



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

전기자동차 충·방전 특성 향상을 위한
2 kW급 DMFC 설계

濟州大學校 大學院

에너지응용시스템학부 電氣工學專攻

金潤鎬

2014 年 08 月

전기자동차 충·방전 특성 향상을 위한 2 kW급 DMFC 설계

指導教授 金 豪 贊
共同指導 李 鳳 道

金 潤 鎬

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2014 年 08 月

金潤鎬의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ ①

委 員 _____ ①

委 員 _____ ①

濟州大學校 大學院

2014 年 08 月

2 kW Class DMFC Design for Improving
Charging and Discharging Characteristics of
Electric Vehicles

Yun Ho Kim

(Supervised by Professors Ho-Chan Kim)

(Cosupervised by Doctor Bong-Do Kim)

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE

FACULTY OF APPLIED ENERGY SYSTEM
GRADUATE SCHOOL
JEJU NATIONAL UNIVERSITY

2014. 08.

목 차

LIST OF FIGURES	iii
LIST OF TABLES	iv
SUMMARY	v
I. 서 론	1
II. 이론적 배경	3
2.1 DMFC 기본 원리	3
2.2 전기자동차 충방전 특성	5
2.3 2 kW급 DMFC 시스템이 장착된 전기자동차 구성	9
III. 2 kW급 DMFC 시스템 설계 및 운전제어 알고리즘	10
3.1 2 kW급 DMFC 시스템 설계	10
3.2 DMFC 시스템의 충·방전 알고리즘	18
3.3 2 kW급 DMFC 시스템 제작	21
IV. Labview를 이용한 DMFC 충·방전 제어	25
4.1 Labview를 이용한 DMFC 충·방전 시스템 프로그램	25
4.2 실험결과 및 고찰	31
V. 결 론	35
참 고 문 헌	36
감사의 글	39

LIST OF FIGURES

Fig. 1. Basic principle of DMFC fuel cell	3
Fig. 2. AD Motors CHANGE EV	6
Fig. 3. SOC curve under charging/discharging in $LiFePO_4$ battery	7
Fig. 4. Charging/discharging voltage of $LiFePO_4$ battery in CHANGE	7
Fig. 5. Charging/discharging current of $LiFePO_4$ battery in CHANGE	8
Fig. 6. DMFC hybrid electric vehicle configuration	9
Fig. 7. Electric vehicle system with the 2 kW class DMFC in CHANGE	9
Fig. 8. 2kW class DMFC system configuration	10
Fig. 9. Schematic diagram of DMFC hybrid electric vehicle	11
Fig. 10. 2 kW class stack I-V characteristic curve	12
Fig. 11. 2 kW class stack load curve	12
Fig. 12. Non-isolated bi-directional DC-DC converter	13
Fig. 13. Equivalent circuit in charging mode	14
Fig. 14. Operation waveform in charging mode	14
Fig. 15. Equivalent circuit in discharging mode	17
Fig. 16. Charging flow chart in DMFC systems (main loop)	18
Fig. 17. System error loop	19
Fig. 18. System initialization loop	19
Fig. 19. Methanol control loop	19
Fig. 20. FAN control loop	20
Fig. 21. 2 kW class DMFC control system	23
Fig. 22. DMFC control system configuration using Labview	25
Fig. 23. RS232 communication loop using Labview	26
Fig. 24. Device control loop	27
Fig. 25. Current, voltage, temperature, and methanol data loop	28
Fig. 26. Display panel using Labview	28

Fig. 27. Roof FAN loop according to stack temperature	29
Fig. 28. BOP data generation loop	29
Fig. 29. Graph initialization loop	30
Fig. 30. Methanol control loop	30
Fig. 31. Experimental driving directions for DMFC hybrid electrical vehicle road test	31
Fig. 32. SOC curve under charging/discharging in DMFC hybrid electrical vehicle	32
Fig. 33. Charging/discharging speed pattern of SOC in DMFC hybrid electrical vehicle	33
Fig. 34. SOC curves of $LiFePO_4$ battery with/without DMFC fuel cell	34

LIST OF TABLES

Table 1. MEA components and chemical phenomena	4
Table 2. CHANGE EV specifications	6
Table 3. Pump types and specifications	21
Table 4. Methanol concentration sensor specifications	22
Table 5. Air blower specifications	22
Table 6. DMFC system input interface parameters	23
Table 7. DMFC system output interface parameters	24
Table 8. DMFC system control methods	28

SUMMARY

Electric vehicles (EV) are used motor instead of an internal combustion engine. There are many merit such as quiet, easy maintenance and environmental. But disadvantages are long battery charging time due to low-energy density, distance limit of driving, expensive battery prices, expensive compared to regular cars, heavy weight and environmental issues due to using of commercial power.

Direct methanol fuel cell (DMFC) differs has many merits compared with the conventional type fuel cell as follows; no need of fuel reformer, easy to transport, low price, use liquid fuel such as methanol, safer reaction temperature lower than 80°C . Therefore DMFC is very advantageous power source such as portable, mobile, residential, small and remote discrete demand.

In this theses, we develop a DMFC hybrid electric vehicle that can drive fuel cell and battery powers and test the charging/discharging characteristics of a LiFePO_4 battery in DMFC hybrid electric vehicle. For this work, we design a 2kW class DMFC stack and mount a DMFC system in commercial electric vehicle. We also present the advantages and disadvantages of the DMFC hybrid electric vehicles and invest the driving characteristics using Labview.

I. 서 론

21세기는 과학기술의 새로운 패러다임을 요구하고 있다. 즉 생산성 중심이었던 기술개념이 지속 가능한 기술 또는 친환경적 기술로 그 중요성이 이행되었다. 에너지 분야도 지금까지 많은 화석연료를 사용한 산업기술은 친환경적 에너지 공정으로 전환이 요구되고 있으며, 이에 따른 신에너지 기술의 사회적 요구가 높아지고 있다. 또한 사회 및 산업조직이 지역중심으로부터 세계화되고 정보화됨에 따라 이동형 고에너지밀도의 에너지원 확보기술이 21세기의 필수기반 기술로 인식되고 있다 [1]. 1980년대 후반 이후 공장, 운송수단 그리고 일반가정에 이르기까지 다양한 배출원으로부터 발생하는 이산화탄소 등에 의한 온실효과와 같은 무분별한 개발에 의한 화석연료의 고갈은 궁극적인 친환경 에너지시스템 개발을 더욱 절실히 요구하고 있다. 연료전지기술은 미국, 일본 등을 비롯한 선진국에서 발전용 또는 전기자동차의 동력원으로 이미 실용화 단계에 있는 기술이다. 이에 비해 현재 우리나라의 연료전지 기술수준은 아직 기초단계에 머물러 있으며 연료전지 발전시스템의 기술개발을 위한 노력이 필요한 실정이다. 따라서 고분자 전해질형 연료전지의 핵심기술인 고성능 전극의 개발, 어셈블리 제조 기술 등 동창적인 연료전지기술을 확보하는 것은 매우 중요하다 [2]. 과거 연료전지를 우주선, 군사용 등 특수 목적으로 사용하였으나 1980년대 말에 이르러 기존의 내연기관을 대체하기 위한 자동차의 동력원의 사용이 가능함에 따라 다시 연구개발의 활기를 찾게 되었으며, 최근에 연료전지를 자동차의 동력원 외에 이동용 전원, 분산형 발전용 전원, 방위산업용 전원, 분산형 절전용 전원, 방위산업용 전원 등으로 이용하려는 연구가 선진국을 중심으로 이루어지고 있다 [3],[4].

직접 메탄올 연료전지(direct methanol fuel cell, DMFC)는 수소를 사용하는 고분자 전해질 연료전지(proton exchange membrane fuel cell, PEMFC)와 유사한 구조와 작동원리를 갖고 있다. DMFC는 수소 대신 메탄올을 직접 양극(anode)에 공급하여 사용함으로써 연료공급 체계가 단순하고 장치가 매우 간단하며 소형화가 가능하다. DMFC는 다양한 용도로 사용이 가능하며 특히, 1 W 정도의 소

형 전원이나 500 W 이하의 휴대용 전원으로의 사용 가능성이 매우 높고, 성능 향상이 이루어진다면 자동차용 배터리로도 사용이 가능할 것이다. 그러나 과거 연료전지에 대한 연구는 연료전지의 성능향상을 위한 연료전지의 구성요소 연구에만 주력하였고, 연료전지 기술이 발전하면서 각각의 구성요소들에 대한 최적 운전조건을 수립이 요구되고, 연료전지 내에서 발생하는 물리·전기적 현상들에 대한 해석의 필요성이 제기 되었다 [5],[6].

본 논문에서는 DMFC에서 나타나는 다양한 특성을 살펴보고, 전기자동차 배터리의 충방전 특성 향상을 위한 DMFC가 장착된 전기자동차에 적용할 수 있는 제어알고리즘을 제안한다. DMFC 스택을 고출력에 장시간 사용하기 위해서는 연료인 메탄올을 2~5 wt% 수준의 매우 희석된 수용액으로 공급해야 하지만, 실제 연료통에는 100% 원액을 탑재하는 것이 바람직하다. 따라서 메탄올 원액을 스택의 최적 운전에 적합한 농도의 수용액으로 조절하고 유지하고 위한 알고리즘을 제안한다. Labview 프로그램을 사용하여 DMFC 시스템의 다양한 입출력 데이터들을 취득하고 제어할 수 있는 시스템을 제작하였다. 그리고 AD Motors의 전기자동차 모델인 CHANGE에 DMFC 연료전지 시스템을 탑재하여 전기자동차 배터리의 충방전 특성이 향상시키는 방법을 살펴본다.

II. 이론적 배경

2.1 DMFC 기본 원리

DMFC는 메탄올을 연료로 직접 사용하고 전기화학 반응시켜 발전하는 시스템이다. 현재 성능이 빠르게 향상되고 있는 PEMFC에 방식을 사용함으로써 시스템의 간소화가 가능해졌다.

DMFC의 양극에 메탄올 수용액이 공급되면 양극속의 백금촉매작용에 의해 수소이온, 전자 및 탄산가스 생성되는 산화반응이 일어난다. 음극(cathode)에서는 백금촉매작용으로 공기 속의 산소가 이온화되고, 전해질막을 통해 이동한 수소이온과 외부 회로에서 일을 하고 돌아온 전자와 반응하여 물이 생성된다. 수소이온을 만드는 양극과 수소이온을 사용하는 음극 사이의 전해질막에는 수소이온의 구배가 생겨 수소이온의 전도가 일어나게 된다. 이것이 DMFC의 기본 작동원리로 외부회로에 계속적으로 전자전류를 흐르게 한다.

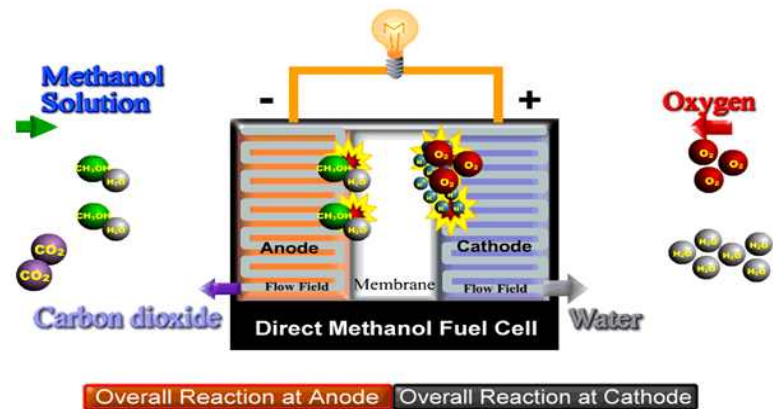


Fig. 1. Basic principle of DMFC fuel cell

DMFC의 구조는 고체 고분자 전해질막을 중심으로 양쪽에는 다공성의 양극과 음극이 부착 되어있다. 두 전극의 바깥부분에 확산층이 존재하며 멤브레인과 확산층 사이에는 촉매층이 존재한다. 또한, 연료가 공급되는 유로가 각각 존재하며, 발생된 전류는 집전체를 거쳐 저장 또는 사용하게 된다 [7],[8].

Table 1. MEA components and chemical phenomena

MEA Component		Phenomena
Anode	Diffusion Layer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Fuel supply and distribution (methanol/fuel) ▪ Electron conduction (solid phase potential) ▪ Heat transport from reaction zone
	Catalyst Layer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Catalyst of anode reaction ($CH_3OH + H_2O \rightarrow CO_2 + 6H^+ + 6e^-$) ▪ Proton conduction into membrane (electrolyte phase potential) ▪ Electron conduction into substrate (solid phase potential) ▪ Methanol transport ▪ Heat transport ▪ Carbon dioxide generation
Proton Exchange Membrane		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Proton conduction (electrolyte phase potential) ▪ Water transport <ul style="list-style-type: none"> - H_2O electro-osmotic drag - Diffusion (concentration gradient) - Convection (pressure gradient) ▪ Methanol transport <ul style="list-style-type: none"> - CH_3OH crossover (parasitic current density)
Cathode	Catalyst Layer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Catalyst of cathode reaction ($O_2 + 4H^+ \rightarrow 2H_2O - 4e^-$) ▪ Oxygen transport to reaction sites ▪ Proton conduction from membrane to reaction sites (electrolyte phase potential) ▪ Electron conduction from substrate to reaction zone (solid phase potential) ▪ Water generation from reactive zone into substrate ▪ Heat generation/removal
	Diffusion Layer	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Oxidant supply and distribution (oxygen/air) ▪ Electron conduction toward reaction zone ▪ Water transport (liquid & capov)

Table 1은 MEA(membrane electrode assembly)에서 일어나는 물리적, 화학적 현상에 대해 나타내었으며, 이를 바탕으로 하여 연료전지 시스템의 다양한 알고리즘들을 고려하였다 [5],[8],[9],[10].

DMFC는 전기화학 반응에 의해 연료가 갖고 있는 화학에너지를 직접 전기에너지로 변환시키는 발전장치다. DMFC의 가장 큰 특징은 화석 연료를 사용하는 것이 아니라 메탄올을 연료로 사용한다는 점이다. 연료전지는 단위 면적 및 단위 무게당 높은 출력을 얻을 수 있고, 필요한 연료는 메탄올이지만 수소를 포함한 다양한 연료 사용도 가능하다. 따라서 연료전지는 공급의 선택폭이 넓은 뿐 아니라 다양한 규모로 제작이 가능하고, 소음 및 공해 배출이 매우 적은 이점을 갖는 새로운 형태의 발전시스템이라 할 수 있다 [7],[8].

연료전지는 연소장치나 구동 장치가 없기 때문에 에너지 변환 효율이 높을 뿐만 아니라 충전이 필요 없으며, 연료가 공급되는 동안 전기를 계속 발생 시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 기존의 발전 방식의 발전 효율은 석유(34~40%), 석탄(30~36%), 원자력(30~35%)이다. 연료전지의 효율은 기존의 발전방식보다 높은 우수한 효율(50~60%)을 갖는다. 전기 화학적으로 연료가 반응하여 전기를 생산하는 과정에서 열도 발생하기 때문에, 총 효율을 80%이상으로 높은 고효율발전이 가능하다. 또한 발전용 연료의 절감이 가능하며, 환경오염물질 배출 면에서도 NO_x 와 CO_2 의 배출량이 석탄 화력발전에 비해 거의 무시할 수 있다. 연료전지는 천연가스, 도시가스, 메탄올, 폐기물 가스 등 다양한 연료를 사용할 수 있으므로 기존의 화력 발전을 대체하고, 무공해 발전소 및 이동하는 차량 등에 적용할 수 있다 [6],[11].

2.2 전기자동차 충전 특성

전기자동차(electric vehicle, EV)는 일반 내연기관 자동차와 달리 전동기, 전동기 제어기, 배터리 및 충전장치로 구성되며, 기본적으로 배터리에 저장된 에너지를 인버터 등의 전력 변환장치를 이용하여 효과적으로 전동기에 전달해 차량을 구동하는 무공해 자동차이다. 따라서 전기자동차에 있어서 차량을 구동하기 위한 전기모터 및 제어기, 배터리에 에너지를 저장하기 위한 충전장치, 배터리에 저장된 에너지를 차

량에서 사용하기 적합한 수준으로 변환하는 DC/DC 컨버터(converter) 등은 전자 분야와 밀접한 관계에 있다.

본 논문에서는 Fig. 2와 같은 AD Motors의 전기자동차 CHANGE 모델을 적용하였으며, CHANGE의 사양은 다음 Table 2에 나타내었다.



Fig. 2. AD Motors CHANGE EV

Table 2. CHANGE EV specifications

Specifications	
Overall length(mm)	3,210
Overall width(mm)	1,575
Overall height (mm)	1,560
Tread(mm)	Front 1,350 / Rear 1,330
Wheel base(mm)	2,180
Curb weight(KG)	CWV 830 / GVW 960
Capacity(persons)	2
Driving range (Km)	78
Max. speed(Km)	60
Drive type(FF)	Front wheel drive
Charging time	Noraml speed with 220 V Housrhold 6-7hours
Max. output	16 kW / 2,200 rpm
Battery&Controller	76.8 V, 120Ah, 220 V On board Charger, BMS, DC-DC converter, <i>LiFePO₄</i> battery

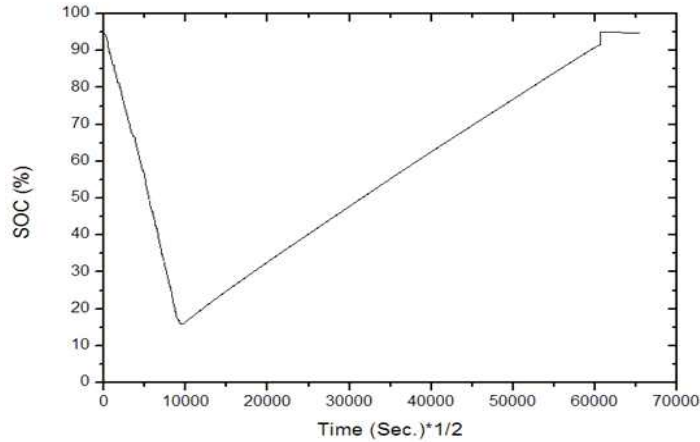


Fig. 3. SOC curve under charging/discharging in $LiFePO_4$ battery

Fig. 3은 전기자동차 CHANGE 모델의 배터리 1회전 충·방전 특성을 나타낸 것이다. 도로운행을 하면서 시간이 경과함에 따라 76.8 V, 120 Ah의 용량의 배터리는 직선적인 충·방전 패턴을 나타내며 완충시의 SOC(state of charge)는 95.5%를 유지하였다. 본 자동차에 탑재되어 있는 $LiFePO_4$ 배터리의 경우 초기 충전 비율과 후기 충전 비율이 거의 변함없음을 보여준다. 즉 제어시스템 제작에 있어서 배터리의 충·방전 특성은 전반적인 직선형 타입이며 제어 입력 신호를 적용할 수 있음을 알 수 있다 [7].

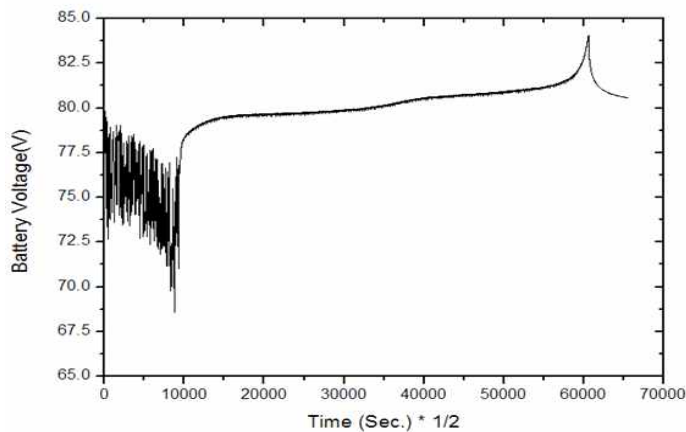


Fig. 4. Charging/discharging voltage of $LiFePO_4$ battery in CHANGE

Fig. 4는 전기자동차 배터리의 충·방전 변화를 나타내고 있다. 그림에서 보는

바와 같이 방전 중에는 배터리의 전압이 감소하고, 충전 중에는 전압이 증가함을 알 수 있다. 충전 중에는 SOC의 증가와 함께 전압이 점진적으로 상승하여 최고 전압 81 V 정도면 완충전 상태가 되었음을 알 수 있다.

Fig. 5는 전기자동차 배터리의 전류 변화를 보인 것이다. 방전 중에는 부하에 따라 전류의 변동이 심하고, 충전 중에는 전류의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 방전 중에는 전기자동차가 주행 상태이므로 자동차의 가속도에 대부분의 영향을 받는다. 즉 자동차가 출발하려고 할 때 가속도가 가장 크고 제일 많은 전류를 소모하고, 정지하려고 할 때는 가속도의 값이 음의 값을 갖게 되어 오히려 전류가 역류하는 즉 충전 작용이 일어날 수 있다. 충전 중에는 자동차의 운행이 정지되고 즉 부하의 소모가 없는 상태이므로 전류의 변화가 없이 일정한 전류 18 Ah의 지속적인 충전이 이루어짐을 알 수 있다.

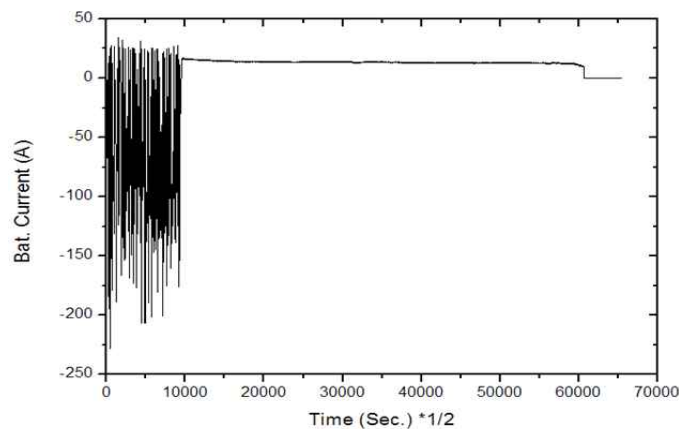


Fig. 5. Charging/discharging current of $LiFePO_4$ battery in CHANGE

전기자동차의 배터리 동력원을 개발하기 위해서는 먼저 전기자동차에 탑재 되어 있는 배터리의 특성을 파악하는 일이 중요하다. 마찬가지로 연료전지를 포함한 전기 자동차는 연료전지와 전기자동차의 배터리가 주 동력원으로 역할을 수행해야 하고, 배터리와 연료전지가 상호보완적인 관계를 형성하여 동력을 공급할 수 있도록 하여야 하기 때문에 먼저 연료전지와 연계된 배터리의 충·방전 특성을 파악하여야 한다 [3].

2.3 2 kW급 DMFC 시스템이 장착된 전기자동차 구성

Fig. 6은 DMFC가 장착된 전기자동차 시스템 전체 구성도를 나타낸다. DMFC에서 생성된 에너지를 DC/DC 컨버터(converter)를 거쳐 배터리에 저장하고, 배터리에 저장된 에너지를 인버터 등의 전력 변환장치를 이용하여 효과적으로 전동기에 전달해 차량을 구동하게 된다.

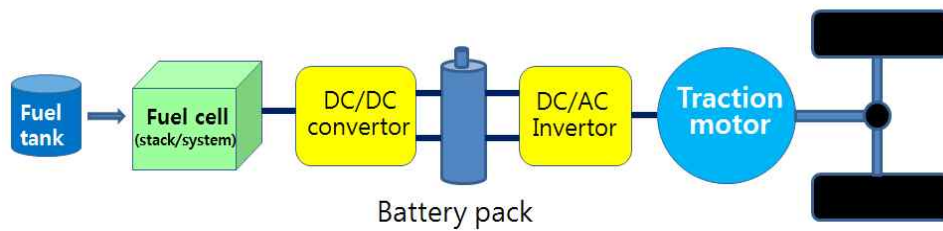


Fig. 6 DMFC hybrid electric vehicle configuration

일반적인 DMFC 시스템은 엔진적인 스택부분과 회석된 메탄올을 공급하는 메탄올 연료통 공급부와 스택에서의 전기 화학 반응을 통해 발생하는 물을 회수하기 위한 사이클부, 그리고 스택에서 생성된 전력을 부하의 전기적 특성에 맞게 전력을 변환시키는 전력변환부 및 운전제어 회로부로 구성되어 있다. 본 논문에서 연료전지 시스템은 DMFC BOP 컨트롤, 하이브리드 컨트롤, DC-DC 컨버터, 블로워, 연료공급 펌프, 연료 순환 펌프, 연료 농도 센서, 열교환기, 연료통, 연료 혼합 챔버 등과 같은 M-BOP(Mechanical balance of plant)등을 포함한다. Fig. 7은 2kW급 충·방전 시스템이 AD 모터스의 차량트렁크 부분에 실재 탑재한 모습이다.



Fig. 7. Electric vehicle system with the 2 kW class DMFC in CHANGE

Ⅲ. DMFC 연료전지 시스템 설계 및 운전제어 알고리즘

3.1 DMFC 연료전지 시스템 설계

(1) 2 kW급 DMFC 시스템의 구성

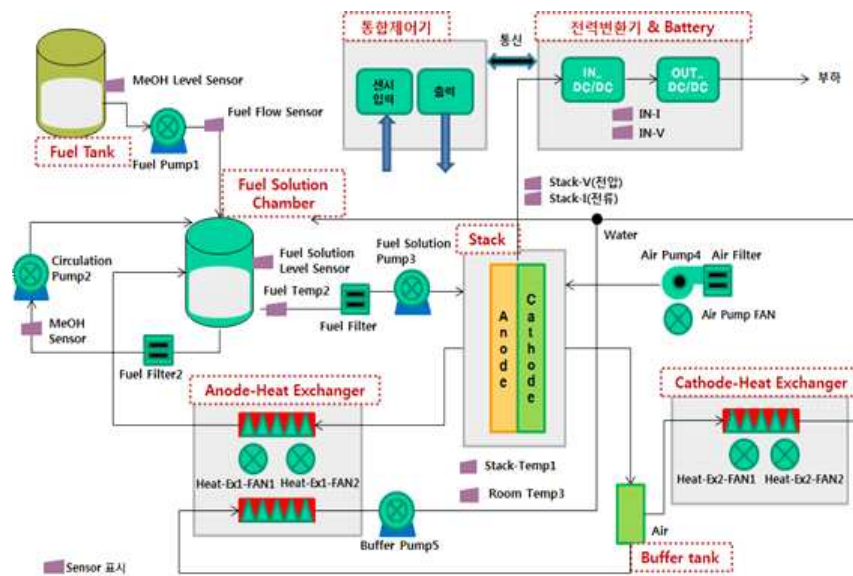


Fig. 8. 2 kW class DMFC system configuration

Fig. 8은 일반적인 연료전지 시스템의 구성도를 나타낸다. 연료전지 시스템은 스택, 전력변환 및 배터리, 연료 탱크 및 혼합통, 펌프, 공기 블로워, 열교환기, 통합제어기 및 각각의 센서 등으로 구성된다. 기본적으로 필요한 펌프는 스택에 메탄올 희석액을 공급하는 스택 공급연료펌프와 연료 혼합통으로 100% 메탄올을 공급하는 순수 메탄올 공급펌프이다. 이외에도 메탄올 용액을 센서로 순환시키는 펌프와 공기극에서 배출되어 음극기로 들어가기 전에 축적된 물을 연료 혼합통으로 공급하는 물 공급펌프가 추가적으로 필요하다 [2],[12].

공기 블로워는 음극으로 공기를 공급하고 음극의 열교환기는 화학반응으로 생성된 음극의 생성물(물, 공기)을 물과 공기로 분리하는데, 공기는 외부로 배출하고 물

은 다시 연료통으로 회수한다. 메탄올 연료펌프는 연료통의 메탄올과 물을 혼합하여 2-5wt% 수준의 물(Mol) 농도를 유지한 매우 희석된 수용액을 양극으로 공급한다. 이 때, 양극에서 남은 메탄올, 물과 CO_2 는 양극을 통해 열 교환 장치를 거친 후 다시 연료 공급통으로 공급된다. 이러한 과정을 반복하며 연료전지 시스템은 전력을 생산하고 부하에 전력을 공급하게 된다.

전력변환기는 2개의 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다. 비절연형 Half-bridge와 서로 다른 벡 부스트 컨버터는 각각 서로 다른 출력전압을 갖는 연료전지와 배터리, 그리고 배터리와 모터의 전압을 같은 값을 유지하도록 변환시켜주는 기능과 부하에 따라 연료전지와 배터리에서 담당해야 하는 출력 분배하는 기능을 갖는다. 비절연형 Half-bridge는 배터리의 출력전환 시점을 결정하기 위한 출력감시 센서를 포함하고 있으며 벡 부스트 컨버터는 배터리의 용량을 담당하도록 되어있다. 또한 회생제동 시 발생하는 역전류로부터 연료전지와 시스템을 보호하기 위해 모터 컨트롤 부에 릴레이를 설치하였다.

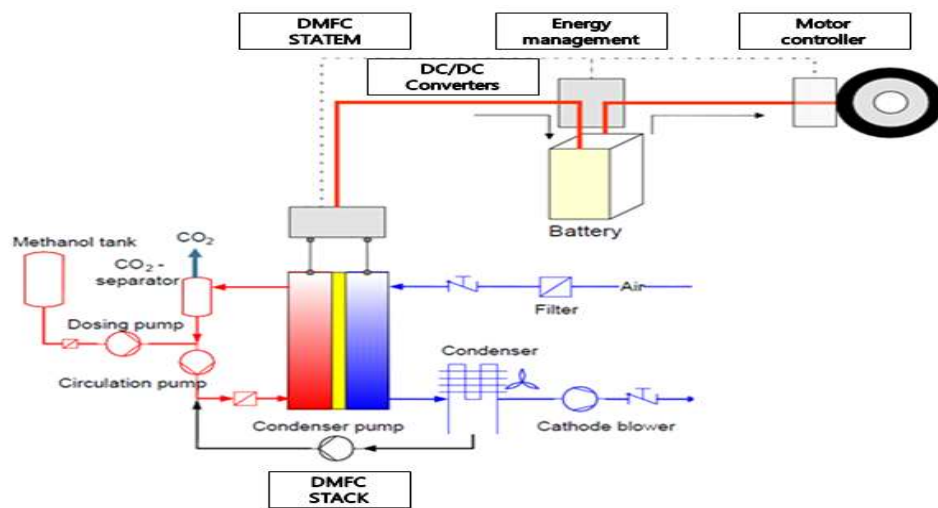


Fig. 9. Schematic diagram of DMFC hybrid electric vehicle

(2) 2 kW급 스택의 성능 및 특성

Fig. 10은 제작된 2 kW급 DMFC 스택의 I-V성능 특성곡선을 나타내었는데, 스택 출력은 kW용 전자부하로 측정하면 2.23 kW, 49 V, 49 A의 결과를 취득하였다. OCV(open-circuit voltage)가 94.4 V 일 때 스택의 운전 온도는 62°C-64°C 이다. Fig. 11은 스택의 부하 반응 특성을 보인 것으로, 부하 35 A에서 스택전류 35 A, 스택전압 55 V, 전체 출력 2 kW를 일정하게 유지하고 있음을 보여준다.

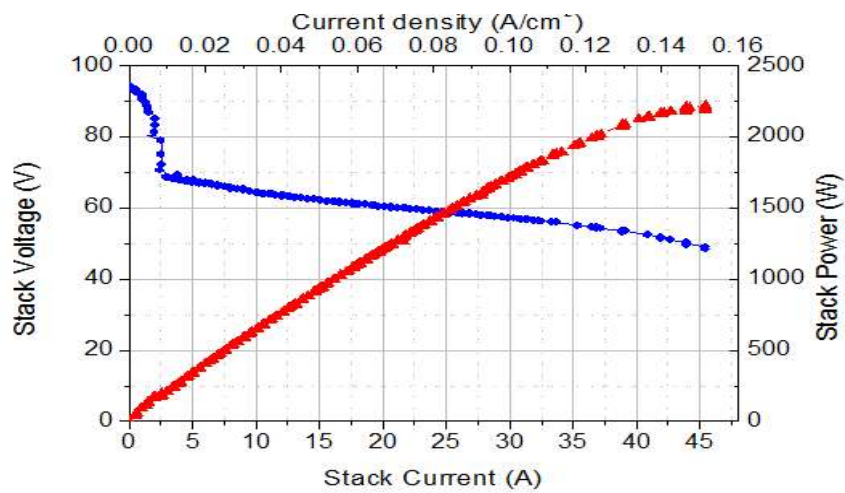


Fig. 10. 2 kW class DMFC stack I-V characteristic curve

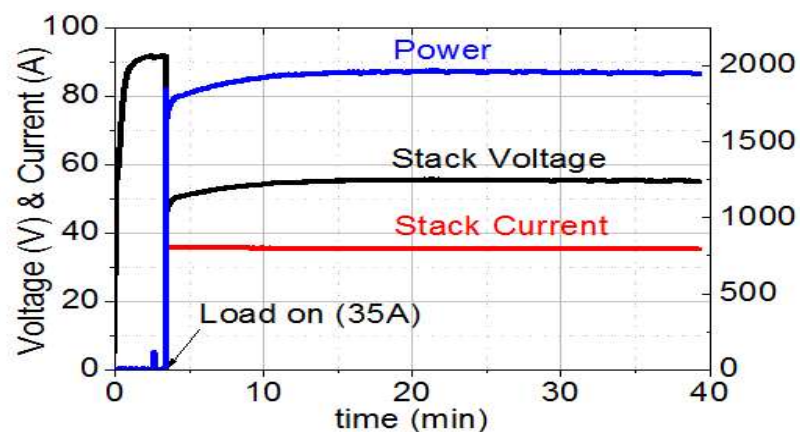


Fig. 11. 2 kW class stack load curve

(3) 양방향 DC-DC 컨버터 설계

DMFC 시스템의 전력변환기는 2개의 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다. 비절연형 Half-bridge와 서로 다른 벡 부스트 컨버터는 각각 서로 다른 출력전압을 갖는 연료 전지와 배터리, 그리고 배터리와 모터의 전압을 같은 값을 유지하도록 변환시켜주는 기능과 부하에 따라 연료전지와 배터리에서 담당해야 하는 출력 분배하는 기능을 갖는다.

Fig. 12은 DMFC 시스템에서 적용하는 양방향 DC-DC 컨버터의 기본 구조이다. 이는 2개의 스위치와 하나의 인덕터 및 캐패시터에 의한 직류단으로 구성되어 있다.

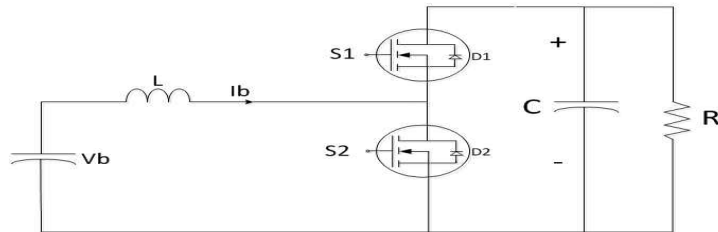


Fig. 12. Non-isolated bi-directional DC-DC converter

가. 충전 모드

Fig. 12에서 두 개의 스위치 중 \$S_2\$는 능동 스위치로 \$S_1\$은 수동 스위치인 다이오드로 동작하는 경우, Fig. 13(a)는 부스트 컨버터가 되어 배터리에서 직류단으로 에너지가 전달되고 직류단 측에 연결된 등가의 부하저항 \$R\$에서 에너지가 소비되는 충전모드로 동작한다. 이때 스위치 \$S_2\$가 도통될 때는 Fig. 13(a)처럼 되어 인덕터에 에너지를 저장하게 되고, 인덕터를 통해 흐르는 전류 \$I_b\$는 Fig. 14에서 보는 바와 같이 상승하게 되며 이때의 인덕터에 걸리는 전압은 배터리의 전압과 같다 [12],[13]. 또한 \$S_2\$가 off 될 때는 Fig. 13(b)와 같이 인덕터에 저장된 에너지는 다이오드 \$D_1\$을 통하여 충전을 하게 되고 인덕터를 통해 흐르는 전류 \$I_b\$는 Fig. 14과 같이 감소하게 된다. 이때 인덕터에 걸리는 전압은 배터리 전압과 출력 커패시터 전압의 차와 같다.

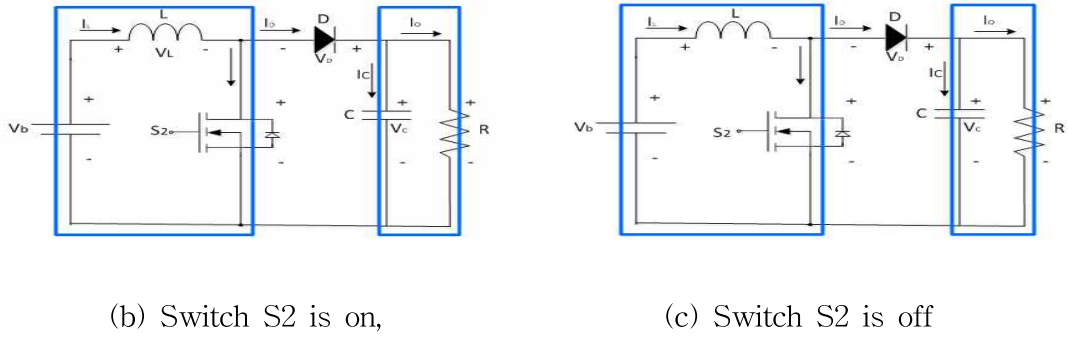


Fig. 13. Equivalent circuit in charging mode

인덕터 L 과 커패시터 C 가 이상적으로 매우 크면, 정상상태에서 인덕터 L 에는 일정한 전류가 흐르고 커패시터 C 양단에는 일정한 전압이 걸리게 된다. 그러나, 실제의 경우 인덕터와 커패시터는 이상적이지 않으므로 인덕터 전류 i_L 이나 출력전압 v_o 에는 리플 성분이 포함된다. 스위칭 주기 T , 듀티비 D 로 스위칭 될 때, 인덕터 전류 i_L 과 인덕터 전압 v_L 은 Fig. 14과 같다 [14].

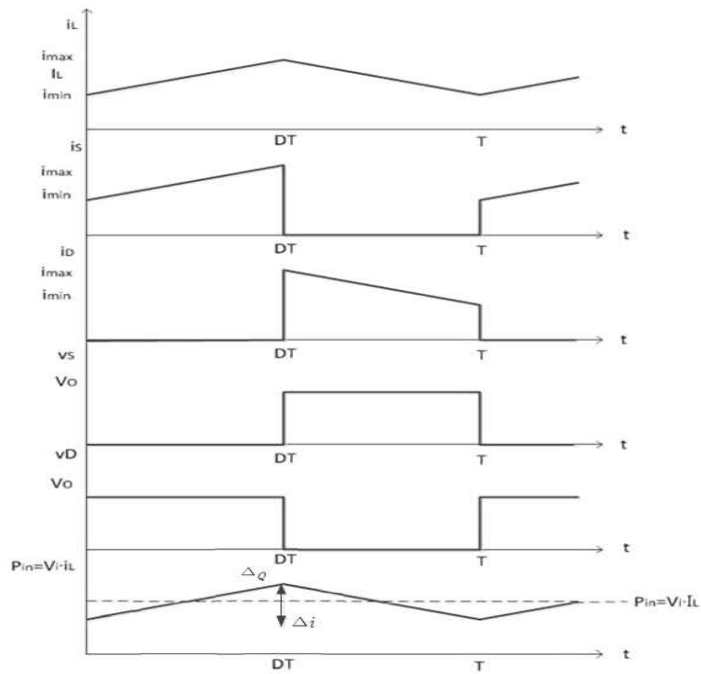


Fig. 14. Operation waveform in charging mode

Fig. 12의 DC-DC 컨버터의 S2가 on 일 때, 인덕터에 걸리는 전압은 다음과 같다.

$$L \frac{di_L}{dt} = V_i - V_{out} \quad (1)$$

이 때 V_i 와 V_{out} 은 스위칭 주파수가 충분히 높고 Fig. 14의 동작파형에서 전류의 기울기가 일정하다고 가정하면, 식 (1)은 다음과 같이 나타낼 수 있다

$$L \frac{di_L}{dt} = V_i - V_{out} \simeq L \frac{\Delta i}{DT} \quad (2)$$

따라서 인덕터 전류 i_L 의 리플 Δi 는 다음과 같다.

$$\Delta i = \frac{V_i - V_{out}}{L} DT \quad (3)$$

동일한 방법으로 S2가 off 일 때, Δi 를 구하면 다음과 같다.

$$\Delta i = \frac{V_{out}}{L} (1-D) T \quad (4)$$

이때 식(3)과 식(4)의 Δi 가 같은 경우에는

$$(V_i - V_{out})D = V_{out}(1-D) \quad (5)$$

가 성립된다. 따라서 정상상태의 직류 출력전압 V_{out} 은 다음과 같다.

$$V_{out} = DV_i \quad (6)$$

또한 i_L 의 파형에서 캐패시터에 충전되는 전하량 ΔQ 를 구하면

$$\Delta Q = \frac{\Delta i}{8} T \quad (7)$$

이고, 출력전압 식(6)과 전하량 식(7)로 부터 리플 전압은 다음과 같다.

$$\Delta V_{out} = \frac{\Delta Q}{C} = \frac{\Delta i}{8C} T = \frac{V_{out}(1-D)}{8LC} T \quad (8)$$

이 때, I_o 는 Δi 의 반이므로 식(8)로부터 인덕턴스 값은 다음과 같다 [17],[18].

$$L = \frac{V_{out} T}{2I_o} (1-D) \quad (9)$$

나. 방전 모드

Fig. 15에서 두 개의 스위치 중 S1은 능동 스위치로 S2는 수동 스위치인 다이오드로 동작하는 경우, Fig. 15(a)의 벡(buck) 컨버터는 직류단 측에서 배터리로 에너지가 이동하게 되고 양방향 컨버터는 충전 모드로 작동하게 된다. 이때 스위치 S1은 주기 T , 도통시간 DT 로 on, off를 반복하게 된다. 스위치 S1이 on 될 때, 그림 10(b)와 같이 인덕터 전류 I_L 는 상승하고 동시에 배터리에 에너지가 전달된다. 스위치 S1이 off 될 때, Fig. 15(b)와 같이 인덕터에 배터리 전압은 역으로 걸리고 다이오드 D1을 통하여 프리휠링(free wheeling)하면서 인덕터 전류 I_L 는 감소하게 된다 [15],[16]. 방전모드일 때 각 부의 동작파형은 Fig. 14와 같다.

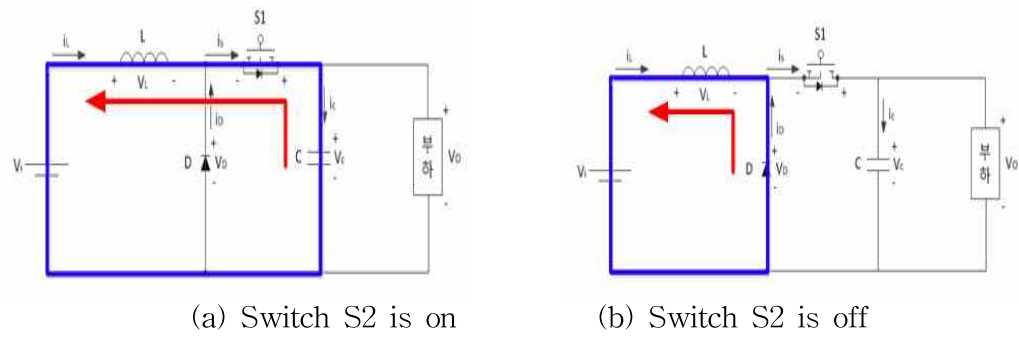


Fig. 15. Equivalent circuit in discharging mode

다. Buck Boost형 컨버터 설계

본 논문에서는 전압을 24 V, 최종 출력 전압을 18 V로 하여 설계한다. 이 조건에 따라 인덕터와 캐패시터의 용량을 설계해 보면, 인덕터는

$$L = \frac{V_{out} D D^2 T}{2 I_{omin}} = \frac{18 \times 2.4 \times (1 - 2.4)^2 \times \frac{1}{200000}}{2 \times 0.1} = 2.17 [mH]$$

이 식에서 각 값을 계산 하면,

$$D_{min} = 1 - \frac{V_{imax}}{V_0}, \quad T = \frac{1}{f_s}, \quad I_{omin} = 6.25,$$

이를 대입하면 $L=2.17 [mH]$ 가 된다. 캐패시터의 용량도 이와 같이 구하면,

$$C = \frac{D T_s}{R} \times \frac{V_0}{\Delta V_0} = \frac{2.4 \times \frac{1}{200000}}{1} \times \frac{18}{6.25} = 3.46 [uF] \text{ 이 된다.}$$

3.2 DMFC 시스템의 충·방전 알고리즘

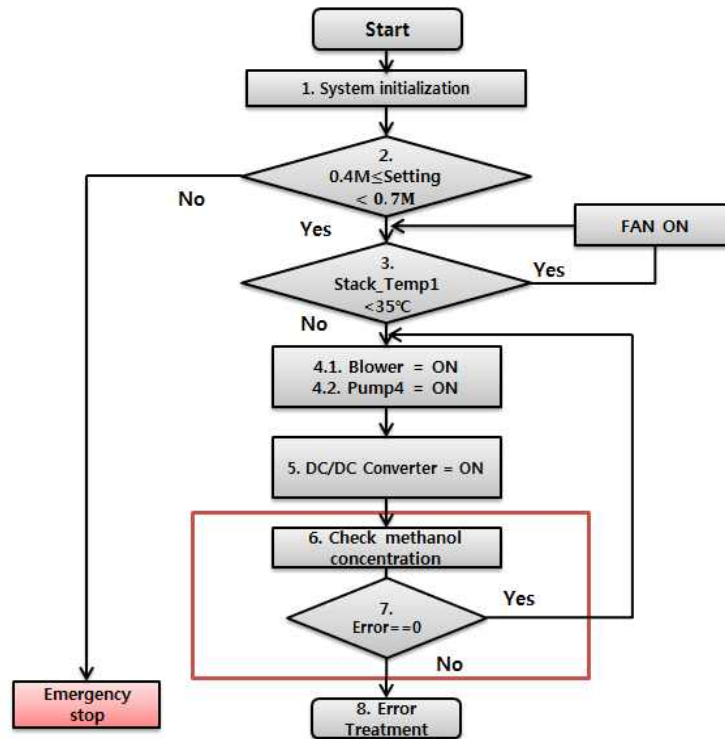


Fig. 16. Charging flow chart in DMFC systems (main loop)

Fig. 16은 DMFC 시스템의 충방전 동작에 대한 흐름도를 나타낸다. DMFC 시스템이 정상적으로 동작하기 위해서는 메탄올의 농도는 0.4M과 0.7M, 스택의 온도는 35°C와 70°C 사이에서 유지되어야 한다. 스택의 온도는 35°C 이하이면 FAN을 구동시켜 온도를 증가시키고, 메탄올 농도가 0.4M 이하인 경우에 전원을 off 시킨다. 메탄올 농도가 0.4M 이하이면 저전류 조건이 이루어져 배터리의 충전상태 변환조건이 이루어지고 컨버터의 출력 전압이 낮아진다. 이외에도 연료공급, 챔의 수의가 1/3정도 되거나, 스택의 온도가 70°C 이상일 때 에러 조건으로 비상 정지 스위치를 눌러 시스템을 비상정지 시킬 수 있다 [19],[20].

시스템 초기화는 Fig. 17의 과정으로 이루어지는데, Labview 디스플레이에서 변수, 상수가 모두 초기화 되고 펌프 3 속도설정 및 메탄올 농도 확인을 위한 펌프 1번과 펌프 3번을 동작시킨다.

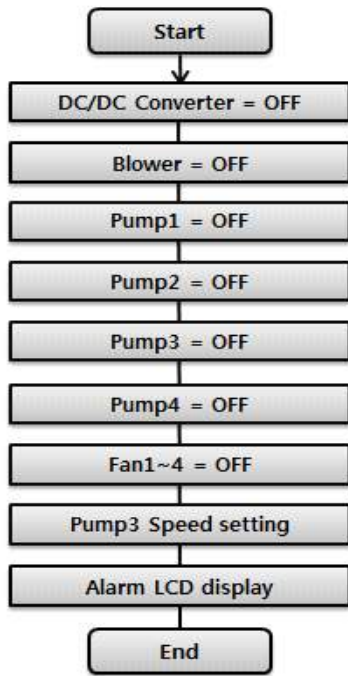


Fig. 17. System error loop

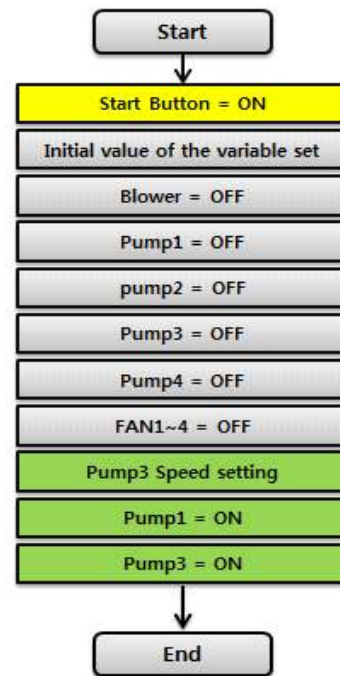


Fig. 18. System initialization loop

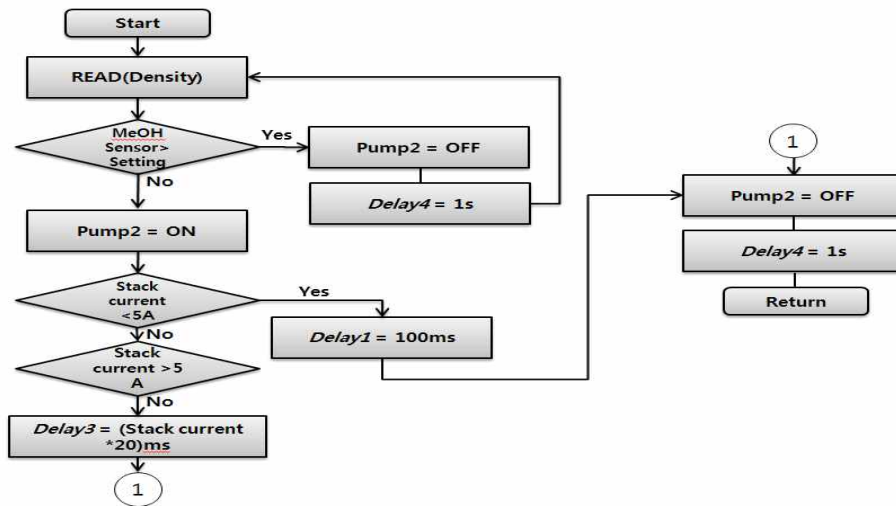


Fig. 19. Methanol control loop

Fig. 19는 DMFC 제어시스템의 메탄올 제어 흐름도를 나타내었다. 설계된 메탄올 제어 루프는 메인 루프와 같은 운전모드로 동작하는데, 메탄올의 농도 확인은 2 kW

급 시스템을 제어할 때 가장 중요한 조건이다. 메탄올의 농도가 적정하지 않을 경우, 연료전지의 연료극의 반응물이 멤브레인을 투과하여 공기극 촉매층에서 반응을 일으키는 크로스오버 현상이 일어난다. 공기극의 촉매층에 도달한 메탄올은 연료극의 환원반응을 감소시켜 셀 전압을 감소시킨다. 또한 스택의 온도가 일정 온도보다 높아지면 연료전지의 성능이 저하된다 [20],[21],[23]. 메탄올 제어 루프의 경우 메탄올의 농도가 설정치 이하 일 때 펌프 2번을 가동시켜 1초당 메탄올 0.7M을 공급해 주며, 메탄올 동작시간은 스택전류의 흐름에 따라 농도의 메탄올의 유입량을 조절해 주었다.

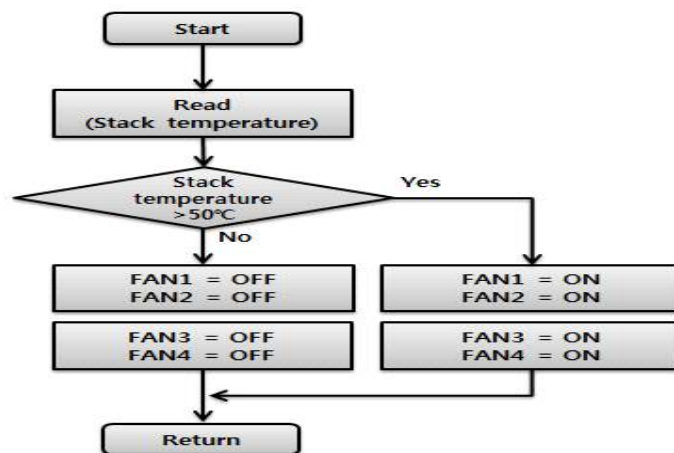


Fig. 20. FAN control loop

Fig. 20의 FAN 제어 루프는 스택의 온도 50°C 이상일 때 FAN을 구동하도록 한다.

3.3 2 kW급 DMFC 시스템 제작

Fig. 8의 DMFC 시스템 구성도에서 많은 펌프들이 사용된다. 우선 스택에 메탄올 희석액을 공급하는 스택 공급 연료펌프, 연료 혼합통으로 100% 메탄올을 공급하는 순수 메탄올 공급 펌프가 들어간다. 그리고 메탄올 순환 펌프의 경우 유동 검출 방식의 메탄올 센서를 사용하기 때문에 메탄올 용액을 센서로 순환시키는 펌프가 필요하며, 공기극에서 배출되어 응축기로 들어가기 전에 축적된 물을 연료 혼합통으로 공급하는 물 공급 펌프가 사용된다. 메탄올 공급 펌프는 100%의 메탄올 원액을 센서의 의하여 측정된 메탄올 함유량을 기준으로 하여 농도가 약할 때 원액을 공급해주는 역할을 한다. 스택 연료공급 펌프는 메탄올과 순수 물에 의하여 메탄올 농도 1-2%로 희석된 연료를 포함하고 있는 연료 혼합통내의 연료를 스택에 공급한다. 2 kW급 DMFC 시스템 제작에 사용되는 펌프와 센서의 종류와 스펙은 각각 Table 3 과 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Pump types and specifications





Item	Model	Input voltage (V)	Power Consumption max (W)	Flux max (ml/min)	Weight (g)	Image
Stack supply fuel pump	KNF NF 1.100 KTDCB	24	18	1,300	500	
Methanol feed pump	KNF NF 5 RTDC-L	12	0.65	50	36	
Circulation pump methanol sensor	KNF NF 5 RTDCB-4	12	0.96	5 ~ 70	30	
Water supply pump	KNF NF 5 RTDC-L	12	0.65	50	36	

Table 4. Methanol concentration sensor specifications

Model	ISSYS FC10	Concentration range (% w/w)	0 - 10
Image		Operating Temperature(°C)	5 - 70
		Weight (g)	115
		power (W)	0.19

연료전지에 공급되는 유량은 스택의 사양에 따라 달라지기 때문에 요구되는 한계 압력 조건에 비하여 비교적 높은 공기 유량이 필요한 것과 더불어 소모전력은 최대한 작아야 한다. Table 5에 나타낸 TF037B-2000-F 모델은 연료전지 스택 및 개질기에 적합하게 개발된 제품으로 유량(100 L/min) 이상과 한계 압력(5 kPa) 이상에 비하여 소모 전력 30 W이하의 작은 것이 특징이다.

Table 5. Air blower specifications

Model	TF037B-2000-F	Flux (lpm)	100
Image		Operating Temperature (°C)	0 - 50
		Weight (g)	90
		power (W)	28.8



Fig. 21 2 kW class DMFC control system

Fig. 21은 제작한 2 kW급 연료전지 시스템의 충·방전 시스템이다, 왼쪽으로부터 100% 메탄올 원액과 버퍼물통 2 kW급 스택과 각각의 센서와 펌프 그리고 제어 시스템 등으로 구성되어 있다.

Table 6과 Table 7은 DMFC 시스템의 컨트롤러 인터페이스에서 나타난 각각의 측정 입력 값, BOP (balance of plant)와 인터페이스를 위한 입·출력 값들을 나타내었다.

Table 6. DMFC system input interface parameters

No	Signal	Voltage(V)	current(A)	Power(W)	Input type	Remark
1	Stack temperature	5	0.0005	0.0025	Voltage	NTC-502F
2	Chamber temperature	5	0.0005	0.0025	Voltage	NTC-502F
3	System temperature	5	0.0005	0.0025	Voltage	NTC-502F
4	Methanol concentration	5	0.038	0.19	Voltage	ISSYS FC10 (0V ~ 2V)
5	Stack current	2.5(ref)	0.02	0.1	Voltage	HASS 50-(2.5V±0.625)
6	Fuel tank level (top)	12	0.042	0.5	O.C (NPN)	CD46
7	Fuel tank level (bottom)	12	0.042	0.5	O.C (NPN)	CD46
8	Water chamber (top)	12	0.042	0.5	O.C (NPN)	CD46
9	Water chamber (bottom)	12	0.042	0.5	O.C (NPN)	CD46
10	Output Current	2.5(ref)	0.02	0.1	Voltage	HASS 50-(2.5V±0.625)
11	Input current BOP	2.5(ref)	0.02	0.1	Voltage	HASS 50-(2.5V±0.625)

Table 7. DMFC system output interface parameters

No	Signal	Voltage(V)	current(A)	Power(W)	Explanation	Weight(g)	Remark	Manufacturers
1	Pump1	24	2	48	1M fuel supply pump	433	Boxer 3102	BOXER
2	Pump2	12	0.121	0.84	Pump for Methanol	42	NF 5 DC-M	KNF
3	Pump3	12	0.65	0.96	measuring the concentration of the circulating pump (A.O. 0-5V)	30	NF 5 DCB-4	KNF
4	Pump4	12	1.65	19.8	Pumps for water supply	330	NF 30 KPDC	KNF
5	Blower	24	5.2	115	Blower for air supply(A.O. 0-10V)	1200	ZEH1002-0AB22	Gardner Deaver
6	Fan1	24	0.16	3.8	Fuel heat exchanger fan		CUDC24B7P-WPT	JAPAN SERVO CO.LTD.
7	Fan2	24	0.16	3.8	Fuel heat exchanger fan		CUDC24B7P-WPT	JAPAN SERVO CO.LTD.
8	Fan3	24	0.16	3.8	Air heat exchanger fan		CUDC24B7P-WPT	JAPAN SERVO CO.LTD.
9	Fan4	24	0.16	3.8	Air heat exchanger fan		CUDC24B7P-WPT	JAPAN SERVO CO.LTD.
10	LED	5			Check the power supply			
12	PC				External monitoring and control(Firmware update)			
13	Buzzer	5			Emergency ON			

IV. Labview를 이용한 DMFC 충·방전 제어

4.1 Labview를 이용한 DMFC 충·방전 시스템 프로그램

본 논문에서는 Labview를 사용하여 DMFC 제어알고리즘을 실제 시스템에서 구동하였다. Labview는 일반 텍스트 기반 언어가 아닌 G 언어 프로그램이다. 따라서 프로그램 작성은 흐름도와 유사하게 아이콘들을 블록 다이어그램위로 드래그 앤드롭시키고 이들 사이에서 데이터가 이동할 경로를 와이어링할 수 있어 쉽게 제어 프로그램을 만들 수 있다. 또한 Labview 프로그램에서 데이터는 직렬 RS-232 통신으로 취득하며 실시간으로 데이터를 디스플레이 패널에서 확인이 가능하다. Fig. 22와 Fig. 23은 Labview를 사용한 전체적인 DMFC 제어시스템의 구성도와 RS-232 통신 루프를 나타낸다.

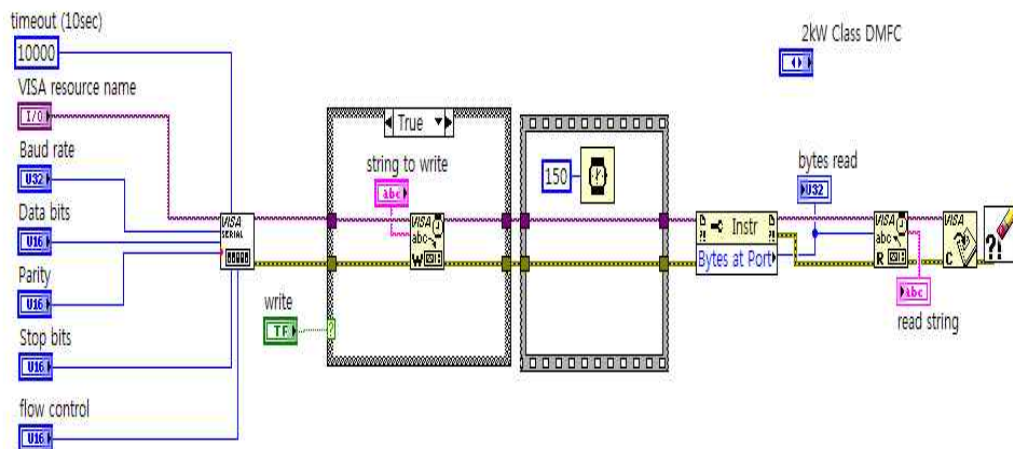


Fig. 22. DMFC control system configuration using Labview

Table 8은 Labview 디바이스 데이터 값을 받기 위해 위해서 각각의 BOP의 제어 장치 조건을 제시하였다 [17],[24],[25].

Fig. 24의 장치제어루프에서는 DMFC 시스템에서 출력되는 다양한 데이터들을 취득한다.

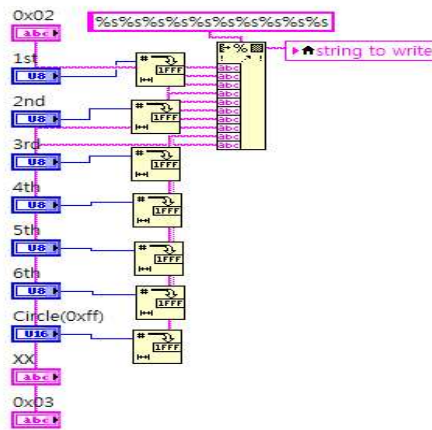


Fig. 23. RS232 communication loop using Labview

Table 8. DMFC system control methods

Item	Input	Condition	Control Description	Condition	Formula	Output of amount
AIR PUMP	Fuel cell current	5A	5A or less fixed, more than the value used in the sense		$Flux(L/min) = (current(Measurements) \times \text{Number of Cells } (110) \times \text{Stoichiometric ratio } (3-4) \times \text{Constant } (22.4L) \times 60) / (Electron(4) \times \text{Faraday Constant } (96485))$	Pump flow rate obtained by the calculation of control voltages
FUEL SOLUTION PUMP	Fuel cell current	5A	5A or less fixed, more than the value used in the sense		$Flux(cc/min) = (current(Measurements) \times \text{Number of Cells } (110) \times \text{Stoichiometric ratio } (2.5-3) \times 1000 \times 60) / (Electron(6) \times \text{Faraday Constant } (96485) \times \text{중수(특정값)})$	Calculating a pump flow rate obtained by adjusting the voltage, using the calculated pump flow rate is set to the flow rate of the off axis
	Methanol concentration	0.3M	0.3M or less fixed, more than the value used in the sense			
HXA_FAN	Stack temperature	50°C	Temperature on the basis of ON / OFF	AND	Condition(T,T=Action (1=ON, 0=OFF)) => (1,0=1, (1,1=1), (0,0=0), (0,1=0)	On/Off
	Chamber temperature	35°C	Temperature on the basis of ON / OFF			
HXC_FAN	Stack temperature	40°C	Temperature on the basis of ON / OFF	OR, EX-OR	Condition(T,T=Action (1=ON, 0=OFF)) => (1,0=0), (1,1=1), (0,0=0), (0,1=1)	On/Off
	Chamber level	Half	level on the basis of ON / OFF			
HEATER	Stack temperature	35°C	Temperature on the basis of ON / OFF	OR	At room temperature with an initial ON, OFF stack temperature	On/Off
	Room temperature	5°C	Temperature on the basis of ON / OFF			
FUEL PUMP	Methanol concentration	1M	1M or more are not operated, less than the calculated value supplied by	Check the initial concentration and the current value of the flow rate applied to the sensor	$Flow(s) = (1 - ((2 \times \text{Number of Cells } (110) \times \text{Mole (IM-settling)} \times \text{current (Measurements)) / (\text{Number of electrons}(6) \times \text{Faraday Constant } (96485)) / (\text{Density of methanol}(0.79) \times \text{Pump flow } (0.777083 \text{ml/s, NFSStandard}))))$	Calculating the flow rate obtained by the change time of the supply, once a second operation
	Flow Sensors	Yes, No	Until there is almost no flow operation (initial operation)			
	current	5A	5A or less fixed, more than the value used in the sense			
CONVERTER	Stack temperature	40°C	Temperature on the basis of 1 / V control test method	OR	Initial activation, resting in the middle of the operation will be re-used when driving	
	Room temperature	5°C	Temperature on the basis of 1 / V control test method			

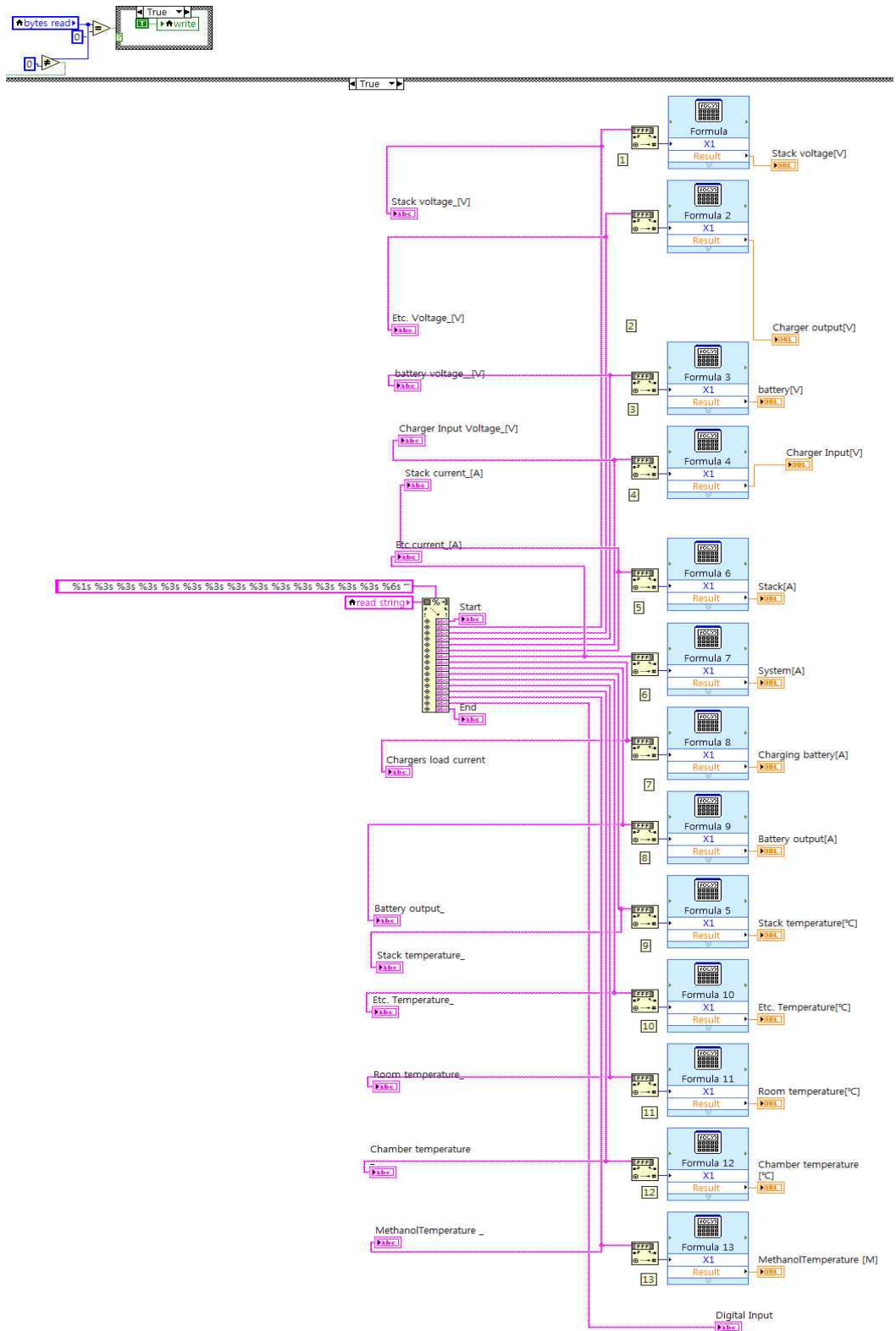


Fig. 24. Device control loop

Fig. 25와 Fig. 26는 프린트 패널로 들어오는 실시간 전류, 전압, 온도, 메탄올 데이터들을 나타내는 루프와 그래프 패널을 통해 실시간 데이터들을 확인 할 수 있는 것을 나타낸다.

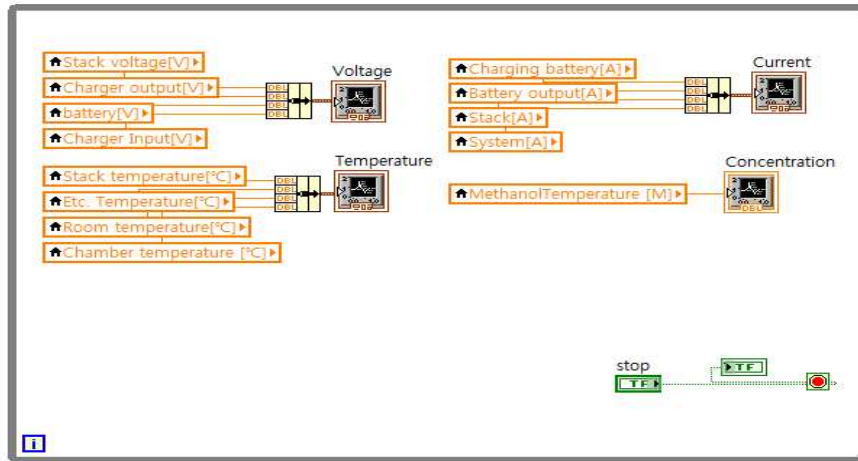


Fig. 25. Current, voltage, temperature, and methanol data loop

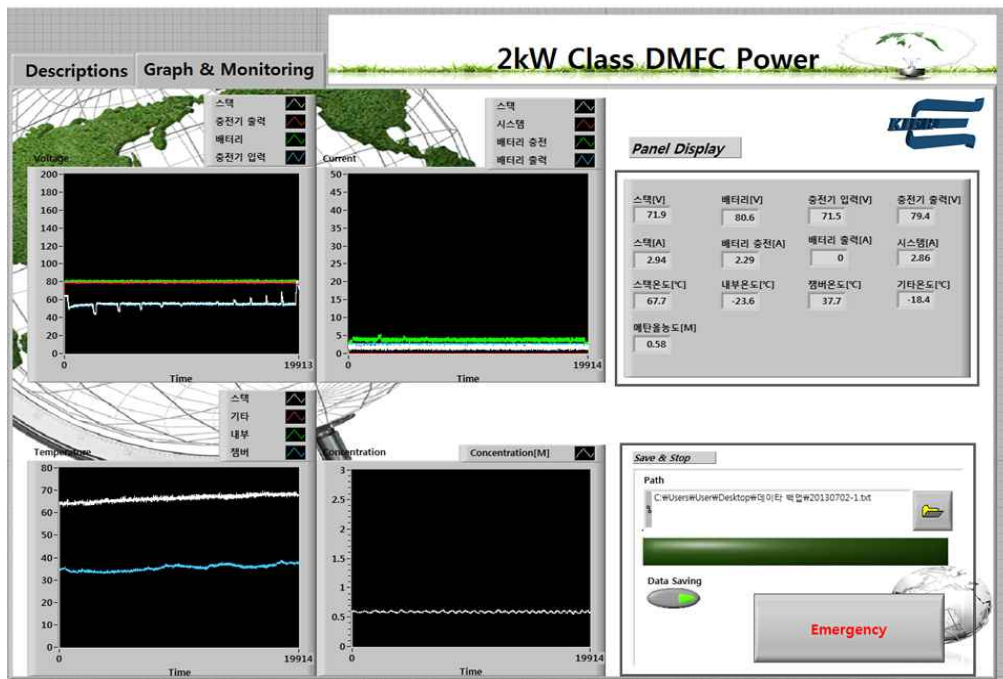


Fig. 26. Display panel using Labview

Fig. 27는 온도에 따른 FAN을 구동하는 루프를 나타내었는데, 스택의 온도가 50°C 이상이 될 경우에 각각의 FAN들이 구동하도록 설계되었다.

Fig. 28은 BOP 데이터 파일을 생성하는 루프를 나타내었다. 데이터 파일은 1초에 한번씩 생성되게 하였으며, 메인 루프에서 데이터 값이 들어오도록 파일 경로를 지정해 주었다.

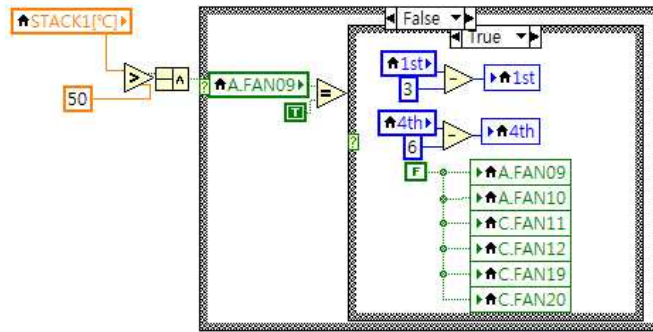


Fig. 27. Roof FAN loop according to stack temperature

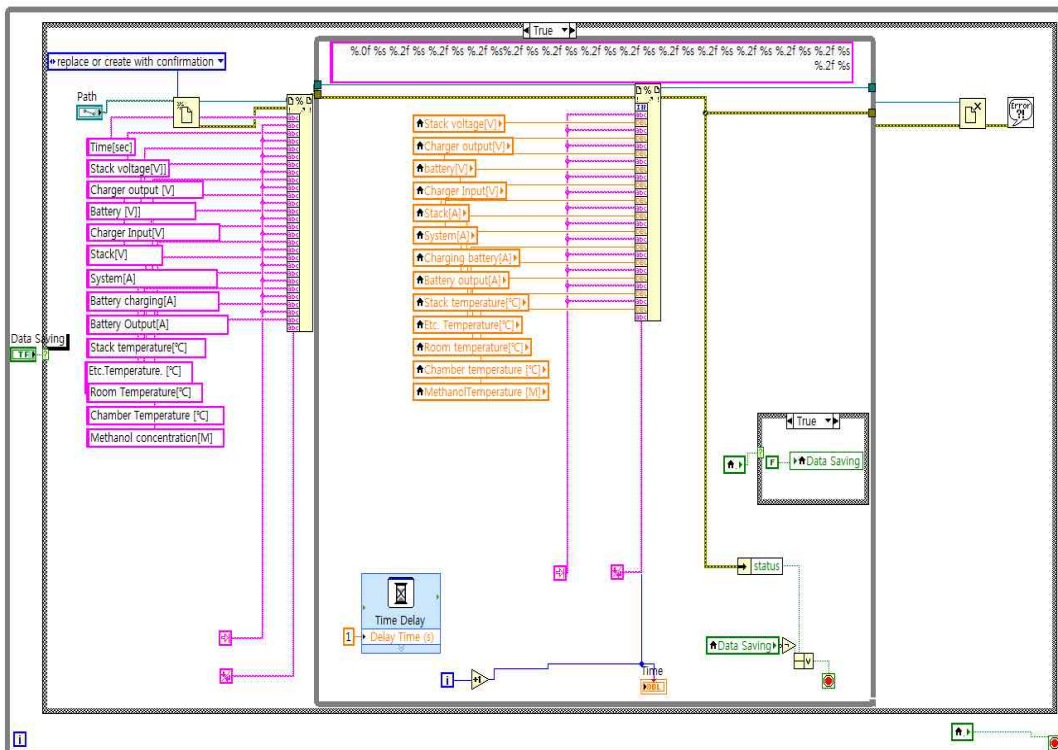


Fig. 28. BOP data generation loop

Fig. 29는 실험이 끝나거나 정지 후 다시 실험을 하게 될 경우 디스플레이 되던 그래프를 초기화시키는 루프를 나타내었다. 그래프의 디스플레이 값의 초기화루프는 배열 상수를 만들어 각 값들이 0이 되도록 상수 값을 지정해주었다

Fig. 30는 메탄올 제어루프를 나타내었는데, 메탄올 값이 농도 제어 값을 만족할 때 구동하는 루프이다 메탄올 버퍼물통이 5초에 한번씩 희석이 되도록 구성하였다.

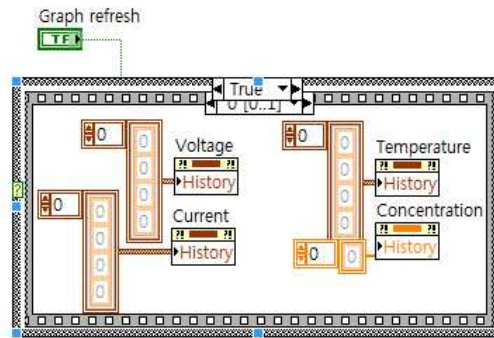


Fig. 29. Graph initialization loop

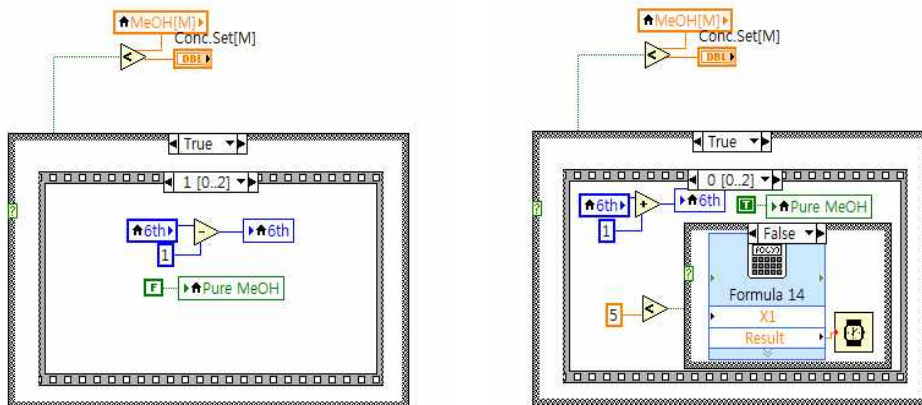


Fig. 30. Methanol control loop

4.2 실험 결과 및 고찰

현재 시판이 되어 운행중인 AD 모터스의 전기자동차인 CHANGE 모델에 연료전지 시스템을 탑재하고 실제 도로주행을 하면서 연료전지 충방전 알고리즘 및 시스템을 실제 테스트를 수행하였다. 실험구간은 제주도의 김녕 한국에너지기술연구원 - 제주글로벌연구센터를 출발하여 성산읍 난산리 입구에 이르는 왕복 60km 구간이다. 이 구간은 평일에 교통량이 크게 많지 않고 처음 2km를 제외하면 등고차가 거의 없으므로, DMFC 연료전지 차량의 SOC의 충·방전 실험을 하는데 유리한 조건을 갖추고 있다.

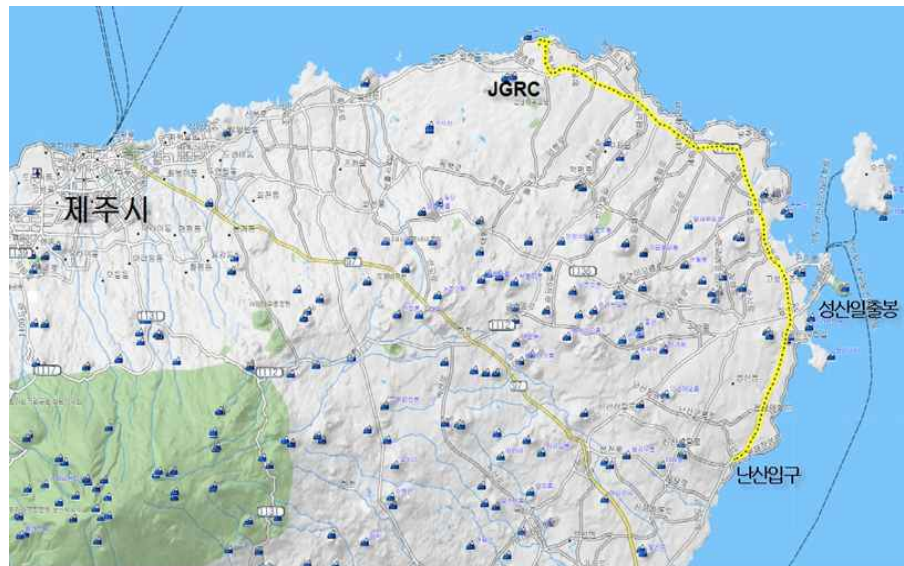


Fig. 31. Experimental driving directions for DMFC hybrid electrical vehicle road test

Fig. 32. SOC curve under charging/discharging in DMFC hybrid electrical vehicle

Fig. 32의 차량의 SOC의 변화 추이를 보면, 그림 B와 B'는 연구원에서 최초 출발하는 약 2km의 구간이며, 등고의 경사가 B에서는 전기자동차 배터리의 SOC 감소가 약간 많아지고 있으며, 지점 B'에서는 SOC의 감소가 적어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 도로의 경사구간에서 오르막 도로의 소모동력의 증가에 의한 SOC의 감소가 커진 것이고, 내리막 도로에서는 소모 동력 감소 및 연료전지 충전시스템의 충전전류에 의한 SOC의 증가로 인하여 전체 SOC 감소량이 적어졌다. 지점 A는 난산 입구에 도착하여 약 5분간 정지한 후 회유한 지점이다. A점의 그래프를 보면 A구간의 SOC가 증가하는 것을 볼 수 있다. 즉 정지 시간 동안 전기자동차 배터리의 동력 소모가 거의 없고 연료전지의 출력은 전기자동차 배터리에 충전되므로 SOC가 증가한 것이다. 지점 C는 신호 대기 중에 도로에 정차한 경우로 이때도 지점 A와 같이 충전에 의하여 SOC가 증가 할고 있음을 알 수 있다.

이 실험을 통하여 전기자동차에 탑재한 연료전지 알고리즘을 이용한 시스템이 전기자동차에 정상적인 충·방전을 수행하고 있음을 보여준다.

Fig. 33. Charging/discharging speed pattern of SOC in DMFC hybrid electrical vehicle

Fig. 33은 2 kW급 연료전지 자동차 SOC의 충·방전 특성 실험 속도 패턴을 나타내었다. 지점 A는 속도가 0로인 지점이며 Fig. 29 전기차량의 난산 입구 회유하는 구간이며 난산구간에서 약 5분간 정차한 구간을 보여준다, 또한 0으로 구간이 보이는 부분은 신호 대기 중에 정차한 횟수를 보여준다.

Fig. 34. SOC curves of $LiFePO_4$ battery with/without DMFC fuel cell

Fig. 34는 동일 구간의 연료전지를 탑재 유·무에 대한 비교 그래프이다. 연료전지 동력시스템에 의한 충전 중 운전 특성의 SOC 변화와 연료전지 동력시스템에 의한 충전을 하지 않았을 때의 SOC 변화를 비교한 것이다. 실험에서와 같이 동일한 구간 왕복 60km 거리 주행에 있어서 초기 SOC 값은 95%로 동일 하지만 충전을 하면서 운행중 도착했을 때의 잔류 SOC 잔량은 약 30%인데 비하여 충전하지 않고 운행한 경우의 SOC 잔량은 약 15% 정도였다. 이는 약 90분 정도의 운전 시간 동안 약 15%의 배터리 충전이 이루어진 것을 알 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 전기자동차 충·방전 특성 향상을 위한 2 kW급 DMFC 설계 방법을 제시하였다. 2 kW급 DMFC 설계는 2 kW급 DMFC 연료전지 스택, 양방향 DC-DC 컨버터 설계, 충·방전 알고리즘을 제시하였다. 개발된 2 kW급 DMFC 스택과 시스템은 기존의 1.2 kW급 3륜 전기스쿠터용 DMFC 시스템 보다 큰 출력을 나타내었다. 직접 설계 및 제작한 2 kW급 연료전지 시스템을 AD 모터스의 전기차량에 탑재하여 실제 주행 테스트와 시스템 알고리즘을 이용하여 충·방전 실험을 수행하여 제안한 방법이 효율적임을 확인하였다.

2 kW급 DMFC 시스템의 제작, 제어기 알고리즘과 Labview 프로그램을 자체적으로 수행하였으므로 대용량 및 고출력 특성이 다른 연료전지 시스템에도 쉽게 적용 할 수 있다. 제안한 알고리즘을 보완하고 DMFC의 용량을 확대하여 전기자동차에 적용할 수 있으면 기존의 내연기관에 비하여 고효율이고 전기자동차의 단점을 보완할 수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] F. Zenith and U. Krewer, "Modelling dynamics and control of a portable DMFC system," *Journal of Process Control*, vol. 20, pp. 630-642, 2010.
- [2] 조영래, 임성엽, 김상경, 백동현, 이병록, 이봉도, 정두환, 유지윤, "소형 전동차에 적용된 직접 메탄올 연료전지 시스템의 설계 및 동특성," 한국자동차공학학회 학술대회, 2009.
- [3] 조창환, 김용찬, 장여수, "메탄올 농도에 따른 직접 메탄올 연료전지의 성능 해석," 설비공학논문집, 제20권. 제3호, pp. 197-204, 2008.
- [4] Y. Yang, Y. C. Liang, and K. Yao. "Low power delivery with programmable concentration control for micro direct methanol fuel cell," *IEEE International Conference on Sustainable Energy Technologies*, pp. 274-278, 2008.
- [5] 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, 2010.
- [6] 전자기술, "장시간의 동작을 위한 배터리 활용 기술(II)_LDO/DC-DC 컨버터/강압/승압 컨버터회로/차지펌프/저전압동작 IC," (주)첨단, 2009.
- [7] 정재화, "연료전지와 납축전지를 이용한 외부충전 방식 하이브리드 자동차의 운전전략에 관한 연구", 한국과학기술연구원, 석사학위논문, 2008.
- [8] 이형숙, 배병찬, 이재영, 임태훈, 하홍용, "직접메탄올 연료전지의 장기운전 특성 분석 및 성능향상 연구," 신에너지학회 논문집, 제16권. 제1호, pp. 31-39, 2005.
- [9] A. Heinzl, V. M. Barragen, "A review of the state of the art of the methanol crossover in direct methanol fuel cell," *J. Power Sources*, pp. 70-74, 1999.
- [10] Y. Hou, M. Zhuang, and G. Wan, "A transient semi-empirical voltagemodel of a fuel cell stack," *International Journal of Hydrogen Energy*,

pp. 857-862, 2007.

- [11] 김홍건, 광이구, 강영우, 김태진, 광상희, 안계혁, 박경세, “DMFC에서 온도 및 유량이 성능에 미치는 영향에 관한 연구,” 한국신재생에너지학회 춘계 학술대회논문집, pp. 656-659, 2009.
- [12] 김성호, 장한근, 장수진, “연료전지 시스템용 양방향 DC-DC 컨버터 설계 및 제어,” 전력전자학술대회논문집, no. 2, pp. 479-483, 2004.
- [13] F. Z. Peng, H. Li, G. J. Su, and J. S. Lawler, “A new ZVS bidirectional DC-DC converter for fuel cell and battery application,” IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 19, no. 1, pp. 54-65, 2004.
- [14] 김인주, 이성세, 문건우, “42V 차량용 에너지 관리 장치를 위한 양방향 DC/DC컨버터의 개발,” 전력전자학술대회논문집, no. 1, pp. 446-450, 2004.
- [15] Y. Miura, M. Kaga, Y. Horita, and T. Ise, “Bidirectional isolated dual full-bridge dc-dc converter with active clamp for EDLC,” Energy Conversion Congress and Expo, pp. 1136-1143, 2010.
- [16] H. Tao, A. Kotsopoulos, J. L. Duarte, and M. A. M. Hendrix, “Transformer-coupled multiport ZVS bidirectional DC-DC converter with wided input range,” IEEE Trans. on Power Electronics, vol. 23, no. 2, pp. 771-781, 2008.
- [17] L. Solero, A. Lidozzi, and J. A. Pomilio, “Desigen of multiple-input power converter to hybrid vehicles,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 20, no. 5, pp. 1007-1009, sep. 2005.
- [18] W. Jiang and B. Fahimi, “Active current sharing and source management in fuel cell-battery hybrid poewr system,” IEE Trans. Ind. Electron, vol. 56, no. 4, pp. 1212 -1222, 2009.
- [19] 조창환, 김용찬, 장영수, “메탄올 농도에 따른 직접 메탄올 연료전지의 성능 해석,” 설비공학논문집, 제20권, 제3호, pp. 197-204, 2008.
- [20] 윤호진, 홍철호, 김동진, “상온 작동 2W급 직접 메탄올 연료전지 모듈의 연료공급 특성 연구,” 대한전기학회 하계학술대회논문집, pp. 16-18, 2008.

- [21] 우동근, 주동명, 김윤성, 오재기, 이병국, “150W급 휴대용 연료전지 Power Pack 설계 및 제작,” 전력전자학회논문지, 제17권, 제6호, pp. 553-561, 2012.
- [22] 고백군, 오인환, 홍성안, 하홍용, “공기호흡형 휴대용 직접 메탄올 연료전지의 성능 특성,” 한국에너지공학회 추계학술발표대회논문집, pp. 215-218, 2002.
- [24] 정춘화, 박영일, 임원식, 차석원, “연료전지 하이브리드 자동차의 최적제어,” 한국자동차공학회논문지, 제20권, 제2호, pp. 135-140, 2012.
- [25] 김기웅, 김서영, 강병하, “직접메탄올 연료전지 BOP 시스템에서 연료/공기 공급 장치의 선정,” 한국유체공학학술대회, pp. 26-28, 2010.