

## 도시운전모드 하에서 HEV 배터리 충·방전 전략 분석에 대한 연구

김성곤, 정기윤, 양인범, 김덕진, 이춘범  
자동차부품연구원

### A study of charge and discharge strategy analysis on HEV battery under urban dynamometer driving schedule.

Seong-gon Kim, Ki-yun Jeong, In-beom Yang, Deok-jin Kim, Chun-beom Lee  
Korea Automotive Technology Institute

**Abstract** - Urban dynamometer driving schedule(FTP-75 mode) plays very significant role on automotive emission test, due to reference point. The overall system energy efficiency of a HEV(Hybrid Electric Vehicle) is highly dependent on the energy management strategy employed. An energy source is the heart of a HEV. In order to applicable to a vehicle component, it must be need to real world test result. But, the present state of things have numerous problems. In this paper, be studied performed based on HEV simulation software in virtual world and chassis dynamometer test in real world and the result make a comparative. Toyota Prius vehicle was adapted as a modeling and real testing to evaluate the hybrid components and energy balancing management. The point at issue is voltage and current analysis for HEV battery SOC(State of Charge), and verification for energy.

## 1. 서 론

1990년대에 순수 전기자동차의 단점을 극복하고 기존 내연기관차량에 비해 연비를 크게 개선할 수 있는 하이브리드 자동차(HEV)가 실현 가능한 대안으로 인식되면서 활발한 연구가 진행되었다. 엔진측면에서는 최적연비 영역에서 운전이 가능하며, 모터 측면에서는 부족한 동력 성능을 보조할 수 있어 차량 전체적으로 동력성능 및 연비성능을 탁월하게 개선할 수 있을 뿐만 아니라 엔진의 운전영역이 고효율 영역에서만 운전할 수 있으므로 유해 가스의 배출량이 월등히 적어 배기ガ스 규제에도 탁월한 성능을 보인다. 또한 기존의 연료주입을 위한 기반산업을 그대로 이용할 수 있는 장점을 가지고 있다. 이와 같이 HEV는 배기ガ스규제 및 CO<sub>2</sub> 규제 그리고 에너지 효율 국대화라는 3가지 측면을 고르게 만족시킬 수 있을 뿐만 아니라 여러 가지 측면에서도 현 시점에서 가장 실질적이고 직접적으로 적용 가능한 기술이다. 연료전지 자동차와 전기자동차가 기술적인 측면에서 아직 상용화 단계에 이르지 못하고 있고 비용도 매우 비싸다는 점에서 세계 주요 자동차 생산업체들은 HEV 자동차개발에 적극적이며 일부 업체는 이미 상용화 판매를 하고 있는 실정이다. 본 연구는 이러한 친환경 HEV 자동차인 Toyota Prius THS-II 3세대 모델을 기반으로 한 실차량 시뮬레이션을 통해 얻은 배터리 전압과 전류 특성을 분석하고, 차량동력계를 이용한 실차 시험결과와 비교함으로써 배터리의 충·방전 현상을 분석하여 HEV 시뮬레이션 결과에 대한 검증을 실시하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실차기반 시뮬레이션

본 연구에서 사용된 AVL社의 Cruise S/W (그림 1)는 차량 및 각 구성요소에 대해 실차 시험 결과를 통한 최적화된 차량용 시뮬레이션이다. 특히 HEV 형태의 자동차나 연료 전지 차량에 대한 효율 평가 및 개념 구성, 과도 상태에서 전동기의 효과, 온도 모델에 따른 시스템 디자인, 주행 모드별 실차상태의 가상분석 등이 가능하여, 모듈 개념으로 모든 가능한 차량의 윤곽을 자유롭게 변형할 수 있어 광대한 다양성을 지니고 있으며, 새로운 차량에 대한 구상 제안(HEV 차량, 연료전지차량의 평가), 일시적 동력 효율에 관한 분석, 차량 영관리 체계 디자인, 저농형 운전 모드에 대한 차량 구동의 현실적 재배치 등을 짧은 계산 시간에 정교한 해석을 통해 보장된 결과 도출이 가능하다. 또한, 운전 성능 (가속도, 응답성), 기어 전송 비율, 제동 성능에 최적화된 연료 소비와 배출가스에 관하여 산출할 수 있고, 특정 운전 모드와 엔진 개발, 스트레스 계산과 주행 진동을 위한 공통된 부하의 결정을 위해 전형적으로 이용된다.

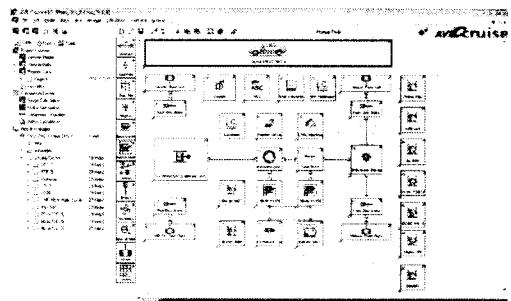


그림 1 AVL Cruise와 Toyota Prius THS-II모델링

### 2.2. HEV 시뮬레이션 및 FTP-75모드

HEV 시뮬레이션 모델은 앞에서 설명한 바와 같이 실차 시험 결과 기반으로 만들어진 Cruise를 시뮬레이션 S/W를 통하여 Toyota Prius THS-II 3세대 모델을 기반으로 하였다.(그림 1) 이 모델은 저연비·고효율로 전환 고유가 시대를 대비한 소비자들의 선택을 고려하였고, 친환경 시대를 전향해서 집중 개발된 HEV 자동차 중에서 현재 시판 되고 있으며, 가장 많이 발표된 HEV 자동차 시뮬레이션의 대표적 형태이다. 각 구성요소들은 실차 시험 결과가 반영된 형태로, Closed-Loop제어가 구현된 시뮬레이션 결과가 각종 Cycle-run에 대해 최적화 되어 있다.

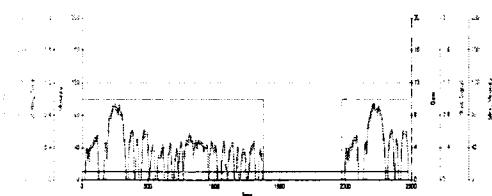


그림 2 FTP-75 운전 모드

본 연구에서는 실차량을 고려하여 배출가스에 대해 독립적인 시험 및 실험에 의해 대표적인 stop-go 이용하는 도시운전모드를 선정(그림 2) 하였으며, 이는 빈번한 정지 상태의 도시노선 및 가감속 구간에 근접한 사이클로, 우리나라를 비롯한 미국, 스웨덴, 호주 등에서 연비 측정에 현재 사용되고 있는 모드이다.

FTP-75모드는 크게 Cold-start (505sec), Transient (1372sec), Hot-start (1874sec) 3구간으로 이루어져 평균한 상태와 도시 고속 운전, 공기조화의 사용의 방안을 검증하기 위하여 SFTP(Supplemental Federal Test Procedures)에 효과적인 방안으로 2000년부터 사용되고 있으며, 주행 거리 11.04 miles (17.77 km), 시간 1874초, 평균속도 21.2 mph (34.1 km/h)이다.

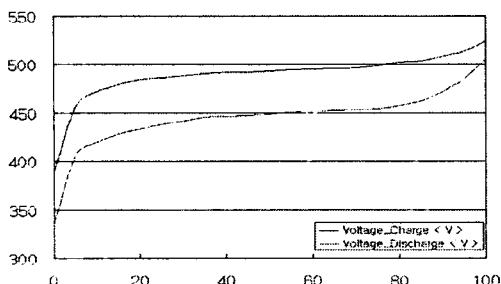


그림 3 Idle Voltage Charge and Discharge

그림 3은 SOC(%)에 따른 배터리 전압 곡선을 나타낸 것으로 배터리 SOC는 전압과 특성곡선에 대한 추정값을 현재 상태와 비교하여 결정한다.

### 2.3 시뮬레이션 결과

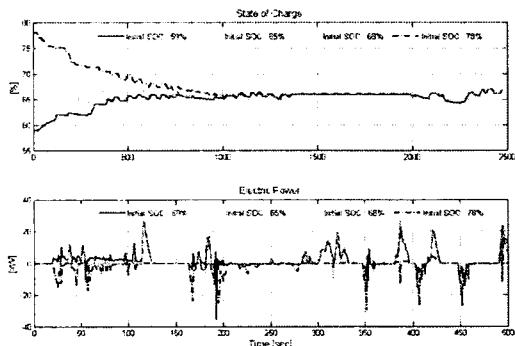


그림 4 초기 SOC 상태에 따른 SOC 변화 및 전력 특성

시뮬레이션 결과 SOC와 Current값을 이용한 그림 4는 초기 SOC를 다르게 설정하고 시뮬레이션을 실시하였을 때 기준 SOC의 추종 특성과 전력을 나타내고 있다.

기준 SOC는 66%이며, 초기 SOC를 각각 59%, 65%, 68%, 78%를 임의로 제공한 후 수행 결과에 대한 것으로 Cold-start와 Transient 구간에서 초기 SOC가 기준 SOC보다 낮은 경우 기준 SOC을 추종하면서 회생제동 특성이 지배적이며, 초기 SOC가 기준 SOC보다 높은 경우 구동특성이 강하게 나타난다. FTP75의 휴지 구간 전후로 하여 SOC 초기치에 의한 영향이 사라지고 Hot start 구간(약 1000초 이후)에서는 거의 동일한 형태를 보여주고 있다. 전력은 초기치가 기준치 66%보다 큰 경우 회생제동에 의한 충전 전력이 두드러지며, 기준 SOC 값과의 초기치 차이가 점점 작아짐에 따라 유사하게 나타남을 보여주고 있다.

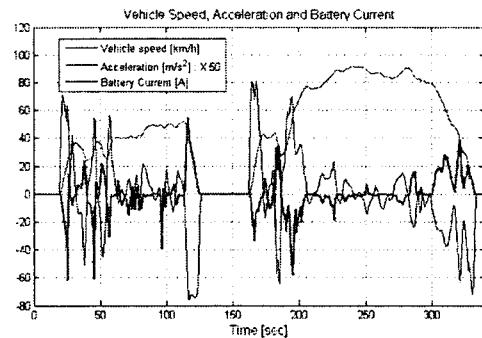


그림 5 FTP-75 운전 모드에 따른 배터리 전류 특성

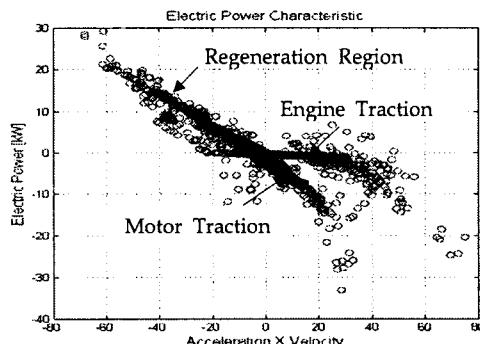


그림 6 Mechanical Power 대비 배터리 전류 특성

그림 5·6은 차량의 기계적 에너지 대비 배터리의 전류 특성을 보여주고 있다. 그림 5에서 보여 주듯이, 감속구간에서는 회생제동에 의한 배터리 충전 구간이 지배적이며, 가속구간에서는 엔진 구동 혹은 모터 구동의 특성이 분리되어 있다. 간헐적으로 가속구간에서 모터와 엔진에 의한 동시 구동이 존재하지만, 전체적으로는 빈도가 낮게 나타났다.

### 2.4 실차시험 결과

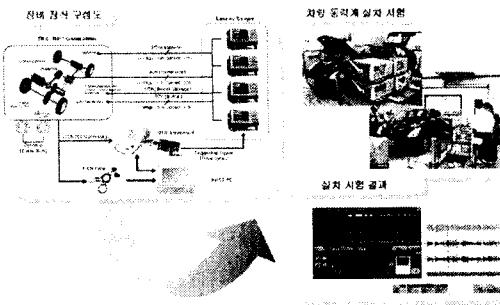


그림 7 차량동력계 실차시험

HEV 시뮬레이션 결과에 대한 적합성 검증을 위하여 그림 7과 같이 4륜 차량동력계에서 Toyota Prius THS-II 3세대 모델 차량을 연비 평가에 대표적으로 사용되는 FTP-75모드에 준하여 실차시험을 수행하였다. 시뮬레이션 및 시험 결과에 따른 배터리의 전류를 그림 8에서 나타내었으며, 차량 모델의 간략화, 배터리 특성에 대한 오차 및 실차시험상의 환경적 조건에 의한 차이가 존재하지만, 대체적인 경향의 관점에서는 매우 유사함을 알 수 있으며, 전력도 실차시험과 시뮬레이션 결과와의 경향성이 비슷하게 나타났다. 배터리의 전력 및 전류관점에서 HEV 시뮬레이션의 결과는 FTP-75모드 시험결과와 매우 유사함을 알 수 있다.

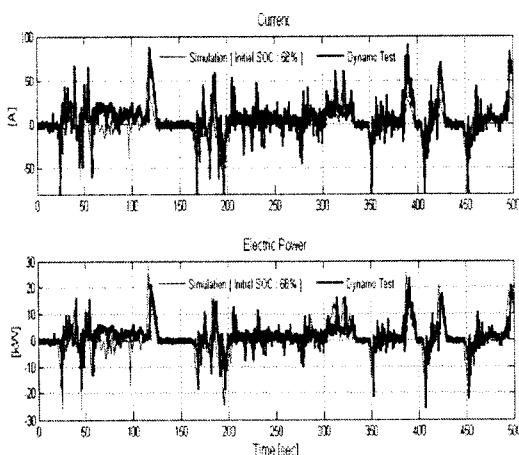


그림 8 차량동력계 시험을 통한 전류 및 전력 특성

그림 9는 FTP-75모드에서 서로 다른 SOC 초기값 대비 변동 성분에 따른 시뮬레이션 결과와 차량동력계에서 측정된 SOC를 나타낸다. 실차 시험에서 얻은 전류값을 통해 산출된 SOC값은 HEV 차량의 초기 SOC값이 66% 보다 작아서 회생구동 현상이 크게 나타나는 것이 특징이다. 따라서, 차량의 초기 SOC상태에 의해 HEV 자동차의 구동 특성과 회생제동 특성의 동력분배에 차이가 발생하며, 기준 SOC에 근접한 이후에는 초기 SOC와는 상관없이 동력분배 알고리즘에 의해 운행됨을 알 수 있다.

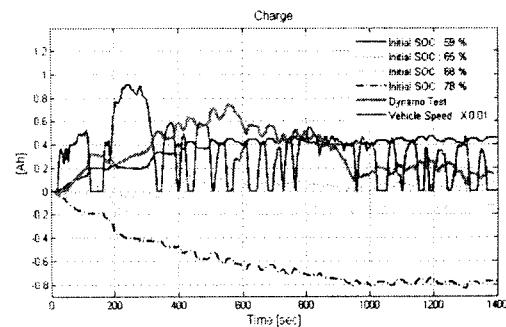


그림 9 시뮬레이션 SOC 대비 차량동력계 시험 HEV SOC

### 3. 결 론

본 연구에서는 FTP-75모드를 통한 HEV 배터리에 나타나는 충·방전 특성에 대해 시뮬레이션 및 차량동력계 실험을 통한 결과를 비교 분석함으로써 SOC상태에 따른 회생제동 및 구동특성을 알 수 있었다.

HEV 시뮬레이션 결과는 실제 차량과 유사한 형태로 나타남에 따라 HEV 차량 개발 및 요소부품개발에 있어 활용도가 높을 것으로 사료된다.

고효율 고성능 HEV의 국산화 및 세계 시장 진입을 조기에 달성하기 위해서, 기술개발 관련 업체의 정보 제공 자료로 한 몫을 할 것으로 판단되며, 선진 HEV 차량의 기술수준을 개관적인 관점에서 평가·분석에 의해 도출된 결과를 이용하여 부품업체의 기술개발 목표설정의 지표로 삼고, 향후 개발된 부품에 대한 객관적인 성능 및 기술수준 향상을 위한 Test Bench 구축에 일조할 것으로 사료된다.

본 과제는 산업자원부와 에너지 관리공단에 의해 수행되고 있는 에너지·자원기술개발사업의 “고효율 자동차 핵심 전장부품 성능 평가 및 신뢰성 향상 기술 개발”의 세부7 과제의 일환으로 수행 되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 남종하, 최진홍, 백종엽, 장대경, 황호석, “하이브리드 전기자동차 시뮬레이션 ADVISOR”, 전력전자학술대회 논문집, 2006. 6, pp. 225 ~ 227 (3pages)
- [2] 장중순, 박부희, 김선진, 양인범, 정기윤, 김성곤, “실사용 조건을 고려한 하이브리드 자동차 부품의 신뢰성 시험 설계” 자동차 기술통합 Workshop, 2007. 9. 12~14, pp.68
- [3] Tony Markel, Keith Wipke, “Modeling Grid-Connected Hybrid Electric Vehicles Using ADVISOR”, NREL/CP-540-30601
- [4] Ali Emadi, “Handbook of Automotive Power Electronics And Motor Drives”
- [5] Ali Emadi, “Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles”
- [6] John M. Miller, “Propulsion System for Hybrid Vehicles”
- [7] Toyota Co. “Toyota Prius THS-II repair manual”
- [8] <http://www.dieselnet.com>
- [9] <http://www.avl.com>
- [10] <http://toyota.jp/>
- [11] <http://www.doe.gov>
- [12] <http://www.electricdrive.org>