

다양한 주행모드 및 시험 조건에 따른 전기자동차 효율 특성

이민호[†] · 김성우 · 김기호

한국석유관리원 석유기술연구소

The Efficiency Characteristics of Electric Vehicle (EV) According to the Diverse Driving Modes and Test Conditions

MIN-HO LEE[†], SUNG-WOO KIM, KI-HO KIM

Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Chungcheongbuk-do 28115, Korea

[†] Corresponding author :
lice92@kpetro.or.kr

Received 10 January, 2017
Revised 7 February, 2017
Accepted 28 February, 2017

Abstract >> Although most electricity production contributes to air pollution, the vehicle organizations and environmental agency categorizes all EVs as zero-emission vehicles because they produce no direct exhaust or emissions. Currently available EVs have a shorter range per charge than most conventional vehicles have per tank of gas. EVs manufacturers typically target a range of 160 km over on a fully charged battery. The energy efficiency and driving range of EVs varies substantially based on driving conditions and driving habits. Extreme outside temperatures tend to reduce range, because more energy must be used to heat or cool the cabin. High driving speeds reduce range because of the energy required to overcome increased drag. Compared with gradual acceleration, rapid acceleration reduces range. Additional devices significant inclines also reduces range. Based on these driving modes and climate conditions, this paper discusses the performance characteristics of EVs on energy efficiency and driving range. Test vehicles were divided by low / high-speed EVs. The difference of test vehicles are on the vehicle speed and size. Low-speed EVs is a denomination for battery EVs that are legally limited to roads with posted speed limits as high as 72 km/h depending on the particular laws, usually are built to have a top speed of 60 km/h, and have a maximum loaded weight of 1,400 kg. Each vehicle test was performed according to the driving modes and test temperature (- 25°C~35°C). It has a great influence on fuel efficiency and driving distance according to test temperature conditions.

Key words : Electric vehicle(EV, 전기자동차), Neighborhood electric vehicle(NEV, 저속전기자동차), State of Charge(SOC, 총전율), Driving modes(UDDS, HWFET, US06, SC03, Cold UDDS mode), Test temperature conditions (시험온도 조건), Current(전류량), Driving distance on a single charge (1회충전 주행거리)

1. 서 론

자동차 제작사들은 전 세계적으로 강화되고 있는 에너지소비효율(연비) 및 온실가스(CO_2) 배출량 규제에 대응하기 위하여 다양한 형태의 환경친화적 자동차인 그린카(Green Car)를 개발하고 있다. 현재 개발되고 있는 그린카에는 클린디젤 자동차와 하이브리드 자동차(플러그인 하이브리드 자동차 포함), 전기자동차, 연료전지 자동차 등이 있다.

이 중에서도 전기자동차와 연료전지 자동차는 석유 연료와 내연기관을 사용하지 않고, 배기가스를 전혀 배출하지 않는 자동차로서 현재 많은 연구가 진행되고 있는 분야이다. 특히 전기자동차는 경제성과 친환경성의 이점을 갖고 있으나 배터리 중량, 충전에 필요한 시간, 낮은 수익성, 수요 부족, 충전 인프라 등에 의해 현재 대중화되지 못하고 있는 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 고효율 배터리 기술 개발이나 고속 충전인프라 구축, 세금 지원 등 각국의 정부와 기업들이 다양한 노력을 하고 있다.

전기자동차 효율 특성은 다양한 형태의 주행패턴, 환경조건, 도로 상황 등 여러 가지 변수에 의해 크게 좌우하게 되고, 특히, 주행모드 및 환경조건 특성에 따라 전기자동차 1회 충전 주행거리 및 최고 속도, 에너지소비효율 ($\text{km} / [\text{이동거리}] / \text{kWh} / [\text{배터리 용량}]$)은 다양한 형태의 결과 차이를 보이고 있다.¹⁻⁴ 전기자동차에 있어서 다양한 주행모드 및 환경 조건에 따른 성능 측정은 크게는 기술 개발의 유도나 에너지 관리의 지표로서 활용되고 있고, 다른 한편으로는 소비자에게 정보를 제공하는 일익을 담당하고 있다.

현재 국내의 에너지소비효율 산정은 시가지 모드인 UDDS 모드와 고속도로 모드인 HWFET 모드에서 측정한 결과를 보정·복합하여 산출하고 있다. 이 두가지 주행모드는 실도로 주행 및 환경 조건을 완전히 반영하지 못하고 있다고 할 수 있다. 이러한 원인들에 의해 시험차량 측정 결과와 실도로 결과 간의 차이가 발생되는 것을 볼 수 있다. 그러므로 정확한 에너지소비효율 산출을 위해 다양한 형태의 주행

모드와 환경조건 시험을 적용하여 차량을 개발하고, 인증시험 시에도 차량에 적용함으로서 소비자가 실제 도로에서의 주행성능을 확인할 수 있게 할 필요가 있다고 할 수 있다. 성능을 확인할 필요가 있다고 할 수 있다.

본 연구에서는 국내에서 개발된 전기자동차에 다양한 주행모드 및 환경 조건을 적용하여 시험해 보기 위하여, 미국 EPA의 5-cycle 시험모드인 UDDS, HWFET, US06, SC03, Cold UDDS 주행모드와 환경조건인 온도(저속전기자동차 : -20°C, -10°C, 0°C, 10°C, 25°C, 35°C, 고속전기자동차 : -25°C, -15°C, -7°C, 0°C, 10°C, 25°C, 35°C)에 따른 에너지소비효율, 1회 충전 주행거리, 최고속도 등의 성능 특성을 확인하고자 하였다.

2. 시험차량, 장비 및 방법

2.1 시험용 차량

시험에 사용된 차량은 국내에서 개발한 전기자동차로서 Table 1에 시험차량 제원을 나타내었다. 본 논문의 목적은 국내에서 출시된 전기자동차에 대해 다양한 조건 등의 성능특성을 확인하고자 하는 것이다. 이에 저속전기차 1대와 고속전기차 1대를 가지고 시험모드 및 환경조건에 따라 비교분

Table 1. Specifications of test vehicles

Item	Neighborhood electric vehicle (NEV)	Electric Vehicle A
Length×Width ×Height (mm)	2,570×1,440×1,560	3,585×1,595×1,550
Wheel base (mm)	1,870	2,775
Electric-motor (Power/Torque)	5 kW / - Nm	50 kW / 167 Nm
Battery	Lead-acid (165 Ah / 72 V)	Lithium-ion polymer (16.4 kWh / 330 V)
Max. speed	60 km/h	130 km/h
Curb weight	860 kg	1,130 kg
Driving distance	45 km	140 km

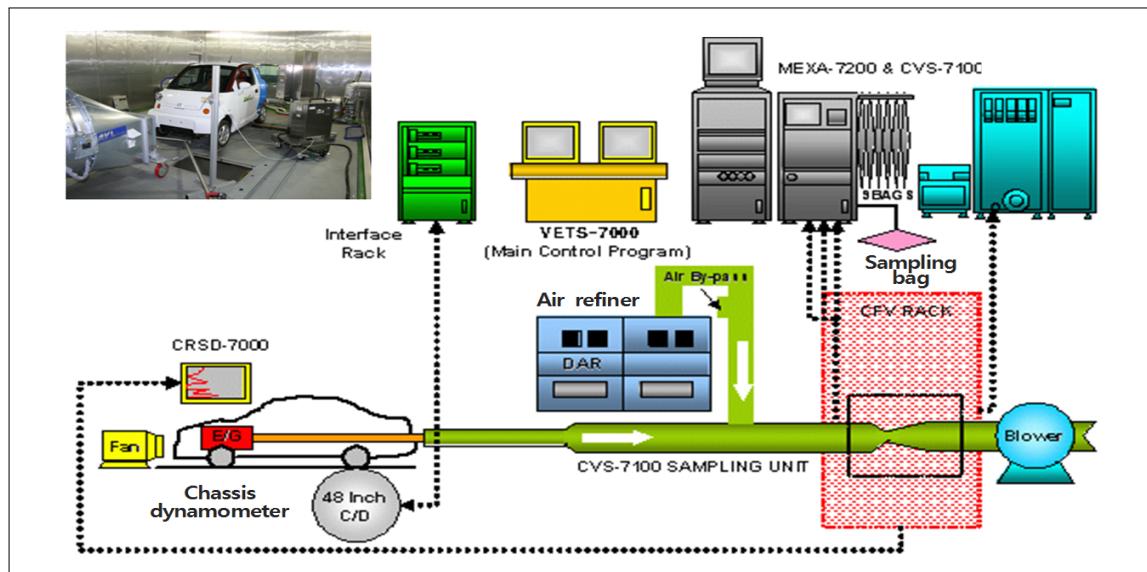


Fig. 1. Schematic diagram of gasoline vehicle emission measurement system

Table 2. Key features of the five fuel economy test mode

Test mode		Average speed (km/h)	Max. speed (km/h)	Max. acceleration (km/h/s)	Ambient condition (Temp. & Humidity)
FTP-75 (UDDS)	City	34 (21 mile/h)	93 (58 mile/h)	5.3 (3.3 mph/s)	24°C (75°F)
HWFET	Highway	77 (48 mile/h)	96 (60 mile/h)	5.3 (3.3 mph/s)	24°C (75°F)
US06	High speed & acceleration	77 (48 mile/h)	128 (80 mile/h)	13.6 (8.5 mph/s)	24°C (75°F)
SC03	Air-conditioning On (A/C)	35 (22 mile/h)	88 (55 mile/h)	8.2 (5.1 mph/s)	35°C (95°F) / 40% R.H.
Cold FTP-75 (Cold UDDS)	Cold temp.	34 (21 mile/h)	93 (58 mile/h)	5.3 (3.3 mph/s)	-7°C (20°F)

석하였다.

2.2 시험장비 및 방법(시험모드)

자동차 연비를 측정할 수 있는 차대동력계 시스템의 전체적인 개략도를 Fig. 1에 나타내었다. 차대동력계에서 해당 주행모드 및 환경 조건으로 운전하고 주행속도별 실시간 주행거리 및 배터리 전력소비량,

전압, 최고속도 등의 차량 데이터를 획득하였으며, 주행시험이 끝난 후 25°C로 유지되는 Soaking room(준비실)에서 완전히 충전될 때의 전력량(충전률)을 가지고 에너지소비효율(km/kWh)을 분석하였다.

본 연구에 사용된 시험모드는 신연비 시험 모드인 5-cycle 모드이다^{5,6}. Table 2는 5-cycle 시험모드의 특성을 나타낸 것이다. 이 5-cycle 모드는 실제로에서 차량이 운행될 때 일어날 수 있는 대부분의 환경 조건 및 운행패턴을 반영한 모드라고 할 수 있다.

FTP-75 모드와 HWFET, US06 모드는 기존 시험 조건과 동일한 온도 조건에서 진행되는데, 시험은 항온항습이 유지된 시험실내(항온 $25 \pm 1^\circ\text{C}$, 항습 상대 습도 $50 \pm 5\%$)에서 실시하였다. SC03 모드는 고온조건에서 에어컨 작동 여부에 따른 연비, 배출가스를 측정하는 모드로서 온도는 $35 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 $40 \pm 5\%$ 환경 조건이 유지되도록 하였으며, Cold FTP-75 모

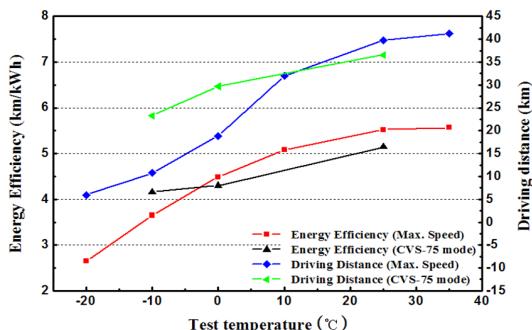


Fig. 2. Comparisons of energy efficiency according to the test method and temperature

드는 저온에서 차량의 연비, 배출가스를 측정하는 모드로 -6.7°C 의 온도조건을 유지하였다.

FTP-75 모드와 Cold FTP-75 모드는 시험차량을 시험온도 조건에서 동일하게 유지하기 위해 12 시간 이상 Soaking시킨 후 시험하였고, HWFET, US06, SC03 모드는 예열상태 시험으로서 차량상태를 동일하게 유지하기 위해 시험 전에 Preconditioning 모드 (UDDS 1 Phase)로 주행하고 본 시험을 시행하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 저온 환경조건 특성에 따른 연비 경향

Fig. 2는 저속전기자동차에 대하여 시험방법(UDDS 및 최고속도 모드) 및 온도 변화에 따른 에너지소비 효율 및 1회 충전 주행거리 특성을 나타낸 것이다. 여기에서 UDDS 모드 시험은 기존 시험과 동일하게 가속하여 시험모드를 따라 운전하다가 운전할 수 있는 최고속도에서 일정 속도로 주행하고, 감속구간에서는 기존 방법과 동일하게 다시 감속하는 방법으로 시험을 한 것이다. 최고속도 모드는 시험시작 후 바로 가속하여 최고속도로 운전하여 배터리가 완전히 방전될 때까지 운전하여 시험한 방법이다.

결과를 살펴보면 처음부터 최고속도로 유지하며 운전하는 시험방법이 차량속도가 지속적으로 변경되는 UDDS 모드로 운전하는 방법보다 0°C 이상의 온도조건의 에너지소비효율이 평균적으로 10% 증가되

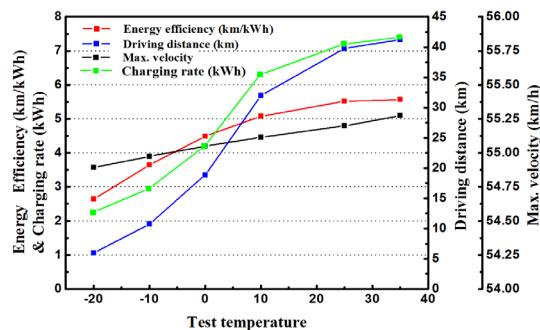


Fig. 3. Comparisons of energy efficiency, driving distance, max speed at high speed method

어 좋게 나오고 있으나, 0°C 이하에서는 반대로 10% 감소되어, 반대의 경향을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이러한 이유는 일정속도 구동 및 가속할 때의 에너지 소비와 감속 때 회생제동에 따른 에너지 저장의 특성이 환경온도에 따라 틀려지기 때문으로 생각된다. 상온에서는 가속에 소모되는 에너지가 회생제동에서 얻어진 에너지보다 커서 UDDS 모드로 운전을 함으로서 에너지 소비가 많기 때문이고, 저온조건에서는 UDDS 모드의 가속에 필요한 에너지가 큼에도 불구하고, 최고속도로 계속 일정하게 운전을 함으로서 모터 및 배터리 효율이 급격히 떨어지기 때문이고, 또한 회생제동에 의한 에너지가 없기 때문이다. 최대 주행거리 결과도 연비 결과와 동일한 경향을 보이고 있다. 일정 온도 이상에서는 처음부터 최고속도로 동일하게 운전하는 방법이 UDDS 모드로 운전하는 것보다 1회 충전 주행거리가 길게 나타나게 되고 일정 온도 이하에서는 반대로 1회 충전 주행거리가 짧아졌다.

온도 변화에 따른 에너지소비효율 특성은 대부분의 전기자동차 및 하이브리드 자동차가 가지고 있는 단점을 동일하게 보이고 있다. 저온에서의 모터 및 배터리 효율이 급격히 떨어지기 때문에 차량의 에너지소비효율도 급격히 떨어져서 나타나게 된다. 이는 모터와 배터리 AC / DC converter 등 내부부품의 효율이 온도에 크게 반응하기 때문으로, 이러한 단점을 극복하기 위해 많은 연구가 필요할 것으로 보인다.

Fig. 3은 저속전기자동차에 대해 국내 에너지소비

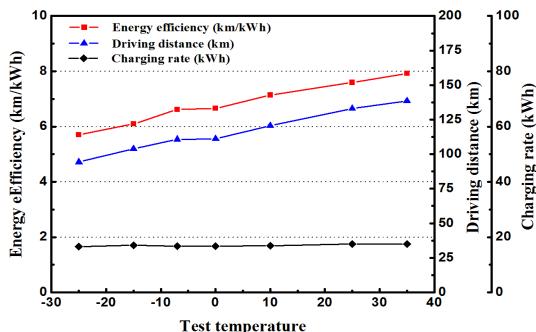


Fig. 4. Comparisons of energy efficiency, charging rate, driving distance according to the test temperature

효율 시험으로 사용하고 있는 최고속도 운전 방법에 따른 차량 성능 특성을 나타낸 것이다.

결과를 살펴보면, 앞의 결과와 마찬가지로 온도 변화에 따라서 에너지소비효율, 1회 충전 주행거리, 최고속도가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있다. 온도가 상온 35°C에서 -20°C로 감소함에 따라 에너지소비효율은 약 52.4%, 1회 충전 주행거리는 85.5%, 최고속도는 약 0.7% 감소하게 된다. 이러한 결과를 통하여 전기자동차의 에너지소비효율 표시 및 운행에 있어서 온도 변수를 반드시 고려하여야 하며, 소비자가 겨울철 운전 시에도 이러한 부분에 대하여 인지함으로서 전기자동차가 갈 수 있는 최대 주행거리를 감안해야 될 것으로 생각된다.

또한, 고려되어야 할 부분은 저온에서 1회 충전 주행거리가 급격히 줄어들기도 하지만 이때의 충전율이 상온보다 적게 충전된다는 것이다. 이러한 이유는 배터리 특성에 따른 것으로 상온과 동일하게 배터리를 완충전하더라도 저온에서는 충전할 수 있는 에너지를 다 충전에 사용하지 못하는 문제점인 저온 충방전 효율 감소를 고려하여야 한다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 저온에서의 배터리 효율을 증가시킬 수 있는 기술개발이나 배터리가 온도변화를 받지 않도록 하는 기술적용이 필요하다.

Fig. 4는 UDDS 모드에서 시험온도에 따른 고속 전기자동차의 에너지소비효율, 1회 충전 주행거리, 충전량을 나타낸 것이다.

저속전기자동차와 마찬가지로 온도 변화에 따라

서 에너지소비효율과 1회 충전 주행거리가 선형적으로 상관관계가 큼을 알 수 있고, 충전량에 있어서는 거의 동일한 결과를 보여주고 있다. 또한, 저온온도에서 구동전류의 증가와 배터리 효율의 감소에 의한 에너지소비효율이 더욱 악화되는 것을 볼 수 있다.

3.2 연비 시험모드 특성에 따른 연비 경향

Fig. 5는 고속전기자동차에 대해 미국 EPA에서 에너지소비효율 모드로 사용하고 있는 5-cycle 시험모드에 따른 전기자동차의 배터리 전류 충·방전 특성 및 전력수지, 소비전력 등을 나타낸 것이다.

결과를 살펴보면, 배터리 충·방전 특성이 각각의 시험모드가 가지고 있는 특성과 일치하고 있는 것을 볼 수 있으며, 차량의 가속 및 감속에 따른 충전과 방전이 차량속도에 맞추어져 일어나고 있다. 특히 다른 시험모드에 비해 급가감속 특성을 가진 US06 모드 특징과 동일하게 전류 값이 크게 증감하고 있는 것을 볼 수 있고, 동일 모드(UDDS)에서 온도 차이에 의한 특성을 살펴보면, 저온인 경우에 전류 값이 크게 증가하고 있고, 이때의 전력수지 및 전력량이 2배 이상 차이가 나는 것을 볼 수 있다.

Fig. 6은 고속전기자동차에 대해 5-cycle 시험모드를 적용하여 시험한 에너지소비효율과 1회 충전 주행거리, 충전량을 정리한 것이다.

앞의 Fig. 5와 마찬가지로 5-cycle의 각 모드가 가지고 있는 특징을 잘 나타내고 있는 결과라고 할 수 있다. 먼저 온도에 따른 특성을 살펴보면, 상온 UDDS 가 저온 UDDS보다 에너지소비효율은 39.7%, 1회 충전 주행거리는 41.4%가 더 높게 나오고 있다. 이는 저온에서 구동전류 증가와 배터리 효율의 감소 등에 의해 에너지소비효율을 떨어뜨리는 원인이 되는 것으로 보인다.

UDDS 모드와 HWFET 모드에서는 UDDS 모드가 에너지소비효율 0.5%, 1회 충전 주행거리 2.4%로 약간 높게 나오는 것을 볼 수 있는데, 이러한 이유는 UDDS 모드에서는 차량 가속에서 소비되는 에너지를 감속구간 회생제동 에너지로 어느 정도 충전하기 때

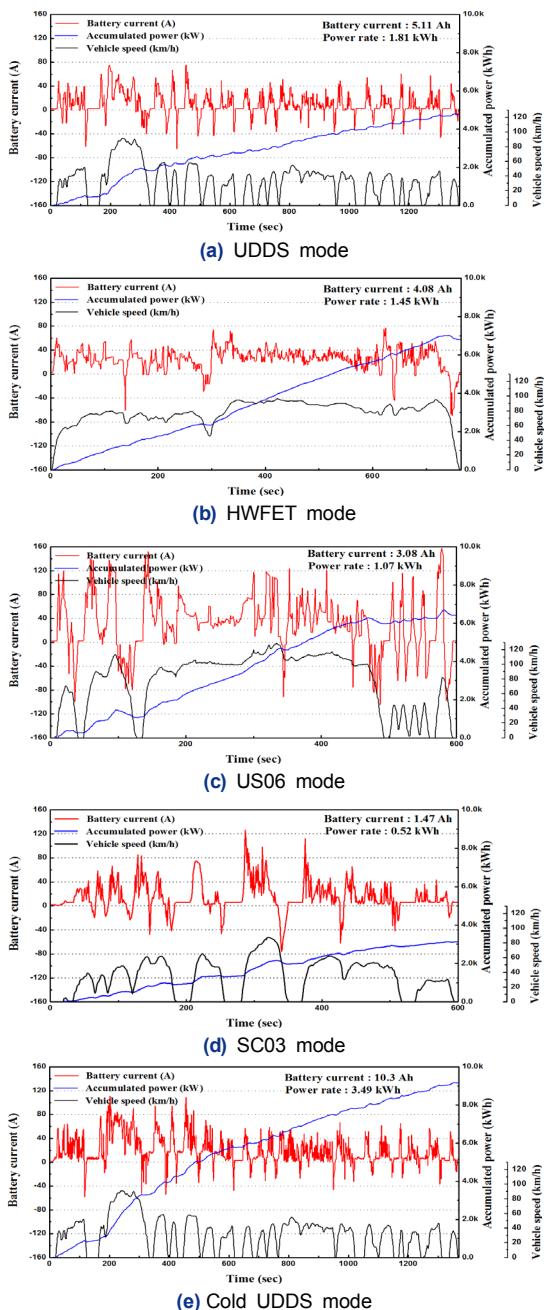


Fig. 5. Comparisons of battery current (A) and power (kW) according to the test mode

문이며, 고속에 의한 에너지소비가 크기 때문에 볼 수 있다. 하지만, 가·감속에 의한 다른 에너지소비 특성을 비슷한 고속운전 영역을 가진 HWFET 모드

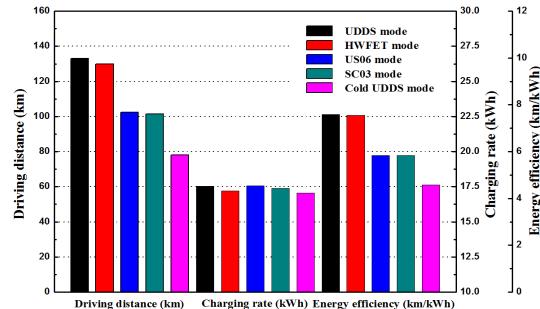


Fig. 6. Comparisons of energy efficiency, charging rate, driving distance according to the test mode

Table 3. Test results of vehicle additional device on/off (A/C : SC03 mode, Heater : UDDS mode)

Item	Air-conditioner		Heater	
	On	Off	On	Off
Fuel efficiency (km/kWh)	5.834	7.431	4.578	6.620
Driving distance (km)	101.501	133.192	78.014	110.739
Charging rate (kWh)	17.398	17.924	17.041	16.728

와 US06 모드 결과를 통하여 확인할 수 있는데, 급 가감속으로 운전하는 US06 모드가 HWFET 모드보다 에너지소비효율 22.8%, 1회 충전 주행거리 21.2% 나쁘게 나타나고 있다. 고속운전 보다는 급 가감속에 의한 운전 에너지소비가 가장 크다.

SC03 모드는 고온에서 에어컨을 사용하는 모드로서 모드 자체의 속도분포는 중·저속과 낮은 가감속률을 가지고 있지만, 에어컨 사용에 따른 에너지소비가 크게 증가하고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 급가감속 모드인 US06 모드와 유사한 에너지소비효율과 1회 충전 주행거리를 나타낸다.

시험모드별 에너지소비효율 결과를 보면, UDDS 모드가 가장 좋은 결과를 보이고, HWFET, US06, SC03, Cold UDDS의 순으로 나타났다. 이러한 결과는 1회 충전 주행거리에 있어서도 동일한 형태의 결과를 보이고 있다. 시험모드에 대한 충전량에 있어서는 모든 모드에서 유사한 결과를 보이고 있다.

Table 3은 자동차에서 부가적인 장치인 에어컨과

히터 사용에 따른 에너지소비효율, 1회 충전 주행거리, 충전량을 나타낸 것이다. 고온에서 에어컨 사용에 따라 에너지소비효율이 21.5%, 1회 충전 주행거리가 23.8% 감소하였고, 저온에서의 히터 사용에 따라 에너지소비효율 30.8%, 1회 충전 주행거리 29.6%가 감소되었다. 이러한 결과를 통하여 전기자동차에 있어서 각종 부가장치의 사용에 따라 에너지소비효율에 미치는 영향이 큼으로 이에 대한 평가도 고려되어야 한다고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 국내에서 개발된 전기자동차(EV, NEV)에 대하여 다양한 주행모드 및 환경 조건을 적용하기 위해 미국 EPA 5-cycle 시험모드인 UDDS, HWFET, US06, SC03, Cold UDDS 주행모드와 환경조건인 온도(-25°C ~ 35°C)에 따른 성능 특성(에너지소비효율, 1회 충전 주행거리, 최고속도 등)을 시험함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 전기자동차의 경우 온도 변화에 따라 에너지소비효율, 1회 충전 주행거리 등이 급격히 감소하였다. 온도가 감소함에 따라 저속자동차인 경우 에너지소비효율 52.4%, 1회 충전 주행거리 85.5%, 최고속도 0.7% 감소하였고, 고속전기자동차의 경우 에너지소비효율 39.7%, 1회 충전 주행거리 41.4%가 감소하였다. 저온 운전에 따른 성능 특성은 대부분 전기자동차가 보이고 있는 가장 안 좋은 환경변수로서, 전기자동차 에너지소비효율 측정에 있어 온도 변수를 고려하도록, 상온 및 저온 시험결과를 복합하여 에너지소비효율을 계산할 수 있는 계산식 개발이 필요할 것으로 보인다.

2) 시험모드별 에너지소비효율 결과를 보면, UDDS 모드가 가장 좋은 결과를 보이고, HWFET, US06, SC03, Cold UDDS의 순으로 나타났다. 이러한 결과

는 1회 충전 주행거리에 있어서도 동일한 형태의 결과를 보이고 있다. 전기자동차에 있어서 저온 모드 조건이 가장 많은 영향을 주고 있으며, 에어컨 사용모드, 급가감속 운전 모드, 고속운전 모드 등으로 영향을 주고 있음을 알 수 있었다.

3) 부가적인 장치인 에어컨 사용에 따라 에너지소비효율 21.5%, 1회 충전 주행거리 23.8%가 감소하였고, 히터 사용에 따라 에너지소비효율 30.8%, 1회 충전 주행거리 29.6%가 감소되었다. 이러한 결과와 마찬가지로 전기자동차 시험에 있어서 각종 부가장치(헤드라이트, 전동오일펌프, 전동워터펌프 등) 사용에 따른 영향을 에너지소비효율 측정에 고려하여야 할 필요성이 있다고 할 수 있다.

References

- Youngmi Woo, Youngjae Lee, Ohsuek Kwon, "Energy consumption characteristics of gasoline hybrid electric vehicles under cold ambient conditions", 2011 KSAE Annual conference, pp. 368-371, 2011.
- Jongsoon Lim, Hyunwoo Lee, Charyung Kim, Youngbok Sin and Yongsung Park, "A study of energy consumption test method for electric vehicles", 2011 2011 KSAE Annual conference, pp. 2629-2635, 2011.
- Youngmi Woo, Jinyoung Jang, Chongpyo Cho, Gangchul Kim, Ohsuek Kwon and Youngjae Lee, "Energy consumption characteristics of an electric vehicle under real world driving conditions", 2012 KSAE conference, pp. 25-28, 2012.
- Carlson, R., Lohse-Busch, H., Duoba, M., and Shidore, N., "Drive Cycle Fuel Consumption Variability of Plug-In Hybrid Electric Vehicles Due to Aggressive Driving", SAE Technical Paper 2009-01-1335, 2009.
- "Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles : Revisions to Improve Calculation of Fuel Economy Estimates", EPA Final Technical Support Document, December, 2006.
- "Fuel Economy Labeling of Motor Vehicles : Revisions to Improve Calculation of Fuel Economy Estimates : Final Rule", EPA 40 CFR Parts 86 and 600, December, 2006.