

연료전지 하이브리드 차량의 효율적인 작동을 위한 배터리 충전 시기에 대한 연구

WEI JIN*, 권오정**, 조인수, 현덕수, 천승호, 오병수***[†]

*전남대학교 대학원, **삼성전자 생활가전사업부, ***전남대학교 기계시스템공학부

A Study of Battery Charging Time for Efficient Operation of Fuel Cell Hybrid Vehicle

WEI JIN*, OHJUNG KWON**, INSU JO*, DEOKSU HYUN* SEUNGHO CHEON*, BYEONGSOO OH***[†]

*Graduate School, Chonnam National Univ. 300 Yongbong-Dong, Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea

**Refrigerator R&D Team, Digital Appliance Network, SAMSUNG ELECTRONICS CO. LTD
No.272, Oseon-Dong, Gwangsan-Gu, Gwangju 506-723, Korea

***School of Mechanical Systems Engineering, Chonnam National Univ. 300 Yongbong-Dong,
Buk-gu, Gwangju 500-757, Korea

ABSTRACT

Recently, the research focused on fuel cell hybrid vehicles (FCHVs) is becoming an attractive solution due to environmental pollution generated by fossil fuel vehicles. The proper energy control strategy will result in extending the fuel cell lifetime, increasing of energy efficiency and an improvement of vehicle performance.¹⁾ Battery state of charge (SoC) is an important quantity and the estimation of the SoC is also the basis of the energy control strategy for hybrid electric vehicles. Estimating the battery's SoC is complicated by the fact that the SoC depends on many factors such as temperature, battery capacitance and internal resistance²⁾.

In this paper, battery charging time estimated by SoC is studied by using the speed response and current response. Hybrid system is consist of a fuel cell unit and a battery in series connection. For experiment, speed response of vehicle and current response of battery were determined under different state of charge. As the results, the optimal battery charging time can be estimated. Current response time was faster than RPM response time at low speed and vice versa at high speed.

KEY WORDS : FCHV(연료전지 하이브리드 자동차), Battery SoC(배터리 충전 상태), Current response (전류 응답), Speed response(속도 응답)

[†]Corresponding author : bysoh@chonnam.ac.kr

1. 서 론

환경오염과 지구온난화에 의한 세계 각국의 규제강화 및 현재 주요 에너지원인 석유 자원의 고갈문제가 있어 친환경적이며 에너지 변환효율이 높은 발전 시스템에 대한 관심이 증대되고 있다. 수소에너지를 이용한 연료전지는 높은 에너지 변환효율과 환경 친화성 등의 장점을 가지고 있어 환경 및 에너지 문제를 해결할 수 있는 최적의 대안으로 주목받고 있다³⁾.

연료전지 자동차에 대한 연구는 순수한 연료전지 자동차와 연료전지 하이브리드 자동차 기술로 나눌 수 있다. 순수한 연료전지 시스템의 경우 가격이 높고 연료전지를 전 출력 영역에서 운전하게 됨으로 시스템의 출력 효율이 좋지 않게 되며, 느린 동특성을 가지게 된다. 시스템의 동력성과 경제성의 요구를 만족시키기 위해서 연료전지 하이브리드 자동차에 대한 연구가 이루어지고 있다^{1,4)}.

연료전지 하이브리드 자동차는 비용을 줄일 수 있고, 연비와 시스템의 효율도 향상시킬 수 있는 장점이 있다. 하지만 연료전지 하이브리드 자동차는 구성 시스템이 복잡하고 정상적으로 구동하기 위해서 많은 에너지의 소모가 요구되기 때문에 하이브리드 구동 제어 전략이 필요하다⁵⁾.

본 논문에서 하이브리드 자동차를 효율적으로 운전하고 구동 시 에너지 손실을 최소화하기 위해서 연료전지 시스템 제어의 중요한 구성요소중 하나인 배터리의 충전시기에 대하여 연구하였다.

본 연구에 적용한 하이브리드 시스템은 연료전지, DC/DC 컨버터, 배터리를 직렬형으로 구성하였다. 시스템 제어와 데이터 수집은 LabVIEW 프로그램을 이용하였다. 배터리의 충전 상태에 따른 차량의 RPM과 battery 전류의 응답시간을 비교하였다. 위의 데이터를 통해 가속할 때 RPM과 전류의 응답 시간이 battery의 충전 상태에 영향을 있는 것을 알 수 있다.

2. 시스템 구성

본 연구에 사용된 연료전지 하이브리드 시스템

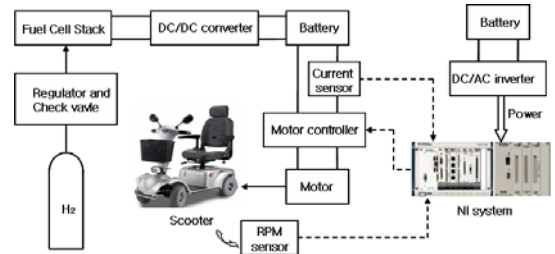


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Specification of scooter

Product		Electric Mobile Scooter K 100	
Size (L×W×H)	1410×630×1120mm	Battery	DC12V 40Ah/2pc
Weight	68kg	Power of motor	800W
Maximum driving speed	Forward 3km/hr Back 4.8km/hr	Maximum driving distance	25km

의 구성은 Fig. 1에 보여주는 것과 같다. 연료전지, DC/DC converter, battery를 직렬로 연결하여 하이브리드 구동 시스템을 구성하였다. Battery는 주로 에너지를 저장하고 공급하며 충전 상태에 따라 연료전지가 충전한다. DC/DC converter는 연료전지로부터 나오는 전압을 일정하게 변환시킨다. NI PXI장비와 motor controller를 연계하여 모터의 구동을 제어하였다.

스쿠터의 성능을 측정하는 전류센서 및 RPM센서를 이용하였다. LabVIEW 프로그램을 NI PXI 장비와 SCXI 시스템과 연동시켜 데이터를 수집하였다. NI 시스템에 battery의 전원을 DC/AC inverter를 이용하여 공급하였다.

2.1 차량

본 연구에서 사용한 차량은 상용제품인 전동스쿠터를 사용하였다. 제원은 Table 1과 같다.

2.2 하이브리드 시스템

하이브리드 시스템은 battery 와 연료전지를 이용한 직렬형 하이브리드 방식을 사용하였다.



Fig. 2 Nexa power module



Fig. 3 DC/DC converter

2.2.1 연료전지

본 시스템에 장착된 연료전지는 Ballard사의 Nexa Power Module 1.2kW급 PEMFC이고 연료 공급 및 온도, 습도 관리, 안전 등의 BOP시스템이 포함되어있다. 사진과 제원은 Fig. 2와 Table 2에 나타나 있다.

2.2.2 Battery

사용된 battery는 세방전지사의 12V, 40AH 납 축전지 2개를 직렬로 연결하였다.

배터리의 충전은 부동 충전 방법으로 일정 전압을 배터리에 인가함으로써 배터리를 충전하는 방식이다. 부동 충전 방법은 배터리의 사용수명이 길어지는 장점이 있다.

Table 2 Specification of Nexa power module

Type	PEM
Rated Output Power	1.2kW
Rated Output Current	46A
Output Voltage	26~43V
Size(L×W×H)	560×250×330(mm)
Activation area	107cm ²
Number of cell	47
Weight	12kg

Table 3 Specification of DC/DC converter

Input	Constant	IP 2W
	Rated voltage	DC 24V
	Voltage range	DC 24V~DC 48V
Output	Rated voltage	DC 24V ± 1%
	Rated current	DC 100A
	Over-current	Rated current × 110%
	Voltage range	DC 24V~DC 32V

2.2.3. DC/DC converter

DC/DC converter를 사용하여 연료전지로부터 나오는 전압을 battery전압인 정전압 24V로 일정하게 변환시킨다. Fig. 3과 Table 3에 DC/DC converter의 그림과 제원을 나타내었다.

2.3 데이터 수집

LabVIEW 프로그램으로 제어와 계측 시스템 개략도는 Fig. 4와 같다. 데이터 수집 하드웨어 모듈을 이용하여 아날로그 출력으로 구동제어를 실현하고 센서를 이용하여 데이터를 수집했다. 모터 컨트롤러를 통해서 아날로그 전압신호를 NI장치로 보내고 LabVIEW를 이용하여 정상상태에서 발전특성을 파악한다. 전류 센서와 RPM 센서의 신호를 NI장치로 수신한 후, LabVIEW를 이용하여 데이터 수집을 하였다. LabVIEW 프로그램을 개발하여 통신 방식을 동기화한 후 데이터를 Nexa의 통신 포트를 통해서 NI장치로 받았다. Fig. 5와 Fig. 6에 LabVIEW 프로그램의 일부분을 나타내었다.

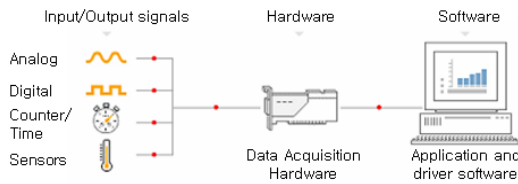


Fig. 4 Diagram of data acquisition by LabVIEW

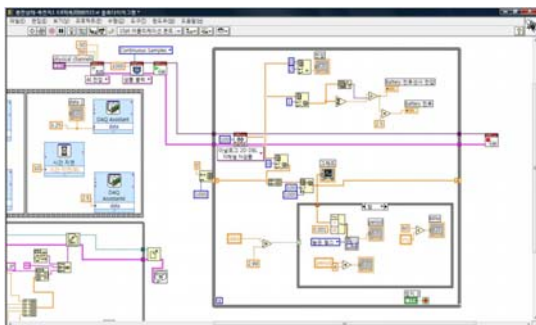


Fig. 5 LabVIEW program of data acquisition

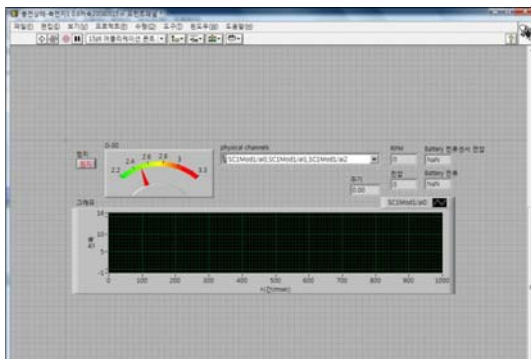


Fig. 6 Front panel of LabVIEW program

3. 실험 및 결과 분석

연료전지 하이브리드 시스템을 효율적으로 작동하기 위해서 battery의 충전 상태를 알아야 된다. Battery의 개회로로 전압과 내부저항은 사실상 충전 상태와 온도에 따라서 비선형적으로 변화되는

*개회로전압: 개회로에 있어서 그 개회한 점의 양단에 나타나는 전압
출처: 세방전지 산업용 ES series 배터리 카다로그

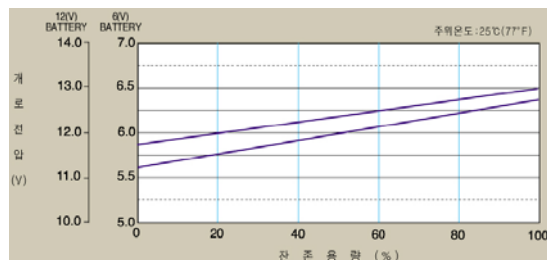


Fig. 7 Relation of battery's OCV and capacity*

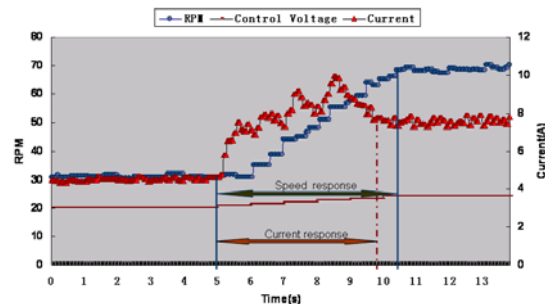


Fig. 8 Current and RPM response time (SoC 80%/low speed)

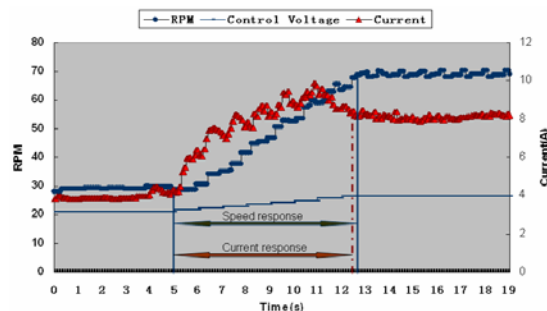


Fig. 9 Current and RPM response time (SoC 40%/low speed)

특성을 가지고 있으므로 battery 충전 상태(SOC)를 파악하는데 어려움이 있다⁶⁾. 운전 중 SOC를 측정하는 다양한 실험이 있지만^{7,8)} 본 실험은 주로 차량의 속도 응답과 battery의 전류 응답 시간을 통해서 battery의 충전 상태를 파악하고 충전시기에 대하여 알아보는데 초점을 두었다. Fig. 7의 개회 전압(OCV)과 방전상태의 관계를 참고로 battery의 실험 전 충전 상태를 저용량 40%와 고용량

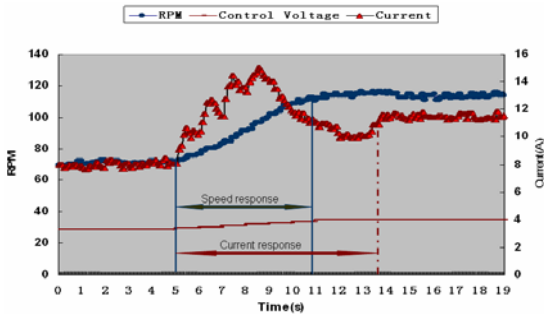


Fig. 10 Current and RPM response time(SoC 80%/high speed)

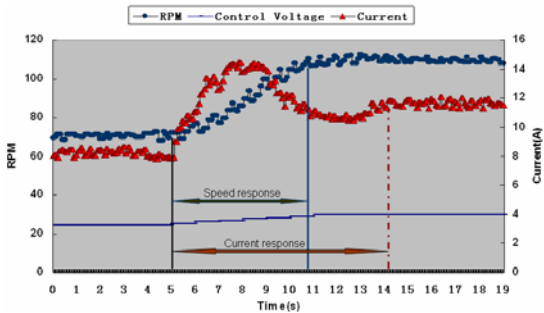


Fig. 11 Current and RPM response time(SoC 40%/high speed)

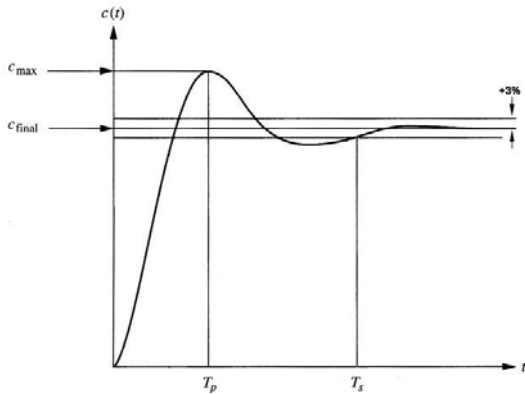


Fig. 12 Second-order underdamped response specification

80% 2부분으로 나누어 실험을 하였다.

Fig. 7을 기준으로 battery의 개로전압이 24.1V, 25.2V일 때 RPM과 전류 응답 시간을 측정하였다.

1. 저속으로 운전할 때의 RPM과 전류 응답 시간은 Fig. 8과 Fig. 9에 나타내었다.

Battery 충전상태가 80%일 때 : RPM응답시간이 5.5s이고 전류 응답시간이 4.8s이다. RPM 30에서 70까지 가속하는데 전류는 4.5A에서 7.6A로 증가하였다.

Battery 충전상태가 40%일 때 : RPM응답시간이 7.6s이고 전류 응답시간이 7.4s이다. RPM 30에서 70까지 가속하는데 전류는 3.8A에서 8A로 증가하였다.

저속모드에서 battery 충전상태 80%일 때보다 충전상태 40%일 때의 RPM 응답 시간이 2.1s 지체되었고 battery 전류 응답 시간이 2.6s 지체되었다.

2. 고속으로 운전 할 때의 RPM과 전류 응답 시간은 Fig. 10과 Fig. 11에 나타내었다.

Battery 충전상태가 80%일 때 : RPM응답시간이 5.9s이고 전류 응답시간이 8.8s이다. RPM 70에서 110까지 가속하는데 전류는 8A에서 11.8A로 증가하였다.

Battery 충전상태가 40%일 때 : RPM응답시간이 5.9s이고 전류 응답시간이 9.2s이다. RPM 70에서 110까지 가속하는데 전류는 8.2A에서 11.8A로 증가하였다.

고속모드에서 작동할 때 충전상태 80%일 때보다 충전상태 40%일 때의 전류 응답 시간이 0.4s 지체되었다.

Battery 작동할 때 RPM응답시간 및 전류응답시간은 충전상태에 따라 차이가 있고, 전류응답시간은 RPM응답시간보다 차이가 크다. Battery의 충전상태는 RPM응답시간과 전류응답시간에 의존한다.

3. RPM응답 및 전류응답

RPM과 전류의 값을 증가시켜 정상상태에 도달할 때까지의 시간을 RPM응답시간과 전류응답시간이라고 한다.

응답시간의 정의는 Fig. 12에서 보는 바와 같이 정상상태에 도달하였을 때의 값 c_{final} 을 기준으로 $\pm 3\%$ 범위 내에 있는 때를 세틀링타임(Settling time)으로 한다.

4. Fig. 8~Fig. 11까지 battery 상태에 따른 RPM과 전류응답 시간을 바탕으로 하여 Mini-Tab

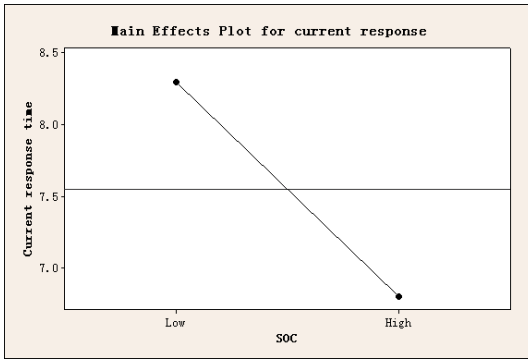


Fig. 13 Effect plot for SOC & current response time

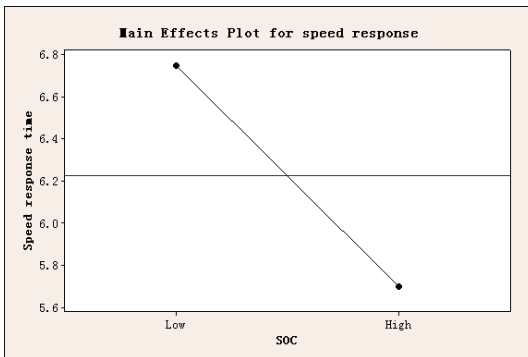


Fig. 14 Effect plot for SOC & speed response time

프로그램의 완전요인 배치법을 이용해서 분석하였다. Fig. 13과 Fig. 14에 차량의 속도와 battery의 충전상태를 RPM과 전류응답에 대한 영향의 분석 결과를 나타내었다.

Battery의 충전 용량이 많을수록 RPM응답시간과 전류응답시간이 짧아지는 경향을 확인할 수 있다. Battery의 충전상태는 RPM응답시간보다 전류응답시간에 대한 영향이 더 크다.

4. 결 론

연료전지 하이브리드 시스템을 효율적으로 운전하기 위한 battery의 충전 시기에 대하여 연구하였다. 차량의 RPM응답과 battery의 전류응답시간을 통해서 battery의 충전 시기를 운전 중 실시간으로 파악할 수 있었다.

- 1) 연료전지 하이브리드 시스템에서 battery는 주 에너지원 또는 보조 에너지원으로 출력을 공급하고, 운전 중 충전상태에 따라 DC/DC converter를 통해서 연료전지를 이용하여 충전할 수 있다.
- 2) Battery가 작동할 때 RPM응답시간 및 전류응답시간은 충전상태에 따라 차이가 있고, 전류응답시간은 RPM응답시간보다 차이가 크다. Battery가 작동할 때 충전상태 40%일 때의 RPM응답시간과 전류응답시간이 충전상태 80%일 때보다 지체되었다.
- 3) Battery의 충전상태는 RPM응답시간과 전류의 응답시간에 대한 영향이 있고, 전류응답시간에 대한 영향이 더 크다. RPM응답시간과 전류응답 시간을 통해서 충전시기 파악이 가능하다.

후 기

This research was supported by the program for the Training of Graduated Students in Regional Innovation which was conducted by the Ministry of Commerce Industry and Energy of Korean Government(2007).

참 고 문 헌

- 1) Yaoqin Jia, Hewu Wang, Minggao Ouyang, "Electric power system for a Chinese fuel cell city bus", Journal of Power Sources, Volume 155, Issue 2, 2006, pp. 319-324.
- 2) Junping Wang, Binggang Cao, Quanshi Chen, Feng Wang, "Combined state of charge estimator for electric vehicle battery pack", Control Engineering Practice, Volume 15, Issue 12, December 2007, pp. 1569-1576.
- 3) 이원용, 정귀성, 유상필, 업석기, 김창수, "가정용 고분자연료전지 시스템의 운전 방법에 따른 성능 비교", 한국수소 및 신에너지학회 논문집, Vol. 16, No. 4, 2005, pp. 364-371.
- 4) 안상준, 김태진, 이교일, "다중 동력 연료전지 하이브리드 장갑차량의 동력관리 전략에

- 관한 연구”, 한국신재생에너지학회 춘계학술대회, 2005, pp. 273-276.
- 5) Kwi Seong Jeong, Byeong Soo Oh, “Fuel economy and life-cycle cost analysis of a fuel cell hybrid vehicle”, Journal of Power Sources, Volume 105, Issue 1, 2002, pp. 58-65.
- 6) 한수빈, 송유진, 정봉만, 박석인, 정학근, “연료전지 하이브리드 전력 시스템에 대한 에너지 제어 시뮬레이션”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, 2005, pp. 355-358.
- 7) 윤한석, “정전압 충전 리셋 알고리즘을 이용한 하이브리드 자동차용 36V 납축전지 잔존량 추정 알고리즘”, 서울대학교 석사학위논문, 2005.
- 8) 선양국, “배터리의 잔존용량 산출 알고리즘에 관한 연구”, 한양대학교 석사학위논문, 2007.