

하이브리드 자동차의 주행 모드 변환에 따른 실시간 모니터링 교육용 콘텐츠 개발

이중순^{1*}, 손일문¹
¹동명대학교 자동차공학과

Development of educational contents for the real time monitoring by changing of hybrid vehicle driving mode

Joong-Soon Lee^{1*} and Il-Moon Son¹

¹Dept. of Automobile Engineering, TongMyong University

요약 Toyota사의 PRIUS THS 시스템을 이용하여 HEV 알고리즘 분석을 통한 THS의 주행 모드 변환에 따른 실시간 모니터링 시스템을 개발하고자 한다. 병렬형 하이브리드 시스템의 경우에 엔진과 전동기를 주행 상태 최적인 상태로 운행하기 위해서는 다양한 제어전략이 필요하다. 본 연구를 통하여 주행 가능한 THS 차량의 주행에 필요한 입출력 정보를 실시간적으로 모니터링할 수 있는 시스템을 개발한 결과, 하이브리드 자동차의 동력 분할 및 에너지 활용을 극대화시키기 위한 수단의 하나로 차량의 주행모드 변화에 따른 각 구성요소의 동작 상태를 모니터링 가능하게 되었다. 개발된 시스템은 제어전략의 체계적인 수립과 실시간 데이터 분석이 가능하기 때문에 HEV자동차의 알고리즘 분석해석을 통해 HEV자동차의 개발 기반에 유용하게 활용될 것이다.

Abstract A key factor in the study of hybrid vehicle is to enhance the usability of energy. The paper introduces the monitor and controlling technology of hybrid vehicle that can process the relevant information considering the structure of power system and driving strategies simultaneously, and can monitor its results. This technology, so called HEV algorithm analysis, has been applied to PRIUS THS made by Toyota Co. LTD. This model is adapted to parallel hybrid type. It has a somewhat complex structure, but has several merits. Its energy loss is lower when conversing, and also it is easily applied to the conventional vehicle having a gasoline engine without any overall changing of its structure, and so on. This monitor and controlling technology is very useful to study on the various driving strategies of hybrid vehicle for maximizing the usability between engine and electric motor.

Key Words : Toyota's Hybrid System(THS), State of Charged(SOC), Power split device, Hybrid Electric Vehicle(HEV), Monitoring system

1. 서론

하이브리드 자동차에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데 자동차의 성능을 향상시키기 위한 수단의 하나로 하이브리드 자동차의 구성 요소에 대한 제어 상태의 변화를 실시간적으로 파악하여 에너지의 활용 효율을 증대시켜야 할 필요성이 대두되고 있다.

하이브리드 자동차는 동력원으로 하이브리드용 엔진,

전기모터와 발전기, 고출력 배터리, 인버터 등이 사용되는데, 기존의 엔진을 사용함에도 불구하고 운전 조건의 변화에 따른 동력 발생과 제어시스템이 기존의 자동차에 비하여 전혀 다른 새로운 개념을 가지고 있기 때문에, 지금까지의 자동차 관련 지식만으로는 쉽게 접근하기 어려운 것이 사실이다. 또한, 엔진과 전동기의 용량 매칭 기술, 주행시의 동력분배, 최적 기어비 선택 전략 및 폭넓은 주행모드에 대한 주행전략 등 기존의 내연기관 자동차에

*교신저자 : 이중순(jslee@tu.ac.kr)

접수일 11년 02월 24일

수정일(1차 11년 3월 23일, 2차 11년 3월 25일)

게재확정일 11년 04월 07일

비해 매우 복잡한 기술이 요구되기 때문에, 엔진과 전동기를 사용하는 하이브리드 동력시스템의 구조와 주행전략의 수립에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다[1, 2].

하이브리드 자동차와 전기 자동차와 같은 신기술에 능동적으로 대처하고 신기술의 파악 및 원리를 이해하기 위해서는 전체 시스템에 대한 폭넓은 이해와 함께, 구조를 파악하고 조건변화에 따른 구성 시스템의 제어영역 변화, 즉 실제 운전자의 인식 정보에 대한 정확한 알고리즘 개선이 필요하다. 연구에 사용된 병렬형 하이브리드 방식은 구조가 복잡해진다는 단점이 있는 반면, 에너지 변환손실이 적고 기존 내연기관 차량의 구조에 큰 변경 없이 접목이 용이하다는 장점이 있다. 따라서 병렬형 하이브리드 시스템의 경우에 엔진과 전동기를 주행 상태 최적의 상태로 운행하기 위해서는 다양한 제어전략이 요구된다.

본 연구에서는 HEV 알고리즘 분석을 통한 THS의 주행 모드 변환에 따른 실시간 모니터링 시스템을 개발하여 동력시스템 구조와 주행전략에 적합한 정보 처리 및 상태 확인이 가능한 모니터링 기술을 제시하여 교수학습활동에 활용하고자 한다.

2. THS의 구성과 SOC 분석

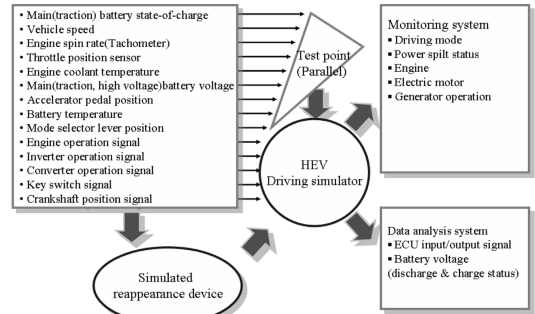
차량의 주행조건에 따른 시뮬레이터 제어를 위하여 HEV의 엔진 ECU, 하이브리드 ECU, 배터리 ECU로부터 각종 정보를 취득해야 한다. 이를 위해 데이터의 모니터링과 분석에 필요한 제어요소를 설정하고 개별정보에 따른 실시간 정보나 복합적이고 유기적인 복수 정보에 대한 기본 설정값을 제시하여야 한다. 따라서 주행 모의 테스트나 모의 재현장치의 가변을 통해 정확한 HEV의 상태분석을 시행하고, HEV정보에 대한 분석요소를 설정할 필요가 있다.

그림 1은 본 연구의 제어 범위를 그림으로 나타낸 것이다. Toyota사의 프리우스 차량을 베이스로 하여 차량으로부터 제공받을 수 있는 각종의 정보를 용이하게 취득할 수 있도록 주행이 가능한 시뮬레이터 차량을 제작하고 모니터링 시스템을 이용하여 차량의 주행 중에 취득한 각종 기초 정보를 분석할 수 있는 시스템을 구축하였다.

본 연구에서는 취득한 정보를 이용하여 주행모드에 따른 동력분할장치의 동작 관계와 엔진의 온도에 따른 배터리의 방전종지전압을 확인하였다.

그림 2는 본 연구를 통하여 구현한 하이브리드 시스템의 구성을 나타낸 것이다. 시스템은 1,500cc급의 엔진과 3상교류 동기모터가 병렬 연결되어 있는 구조이며, 모터

구동용 배터리, 인버터/컨버터, 엔진제어용 ECU, 동력전환용 ECU 등으로 구성되어 있다.



[그림 1] THS의 구성과 제어 범위



[그림 2] 하이브리드 시스템의 구성

[표 1] 하이브리드 시스템의 제원[3]

	Part	Specifications
Vehicle	L×H×W(mm)	4,315×1,695×1,475
	Transmission	Planetary gear CVT
	Drive train	Split type
Engine	Cylinder	4
	Displacement(cc)	1,497
	Max. Power	52kw/4,500rpm
Battery	Max. Torque	111Nm/4,200rpm
	Type	Ni/MH
	Cell Voltage(V)	1.2
Motor	Total voltage(V)	273.6
	Type	3 Phase AC synchronous
	Max. Power	33kw/1,040~5,600rpm
	Max. Torque	344Nm/0~4,000rpm

표 1은 본 연구에 적용된 Toyota사의 프리우스 THS 시스템의 제원을 표 2는 주행 모의 테스트 결과를 각각 나타낸 것이다. 차량의 상태에 따라 HEV구성요소의 동작 상태를 구분하여 모드 변환에 대응할 수 있는 모니터링의 요소를 결정하고 구분할 수 있는 정보를 취득하는 것이 필요하다.

【표 2】 하이브리드 시스템의 모드별 주행 결과

Component		BATTERY	ENGINE	MOTOR	POWER SPLIT DEVICE	GENERATOR	POWER CONTROL UNIT
Mode							
Starting off	1						
Low/mid-speed driving	2						
Cruising	3						
Cruising/Recharging	4						
Full acceleration	5						
Deceleration	6						
At rest	7						

: 배터리 충전
 : 작동
 : 모터 제동

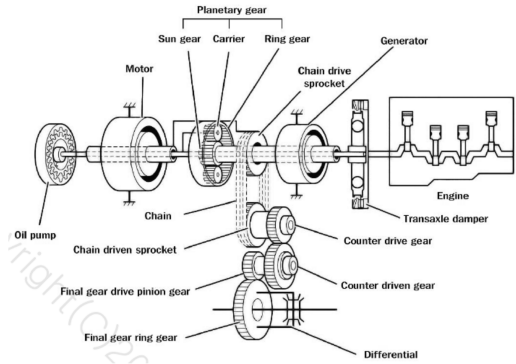
그림 3은 도요타사의 프리우스 자동차에 사용되는 동력분할장치와 기어트레인의 구성을 나타낸 것이다. 동력분할장치는 엔진의 동력을 이용하여 직접 구동하는 경우와 발전을 위한 제너레이터를 구동하는 경우를 구분하여 제어하고 동시에 엔진에 의한 구동력과 모터의 구동력을 조합하여 차량의 구동력을 제어하는 장치이다.

유성기어의 선기어에 부착된 발전용 모터와 캐리어에 연결되는 엔진을 두 개의 입력으로 하고, 링기어에 연결된 구동용 모터를 하나의 출력으로 하는 동력전달 구조를 취하고 있다.

선기어와 링기어의 기어 잇수로 부터 정해지는 엔진/발전용 모터/구동용 모터의 토크를 기반으로 발전용 모터의 속도를 조정함으로써 발전용 모터에 의한 충/방전을 구현할 수 있을 뿐 아니라 전기적으로 작동되는 일종의 무단변속기 역할을 수행한다.

그림에서 보는 바와 같이 동력분할장치는 링기어, 피니언 기어, 선기어, 플래니터리 캐리어로 구성되어 있는데, 플래니터리 캐리어의 회전축과 엔진이 연결되어 있고, 외주 부분에 설치된 링기어의 회전축은 모터에 직결되어 있고 선기어의 회전축은 제너레이터에 연결되어 있다.

이는 전체 시스템 효율면에서는 가장 우수하고 별도의 클러치 없이 부드러운 엔진의 ON/OFF 제어가 가능한 장점이 있는 반면, 차량의 정상상태 주행 중에도 유성기어계의 변속비 유지를 위하여 항상 동력이 소모된다는 단점이 있다[4].



【그림 3】 동력분할장치와 기어 트레인의 구성

링기어와 피니언 기어 및 선기어의 잇수는 각각 78 : 23 : 30의 잇수비를 가지고 있다. 차량의 주행 모드는 출발 모드, 중·저속 모드, 정속 주행 모드, 전부하 모드, 감속 모드 정지 모드 등으로 구분할 수 있는데, 여기서는 정속 주행 모드시의 동력분할장치의 동작 원리에 대하여 기술한다.

주행 상태 변화에 따른 동력분할장치의 기어축 회전속도 및 동작 상태에 따른 엔진, 전기모터, 제너레이터의 동작은 주행 상태 변화에 따라 각각의 요소가 서로 상반된 동작 또는 연계하여 동작한다.

정속 주행 모드의 경우에는 양호한 운전영역이기 때문에 주로 엔진의 출력으로 주행한다. 엔진의 출력은 플래니터리 캐리어와 선기어 및 링기어를 거쳐 구동바퀴에 전달되며, 동시에 선 기어에 전달된 동력은 발전기를 구동시켜 모터를 구동하여 보조 동력원으로 사용되는 반면 배터리의 충전상태가 불량한 경우에는 엔진 출력을 증강시켜 제너레이터를 통한 구동바퀴 보조와 함께 배터리의 충전을 실행한다.

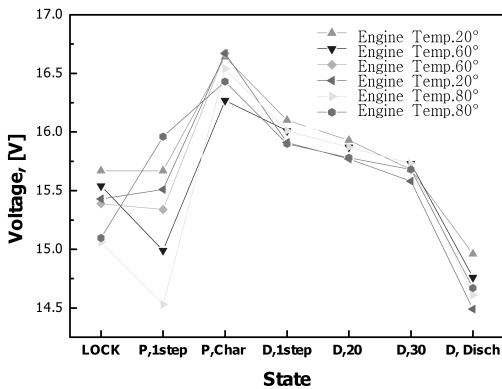
따라서 주행 조건 모의 재현을 향상시키기 위해서는 각 요소부품의 입출력 정보를 확인하여 구분할 필요가 있다.

모니터링 결과의 분석을 위해서는 자동차의 정보뿐만 아니라 배터리의 충전상태(State of charge)에 대한 정보가 필요하다. 따라서 본 연구에서는 차량의 초기 SOC상태와 모터만 구동되는 모드에서의 배터리 셀 전압을 각각 측정하였다. 이는 SOC가 288V이하로 떨어질 경우에는 방전모드의 종지와 함께 엔진의 출력을 보조해 줄 수 없는 상태가 되기 때문에 주행 모드의 결정에 있어 매우 중요한 요인이라고 볼 수 있다.

그림 4는 주행 모드에 따른 배터리 충전과 방전종결시점까지의 배터리의 셀당 전압 변화를 나타낸 것이다. 냉간 시동의 경우나 열간 시동시와 같은 엔진의 온도상태

는 배터리의 방전에 큰 영향을 미치는데, 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 엔진이 워업된 열간시동시에는 배터리의 충전 시간 감소와 함께 상대적으로 낮은 셀당 전압의 감소 현상을 볼 수 있다. 이는 배터리의 전압 변화는 엔진 자체의 온도 영향에 따라 큰 영향을 받는 요인에 기인한 현상으로 판단된다.

또한, 초기 충전상태가 40%~80%인 경우에 방전 중지 전압은 약 14.5V가 될 때까지 선형적인 감소를 보임을 알 수 있었고, 그 이하의 조건에서는 차량이 부조 현상을 보이며 시동성이 불량해 짐을 제시 외의 조건에서 확인 할 수 있었다.



[그림 4] 시스템 조건 변화에 따른 배터리 셀 전압

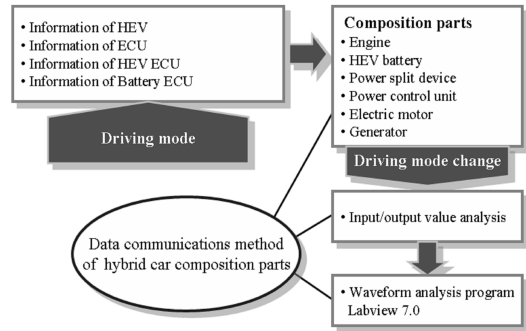
3. 실시간 모니터링 시스템

3.1 데이터 통신을 이용한 데이터 처리 장치

하이브리드 시스템의 최대 특징은 구동력 전달경로에 자동차를 달리게 하는 에너지 일부를 일시적으로 저장할 수 있는 출입 가능한 에너지 버퍼인 고출력과 고용량의 전지를 탑재하고 그 에너지를 유효하게 사용하는 순환경로를 지닌 것이다.

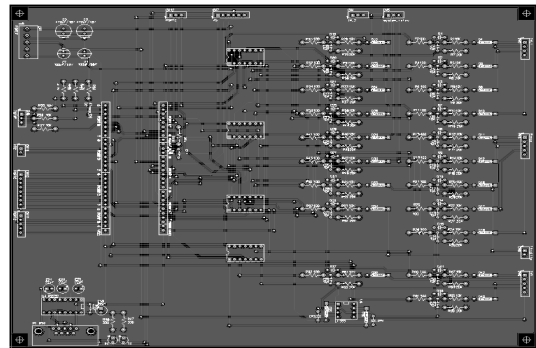
따라서 각각의 운전모드에 의한 최적의 동력변환과 엔진효율의 적정성을 극대화하는 각 구성품의 구동 및 변환모드를 개발된 실시간 모니터링 시스템을 이용하여 직접 계측하고, 이를 통해 에너지의 상태와 하이브리드 자동차의 구동 특성을 파악할 수 있다.

컴퓨터와 그 주변의 장치들 간에 직렬 데이터 통신을 하기 위한 물리적 연결과 프로토콜에 관한 기술을 적용하는데 RS232통신 방식을 채택하였다.



[그림 5] 하이브리드 시스템의 데이터 입출력

그림 5에 나타난 바와 같이 직렬통신을 통하여 실제 하드웨어 상의 다양한 실시간 데이터, 즉 차량의 정보, power control unit의 변화, 모터 및 제너레이터의 구동신호, 모드변환에 따른 출력데이터 변환정보를 모니터링하고 데이터를 통신하여 진단 프로그램(Labview 7.0)으로 출력 감지 가능영역으로 변환한다.



[그림 6] 개발된 모니터링 시스템의 메인 보드

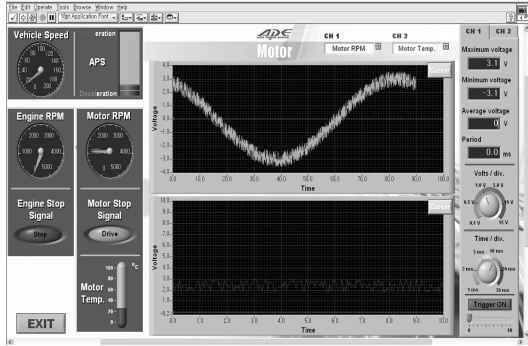
또한 하이브리드 시뮬레이터에서의 수많은 정보를 선택하여 보낼 수 있는 신호 선택처리부를 두어 진단 프로그램(Labview 7.0)의 부하를 경감하고 모니터링 시스템의 통신 프로토콜을 설정하였다. 그림 6은 통신 메인 보드의 PCB 실물사진을 나타낸 것이다.

3.2 데이터 분석 프로그램

파형 분석 프로그램은 하이브리드 자동차 시뮬레이터의 주행 조건에 따른 엔진, 교류 동기 모터, 제너레이터, 인버터, 컨버터, 하이브리드 배터리의 동작 상태 및 하이브리드 ECU, 모터 ECU, 엔진 ECU, 배터리 ECU에서 입·출력 되는 신호의 시간 이력값을 실시간으로 샘플링하여 나타낼 수 있다.

또한 주행 조건에 따른 입·출력 신호값을 확인할 수

있기 때문에 이를 통해 실제 차량의 동작 상태 확인이 가능하다. 이와 같은 데이터 분석 프로그램을 지속적으로 보완하여 실제의 차량에 적용할 경우에 하이브리드 자동차의 정비용 스캐너로서의 활용이 가능할 것으로 예측된다.



[그림 7] 데이터 파형 분석 결과의 예

그림 7은 하이브리드 모니터링 시스템을 이용하여 실시간 파형을 취득한 예를 나타낸 것이다. 그림은 모터 회전 센서에서 출력되는 신호인 모터의 회전수와 모터의 온도를 실시간적으로 계측한 파형을 나타낸 것이다.

제시한 조건은 엔진의 구동이 없는 상태로 모터의 동력에 의하여 20km/h인 속도로 하이브리드 자동차가 주행하는 경우이다. 이 경우에 엔진의 회전수는 0rpm, 모터의 회전수는 1,000rpm인 주행 조건에서 가속페달 위치 센서인 APS의 값은 20%를 나타내고 있으며, 모터 정지 요구 신호는 대기 중에 있음을 알 수 있다.

채널 1은 모터의 출력 신호로서 +3.1V~-3.1V의 범위에서 안정된 값을 나타내고 있으며 채널 2는 모터의 온도를 계측한 결과인데, 2.5V 범위의 값을 출력하고 있는데, 이 때의 온도는 25℃ 정도이며 모터에는 무리한 부하가 작용되지 않음을 알 수 있다.

3.3 구동특성 분석용 모니터링 시스템

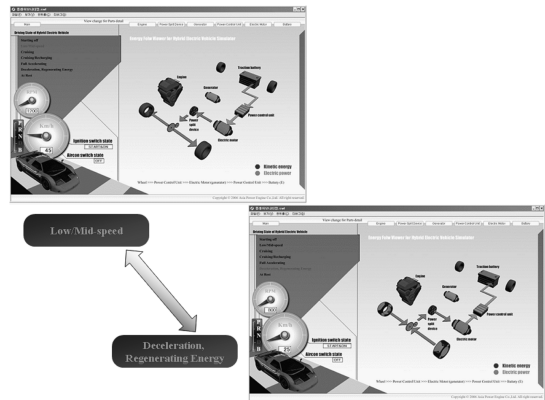
차별화된 이미지와 다양한 애니메이션 효과를 구현하여 관련 교과 영역에 교수-학습용 자료로 활용하기 위하여 시뮬레이션 과정을 모니터링 할 수 있는 Macromedia Flash 프로그램 자료를 제작하였다.

또한, 시각적인 이해도 증대와 함께 실제 형상과의 이질감을 최소화시킴과 동시에 시뮬레이터상에서 가시적 확인이 불가능한 구성 부품의 시각화를 위하여 3차원 모델링(Autodesk 3D MAX)을 사용한 동작 애니메이션 비트맵 데이터를 제작하여 플래쉬에 삽입하였다.

본 연구에서는 실시간 신호처리에 의한 모니터링의 구현을 위해, 직렬통신을 통하여 받아들이는 하드웨어 데이터

의 처리에 관한 플래쉬 기술(MDM ZINC)을 적용하여, 제작상의 중심 프로그램인 플래쉬 프로그램이 하드웨어 제어 및 운영체제 API에 대한 접근의 한계를 가지는 부분을 보완하였다.

그림 8은 주행 모드 변환에 따른 동력 전달 과정을 모니터링한 결과를 나타낸 것이다.

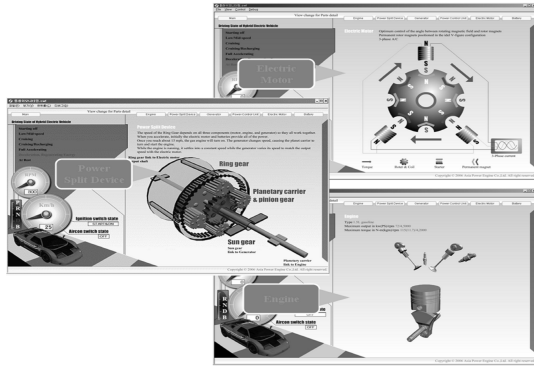


[그림 8] 모드 변환에 따른 모니터링 시스템

Low/Mid speed 모드인 시속 55km/h까지의 범위에서는 완전충전상태일 경우에 모터에 의하여 구동바퀴를 구동시키는 구간으로, 저속주행구간에서 모터에 의한 높은 토크를 이용하여 엔진의 연료를 차단하고 엔진의 구동이 정지된 상태에서 배터리에 의해서 동력이 전달되는 구간이다. Deceleration, Regenerating Energy 구간에서의 차량 구동은 엔진의 동력이 차단되고, 전기모터에 의해서 움직이는 상태로 변환된다. 이 경우는 발전기에서 생산된 전류에 의해 전기모터가 구동됨과 동시에 배터리에 전류를 충전하는 구간이다. 따라서 브레이크 센서, 액셀러레이터 감지센서 신호, 엔진정지신호, 모터회전신호, 배터리 충전 상태 등을 점검하면서 동작되는 구간이다.

하이브리드 자동차의 주요구성품인 엔진, 전기모터, 동력 분할 장치, 제너레이터, 파워컨트롤 유닛, 배터리를 구동모드에 따라 자체의 움직임을 확인할 수 있도록 플래시 프로그램으로 직접 구동하게 만들었다.

그림 9와 같이 가시적으로 확인이 불가능한 동력분할 장치는 각 구동모드에 따라 엔진정지/구동, 제너레이터 역회전/구동/정지, 모터 구동/정지된 상태를 하이브리드 ECU나 Engine ECU에 들어가는 입력값의 정보를 취득하여 하이브리드의 운전 상태에 따른 각 구성품의 상태의 직접 확인이 가능하다.



[그림 9] 하이브리드 시스템의 동작 상태 구현

4. 결론

본 연구를 통하여 주행 가능한 THS차량의 주행에 필요한 입·출력 정보를 실시간적으로 모니터링할 수 있는 시스템을 개발한 결과, 하이브리드 자동차의 동력 분할 및 에너지 활용을 극대화시키기 위한 수단의 하나로 차량의 주행모드 변화에 따른 각 구성요소의 동작 상태를 각각 모니터링 가능하게 되었다.

개발된 시스템은 제어전략의 체계적인 수립과 실시간 데이터 분석이 가능하기 때문에 HEV자동차의 알고리즘 분석 및 해석을 통해 HEV 자동차의 개발 기반에 유용하게 활용될 것이다.

또한 모니터링 결과를 관련 교과영역의 교수·학습활동에 적용함으로써 교육효과를 제고할 수 있었다.

참고문헌

- [1] 이영재, 김강출, 표영덕, "운전조건이 하이브리드 자동차의 연비에 미치는 영향 연구", Transactions of KSAE, Vol.13, No.3, pp.35~40, 2005.
- [2] M. Duoba, H. Ng and R. Larsen, "Characterization and Comparison of Two Hybrid Electric Vehicle Honda Insight and Toyota Prius", SAE2001-01-1 335, 2001.
- [3] Richard Stone and Jeffrey K.Ball., "Automotive Engineering Fundamentals", pp521~524, 2004.
- [4] Miller T.,Rizzoni G., and Li Q., "Simulation-Based Hybrid-Electric Vehicle Design Search", SAE Technical Paper, 1991-01-1150, 1999.

이 중 순(Joong-Soon Lee)

[정회원]



- 1998년 6월 : 동아대학교 대학원 기계공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 자동차공학과 부교수

<관심분야>

자동차엔진제어, 자동화, 자동제어, 공학교육

손 일 문(II-Moon Son)

[정회원]



- 1994년 2월 : 동아대학교 대학원 산업공학과 (공학박사)
- 2006년 3월 ~ 현재 : 동명대학교 자동차공학과 부교수

<관심분야>

자동차인간공학, 자동화, 자동제어