proposed topology function

Table 1 The parameter of Component used in the figure

	Value	Parameter
Inductor	L3	15 uH
FET	Mosfet 0~5	Turn on Ron : 0.004 Snubber Rs : 100 k Internall diode R: 0.01
Battery	Battery	Lithium-Ion Nominal voltage : 36 V Rated capacity : 100 Ah Initial state-of-charge(%) : 50 Internal resistance : 0.0036
Motor	P.M.S. Machine	Stator phase resistance : 0.0485 Armature inductance : 395 uH Flux linkage : 0.1194
External voltage source	DC - voltage Source	If buck converting : 60 V If boost converting : 24 V

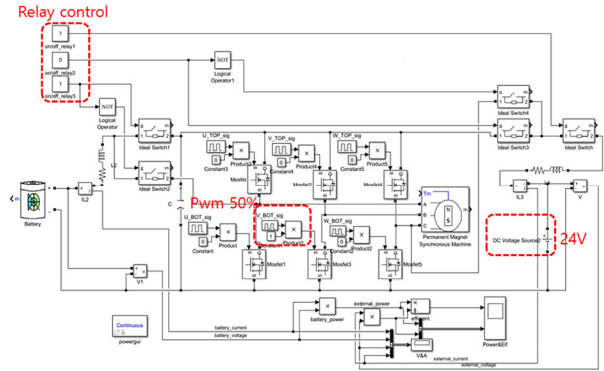


Fig. 11 Simulation diagram when battery is charged by Ex. source (step-up)

승압 기능을 수행하여야 하며 Fig. 11과 같이 V_BOT_sig 스위칭 소자에 PWM을 인가하여야 한다.

Relay Control 신호는 Fig. 6과 같은 구조로 설정하며 PWM은 20 khz 50 %를 인가하였다.

시뮬레이션 결과 Fig. 12와 같이 배터리 전압은 36, 외부 소스 전압은 24 V, 배터리 평균 충전 전류는 21.3 A, 외부 소스 평균 출력 전류는 42.58 A으로 관찰되었다.

전력량을 확인한 결과 외부 소스 출력 전력은 Fig. 13과 같이 1,022 W, 배터리 충전 전력은 872 W, 충전 효율은 약 81 %로 확인되었다.

시뮬레이션 결과 같이 외부 소스가 24 V일 때 제안된 토폴로지를 이용하여 승압을 통해 배터리를 충전이 가능함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

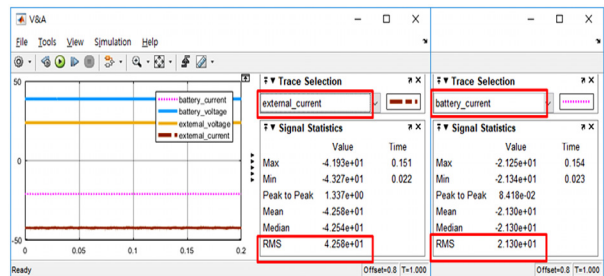


Fig. 12 The simulation result of Fig. 11 (Ex. and battery current)

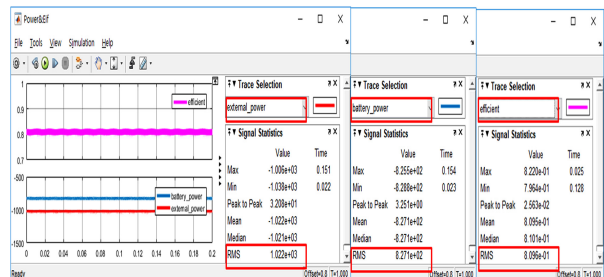


Fig. 13 The simulation result of Fig. 11 (Ex. and battery power and efficient)

4.2 외부소스를 이용하여 내부 배터리 강압 충전

Fig. 7과 같이 외부 소스를 이용하여 배터리를 충전하는 경우 외부 소스의 전압(50 V)이 배터리 보다 높을 때 강압 기능을 수행 하여야하며 Fig. 14와 같이 V_BOT_sig 스위칭 소자에 PWM을 인가하여야 한다.

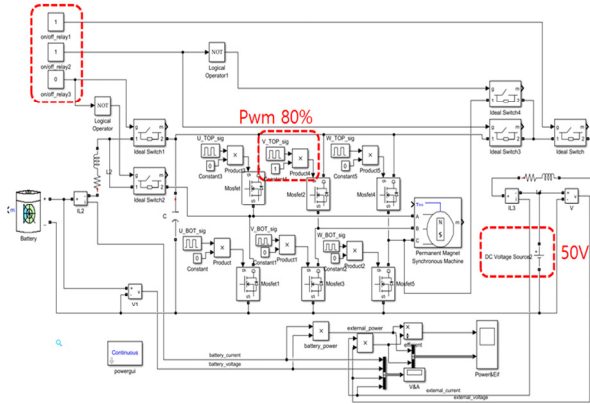


Fig. 14 Simulation diagram When battery is charged by Ex. source (step-down)

Relay Control 신호는 Fig. 7과 같은 구조로 설정하며 PWM은 20 khz 80 %를 인가하였다.

시뮬레이션 결과 Fig. 15와 같이 배터리 전압은 36 V, 외부 소스 전압은 24 V, 배터리 평균 충전 전류는 56.63 A, 외부 소스 평균 출력 전류는 51.12 A으로 관찰되었다.

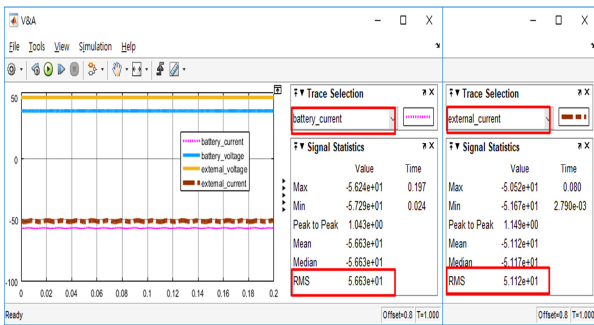


Fig. 15 The simulation result of Fig. 14 (Ex. and battery current)

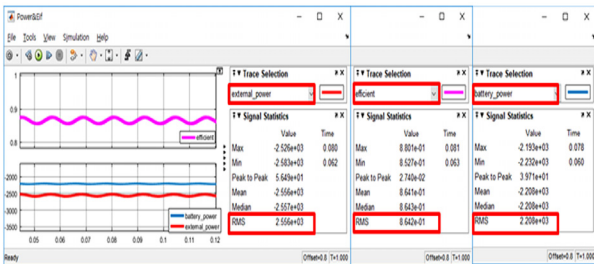


Fig. 16 The simulation result of Fig 14 (Ex. and battery power and efficient)

전력량을 확인한 결과 외부 소스 출력 전력은 Fig. 16과 같이 2,556 W, 배터리 충전 전력은 2,208 W, 충전 효율은 약 86.42 %로 확인되었다.

시뮬레이션 결과 같이 외부 소스가 50 V일 때 제안된 토폴로지를 이용하여 강압을 통해 배터리를 충전이 가능함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

4.3 내부 배터리를 이용하여 외부 전압 소스를 승압하여 충전할 때

Fig. 8과 같이 배터리를 이용하여 외부 소스를 충전하는 경우 외부 소스의 전압(50 V)이 배터리 보다 높을 때, 배터리 전압을 승압하여 외부 소스를 충전하여야 하며 Fig. 17과 같이 V_BOT_sig 스위칭 소자에 PWM을 인가하여야 한다. Relay Control 신호는 Fig. 8과 같도록 설정하며 PWM은 20 khz 30 %를 인가하였다.

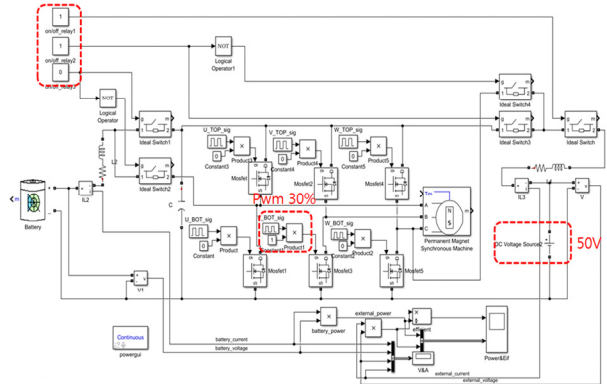


Fig. 17 Simulation diagram When Ex. source is charged by battery (step-up)

시뮬레이션 결과 Fig. 18와 같이 배터리 전압은 36 V, 외부 소스 전압은 50 V, 배터리 평균 충전 전류는 33.21 A, 외부 소스 평균 출력 전류는 23.22 A으로 관찰되었다.

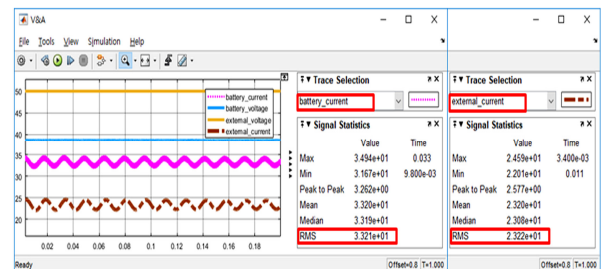


Fig. 18 The simulation result of Fig. 17 (Ex. and battery current)

전력량을 확인한 결과 외부 소스 출력 전력은 Fig. 19와 같이 1,162 W, 배터리 충전 전력은 1,283 W, 충전 효율은 약 90.52 %로 확인되었다.

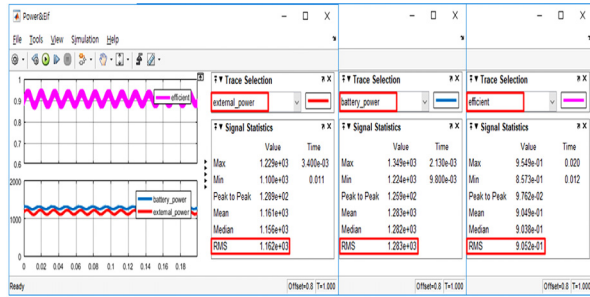


Fig. 19 The simulation result of Fig. 17 (Ex. and battery power and efficient)

4.4 내부 배터리를 이용하여 외부 전압 소스를 강압하여 충전할 때

Fig. 9와 같이 배터리를 이용하여 외부 소스를 충전하는 경우 외부 소스의 전압(24 V)이 배터리 보다 낮을 때, 배터리 전압을 강압하여 외부 소스를 충전 하여야 하며 이 경우 Fig. 20과 같이 V_TOP_sig 스위칭 소자에 PWM을 인가하여야 한다.

Relay Control 신호는 Fig. 9와 같도록 설정하며 PWM은 20 khz 70 %를 인가하였다.

시뮬레이션 결과 Fig. 21과 같이 배터리 전압은 36 V, 외부 소스 전압은 24 V, 배터리 평균 충전 전류는 20.11 A,

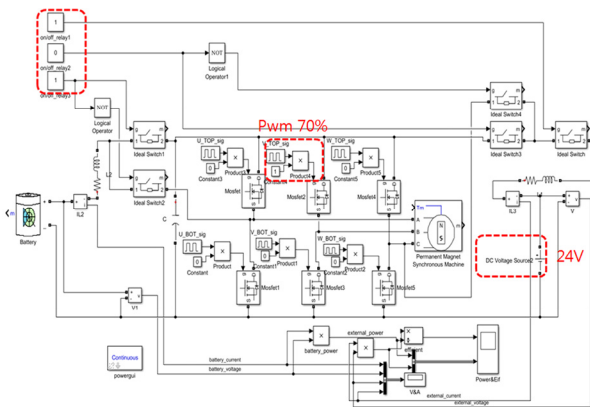


Fig. 20 Simulation diagram when Ex. source is charged by battery (step-down)

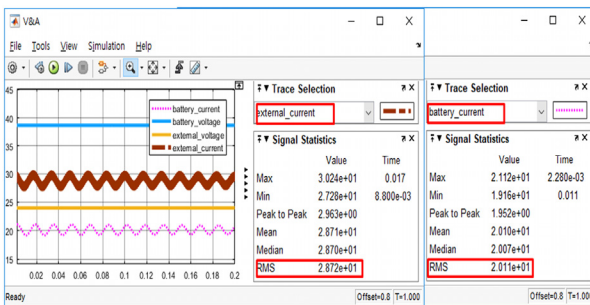


Fig. 21 The simulation result of Fig. 20 (Ex. and battery current)

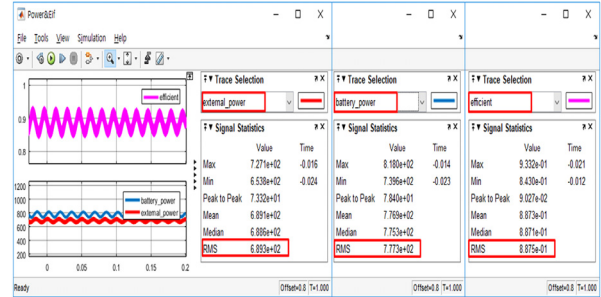


Fig. 22 The simulation result of Fig. 20 (Ex. and battery power and efficient)

외부 소스 평균 출력 전류는 28.72 A으로 관찰되었다.

전력량을 확인한 결과 외부 소스 출력 전력은 Fig. 19과 같이 689.3 W, 배터리 충전 전력은 777.3 W, 충전 효율은 약 88.75 %로 확인되었다.

5. 실제 스위치 소자를 활용한 시험 결과

제한한 토폴로지의 기능을 검증하기 위해서 Fig. 23과 같이 시험을 위한 장치 구성 블록을 구성하였다.

Fig. 23의 개념도와 같이 대표 소자를 이용하여 시험 보드를 구현하였다. 사용된 릴레이는 2-way 릴레이로서 본론 II에서 사용한 그림과 동일한 기능을 할 수 있으며, 스위칭소자는 IGCM20F60 GAXKMA1를 이용하였으며 3상 모터제어가 가능한 6개의 스위치가 내장되어 있다.

시험에 사용된 모듈 및 소자는 Table 2에 나타나 있으며 스위칭 보드의 경우 Fig. 5에서 제안된 토폴로지 수행이 가능하도록 회로를 설계하여 제작하였으며 Table 2의 Switch & relay board의 그림에서 보여준다.

Test를 위해 Table 2에서 보여준 모듈/소자를 이용하여 구성된 토폴로지 시험 장치는 Fig. 24와 같고 내부 배터리는 3.7 리튬이온 전지를 3개 직렬로 연결하여 사용하였고 외부 소스의 경우 3.7 리튬이온 건전지를 2개 직렬로 구성하여 외부 소스 전압이 높을 때 또는 낮을 때를 모사하였다.

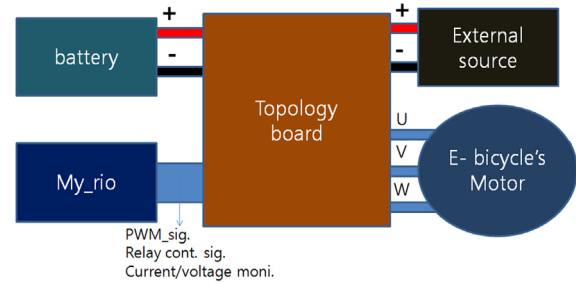


Fig. 23 The block diagram for testing

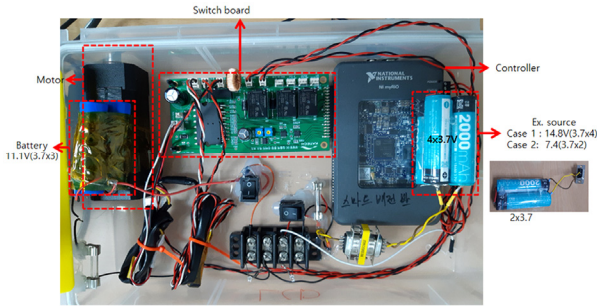

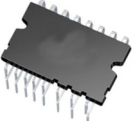



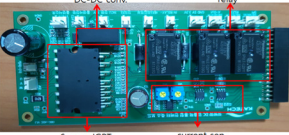


Fig. 24 Implemented test board

Table 2 The Component used for testing

Component	Spec.
Inverter controller (myRio-1900)	 <p>Processor speed :667 MHz Nonvolatile memory :512 MB DDR3 memory:..256 MB DDR3 clock frequency:533 MHz FPGA type:Xilinx Z-7010</p>
Switching element (IGCM20F60GAXKMA1)	 <p>Turn on Ron : 50 Vces : 400 V Ic: 15 A</p>
Battery [LB200] Coms 18650	 <p>Li-ion 2000 mAh 3.7 voltage</p>
Motor OZBM42-100D2-R	 <p>Voltage : 24 V Power : 100 W Max Load : 28 N</p>
Relay JS1-12V-F	 <p>COIL COM N.O. N.C.</p>
Switch & relay board	

스위칭 보드는 다음과 같이 인버터 제어기와 연결되어 토폴로지 수행을 할 수 있도록 제작되었으며 Fig. 24의 시험을 위한 토폴로지 시험 장치에서 Controller는 NI사의 My-rio 1900 모듈을 사용하였고 해당 모듈은 내부 FPGA 및 DSP가 내장되어 있어 3상 모터 회전 또는 특정

스위치에 PWM을 인가할 수 있는 기능을 수행할 수 있다. Labview 프로그램은 Fig. 25와 같이 5가지 모드에 대해서 선택할 수 있도록 SW를 설계하였으며 토폴로지 선택에 따라 릴레이의 상태 및 PWM이 인가되는 위치가 표시되도록 하고, PWM 듀티사이클은 0~0.95까지 인디케이터로 입력할 수 있도록 하였다.

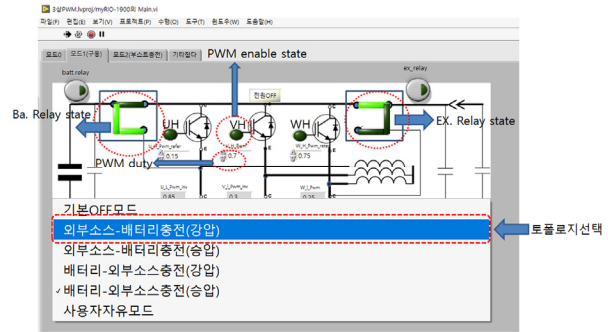


Fig. 25 The control SW

전류, 전압 및 전력 측정을 정확하게 수행하기 위해 오실로스코프를 이용하여 다음과 같이 시험환경을 구성하여 신호를 수집하였으며 수집된 신호는 IMC Famos 분석툴을 이용하여 신호 분석을 수행하였다.

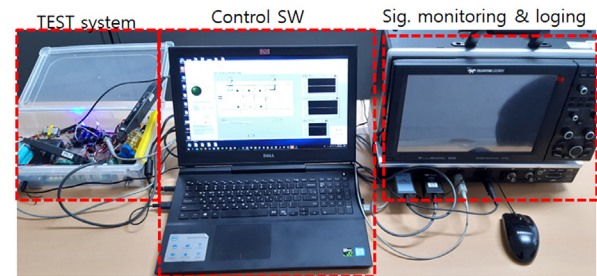


Fig. 26 Test environment

Fig. 27은 배터리를 강압하여 외부소스를 충전하도록 SW를 조작한 상황이며 PWM은 VH의 게이트에 입력되며 듀티사이클 및 주파수는 70 %, 10 kHz이며 릴레이는 배터리측에서는 DC 링크로 외부 소스는 U상에 연결되도록 설정되었다.

오실로스코프로부터 배터리 및 외부소스 전압 및 전류 신호를 수집 받아 분석 프로그램을 사용한 결과 Fig. 28과 같이 외부소스 전압 및 충전 전류는 8.05 V, 1.209 A로 확인되었으며 배터리 전압 및 방전 전류는 10.8 V, 1.18 A로 확인되어 약 75 %의 충전 효율이 계산되었다.

Fig. 29는 배터리를 승압하여 외부소스를 충전하도록 SW를 조작한 상황이며 PWM은 VL의 게이트에 입력되며 PWM 듀티 사이클 및 주파수는 50 %, 10 kHz이며 릴

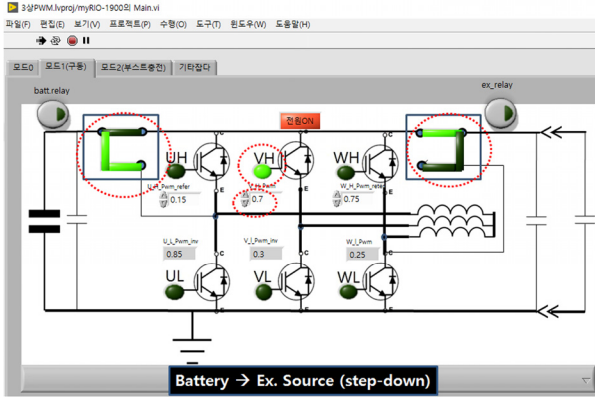


Fig. 27 SW setting when Ex. source is charged by battery (step-down)

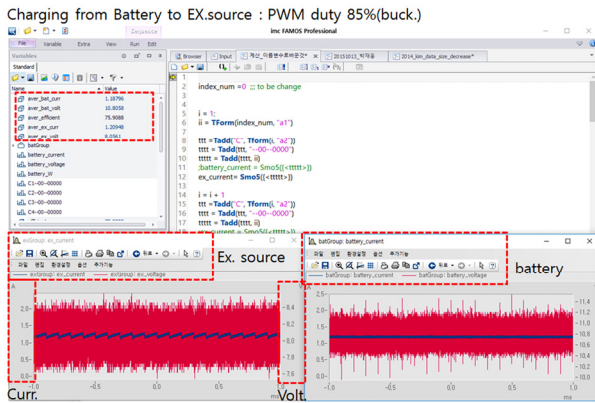


Fig. 28 Data analysis results when Ex. source is charged by battery (step-down)

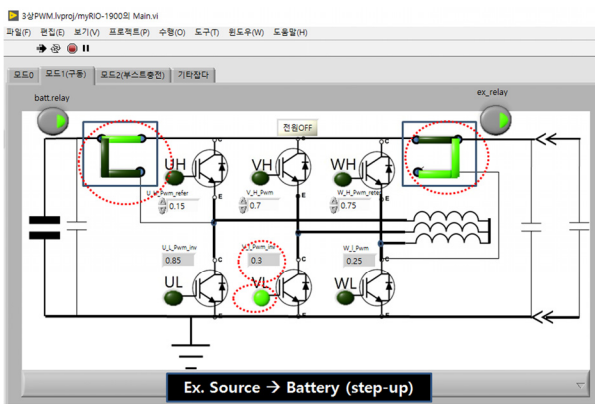


Fig. 29 SW setting when Ex. source is charged by battery (step-up)

레이는 외부에서는 DC 링크로 배터리측에서는 U상에 연결되도록 설정되었다.

오실로스코프로부터 배터리 및 외부소스 전압 및 전류 신호를 수집 받아 분석 프로그램을 사용한 결과 Fig. 30과 같이 외부소스 전압 및 충전 전류는 16.29 V, 0.71 A로 확인되었으며 배터리 전압 및 방전 전류는 10.6 V, 1.49 A로 확인되어 약 73%의 충전 효율이 계산되었다.

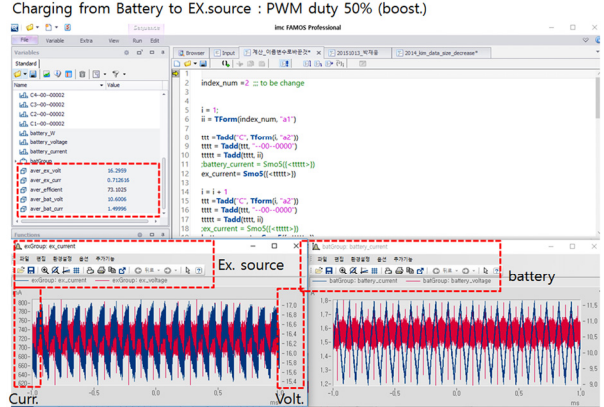


Fig. 30 Data analysis results when Ex. source is charged by battery (step-up)

Fig. 31은 외부소스를 강압하여 배터리를 충전하도록 SW를 조작한 상황이며 PWM은 VH의 게이트에 입력되며 듀티사이클 및 주파수는 85%, 10 kHz이며 릴레이는 외부 소스에서는 DC 링크로 배터리측에서는 U상에 연결되도록 설정되었다.

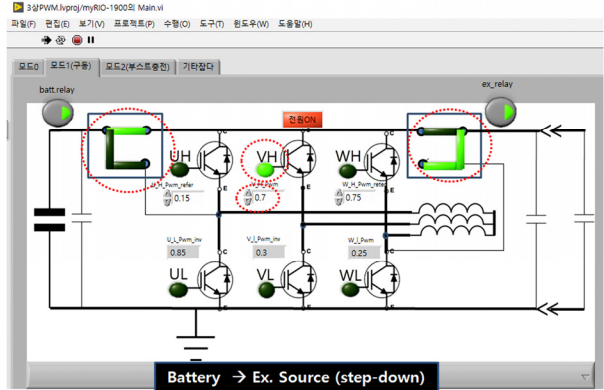


Fig. 31 SW setting when battery is charged by Ex. source (step-down)

오실로스코프로부터 배터리 및 외부소스 전압 및 전류 신호를 수집 받아 분석 프로그램을 사용한 결과 Fig. 32와 같이 외부소스 전압 및 방전 전류는 15.47 V, 0.39 A로 확인되었으며 배터리 전압 및 충전 전류는 11.79 V, 0.38 A로 확인되어 약 74%의 충전 효율이 계산되었다.

Fig. 33은 외부소스를 승압하여 배터리를 충전하도록 SW를 조작한 상황이며 PWM은 VL의 게이트에 입력되며 듀티사이클 및 주파수는 50%, 10 kHz이며 릴레이는 배터리측에서는 DC 링크로 외부 소스에서는 U상에 연결되도록 설정되었다.

오실로스코프로부터 배터리 및 외부소스 전압 및 전류 신호를 수집 받아 분석 프로그램을 사용한 결과 Fig. 34와 같이 외부소스 전압 및 방전 전류는 7.18 V, 0.57 A

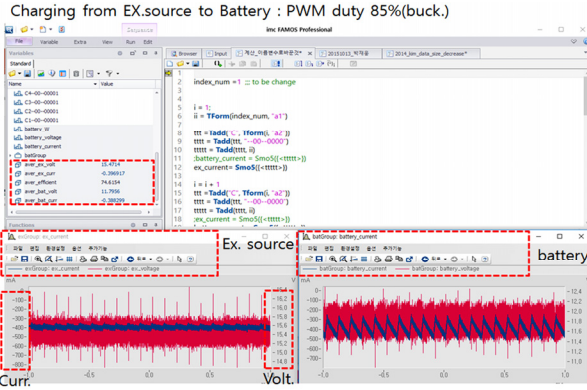


Fig. 32 Data analysis results when battery is charged by Ex. source (step-down)

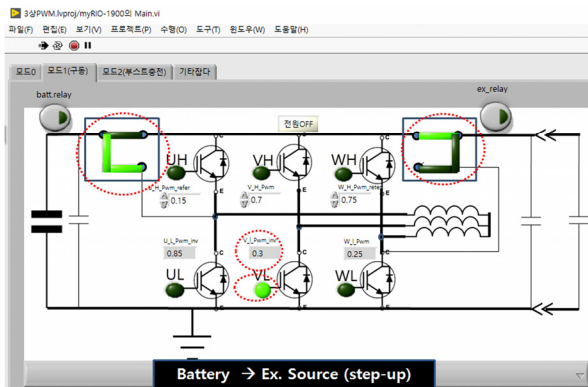


Fig. 33 SW setting when battery is charged by Ex. source (step-up)

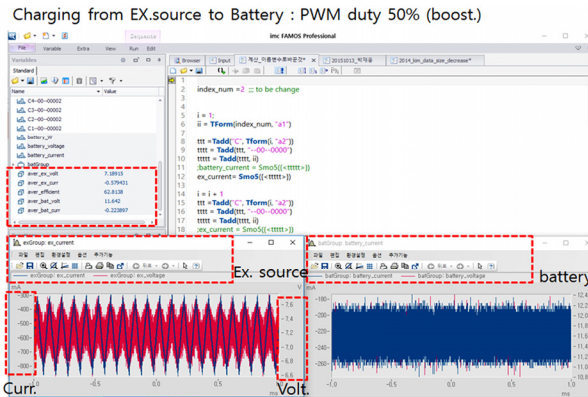


Fig. 34 Data analysis results when battery is charged by Ex. source (step-up)

로 확인되었으며 배터리 전압 및 충전 전류는 11.62 V, 0.22 A로 확인되어 약 62%의 충전 효율이 계산되었다.

본 실험을 통해 제안한 토폴로지가 이론과 동일하게 양방향 충전이 가능함을 보였다. 충전 효율이 좋지 않게 계산된 이유는 워낙 작은 배터리를 사용하고 고전압 패키지형태의 IGBT의 턴온저항이 50Ω임을 고려할 때 소모전력에 의해 효율이 좋지 않았던 것으로 사료된다.

6. 결론

본 연구에서는 인버터의 기존 6개의 스위치 배열 구조를 유지하면서 외부 소스와 양방향 충전이 가능한 구조에 대해서 연구하였다. 양방향 충전이 가능하도록 2 접점이 가능한 릴레이가 배터리 측과 DC링크 측에 장착하여 승압 및 강압이 가능하도록 토폴로지 변경이 가능하도록 구성하였다. 제안한 구조를 이용하여 양방향 강압/승압 충전이 가능한 이론을 설명하고, Matlab 시뮬레이션 모델을 제작하여 이론 검증을 수행하였다. 실제 토폴로지가 양방향 충전이 가능한지 테스트 보드 및 단품 소자를 이용하여 테스트 환경을 구축하였고 파형을 분석한 결과 양방향 충전이 가능함을 확인하였다.

제안된 토폴로지 변경 방식을 퍼스널모빌리티에 적용하면 작은 사이즈의 인버터에 스마트 그리드를 구현할 수 있는 충전 기능이 탑재되리라 기대한다. 추후 벡터 제어 및 충전 시퀀스 제어를 적용하여 제안하는 인버터 구조와 기존의 인버터 및 충전기의 성능 차이를 비교할 것이며 실제 퍼스널모빌리티 시스템에 본 토폴로지를 적용을 위한 연구를 진행할 예정이다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(20172010105270).

References

- 1) D. -H. Kim, D. -G. Woo and B. -K. Lee, "Buck-Type Charging Method for Loss Reduction of Multi-Function Inverter," The Transaction of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol.60, No.8, pp.1523-1528, 2011.
- 2) D. -G. Woo, G. -Y. Choe, J. -S. Kim, B. -K. Lee and G. -B. Kang, "Comparison of Battery Charging Strategies for PHEVs using Propulsion Motor Inductance and Multi-Function Inverter," The Transaction of the Korean Institute of Power Electronics, Vol.16, No.4, pp.326-333, 2011.
- 3) Y. E. Kim, J. S. Lee, Y. W. Son and J. H. Cho, "Study of Topology Capable of Driving and Charging for Micro EV's Inverter," Transactions of KSAE, Vol.28, No.3, pp.211-217, 2020.
- 4) S. Loudot, "EV Embedded Fast Charger," Auto Journal, KSAE, Vol.38, No.2, pp.12-19, 2016.
- 5) J. -W. Lim, H. -J. Kim and J. -S. Choi, "Research on a 2.5kW 8-Phase Bi-directional Converter for Mild

- Hybrid Electric Vehicles,” Transactions of KSAE, Vol.25, No.1, pp.82-91, 2017.
- 6) C. C. Choi, K. T. Bae and W. T. Lee, “Development

of Average Inverter Model for Analysis of Automotive Electric Drive System,” Transactions of KSAE, Vol.18, No.6, pp.23-30, 2010.