

< 논문 >

연료전지-태양전지 하이브리드 자동차에 대한 제어전략 및 특성평가

안효정* · 지현진** · 배중면*** · 차석원†
(2007년 4월 19일 접수, 2007년 8월 10일 심사완료)

Control Strategy and Characteristic Analysis of PEMFC/ Photovoltaics Hybrid Vehicle

Hyojung Ahn, Hyunjin Ji, Joongmyeon Bae and Sukwon Cha

Key Words: PEMFC(고분자 전해질형 연료전지), Photovoltaics(태양광발전), Simulation(시뮬레이션), Control Strategy(제어전략), Matlab/ Simulink(맷랩/ 시뮬링크)

Abstract

This Paper focuses on modeling and simulation to analyze the characteristic of hybrid vehicle. The system includes a proton exchange membrane fuel cell(PEMFC), photovoltaic generator(PV), lead-acid battery, motor, vehicle and controller. Main electricity is produced by the PEMFC and battery to meet the requirements of a user load. When vehicle is parked in a sunny place, extra power is generated by the photovoltaics and is charged in a battery for next drive. Further we evaluate usefulness of this hybrid vehicle by using ADVISOR - the advanced vehicle simulator written in the Matlab/Simulink environment. According to simulation results, the extra power obtained by photovoltaics which have been explored in nature conditions can help to reduce the electrical load of PEMFC and increase the efficiency (over 21 %).

기호설명

P : 전력 [W]
I : 전류 [A]
V : 전압 [V]
R : 저항 [Ω]
N : 갯수
T : 온도 [K]
G : 조사량 [W/m^2]
m : 이상계수(ideal factor)
k : 볼츠만 상수 [$=1.3854 \times 10^{-23}$ J/K]
e : 전자전하량 [$=1.602 \times 10^{-19}$ C]

M : 모듈
C : 단위전지

하첨자

SC : 단락회로(short circuit)
OC : 개방회로(open circuit)
S : 직렬
P : 병렬
amb : 대기
max : 최대값

상첨자

0 : 표준 상태 (298 K)

1. 서론

† 책임저자, 회원, 서울대학교 기계항공공학부
E-mail : swcha@snu.ac.kr
TEL : (02)880-1700, FAX : (02)880-1696
* 회원, 서울대학교 기계항공공학부
** 회원, 국방과학연구소
*** 회원, 한국과학기술원 기계공학과

최근 화석연료의 가격이 상승하면서 효율이 높은 하이브리드 자동차에 대한 관심이 집중되고 있다. 다양한 에너지원들의 조합으로 운전되는 하이브리드 자동차들 중에서 내연기관-2차 전지 혹은 연료전지-2차 전지에 대한 연구가 집중적으

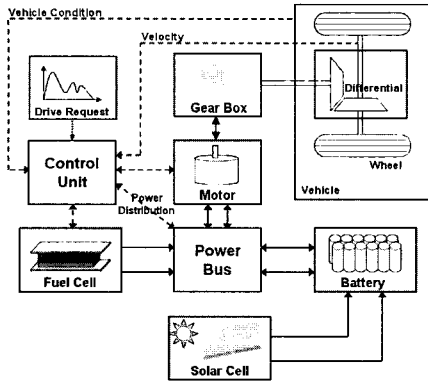


Fig. 1 Schematic of fuel cell-battery-solar cell hybrid vehicle

로 수행되고 있다.^(1,2) 또한 차량이 높은 가속을 요구하는 상황을 고려하여 단시간에 고출력을 낼 수 있는 슈퍼커패시터(super capacitor)와의 연동에 대해서도 연구가 진행되고 있다.⁽³⁾ 이러한 연구들은 실증차량의 제작에 앞서 요소별 용량 및 운전 전략 수립 등을 위해 다양한 시뮬레이션 기법을 이용하고 있다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 연료전지-2차 전지의 하이브리드 시스템과 함께 태양전지를 추가적으로 접목시킨 차량에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 도시근로자의 운전시간분포를 고려해볼 때, 출퇴근시간에 자동차 이용이 집중적으로 몰려 있고, 그 이외의 대부분의 시간에는 주차장에서 대기 상태에 있다. 따라서 옥외주차장에서 주차중인 차량의 외장에 장착되어 있는 태양전지모듈로 전력을 발생하여 2차 전지를 충전한다면 에너지 효율이 더욱 상승될 수 있다.

태양전지를 제외한 하이브리드 자동차의 기본적인 요소들의 모델은 Matlab/Simulink를 기초로 프로그래밍된 ADVISOR⁽⁵⁻⁷⁾를 이용하였으며, 최적운전을 위한 제어기를 구성하여 주어진 입력 조건에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 이를 통해 차량외부에 장착된 태양전지 모듈이 연료전지의 출력 및 2차전지의 충전상태(SOC) 변화에 미치는 영향을 분석하여 태양전지 모듈이 없는 경우와 비교하였다.

2. 본 론

2.1 모델(model)

Fig. 1은 하이브리드 차량의 전체적인 개략도를

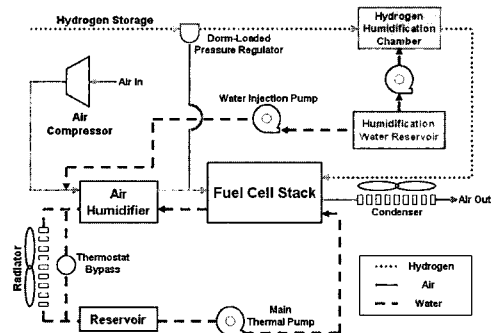


Fig. 2 Block diagram for PEMFC

보여주고 있다. 차량은 크게 연료전지, 2차전지, 태양전지로부터 운전을 위한 에너지를 공급받는다. 이때 연료전지와 2차전지는 모터와 직렬 하이브리드 구동 방식(serial hybrid drivetrain)으로 연결되어 있다. 태양전지는 다른 두 전원에 비해서 출력이 상대적으로 낮기 때문에 전력 분배 장치가 아닌 2차전지에 직접 연결되어 있다. 다시 말하면, 태양전지에서 생산된 전력은 차량 구동에 직접적으로 이용되지 않고, 2차전지 충전용으로만 사용된다.

시뮬레이션 모델에 요구 속도가 입력되면 차량의 현재 속도, 무게, 기어비, 타이어 마찰력 등을 고려하여 요구속도를 충족시키기 위한 모터의 토크와 소비 전력이 계산된다. 계산된 모터 필요전력은 전력분배장치의 제어 조건에 따라 연료전지와 2차전지가 나눠 분담하게 된다. 또한 감속할 시에는 모터에서 브레이크 정도에 따라 회생전력을 생산하여 2차전지에 충전하기도 한다.

2.1.1 연료전지 모델

Fig. 2은 하이브리드 차량에서 주로 사용되고 있는 고분자 전해질형 연료전지(PEMFC) 시스템에 대한 개략도로서, 크게 연료전지 스택(fuel cell stack), 가습기, 압축기, 물펌프, 응축기, 연료저장장치 등으로 구성되어 있다. 이때 연료전지 스택의 최대전력, 단위전지의 면적 및 적층개수는 차량의 최고속도, 가속도, 무게 등을 고려하여 Table 1과 같이 결정하였으며, 연료전지 시스템에서 생산된 전력은 차량 구동용 모터의 주요 동력원으로 사용되었다. 또한 연료전지 시스템은 속도가 낮은 저부하상태에서 잉여 전력을 생산하여 2차전지를 충전할 수 있도록 하였다.

ADVISOR에서 제공되는 연료전지 모델의 중요

Table 1 Operational parameters for the PEM fuel cell model

| 연료전지 종류 | 고분자 전해질형 |
|------------|---------------------|
| 출력(net) | 50 kW |
| 음극 반응물 | 수소 |
| 양극 반응물 | 공기 |
| 단위전지 면적 | 678 cm ² |
| 적층전지 개수 | 210 개 |
| 단위전지 하한 전압 | 0.6 V |

Table 2 Operational parameters of the lead-acid battery

| 전지 종류 | 납축전지 | |
|--------|--------|------------|
| 형태 | VRLA | |
| 용량 | 26 Ah | |
| 모듈당 전압 | 12 V | |
| 모듈 개수 | 25 개 | |
| SOC | 상한(주차) | 80 %(90 %) |
| | 하한 | 40 % |

입력 변수는 전력분배장치로부터 계산된 요구 전력과 스택 초기온도이다. 요구전력을 충족시키기 위해서는 연료전지 시스템의 전체 전력(net fuel cell system power)이 연료전지 스택의 생산 전력(gross power of stack)과 스택 운전을 위한 주변장치(balance of plant) 소비 전력(parasitic power)의 차이와 동일한 값을 가져야 한다.

앞서 언급한 연료전지 스택의 생산전력은 작동 온도, 전류밀도, 반응물의 분압 등의 중요 변수들을 통해 결정된다. 이때 작동온도는 스택의 초기 온도와 비가역성을 고려하여 열모델을 통해 매순간 계산되어진다. 또한 주변장치 소비전력은 연료전지가 353 K이하의 작동온도를 유지하기 위한 냉각용 물펌프의 소비전력과 부하변동에 따른 최적운전 제어를 위한 압축기 등의 소비전력의 합으로 결정된다.

2.1.2 2차 전지 모델

2차전지의 동특성을 표현하는 방법에는 내부저항모델(internal resistance model), 저항 콘덴서 모델(resistance capacitance model) 등이 사용되고 있다⁽⁸⁾. 내부저항 모델은 빠른 계산 속도에 비해 상대적으로 타당한 결과를 제시할 뿐만 아니라 Matlab/Simulink 환경에서 구축이 용이하기 때문에 본 연구에서 사용되었다. 내부저항모델은 크게 전원과 저항으로 구성되어 있으며, 두 파라미터는 2차전지의 충전상태와 온도 및 충, 방전 조

Table 3 Operational parameters for the monocrystalline PV module

| 태양전지 종류 | Monocrystalline |
|---------------|-----------------|
| 모듈 출력(표준상태) | 100 W |
| 모듈 개방회로전압 | 21.1 V |
| 모듈 단락회로전류 | 6.63 A |
| 모듈 작동전압(최대출력) | 16.3 V |
| 모듈 작동전류(최대출력) | 6.13 A |
| 모듈 개수 | 4 개 |

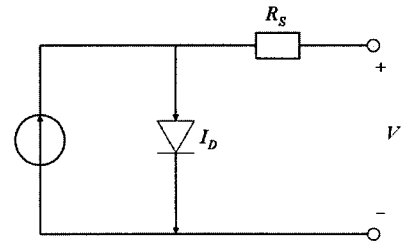


Fig. 3 Equivalent circuit of the PV cell empirical model

건에 의해서 결정된다. 현재 차량용 2차전지는 Ni-MH 전지를 많이 사용하고 있으나, 본 연구 이후 제작되는 하이브리드 시제차량을 고려하여 납축전지(lead-acid battery)모델을 사용하였다. 2차전지 모델에 대한 구체적인 파라미터는 Table 2와 같다. 이때 납축전지의 충전상태의 상한값은 운행 중 연료전지에 의한 충전시간을 줄이기 위해 80 %로 두었고, 주차 중에는 90 %까지 가능하도록 설정하였다.

2.1.3 태양전지 모델

태양전지판은 태양광을 효율적으로 이용할 수 있도록 차량의 보닛, 후드, 트렁크 등의 외장에 장착되었다고 가정하였다. 태양전지의 특성을 표현하기 위해서 크게 1차 다이오드 모델(one-diode model), 2차 다이오드 모델(two-diode model), 실험 모델 등이 사용되고 있다.⁽⁹⁾ 본 연구에서는 Fig. 3과 같이 나머지 두 모델에 비해 상대적으로 제한된 파라미터를 사용하는 실험모델을 사용하였으며, 태양전지 제조사가 제공하는 데이터시트⁽¹⁰⁾로부터 Table 3과 같은 파라미터를 입력값으로 이용할 수 있었다.

제조사에서 제공된 표준상태에서의 태양전지 모듈의 출력, 단락회로전류(short circuit current), 개방회로전압(open circuit voltage), 병렬개수, 직렬 개수

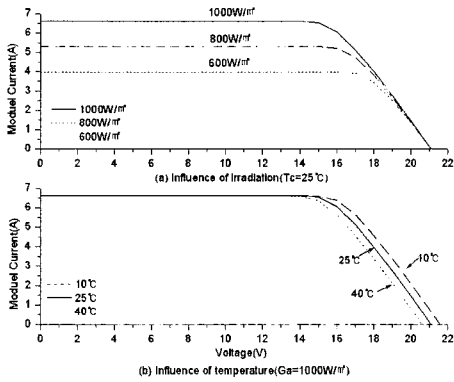


Fig. 4 Influence of irradiation G_a and of cell temperature T_c in PV module

Table 4 Operational parameters for the test vehicle

| | |
|----------|--|
| 차량 CD 계수 | 0.335 |
| 차량 무게 | 1200 kg |
| 전방 면적 | 2.0 m ² |
| 휠 반경 | 0.282 m |
| 모터 | 75 kW AC induction motor/inverter, 320 V |
| 변속비 | 1단주행 (6.6732:1) |
| 종감속비 | FD ratio = 1:1 |

($P_{max,0}^M, I_{SC,0}^M, V_{OC,0}^M, N_s, N_p$) 등의 기본적인 데이터를 바탕으로 단위 전지에 대한 출력, 단락회로전류, 개방회로전압, 저항($P_{max,0}^C, I_{SC,0}^C, V_{OC,0}^C, R_s^C$) 등을 얻을 수 있다. 이를 통해 작동 조건(V^M, T_{amb}, G_{amb})에서의 단위전지 및 모듈에 대한 전압-전류 특성을 식 (1)을 이용하여 구할 수 있다. Fig. 4는 일조량과 패널 온도에 따른 태양전지의 전류-전압 특성 곡선을 보여주고 있다.

$$I^M = I_{SC}^M \left[1 - \exp\left(\frac{V^M - V_{OC}^M + R_s^M \times I^M}{N_s V_t^C} \right) \right] \quad (1)$$

where $V_t^C = mk(273 + T^C)/e$

2.1.4 기타 차량 모델

전원 공급부를 제외한 차량 모델은 크게 차량 동역학, 모터, 모터컨트롤러, 전원컨트롤러, 차동장치, 기어 등으로 구성되어 있다. 먼저 차량동역학을 이용하여 제시된 초기 조건하에서 부하 속도를 만족하기 위한 휠 토크와 속도가 계산된 후, 차동장치와 변속장치 모델을 거쳐 모터모델

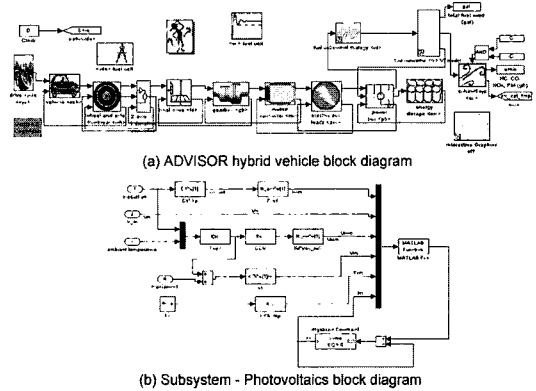


Fig. 5 Block diagram based on Matlab/Simulink environment (a)ADVISOR hybrid vehicle block diagram (b)Subsystem - Photovoltaics block diagram

의 입력값이 된다. 모터모델은 앞서 계산된 입력값을 만족시키기 위해 필요한 전력을 제어기에 요구하게 되고, 제어기는 제어전략에 따라 연료전지와 2차전지에 전력 담당량을 나눈다. 차량모델에 대한 기본적인 파라미터는 Table 4와 같다. Fig. 5(a)는 앞서 설명한 하이브리드 자동차 모델을 ADVISOR를 통해 표현한 블록다이어그램이며, Fig. 5(b)는 서브시스템인 태양전지 모델의 블록다이어그램을 보여주고 있다.

2.1.5 제어전략

연료전지의 On/Off 상태는 Fig. 6에 볼 수 있듯이 (1) 2차전지의 충전상태, (2) 연료전지 요구 출력(충전상태 반영), (3) 연료전지 이전 On/Off 상태에 의해 결정된다. 이때 x축은 연료전지의 필요 출력으로서 모터가 필요로 하는 출력뿐만 아니라 식(2)와 같이 2차전지의 충전상태를 목표값으로 유지하고자 하는 출력이 추가되어 있다.

$$\text{Adding factor} = \text{charge power} \times \left(\frac{\text{high SOC} + \text{low SOC}}{2} - \text{SOC} \right) \quad (2)$$

즉, 목표 SOC와 실제 SOC의 차이를 고려하여 2차전지가 높은 SOC 상태에서는 연료전지가 상대적으로 낮은 출력을 내고, 낮은 SOC 상태에서는 좀더 높은 출력을 내어 SOC 규격 범위를 유지하게 된다. 다시 말해 Fig. 6과 같이 제어전략에서 설정한 2차전지의 SOC 상한 및 하한과 연료전지의 최소 요구 출력(minimal power commanded)

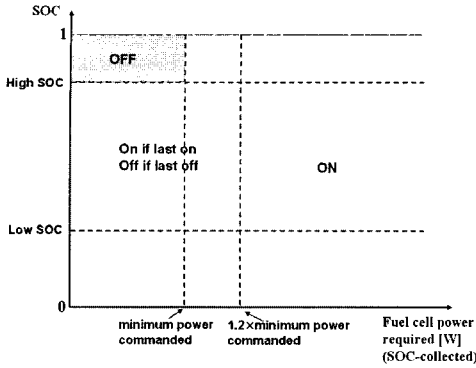


Fig. 6 Determining fuel cell state(on/off). Turn off : SOC gets too high, Turn on : SOC gets too low and power required by the bus gets high enough

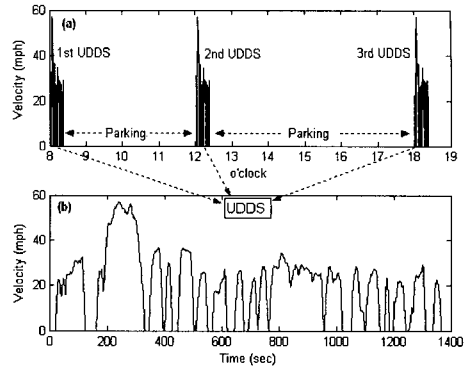


Fig. 7 Profile of demand velocity - three UDDS (at 08:00, 12:00, 18:00) and two parking schedule

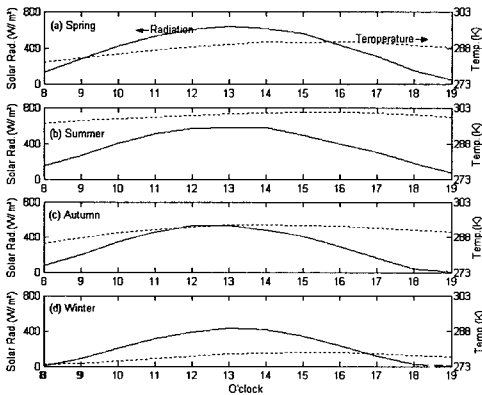


Fig. 8 Simulation input parameters - solar radiation(W/m²) and temperature(K), (a) Spring, (b) Summer (c) Autumn (d) Winter

을 기준으로 영역을 나누어 연료전지의 On/Off 상태가 결정된다.

이때 연료전지의 빈번한 On/Off를 방지하고 동력성능 저하 및 장비보호를 위해 히스테리시스 구간을 설정하였다. 즉 충전상태가 하한규격보다 낮은 영역에 있다면 연료전지가 On될 수 있지만, 그렇지 않을 경우 일정시간 동안의 연료전지 평균요구출력이 최소요구출력보다 크고, Off 상태 지속시간이 규정된 최소 시간보다 길 경우에만 상태전환이 가능하도록 하였다.

2.2 초기조건

시뮬레이션의 계산시간은 일조시간 및 실제 차량사용시간을 고려하여 08시부터 18시 부근까지

설정하였다. 이때 차량의 요구 주행 속도는 출퇴근 및 점심시간의 차량사용을 모사하기 위해 대부분의 시간은 정지된 상태로 대기하다가 정각 08시, 12시, 18시에 도시주행모드(UDDS)⁽¹¹⁾로 운행한다고 가정하였다(Fig. 7). 전 구간에서 도로의 경사도는 0인 수평상태이며, 2차전지의 초기 충전상태는 50 %이다. 일조량과 주위온도는 Fig. 8과 같이 대전의 기상데이터⁽¹²⁾를 측정하여 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)에 대한 평균값을 이용하였다.

3. 시뮬레이션 결과

Fig. 9은 태양전지모듈을 장착한 차량이 봄의 일조량과 대기온도 조건[Fig. 8(a)]에서 Fig. 7의 요구 속도로 운행하였을 때의 연료전지 시스템 출력변화를 보여주고 있다. Fig. 9(a), (b)에서 볼 수 있듯이 08시, 12시 차량 운행에서는 연료전지 시스템이 Off된 시간은 없으며 최소 5 kW 이상을 유지하였다. 이는 시스템의 효율을 높이기 위해 연료전지가 저전력영역에서는 작동하지 않게 하고, 초기에 50 %의 낮은 2차전지의 충전상태를 높이기 위한 추가 전력을 생산하도록 제어되었기 때문이다. 이러한 이유로 연료전지 시스템의 빈번한 On/Off가 방지된 것을 확인할 수 있다. 그러나 12시 차량운행에서는 연료전지의 08시 출력 패턴과는 유사하나 출력값이 상대적으로 작았다. 이는 차량이 08시 도시주행이후 12시 운행까지 대기하면서 태양전지모듈에 의해 2차전지가 조금

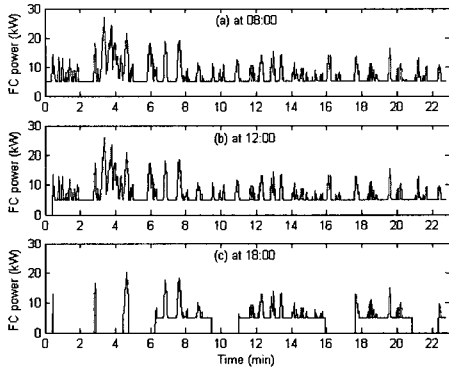


Fig. 9 Net fuel cell system power - UDSS cycle (a)at 08:00 (b)at 12:00 (c)at 18:00

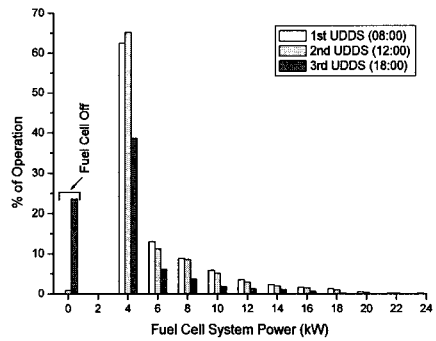


Fig. 11 Distribution of fuel cell power over the UDSS cycle

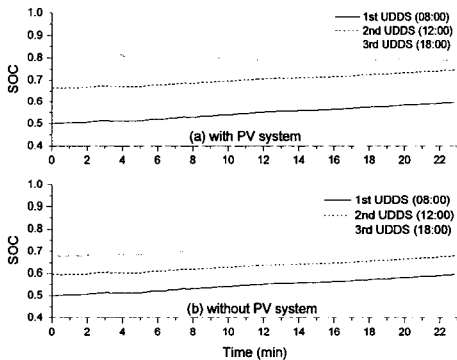


Fig. 10 Variation of Battery SOC (a) with PV system (b) without PV system

씩 충전되었기 때문이다. 이러한 태양전지에 의한 2차전지 충전효과는 18시의 도시주행에서 더욱 뚜렷하게 나타났다. 즉, Fig. 9(c)에서 볼 수 있듯이 12시 주차모드 이후 태양전지모듈에 의한 충전에 의해 18시 주행모드에서는 연료전지 시스템의 전력을 이용하기 보다는 2차전지에 충전되는 전력을 소모하였기 때문에 상당한 시간동안 연료전지 시스템이 Off된 상태로 유지되었다.

연료전지 시스템의 출력변화는 Fig. 10(a)와 같이 2차전지의 충전상태 그래프를 통해서도 확인할 수 있다. 08시 및 12시 주행모드에서는 연료전지의 추가 생산 전력 및 회생전력으로 인해 2차전지의 충전상태가 75%까지 증가하는 것을 확인할 수 있다. 뿐만 아니라 각 차량 운행 시간 사이에는 태양전지에 의한 충전으로 인해 2차전

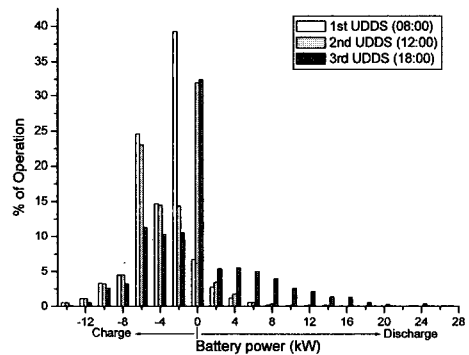


Fig. 12 Distribution of lead-acid battery power over the UDSS cycle

지의 충전상태가 증가하였다. 즉 08시와 12시 사이의 주차모드 동안 2차전지의 충전상태는 60%에서 67%로 증가하였고, 12시와 18시 사이의 주차모드에서는 75%에서 87%로 증가하였다. 그러나 18시 주행모드에서는 2차전지가 요구 전력의 상당부분을 담당하였기 때문에 충전정도가 87%에서 80%로 떨어지다가 일정하게 유지되었다.

Fig. 11과 Fig. 12은 연료전지 시스템과 2차전지의 출력 사용 빈도를 영역별로 나눠 보여주고 있다. 08시와 12시의 주행모드보다 18시의 주행모드에서는 고출력 영역에서의 연료전지 시스템의 출력 빈도수가 줄어들고 Off되어 있는 빈도수가 늘어나는 것을 확인할 수 있다. 또한 2차전지에서는 08시와 12시의 주행보다 18시의 도시주행에서 충전보다는 고출력의 방전빈도가 늘어난 것을

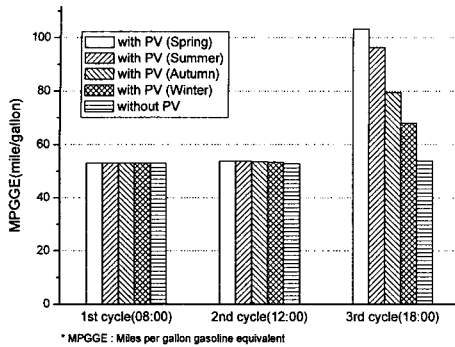


Fig. 13 Fuel efficiency of PEMFC/ Photovoltaic Hybrid Vehicle

확인할 수 있다.

이에 반해 태양전지 모듈을 장착하지 않을 경우, Fig. 10(b)에서 볼 수 있듯이 08시, 12시, 18시 운행동안 전지의 충전상태 목표값인 80 %을 만족하기 위해 계속하여 충진을 위주로 전체 시스템이 운전되었으며 각 운행 시간 사이에서의 충전상태의 변화가 없었다.

Fig. 13은 주행횟수와 태양전지 모듈 유무에 따른 하이브리드 자동차의 연비를 계절별로 보여주고 있다. 태양전지 모듈이 장착된 차량이 봄의 조건에서 운전될 경우, 08시의 운행 연비가 53.1 mile/gal(22.6 km/l)인데 비해 18시 운행 연비는 103.4 mile/gal(44.0 km/l)로서 약 1.95배 증가한 것을 볼 수 있었다. 이에 반해 겨울일 경우, 08시 운행 연비는 53.0 mile/gal(22.5 km/l)로 봄의 경우와 비슷하지만, 18시 차량 운행 연비는 68.0 mile/gal(28.9 km/l)로서 약 1.28배 증가하여 봄에 비해 태양전지에 의한 연비 상승효과는 줄어들었다. 이는 08시 차량주행에서는 계절에 관계없이 연료전지가 대부분 전력을 담당하므로 태양전지가 연비에 미치는 효과는 미미하지만, 18시 주행에서는 태양전지에 의해 충전된 에너지가 상대적으로 많이 활용되므로 계절에 따른 일조량과 대기온도가 크게 영향을 미치기 때문이다.

태양전지 모듈이 장착되어 있지 않은 경우에는 08시, 12시, 18시의 연비가 약 53.3 mile/gal(22.6 km/l)로 일정하게 유지되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 하루 동안의 차량 이용을 생각해 볼 때 태양전지 모듈 장착을 통해 사계절 평균 21 % 연비 향상효과를 얻을 수 있었다. 그러나 대부분의 도시 주행에서는 노상이나 옥상 주차장이 부

족하고 지하나 옥내 주차장이 많기 때문에 실제 연비는 낮아질 것으로 예상된다.

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 기존의 연료전지-2차전지 하이브리드 시스템에 비해 운행 효율을 높일 수 있는 태양전지를 사용한 다중 동력 하이브리드 시스템을 제안하였고, 시뮬레이션을 통해 태양전지의 효과에 대해서 평가하였다. 연료전지를 포함한 차량 요소 모델들은 Matlab/Simulink를 기초로 프로그래밍된 ADVISOR를 이용하였고, 태양전지 모듈은 실험모델을 사용하여 ADVISOR와 연동시켰다.

도시 근로자의 차량 운행 패턴을 모사한 입력 조건에 대한 시뮬레이션 결과, 비록 태양전지 모듈이 연료전지나 2차전지에 비해 상대적으로 출력이 낮았으나, 차량 운행횟수가 적고 장시간동안 대기상태에 있다고 가정한다면, 태양전지모듈이 2차전지를 충분히 충전하여 연료전지 시스템의 부담을 줄여주는 효과가 있었다. 즉, 대기시간 동안 2차전지에 축적된 태양에너지를 차기 운행에 이용할 수 있기 때문에 연료전지는 초기 운행보다 많은 시간동안 Off된 상태로 있었다. 따라서 태양전지 모듈을 장착한 차량의 전체 평균 연비는 태양전지 모듈이 없는 차량에 비해 21 %정도 향상될 수 있었다.

현재 제시되고 있는 하이브리드 차량에서는 판매가격상승과 내구성 문제로 인해 태양전지 모듈 설치를 고려하고 있지 않다. 하지만 기술의 발달과 함께 태양전지 모듈의 내구성이 향상되고 가격도 떨어지고 있기 때문에 본 연구의 결과가 유용하게 이용될 수 있을 것이다. 추후에는 연비저감에 의한 운행비용 감소 및 CO₂배출감소에 의한 환경비용절감 등의 경제성연구가 이루어져야 하며, 지하나 옥내 같은 실제 주차 장소 등을 고려한 현실적인 연비 계산이 필요하다.

후 기

이 논문은 2006년도 정부재원(교육인적자원부 학술연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었습니다.(KRF-2006-331-D00074)

참고문헌

- (1) Gemma Crawley, 2007, "Fuel Cell Today Market Survey: Light Duty Vehicles," *Fuel Cell Today*.
- (2) You, B. J., Kim, T. S., Lee, Y. D. and Ahn, K. Y., 2007, "Design Parametric Analysis of PEM Fuel Cell and Hybrid Systems," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 31, No. 5, pp. 448~456.
- (3) Park, K. J., Ji, H. J. and Bae, J. M., 2006, "Study of Operation Strategy for Hybrid PEM Fuel Cell and Supercapacitor," *Trans. of the KSME(B)*, Vol. 30, No. 8, pp. 756~763.
- (4) Hauer, K. H. and Moore, R. M., 2003, "Fuel Cell Vehicle Simulation - Part 1: Benchmarking Available Fuel Cell Vehicle Simulation Tools," *Fuel cells*, Vol. 3 No. 3, pp. 84~94.
- (5) Markel, T., Brooker, A., Hendricks, T., Johnson, V., Kelly, K., Kramer, B., O'Keefe, M., Sprik, S. and Wipke, K., 2002, "ADVISOR: a Systems Analysis Tool for Advanced Vehicle Modeling," *Journal of Power Sources*, Vol. 110, pp. 255~266.
- (6) Wipke, K., Cuddy, M., Burch, S., 1999, "ADVISOR 2.1: A User-Friendly Advanced Powertrain Simulation Using a Combined Backward/ Forward Approach," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol. 48, No. 6.
- (7) Senger, R. D., M. A. Merkle, D. J. Nelson, 1998, "Validation of ADVISOR as a Simulation Tool for a Series Hybrid Electric Vehicle," *Technology for Electric and Hybrid Vehicles, Proceedings of the 1998 SAE Intl. Congress*, Detroit, MI, Feb. 23-26, SAE Paper 981133, SP-1331, pp. 95~115.
- (8) Johnson, V. H., 2002, "Battery Performance Models in ADVISOR," *Journal of Power Sources*, Vol. 110, pp. 321~329.
- (9) Lorenzo, E., Araujo, G., Cuevas, A., Egido, M., Minano, J. and Zilles, R., 1994, "Solar Electricity Engineering of Photovoltaic Systems," *Earthscanm*.
- (10) Data Sheet of Model SE 100x, SOLEL Inc., Website : <http://www.solel.com>
- (11) EPA Dynamometer Driver's Aid Website : <http://www.epa.gov/nvfel/testing/dynamometer.htm>.
- (12) Observation Data from Korea Meteorological Administration(KMA), Website : <http://www.kma.go.kr>.