

지게차용 DMFC와 리튬배터리 하이브리드시스템의 혼합 적용에 대한 연구

주용수*, 임동진*, 김홍건**,*,#, 곽이구**,*,#
*전주대학교 탄소융합공학과, **전주대학교 기계자동차공학과

A Study on a Combined DMFC-Lithium Battery Hybrid System for a Forklift

Yong-Soo Ju*, Dong-Jin Lim*, Hong-Gun Kim**,*, Lee-Ku Kwac**,*,#

*Department of Carbon Convergence Engineering, Jeonju University

**Department of Mechanical and Automotive Engineering, Jeonju University

(Received 28 December 2020; received in revised form 04 January 2021; accepted 11 January 2021)

ABSTRACT

This paper explains a DMFC-Lithium Battery hybrid system applied to a forklift. A conventional Lead Acid battery forklift has several problems: long charging times, short operation times, and frequent battery replacements. As a result, hydrogen-powered forklifts are replacing Lead acid battery-powered forklifts due to their shorter refueling time and longer operation times. However, in doing so, we are confronted with the problem of a high hydrogen refueling infrastructure. A Direct Methanol Fuel Cell (DMFC), on the other hand, is an eco-friendly generator that directly converts the chemical energy of methanol into electricity. In general, DMFC is regarded as a small power generator under kW power. In this paper, a DMFC-Battery hybrid system is applied to a 1.5 ton forklift by increasing the power output of the DMFC stack and utilizing the high charge-discharge characteristics of a lithium battery.

Key Words : Direct Methanol Fuel Cell(직접 메탄올 연료전지 시스템), Lithium Battery(리튬배터리), Hybrid System(하이브리드 시스템), Stack(스택), Forklift(지게차)

1. 서 론

실내 물류현장에서는 NOx, SOx 등 미세먼지 발생과 소음문제 등으로 엔진지게차 사용이 법적으로 금지되어 있다. 납축배터리를 장착한 전동지게

게차가 실내에서 주로 사용되고 있으나 8시간 충전으로 2~3시간만 사용이 가능하여 8시간 작업기준 2~3개의 배터리 교체로 인한 소요시간, 배터리 출력저하에 따른 생산성 하락이 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 배터리 장시간 충전, 짧은 사용시간, 배터리 교체소요시간, 생산성 하락문제를 해결할 수 있는 대안으로 수소연료전지(PEMFC, Proton Exchange Membrane Fuel Cell) 지게차 적용이 활발히 진행되고 있다^[1,2].

Corresponding Author : kwac29@jj.ac.kr

Tel: +82-63-220-3063, Fax: +82-63-220-3063

Hydrogenics사가 2005년 캐나다 GM공장에서 PEMFC 지게차 실증을 성공리에 마친 후로 Toyota는 10kW PEMFC 지게차를 오사카 간사이국제공항에서 실증 테스트를 진행하고 있으며, Plug Power도 1.9kW~12kW 출력의 PEMFC 지게차를 자동차 공장, 대형 유통물류센터 등 중심으로 기존의 납축배터리 전동지게차를 대체해 나가고 있다^{3,4)}.

PEMFC 지게차는 환경오염물질 배출이 전혀 없고 배터리처럼 장시간 충전도 필요 없으며 5분 이내 짧은 수소 연료충전만으로 8시간 연속사용이 가능하고 배터리를 보관하는 면적을 많이 필요로 하지 않는다. 그러나 PEMFC 지게차는 연료인 수소가스 충전을 위한 인프라 구축이 쉽지 않고 많은 비용이 소요된다는 것이 보급 활성화에 걸림돌로 작용하고 있다. 그리고 한 사업장내에서 지게차 사용대수가 50대 이상으로 많지 않을 경우 경제성 확보가 쉽지 않아 적용에 제한이 뒤따른다^{5,6)}.

연료전지시스템의 종류 중 메탄올을 연료로 사용하는 DMFC(Direct Methanol Fuel Cell) 시스템은 PEMFC의 수소충전인프라 구축 문제를 극복하기 위한 방안으로 제시되어 왔다. 그러나 DMFC는 5W미만의 마이크로나 Light Traction 전원용으로 적용이 제한되는 것으로 인식되어왔다⁷⁾.

독일의 Julich GmbH에서는 1kW DMFC 시스템과 45Ah 배터리의 하이브리드 시스템을 Class III 지게차(보행식)에 적용하였으며, 미국의 Oorja Protonics도 1kW를 Class III 지게차(보행식)에 적용하였다⁸⁾. 그러나, DMFC의 경우 PEMFC에 비해 Power Density가 낮고 음극에서 양극으로 methanol crossover현상으로 인한 낮은 전류밀도 면적으로 대면적 스택제작에 어려움이 있어 실내 유통물류센터에서 주로 사용되고 있는 1.5톤 지게차에는 적용이 어려웠다⁹⁾. 본 논문에서는 수소 연료전지 중 수소 충전 인프라 구축이 필요 없고 연료공급이 용이한 DMFC 2kW급 스택과 순간 최대출력이 가능한 3.6kWh 리튬배터리를 하이브리드 시스템으로 구성하여 실내에서 주로 사용하는 1.5톤급 전동지게차의 280Ah, 48V 납축배터리를 탈거하고 동일한 부피에 DMFC-배터리 하이브리드 시스템으로 교체하여 지게차 연비측정의 평가매뉴얼 JIVAS F30, JIS D 6202(일본), VD12198(독일)에

따라 차량전진, 포크상승, 포크하강, 차량후진, 대기모드 등 부하, 무부하에 따른 리프팅 및 주행실험 적용을 통해 실내에서 주로 사용되는 1.5톤급 전동지게차에도 수소충전 인프라 구축문제가 있는 PEMFC 대안으로 DMFC-배터리 하이브리드 시스템이 적용 가능하다는 가능성을 제시하고자 한다.

2. 지게차용 DMFC-배터리 하이브리드 시스템

DMFC 지게차는 Fig. 1과 같이 DMFC -배터리 하이브리드 시스템과 1.5톤급 지게차로 구분된다. 전동지게차 운전 특성을 고려하여 평균 출력을 담당하는 연료전지와 Peak 출력을 담당하는 배터리의 조합으로 구성되어 있으며, 이는 배터리의 운전시간한계의 단점을 보완하기 위함이다. 지속적인 발전이 가능한 DMFC의 장점과 순간 최대출력이 가능한 리튬배터리의 특성을 고려해 하이브리드 시스템으로 구성되었으며, DMFC 시스템에서 가장 핵심인 대면적 스택설계를 통해 DMFC-배터리 하이브리드 시스템을 도출하였다. 하이브리드 시스템은 MEA(Membrane Electrolyte Assembly)의 Active Area가 300cm², 분리판 면적 400cm² 80개의 셀로 구성된 DMFC 시스템과 75Ah 리튬배터리를 13S1P로 연결하여 DMFC-배터리 하이브리드 시스템을 구성하였다.

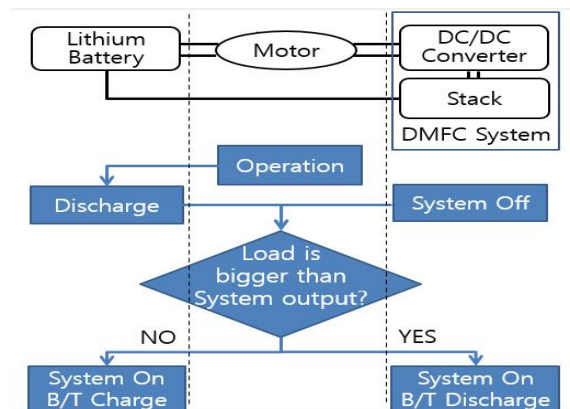


Fig. 1 Configuration diagram of DMFC-battery hybrid system

2.1 DMFC의 원리

DMFC의 기본구조는 Fig. 2와 같다. 애노드에서는 식(1)과 같이 메탄올과 물의 전기화학적 반응에 의해 메탄올이 산화되어 이산화탄소, 수소이온, 그리고 전자가 생성된다. 이산화탄소는 알카리 전해질과 반응하면 불용성 카보네이트를 형성하기 때문에 DMFC에서는 반드시 산성 전해질(Acidic Electrolyte)을 사용해야 한다. Anode에서 생성된 수소 이온은 고분자 전해질 막을 통해 Cathode로 이동하며, Cathode에서는 식(2)와 같이 산소와 수소이온 그리고 전자가 반응하여 물을 생성시키게 된다. 한편, Anode에서 생성된 전자는 외부 회로를 통해 이동하면서 화학반응을 통해 얻어진 자유 에너지의 변화량을 전기 에너지로 전환시키게 된다. 전체 반응식은 식(3)과 같이 메탄올과 산소가 반응하여 물과 이산화탄소를 생성시키게 된다^[10].

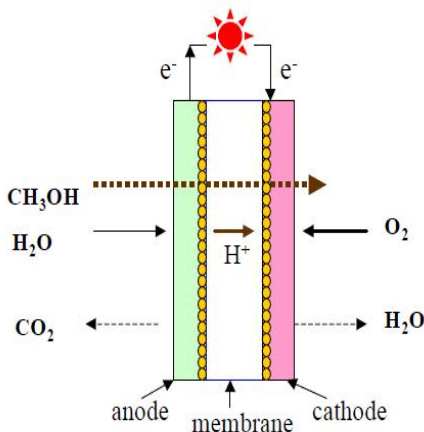
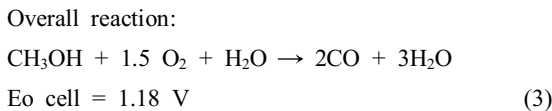
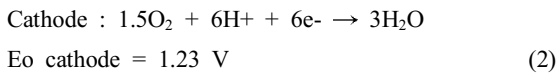
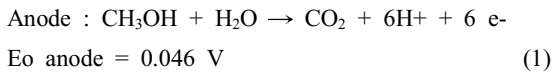


Fig. 2 The principle of DMFC

2.2 DMFC 시스템 적용의 한계

DMFC는 연료 개질기가 필요 없으며 운전장치 (BoP, Balance Of Plant)가 간단하여 시스템 중량 감소가 가능한 장점이 있으나, 연료극(Anode)에서의 반응이 수소가스를 사용하는 경우보다 느리다는 단점이 있다. 메탄올의 산화반응은 복잡한 중간단계를 거치면서 반응속도가 수소의 산화반응보다 느려 수소를 사용하는 경우보다 연료전지의 출력이 낮은 단점으로 주로 1kW미만 출력의 휴대용 전원 충전용, 이동전원용, 독립발전용, 군사용에 적합한 것으로 간주되어왔다. 독일의 Julich GmbH에서는 1.3kW DMFC 스택을 제작하여 1kW DMFC 시스템과 45Ah 리튬배터리의 하이브리드 시스템으로 800W의 부하를 필요로 하는 보행식 지게차에 적용하였다. Table 1은 미국의 Oorja Protonic사가 1kW DMFC와 리튬배터리에 비해 충전효율이 낮고 부피가 큰 납축배터리를 적용한 사양이다. Fig. 3은 2008년 Oorja Protonic사에서 Pallet Type 보행식 지게차에 장착한 1kW급 시스템의 제품으로 DMFC 용량이 작아 실내에서 주로 사용하는 1.5톤 이상급 전동지게차에는 적용할 수 없었다.

Table 1 Specifications of OorjaPac model

Items	Descriptions
Model Name	OorjaPac H (DMFC)
Output Voltage	24/36/48 VDC
Output Current:	42/28/21 A
Lead Acid Battery	12 kWh
Dimensions(mm)	775 x 324 x 343
Weight(kg)	77



Fig. 3 DMFC forklift with OorjaPac model H

2.3 DMFC 스택 출력 증가

현재 사용되고 있는 1.5톤급 전동지게차의 특성을 고려해볼 때 지게차의 Peak 부하를 순간 최대 출력이 가능한 3.6kWh 리튬배터리가 담당한다 하여도 주행모터에서 요구되는 5kW급 이상 출력 대응을 위해서는 DMFC 시스템 출력은 1.5kW급 이상 유지가 필요하다. DMFC 시스템 출력 증가를 위해서는 필연적으로 대면적 MEA를 활용한 스택 적층기술, 연료극과 공기극의 차압을 고려한 분리판의 유로설계 능력, 공기 물 배출을 고려한 분리판 설계능력, 가스켓 소재 특성을 고려한 엔드플레이트 제작 등 복합적인 기술이 필요하다. 또한, Fig. 4처럼 스택 제작 공정 간소화를 위해 제작된 분리판에 가스켓을 일체화하는 방법을 강구하였으며, 매니폴드와 유로와의 연결을 위해 분리판 측면에서 뚫은 홀을 통한 연료 누수 문제를 해결하기 위해 가스켓 제작과 hole sealing을 동시에 수행하였다. Fig. 5는 분리판 및 가스켓 일체화를 통해 제작 공정을 단순화에 의해 제작된 스택이다.



Fig. 4 Bi-polar plate design integrated with gasket

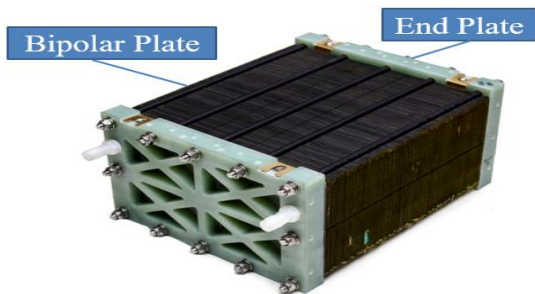


Fig. 5 2kW DMFC stack

Table 2에서 나타나듯 MEA 활성 면적은 300cm², 분리판 면적 400cm², 셀 전압 0.44V, 전류밀도 190 mA/cm², 셀별 출력 25W, 스택출력은 2,006W 인 스택제작 설계를 토대로 연료극 10 line, 공기극 15 line의 평행-곡사형 구조 유로가 적용된 분리판을 사용하여 각 Cell 간 균일한 체결압 스택 어셈블리 최적화를 통한 80cell 스택을 제작하였다.

2.4 고효율 방전 리튬배터리 팩 제작

DMFC-배터리 하이브리드 시스템 구성에 있어 배터리는 방전효율이 높은 75Ah 리튬폴리머 배터리를 13S1P로 조합하여 3.6kWh (48V-75Ah)의 배터리팩을 제작하였다. Table 3는 DMFC 시스템에 적용한 배터리팩의 사양이다. Fig. 6은 배터리를 보호하기 위한 외함의 모습이며 전류의 입력과 출력 등이 가능하도록 제작되었다.

Table 2 Suggested stack design

Items	Descriptions
Active Area	300 cm ²
BP Area	400 cm ²
Pitch/Cell	2.4 mm
Cell Number	80 cell
Voltage/Cell	0.44 V
Current Density	190 mA/cm ²
Cell Power	25 W
Stack Power	2006 W



Fig. 6 48V, 75Ah Li-battery pack

Table 3 Suggested Li-battery pack design

Items		Descriptions
Typical Capacity		75Ah
Nominal Voltage		48.1V
Charge Condition	Max. Current	50A
	Voltage	53.3V
Discharge Condition	Continuous Current	75.0A
	Peak Current	150.0A
	Cut-off Voltage	41.6V
Cycle Life		> 1000 Cycles
Operation Temp.	Charge	0 ~ 40℃
	Discharge	-20 ~ 60℃
Dimension	Thickness(mm)	190.0 ± 0.5
	Width(mm)	320.0 ± 0.5
	Length(mm)	409.0 ± 0.5
Weight(kg)		28.5 ± 1.0

3. 실험결과

DMFC-배터리 하이브리드 시스템은 기존의 전동지게차의 납축배터리를 탈거하고 동일한 부피에 하이브리드 시스템을 대체하므로 사이즈 최소화 요구되어진다. 제작된 1.5kW DMFC시스템은 안정적으로 지속적인 출력을 발생해야 하므로 부하 전류에 대한 출력 특성 실험이 필요하다. 리튬배터리는 순간적인 최대출력이 가능해야 하므로 방전 심도(DOD, Depth Of Discharge) 85%수준으로 부하 특성에 따른 충방전 테스트를 통해 배터리 성능 확인이 필요하다. DMFC-배터리 하이브리드시스템은 DMFC에서 안정적인 출력으로 부하에 대응하다가 지게차 운전모드에 따라 순간적으로 많은 전류를 필요로 할 경우 배터리와 DMFC가 동시에 대응 가능한지에 대한 실험이 필요하다.

또한, 전동지게차는 대기모드, 주행모드, 포크 리프팅모드, 포크하강모드 등에 따라 부하에서 요구되는 전류량이 달라 DMFC-배터리 하이브리드 시스템을 전동지게차 장착하여 운전모드에 따른 소비전류 분석을 통해 1.5톤 전동지게차에 적용 가능한지에 대해 실험하고자 한다.

3.1 DMFC 스택 실험결과

Fig. 7은 DMFC 스택의 성능평가 그래프이며, 실험조건은 연료극에 0.9M의 메탄올과 공기를 각각 화학양론비 2.5로 공급하면서 부하 전류를 변화시켜 출력 특성을 확인하였다. 스택에서 얻을 수 있는 모든 정보를 수집할 수 있도록 데이터 수집 장치(DAQ)를 통해 실험은 진행되었으며, 37.1V(0.464 V/cell) - 59.55A 조건으로 운전하여 2,209W의 출력을 얻었다. 정전류(55A) 모드로 스택의 운전 평가를 진행한 결과로는 특별한 성능 감소 없이 평균 출력 2.1kW로 안정적인 출력을 나타내어 일반적인 BoP 전력손실을 30%를 감안 하더라도 시스템 평균출력은 1.5kW 이상이 가능함을 확인하였다.

3.2 리튬배터리 팩 실험결과

리튬배터리 팩의 전기적 특성평가를 진행하였으며 실험조건은 방전 전류 - 75A(1-Crate), 방전 시작 전압 - 53.56V(4.12V/Cell), 방전 종지 전압 - 44.2V(3.40 V/Cell), DOD 85% (63.75Ah) 충·방전 평가를 진행하였다. 1C Rate (75Ah) 방전에 DOD(방전심도) 85% 수준으로 충·방전 평가를 한 결과 64.75Ah의 용량이 측정되었으며, 이는 75Ah의 용량 중 86.3%에 해당하는 양으로, 배터리의 용량은 우수함을 확인할 수 있었다. 방전 중 배터리 최고 온도는 37.5℃로 안정적인 온도 수준을 유지되었다. Fig. 8은 리튬배터리 팩 충방전 실험결과이며 전류의 증가에 따라

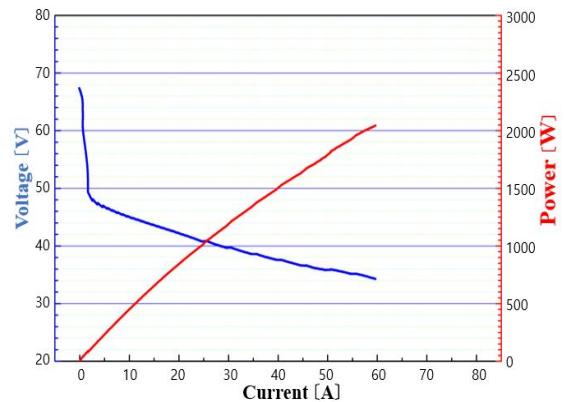


Fig. 7 Test result of DMFC stack

전압이 감소됨을 나타내고 있다. 부하는 100%, 75%, 50%, 75%, 다시 100%로 변동특성을 부여하여 실험하였고 결과적으로 부하변동이 원활히 이루어짐을 확인하였다.

3.3 DMFC-배터리 하이브리드 시스템 실험결과

Fig. 9는 최종 출력 4kW의 정전력 운전을 통한 조건에서의 DMFC-배터리 하이브리드시스템 출력 특성 실험 결과를 나타내고 있다. DMFC와 배터리 출력을 합하여 부하 인가시 필요로 하는 4kW 대응을 위해 배터리 목표 출력 2.5kW, DMFC 시스템 목표 출력 1.5kW 가능한지에 대해 실험하여 데이터를 도출한 결과, DMFC 시스템 평균 출력은 1.504kW(최대 1.648kW, 최소 0.379kW), 배터리 시스템 평균 출력은 2.495kW(최대 3.621kW, 최소 2.352kW)으로 확인되었다. 하이브리드 시스템에 적용된 3.6kWh 리튬배터리 팩의 경우 DOD 85%를 고려할 경우 3.10kW 출력이 가능하지만, 리튬배터리는 고효율 방전특성에 따라 3.6kW이상 순간 출력이 가능하다^[11].

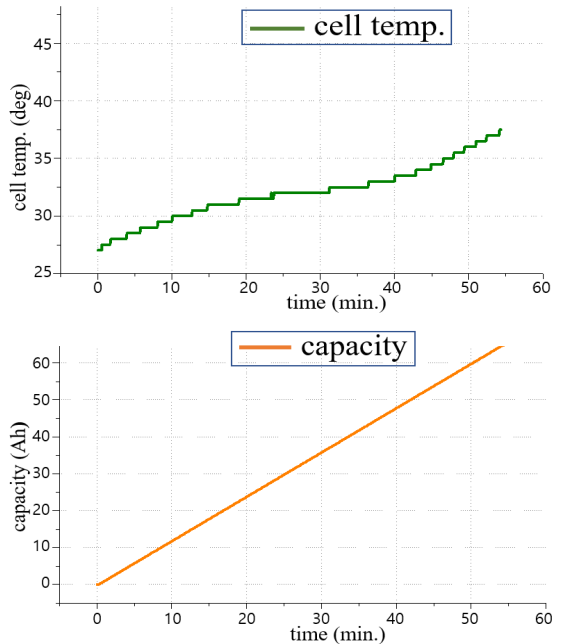
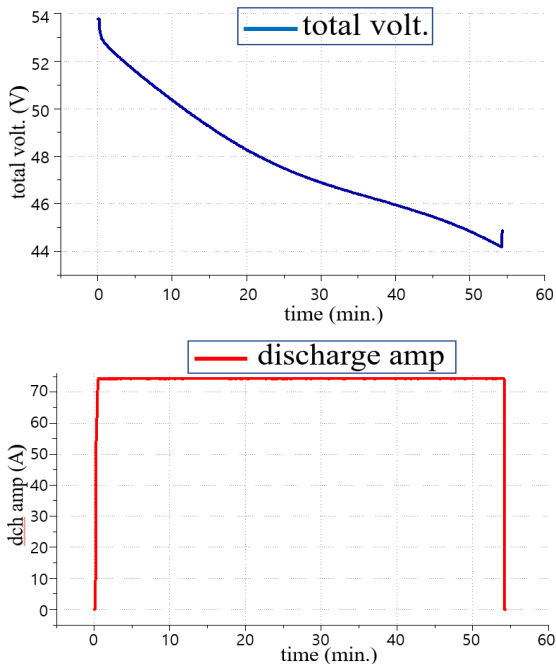


Fig. 8 Test result of lithium battery pack

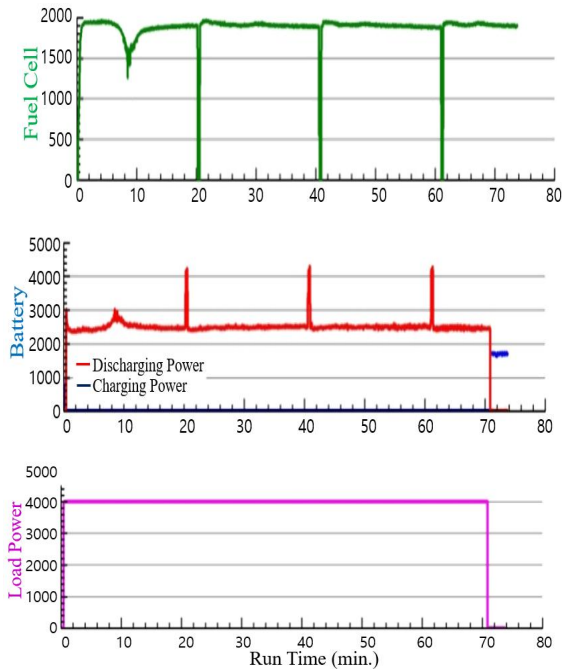


Fig. 9 Characteristic of power output of DMFC-battery hybrid system

3.4 지게차 연동실험결과

제작된 DMFC-배터리 하이브리드 시스템이 1.5톤 전동지게차에 적용이 가능한지 1.5톤 전동지게차의 납축배터리를 탈거한 후 동일면적에 하이브리드시스템을 장착하여 지게차 연비측정의 평가매뉴얼 JIVAS F30(일본)에 따라 부하, 무부하에 따른 리프팅 및 주행실험 등을 통해 소비전류를 분석하였다. 실험을 위해 사용된 1.5톤 전동지게차에서 가장 많이 판매되는 (주)수성의 SBR-15A 모델을 선정하였으며, 모터사양은 주행모터 AC5.3kW, 유압모터 DC6.3kW이다.

DMFC-배터리 하이브리드시스템을 탑재한 실내용 지게차 운전 패턴에 따른 소비 전류 분석 결과 Fig. 10에서 나타나듯이 포크상승할 경우 가장 많은 전류가 소모되며, 포크를 낮추는 모드에서 전류가 가장 적은 전류가 소모되는데, 운전중 평균 소비전류는 40Ah이다. Table. 4는 전동지게차가 포크상승, 차량전진, 차량후진, 대기모드에 따른 각각의 전류 소모량을 나타내고 있다. 포크상승시 가장 많은 전류 114.7Ah가 소모되며, 차량전진시 10Ah, 후진시 14.4Ah, 대기모드일 경우에는 6.7Ah 전류가 소모됨을 확인할 수 있었다. 또한, 포크 틸트시와 트럭 후진시에는 DMFC 시스템 평균출력 31Ah 보다 낮은 20Ah 전류가 소모되어 배터리 충전이 가능함을 확인할 수 있었다.

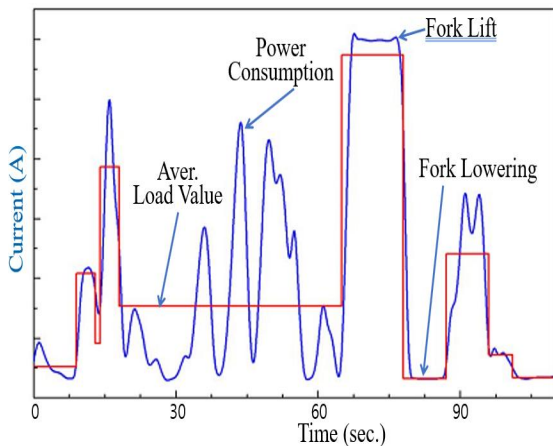
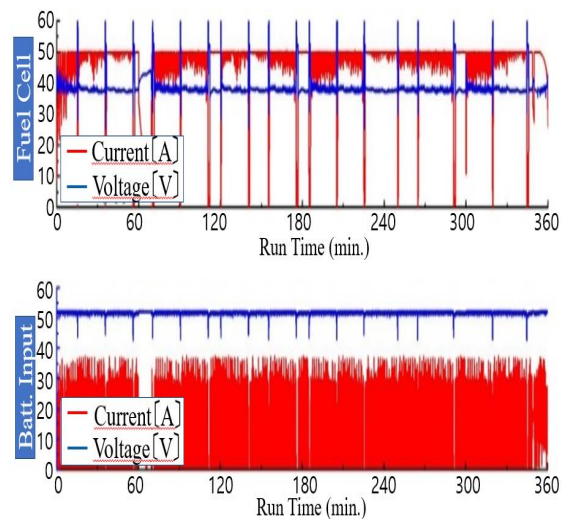


Fig. 10 Analysis of operation characteristics of forklift

Table 4 Power consumption of forklift with operation mode

Oper. Mode	Ave. Con(A)	Time (sec)	Oper. Mode	Ave Con(A)	Time (sec)
Truck Fwd	10.4	10	Fork Lift	114.7	13
Fork Fwd	41.6	4	Fork Low	6.4	9
Fork Tilt	18.2	1	Fork Rev	48.1	9
Fork Lift	77.3	4	Truck Rev	14.4	5
Truck Travel	30.8	47	Truck Stand	6.7	9

Fig. 11에서 전동지게차에서 소비되는 평균 소비전력 4kW(48V, 83.3Ah) 부하대응을 위해 DMFC에서는 평균 30Ah이상 출력으로 대응 가능하고 나머지 부족한 전류량은 배터리에서 담당함을 확인 가능하다. 전동지게차 운전시 Peak 부하 대응은 DMFC에서 일정한 전류(평균전류 30Ah)를 담당하고 리튬배터리에서 순간적으로 100Ah 이상의 전류 출력으로 효과적으로 대응할 수 있음을 확인하였다.



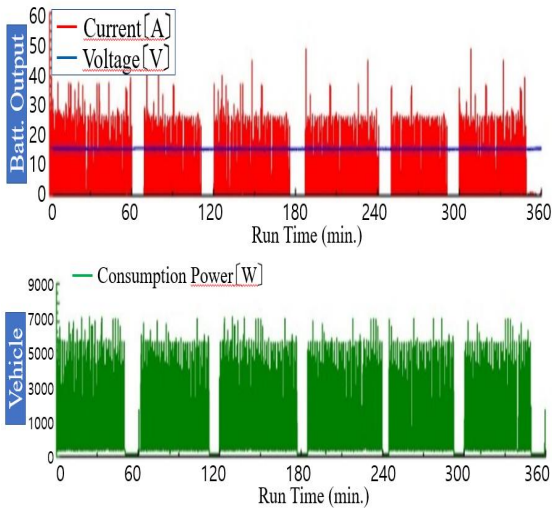


Fig. 11 Analysis of operation characteristics of forklift

4. 결론

실내에서 사용되는 전동지게차는 장시간 배터리 충전과 짧은 사용 시간으로 인해 5분 이내의 짧은 연료충전과 8시간 연속운전 가능 등으로 PEMFC 지게차가 기존 납축배터리 전동지게차를 대체해 나가고 있다. 그러나, PEMFC 지게차는 수소 충전 인프라 구축문제가 있어 이에 대한 대안이 필요한 상황이다. 연료공급이 용이한 DMFC는 일반적으로 낮은 Power Density와 낮은 전류밀도 면적으로 인해 kW이상 시스템 제작이 어려워 실내에서 주로 사용되는 1.5톤 전동지게차에는 적용할 수 없었다. 본 논문은 대면적 MEA(Active Area-300cm²) 설계를 통한 2kW 스택과 방전효율이 높은 리튬배터리 팩 3.6kWh를 DMFC-배터리 하이브리드 시스템으로 제작, 전동지게차에 장착하여 실험한 결과 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 개발된 DMFC 시스템 평균 출력은 1.504 kW, 최대 1.648kW, 최소 0.379kW임을 확인할 수 있었다. 또한, 리튬배터리 팩(48V, 75Ah) 평균 출력은 2.495kW, 최대 3.621kW, 최소 2.352kW임을 확인하였다.

2. DMFC-배터리 하이브리드시스템 구성을 통해 전동지게차에서 필요로 하는 평균부하 4.0 kW 대응을 위해 DMFC 시스템 평균출력 1.504kW와 리튬배터리 팩 평균출력 2.495kW를 합하여 대응이 가능함을 알 수 있었다. 또한, Peak 부하시에는 리튬배터리가 순간적으로 100Ah 이상 출력으로 부하에 대응이 가능함이 확인하였다.
3. DMFC는 kW급 시스템 제작이 어려워 1.5톤 전동지게차에 적용이 어려웠으나 DMFC-배터리 하이브리드시스템 구성을 통해 1.5톤 전동지게차 적용 외에도 전동청소차, AGV, 스쿠터 등 다양한 모빌리티 분야에 적용이 가능할 것으로 기대된다.

후 기

“이 논문은 정부의 재원으로 2016년도 한국연구재단(No. 2016R1A6A1A03012069)의 지원을 받아 수행된 결과임.”

REFERENCES

1. Iain, S., Daniel S., Anthony V. A., Paul, B., Paul, E. D., Paul, E., Nilay, S., Kate. R. W., “The role of hydrogen and fuel cells in the global energy system”, Energy & Environmental Science, Issue 2, pp. 463~491, 2019.
2. Ehsos, H., Hamidreza, S., Stanko, D., Michael, F., Kaamran, R., “Assessing the potential of fuel cell-powered and battery-powered forklifts for reducing GHG emissions using clean surplus power, a game theory approach”, International Journal of Hydrogen Energy, Vol. 45, Issue 59, pp. 34532~34544, 2020.
3. Vicki, P. M., “Fuel cells in forklifts extend commercial reach”, Fuel Cells Bulletin, Vol. 2010, Issue 9, pp. 12-19, 2010.
4. Schultz, T., Zhou, S., Sundmacher, K., “Current Status of and Recent Developments in the Direct

- Methanol Fuel Cell”, *Chemical Engineering Technology*, Vol. 24, Issue 12, pp. 1223~1233, 2001.
5. Antonino S. A., David S., Michael S., Bernd B., Claudia D. U., Francesco L. Vincenzo, B., “Selectivity of Direct Methanol Fuel Cell Membranes”, *Membranes*, Vol. 4, Issue 4, pp. 793~809, 2015.
 6. Wasmus, S., Küver, A., “Methanol oxidation and direct methanol fuel cells: a selective review”, *Journal of Electroanalytical*, Vol. 461, Issue 1~2, pp. 14~31, 1999.
 7. Kamarudin, S. K., Acmad, F., Daud, W. R. W., “Overview on the application of direct methanol fuel cell(DMFC) for portable electronic devices”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 34, Issue 16, pp. 6903~6916, 2009.
 8. Kimiaie, N., Wedlich, K., Hehemann, M., Lambertz, R., Muller, M., Korte. C., Stolten, D., “Results of 20,000h Lifetime Test of a 7kW Direct Methanol Fuel Cell(DMFC) Hybrid System -Degradation of the DMFC Stack and the Energy Storage”, *Energy & Environmental Science*, Issue. 9, pp. 3013~3025. 2014.
 9. Halme, A., Selkainaho, J., Nopone, T., Kohone, A., “An alternative concept for DMFC-Combined electrolyzer and H₂ PEMFC”, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 41, Issue. 4, pp. 2154-2164, 2016.
 10. Li, W., Wang, X., Chen, Z., Waje, M., Yan, Y., “Pt-Ru Supported on Double-Walled Carbon Nanotubes as High-Performance Anode Catalysts for Direct Methanol Fuel Cells”, *The Journal of Physical Chemical B*, Vol. 110, No. 31, pp. 15353~15358, 1998.
 11. Kennedy, B., Patterson, D., Camilleri, C., “Use of lithium-ion batteries in electric vehicles,” *Journal of Power Sources*, Vol. 90, No. 2, pp. 156-162, 2000.