준중형급 전기자동차의 주행특성에 따른 에너지 소모량 분석

이 대 흥¹⁾ · 서 호 원¹⁾ · 정 종 열¹⁾ · 박 영 일^{*2)} · 차 석 원¹⁾

서울대학교 기계항공공학부¹⁾ · 서울과학기술대학교 기계시스템디자인공학과²⁾

The Analysis of Energy Consumption for an Electric Vehicle under Various Driving Circumstance

Daeheung Lee¹⁾ · Howon Seo¹⁾ · Jongryeol Jeong¹⁾ · Yeongil Park^{*2)} · Suk Won Cha¹⁾

¹⁾School of Mechanical & Aerospace Engineering, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea

²⁾Department of Mechanical System Design Engineering, Seoul National University of Science and Technology,
Seoul 139-743, Korea

(Received 1 August 2011 / Revised 19 September 2011 / Accepted 25 September 2011)

Abstract : This paper discusses the energy consumption for a mid-size electric vehicle(EV) under various conditions. In order to analyze which driving style is more efficient in terms of the system of the EV, we develop the electric vehicle model and apply several types of speed profiles such as different steady speeds, acceleration/deceleration, and a real world driving cycle including the elevation profile obtained from a GPS device. The results show that the energy consumption of the EV is affected by the operating efficiency of components when driving at low speed, while it depends on required power at wheels when driving at high speed. Also this paper investigates the effect of the elevation of a road and the rate of electrical braking on the energy consumption as well as the fuel economy of a conventional vehicle model under the same conditions.

Key words : Electric vehicles(전기 자동차), Energy consumption(에너지 소모량), Real world driving cycle(실도로 주행 사이클), Vehicle simulation(차량 시뮬레이션), Fuel economy(연비), Fuel consumption(연료 소모량)

Nomenclature

R_{regen} : Regenerative braking ratio (Regen. Ratio), %

P_{elec_brake} : Electric braking power, W

P_{Max_brake} : Maximum braking power, W

1. 서 론

지구 온난화 및 화석연료 고갈 등의 문제로 인해 대체 에너지를 이용한 수송 시스템의 연구 개발이 전 세계적으로 큰 이슈가 되고 있다. 세계 각국은 유가 급등에 따른 수송 에너지 비용 문제의 해결과 이산화

탄소 배출 규제의 법제화에 따른 요구 기준을 만족키기 위해 내연기관 중심의 자동차 기술에서 친환경 자동차 기술로의 패러다임 변화를 보이고 있다.¹⁾ 친환경 자동차는 동력원 및 동력 전달계 구조, 사용 연료 등에 따라 하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicle), 플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicle), 연료전지 자동차(Fuel Cell Vehicle), 전기 자동차(Electric Vehicle) 등으로 분류할 수 있으며, 이들 중 전기자동차는 내연기관의 엔진을 대신하여 배터리에 충전된 전기에너지와 이 전기에너지를 기계적 에너지로 변환하는 전기 모터를 사용해 차량 구동에 필요한 구동력을 발생시키는 시스템을 말한다. 시스템 내에서는 전기에너지만 사용하기 때문에 유해 배

*Corresponding author, E-mail: yipark@snut.ac.kr

기가스의 배출이 전혀 없는 무공해 자동차로 알려져 있으며,²⁾ 최근 일본, 중국, 독일, 미국 등은 공격적으로 전기자동차 산업 육성정책을 추진하고 있다.³⁾ 우리나라는 지난 2009년 전기차 활성화 대책을 발표하였고, 2011년도에는 세계 전기자동차 4대 강국 진입을 위해 기술표준원에서 ‘전기자동차 표준화 추진 전략’ 수립과,¹⁾ 국내 관련 기술 확보 및 인프라 구축을 위해 차세대 전기차 기반 수송 시스템과 관련된 국책 사업을 추진하고 있다.

일반적으로 전기 자동차는 차량에 탑재된 배터리를 에너지원으로 사용하기 때문에 배출가스를 발생시키지 않는 장점이 있으나 경제성 및 운용 측면에서 배터리의 충전시간 및 높은 가격, 충전 인프라 구축 등이 앞으로의 해결 과제라 할 수 있다. 또한 차량 시스템 측면에서는 내연기관 차량과 마찬가지로 전기 자동차의 도로 운행 조건에 따라 배터리로부터 사용되는 전체 구동에너지가 달라질 수 있으며,^{4,6)} 제동 에너지가 전기적 에너지로 변환되는 회생제동 에너지 양에 따라서도 시스템 효율 및 전체 주행 에너지가 달라진다.

기존 내연기관 차량 및 타 친환경 차량에 비해 상대적으로 간단한 구조이지만 주행 환경에 따른 에너지 소모량 분석에 대한 연구와 기존 차량과의 비교 연구가 미비한 실정이다.

본 논문은 전기자동차의 주행 상황별 효율을 분석하기 위해 준중형급 전기 자동차를 대상으로 다양한 주행 조건 및 고도 정보를 포함한 실 도로 운행 조건을 적용하여 시뮬레이션을 수행한다. 해석 결과를 바탕으로 각 주행 특성 및 회생 제동 비율에 따른 에너지 소모량 결과를 분석하여 보다 효율적으로 전기 자동차를 운행할 수 있는 조건을 제시하고 이를 기존 내연기관 차량과 비교하였다. 또한 시뮬레이션 시 고도정보를 포함 시킬 경우 전기자동차와 내연기관 차량의 에너지 소모량 및 연비 변화를 분석하여 공인연비와 실 도로 연비의 차이에 대한 정량적 결과를 제시하였다.

2. 동력전달계 제원 및 에너지 효율 분석

2.1 차량 구조 및 제원

본 연구의 해석 대상 전기자동차 모델은 준중형

(a) Schematic of a pure electric vehicle

(b) Battery voltage and internal resistance with SOC

(c) Efficiency map of the driving motor

Fig. 1 Schematic of the powertrain and component properties for simulation

급 차량으로서 Fig. 1(a)와 같은 구조로 구성되어 있다. 구동모터의 경우 기본적인 주행 성능을 충족시키기 위해 80kW급 모터를 사용하고 있으며, 모터 선정 시 용량을 낮추기 위해 2단 변속시스템을 적용하였다. Fig. 1(b), (c)는 차량 해석 시 적용된 배터리 성능 모델과 구동용 모터의 효율 특성 및 최대 토크 선도를 나타낸다.

Table 1 Specifications of vehicle components

Component properties and vehicle performance	Note	Value
Electric motor	80kW PMSM	300Nm @2500RPM
Energy storage system	Li-ion	90Ah/330V
Transmission gear ratio	1 Speed	2.67
	2 Speed	1.67
Final drive ratio	-	3
Maximum speed	-	174km/h
Acceleration performance	0->100km/h	9.8sec

Table 2 Constants for simulation

Property	Unit	Value
Air density	kg/m ²	1.293
Frontal area	m ²	3.065
Air drag	-	0.294
Rolling resistance	-	0.009
Tire radius	m	0.334
Gravity	m/s ²	9.81
Final drive efficiency	%	96
Transmission efficiency	%	96
Simulation mass	kg	1560
Electrical power loss	W	300

동력전달계를 구성하는 모터와 배터리 및 변속기의 제원은 Table 1과 같으며 Forward 시뮬레이션을 통해 예측된 차량 구동성능은 최고 속도 174km/h, 가속성능의 경우 Full throttle 상태에서 100km/h까지 약 9.8sec가 소요되었다.

시뮬레이션 시 가정된 기타 파라미터는 Table 2와 같으며 2단 변속기의 효율을 96%로 가정하였고 적용 중량은 1560kg이다. 또한 보조기기류에 의한 전기적 손실 파워는 일정하다는 가정 하에 300W로 적용하였다.

2.2 특정 주행사이클에 따른 에너지 소모량 분석

2.1절에서의 차량 모델을 대상으로 단위 거리당 에너지 소모량의 경향성을 도출하기 위해 Backward simulation 방법을 적용하였으며, 주행 사이클은 Fig. 2에서 보이는 바와 같이 FTP75 모드와 도심 및 고속도로 주행이 복합된 EPA combined 모드, 그리고 실제로 주행을 복합된 EPA combined 모드, 그리고 실제로 주행을 기반으로 한 3종류의 Real

Fig. 2 Driving cycles for simulation

World(RW) 모드를 적용하였다. RW 모드는 PSAT simulator⁷⁾ 내에 포함되어 있는 일반 주행 사이클 중 고속 모드와 중저속 모드, 그리고 저속 주행 환경에서 빈번한 가감속을 수행하는 모드로 선정되었다. 이는 공인 주행 모드를 포함한 다양한 주행 환경에서 전기 자동차의 에너지 소모량을 평가함으로써 현재 양산되고 있는 전기자동차의 실도로 주행 에너지 소모량⁸⁾과 해석 대상 전기자동차의 에너지 소모량을 비교/검증하기 위한 것이다.

식 (1)은 회생제동 비율의 정의로써 해당 주행 사이클의 최대 제동 파워에 대한 전기적 제동 파워의 사용 비율로 정의한다.

$$R_{regen} = \frac{P_{elec_brake}}{P_{Max_brake}} \times 100 [\%] \quad (1)$$

구동 휠로부터 파워트레인으로 입력되는 제동 에너지를 전기적 제동으로 100% 사용한다고 가정하였을 경우 Table 3에서 보이는 바와 같이 단위 거리당 에너지 소모량은 약 117Wh/km에서 230Wh/km로 적용된 주행 사이클에 따라 대략 2배에 가까운 에너지가 소모될 수 있다는 것을 보여준다. 또한 이는 현재 시판 중인 전기자동차의 다양한 주행 환경에 따른 에너지 소모량⁸⁾과 유사한 수치 및 경향성을 보이고 있다.

Fig. 3은 차량 시스템 효율과 단위 거리당 에너지 소모량 분석 결과를 비교하여 나타낸 것으로서 공

Table 3 Numerical results with respect to various driving cycles

Driving cycle	FTP75 cycle	EPA combined cycle	RW cycle #1	RW cycle #2	RW cycle #3
Consumed energy [Wh]	2092.7	3816.2	6485.7	5952.3	4531.1
Required energy [Wh]	1217.5	2699	4447.5	4700.8	2588.3
Distance [km]	17.76	28.50	31.72	25.80	26.61
Vehicle efficiency [%]	58.18	70.72	68.57	78.97	57.12
Energy consumption [Wh/km]	117.83	133.92	204.45	230.73	170.28

Fig. 3 Energy consumption and vehicle efficiency with various driving cycles

인 인증용 사이클로 이용되고 있는 FTP75나 EPA Combined 사이클을 주행하였을 경우 단위 거리당 에너지 소모량은 실 도로 기반 주행 사이클보다 낮으며, 고속 주행 위주의 RW #1과 RW #2에서 단위 거리당 에너지 소모량이 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 차량 효율의 경우 약 58%에서 78%까지 변화를 보이며 공인 인증용 사이클과 실 도로 주행 사이클 상에서는 특정한 경향이 없는 것으로 나타났다. 고속 주행을 주로 수행하는 RW #2의 경우 단위 거리당 에너지 소모량과 차량 시스템 효율이 가장 높은 것으로 분석되었다.

따라서 5종류의 주행 사이클을 적용한 시뮬레이션 결과이지만 본 결과를 통해 전기 자동차는 기존의 내연기관 차량과 마찬가지로 차량의 운행 특성

에 따라 단위 거리당 에너지 소모량은 달라질 수 있으며, 에너지 사용량 측면에서 전기 자동차가 어떻게 운용되는 것이 주행 가능 거리 증대 및 차량 자체의 에너지 사용량을 감소시킬 수 있는지에 대한 정량적인 분석이 필요하다. 이를 위해 3장에서 주행 상황 및 전기적 회생 제동률, R_{regen} , 에 따른 에너지 소모량 분석을 수행하였다.

3. 주행 상황별 에너지 소모량 분석

전기 자동차의 주행 상황별 에너지 소모량 및 차량 효율을 계산하기 위해 정속 주행과 가속-감속 주행 사이클을 상황별로 가정하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 시뮬레이션 시 고도 정보 유무에 따른 에너지 소모량을 비교하기 위해 실차에 GPS를 장착하고 서울 시내를 주행한 후 GPS 장치 내에 저장된 주행 속도 프로파일과 거리별 고도정보를 포함한 주행사이클을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

3.1 정속 주행

정속주행 시뮬레이션의 경우 1km의 단위 거리를 주행 속도 최저 10km/h에서 최대150km/h까지 10km/h 간격으로 정속 주행하는 상황에 대한 에너지 소모 결과를 도출하였다. 이는 전기차량이 가속 및 감속을 하지 않는 상황에서 정속으로만 주행 할 경우 단위 거리당 소모되는 에너지 양과 차량 시스템 효율을 확인하기 위한 것이다.

Fig. 4(a)는 각 정속 주행에 따른 에너지 소모량 및 이를 kwh당 주행 가능 거리로 환산한 결과이다. 약 20~30km/h로 정속 주행시 단위 에너지 당 주행거리는 약 14km~15km 로 가장 많은 거리를 주행할 수 있을 것으로 분석되었다. 구동에 필요한 에너지와 배터리에서 소모된 에너지는 Fig. 4(b)와 같으며 20~30 km/h 정속 주행 지점을 중심으로 저속 또는 고속으로 주행할수록 소모되는 에너지는 증가하는 것으로 나타났다. 각 단품의 효율 및 차량 시스템 효율의 경우 Fig. 4(c)와 같이 고속으로 주행할수록 구동 모터의 효율은 증가하나 배터리의 효율은 감소하는 것으로 나타났으며 이에 따라 차량 시스템 효율은 약 80~90km/h 정속으로 운행 시 가장 좋으며 이 이상으로 주행할 경우 배터리의 효율 감소로 인해 차량 시

(a) Energy consumption of unit distance driving with constant vehicle speed

(b) Driving energy(required energy at wheel) and consumed energy(at a battery) with constant speed

(c) Efficiency results of the battery, electric motor and vehicle system with constant speed

Fig. 4 Simulation results of various constant speed driving

시스템의 효율이 감소하는 것으로 나타났다.

결론적으로 정속으로 주행 시 차량 시스템 효율은 약 80km/h까지는 증가하며 그 이상의 속도구간에서는 감소하게 되나 주행에 필요한 에너지는 속도의 제곱에 비례하여 증가하게 된다. 이에 따라 단위 거리(1km)당 소모되는 에너지는 20~30km/h로 주행할 때 가장 낮게 나타나며(Fig. 4(b)) 이는 특정 배터리 용량으로 최대의 주행 거리를 확보할 수 있는 정속 주행 속도라는 것을 의미한다.

3.2 가속 및 감속 주행

가속·감속 주행은 가속도의 크기와 감속에 의한 제동에너지를 전기적 제동으로 회생시키는 비율에

(a) 300 meter driving

(b) 1000 meter driving

Fig. 5 Speed profiles for simulation of the acceleration and deceleration driving with various maximum speed

따라 주행 소모에너지의 경향성을 보기 위한 것으로써 300m와 1000m의 거리를 특정 속도까지 증가시킨 후 다시 감속하는 형태의 속도 프로파일로 가정하였다. Fig. 5(a), (b)는 각각 300m와 1000m 주행 상황에 대한 주행 거리 및 주행 시간에 따른 속도 프로파일을 나타낸다.

특정 거리 구간의 가속·감속 운행에 대한 시뮬레이션 결과는 Fig. 6와 같다. 300m 주행의 경우 20km/h의 속도까지 가속한 후 감속하는 상황에서 가장 낮은 에너지 소모량을 보였으며 이때의 주행 시간은 약 80sec로 계산되었다. 또한 최대 속도를 10km/h씩 증가시킬 경우 가속도 증가로 인해 에너지 소모량은 증가하게 되며, 20km/h 이하의 저속으로 운행할수록 운행 시간 및 에너지 소모량은 급격히 증가하게 된다.

회생 제동 비율이 0%와 100%인 경우, 즉 제동을 모두 기계적으로 수행하였을 때(Regen. 0%)와 전기적 제동으로 수행하였을 경우(Regen. 100%)를 비교

(a) 300 meter driving

(b) 1000 meter driving

Fig. 6 Energy consumption and driving time with respect to various maximum speed

해 보면 약 20km/h까지는 큰 차이가 없으며 30km/h 이상으로 주행할수록 회생 제동에 의한 전기적 에너지 회수는 전체 에너지 소모량에 큰 영향을 주는 것으로 나타났다. 이는 저속 상태에서 가속을 수행할 경우 모터의 낮은 효율로 인해 배터리에서 출력되어야 하는 에너지는 상대적으로 많은 양이 요구되며, 회생 시에는 제너레이터의 낮은 효율로 인해 배터리로 충전될 수 있는 에너지는 상대적으로 감소하기 때문이다. 반대로 최고 속도가 30km/h 이상인 상황에서 가속 및 감속을 수행할 경우 모터와 제너레이터의 효율이 상대적으로 높은 영역에서 작동될 수 있기 때문에 배터리에서 출력되어야 하는 에너지는 상대적으로 낮아지게 되며 회수될 수 있는 에너지는 증가하게 된다. 따라서 최고 속도를 증가시키면서 가속 및 감속을 수행하는 상황일수록 구동에너지에 대한 제동 에너지의 회수율이 증가하게 되며 이 비율은 20km/h에서 약 6%, 40km/h에서 약 33%, 80km/h에서 약 56%의 결과를 보였다. 이 결과는 저속 상태 (20km/h 이하)에서 낮은 가속도와

감속도로 운행할 경우 회생제동에 의한 에너지 소모량 저감 효과가 거의 없다는 것을 의미한다.

동일한 최대 속도에 대해 전기적 제동 사용 비율 (Regen. Ratio)을 변화시키며 에너지 소모량을 도출한 결과 Regen. Ratio가 0%에서 약 50%까지는 에너지 소모량이 감소하는 경향을 보이며 60% 이상에서는 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.

Fig. 6(b)는 1000m를 주행하였을 때의 결과로써 최대 속도가 약 20km/h~30km/h인 상황에서 단위 거리당 에너지 소모량이 가장 낮은 것으로 분석되었다. 또한 300m 주행과 비교하였을 때 에너지 소모 경향은 유사하나 약 40km/h 이상부터 전기적 제동에 의한 영향이 증가하는 것으로 나타났다.

3.3 고도정보를 포함한 실도로 기반 주행

본 절에서는 실도로 운행과 유사한 주행 환경에서 대상 전기자동차의 에너지 소모량을 분석하기 위해 실도로 주행 사이클을 적용하였고, 시뮬레이션 시 고도 정보 유무에 따른 결과를 도출하여 보다 실제적인 에너지 소모량을 비교/분석 하였다.

차량 연비 평가를 위한 기존 연구에서는 일반적으로 차량을 시뮬레이션할 때 고도 정보를 고려하지 않고 연비나 동력원의 운용 상태를 도출한다.⁹⁾ 이 결과는 실제 도로 주행의 연비나 에너지 소모량과는 상이할 수 있으며, 특히 전기자동차의 경우 내리막 도로 주행시 전기적 제동에 의한 에너지를 배터리로 회수할 수 있기 때문에 고도 정보는 반드시 고려되어야 하는 사항이다.

대상 전기자동차의 실도로 운행에 따른 에너지 소모량을 시뮬레이션하기 위해서는 실도로 운행과 유사한 속도 프로파일이 요구된다. 이를 위해 차량에 GPS 장치를 부착하여 Fig. 7(a)의 서울 시내를 운행한 후, 실시간으로 저장된 차량 속도 데이터와 고도 정보 데이터를 이용하여 시뮬레이션용 주행 사이클에 적용하였다. Fig. 7(b)와 같이 편도 거리는 약 21km이며 주행 시간은 3,650sec, 경사도는 거리에 따라 약 10% 이내의 범위에서 변하며, 도심 주행 특성 상 고속 주행 보다는 최고 40km/h에서 60km/h의 중저속 구간과 빈번한 stop-and-go를 포함하고 있다.

(a) Driving road for acquiring the real speed and elevation data

(b) Driving speed and grade information

Fig. 7 Driving road and real speed/elevation information from a GPS device

Fig. 8은 실도로 주행 사이클에서 단위거리당 에너지 소모량 결과이며, 회생 제동 비율과 고도 정보 유무에 따른 에너지 소모량 결과의 차이를 보여주고 있다. 실도로 운행시 고도정보를 포함했을 경우 예측되는 에너지 소모량은 회생제동 비율에 따라 약 174Wh/km에서 106Wh/km로 분석되었다. 또한 이 결과는 고도 정보를 고려하지 않은 결과 대비 약 1.5%에서 5.3% 정도 에너지 소모량이 증가하는 것으로 나타났다. 이는 실도로 환경과 유사하도록 고도정보를 포함하는 경우 오르막 또는 내리막 경사로인해 가속 상황과 감속 상황에서 요구되는 입출력 동력이 달라지기 때문이다. 또한 중저속 구간에서 빈번한 가속과 감속을 반복하고 있으며 고속으로 주행하는 상황이 없기 때문에 Fig. 3에서의 FTP75 사이클과 유사한 에너지 소모량을 보이고 있다.

Fig. 8 Simulation result of the energy consumption with and without the elevation profile

4. 내연기관 차량의 주행 상황별 연비 분석

전기자동차의 에너지 소모량 결과가 기존 내연기관 차량과 어떠한 차이점이 있는지 분석하기 위해 1800cc급 가솔린 엔진과 5단 AT를 장착한 차량 모델을 구성하여 정속 주행 및 고도 정보를 포함한 실도로 주행 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 시 적용된 차량관련 파라미터는 전기자동차의 제원과 동일하며(Table 2) 가솔린 엔진의 성능 및 BSFC 맵은 Fig. 9와 같다.

Fig. 9 1800cc Gasoline engine BSFC map

4.1 실도로 연비평가를 통한 차량 검증

모델링된 내연기관 차량의 연비를 추정하기 위해 공인 인증용 주행 사이클인 FTP75 상에서 연비 분석을 실시한 후 3.3절에서 기술된 고도정보를 포함하는 실도로 주행 사이클을 적용하여 차량 모델의 타당성을 검증하였다.

Table 4는 내연기관 차량의 FTP75 사이클 및 서울 도심 주행 사이클 상의 연비를 나타낸다. 고도 정보를 포함하지 않는 FTP75 주행사이클 상의 연비는

Table 4 Simulation results for an IC engine vehicle

Driving cycle	Elevation information	Fuel economy prediction	Note
FTP75 cycle	Without elevation info.	14.22 km/L	Reference
Real world driving in seoul	Without elevation info.	11.501 km/L	19.12% decrease
Real world driving in seoul	With elevation info.	10.177 km/L	28.43% decrease

Fig. 10 Numerical results for fuel economy

14.22km/L로 일반적으로 양산되어 판매중인 준중형급 가솔린 기관 차량들의 연비(약 12.0~17.5km/L)와 비교하였을 때 타당한 결과라 판단된다. 이 차량 모델의 실도로 주행 사이클 상의 연비는 고도 정보를 포함하지 않을 경우 약 11.501km/L로 FTP75의 연비 보다 약 19% 감소하며, 고도 정보를 포함한 경우 10.177km/L로 FTP75 대비 약 28.4%가 감소하는 것으로 나타났다. 이 결과는 실제 운전자들이 경험적으로 느끼는 공인 인증 연비와 실제 주행 연비의 차이와 유사하다고 판단되며, 내연기관 차량의 경우 고도정보에 따른 경사부하의 영향과 저속에서의 빈번한 가감속이 공인연비와의 차이를 유발하는 주원인으로 고려될 수 있다. Fig. 10은 주행 사이클과 고도 정보 유무에 따른 연비 변화를 나타낸다.

4.2 정속 주행 연비 분석

4.1절에서 검증된 내연기관 차량의 정속주행에 따른 효율 및 연비를 평가하기 위해 3.1절과 동일한 과정을 수행하였으며 Fig. 11은 이에 대한 결과이다.

차량 속도가 증가할수록 엔진 작동 영역의 효율은 증가하게 되며, 저속으로 운행할수록 요구파워는 감소하나 엔진의 효율 또한 급격히 감소하여 단위 거리를 주행하는데 필요한 연료량은 급격히 증

Fig. 11 Engine efficiency and fuel economy of the conventional vehicle

가하게 된다. 또한 전기 자동차의 결과와 유사하게 차량의 속도가 증가할수록 동력원인 엔진의 효율은 증가하지만 요구파워가 속도의 제곱에 비례하여 증가하기 때문에 연료소모량 역시 증가하게 된다.

따라서 내연기관 차량의 정속 상태 연비의 경우 30km/h에서 40km/h로 정속 주행할 때 약 17.6km/L로 가장 좋은 연비 성능을 보이는 것으로 나타났다.

일반적인 경제속도 70km/h에서 80km/h로 정속 주행할 경우 연비는 약 15km/L에서 14km/L이며 이 결과는 저속 주행 및 빈번한 가감속이 수행되는 도심 주행 연비(Table 4) 보다 약 40~50% 증가된 것이다. 이는 운전자들이 경험적으로 고속도로 주행이나 경제 속도로 운행시 실제 체감할 수 있는 연비 상승효과와 유사한 결과이다.

5. 결론 및 고찰

본 연구는 준중형급 전기자동차와 일반 가솔린 기관 차량의 주행 특성에 따른 에너지 소모량 및 연비를 분석하여 에너지 사용 측면에서 보다 효율적인 주행 조건을 도출하고자 하였다. 정속 주행 시물레이션의 경우 운전자의 의지에 따른 운행 시간을 고려하지 않았기 때문에 실제 운행에서 빈번하게 적용될 수 있는 조건은 아니다. 즉 연비나 에너지 소모량을 최소화하기 위해 실제 도로에서 차량을 저속으로 운행하는 것은 현실적으로 불가능하다. 그러나 본 연구 결과는 차량의 시스템 및 부품의 특성 측면에서 어떠한 주행 환경이 에너지 소모를 최소화 시킬 수 있는지에 대한 정량적 결과를 제시하는

데 의미가 있다.

현재 연비 인증용 차량 동력계 및 시뮬레이션에서는 고도 정보를 고려하지 않고 연비를 평가하여 실제 주행 연비나 에너지 소모량과는 다소 차이가 발생한다. 따라서 시뮬레이션을 통한 고도 정보유무에 따른 결과는 전기자동차 및 하이브리드, 내연기관 차량 등의 실제 연비 평가 방법에 대한 기초적 자료로써 활용 될 수 있을 것으로 생각된다. 본 논문의 시뮬레이션 결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

- 1) 정속주행의 경우 전기자동차는 20~30km/h, 내연기관 차량은 30~40km/h로 주행 시 가장 낮은 에너지 소모량을 보인다.
- 2) 전기 자동차와 내연기관 자동차의 정속 주행에 따른 에너지 소모량은 저속일 경우 동력원의 효율에, 고속일 경우 주행 요구 동력에 영향을 받는다.
- 3) 전기자동차의 회생제동에 의한 에너지 소모량 저감 비율은 고속 상태에서 감속할수록 증가한다.
- 4) 고도 정보를 포함한 연비 평가 결과 전기자동차의 에너지 소모량은 1.5%~5% 증가하였으며, 내연기관 차량의 연비는 약 11% 감소하였다.

추후 다양한 모터 및 차량 크기, 실도로 주행 사이클 적용이 요구되며, 배터리의 열특성 및 냉각 시스템 사용에 따른 손실이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

후 기

본 논문은 지식경제부 산업원천기술개발 사업 (No. 10033110) 및 2011년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2011-0001276).

References

- 1) M. Kim, "Standardization Strategy for Electric Vehicle," Auto Journal, KSAE, Vol.33, No.6, pp.71-74, 2011.
- 2) S. Yoo and D. Shin, "Electric Vehicle Market and Technology Trend," Auto Journal, KSAE, Vol.32, No.8, pp.22-27, 2010.
- 3) J. Seligman, "Electric Vehicles and Time-of-Use Rate: The Impending Role of the New York State Public Service Commission in Regulating Our Transportation Future," Pace Environmental Law Review, Vol.28, Issue 2, pp.568-590, 2011.
- 4) B. Kil, C. Cho, Y. Pyo and G. Kim, "Optimized Strategy of Neighborhood Electric Vehicle with Driving Schedules," Transactions of KSAE, Vol.18, No.3, pp.53-59, 2010.
- 5) D. Yin and Y. Hori, "A New Approach to Traction Control of EV Based on Maximum Effective Torque Estimation," IEEE 2008 Annual Conference, pp.2764-2769, 2008.
- 6) D. Lee, H. Seo, Y. Park, W. Lim and S. Cha, "System Efficiency Analysis for Next Generation Eco-friendly Vehicles with Aggressiveness of Real-world Driving Schedules," Annual Conference Proceedings, KSAE, pp.3178-3183, KSAE, 2010.
- 7) <http://www.autonomie.net/>
- 8) http://en.wikipedia.org/wiki/Nissan_leaf
- 9) J. Park, Y. Park and J. Lee, "Estimation of Real Driving Fuel Consumption Rate of a Vehicle When Driving on Road Including Grade," Transactions of KSAE, Vol.8, No.3, pp.65-76, 2000.