

TMED방식 병렬형 하이브리드 차량의 회생제동 회수율 및 연비 특성 연구

정진호* · 김진수* · 김주환* · 이진욱*†

* 숭실대학교 기계공학과

Study of Fuel Consumption Characteristics and Regenerative Braking Recovery Rate in a TMED Type Parallel Hybrid Electric Vehicle

Jin Ho Chung*, Jin Su Kim*, Ju Whan Kim* and Jin Wook Lee*†

* Dept. of Mechanical Engineering, Soongsil Univ.

(Received February 8, 2016 ; Revised May 30, 2016 ; Accepted June 28, 2016)

Key Words: Parallel Hybrid Electric Vehicle(병렬형 하이브리드 차량), Regenerative Braking(회생제동), Fuel Consumption Characteristics(연비특성), Energy Efficiency(에너지효율)

초록: 본 연구는 TMED 방식 병렬형 하이브리드 차량을 이용하여 회생제동 회수율 및 연비 특성 실험에 대한 것이다. 회생제동 기술은 하이브리드 차량의 에너지 효율 향상을 위해 필수적인 기술로 판단되어 연구를 수행하였다. 따라서 병렬형 하이브리드 차량과 Eddy Current 방식의 차대동력계를 통해 IM240 모드 실험 시 초기 SOC 상태, 주행 모드 특성, 운전자의 운전특성에 따른 연비 특성을 회생 제동 측면에서 전류 특성 및 전류수지에 대한 비교 분석을 수행하였다. 본 연구결과, 초기 SOC 상태가 낮을수록 하이브리드 차량의 엔진 작동 시간이 증가 하고 에너지 효율이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 또한 주행 모드 특성, 운전자의 운전 특성에 따른 연비 특성 실험 결과 평균 연비 차이는 크게 나지 않았지만, 최종 SOC 상태에 따라서 모드 종료 후 엔진 작동 유무의 차이가 있음을 알 수 있었다.

Abstract: In this work, we conducted a study of fuel consumption characteristics and regenerative braking recovery rate by conducting an experiment using a TMED type parallel hybrid electric vehicle. As regenerative braking technology is considered essential to improve the energy efficiency of the hybrid vehicle, it is necessary to conduct research on the regenerative braking system. Therefore, the electrical characteristics, current balance, and fuel consumption were investigated using an EC type chassis dynamometer with experimental conditions as per IM240 mode. From the results, it was observed that when the initial SOC condition was lower, the engine operating time of the hybrid vehicle increased, and the energy efficiency decreased. While operating in the driving mode characteristics condition and the driving characteristics condition, the difference in the average fuel consumption was not significant. However, after completion of the experiment, there was a difference in the engine operation.

1. 서 론

최근 전 세계적으로 문제가 되고 있는 화석연료의 고갈과 점차 강화되고 있는 배기가스 규제는 친환경적이며 저연비 차량 개발 연구를 촉진

시키고 있다.⁽¹⁾

자동차 연비규제, 배기가스규제 등에 대응하기 위하여 세계적으로 자동차 산업의 기술 개발이 치열하게 수행되고 있다. 새로운 동력원 적용 및 획기적인 에너지효율 개선을 통하여 연비규제와 배기가스규제를 만족시킬 수 있는 차량으로서 수소 연료 전지차(FCEV), 하이브리드 자동차(HEV),

† Corresponding Author, immanuel@ssu.ac.kr

© 2016 The Korean Society of Mechanical Engineers

플러그 인 하이브리드 자동차(PHEV) 및 순수 전기 자동차(EV) 등의 그린카 보급을 위한 기술개발 투자 또한 활발히 진행되고 있다.⁽²⁾ 차세대 미래형 자동차로서 수소 자동차와 연료전기자동차는 높은 에너지효율을 가졌음에도 불구하고 인프라 구축 및 양산과 상용화에는 상당한 시간이 걸릴 것으로 예측되고 있다.⁽³⁾ 따라서 현재 상황과 조건을 달성하기 위한 기술 중 가장 상용화되고 있는 기술은 하이브리드 전기자동차와 관련된 기술이다. 국내 제작사는 이에 대한 R&D를 수행하고 있다.⁽⁴⁾ 하이브리드 차량은 내연기관과 전기모터를 함께 장착한 복합차량을 뜻한다. 기존 가솔린 엔진 차량에 추가 동력원인 모터를 활용하여 향상된 동적 성능을 보이며, 저속에서 순수 전기 모드 주행과 ISG(Idle Stop and Go)를 통해 높은 에너지효율을 유지하여 연료 소비율 및 이산화탄소 배출을 저감한다. 특히, 회생제동은 모터를 활용하는 하이브리드 차량이 제동할 때 마찰 및 열 에너지로 소비되는 에너지를 전기에너지 전환하여 배터리를 충전하고 모터를 통해 운동에너지로 사용하는 기술을 말한다.⁽⁵⁾ 배터리를 외부로부터 충전할 수 있는 PHEV와 달리 HEV의 배터리는 차량의 회생제동 및 엔진 동력 등을 이용하여 충전해야 한다. 하이브리드 차량의 효율을 높이기 위해 엔진과 모터 특성에 맞는 최적화 문제 등의 동력 전달부에 대한 제어는 지속적인 개선의 대상이며, 시스템의 높은 효율을 얻는데 가장 중요한 요소 중 하나이다.⁽⁶⁾ 일반적으로 엔진 출력의 약 30%가 차량 제동 과정에서 손실되며,⁽⁷⁾ 회생제동 적용을 통하여 기존 연비 대비 약 33% 향상된 연구 결과가 있다.⁽⁸⁾ 그러므로 회생제동 기술은 하이브리드 차량의 에너지 효율 향상을 위해 필수적인 기술로 판단되며, 회생제동을 연구할 필요가 있다.⁽⁹⁾

따라서 본 연구에서는 TMED 방식 병렬형 하이브리드 전기자동차를 대상으로 회생제동 회수율 및 연비 특성을 연구하기 위하여 하이브리드 차량, 차대동력계 및 각종 데이터 측정 장비를 이용하여 실험을 수행하였다.⁽¹⁰⁾

2. 병렬형 하이브리드 차량 실험

2.1 실험 장치

본 연구의 실험 장치는 크게 차대동력계(EC



Fig. 1 Chassis dynamometer used in this study

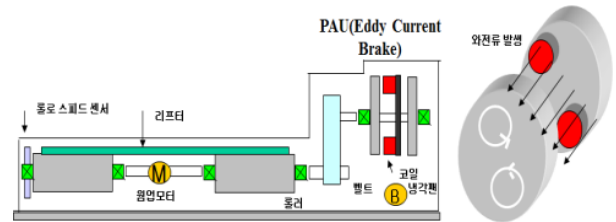


Fig. 2 Performance property of EC type chassis dynamometer

Type, Jastec)와 하이브리드 전기자동차(2011년식 YF Sonata HEV, 현대)로 구성되며, 차대동력계에서 측정된 데이터와 차량 진단장치(GDS), 전류 측정 장치(PicoScope) 및 OBDII 모니터링 시스템(Cantalker)을 사용하여 차량에서 발생하는 다양한 정보를 획득하여 연구를 수행하였다.

2.1.1 차대동력계 및 실험 차량의 특징

하이브리드 차량의 속도를 측정하기 위해 Fig. 1로 구성된 차대동력계를 사용하였으며, 차대동력계는 본체, 실차 베드 및 제어시스템으로 구성되어 있다. 차대동력계는 EC(Eddy Current) 방식 동력계를 설치하였다. 차대동력계는 하이브리드 차량의 구동바퀴에서 발생하는 구동력을 와전류 방식을 이용하여 동력을 측정하는 장치이다. Fig. 2와 같이 롤러와 벨트가 연결되어 있으며 롤러 구동에 따라 벨트에 연동하는 브레이크(PAU)의 플라이휠이 회전한다. 브레이크(PAU)의 코일에 전류를 인가하면 자화되어 전자석이 되며 이때 자기장을 형성한다. 이 자기장은 도체, 즉 플라이휠에 와전류를 생성하여 회전방향의 반대방향으로 기전력을 형성하여 브레이크로서 작용하는 것을 이용하여 실험 차량의 동력을 측정하게 된다.

본 연구에서 사용된 차대 동력 측정 장치는 미국 BAR97 인증 규격에 적합하고, 현행 국내법규에 따른 운행차 검사모드인 휘발유, LPG 차량 시험 모드인 IM 240 모드, ASM 2525 모드 및 CVS 75모드와 경유 차량 시험 모드인 KD147 모드, LugDown 3모드 및 NEDC 모드를 지원한다. 또



Fig. 3 TMED type parallel hybrid electric vehicle

한, 연구 확장성을 대비하여 배출가스측정기, 배출가스 중량분석기(VMAS) 및 엔진회전수 측정기와 연동이 가능하다.

실험의 정확도를 향상시키기 위해 제어장치가 보조모니터와 연동하여 주행모드를 표시하여 실험자가 주행모드를 편하게 인식할 수 있게 설치하였다.

하이브리드 전기자동차는 Hybrid의 뜻처럼 2종류 이상의 동력원을 사용하는 자동차를 말하며, 구동계통 구조에 따라 엔진으로 발전기를 구동 그 전력으로 모터를 돌리는 직렬형, 엔진을 모터로 어시스트하여 엔진의 부담을 경감시키는 병렬형 그리고 직·병렬방식의 장점을 흡수한 복합형으로 분류된다.

본 연구는 현재 국내에서 상용화 되고 있는 TMED 방식 병렬형 하이브리드 전기자동차를 대상으로 회생제동 회수율 및 연비 특성을 연구하려 한다. Fig. 3은 연구에서 사용된 TMED 방식 병렬형 하이브리드 차량이다. TMED 방식 병렬형 하이브리드 전기자동차는 엔진과 모터 사이에 클러치를 배치하여 제어하는 방식으로 정지 상태에서 출발과 저속 주행 시에는 모터만을 이용하여 주행하고 부하가 적은 정속 주행에서는 효율이 높은 엔진의 동력만을 이용하며, 가속 및 등판 주행과 같이 큰 출력이 요구되는 주행 상태에서는 엔진과 모터를 동시에 이용하여 주행하여 연비를 향상시킨다. 하이브리드 차량은 Fig. 1의 차대동력계 위에 설치되어 실험을 수행하였다.

2.1.2 주요 측정 장치

본 실험에서 측정된 데이터를 획득하기 위해 다양한 측정 장치가 사용되었다. 하이브리드 차량의 성능을 측정하기 위해서 차대동력계와 주행 시스템에 연결된 컴퓨터를 통해 차량의 속도, 발



(a) GDS (b) VCI Interface (c) Real time information

Fig. 4 GDS and VCI



Fig. 5 Picoscope and connector

생 동력 및 토크를 측정하였다. 하이브리드 차량에서 발생하는 신호를 측정하기 위해 차량 진단 도구인 GDS(Global Diagnostic System, GIT)를 이용하여 차량 상태에 대한 다양한 데이터를 측정하였다. GDS는 VCI(Vehicle Communication Interface) 단말기를 통해 ECU(Engine Control Unit)의 정보를 컴퓨터와 무선 통신으로 차량의 상태를 실시간으로 확인할 수 있다. Fig. 4는 GDS, VCI 및 실시간 진단화면이다. 엔진제어, 배터리제어(BMS, Battery Management System), 모터제어(MCU, Motor Control Unit), 변속기제어(TCU, Transmission Control Unit) 및 브레이크 제어 등 차량에서 나오는 다양한 데이터를 분석할 수 있다. ECU 신호 측정을 위해 필요한 신호 단자에 연결하여 전압, 전류 및 주파수 등의 정보를 측정 가능하다. Fig. 5는 ECU 신호를 측정하기 위한 PicoScope(PicoScope 4423)이며, PicoScope 장치를 사용하여 배전판의 다양한 신호를 측정하고 분석하였다.

하이브리드 전기자동차는 일반 자동차와는 다르게 모터를 추가 동력원으로 사용하여 주행한다. 따라서 하이브리드 전기자동차는 배터리 사용이 빈번하며, 기존 차량은 보통 12~24V의 배터리를 사용하는 반면 하이브리드 전기자동차는 270V 고전압 리튬 폴리머 배터리를 사용한다. 배터리 용량이 기존 차량에 비해서 크지만 플러그인 하이브리드 차량과 달리 배터리를 충전하기

Table 1 Specifications of clamp current sensor

9278 UNIVERSAL CLAMP ON CT(HIOKI)	
Rate Current	200A AC/DC(continuous 350A)
Frequency band width	DC to 100kHz(±5% f.s)
Accuracy (DC and 45 to 66Hz)	±0.5% rdg.±0.05%f.s phase±0.2°
Max. circuit voltage	600V peak (insulated wire)
Core jaw dia.	φ20mm(0.79in)

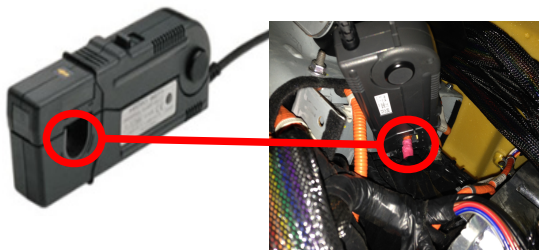


Fig. 6 Ammeter clamp and installation location

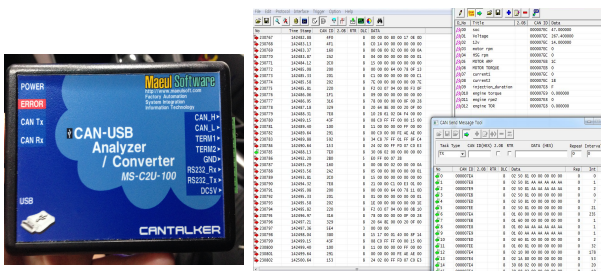


Fig. 7 Cantalker device and program(S/W)

위한 별도의 장치가 없다.

본 연구에서는 하이브리드 전기자동차의 에너지 효율에 밀접한 관련이 있는 배터리의 정확한 전류 충·방전 상태를 측정하기 위해 Fig. 6, Table 1과 같은 제원의 고사양 배터리 전류계 클램프(9287 Universal Clamp on CT, Hioki)를 사용하여 정밀한 전류 측정하였다. Fig. 6과 같이 차량 트렁크에 위치하고 있으며 고전압 배터리와 구동모터가 연결되어 있는 고압전선에 전류계 클램프가 설치되어있다. 측정된 전류 데이터는 PicoScope를 통해 저장되며, 측정 데이터를 분석하여 충·방전 상태를 분석하였다.

현재 국내 판매 되고 있는 모든 차량은 차량 진단용 온보드 진단기(On-Board Diagnostics) 또는 OBD 단자를 포함하고 있다. Fig. 7은 차량 내부의 OBDII 단자에서 나오는 CAN통신을 Cantalker

Table 2 Experimental conditions

Parameter	Specification
Driving Cycle	IM 240 Driving mode
Ambient Temp.	24±3 (°C)
Fan Speed	Constant
Eco-mode	On

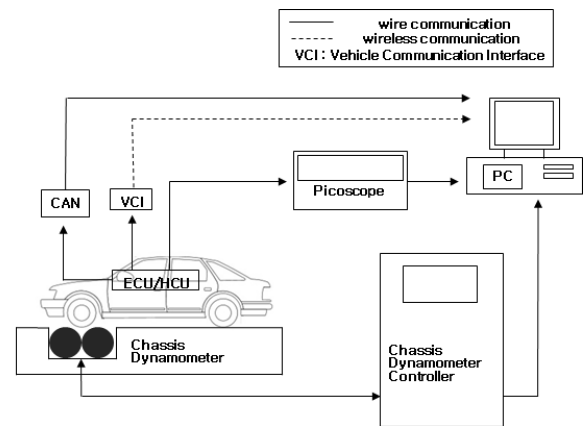


Fig. 8 Schematic diagram of experiment devices

를 이용하여 분석하는 장치와 프로그램이다. Cantalker는 OBDII 단자에서 나오는 신호를 데이터화 시키는 프로그램으로 SOC, Motor RPM, Engine RPM, HSG RPM, Injection Duration, Voltage 등을 실시간으로 측정할 수 있다.

본 연구는 TMED 방식 병렬형 하이브리드 차량 및 차대동력계와 측정 장치인 GDS, PicoScope 및 Cantalker를 이용하여 실험을 진행하였으며, 하이브리드 차량 실험 장치의 개략도는 Fig. 8과 같다.

2.2 실험 조건

먼저 초기 SOC 상태, 주행 모드 특성, 운전자의 운전특성에 따른 회생제동과 연비 특성을 분석하기 위해 EC방식의 차대 동력계를 이용하여 실험을 진행하였다. 실험에 적용된 IM240 모드의 차속 프로파일은 Fig. 9와 같으며 실험조건은 Table 2와 같다. 초기 SOC 상태에 따라 IM240 모드 주행 시 차량에서 발생하는 전류를 측정하여 회생제동 회수율 및 연비 특성을 비교 분석하였다. 실험 차량은 최소 SOC43% 지점에서 엔진이 작동하여 강제 충전하고, SOC68% 지점에서 더 이상 충전하지 않는 것을 확인하였다. 실험은 총 3가지 조건으로 진행을 하였다. 먼저, 초기 SOC 상태에 따른 연비 특성을 분석하기 위해 초기 SOC를 45%, 55%,

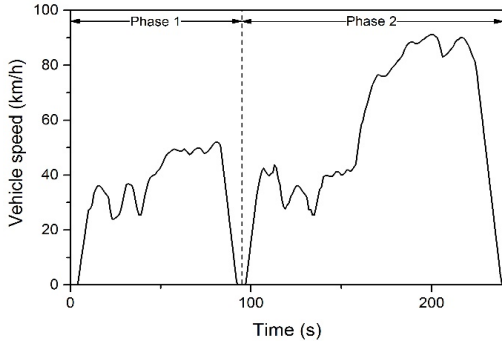


Fig. 9 vehicle speed profile of IM240 mode

65%로 설정하여 실험을 진행하여 초기 SOC 상태에 따른 회생제동 회수율 및 연비 특성을 분석하였다. IM240 모드의 허용 오차 ± 3 km/h 범위를 이용하여 주행 모드 특성에 따른 연비 특성을 분석하였다. +3 km/h 모드를 고속 모드 실험, -3 km/h 모드를 저속 모드 실험이라고 정의하였다. 이는 IM240 모드 오차가 회생제동 회수율과 연비에 미치는 영향을 분석할 수 있다.

그리고 IM240 모드의 허용 오차 범위 내에서 운전자의 운전 특성에 따른 연비 특성을 분석하였다. IM240 모드 허용 오차 범위를 최대한 부드럽게 주행하는 연비 주행 실험과 허용 오차 범위 내에서 가속 및 감속 주행하는 과격 주행 실험을 수행하였다. 이는 연비 주행과 과격 주행을 통해 운전자의 운전 특성이 회생제동 회수율과 연비에 미치는 영향을 파악할 수 있게 해 준다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 초기 SOC 상태에 따른 연비 특성

초기 SOC 상태에 따른 연비 특성 실험결과, 최소 SOC43% 지점에서 엔진이 작동하여 강제 충전하고, SOC68% 지점에서 더 이상 충전 하지 않는 것을 확인하였다. 이로부터 배터리의 효율 및 수명을 최적의 상태로 유지하기 위해 SOC 상태를 일정 영역으로 유지하려는 경향이 있음을 알 수 있었다. 이는 초기 SOC 상태에 따라서 하이브리드 차량이 실험 주행동안 배터리의 충·방전 되는 전류량이 차이가 발생하며, 하이브리드 차량의 에너지 효율에도 영향을 끼치는 것으로 판단된다.

그리고 초기 SOC 상태에 따른 SOC상태 변화와 배터리의 전류값 및 평균 연비를 측정하였다. 이를 통해, 본 연구에서는 초기 SOC 상태와 연

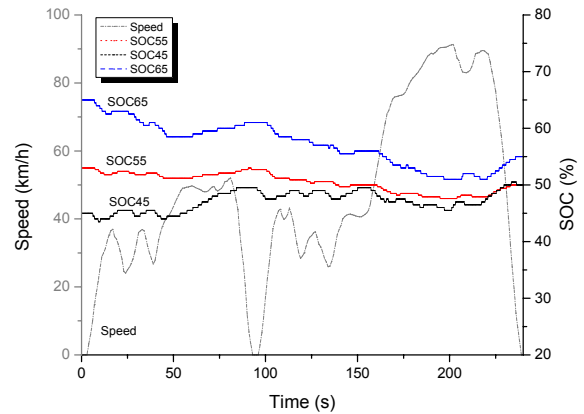


Fig. 10 Variation of battery current according to the initial SOC condition

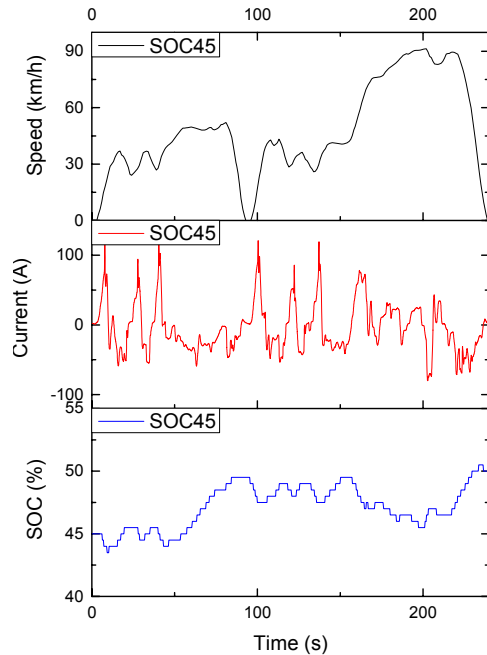


Fig. 11 Variation of battery current according to the initial SOC 45% condition

비의 상관관계를 연구한 결과는 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

Fig. 10은 초기 SOC 상태에 따른 SOC 변화를 나타낸 것이다. 초기 SOC 상태는 다르지만 최종 SOC50~55%로 수렴하는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13은 초기 SOC 상태에 따른 속도, SOC 및 전류 변화를 나타낸 것이다. 초기 SOC45%인 경우 최종 SOC는 55%, 초기 SOC55%인 경우 최종 SOC는 50%, 초기 SOC65%인 경우 최종 SOC는 55%인 것을 알 수 있었다. 각 그래프내 차속이 감소하는 동안 SOC 상태가 상승하는 것을 알 수 있고 전류상태가 (-) 영역인

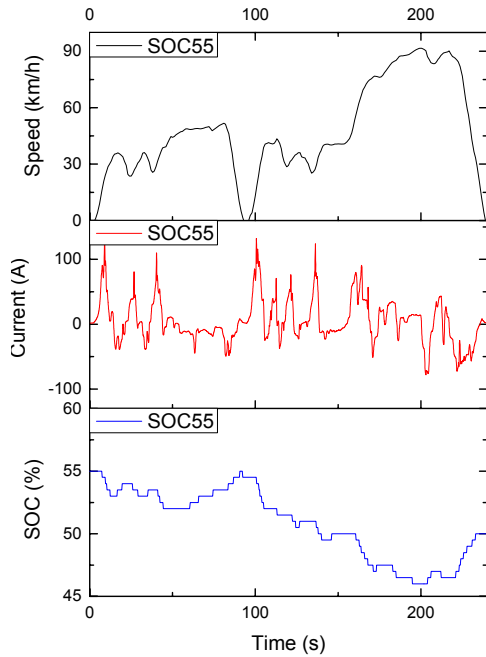


Fig. 12 Variation of battery current according to the initial SOC 55% condition

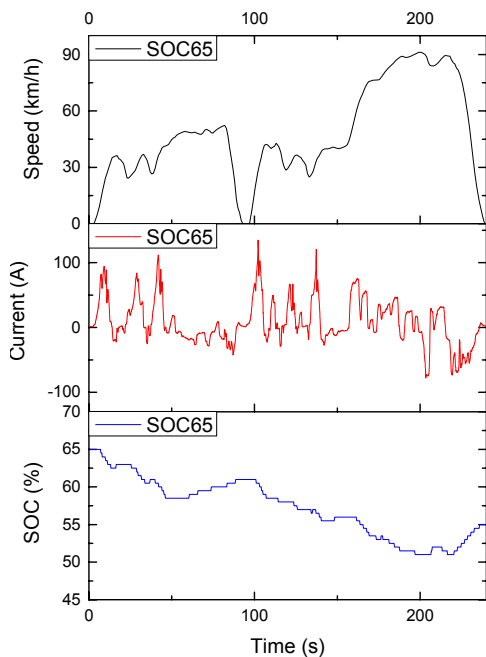


Fig. 13 Variation of battery current according to the initial SOC 65% condition

것을 확인할 수 있었다. 반대로 속도가 증가하는 동안 SOC 상태는 감소하고 전류상태가 (+) 영역인 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해, 전류 변화 그래프에서 (-) 영역은 회생제동 및 발전을 통해 전류가 생성되어 배터리가 충전된 것을 나타내며, (+) 영역은 모터가 구동하여 전류를 사용하여

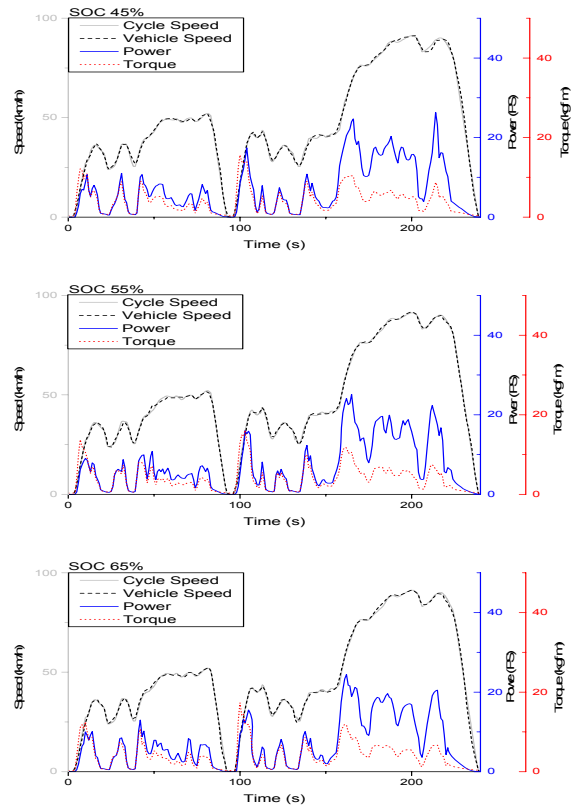


Fig. 14 Variation of vehicle speed, power, torque according to the initial SOC conditions

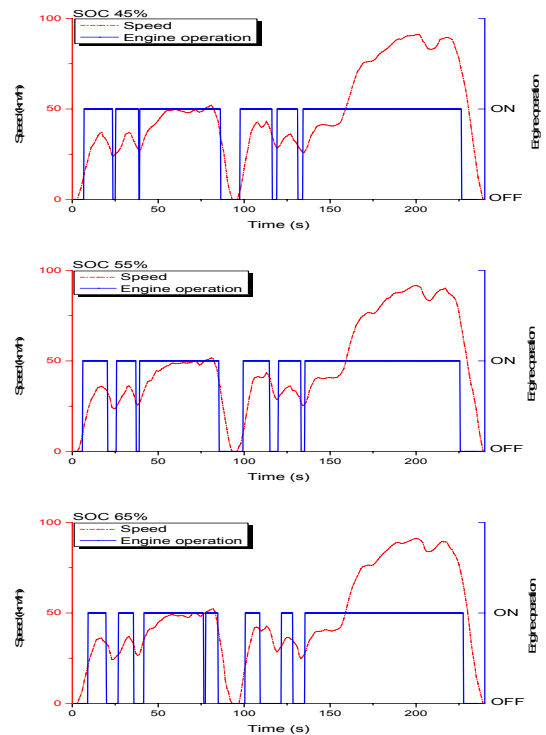


Fig. 15 Engine operation states according to the initial SOC conditions

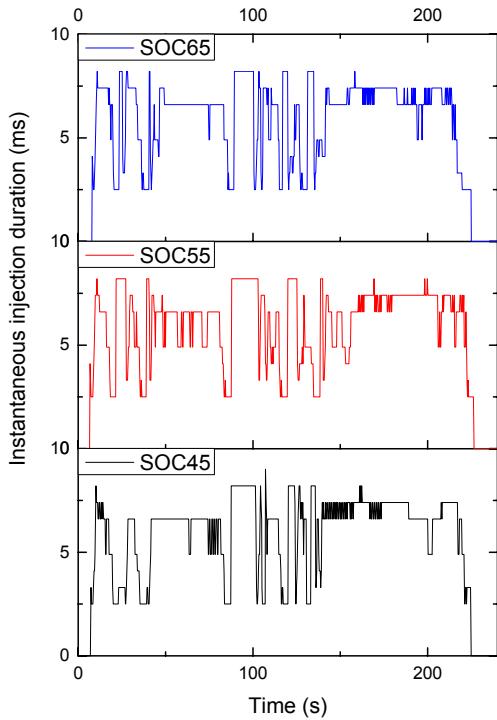


Fig. 16 Instantaneous injection duration according to the initial SOC conditions

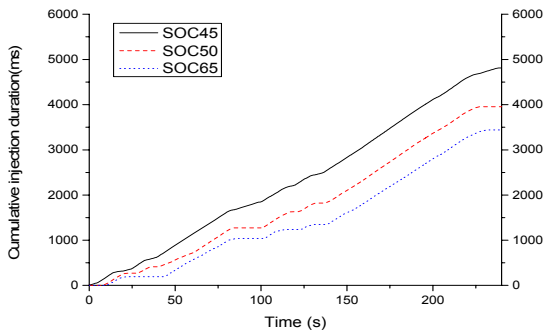


Fig. 17 Cumulative injection duration according to the initial SOC conditions

배터리가 방전된 것을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Fig. 14는 초기 SOC 상태에 따른 속도, 힘, 토크 변화를 나타낸 것이다. 초기 SOC의 상태와 상관없이 실험을 통해 측정된 힘과 토크는 서로 유사한 특징을 가지며, 차량이 정지 상태에서 출발하는 구간에서 토크가 가장 높게 나타났다.

Fig. 15는 초기 SOC 상태에 따른 엔진 작동 상태를 나타낸 것이다. 초기 SOC 상태가 높을수록 엔진의 작동 시간이 줄어드는 것을 알 수 있었는데, 이는 초기 SOC 상태가 높을수록 하이브리드 차량의 에너지 효율이 높음을 알 수 있었다.

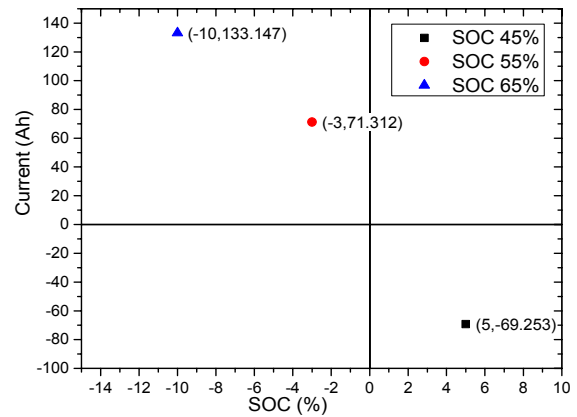


Fig. 18 Current balance according to the initial SOC conditions

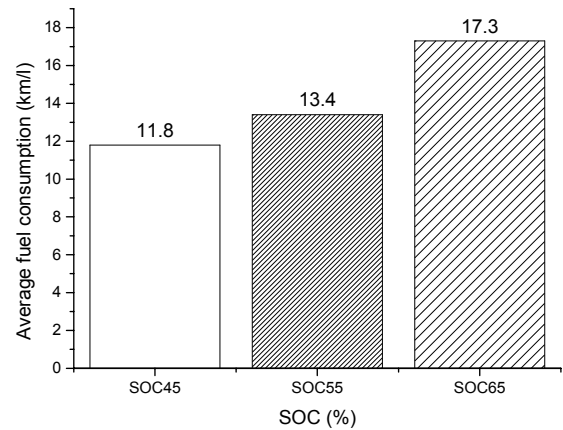


Fig. 19 Average fuel consumptions according to the initial SOC conditions

Fig. 16, Fig. 17은 초기 SOC 상태에 따른 순간 및 누적 분사 기간에 대한 결과를 나타낸 것이다. 초기 SOC 상태가 높아질수록 분사기간이 짧아짐을 알 수 있었다.

Fig. 18은 전류 변화와 SOC를 반영한 전류 수지에 대한 결과를 나타낸 것으로 전류 변화와 SOC 값을 정량적으로 분석한 것이다. 전류량이 (+) 값을 가지는 것은 배터리가 방전된 것이며, (-) 값을 가지는 것은 배터리가 충전된 것을 나타낸다. 초기 SOC45%에서 시작한 실험은 최종 SOC가 5% 증가한 50%였고 전류량 69.253Ah가 충전됨을 알 수 있었다. 초기 SOC55%에서 시작한 실험은 최종 SOC가 3% 감소한 52%였고 전류량 71.312Ah가 방전된 것을 알 수 있었다. 초기 SOC65%인 경우, 최종 SOC가 10% 감소한 55%였고 전류량 133.147Ah가 방전됨을 알 수 있었다. 이는 배터리의 효율 및 수명을 최적의 상태로 유

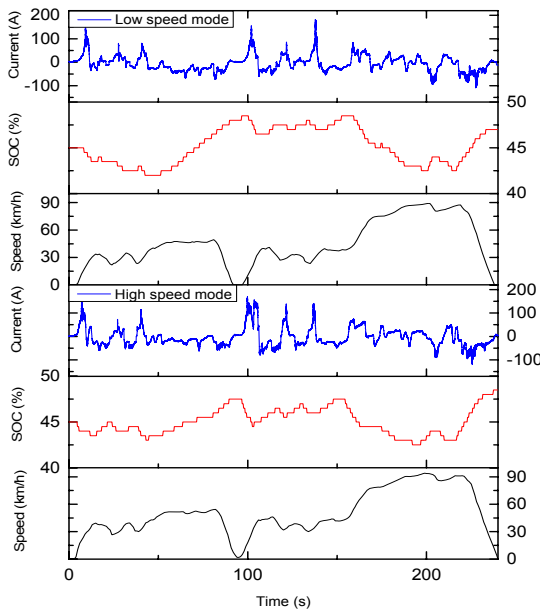


Fig. 20 Variation of vehicle speed and SOC according to the vehicle driving mode

지하기 위해 SOC 상태를 일정 영역으로 유지하려는 경향이 있는 것으로 판단된다. 그리고 회생 제동회수율은 실험 초기 SOC와 실험 후 SOC의 차이로, 초기 SOC가 높을수록 회생제동 회수율이 낮음을 알 수 있었다.

Fig. 19는 초기 SOC 상태에 따른 평균 연비에 대한 결과를 나타낸 것이다. 초기 SOC45%인 경우, 평균연비가 11.8 km/l, SOC55%인 경우, 평균연비가 13.4 km/l, 그리고 SOC65%인 경우, 평균연비가 17.3 km/l로 측정되었다. 초기 SOC 상태가 높을수록 높은 에너지효율을 가지는데, 초기 SOC65% 상태의 평균 연비는 초기 SOC55% 상태 대비 약 22.54% 높으며, 초기 SOC55% 상태의 평균연비는 초기 SOC45% 상태 대비 약 11.94% 높음을 알 수 있었다.

3.2 주행 모드 특성에 따른 연비특성

본 연구에서는 주행 모드 특성에 따른 연비 특성 실험을 수행하였는데, 현행 국내법규에 따른 운행차 검사모드인 IM240 모드의 허용 오차 범위(±3km/h)를 이용하여 주행 모드 특성에 따른 연비 특성을 분석하였다. +3km/h 모드를 고속 모드 실험, -3km/h 모드를 저속 모드 실험이라고 본 연구에서는 정의하였다. 이를 통해 IM240 모드 오차가 회생제동 회수율과 연비에 미치는 영향을 분석할 수 있었다.

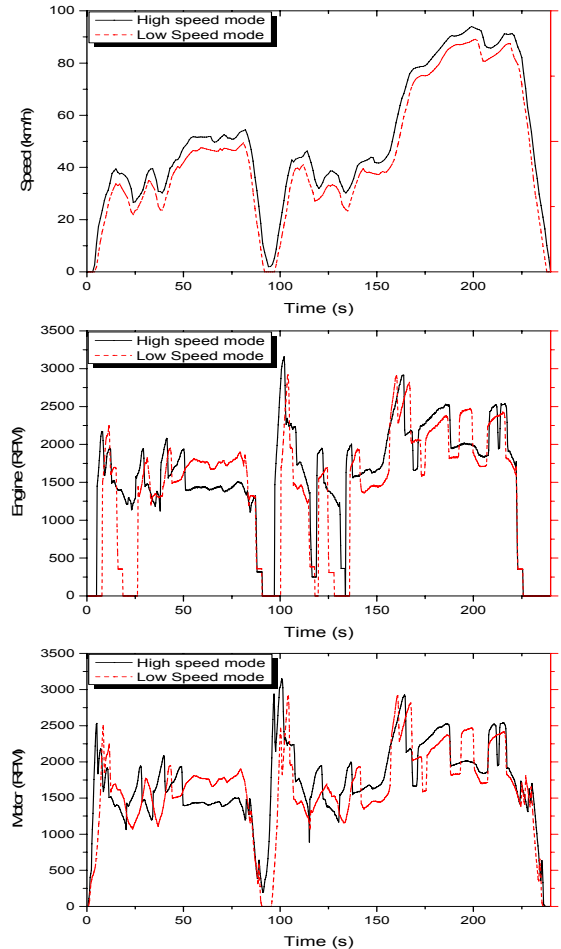


Fig. 21 Variation of engine and motor speed according to the vehicle driving mode

Fig. 20은 주행 모드 특성에 따른 속도, SOC 및 전류 변화를 나타낸 것이다. 초기 SOC의 상태와 상관없이 실험을 통해 측정된 전류 및 SOC는 서로 유사한 특징을 보였다.

Fig. 21은 주행 모드 특성에 따른 엔진 및 모터 속도 변화를 나타낸 것이다. 고속 모드보다 저속 모드에서 엔진 및 모터의 RPM이 높은 것을 볼 수 있었다. Fig. 22와 같이 연비 또한 고속 모드가 저속 모드에 비해 6.67% 정도 높은 것을 확인할 수 있었다.

3.3 운전자의 운전특성에 따른 연비특성

본 연구에서는 IM240 모드의 허용 오차 범위 내에서 운전자의 운전 특성에 따른 연비 특성을 분석하였다. IM240 모드 허용 오차 범위를 최대한 부드럽게 주행하는 연비 주행 실험과 허용 오차 범위 내에서 가속 및 감속 주행하는 과격 주행 실험을 수행하였다. 이는 연비 주행과 과격

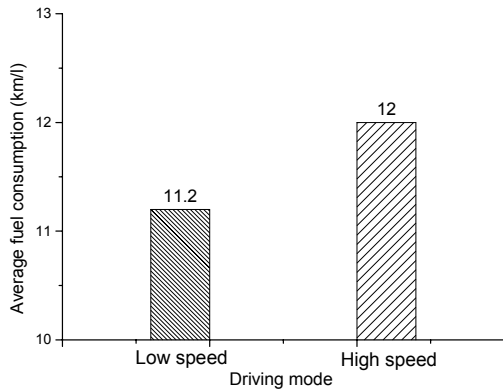


Fig. 22 Average fuel consumptions according to the vehicle driving mode

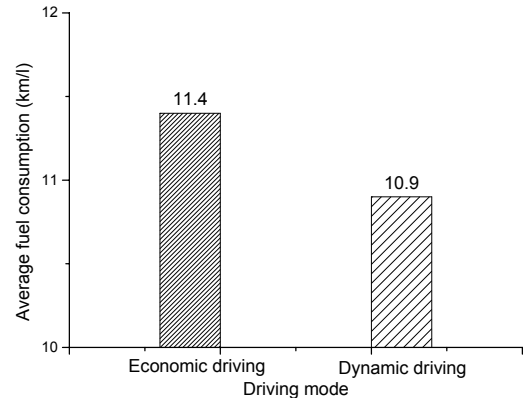


Fig. 24 Average fuel consumptions according to the driver's characteristic

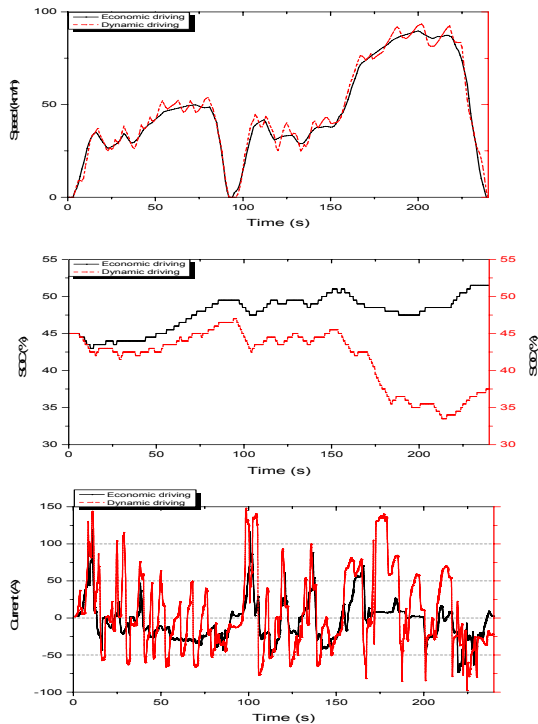


Fig. 23 Variation of vehicle speed and SOC according to the driver's characteristic

주행을 통해 운전자의 운전 특성이 회생제동 회수율과 연비에 미치는 영향을 분석할 수 있었다.

Fig. 23은 운전자의 운전특성에 따른 속도, SOC 및 전류 변화를 나타낸 것이다. 연비 주행 실험 결과 SOC 상태가 초기 45%에서 최종 51.5%로 높아졌으며, 과격 주행 결과 SOC 상태가 초기 45%에서 최종 37.5%로 감소하였다. 또한 과격 주행 전류 값이 연비 주행에 비해 (+) 값이 많은 것을 볼 수 있었다. 이는 하이브리드 차량의 에너지 효율을 높이기 위해서 모터 구동시키는 과정에서 배터리가 방전되었다는 것을 알 수 있었다.

Fig. 24는 운전자의 운전특성에 따른 평균 연비를 비교한 것이다. 평균연비는 연비 주행이 과격 주행보다 약 4.39% 높은 것을 확인할 수 있었다. 평균 연비에는 큰 영향을 미치지 않았지만 과격 주행 실험 후 최종 SOC가 37.5%까지 낮아지면서 실험 종료 후에도 엔진이 구동하여 배터리를 충전함을 알 수 있었다. 이는 IM240 모드 실험이 아닌 실제 도로에서는 연비에 큰 영향을 끼칠 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구는 TMED 방식 병렬형 하이브리드 전 기자동차를 대상으로 회생제동 회수율 및 연비 특성을 연구하고자 수행하였다. 초기 SOC 상태, 주행 모드 특성, 운전자의 운전특성에 따른 회생 제동과 연비 특성을 분석하기 위해 EC방식의 차 대 동력계를 이용하여 IM240 모드 실험을 수행 한 결과, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다.

(1) 초기 SOC 상태, 주행모드 특성 및 운전자의 운전특성은 하이브리드 차량의 에너지효율에 밀접한 관계가 있으며, 본 연구에서는 회생제동 회수율과 연료분사시간을 이용하여 하이브리드 차량의 에너지효율을 예측할 수 있었다.

(2) 일정 영역에서 SOC 상태를 유지하려는 경향으로 인해, 대략 50%의 영역에서 배터리 SOC 상태를 유지함을 알 수 있었다. 이는 배터리의 효율은 배터리 온도 및 SOC 상태에 따라 조절이 되며, SOC50% 지점에서 HCU가 제어되기 때문인 것으로 판단된다.

(3) 모드 특성에 따른 연비특성은 거의 동일한 경향을 보이지만, 제동 초기 속도에 따른 SOC

충전량이 변하는데, 제동 초기 속도가 높을수록 회생제동 회수율이 높음을 알 수 있었다.

(4) 운전자의 운전특성이 SOC 충전량에 미치는 영향을 실험한 결과, 과격 주행의 정속 구간에서 SOC 방전량이 충전량보다 상대적으로 많기 때문에 모드 주행 후 SOC 상태가 크게 감소하는 것을 알 수 있었다. 반면, 낮은 SOC 상태에서는 엔진을 이용한 배터리 충전이 진행됨을 알 수 있었는데, 이를 통해 연료 소비가 많아져 에너지효율이 낮아지기에 하이브리드자동차 운전자의 운전 특성을 감안한 운전제어로직 개발에 보다 더 기술적 역량을 집중할 필요가 있을 것으로 사료된다.

(5) 회생제동 로직, 모터의 제원, HCU 개입 등 다양한 변수로 인해 향후 GDS, Picoscope, CAN 통신 등을 이용하여 다른 차량에 대한 데이터를 추가 보완하여 TMED 방식 병렬형 하이브리드 차량의 회생제동 회수율과 연비 특성에 관한 비교 연구를 진행할 계획이다.

후 기

본 연구는 2015년도 정부(산업통상자원부, MOTIE)의 재원으로 에너지기술개발사업 지원을 받아 수행된 것이며, 이에 깊은 감사를 드립니다.

참고문헌 (References)

- (1) Ueda, T. and Ohata, A., 2004, "Trends of Future Power-train Development and the Evolution of Power-train Control Systems," SAE 2004-21-0063.
- (2) Kuze, Y., Kobayashi, H., Ichinose, H. and Othuka, T. 2004, "Development of New Generation Hybrid System (THS II) -Development of Toyota Coolant Heat Storage System-," SAE 2004-01-0643.
- (3) Kim, D. H., Ahn, S. J. and Choi, J. W., 2012, "Design and Analysis a Drive-train for a Parallel-type Hybrid Electric Vehicle," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*.
- (4) Lee, D., Hwang, I. G., Jeon, D. and Park, S. 2008, "Development and Optimization of the Hybrid Engine System Model to Improve the Fuel Economy," *Transaction of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 16, No. 6, pp. 65~73.
- (5) Chung, J., Seo, Y., Choi, Y., Choi, S., Kim, H. and Jung, K., 2011, "A Study on the Fuel Economy Prediction Method Based on Vehicle Power Analysis of PRIUS III," *Transactions of KSAE*.
- (6) Cho, S., Yu, S., Jung, D. and Min, K. 2009, "Energy Flow in Parallel Hybrid Vehicle," KSAE09-A0502.
- (7) Zheng, K., Yao, Y., Shen, T., Hikiri, K. and Sasaki, M., 2008, "Modeling and Control of Regenerative Braking System in Heavy Duty Hybrid Electrical Vehicles," SAE 2008-01-1569.
- (8) Kaul, S., Gupta, J., Sharma, S. and Kumar, N., 2013, "Scope of Regenerative (magnetic) Braking in the Production of Electricity in Automobiles," SAE 2013-01-2543.
- (9) Park, H., Seo, Y., Kang, W., Chung, J., Choi, Y., Han, B., Hahn, C. and Sung, S., 2011, "F.E Comparison of Hybrid Electric Vehicles(HEV) with Regard to the Driving Cycle Variations," KSAE11- A0117.
- (10) Kim, H. G., Kim, D., Choi, Y., Seo, Y., Lee, C. and Lee, C., 2010, "The Study for Characteristics of Hybrid Vehicle with Chassis Dynamometer," *Transactions of KSAE*.