

병렬형 마일드 하이브리드 차량에 대한 운전전략 비교연구

기영훈, 유춘영, 문찬우, 정구민, 안현식, 김도현
국민대학교 전자공학부

Comparative Study of Control Strategies for a Parallel Mild Hybrid Electric Vehicle

Young-Hun Ki, Chun-Young You, Chan-Woo Moon, Gu-Min Jeong, Hyun-Sik Ahn, and Do-Hyun Kim
School of Electrical Engineering, Kookmin University

Abstract - 병렬형 마일드 HEV(Hybrid Electric Vehicles)는 동력변환과정이 적어 구동계 전체의 효율이 직렬형에 비해 우수하고 다양한 구조를 가질 수 있으며 기존차량에 적용하기 쉽다는 장점이 있으나 구조 및 제어가 복잡하다. 따라서 병렬형 마일드 HEV의 성능을 예측하고 적절한 제어기를 설계하기 위해서는 구성요소의 종류 및 규격과 제어전략에 따른 HEV의 성능을 해석할 수 있는 체계적인 방법이 필요하다. 따라서 본 논문에서는 Simulink 소프트웨어를 이용한 모델화 모델링에 의하여 병렬형 HEV의 구성요소를 모델링하고 이로부터 병렬형 HEV의 성능해석 및 운전제어전략의 특성을 비교할 수 있도록 한다.

마일드 HEV는 다른 방식의 HEV에 비해서 적은 용량의 모터 사용하기 때문에 시스템 추가에 따른 가격상승을 최소화할 수 있다. 하지만 모터에 의한 구동이 불가능하다는 단점을 가지고 있다. <그림 2>는 본 논문에서 쓰인 병렬형 마일드 HEV를 나타낸 것이다. Engine starter, generator, traction motor에 사용되는 작은 모터가 엔진과 transmission 사이에 있고 클러치는 transmission과 엔진을 기계적으로 분리하기 위하여 사용된다.

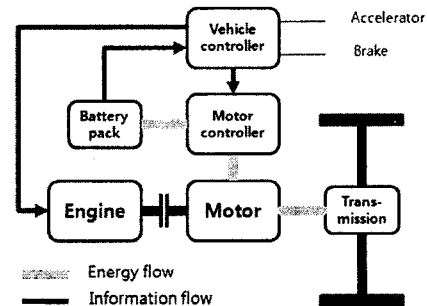
1. 서론

자동차 배기가스가 심각한 환경오염을 야기하고 화석연료의 고갈에 따라 연료비용이 증가하고 있다. 이에 따라서 자동차에 대한 최근 많은 연구 개발의 방향은 환경 친화적이고 더 높은 효율을 내는 자동차의 개발에 중점을 두고 있다. 이러한 초점에 맞춰서 EV(Electric Vehicles), HEV, FCEV(Fuel Cell Electric Vehicles) 등이 ICE(Internal combustion Engines)를 장착한 가솔린/디젤 자동차를 대체할 것으로 예상된다.

EV(Electric Vehicles)는 ICE(Internal combustion Engines) 자동차에 비해서 더 높은 에너지 효율과 무공해라는 장점을 가지고 있지만 가솔린의 에너지 함유량보다 배터리의 에너지 함유량이 적기 때문에 배터리 동작영역에서의 단점을 가지고 있다. 그래서 EV와 ICE 자동차의 단점을 보완한 배터리와 화석연료를 모두 사용하는 HEV가 제안되었다 [1].

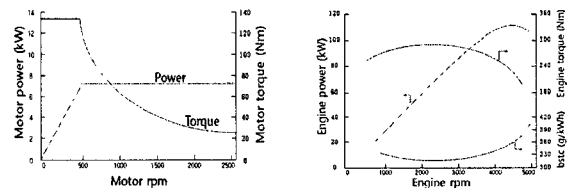
HEV는 <그림 1>과 같이 직렬방식과 병렬방식의 크게 두 가지 형태로 나뉘는데, 직렬형 HEV는 엔진을 통해서 배터리를 충전하기 때문에 EV에 비하여 배터리 용량을 작게 할 수 있어서 비용과 효율 면에서 좋다. 직렬형 HEV에서 엔진은 발전기로서 배터리를 충전하고 모터에 필요한 전력을 발전시켜 공급하고 주행에 필요한 동력은 모터가 담당한다. 따라서 엔진은 전기 발전을 위한 최소한의 동력만 공급하게 되므로 연비향상이 기대된다. 그러나 모터와 배터리의 사이즈 및 기계적 에너지를 전기 에너지로 변환하고, 이를 다시 기계적 에너지로 변환하게 되어 전체 효율이 떨어지는 단점이 있다.

병렬형 HEV는 엔진과 모터가 모두 차량구동을 담당한다. 이 방식은 직렬형 HEV에 비해서 적은 용량의 모터와 배터리 사용이 가능하고, 기존 자동차의 동력성능을 향상시킬 수 있다는 장점이 있다. 그러나 하이브리드 시스템 추가에 따른 차량 중량의 증가 및 가격상승 등의 단점을 가지고 있다 [2][3].

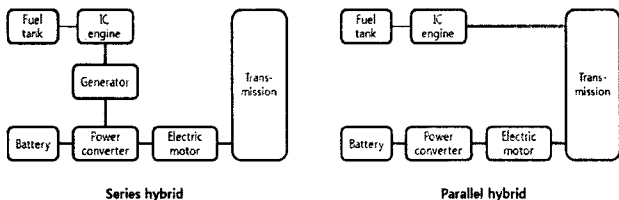


<그림 2> Configuration of mild parallel HEV

<그림 3>, <그림 4>는 본 논문에서 구현한 HEV의 엔진과 모터의 특성곡선을 도시한 것으로써, 모터의 용량은 7kW이고, 엔진의 용량은 108kW이다. <표 1>에 주요 파라미터들을 나타내었다.



<그림 3> Performance of the motor and the engine



<그림 1> Classification of hybrid electric vehicles

<표 1> Major Parameters

Vehicle mass	1500kg
Rolling resistance coefficient	0.01
Aerodynamic drag coefficient	0.28
Front area of the vehicle	2.25m ²
Wheel radius	0.2774m
battery	36V lead-acid battery

3. 병렬형 마일드 하이브리드 차량의 운전전략

3.1 모드별 운전전략

모드별 운전전략은 차량의 파워요구량, 주행속도 그리고 배터리의 SOC에 따라 운전모드를 결정하는 방법으로써, 동작모드의 구분은 <그림 3>과 같다 [5].

- Motor alone mode : 차량의 속도가 미리 설정해둔 속도 이하일 경우, 모터만으로 차량을 구동하는 모드. (engine starter, $V_{velocity} < 10\text{km/h}$)
- Engine alone mode : 구동에 필요한 파워가 엔진의 동작파워 보다 낮을 때, 엔진만으로 차량을 구동하는 모드. ($P_{req} < P_{engine}$)
- Hybrid mode : 구동에 필요한 파워가 엔진의 동작파워 보다 높아서 여분의 파워가 필요한 경우, 모터와 동시에 동작하는 모드. ($P_{req} > P_{engine} \ \&\& \ SOC > 0.6$)
- Regeneration mode : 감속시 모터를 전동기로 사용하여 회생제동을 하는

HEV의 가속성능, 연비, 배터리의 SOC 등은 운전전략에 따라 큰 영향을 받으며, HEV의 운전전략은 HEV의 구조, 모터 및 배터리의 용량 등에 따라 적절히 선정되어야 한다. 따라서 본 논문에서는 Simulink를 이용하여 병렬형 마일드 하이브리드 차량의 모델링을 구현하고 몇 가지 운전전략을 적용시켜 구현된 모델의 타당성 및 제어성능을 확인하고자 한다.

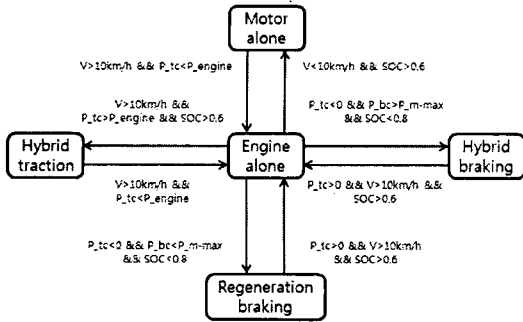
2. 병렬형 마일드 하이브리드 차량 모델링

2.1 병렬형 마일드 하이브리드 차량의 구조

하이브리드 차량은 전기 모터의 출력성능에 따라서 파워형 하이브리드와 마일드형 하이브리드로 구분할 수 있다. 모터의 출력성능이 커서 독립적인 구동이 가능한 HEV를 파워형 HEV라 하고, 엔진을 주동력원으로 하고 모터를 보조동력원으로 사용하는 것을 마일드형 HEV라고 한다 [4].

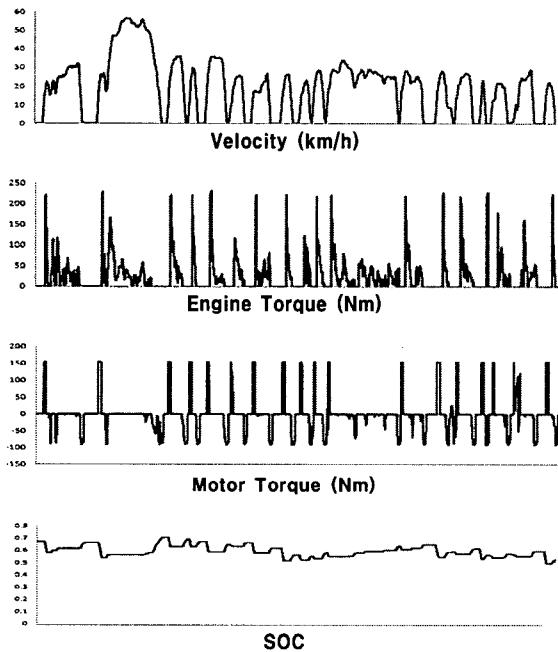
모드. ($P_{req} < 0$ && $SOC < 0.8$)

- Hybrid braking mode : 감속시 모터를 전동기로 사용하며 기계적인 브레이크를 동시에 사용하는 모드.



<그림 4> Control scheme of mild HEV

<그림 5>는 UDSS(Urban Dynamometer Driving Schedule) 주행모드에 대한 모드별 운전전략의 시뮬레이션 결과를 도시한 것이다. 차량 출발시 배터리의 초기 SOC는 67%로 선정하였다. 모터 토크는 모터에 의해 회생제동이 되고 있는 것을 보여주고, 배터리 SOC는 충전 및 방전을 계속하며 일정한 범위 안에서 유지되는 것을 알 수 있다.



<그림 5> 모드별 운전전략의 시뮬레이션 결과

3.2 Power Assist 운전전략

Power Assist 운전전략은 차량의 엔진을 최저 연비 최적운전곡선 상에서 운전되도록 하고, 모터는 엔진 크래킹과 차량의 가속시 엔진의 동력을 보조하도록 하는 전략이다. 특히 저속에서 가속을 원할 경우 주로 모터가 동력을 보조하고, 일반적인 정속 주행시는 엔진에 의하여 운전이 된다. 엑셀 페달이 떨어지면 감속시와 같이 회생제동이 적용되어 최대한 에너지를 확보하도록 한다. 가속시 모터의 동력보조량은 다음과 같은 모터의 가중합수를 두어 결정한다 [6].

$$fac(motor) = fac1(velocity) \times fac2(Ap) \quad (1)$$

식(1)의 $fac(motor)$ 는 모터의 가중합수이고, $fac1(velocity)$ 는 속도에 대한 가중합수, $fac2(Ap)$ 는 엑셀 페달량에 대한 가중합수이다. $fac1(velocity)$ 와 $fac2(Ap)$ 의 적절한 선정에 의해 배터리 SOC를 초기 값과 일정한 오차범위에서 유지시킬 수 있다.

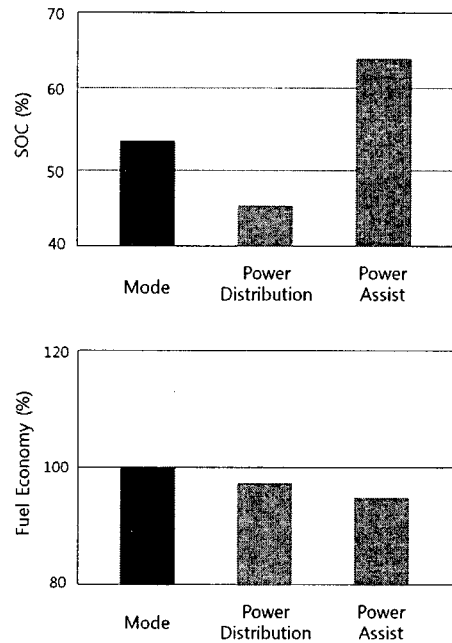
3.3 동력분배 운전전략

동력분배 운전전략은 차량의 초기 발전시 모터를 사용하지 않고 배터리의 SOC가 30% 미만인 경우에 충전을 하고 배터리 SOC가 30% 이상이고 차량 요구동력이 설정된 Power Limit 이상일 경우에는 모터의 최대 동력만큼 모터가 동력을 보조하고 엔진은 나머지 동력을 출력하도록 하였다.

Power Limit가 낮으면 모터의 사용량이 증가하여 연비는 상승하지만 배터리의 SOC가 상대적으로 많이 감소한다. Power Limit가 증가할수록 모터 사용량이 감소하고 배터리의 SOC는 증가하지만, 엔진의 사용량이 증가하기 때문에 연비가 떨어지게 된다.

4. 실험 결과

<그림 6>은 각각의 운전전략의 연비와 배터리 SOC변화를 비교한 것이다. 모드별 운전전략과 동력분배 운전전략의 경우 Power Assist 운전전략에 비하여 연비가 좋은 것을 알 수 있다. 그러나 모드별 운전전략의 경우 저속에서 모터만으로 차량을 구동하기 때문에 가속 성능이 다른 운전전략에 비하여 상대적으로 떨어진다라는 단점을 갖고 있다. 또한 동력분배 운전전략의 경우는 연비는 개선시킬 수 있으나 모터의 과도한 사용으로 인하여 배터리의 SOC가 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 연비 상승률에 비하여 배터리 SOC의 하락률이 상대적으로 크기 때문에 에너지 사용면에서 비효율적이고 판단된다. 따라서 병렬형 마일드 HEV의 경우 Power Assist 운전전략이 배터리의 효율적인 운영 및 연비 면에서 우수하다는 것을 알 수 있다.



<그림 6> 시뮬레이션 결과 비교

3. 결 론

병렬형 마일드 HEV의 모델링을 구현하고 세가지의 운전전략을 적용하여 구현된 모델의 성능을 확인하였다. HEV의 연비와 배터리 SOC는 각각의 주행제어전략에 의하여 모터의 사용량이 어느 정도에서 결정되는가에 따라서 큰 영향을 받는 것을 알 수 있다. 시뮬레이션 결과 Power Assist 운전전략이 SOC면에서 병렬형 마일드 HEV에 가장 적합함을 알 수 있었다. 이 밖에도 병렬형 마일드 HEV의 성능 향상을 위하여 경량화, 엔진 성능 향상, 브레이크 제어 등 다양한 연구개발이 필요하다고 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 박 종 남 외, "병렬형 디젤 마일드 하이브리드자동차 개발", 한국자동차 공학회 추계학술대회논문집, 1408-1412, 2005
- [2] C. C. Chan and K. T. Chau, "Modern Electric Vehicle Technology", Oxford University Press, New York, 2001
- [3] M. Ehsani, Y. Gao, and K. Butler, "Application of electric peaking hybrid propulsion system to a full size passenger car with simulation design verification", IEEE Transactions on Vehicular Technology, 48, 6, 1999
- [4] Y. Gao and M. Ehsani, "A mild hybrid drive train for 42V automotive power system-design, control, and simulation", SAE World Congress, Paper No. 2002-08-1082, Detroit, MI, 2002
- [5] P. Pisu and G. Rizzoni, "A Comparative Study of Supervisory Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles", IEEE Trans. vol. 15. no. 3, pp. 506-518, 2007
- [6] 오경철 외, "병렬형 HEV의 연비최소화 알고리즘 연구", 한국자동차공학회 춘계학술대회논문집, 1261-1266, 2002