

## 2축 병렬형 하이브리드 차량의 최저 연비 주행 알고리즘

### An Operation Algorithm for a 2 Shaft Parallel Type Hybrid Electric Vehicle for Optimal Fuel Economy

최 득 환\*, 김 현 수\*\*  
D. H. Choi, H. S. Kim

#### ABSTRACT

In this paper, an operational algorithm for a 2-shaft parallel hybrid electric vehicle is suggested for the minimization of operation cost. The operation cost is obtained as a summation of the engine fuel cost and the motor electricity cost. The electrical cost function is estimated in case of motoring, and generating when the recuperation is carried out during the braking. In addition, weight function is introduced in order to maintain the battery state of charge. Based on the operation algorithm, the optimal engine operation point that minimizes the operation cost is obtained with respect to the required vehicle power for every state of charge of battery. The optimal operation point provides the optimal power distribution of the engine and the motor for a required vehicle power. Simulation was performed and the fuel economy of the hybrid vehicle was compared to that of the conventional vehicle. Simulation results showed that hybrid vehicle's fuel economy can be improved as much as 45~48% compared to the conventional vehicle's.

주요기술용어 : HEV(하이브리드 전기자동차), CVT(무단변속기), Regeneration(회생발전), Fuel economy(연비), Weight function(가중 함수)

#### Nomenclature

$c$ : battery state of charge(SOC)	$\lambda_f$ : cost of fuel, won/kg
$P$ : power, ps	$\omega$ : angular velocity, rpm
$Q_f$ : fuel consumption of engine, kg/h	
$S_f$ : specific fuel consumption, kg/ps-h	
$t$ : torque, kgfm	
$\beta$ : portion of regeneration	
$\eta$ : efficiency	
$\lambda_e$ : cost of electricity, won/ps-h	

#### Subscripts

e, m	: engine, motor respectively
b,c	: battery at charging condition
b,dc	: battery at discharging condition

#### 1. 서 론

자동차용 내연 기관은 일반적으로 고속, 고 부하 영역에서 양호한 열효율을 갖고 있으며

\* 회원, 계명대학교 기계자동차공학부

\*\* 회원, 성균관대학교 기계공학부

저속, 저부하 영역에서는 매우 낮은 열효율을 갖는다. 반면 전기 모터는 운전 영역별 효율의 차이가 비교적 작으며 초기 기동시에 고 토크를 발휘하게 된다. 또한 전기 모터는 역 토크가 입력될 경우 발전기로 사용할 수 있으므로 자동차에 사용하는 경우 차량 감속시 에너지를 회생(regeneration)할 수 있게 된다. 이러한 내연기관과 전기 모터의 특성 차이점을 상호 보완적으로 사용하여 차량의 전체적 에너지 사용 효율을 높여려는 것이 하이브리드 전기자동차(HEV)의 기본 개념이라 할 수 있다.

HEV의 개념을 적절히 활용할 경우 에너지 활용 효율이 기존의 차량에 비하여 획기적으로 향상된 차량 개발이 가능할 것이라는 논리에 이미 오래 전부터 엔진과 전기 모터를 사용하는 하이브리드 동력시스템의 구조 및 주행 전략 등에 관한 많은 연구가 수행되어 왔다. 특히 주행 전략은 연비 개선과 밀접한 관계가 있음이 종래의 연구에서도 지적된 바 있다.<sup>1,2)</sup> 과거에는 전자제어 기술의 미발달로 써머 스탠트(thermostat) 전략, 로드 레벨링(load levelling) 전략 등 비교적 단순한 형태의 주행 전략이 제안되어 왔다. 최근에는 주어진 주행 모드에 대하여 목적 함수를 설정하여 연비 및 배출가스량을 최적화하는 방법,<sup>3,4)</sup> 전기에너지를 등가 연료로 치환하여 연비를 최소화하는 방법<sup>5)</sup> 등에 의한 주행 전략들이 연구된 바 있다.

본 연구에서는 무단변속기를 적용한 2축 병렬형 하이브리드 동력시스템에 대한 최저 연비 주행 알고리즘을 유도하고자 한다. 운전 중 소요되는 연료와 전기에너지를 비용으로 환산하여 이 비용을 최소화하는 운전점을 찾는 방법을 제안한다. 하이브리드 차량에 대한 주행 시뮬레이션을 수행하여 최저 연비 주행 전략을 적용한 경우 연비 향상 효과를 고찰한다.

## 2. HEV 시스템 및 운전비용 함수

### 2.1 시스템의 구조 및 작동 개요

HEV의 동력시스템은 에너지의 전달 경로를

지정하는 방법에 따라 크게 직렬방식과 병렬방식으로 나누어지고 병렬방식은 다시 1축 방식, 2축 방식으로 나누어진다.<sup>6)</sup> 1축 방식은 엔진과 모터가 동일축 상에 위치하는 방식으로 모터는 엔진의 동력을 보조하는 기능을 주로 수행한다. 2축 방식은 엔진과 모터가 독립적으로 동력을 전달할 수 있는 방식을 말한다. Fig. 1은 1축 방식과 2축 방식의 구성방식을 보여주는 개략도이다.

Fig. 2은 본 연구의 대상인 2축 병렬형 하이브리드 시스템의 개략도이다. 이 시스템은 금속벨트 방식 무단변속기를 동력전달장치로서 적용하고 있다. 무단변속기를 중심으로 엔진과 전기 모터가 양방향에서 변속기 축으로 동력을 입력하여 별도의 발전기 없이 전기 모터가 구동 및 발전의 2가지 기능을 가지고 있다.<sup>7)</sup> 엔진의 크랭크 축은 변속기 입력축과 클러치를 사이에 두고 연결되어 있고, 모터의 입력은 엔진과 반대 방향에서 변속기와 기어 박스를 매개로 직결되어 있다.

이 시스템에서 차량의 기동은 항상 전기 모터에 의하여 이루어진다. 전기 모터에 의하여 차량이 구동을 시작한 후 엔진 동력이 요구되는 운전 조건을 만나게 되면 변속기 내부에 위치한 클러치가 접속하여 엔진을 크랭킹(cranking)함으로써 엔진의 시동이 이루어진다. 모터의 출력은 모터에 공급되는 전류 값에 의하여 결정

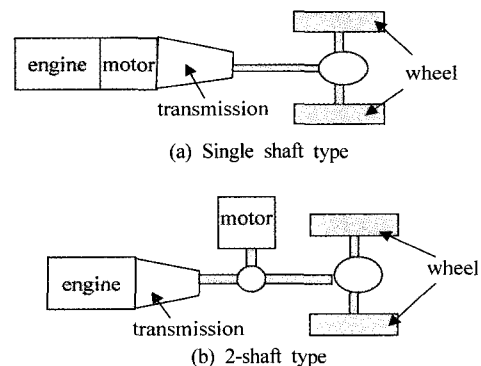


Fig. 1 Comparison of single shaft and 2-shaft parallel type HEV powertrain

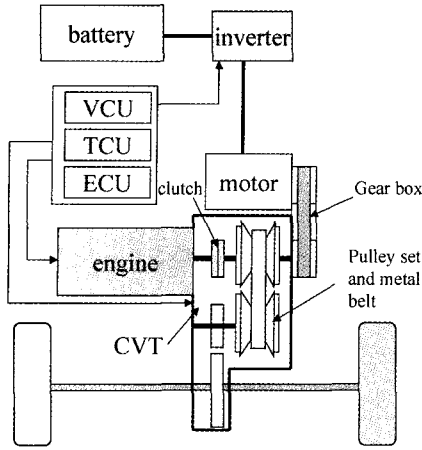


Fig. 2 Powertrain schematics of 2-shaft parallel type HEV with a metal belt type CVT

된다. 이러한 모터의 제어 기능은 인버터에 의하여 수행된다. 모터의 출력 값 및 엔진의 시동 시점, 엔진의 출력 값, 변속비 등은 차량의 전체 운전을 담당하는 차량 제어기에 의하여 결정되며 엔진 및 변속기 그리고 모터의 상세 제어는 각각의 제어기들이 담당한다.

이 시스템은 2축 방식을 사용하기 때문에, 엔진과 모터가 동시에 차량을 구동시키는 하이브리드 모드 이외에 순수하게 모터만으로 운행하는 ZEV(zero emission vehicle) 모드가 가능하다. 이 시스템은 무단변속기를 적용하고 있으므로 엔진 및 모터의 회전 속도를 효율이 양호한 영역에 항상 지정할 수 있는 장점을 갖는다.

### 2.2 운전 비용함수

HEV는 연료 및 전기를 동시에 사용하여 운전하기 때문에 시스템의 연비(fuel economy) 개념을 기존의 차량과 다르게 설정할 필요가 있다. 가령 화석 연료에 의하여 운전하는 기존 차량의 경우 연비는 연료 소모량으로, 그리고 전기 자동차의 경우 배터리의 전기 소모량을 연비로 간주하고 있다. HEV의 경우 연비를 나타내는 가장 편리한 방법은 엔진이 소모하는 연료 및 모터가 소모하는 전기에너지를 비용으로 나타내는 방법이라 할 수 있다. 일단 차량이 소

모하는 에너지의 비용을 함수 형태로 나타내게 되면, 이 함수를 최소화함으로써 최저연비 운전점을 구하는 것이 가능하다.

Fig. 3은 HEV의 에너지 흐름을 나타낸 블록도이다. 이 그림을 참조로 HEV의 운전 비용함수를 유도한다. 각 운전점에서 단위 시간당 시스템이 소모하는 에너지의 비용, 즉 운전 비용함수  $C_{sys}$ 는 모터가 구동모드와 모터가 발전모드, 즉 배터리 방전 조건과 배터리 충전 조건하에서 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{모터 구동 모드: } C_{sys} = \lambda_f Q_f + \lambda_e P_{b,dc} \quad (1)$$

$$\text{모터 발전 모드: } C_{sys} = \lambda_f Q_f - \lambda_e P_{b,c} \quad (2)$$

한편 엔진의 단위 시간당 연료소비량  $Q_f$  및 배터리의 방전 출력  $P_{b,dc}$ 과 충전 출력  $P_{b,c}$ 은 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$Q_f = S_f(\omega_e, t_e) P_e \quad (3)$$

$$P_{b,dc} = \frac{P_m}{\eta_m(\omega_m, t_m) \eta_{b,dc}(c)} \quad (4)$$

$$P_{b,c} = P_m \eta_m(\omega_m, t_m) \eta_{b,c}(c) \quad (5)$$

하이브리드 시스템에서 필요한 전기에너지를 모두 엔진으로 발전을 수행하여 얻는다고 가정하면 전기에너지의 단위 출력-시간당 가격  $\lambda_e$ 는 전기에너지를 만들어내는 데에 소모한 연료의

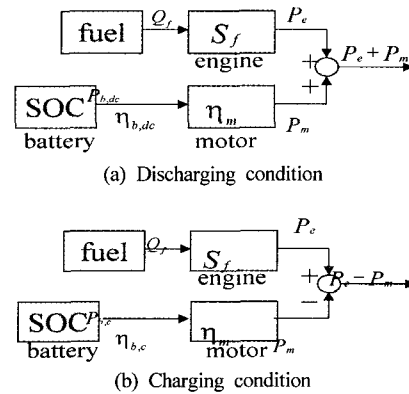


Fig. 3 Energy flow of hybrid powertrain

비용으로 간주할 수 있으므로 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$\lambda_e = \frac{\lambda_f S_{f, avg}}{\eta_{m, avg} \eta_{b, c, avg}} \quad (6)$$

위 식에서 엔진의 연료 소모율 및 모터의 효율 그리고 배터리 충전 효율을 평균값으로 나타낸 것은 여러 운전 조건에서 모터에 의한 발전이 이루어지는 것을 고려한 것이다.

본 연구에서는 감속시 회생발전을 고려하고 또한 배터리 충전상태, 즉 SOC(State Of Charge)에 의한 가중함수를 도입함으로써, 다음과 같이 수정된 식을 사용한다.

$$\lambda_e' = \frac{(1-\beta) \gamma(c) \lambda_f S_{f, avg}}{\eta_{m, avg} \eta_{b, c, avg}} \quad (7)$$

식(7)에서  $\beta$ 는 하이브리드 시스템의 전체 전기에너지 생산량 중 회생발전에 의하여 생성되는 전기에너지의 비, 즉 회생발전에 의한 분담률을 나타내고  $\gamma(c)$ 는 SOC에 의한 가중함수를 나타내고 있다. 회생발전 분담률  $\beta$ 는 그 값을 크게 설정할수록 전기에너지의 가격을 낮게 산정하는 효과를 갖게 한다. 회생발전 분담률 값의 결정은 주행 모드 상에서 감속 구간이 차지하는 비중에 따라 이루어질 수 있다.

가중함수  $\gamma(c)$ 는 배터리의 충전 상태, 즉 SOC의 값에 반비례하도록 설정된 임의의 함수이다. 가중함수를 도입한 이유는 가중함수에 의하여 SOC가 낮을 경우에는 전기에너지의 소모를 제한하고 SOC가 높을 경우에는 전기에너지의 사용을 촉진하여, 결과적으로 배터리가 완전 방전되거나 과충전되는 것을 방지하기 위한 것이다. SOC에 의한 가중함수  $\gamma(c)$ 는 여러 가지 형태로 나타내는 것이 가능하며 어느 형태를 선택할 것인가는 차량의 주행 시뮬레이션을 통하여 여러 가중함수에 대한 최종 연비 값 및 SOC의 복귀 성능 등을 평가하여 결정하면 될 것이다.

최종적으로 식(3),(4),(5),(7)을 식(1)과 식(2)에

대입하면 하이브리드 시스템의 운전 비용함수를 다음과 같이 얻게 된다.

모터 구동 모드:

$$C_{sys} = \lambda_f S_{f, avg} \left[ \frac{S_f}{S_{f, avg}} P_e + \frac{(1-\beta) \gamma(c)}{\eta_{m, avg} \eta_m \eta_{b, c, avg} \eta_{b, dc}} P_m \right] \quad (8)$$

모터 발전 모드:

$$C_{sys} = \lambda_f S_{f, avg} \left[ \frac{S_f}{S_{f, avg}} P_e - (1-\beta) \gamma(c) \frac{\eta_{b, c} \eta_m}{\eta_{m, avg} \eta_{b, c, avg}} P_m \right] \quad (9)$$

식(8)과 식(9)은 하이브리드 시스템의 운전 소요되는 운전 비용함수이다. 최저 연비 운전 점을 구하는 문제는 식(8),(9)를 목적함수로 하여 이 값을 최소화하는 하는 다음의 최적화 문제라 볼 수 있다. 즉,

$$\text{목적함수: } \Phi = C_{sys}(\omega_e, t_e, \omega_m, t_m, c)$$

구속조건:

$$\begin{aligned} P_{req} &= P_e + P_m, \quad P_{req}^{\min} \leq P_{req} \leq P_{req}^{\max} \\ 0 &\leq P_e \leq P_e^{\max}, \quad P_m^{\min} \leq P_m \leq P_m^{\max} \\ 0 &\leq t_e \leq t_e^{\max}, \quad t_m^{\min} \leq t_m \leq t_m^{\max} \\ 0 &\leq \omega_e \leq \omega_e^{\max}, \quad 0 \leq \omega_m \leq \omega_m^{\max} \end{aligned} \quad (10)$$

위에서  $\Phi$ 는 목적함수를 나타내며,  $P_{req}$ 는 차량에서 필요로 하는 요구출력을 나타낸다. 이 값은 운전자가 액셀레이터 및 브레이크 페달을 조작하는 크기에 따라 결정된다. 부등식으로 나타나는 구속 조건들은 엔진과 모터의 출력 및 토크, 회전수가 엔진과 모터의 운전 영역에 있어야 함을 나타낸다.

### 3. 최저연비 운전점의 해

주어진 요구 출력 값에 대하여 운전 비용함수가 최소인 운전점은 다음과 같은 방법으로 구할 수 있다. 먼저 SOC를 일정 값으로 가정하

고 하나의 요구 출력 값에 해당하는 엔진과 모터의 동력분배(power distribution)의 모든 쌍을 구한다. 이때 동력분배의 쌍은 엔진 모드, 모터 모드, 모터가 구동 모드인 하이브리드 모드, 모터가 발전 모드인 하이브리드 모드를 모두 포함시킨다.

다음 하나의 동력분배 쌍에 대하여 등출력 곡선(iso-power curve)을 엔진의 연비 맵 및 모터의 효율 맵 상에 그리고 이 곡선 상의 모든 점에 대하여 식(8)와 식(9)의 값, 즉 운전비용을 구한다. 모든 동력분배의 쌍에 대하여 동일한 방법으로 운전비용을 계산한다. 구한 운전비용 중 최소 값에 해당하는 운전점이 주어진 요구 출력 및 SOC에 해당하는 최저연비 운전점이다. 요구 출력 및 SOC를 변화시키면서 위의 과정을 반복하면 모든 최저연비 운전점을 구할 수 있다. Fig. 4는 최저연비 운전점을 구하는 순서도를 나타낸 것이다.

이상 기술한 절차에 따라 최저연비 운전점을 구하기 위하여는 엔진의 연료 소비율(Brake Specific Fuel Consumption) 맵, 모터의 운전 효율 맵 및 배터리의 충,방전 효율 값들과 회생 발전 분담률, SOC에 의한 가중함수들이 요구된다. Fig.

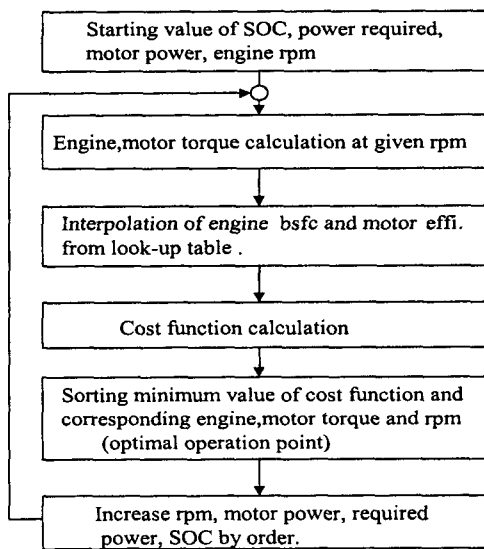


Fig. 4 Procedure for obtaining optimal operation points

5와 Fig. 6은 본 연구에서 사용한 엔진의 연료 소비율 맵 및 모터의 운전 효율 맵이다. 여기서 모터의 효율은 구동시와 발전시 동일한 것으로 가정하였다. 배터리의 충전 및 방전 효율은 방전의 경우  $\eta_{b,dc}=0.95$ 로 일정한 값을 가정하였고 충전의 경우 배터리 SOC에 의한 함수 형태인 다음의 모델을 가정하였다.<sup>8,9)</sup>

$$\eta_{b,c} = 0.8 - 0.1 c^2 \quad (11)$$

본 연구에서는 회생발전에 의한 분담률  $\beta$ 는 0.25을 가정하였고 SOC에 의한 가중함수  $\gamma(c)$ 는 SOC가 0.5일 때 가중값이 1.0인 다음의 1차식을 적용하였다.

$$\gamma(c) = 2(1 - c) \quad (12)$$

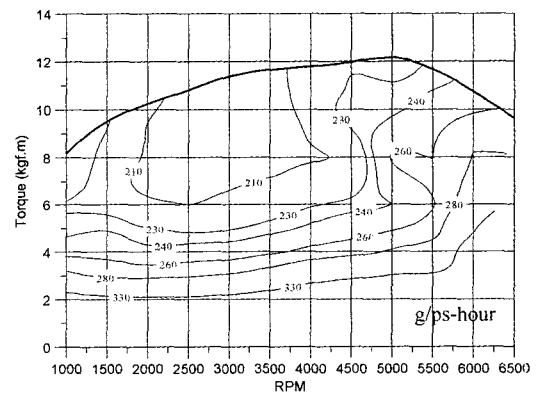


Fig. 5 Brake Specific Fuel Consumption map of engine

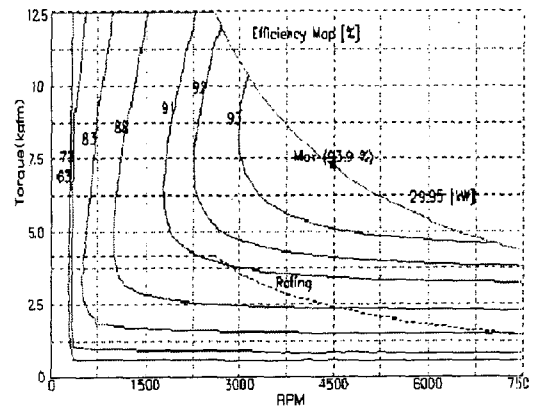


Fig. 6 Efficiency map of electric motor

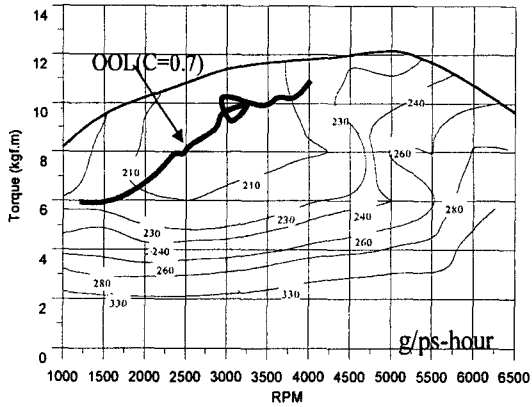


Fig. 7 Optimal operating line of hybrid system

Fig. 7은 이상의 알고리즘에 따라 최저 연비 점을 구한 예이다. 그림에 나타난 최저 연비점은 배터리 SOC=0.7에서 계산한 것이다. 하이브리드 차량의 최저연비 라인은 요구 출력이 낮은 영역에서 기존 차량의 최저연비 라인과 동일한 형태를 가진다. 고출력 영역에서는 엔진의 효율이 최고인 위치, 즉 엔진 회전수 약 3000 rpm 및 토크가 약 10kgfm인 위치에 집중되어 있음을 볼 수 있다. 이것은 고출력 조건에서 엔진이 로드 레벨링을 수행하기 때문에 나타나는 현상이다.

Fig. 8은 최저 연비점에서의 토크분배 선도로 차량의 요구동력에 대하여 엔진과 모터의 소요 토크를 각각의 SOC에 대하여 나타내었다. SOC가 0.1인 경우 요구 출력 값이 80마력까지, 그리고 SOC가 0.3인 경우 요구 출력이 약 40마력까지 모터가 발전 모드로 작동하고 있다. SOC가 증가함에 따라 모터가 발전 모드로 작동하는 영역이 점차 감소하며 SOC가 0.9인 경우에는 전체 영역에서 모터가 구동 모드로 작동하고 있다. SOC가 0.3~0.7인 범위에서는 엔진만으로 구동하는 영역이 넓게 분포되어 있음을 볼 수 있다.

#### 4. 시뮬레이션

여기서는 앞 절에서 제시한 운전전략에 대한

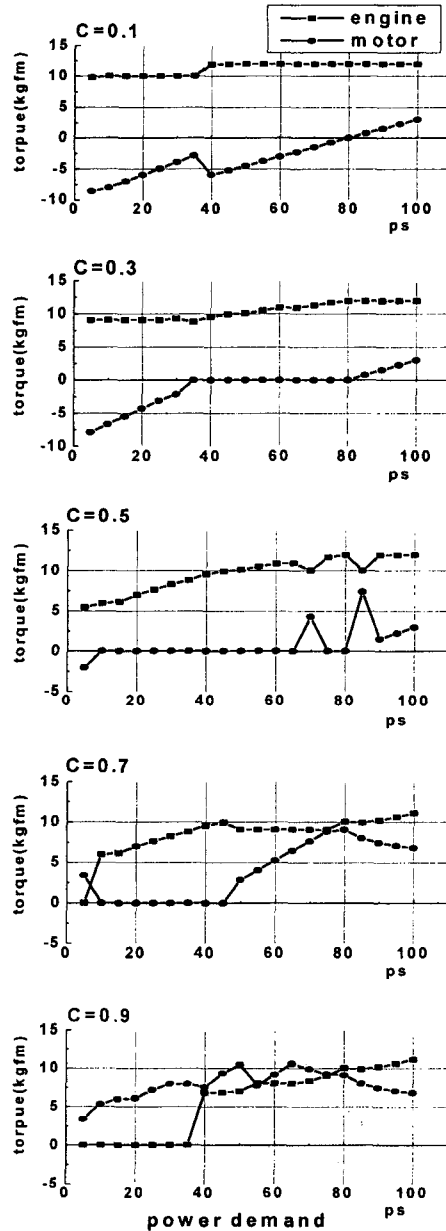


Fig. 8 Torque distribution at optimal points

HEV의 성능 시뮬레이션을 수행하여 차량의 연비 및 주행중 배터리 SOC의 변화 등을 고찰하기로 한다. 시뮬레이션은 Fig. 9에 나타난 절차에 따라 수행하였다. 주어진 주행 모드에 대한 요구 출력을 계산하고 현재의 SOC에 대한 최저연비 운전점을 구한 후, 여기서 결정된 동력

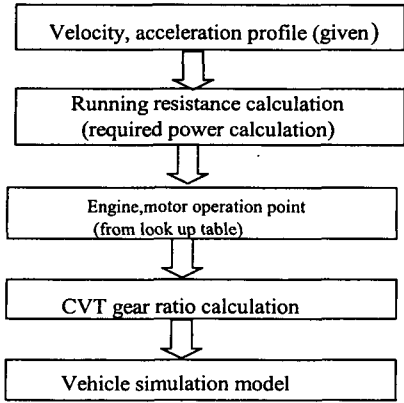


Fig. 9 Simulation procedure

Table 1 Vehicle specification for simulation study

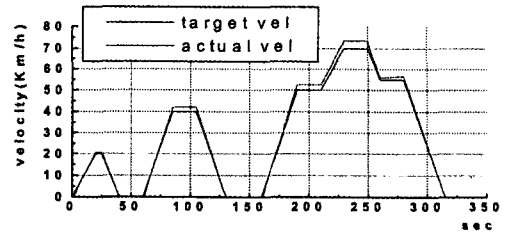
	Item	Value	Units
Vehicle	Mass	1400	kg
	Tire radius	0.278	m
	Proj. area	1.83	m <sup>2</sup>
	Drag coef.	0.32	-
	Rolling resist.	0.01514	kgf/kg
Engine	Displacement.	1498	cc
	Max. power	95	ps
Motor	Max. power	30(42)	kw(ps)
	Max. torque	12	kgfm
Transmission	Type	CVT	
	Ratio range	0.45-2.45	-
	Final gear ratio	5.763	-
Battery pack	Voltage	288	volt
	Capacity	13	Ah

분배에 따라 엔진과 모터의 토크를 차량 모델에 적용하였다.

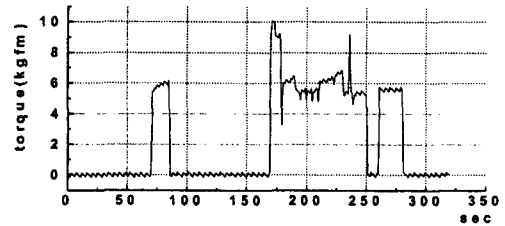
차량 모델 중 엔진의 토크 응답과 변속비의 응답은 1차 시간지연요소로서 가정하였고 모터의 토크 응답은 순간적인 것으로 가정하였다.<sup>9)</sup> Table 1은 본 연구에 사용된 차량의 제원이다.

Fig. 10은 ECE(Economic Commission for Europe) 주행모드에 대한 시뮬레이션 결과이다.

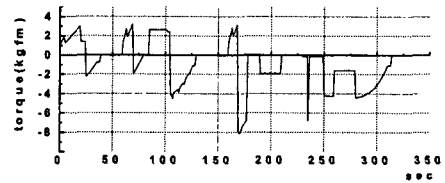
차량의 속도가 목표 속도를 잘 추종함을 그림(a)에서 볼 수 있다. 그림(b)와 (c)는 엔진 토



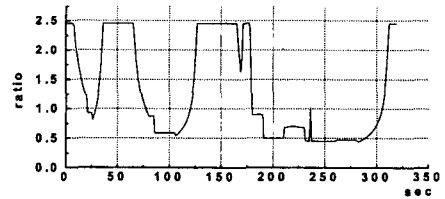
(a) Vehicle velocity



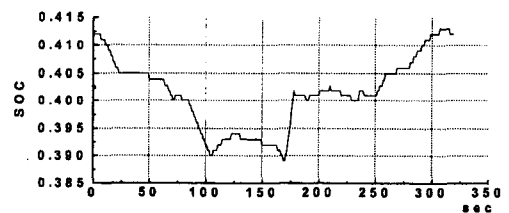
(b) engine torque



(c) motor torque



(d) CVT ratio



(e) battery SOC

Fig. 10 Simulation results for ECE mode

크와 모터 토크를 나타내는 그림으로 저속구간에서는 모터에 의한 주행이 주를 이루고 고속 구간에서는 엔진에 의한 주행 및 발전이 이루어짐을 볼 수 있다. 약 70초 경과 시점의 가속

구간에서 엔진이 짧은 시간 동안 작동되고 시동이 꺼지는 현상이 발생하고 있다. 이러한 현상은 주행성 측면에서 해로우므로 실제 차량에서는 이에 대한 별도의 대책이 필요하다고 판단된다.

약 170초 경과시점의 가속구간에서 CVT 변속비가 상단변속(upshift) 도중 다시 하단변속(downshift)으로 급격히 변하는 현상을 그림 (d)에서 볼 수 있다. 이것은 모터 구동에서 엔진 구동으로 변화하는 과정에서 목표 회전수의 변동이 크기 때문에 발생하는 현상이다. 이 경우 차량이 주춤거리는 현상(hesitation)이 발생할 수 있으므로 실제 차량조건에서는 이러한 현상에 대한 대책이 필요하다고 판단된다. 그림(e)는 배터리 SOC의 변동을 나타내는 그림으로서 SOC는 비교적 작은 범위 내에서 변동하고 있으며 SOC 값이 주행 완료 상태에서 초기 값에 근접하는 현상을 보이고 있다. 이것은 SOC에 대한 가중함수를 적용한 결과라 보여진다.

Fig. 11은 ECE 모드와 LA-4 모드를 대상으로, HEV 및 기존 차량의 주행 시뮬레이션을 수행하여 얻어진 연비 값을 비교한 것이다. 기존 차량은 HEV와 동일한 차량 조건을 적용한 상태에서 시뮬레이션을 수행하였다. HEV의 연비 값은 배터리 SOC가 주행 초기와 종료시에 동일한 값을 갖는 조건에서 얻어진 값이다.

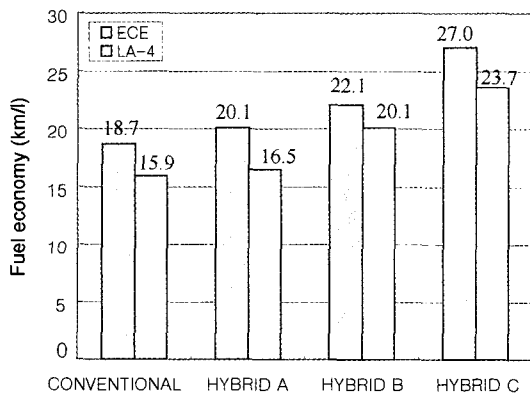


Fig. 11 Fuel economy for ECE mode and LA-4 mode (simulation)

Fig. 11에서 하이브리드 A는 모터에 의한 동력보조만을 채택한 경우로서 HEV는 LA-4모드에서 16.5Km/l, 그리고 ECE 모드에서 20.1Km/l의 연비를 보이고 있다. 이것은 기존 차량에 비하여 4% 및 8%의 연비가 개선된 결과이다. B는 A의 조건에 회생제동을 추가한 경우이다. HEV는 LA-4 모드에서 20.1 Km/l, ECE 모드에서 22.1Km/l의 연비를 각각 나타내고 있다. 이것은 기존 차량에 비하여 각각 21% 및 26%의 연비 개선을 나타내는 것이다. C는 모터에 의한 동력보조와 회생제동을 적용함과 동시에 엔진의 아이들링을 삭제한 경우이다. 이 경우 HEV는 LA-4 모드에서 23.7Km/l, ECE 모드에서 27.1 Km/l의 연비, 즉 기존 차량 대비 각각 45% 및 48%의 연비 개선 효과를 보이고 있다.

이 결과로 미루어 볼 때, HEV의 연비는 모터에 의한 동력보조만으로는 개선의 효과가 매우 작으며, 회생제동 및 엔진 아이들링의 삭제 등이 동시에 이루어져야 큰 폭의 연비 개선이 이루어짐을 알 수 있다. 하지만 LA-4 모드에서 HEV의 연비는 23.7Km/l로서, PNGV(Partnership for a New Generation of Vehicles) 프로그램에서의 목표연비인 80 mpg, 즉 34Km/l에 크게 미치지 못하고 있다. 따라서 이 값을 달성하기 위하여는 엔진의 열효율 향상, 모터 효율 및 배터리의 충방전 효율의 향상과 차량의 중량 감소, 동력 전달계의 전달 효율 향상 등이 추가되어야 할 것으로 판단된다.

### 5. 결론

1) 하이브리드 전기자동차(HEV)의 연비를 최소화하기 위하여 차량이 소비하는 연료와 전기 에너지의 비용의 합을 비용함수로 정의하고, 이 비용 함수를 최소화하는 최저연비 주행 알고리즘을 제시하였다. 비용함수에는 SOC에 반비례하는 가중함수를 적용하여 주행 중 배터리가 완전 방전되거나 과충전되는 현상을 방지하도록 하였다.



2) 최저연비 주행 알고리즘 하에서 HEV의 주행 시뮬레이션을 수행한 결과, 동력시스템의 모드 변경 조건에서 급격한 변속비의 변화가 발생하고 있으므로 이에 대한 대비책이 필요함을 알 수 있었다.

3) HEV의 연비는 모터에 의한 동력보조와 회생 발전 그리고 엔진 아이들링의 삭제를 동시에 채택할 경우, 기존 차량에 비하여 LA-4 모드에서 45%, ECE 모드에서 48%의 향상이 이루어짐을 확인하였다.

### 참 고 문 헌

- 1) F. G. Willis and R. R. Radtke, "Hybrid Vehicle Systems Analysis", SAE 850225, 1985.
- 2) C. Anderson, E. Pettit, "The Effects of APU Characteristics on the Design of Hybrid Control Strategies for Hybrid Electric Vehicles", SAE 950493, 1995.
- 3) U. Zoelch, D. Schroder "Optimization Method for Rating the Components of a Hybrid Vehicle", EVS14, 1997.
- 4) 조성태, 조한상, 이장무, 박영일, "동력 분배비 결정 알고리즘을 이용한 하이브리드 차량의 주행 제어기법 개발", 한국자동차공학회 1997년도 추계학술대회, pp.707-713, 1997.
- 5) C. H. Kim, E. Nangoong, S. C. Lee, T. C. Kim, H. S. Kim, "Fuel Economy Optimization for Parallel Hybrid Vehicles with CVT", SAE 1999-01-1148, 1999.
- 6) A. F. Burke, "Hybrid/Electric Vehicle Design Options and Evaluations", SAE 920447, 1992.
- 7) 최득환, "하이브리드 승용차용 전자식 무단변속기의 개발", 한국자동차공학회 논문집 제7권 제9호, pp.75-81, 1999.
- 8) D. C. Sheridan, J. J. Bush, W. R. Kuziak, "A Study of the Energy Utilization of Gasoline and Battery-Electric Powered Special Purpose Vehicles", SAE 760119, 1976.
- 9) 성균관대학교 기계기술연구소, "HEV 동력 전달장치 시뮬레이터 개발", 기아자동차 주식회사, 1998.