

외부충전 방식 하이브리드 전기자동차의 연비 시뮬레이션

Simulation Study on the Fuel Economy of Plug-in Type Hybrid Electric Vehicle

최 득 환*, 김 현 수**
D. H. Choi, H. S. Kim

ABSTRACT

In this paper, the fuel economy of plug-in type hybrid electric vehicle is investigated through simulation. For the simulation study, 2 shaft type parallel hybrid powertrain is chosen and its operation modes are described. The operation algorithm which yields operation points of minimal fuel cost is suggested. Dynamic model for operation of HEV and simulation procedure is described. Simulation results of fuel economy is compared to non plug-in type HEV as well as conventional vehicle. With total driving distance of 37km and full usage of 2kwh of electric energy stored in battery pack, plug-in type HEV shows 28-30% improved fuel economy compared to non plug-in type HEV and 86-93% improved fuel economy compared to conventional vehicle.

주요기술훈어 : HEV(하이브리드 전기자동차), Plug-in type(외부충전 방식), SOC(배터리 충전상태), Operation cost(운전비용), Fuel economy(연비)

1. 서 론

HEV(Hybrid Electric Vehicle)는 충전 방식에 따라 외부충전 방식(plug-in type)과 내부충전 방식(non plug-in type)으로 구분할 수 있다.¹⁾ 외부충전 방식은 HEV에 장착된 배터리를 전기자동차에서와 같이 외부 전원을 이용하여 충전할 수 있는 방식을 말한다. 내부충전 방식은 외부로부터의 충전을 허용하지 않고 배터리의 충전을 내부적으로 해결하는 방식이다. 내부충전 방식에서는 배터리 SOC(State of Charge)가 낮은 상태에 처할 경우 엔진으로 발전을 수행하여 자체적으

로 배터리를 충전한다.

외부충전 방식의 HEV는 전기자동차에 가까운 HEV라 할 수 있다. 외부충전 방식 HEV는 도심지의 단거리 운행 또는 출퇴근과 같이 일상적인 운행에서는 전기모터를 주로 사용하고, 엔진은 장거리 운행의 경우와 배터리 충전상태가 매우 낮아 전기모터의 사용이 가능하지 못한 비상조건의 경우에 사용하고자 하는 의도를 갖는다.²⁾

외부충전 방식은 배터리 충전소 등의 사회 간접시설이 미비한 현 상태에서는 사용이 내부충전 방식에 비하여 불편하다. 그러나 연비 및 배기가스 배출 면에서 볼 때 내부충전 방식에 비하여 우수하다. 내부충전 방식 HEV의 경우에는 전기

* 회원, 계명대학교 기계자동차공학부

** 회원, 성균관대학교 기계공학부

모터가 소비하는 전기에너지를 엔진을 통한 발전에 의하여 대부분 충당하므로, 차량의 연비 향상은 기대와 같이 획기적이 되지 못한다.^{3,4)} 이에 반하여 외부충전 방식 HEV는 외부로부터 전기에너지를 공급받을 수 있기 때문에 전기에너지 저장에 관한 문제만 해결된다면 연비를 큰 폭으로 향상시키는 것이 가능하다.

본 연구에서는 외부충전 방식 HEV의 연비를 시뮬레이션에 의하여 검토하였다. 연구대상 HEV로서는 2축 병렬형 하이브리드 동력시스템을 채택한 경우를 가정하였다. 동력시스템의 운전 알고리즘으로서는 운전비용이 최소가 되는 운전점에서 차량의 운전이 이루어지는 알고리즘을 제안하였다. 유럽의 도심지 주행을 모드화한 ECE 주행모드와 로스엔젤레스 시의 도심지 주행을 모드화한 LA-4 주행모드를 대상으로 HFV의 주행 시뮬레이션은 수행하여 HFV의 연비를 검토하였다.

2. 연구대상 HEV의 동력시스템

Fig. 1은 본 연구의 대상으로 선정된 하이브리드 동력시스템의 개략도이다. 이 시스템은 CVT를 동력전달장치로서 적용하고 있고 CVT를 중심으로 그 좌우 측에 엔진과 구동 모터를 연결하여 엔진과 구동 모터의 동력이 경우에 따라 독립적으로 변속기를 통하여 차량 바퀴에 전달되거나 또는 동시에 이 2가지의 동력이 결합되어 전달되는 2축 병렬형 구조^{5,6)}를 갖고 있다.

본 하이브리드 시스템에서 동력시스템을 구성하는 엔진, 전기모터, CVT의 상세 제어는 각각의 제어기에 의하여 수행되며, 엔진과 모터의 동력분배, 목표 변속비의 지정 등, 즉 HEV 동력시스템의 운전 알고리즘은 차량의 전체 운전을 담당하는 차량 제어기(VCU: Vehicle Control Unit)에 의하여 수행될 수 있다. 모터의 출력은 모터에 공급되는 전류 값에 의하여 결정되며 이러한 모터의 제어 기능은 인버터(inverter)에 의하여 수행된다.

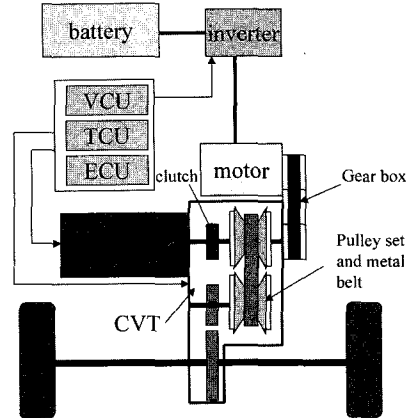


Fig. 1 Configuration of 2 shaft parallel hybrid powertrain with CVT

본 연구에서 이상과 같은 구조의 동력시스템을 제안하게된 배경은 첫째 도심지 주행에서 전기모터만으로 주행할 수 있는 모드, 즉 ZEV(Zero Emission Vehicle) 모드의 운전을 가능하도록 하며, 둘째 차량이 정차 중에 엔진의 아이들링(idling)을 삭제할 수 있도록 하고, 셋째 소형 전륜구동 방식 승용차의 승차 공간을 유지한 상태에서 하이브리드 동력시스템의 탑재성을 확보하는데 있다.

Fig. 2는 본 시스템의 동력전달 과정을 각 모드별로 간략히 나타낸 개략도이다. 그림에서 굵은 선 및 화살표가 동력의 흐름을 나타내고 있다. 이 그림에서 보는 바와 같이 2축 병렬형 HEV 동력시스템의 운전모드는 5가지 모드로 구성된다. 즉 ZEV 모드, 엔진모드, 모터 구동의 하이브리드 모드, 모터 발전의 하이브리드 모드 그리고 제동 모드로 구성된다.

차량이 정지상태에 있을 때 엔진의 시동은 완전히 꺼져 있으며 차량의 초기 출발은 전기모터에 의하여 이루어진다. 엔진의 시동은 차량이 주행하는 상태에서 CVT 내부에 설치된 클러치의 접촉에 의하여 엔진을 크랭킹(cranking)함으로써 가능하다. 엔진의 시동 이후에는 엔진만으로 주행하는 엔진 모드, 엔진과 전기모터의 동력을 동시에 차량 주행에 사용하는 모터구동 하이브리드 모드 및 엔진의 동력을 일부만 차량 구동에 사

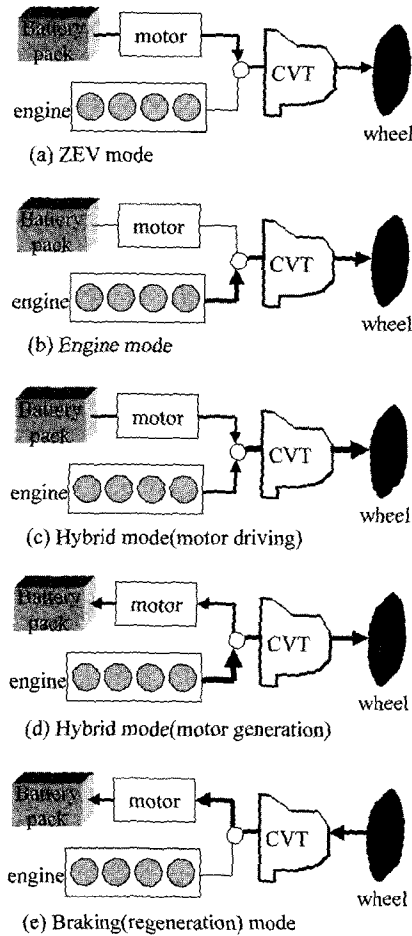


Fig. 2 Power flow diagram of 2 shaft parallel HEV

용하고 일부는 발전에 사용하는 모터발전 하이브리드 모드가 가능하다. 차량이 감속할 경우에는 제동모드에 의하여 모터에 의한 회생제동이 이루어진다. 제동모드는 차량의 제동 에너지를 전기 모터의 역구동으로 흡수하는 모드로서 차량 측면에서는 이 과정 동안 모터의 역구동 토크만큼 제동효과를 얻는다.

1. 외부충전 방식 HEV 운전 알고리즘

외부충전 방식 HEV는 저렴한 가격의 연료인 전기에너지와 상대적으로 비싼 화석연료의 2가 연료를 사용하여 주행하는 차량으로 간주할 있다. 단, 가격이 저렴한 전기에너지는 저장탱

크인 배터리의 용량 제한으로 일회에 공급받을 수 있는 양이 매우 제한적이다. 따라서 외부충전 방식 HEV에서는 가격이 저렴하지만 제한된 양의 전기에너지와 상대적으로 고가인 화석연료를 주행조건에 따라 적절히 혼합하여 사용함으로써 최대의 연비 향상 효과를 얻도록 주행 알고리즘을 수립하는 것이 요구된다.

본 연구에서는 기존의 연구에서 내부충전 방식 HEV에 대하여 제안한 바 있는 최저연비 알고리즘⁶⁾을 외부충전 방식에 적합하도록 수정한 운전 알고리즘을 적용한다. 외부충전 방식의 경우에는 외부로부터 전기에너지를 공급받을 수 있으므로 엔진으로 모터를 역구동하여 발전을 수행하는 모드, 즉 모터 발전모드를 가능하면 사용하지 않는 것이 연비 면에서 유리하다. 따라서 외부충전 방식 HEV에 대한 운전비용 함수로서는 모터 발전모드가 배제된 상태에서의 운전 비용 함수를 수립하고 이 값이 최소인 운전점을 얻도록 한다.

모터발전 모드가 배제된 상태에서 HEV가 운전 중 소비하는 화석연료와 전기에너지를 비용으로 환산하면 다음과 같다.

$$\Phi = \lambda_f Q_f + \lambda_e P_{b,dc} \quad (1)$$

여기서, Φ 는 운전비용, λ_f 는 화석연료의 단위 중량당 가격, λ_e 는 전기에너지의 단위출력·시간당 가격, Q_f 는 엔진의 단위 시간당 연료소모량 그리고 $P_{b,dc}$ 는 배터리의 방전출력을 각각 나타낸다.

엔진의 연료소모량은 엔진의 단위 시간·출력당 연료소모량과 엔진 출력의 곱으로 나타낼 수 있다. 즉, 엔진의 BSFC(Brake Specific Fuel Consumption) 값과 엔진 출력의 곱으로 나타낸다. 배터리 방전 출력은 모터의 출력과 모터 및 배터리 효율에 의하여 나타낼 수 있다. 이러한 관계를 식 (1)에 적용하면 다음의 식을 얻게 된다.

$$\Phi = \lambda_f S_f \min \left[\frac{S_f(\omega_e, T_e)}{S_f, \min} P_c + \frac{e_r \cdot P_m}{\eta_m(\omega_m, T_m) \cdot \eta_{b,dc}} \right] \quad (2)$$

$$여기서, e_r = \frac{\lambda_e}{S_f \cdot \min \cdot \lambda_f}$$

위의 식에서 P_e 는 엔진 출력, P_m 은 모터 출력, S_f 는 엔진의 BSFC 값을 나타낸다. η_m 과 $\eta_{b,dc}$ 는 모터의 효율과 배터리 방전효율을 각각 나타낸다. ω 와 T 는 엔진 및 모터의 회전수와 토크를 각각 나타내며 여기에서의 아래첨자 e 는 엔진, m 은 모터를 나타낸다. S_f, \min 는 엔진의 BSFC 맵 상에서 연료소모율 값이 최저인 값을 나타내며 e_r 는 위에서 정의된 바와 같이 엔진의 연료 소비율이 최소인 운전점에서의 단위 출력-시간당 화석연료의 가격과 전기에너지의 외부 공급 가격과의 비를 나타낸다.

식 (2)에서 보는 바와 같이 HEV의 운전비용은 엔진과 모터의 운전점과 엔진과 모터 간의 동력 분배에 따라 변화한다. 운전비용이 최소인 운전점, 즉 최저연비 운전점은 식 (2)의 값이 최소인 운전점을 엔진과 모터의 작동 영역내에서 구하면 얻을 수 있다. 최저연비 운전점을 구하는 절차는 내부충전 방식 HEV에서 최저연비 운전점을 구하는 절차⁶⁾와 동일하다. Fig. 3은 이상의 방법에 따라 식 (2)의 값이 최소인 운전점을 구한 결과를 보여주고 있다. 여기서는 화석연료와 전기에너지의 가격비, e_r 값을 3가지로 가정하고 각 경우에 대한 엔진과 모터의 토크분배를 요구출력에 따라 나타내었다.

e_r 값이 0.5인 경우에는 요구출력이 35 마력까지 모터만의 토크분배가 이루어지고 35 마력 이상의 조건에서는 엔진과 모터의 토크분배가 거의 동등하게 이루어지고 있다. 이 경우는 전기에너지의 외부 공급가격이 화석연료에 비하여 상대적으로 저렴한 경우로서 전기에너지를 사용하는 영역, 즉 전기모터를 사용하여 주행하는 영역이 비교적 넓게 분포한다. e_r 값이 0.75인 경우에는 약 20 마력 미만의 구간에서는 전기모터에 의한 주행이 이루어지고 이후의 출력 구간에서는 엔진에 의한 주행이 주로 이루어지고 있다. 이 경우는 앞의 경우에 비하여 전기에너지의 가격

이 상대적으로 높은 경우로서, 따라서 전기모터를 사용하는 영역이 축소되고 있다. e_r 값이 1.0인 경우에는 대부분의 구간에서 엔진에 의한 작동이 이루어지고 있으며 요구출력이 10 마력 미만의 구간과 80 마력 이상의 구간에서만 모터가 작동하도록 토크분배가 이루어지고 있다.

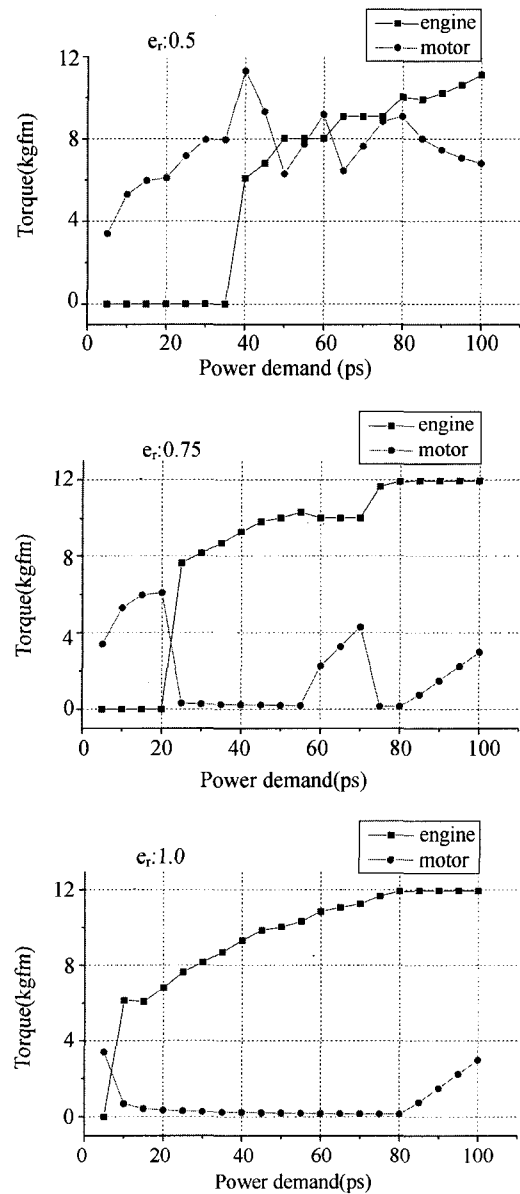


Fig. 3 Torque distribution at optimal operation points with 3 values of e_r .

4. HEV 주행 시뮬레이션

본 연구에서는 ECE 주행모드⁷⁾와 LA-4 주행모드를 대상으로 HEV의 주행 시뮬레이션을 수행한다. 이들 주행모드들은 시간에 대한 속도 형태로 주어지므로 주행모드가 주어지면 주행모드상의 임의의 시점에서 차량의 요구 출력을 다음의 식으로서 얻을 수 있다.

$$P_{req} = V_{veh} \cdot [R_a + R_r + M_{veh}' \cdot \frac{dV_{veh}}{dt}] \quad (3)$$

단, $M_{veh}' = M_{veh} + \Delta M$

여기서, M_{veh} 는 차량의 질량, ΔM 은 차량의 회전체에 의한 회전관성 상당중량을 나타내고, V_{veh} 는 차량의 속도, R_a 는 공기저항력, R_r 은 구름저항력을 나타낸다.

요구출력이 결정되면 엔진과 모터의 토크 및 회전수, 즉 엔진과 모터의 운전점은 HEV의 운전 알고리즘에 따라 구하여진 Fig. 4의 선도로부터 얻을 수 있다. CVT의 변속비(speed ratio)는 차량의 속도와 엔진 또는 모터의 회전수에 따라 다음의 식으로서 얻게 된다.

$$i = \frac{2\pi r_{tire} \omega_e}{60 i_f V_{veh}} \quad (4)$$

여기서, i 는 CVT의 변속비, i_f 는 종감속비, r_{tire} 는 타이어의 동반경이다.

이상에서 구한 엔진과 모터의 운전점 및 CVT의 변속비는 하이브리드 동력시스템의 입력값, 즉 제어 목표값이 된다. 이러한 입력값에 따른 실제 시스템의 응답은 HEV 주행 모델을 나타내는 다음의 수식들에 의하여 결정된다.

$$M_{veh}' \frac{dV_{veh}}{dt} = \frac{\eta_t i_f i}{r_{tire}} (T_e + T_m) - 2 V_{veh} \frac{I_e i_f^2 i}{r_{tire}} \frac{di}{dt} - R_a - R_r \quad (5)$$

$$\frac{dT_e}{dt} = \frac{1}{t_{eng}} (T_{e,target} - T_e) \quad (6)$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{1}{t_{cut}} (i_{target} - i) \quad (7)$$

위 식들에서 η_t 는 CVT를 포함한 동력전달계의 효율, T_e 는 엔진의 회전 관성모멘트, t_{eng} 엔진 토크응답에 관한 시간상수, t_{cut} 는 CVT의 변속비 응답에 관한 시간상수를 각각 나타낸다.

식 (5)는 차량의 주행 모델로서 우측항의 첫 번째 항은 엔진과 모터토크에 의한 구동력을 나타내고 두 번째 항은 회전상당 관성의 변화로 인한 효과로서 CVT의 변속비가 연속적으로 변화함에 따라 나타나는 항이다.⁸⁾ 세 번째와 네 번째 항은 각각 공기저항과 차량의 구름저항을 나타낸다. 식 (6)과 식 (7)은 각각 엔진의 토크와 CVT의 변속비 응답 모델로서, 본 연구에서는 이들을 1차 시간 지연요소로서 간주하였다.⁹⁾ 전기모터의 토크응답은 본 연구에서는 순간적, 즉 목표 토크값과 실제 토크값이 같은 것으로 가정하였다.

식 (5)~(7)을 풀면 결과적으로 주행 모드의 각 시점에서 실제의 상태값들, 즉 차량의 속도, 엔진과 모터의 토크와 회전수 그리고 CVT의 변속비 등을 얻을 수 있다. 예지고 저기모터의 운전점들을 얻게 되면 차량의 연료소모량과 전기에너지소모량은 엔진의 BSFC 맵과 과 전기모터의 효율 맵을 사용하여 최종적으로 얻게 된다.

Fig. 4는 ECE 주행 모드에 대한 주행 시뮬레이션 결과이다. 시뮬레이션에 사용한 차량은 시험중량 1400kg의 승용차량을 가정하였고 사용 엔진은 최대출력 95마력의 상용엔진, 그리고 전기모터는 최대출력 30kw의 직류동기형 모터를 적용하는 것으로 하였다. Table 1은 연구대상 차량의 주요제원을 나타낸 것이다. 본 시뮬레이션에서 배터리의 초기 SOC는 만충전의 상태를 가정하였고 배터리의 용량은 2kwh로 설정하였다. 본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션에 소요되는 시간 관계상 실제 외부충전 HEV에서 요구하는 용량보다 작은 값으로 배터리 용량을 설정하였다. 주행 알고리즘에서 최저연비 운전점은 전기에너지와 연료의 가격비 e_r 이 0.75인 경우에 대한 결과를 사용하였다. e_r 값은 식 (2)에서 보는 것과 같이 전기에너지의 가격에 따라 결정된다. 전

기에너지의 가격이 결정되지 않은 상태에서는 여러 가지의 e_p 값에 대하여 시뮬레이션을 수행하는 것이 필요하나 여기서는 대표적으로 0.75의 경우에 대하여 시뮬레이션을 수행하였다.

Fig. 4에서 차량 속도는 목표 차량속도를 매우 잘 추종하고 있으며 이것은 시뮬레이션이 적당한 절차에 따라 이루어짐을 나타낸다. 주행 중 엔진은 일부 가속 구간과 고속 구간에서만 작동하고 있으며 대부분의 주행이 전기모터에 의하여 이루어지고 있다. 이것은 ECE 주행모드의 경우 가속구간의 기울기가 완만하고 최고속도가 70km/h로서 차량에서 엔진의 작동을 요하는 주행구간, 즉 요구출력이 큰 구간이 작기 때문이다.

CVT의 변속비는 비교적 완만하게 변화하고 있다. 이것은 바람직한 현상으로 CVT의 변속비는 동력시스템의 작동모드가 변경되는 시점, 예를 들면 모터모드에서 엔진모드 등으로 모드 변경이 일어나는 시점에서 대부분 급격한 변화를 갖는다. Fig. 4의 경우에는 전체 주행구간에서 동력시스템 작동모드의 변경이 발생하는 빈도가 매우 적기 때문에 CVT 변속비 변화가 전체적으로 비교적 완만한 현상을 보이고 있다.

Table 1 Vehicle specifications for simulation study

	Item	Value	Units
Vehicle	mass	1400	kg
	tire radius	0.278	m
	proj. area	1.83	m^2
	drag coef.	0.32	-
	rolling resist.	0.01514	kgf/kg
Engine	displacement.	1498	cc
	max. power	95	ps
Motor	max. power	30(42)	kw(ps)
	max. torque	12	kgfm
Transmission	type	CVT	
	ratio range	0.45-2.45	-
	final gear ratio	5.763	-
Battery pack	voltage	288	volt
	capacity	2	kwh

배터리 SOC는 초기 만충전의 상태에서 주행 시간에 따라 계속 감소하고 있다. 주행 완료시점에서의 SOC는 약 0.85 정도이므로 ECE 주행모

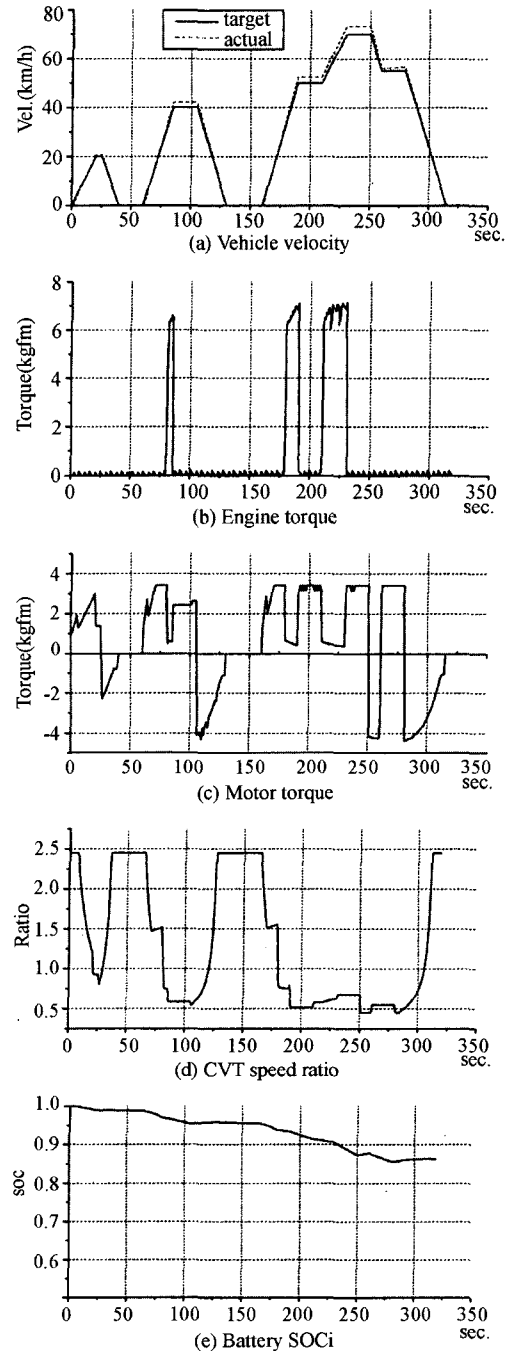


Fig. 4 Simulation results of plug-in type HEV

드 1 사이클에 소모된 전기량은 약 0.3kwh 정도이다. SOC가 변화할 경우 배터리의 내부 저항등의 변화에 의하여 선형적 결과를 얻을 수는 없지만, 배터리 용량이 소진되는 주행거리를 대체적으로 파악할 수 있으며 이러한 점은 HEV의 설계에서 배터리 용량을 설정하는 데에 한가지 지표로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

외부충전 방식 HEV에서 차량의 연비, 즉 주행 거리에 대한 화석연료 소모량을 주행 시뮬레이션으로 구하여보면 주행거리가 증가함에 따라 연비 값이 감소하게 됨을 볼 수 있다. 이것은 주행 초반에는 전기모터와 엔진을 혼합하여 주행하지만, 배터리가 소진된 후에는 엔진만으로 주행하여야 하므로 주행거리 증가에 따라 전기모터에 의한 주행의 효과가 감소하기 때문이다. 따라서 외부충전 방식 HEV의 연비는 일정거리를 주행하는 조건하에서 상대적 비교만이 의미를 갖는다. 본 연구에서는 ECE 모드의 경우 14 사이클, 그리고 LA-4 모드의 경우에는 3 사이클 주행 완료한 상태에서 HEV의 연비를 확인하였다. 2가지 경우 모두 총 주행거리는 약 37km 정도이다. 배터리의 SOC는 주행 과정에서 전량 소진되고 있다.

Fig. 5는 ECE 모드와 LA-4 모드에 대한 연비 결과를 나타낸 그림으로, 내부충전 방식 HEV 및 기존 차량의 연비와 비교하였다. 여기서 내부충전 방식 HEV와 기존차량의 제원들은 모두 외부충전 방식 HEV와 동일한 조건이고, 이들의 연비

역시 시뮬레이션에 의하여 얻어진 결과이다.⁶⁾ 물론, 정확한 연비 비교를 위하여는 전기에너지의 소모를 포함한 비교가 요구되나, 전기에너지의 공급가격은 화석연료의 가격에 비하여 상대적으로 낮기 때문에 본 연구에서는 전기에너지 소모를 고려하지 않은 상태에서 연비를 비교하였다. 외부충전 방식의 연비는 ECE모드에서 34.7km/l로서 기존 차량에 비하여 86%의 향상을 보이고 있고, LA-4모드에서 30.9km/l로서 기존 차량 대비 93%의 연비 향상을 나타내고 있다. 내부충전 방식과 비교할 경우, ECE 모드에서 28%, LA-4모드에서 30%의 연비 향상을 나타내고 있다. 국내의 전기에너지의 공급가격은 용도에 따라 차이가 있지만 가정용의 경우 1 kwh 당 100원 미만이며 공업용과 심야전기용의 경우에는 이보다 매우 낮은 수준이다. 이와 같이 전기에너지는 화석연료의 가격에 비하여 상대적으로 저렴하므로 전기에너지 비용을 포함하더라도 외부충전 방식 HEV는 주행비용 면에서 높은 경제성을 가진다고 보여진다. 물론 이 결과는 총 주행거리가 37km이고 배터리 용량이 2kwh인 조건에서 의미를 가지며, 주행거리를 증가시킨 조건의 경우에는 배터리 용량을 주행거리 증가와 비례하여 증가시킨다면 위에서와 동일한 연비 결과를 얻을 수 있을 것이다.

5. 결론

외부충전 방식 HEV의 연비를 시뮬레이션에 의하여 구하였다. 2축 병렬형 하이브리드 동력 시스템을 채택한 HEV를 연구대상으로 선정하였고 이 시스템의 작동모드에 대하여 검토하였다. 엔진의 연료 및 전기모터가 사용하는 전기에너지의 비용이 최소가 되는 운전점을 지정하는 알고리즘을 제안하였다. 주어진 운전모드의 임의 시점에서 차량의 요구출력을 산정하고 요구출력에 해당하는 엔진과 전기모터의 운전점을 차량의 주행모델에 적용하여 실제 차량의 상태 변수 값들을 구하였다. 연비에 대한 시뮬레이션

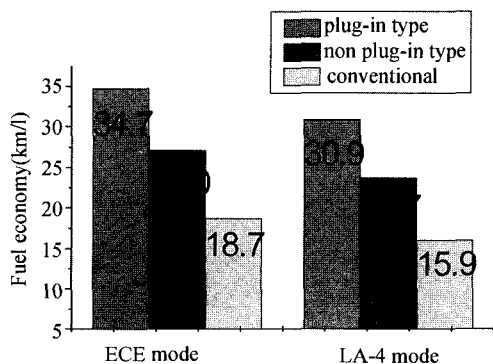


Fig. 5 Fuel economy of plug-in type HEV

결과 외부충전 방식 HEV는 ECE 모드를 14회 반복주행 조건에서 34.7Km/l의 연비를 나타내었고 LA-4모드 3회 반복주행 조건에서 30.9 Km/l의 연비를 나타내었다.

참 고 문 헌

- 1) F. G. Willis, R. R. Radtke, "Hybrid Vehicle Systems Analysis," SAE 850225, 1985.
- 2) A. A. Frank, "The Use of a CVT in a Parallel Hybrid Electric Vehicle for Super Fuel Efficiency and High Performance," Proc. of International Congress on Continuously Variable Power Transmission, pp.202-208, 1999.
- 3) A. Kalberlah, "Electric Hybrid Drive Systems for Passenger Cars and Taxis," SAE 910247, 1991.
- 4) C. H. Kim, E. Namgoong, S. C. Lee, T. C. Kim, H. S. Kim, "Fuel Economy Optimization for Parallel Hybrid Vehicles with CVT," SAE 1999-01-1148, 1999.
- 5) A. F. Burke, "Hybrid/Electric Vehicle Design Options and Evaluations," SAE 920447, 1992.
- 6) 최득환, 김현수, "2축 병렬형 하이브리드 차량의 최저연비 주행 알고리즘," 한국자동차공학회 논문집, 제9권 제5호, pp.122-130, 2001.
- 7) Automotive Handbook, 3rd Edition, Bosch, 1993.
- 8) 김달철, "CVT 변속비 전자제어와 엔진-CVT 총합제어 알고리즘 연구," 성균관대학교 대학원 박사학위논문, 2000.
- 9) 김달철, 김현수, "SIMULINK를 이용한 병렬 구조 하이브리드 CVT 차량 모델링과 특성해석," 한국자동차공학회 1997년도 추계학술대회논문집, pp.1045-1050, 1997.