

150W급 휴대용 연료전지 Power Pack 설계 및 제작

우동균¹, 주동명¹, 김윤성¹, 오재기², 이병국[†]

Design and Implementation of 150W Portable Fuel Cell Power Pack

Dong-Gyun Woo¹, Dong-Myoung Joo¹, Yun-Sung Kim¹, Jae-Gi Oh², and Byoung-Kuk Lee[†]

Abstract - Existing energy sources convert chemical energy into mechanical energy, while fuel cell directly generates electricity through an electrochemical reaction between hydrogen and oxygen. Therefore, it has a lot of strong points such as high efficiency, zero emission, and etc. In addition, with the development of hydrogen preservation technique, some companies have been researching and releasing portable fuel cell power packs for specific applications like military equipment, automobile, and so on. However, there are some drawbacks to the fuel cell, high cost and slow dynamic response. In order to compensate these weak points, auxiliary energy storages could be applied to the fuel cell system. In this paper, the optimum structure for a 150W portable fuel cell power pack with a battery pack is selected considering the specification of the system, and the design process of main parts is described in detail. Here, main objectives are compact size, simple control, high efficiency, and low cost. Then, an automatic mode change algorithm, which converts the operating mode depending on the states of fuel cell stack, battery pack, and load, is introduced. Finally, performance of the designed prototype using the automatic mode change control is verified through experiments.

Keywords: polymer electrolyte membrane fuel cell (PEMFC), lithium iron phosphate battery, hybrid system design, automatic mode change control

1. 서 론

연료전지는 기존 에너지원들과 달리, 수소와 산소의 전기화학 반응을 통해 화학에너지를 전기에너지로 직접 변환시키므로 최대 80% 이상의 높은 에너지 변환 효율을 획득할 수 있다. 또한 적은 소음, 적은 오염물질 배출, 안정적인 출력 등의 장점을 가지고 있다. 1960년대 이후, 연료전지의 발전과 함께 군사용, 분산형 전원 등에 적용되어 왔고, 1990년대에 고분자 전해질 연료전지(Polymer Electrolyte Membrane Fuel Cell : PEMFC)가 개발되면서 가정용, 자동차용, 이동용 전원으로도 이용되기 시작했다. 최근에는 수소저장 기술이 발달하면서, 휴대용 연료전지

파워팩에 대한 연구가 활발히 진행 중이다.

연료전지는 일반적으로 높은 가격과 느린 동특성이라는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해, 배터리 또는 울트라커패시터와 같은 에너지 저장 장치를 연료전지 시스템에 적용하는 하이브리드 시스템에 대한 연구가 진행되어 왔다^{[1]-[7]}. 휴대용 연료전지 파워팩에 적용 가능한 저전력 연료전지-배터리 하이브리드 시스템의 경우, 연료전지 스택과 능동 필터를 DC-link 커패시터단에 병렬로 연결하는 간단한 구조가 제안되었다^[3]. 하지만 이러한 구조에서는 배터리 충전 상태(State Of Charge : SOC)를 제어할 수 없고, DC-link단의 동특성이 연료전지의 영향을 직접적으로 받게 된다. 소형, 경량화를 위해 PIC 마이크로컨트롤러를 활용하여, 동기식 벽 컨버터로 구성된 연료전지-배터리 하이브리드 시스템을 디지털 제어하는 방식도 소개되었다^[4]. 이때, 출력전압이 배터리전압에 종속되므로 배터리전압을 요구되는 출력전압으로 계속해서 유지시켜줘야 하고, 고용량 배터리가 요구되므로 전체 시스템의 비용이 증가하게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 150W급 휴대용 연료전지 파워팩 사양

Paper number: TKPE-2012-17-6-12 ISSN: 1229-2214

[†] Corresponding author: bklee@skku.edu, College of Information and Communication Eng., Sungkyunkwan Univ. Tel: +82-31-299-4581 Fax: +82-31-299-4612

¹ College of Information and Communication Eng., Sungkyunkwan Univ.

² Chairman, Osuntech Co., Ltd.

Manuscript received Sep. 28, 2012; accepted Nov. 5, 2012

— 본 논문은 2012년 전력전자학술대회 우수추천논문임

— 본 논문은 2012년 전력전자학술대회 외부장학금 수혜논문임

Table 1 System parameters of the portable FC power pack

Parameters	Value [Unit]
Rated Output Power	150 [W]
Output Voltage	12 (+/-5%) [V]
Operating Temperature	0~60 [°C]
Cooling	Forced air cooling

에 적합한 연료전지-배터리 하이브리드 시스템 구조를 선정하고, 소형, 저가 및 제어 단순화를 달성하기 위한 최적의 DC-DC 컨버터 토폴로지를 적용한다. 또한 연료전지, 배터리 및 부하의 상태를 고려하여 파워팩의 운전 모드를 구분하고, 각 모드별로 정전압, 정전류, 또는 전력 제어를 통해 부하를 만족시켜주면서 배터리 SOC와 연료전지 스택의 상태도 안정적으로 유지할 수 있는 제어 알고리즘을 고안한다. 마지막으로 제작된 150W급 휴대용 연료전지 파워팩 시제품 세트를 활용하여, 제안된 알고리즘 및 시스템 성능을 검증한다.

2. 시스템 구조

연료전지 시스템에서는, 연료전지의 느린 동특성을 보상하기 위해 주로 배터리가 보조 에너지원으로 사용된다. 표 1의 사양을 만족시켜주는 최적의 시스템 구조를 선정하기 위해 다양한 연료전지-배터리 하이브리드 시스템 구조들을 비교분석해보자.

그림 1에서, 구조 1은 배터리팩이 부하에 직접 연결되는 구조로써, 부하가 갑자기 변해도 출력전압이 거의 흔들리지 않는 장점을 가지고 있다^{[4],[7]}. 반면에 배터리전압의 크기에 따라 연료전지가 소스로 동작할 수도 있고, 배터리가 소스 역할을 할 수도 있으므로, 배터리 용량과 방전 전력이 커져야하는 단점을 가진다. 이에 따라 시스템 비용이 증가하게 된다. 또한 정전압 (Constant Voltage : CV) 출력 사양을 만족시켜주기 위해 단방향 컨버터를 항상 CV 모드로 제어해주어야 하므로, 배터리팩의 사용 범위가 좁아지게 된다.

구조 2에서는 배터리팩이 에너지 버퍼 역할을 하고, 단방향 컨버터를 이용하여 출력전압 제어가 가능하다^[7]. 하지만, 연료전지 스택의 전압이 배터리전압보다 큰 경우에만 배터리가 충전되므로 배터리팩의 SOC를 제어하기 어렵고, 연료전지 스택과 배터리팩의 선정이 까다롭다.

구조 3은 출력전압과 배터리 SOC를 제어하기 위해 두 개의 단방향 컨버터를 활용한다^[5]. 두 개의 단방향 컨버터들 사이에 배터리팩을 위치시킴으로써, 두 컨버터들이 서로 영향을 미치지 못하게끔 분리시켜준다. 따라서 시스템 제어를 굉장히 단순화시킬 수 있다. 그렇지만, 구조 1과 구조 2에 비해 사용되는 전력반도체 및 수

동소자의 수가 증가되고, 구조 2와 마찬가지로 고전압 배터리팩이 적용되어야 한다. 또한 배터리팩의 충·방전이 급격하게 발생됨에 따라, 배터리 수명이 단축되게 된다.

구조 4는 연료전지 스택과 양방향 컨버터를 DC-link 커패시터와 병렬로 연결한다^[3]. 연료전지 스택과 부하 사이에 컨버터가 존재하지 않기 때문에 손실을 최소화할 수 있지만, 출력전압을 일정하게 유지하기가 굉장히 어렵다. 우선, 연료전지 스택의 출력 특성을 고려하여 요구되는 출력전압을 얻기 위한 연료전지 스택의 출력 전력 값을 확인한다. 그리고 계산한 부하 전력값으로부터 확인된 연료전지 스택의 출력 전력 값을 빼주어 양방향 컨버터의 전력지령치를 생성해준다. 이 값을 이

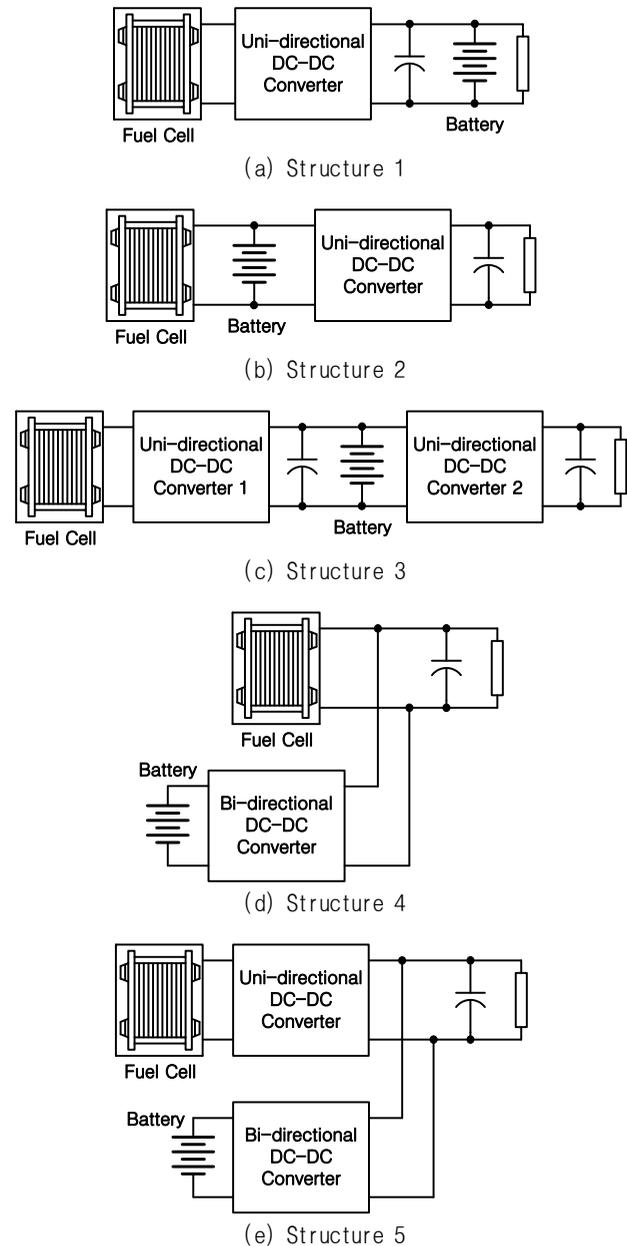


Fig. 1 FC-battery hybrid system structures

용하여 양방향 컨버터를 전력 제어해주면 원하는 출력 전압을 획득할 수 있지만, 현실적으로 연료전지 스택의 특성곡선이 연료전지의 상태나 주변 환경에 의해 변하므로 제어 알고리즘이 복잡해지게 된다. 또한 연료전지 스택이 가변 부하와 배터리팩 충전을 동시에 만족시켜 주기가 어려운 단점도 존재한다.

구조 5의 경우, 연료전지 스택은 단방향 컨버터를 통해, 배터리팩은 양방향 컨버터를 통해 각각 DC-link 커패시터에 연결해준다^{[5]-[7]}. 이 구조에서는 연료전지 스택과 배터리팩이 각각 또는 함께 부하를 담당할 수 있으므로 제어의 유연성이 확보되고, 다른 구조들에 비해 낮은 전력 정격을 갖는 연료전지 스택과 배터리팩의 선정이 가능하다. 그리고 배터리 SOC 제어를 통해, 배터리팩의 사용 범위도 넓게 가져갈 수 있으므로, 배터리 충·방전을 안정적으로 동작시킬 수 있다.

이러한 다섯 가지의 연료전지-배터리 하이브리드 시스템 구조들 중, 표 1의 사양을 만족시켜줄 수 있는 구조 3과 구조 5를 좀 더 자세히 살펴보자. 구조 3은 구조 5에 비해 고전압 배터리팩이 요구되는 반면, 전력반도체 및 구동 회로가 적게 사용된다. 그리고 두 구조 모두 두 개의 컨버터로 구성되므로 높은 가격이 요구된다. 시스템 제어에 있어서는 구조 5가 구조 3보다 복잡하지만, 배터리 충·방전 제어를 통해 배터리 수명을 연장시킬 수 있고, 연료전지 스택의 안정적인 운전도 확보할 수 있는 장점을 가진다. 그리고 동일한 연료전지 스택과 배터리팩을 적용한다고 가정했을 때, 구조 5가 구조 3보다 공급 가능한 최대부하의 크기가 크므로 연료전지 스택과 배터리팩의 유연한 선정이 가능하다. 또한 주 에너지원인 연료전지 스택으로부터 부하로 에너지를 전달하는 가장 기본적이고 빈번하게 발생하는 운전모드에서 구조 5가 더 높은 효율을 획득할 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 기본적으로 출력전압 제어가 가능하면서, 연료전지 스택 보호, 배터리 관리, 공급 가능한 최대 부하의 크기, 효율 등의 측면에서 우수한 성능을 보여주는 구조 5를 채택한다. 특히, 구조 5의 장점인 제어의 유연성이 연료전지-배터리 하이브리드 시스템의 효율적인 운영을 위해 반드시 요구되는 특징이다.

3. 휴대용 연료전지 파워팩 설계 및 제작

본 장에서는 그림 1의 구조 5를 기반으로 하여 개발된 150W급 휴대용 연료전지 파워팩의 상세한 설계 과정 및 제작에 대해 기술한다.

3.1 연료전지 스택

연료전지는 종류에 따라 전해질, 연료, 동작 온도, 출력 밀도 등에 있어서 각기 다른 특성을 가지고 있다. 다양한 연료전지들 중, PEMFC는 상대적으로 낮은 온도

Table 2 Specification of the PEMFC stack

Parameters	Value [Unit]
Rated Power	200 [W]
Output Voltage	26~46 [V]
Reactants	Hydrogen & Air
External Temperature	5~30 [°C]
Max Stack Temperature	65 [°C]
H ₂ Pressure	0.45~0.55 [bar]
Humidification	Self-humidified
Cooling	Air (integrated cooling fan)
Dimension	215mm × 112mm × 95mm

(25~80°C)에서 동작이 가능하고 높은 전류 밀도를 유지할 수 있으므로, 기동 시간이 짧고 시스템 경량화 및 소형화에 적합하다. PEMFC 단위 셀의 발전 효율은 대개 40% 이상이며, 비용 또한 다른 종류의 연료전지들에 비해 저렴하다. 즉, PEMFC가 휴대용 전원에 가장 적합한 연료전지라고 볼 수 있다.

우선 150W의 시스템 정격을 만족시켜주어야 하고, 휴대용 목적에 맞게 자가 가습형 연료전지 스택으로 선정하여야 한다. 본 논문에서는 이러한 조건들을 만족시키는 연료전지 스택들 중, 표 2의 사양을 가지는 PEMFC 스택을 선정하였다. 그림 2는 선정된 PEMFC 스택의 출력 특성 곡선이다. 이를 통해, 연료전지의 최대 출력이 200W로 제한된다는 것을 알 수 있고, 주변 환경이나 사용 시간에 따라 가능한 출력 범위가 더 낮아질 수도 있다는 점을 예상할 수 있다. 또한 고출력 구간에서는 수소 사용량도 많아지므로, 연료전지의 출력을 효율적으로 제어하여 휴대용 연료전지 파워팩의 동작 시간을 최대한 연장시켜줄 필요가 있다.

3.2 배터리팩

연료전지의 느린 동특성을 보상하고 고출력 구간동안 연료전지의 출력 부담을 덜어주기 위해, 휴대용 연료전지 파워팩 시스템에 배터리가 추가된다. 리튬이온 배터리, 리튬폴리머 배터리, 리튬인산철 배터리 등이 휴대용 연료전지 파워팩에 적용 가능하며, 이들 중 가격, 정격 전압, 충·방전 특성, 자가방전율, 온도 특성, 안전성 등을 고려하여 저가화, 소형화 및 제어 단순화에 가장 부합하는 배터리를 선택하여야 한다.

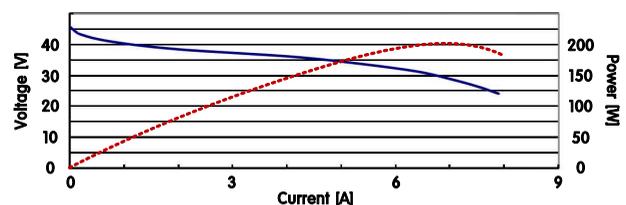


Fig. 2 V-I and P-I characteristic curves of the PEMFC stack (— : V-I curve, ... : P-I curve)

Table 3 Specification of the lithium iron phosphate battery pack

Parameters	Value [Unit]
Number of Cells	3
Single Cell Voltage	3.3 [V]
Rated Voltage	9.9 [V]
Capacity	19.6 [Ah]
Operating Temperature	-30~55 [°C]
Dimension	227mm × 160mm × 21.75mm

리튬인산철 배터리의 경우, 단위 셀 당 정격 전압이 3.3V이고 동작전압 범위가 2.8~3.8V이므로, 세 개의 셀들을 직렬 연결하여 구성하면 배터리팩의 전압이 시스템 출력전압인 12V 이하로 유지된다. 따라서 양방향 컨버터의 설계를 단순화시킬 수 있다. 다른 배터리들에 비해 자가방전율이 월 3% 미만으로 가장 낮고, 수명이 리튬이온 배터리보다 약 4배, 리튬폴리머 배터리보다 약 6배 정도 길다. 그리고 매장량이 풍부한 철을 주원료로 사용하여 가격이 저렴하고, 급속 충·방전 시 전압강하가 완만하여 안정적인 출력이 가능하다. 안전성 측면에서 살펴보면, 과충전과 과방전의 허용치가 우수하고, 내고 온성이 뛰어나며, 폭발 위험성이 없다는 장점을 가진다. 이러한 특징들에 근거하여, 휴대용 연료전지 파워팩용 보조에너지원으로 리튬인산철 배터리를 적용하였다.

배터리팩 선정 시, 배터리 용량 (C_B)은 가장 중요한 요소들 중 하나이다. 시스템 초기 기동 시, 약 30초 정도의 시간이 지나야 PEMFC가 정상출력을 내보내기 시작한다. 이 구간 동안, 배터리가 부하를 담당해야 하며, 배터리의 손상을 막기 위해 배터리 전류는 $0.7C_B$ 이내로 제한해주어야 한다^[6]. 이 조건을 만족시켜주기 위한 C_B 값을 구해보면 아래와 같다.

$$C_B = \frac{P_o}{0.7 \times \eta_B \times V_{batt(\min)}} \quad (1)$$

P_o 는 부하전력을 의미하는데, 배터리팩은 보조 에너지원이므로 전부하까지 감당하도록 설계하는 것은 비합리적이며 구조 5의 장점을 반감시키는 결과를 낳게 된다. 그러므로 배터리팩에서는 최대 80W까지만 부하로 전력을 전달해준다고 가정한다. η_B 는 양방향 컨버터의 효율 (90%)이고, $V_{batt(\min)}$ 은 배터리팩의 최소 동작전압을 의미한다. 리튬인산철 배터리 단위 셀의 최소 동작전압 크기가 2.8V이므로, 세 개의 셀들을 직렬 연결하는 경우 배터리팩의 최소 동작전압 값은 8.4V가 된다. 위의 수치들을 식 (1)에 대입하면 C_B 는 15.1Ah로 계산된다.

여기에 시스템 제어보드, 전력변환용 컨버터, 연료전지 스택용 FAN에 공급되는 보조전원들도 배터리팩에서 공급해주어야 하므로, 이를 고려하여 19.6Ah의 배터리용량을 가지는 리튬인산철 배터리를 선정하였다. 배터리팩의 사양은 표 3과 같다.

3.3 단방향 컨버터

구조 5에서 단방향 컨버터는 기본적으로 넓은 범위 (26~46V)의 입력전압을 일정한 출력전압 (12V)으로 변환해주어야 하고, 필요에 따라 연료전지 스택의 출력 전압도 제어해 줄 수 있어야 한다. 벡 컨버터는 이러한 조건들을 만족시켜줄 수 있을 뿐만 아니라, 두 개의 전력용 반도체 소자와 하나의 인덕터만으로 구성되기 때문에 시스템의 소형·저가화에 도움을 줄 수 있다.

전력용 반도체 소자인 MOSFET과 다이오드의 전압 정격은 인가되는 역전압의 최대값 (입력전압)과 부유인덕턴스에 의한 스파이크성 전압의 합에, 추가로 마진을 고려하여 100V급으로 선정하였다. 전류정격의 경우에는, 각각의 소자에 흐르는 전류 실효치의 최대값, 시스템 동작 온도 조건, 방열시스템 조건 등을 종합적으로 고려하여, 30A급 이상으로 선정하였다. 특히, 반도체 소자의 접합부 온도가 125°C를 초과하지 않도록 제품을 선정해주는 것이 중요하다. MOSFET은 손실 저감을 위해 스위칭 턴 온 손실 (E_{on})과 턴 오프 손실 (E_{off})이 작고 온 저항 ($R_{ds(on)}$)이 낮은 제품으로 선정하였고, 다이오드는 순방향 전압 강하가 낮고 역회복 속도가 빠른 쇼트키 다이오드 제품으로 선정하였다. MOSFET의 스위칭 주파수는 스위칭 손실, 수동소자의 크기, 리플 크기 등을 고려하여 150kHz로 설정하였다. 인덕터는 연료전지 스택의 최대출력인 200W 구간에서 연속전류모드 동작 시, 인덕터 전류의 리플을 1A로 제한하였을 때의 전기적 인덕턴스 값인 45.7μH를 기준으로 제작하였다.

3.4 양방향 컨버터

구조 5에서 양방향 컨버터는 배터리 방전 시 승압 동작을, 배터리 충전 시 강압 동작을 수행하여야 하고, 배터리 SOC를 안전 동작 영역 내에서 제어할 수 있어야 한다. 단방향 컨버터에서와 마찬가지로, 적은 수의 능동 소자 및 수동 소자로 구성이 가능하면서 위의 조건들을 만족시켜 줄 수 있는 컨버터 토폴로지로서, 양방향 벡/부스트 컨버터를 채택하였다.

두 MOSFET은 전압정격이 30V급이고, 전류정격이 40A급 이상인 소자들 중에서 방열, 손실 등을 고려하여 적합한 제품으로 선정하였다. 스위칭 주파수는 단방향 컨버터와 동일하게 150kHz로 설정하였고, 인덕터는 배터리팩이 부하 측으로 80W의 전력을 전달할 때 인덕터 전류 리플을 0.7A로 제한하는 전기적 인덕턴스 값인 13.9μH를 기준으로 제작하였다.

3.5 기타 설계 및 하드웨어 구현

이상의 설계 과정을 통해 개발된 150W급 휴대용 연료전지 파워팩의 구성은 그림 3과 같다. 벽 컨버터의 스위칭 시 입력전류의 불연속 구간이 주기적으로 발생하게 되므로, 연료전지 스택을 보호하기 위해 PEMFC 스택과 벽 컨버터 사이에 L_0 와 C_0 를 이용하여 LC 필터를 구성하였다. 이때, LC 필터의 차단주파수는 스위칭주파수의 1/10배로 설정하였다. 또한 시스템의 과도상태동안 연료전지 스택으로 역전류가 흘러들어가지 않도록, 입력단에 역류 방지용 다이오드 (D_0)를 추가하였다. 최종적으로 구현된 하드웨어는 그림 4를 통해 확인할 수 있다.

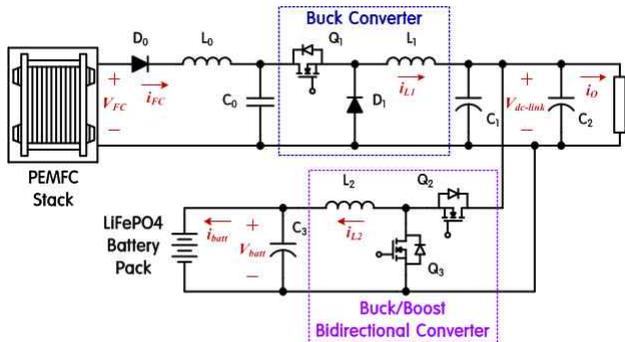
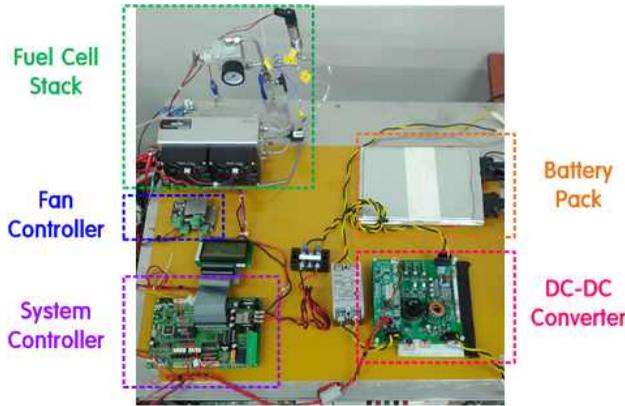


Fig. 3 System configuration of the designed 150W portable FC power pack



(a) Experimental setup



(b) Hardware system

Fig. 4 Implemented hardware of the designed 150W portable FC power pack

그림 4(a)는 시스템 성능 검증을 위한 실험 세트이고, 그림 4(b)는 조립 완료 후의 완성품 사진이다. 전체 시스템은 크게 연료전지 스택, FAN 제어기, 중앙제어기, DC-DC 컨버터, 배터리팩으로 구성된다. DC-DC 컨버터용 제어기는 TI사의 TMS320F28035를 사용하여 구성하였다.

4. 시스템 제어 알고리즘

4.1 운전모드별 제어기 구성

설계된 연료전지 파워팩 시스템은 그림 5와 같이 다섯 가지 운전모드로 동작이 가능하다. 운전모드에 따라 컨버터별로 사용하는 제어기의 종류를 적절히 선택해줘야 한다. 그림 6(a)는 단방향 컨버터용 제어블록도이고, 그림 6(b)는 양방향 컨버터용 제어블록도이다. 표 4는 각 운전모드의 정상상태 구간동안 적용되는 제어기의 종류를 보여준다. CV는 정전압 제어, CC는 정전류

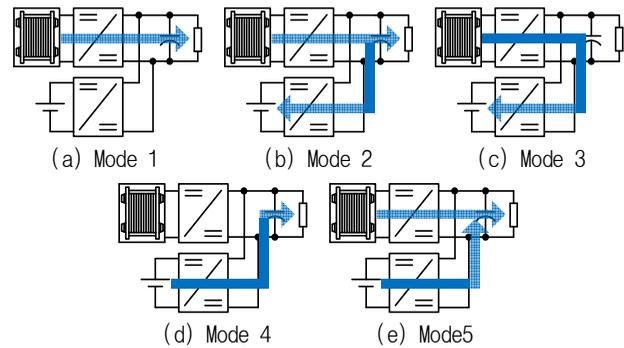
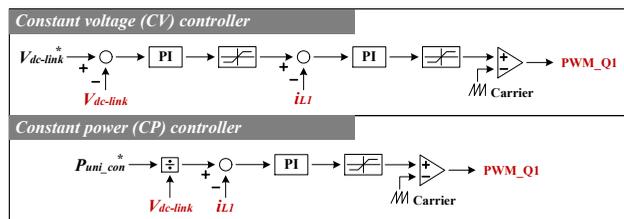
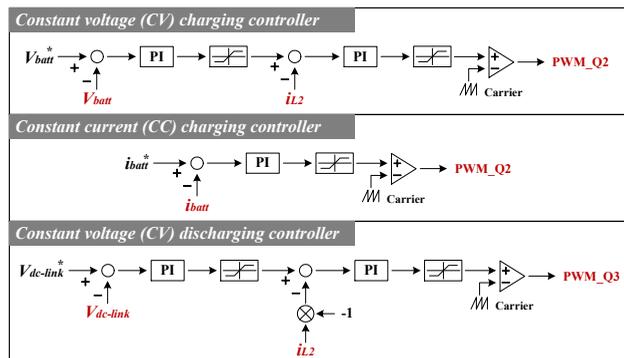


Fig. 5 Operating modes



(a) Controllers for uni-directional converter



(b) Controllers for bi-directional converter

Fig. 6 Control block diagrams

- **그림 8(b)** : 모드 5로 운전 중, 그림 7의 조건에 따라 모드 1로의 전환이 결정되면, 매 스위칭 주기마다 단방향 컨버터용 CP 제어기의 전력지령치를 일정한 값 (k)만큼 증가시켜줌으로써, 연료전지에서 발전되는 전력을 선형적으로 증가시킨다. 이때, 상수 k 에 따라 증가되는 속도가 조절된다. 전력지령치가 현재 부하의 크기와 같아질 때까지 전력지령치는 계속 증가되며, 이후 모드 1의 정상상태로 들어가게 된다.

5. 실험 결과

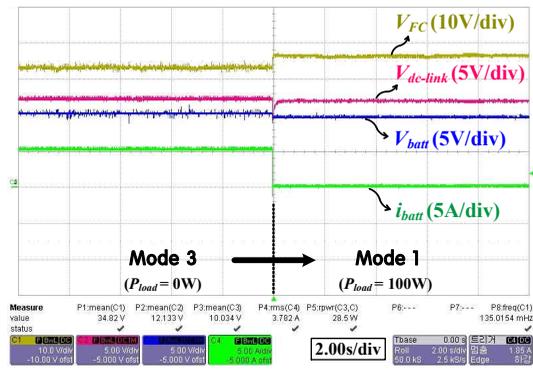
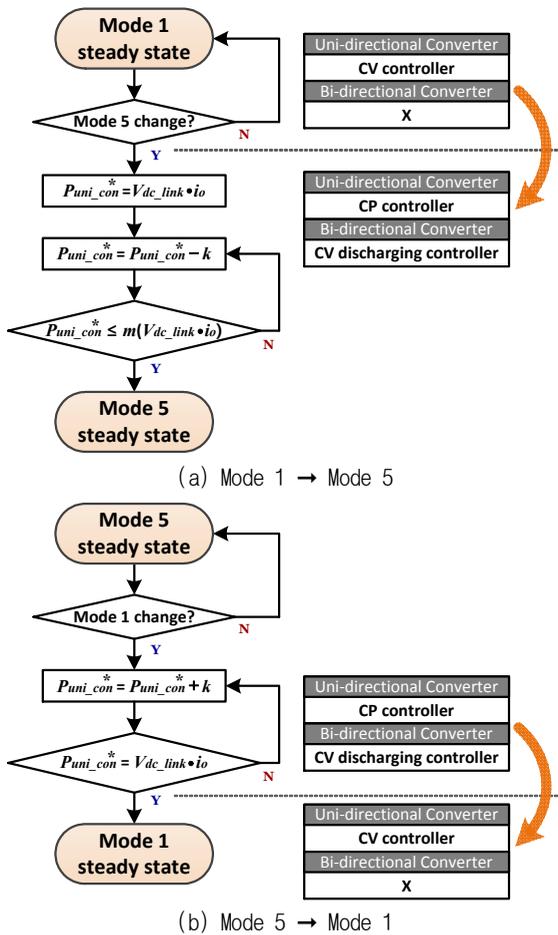
개발된 150W급 휴대용 연료전지 파워팩의 성능을 200W급 전자부하를 활용하여 검증하였다. 효율 측정은 YOKOGAWA社의 전력분석기 WT3000을 사용하였다.

그림 9는 연료전지 스택, 배터리팩, 부하 상태의 변화에 의해 자동으로 모드가 변경될 때의 실험파형들을 보여준다. 각 실험 파형에 대한 설명은 아래와 같다.

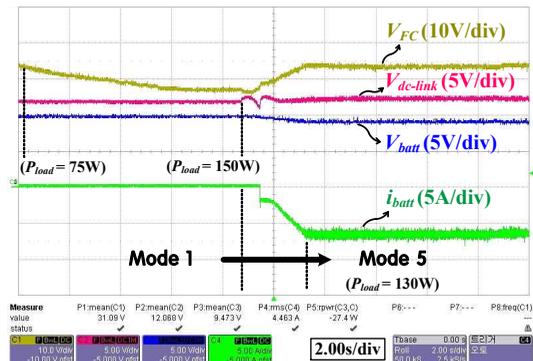
- **그림 9(a)** : 무부하 조건에서 배터리팩을 5A로 CC 충전하던 중, 부하가 연결되어 모드 1로 변경되었다.
- **그림 9(b)** : 모드 1에서 부하가 75W로부터 서서히 증가하여 150W에 도달하는 순간, 그림 8(a)의 제어

알고리즘에 따라 단방향 컨버터의 전력제어가 시작된다. 전력제어가 시작될 때 계산된 전력지령치의 초기 값이 실제 부하보다 큰 구간이 짧게 발생하여 DC-link 전압이 약 0.5V 상승하였다가 감소되고 있다. 그리고 양방향 컨버터의 전압제어기가 감소되는 DC-link 전압을 12V로 유지시켜주면서 배터리팩이 방전되기 시작한다. 과도상태 동안 부하가 감소되어 모드 5에서는 130W로 부하가 고정되어 있다.

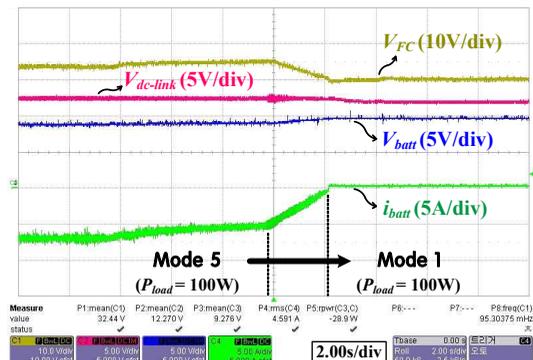
- **그림 9(c)** : 설정해준 모드 5의 유지 시간 이후, 그림 8(b)의 제어 알고리즘에 의해 다시 모드 1로 변경되고 있다.
- **그림 9(d)** : 50W 부하의 모드 1 상태에서 배터리팩 전압이 L_limit 이하로 떨어짐과 동시에 모드 2로 변경되고 있다. 이때 모드 2에서 배터리팩은 5A로 CC 충전되고 있다.



(a) Mode 3 → Mode 1

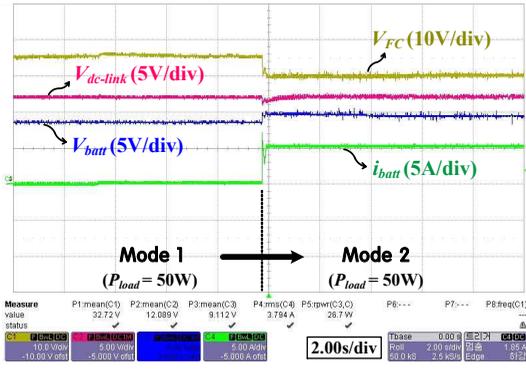


(b) Mode 1 → Mode 5

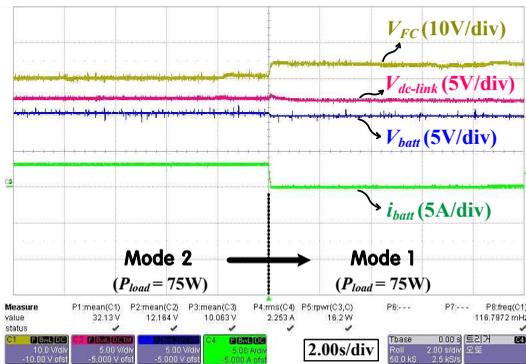


(c) Mode 5 → Mode 1

Fig. 8 Control algorithm for FC stack protection in transient state



(d) Mode 1 → Mode 2



(e) Mode 2 → Mode 1

Fig. 9 Experimental waveforms

- 그림 9(e) : 모드 2 상태에서 배터리팩 전압이 H_limit 이상으로 증가함과 동시에 모드 1로 변경되고 있다. 모드 1에서의 부하는 75W이다.

부하변동에 따라 입력전압 (연료전지 스택 출력전압)의 크기가 넓은 범위 내에서 변화함에도 불구하고, 시스템 사양에서와 같이 출력전압이 12V로 제어되고 있다. 또한 모드 변경 시에도, DC-link 전압이 12V로 제어됨과 동시에 연료전지 스택의 출력전력 제어도 잘 이루어지고 있는 것을 확인할 수 있다. 그림 10은 파워팩 시스템의 운전 중 가장 많은 비중을 차지하는 모드 1에서의 부하별 효율 그래프이다. 주 동작 영역인 정격부하의 30~70% 구간에서 시스템 효율이 90% 이상이고, 92.8%의 최대효율을 획득하였다.

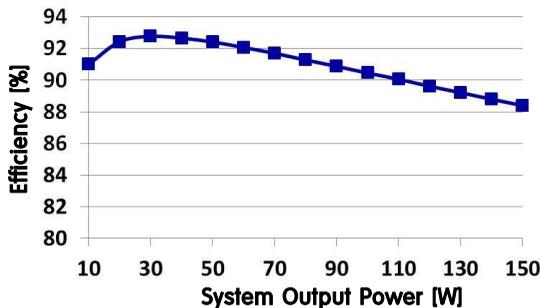


Fig. 10 Measured efficiency of the power pack

6. 결론

본 논문은 150W급 휴대용 연료전지 파워팩의 설계 및 제작에 대하여 기술하였다. 시스템 사양에 적합한 연료전지-배터리 하이브리드 구조를 선정한 뒤, 소형화 및 저가화를 고려하여 시스템 주요부를 설계하였다. 또한 연료전지 스택, 배터리팩, 부하의 상태에 따라 자동으로 운전모드를 변경해주는 알고리즘을 고안하여, 제작된 시스템에 적용하였다. 실험을 통해, 조건의 변화에 따른 운전모드 전환 및 출력전압 제어 성능을 확인하였고, 92.8%의 최대 효율을 확인하였다. 향후 동기 정류 방식을 적용하여 효율 성능 개선을 수행할 예정이다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.
(No. 20113010030020-12-2-200)

참고 문헌

- [1] J. Wang, F. Z. Peng, J. Anderson, A. Joseph, and R. Buffenbarger, "Low cost fuel cell converter system for residential power generation," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 19, No. 5, pp. 1315 - 1322, Sep. 2004.
- [2] L. Solero, A. Lidozzi, and J. A. Pomilio, "Design of multiple-input power converter to hybrid vehicles," *IEEE Trans. Power Electron.*, Vol. 20, No. 5, pp. 1007 - 1016, Sep. 2005.
- [3] D. Franzoni, E. Santi, A. Monti, F. Ponci, D. Patterson, and N. Barry, "An active filter for fuel cell applications," in Proc. 36th Annu. *IEEE Power Electron. Spec. Conf.*, pp. 1607 - 1613, Jun. 2005.
- [4] Z. Jiang and R. A. Dougal, "A compact digitally controlled fuel cell/battery hybrid power source," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 53, No. 4, pp. 1094 - 1104, Jun. 2006.
- [5] A. Khaligh, A. M. Rahimi, Y.-J. Lee, J. Cao, A. Emadi, S. D. Andrews, C. Robinson, and C. Finnerty, "Digital control of an isolated active hybrid fuel cell/Li-ion battery power supply," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, Vol. 56, No. 6, pp. 3709 - 3721, Nov. 2007.
- [6] K. Jin, X. Ruan, M. Yang, and M. Xu, "A hybrid fuel cell power system," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 56, No. 4, pp. 1212 - 1222, Apr. 2009.
- [7] W. Jiang and B. Fahimi, "Active current sharing and source management in fuel cell-battery hybrid power system," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, Vol. 57, No. 2, pp. 752 - 761, Feb. 2010.



우동균(禹東均)

1984년 7월 29일생. 2009년 성균관대 전자전기공학과 졸업. 2012년 동 대학원 전자전기컴퓨터공학과 졸업(석사). 2012년~현재 동 대학원 전자전기컴퓨터공학과 박사과정.



주동명(朱東明)

1988년 10월 9일생. 2011년 성균관대 전자전기공학과 졸업. 2011년~현재 동 대학원 전자전기컴퓨터공학과 석사과정.



김윤성(金潤成)

1975년 10월 4일생. 2002년 청주대 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2010년~현재 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학과 박사과정. 2002년~현재 동아일렉콤(주) 전원연구소 책임연구원 선행개발팀장.



오재기(吳在基)

1962년 9월 27일생. 1983년 동양공대 전기과 졸업. 2011년 서울사이버대 경영학과 졸업. 2011년~현재 성균관대 대학원 전자전기컴퓨터공학과 석사과정. 2000년~현재 오선택(주) 대표이사.



이병국(李秉國)

1968년 12월 25일생. 1994년 한양대 전기공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 미국 Texas A&M University 전기공학과 졸업(공학박사). 2002년~2003년 Postdoctoral Research Associate, Texas A&M University. 2003년~2005년 한국전기연구원 산업전기연구단 전력전자그룹 선임연구원 (팀장). 2006년~현재 성균관대 정보통신공학부 부교수. 2004년~현재 IEEE Senior Member, IEEE VPPC2012 General Chair. 현재 당 학회 재무이사.