

# 시험모드 특성이 전기자동차의 에너지소비효율에 미치는 영향 연구

## The impact study on fuel economy of electric vehicle according to the test mode characteristics

노경하\*† · 임재혁\* · 김성우\* · 김기호\* · 하종한\* · 오상기\*\*  
Kyeong-Ha Noh\*†, Jae-Hyuk Lim\*, Sung-Woo Kim\*, Ki-ho Kim\*,  
Jong-Han Ha\* and Sang-Gi Oh\*\*

(Received 07 July 2015, Revision received 16 November 2015, Accepted 18 November 2015))

**Abstract:** With rising fuel costs and the depletion of fossil fuels, electric vehicles of high efficiency has been increasing interest. although high-performance battery continually is developing, Electric vehicles is not satisfied with the characteristics of the environment. In this study, By using the current fuel economy testing methods(5-cycle test), until the fully discharged battery electric vehicles is evaluated for a variety of environmental and operating conditions. As a result, Electric vehicles showed a low energy consumption efficiency in low temperature and rapid acceleration, deceleration in the operating environment compared with normal temperature.

**Key Words :** Electric vehicle, Fuel economy, 5-cycle, Energy efficiency, Operating condition

### 1. 서 론

화석연료의 고갈과 유가 상승으로 고효율 자동차에 대한 관심이 늘어나고, 차량에서 나오는 유해 배출가스에 의한 대기오염문제가 전 세계적으로 발생함에 따라 온실가스 저감과 고효율 자동차에 대한 대안으로 전기자동차가 대두되고 있다. 따라서 고효율·친환경 자동차인 전기자동차에 대한 관심이 점차 늘어남에 따라 화석연료의 에너

지소비효율보다 높은 에너지소비효율을 기대하는 심리가 늘어나 이를 만족시키기 위한 고효율 배터리 개발이 지속적으로 이루어지고 있다. 고효율 배터리의 개발은 곧 1회 충전으로 주행 가능한 거리가 늘어나는 것을 뜻함에 따라 충전용량 뿐 아니라 에너지 소비효율 특성이 반영되어야만 한다. 특히, 전기장치 사용으로 인한 효율저하, 겨울철 배터리 사용으로 인한 성능저하 및 급가감속 등 실제 주행 상에서 발생할 수 있는 배터리 특성

\*† 노경하(교신저자) : 한국석유관리원 석유기술연구소  
E-mail : nokyha@kpetro.or.kr Tel : 043-240-7958

\*임재혁, 김성우, 이민호, 김기호, 하종한 : 한국석유관리원 석유기술연구소

\*\*오상기 : 경기과학기술대학교 자동차과

\*† Kyeong-Ha Noh(corresponding author) : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33, Yangcheon 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea.  
E-mail : nokyha@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7958

\*Jae-Hyuk Lim, Sung-Woo Kim, Min-Ho Lee, Ki-Ho Kim, Jong-han Ha : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

\*\*Sang-Gi Oh : Automotive Engineering, Gyeonggi College of Science & Technology.

을 파악해 이를 적용함으로써 표시연비와 체감연비에서 오는 차이를 줄여야 할 것이다. 따라서 본 연구에서는 전기자동차에 운행 및 환경조건을 다양하게 설정하여 그에 따른 에너지 소비효율의 변화 특성을 살펴보고자 하였으며, 에너지소비효율의 상관성을 살펴보기 위하여 실제 도로조건을 모사한 현행 연비 시험법(5-cycle : HWFET(고속), FTP-75(도심), US06(급가·감속), SC03(고온, 에어컨 사용), Cold FTP-75(저온))을 활용하여 다양한 조건에서 전기자동차에 미치는 영향성을 분석하고<sup>3)</sup>, 배터리 충전온도를 다르게 하여 충전함으로써 충전온도에 따른 충전용량 저하여부 및 에너지소비효율 변화 특성을 파악하여 향후 실제 에너지소비효율 특성이 반영된 고효율 배터리의 개발에 기여하고자 하였다.

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 휘발유 차량의 모드별 특성

전기자동차의 특성분석에 앞서 타 유종의 차량이 다양한 모드(5-cycle)에서 어떠한 특성을 가지고 있는지 살펴보았다. 5-cycle 모드는 실제 주행에서 나타날 수 있는 환경을 고려한 시험모드로, FTP-75 모드는 도심주행을 모사하여 도심주행 시 나타나는 에너지소비효율특성을 반영하고 있으며, HWFET는 고속도로 주행을 모사한 시험모드로 고속주행 시 나타나는 에너지 소비효율 특성을 반영하였다. 또한 US06의 경우는 급가·감속 모드를 모사하여 급가·감속 시 나타나는 에너지 소비효율을 나타낸다. 또한 SC03은 고온에서 에어컨을 사용한 모드로 에어컨 사용이 에너지소비효율에 미치는 영향을 나타내고 있으며, Cold FTP-75에서는 도심모드를 저온환경(-7°C)에서 시험하여 각 모드에서 나타나는 에너지소비효율에 대한 영향성을 반영하였다. Fig 1은 6종(A-F)의 각기 다른 휘발유 차량의 모드별 특성을 나타낸 것으로 휘발유 차량의 저온 환경특성을 살펴보면, 상온 25°C FTP-75와 저온 -7°C Cold FTP-75모드를 비교하였을 때 모든 시험차량에서 에너지소비효율 감소를 나타내었다.<sup>1)</sup> 에어컨 사용 모드와 급가·감속 모드에서

도 에너지소비효율이 감소하는 경향을 나타내 저온 뿐만 아니라 에어컨 사용, 급가·감속에 대한 영향도 매우 큰 것으로 나타났다. 휘발유 차량의 에너지소비효율은 HWFET, FTP-75, US06, Cold FTP-75, SC03 순으로 높게 나타났다.

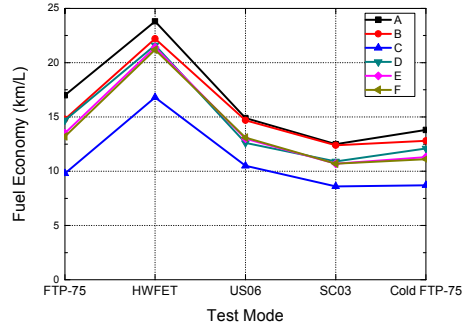


Fig. 1 Test mode characteristics of gasoline vehicles<sup>1)</sup>

### 2.2 경유 차량의 모드별 특성

Fig. 2는 경유 사용차량 5대(A-E)의 모드별 특성을 나타낸 것이다. 경유 차량의 경우 휘발유와 달리 급가·감속 모드에서 휘발유 차량보다 높은 에너지소비효율을 보이며, 저온과, SC03과 US06모드에서 에너지소비효율 감소 경향을 나타내 전체적인 경향은 휘발유 차량과 비슷하였다. 급가·감속 모드에서는 에너지 소비효율이 조금 더 상승함을 알 수 있으며, 에어컨모드에서는 휘발유 차량과 동일하게 낮은 에너지소비효율 특성을 보였다.1) 에너지소비효율은 HWFTE, FTP-75, US06, SC03, Cold FTP-75 순으로 나타났다.

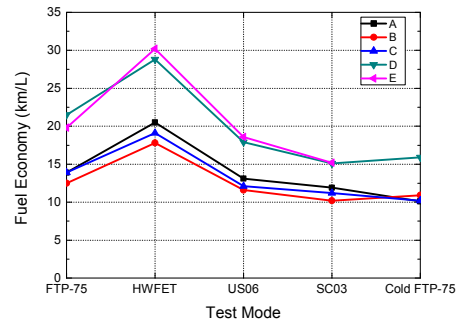


Fig. 2 Test mode characteristics of diesel vehicles<sup>1)</sup>

### 2.3 LPG 차량의 모드별 특성

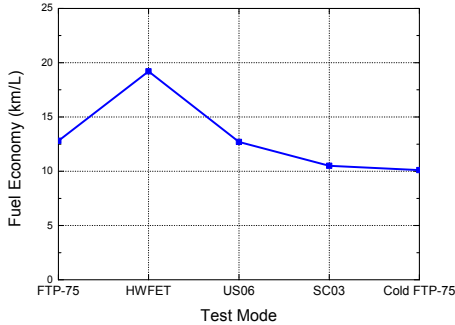


Fig. 3 Test mode characteristics of LPG vehicle<sup>1)</sup>

Fig. 3은 LPG차량의 모드별 특성을 나타낸 것으로 전체적인 특성은 휘발유차량과 비슷한 경향을 가지고 있다. 그러나 에너지소비효율은 HWFET, FTP-75, US03, SC03, Cold FTP-75순으로 나타나 저온환경에서는 휘발유보다 에너지소비량이 더 많이 발생함을 알 수 있다.<sup>1)</sup>

### 2.4 하이브리드 차량의 모드별 특성

Fig. 4는 2대(A,B)의 하이브리드 차량에 대한 모드별 에너지소비효율 특성을 나타낸다. 하이브리드 차량의 경우 HWFET에서 다른 유종 차량에 비해 약간 낮은 에너지 소비효율을 특성을 나타내고 있으며, 도심주행모드에서 높은 에너지소비효율 특성을 가졌다. 에너지소비효율은 HWFET가 가장 높게 나왔으며, FTP-75, US06, SC03, Cold FTP-75 순으로 높게 나타났다.<sup>1)</sup>

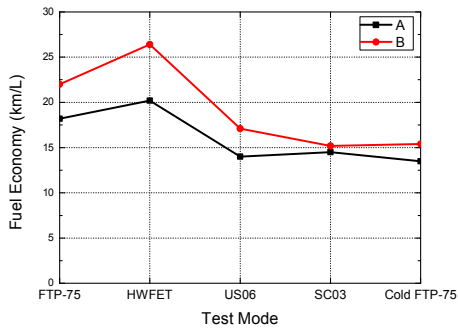


Fig. 4 Test mode characteristics of hybrid vehicles<sup>1)</sup>

## 3. 실험장치 및 방법

### 3.1 차대동력계

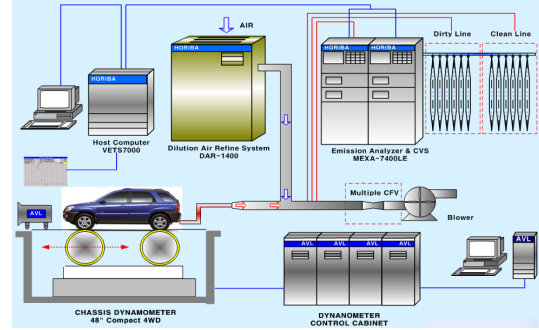


Fig. 5 Schematic view of a chassis dynamometer system

Table 1 Specification of chassis dynamometer

	Specification
Roller	Single Roll 122 cm(48inch)
Inertia weight	453 - 680 kg
Motor	AC Motor
Max speed	200 km/h
Speed error	± 0.01 %
Torque error	± 0.1 %
Distance measurement	Encoder
Blower capacity	63,000
Coast down	1 sec

본 연구에서 이용한 차대동력계 시스템은 차량 총중량 3.5톤 미만의 소형, 승용, 화물차에 대하여 배출가스 및 연비를 시험하는 장비로 형식 승인된 시험 장비이며, 자동차가 실제 도로상에서 정지, 가속, 정속, 감속 등의 실제 주행 패턴을 대표화 하여 실제 측정된 주행모드를 주행저항과 관성 등을 모사하여 주는 장치이다. Fig. 5는 차대동력계 시스템의 개략도를 나타내며, Table 1은 차대동력계의 제원을 나타낸다.

본 연구에서는 다양한 환경조건인 5-cycle을 구현해야 함에 따라 다양한 온도조건이 구현 가능한 환경챔버 내에서 실험을 실시하였다. 기존의 FTP-75, HWFET, US06은 기존의 항온·항습이 유지된 실험실 내에서 시험이 가능하나(항온 25±

1℃, 항습 50±5%), SC03은 실험실 환경조건이 35±1℃, 상대습도 40±5%의 조건이 유지되어야 하며, Cold-FTP-75는 -6.7℃를 유지해야 한다.) Fig. 6은 환경챔버의 개략도이다.

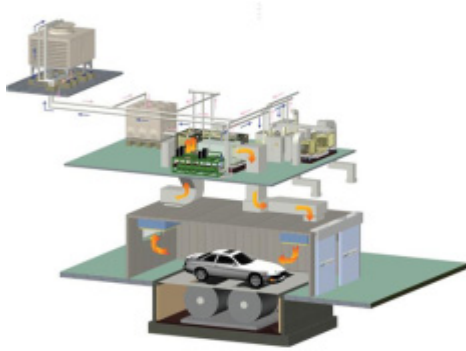


Fig. 6 Schematic view of climate chamber system

### 3.2 실험차량

본 연구에서 사용한 실험차량은 중·소형 급의 차량을 선정하였으며, 2011년 바뀐 시험방법에서 주행거리를 3,000km 이상으로 정하고 있어 운행 중인 차량을 대표하기 위하여 3,000km 이상 30,000km 이하의 주행거리를 가지고 있는 차량을 선정하여 신뢰성을 확보하고자 하였다. Table 2는 시험차량의 제원을 나타낸다.

### 3.3 실험방법 및 절차

실험에 사용된 모드는 앞에서 언급한 바와 같이 미국 EPA에서의 5-cycle 모드로 FTP-75, 급가감속모드인 US06, 고온에서 에어컨을 사용하는 SC03, 저온조건에서의 Cold FTP-75모드를 사용하였다. 시험과정은 차량의 상태를 안정화시키기 위하여 기존 차량에서 200km 이상을 주행하는 길들이기 대신 전기자동차에서는 차량 상태의 안정화를 위하여 충전 후 실험실 내 주행을 통해 완전방전을 2번 이상 실시하였다. 차량상태가 안정된 상태라고 판단된 후 차량을 실도로 상황과 동일한 부하조건을 구현하기 위해 Coast-down을 실시하였으며, Coast-down 후에 측정하고자 하는 모드를 1회 주행하는 preconditioning을 실시하였다. 위 과정 후 차량은 20~30℃로 유지되는 실험실내에 12시간 이상 정차(Soaking)시킨 후 차대동력계로 이동하여 시험을 실시하였다.

전기자동차의 5-cycle 시험은 각각의 시험모드에 대해 동일한 형태의 모드로 반복 주행하여 배터리가 완전히 방전될 때까지 모드를 주행하였으며, 완전히 방전될 때까지의 주행거리를 시험차량의 1회 충전주행거리로 계산하였다. 특히 시험 종료의 판단 기준은 계기판의 배터리 소모량에 의한 방법을 사용하지 않고, 각각의 시험모드에 해당 기준속도를 허용오차 내에서 충족시킬 수 없을 경우의 방법을 사용하였으며, 허용오차는 ± 3.2 km/h (2.0 mile/h)을 모든 모드에 적용하여 시험하였다. 또한, 시험모드가 완료되면 2 시간 이내에

Table 2 Specification of test vehicles

	A	B
Motor (Power/Torque)	50kW / 167Nm	105kW / 563Nm
Battery (Capacity/Voltage)	16.4kWh / 330V/50Ah	21.4kWh / 360V/60Ah
Charging time (Slow/Fast)	6hour(220V) / 25min	8hour(220V) / 20min
Mileage per charge (City / Highway)	139.146 km / 118.254 km	205.24 km / 178.44 km
Charging power (City / Highway)	18.192 kWh / 18.151 kWh	24.075 kWh / 23.947 kWh
Fuel economy (City / Highway)	7.649km/kWh / 6.515km/kWh	8.525km/kWh / 7.451km/kWh
Combined fuel economy / Mileage per charge	7.1km/kWh / 130km	8.0km/kWh / 193km
Max speed	130 km/h	144 km/h
Empty vehicle weight(kg)	1,186 kg	1,280 kg
Power performance (0-100kph)	15.9 sec	8.5sec

Table 3 Energy efficiency for each test mode

Test result		Test mode				
		FTP-75	HWFET	US06	SC03	Cold FTP-75
A Test result	Distance (km)	134.126	113.873	78.488	99.407	84.857
	Charge rate (kWh)	18.201	17.962	17.512	17.967	17.529
	Energy efficiency (km/kWh)	7.369	6.340	4.482	5.533	4.841
B Test result	Distance (km)	215.472	183.294	123.032	135.003	103.838
	Charge rate(kWh)	16.741	25.276	21.701	17.238	16.228
	Energy efficiency (km/kWh)	12.871	7.252	5.669	7.832	6.399

충전을 할 수 있는 Soaking room으로 이동을 하여 일반 오버나이트 충전 절차에 의해 완전히 충전이 될 때까지 충전을 실시하였으며, 이때 전류 적산계를 통하여 충전되는 전력량 (kWh)을 측정하였다. 최종 에너지소비효율 계산은 1회 충전주행거리를 충전 시 측정한 전력량으로 나누어서 km/kWh로 표시하였다.

또한 충전 온도에 따른 에너지소비효율의 변화를 살펴보기 위하여 오버나이트 충전 시 충전온도를 온도조건을 25°C와 -7°C 등으로 구분하여 충전을 실시함으로써 주위온도에 따른 특성도 살펴보고자 하였으며, 실험결과의 정밀도를 높이기 위하여 1명의 운전자가 직접 처음부터 끝까지 실험을 진행하였다.

시험순서는 Soaking 후 시험을 진행하는 FTP-75 (or Cold FTP-75)를 먼저 실시하고, HWFET, US06, SC03 순으로 진행하였다. Fig. 7은 각각의 시험모드를 나타낸 것이다.

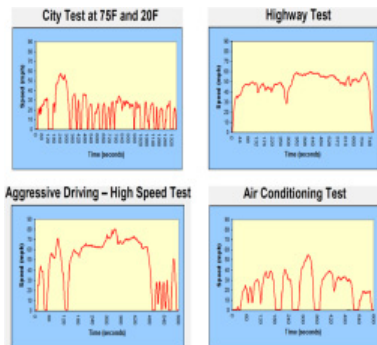


Fig. 7 5-cycle test mode

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 전기자동차 에너지소비효율 산출



Fig. 8 Electric vehicle test procedure

Fig. 8은 전기자동차의 FTP-75모드에 대한 시험모드를 측정된 과정을 나타낸 것이다. 앞서 언급한 바와 같이 시험모드를 반복하여 시험모드에 해당 기준속도를 허용오차 내에서 충족시킬 수 없는 경우 시험을 종료하여 각각의 주행거리를 전류 적산계에서 측정된 전력량으로 나누어 평가하였다. Table 3은 전기자동차 시험모드에 따른 에너지소비효율과 1회 충전 주행거리를 나타낸 것으로, 각각의 결과 값은 3회 측정 후 평균값으로 나타내었다.

### 4.2 저온자동차 저온 환경특성

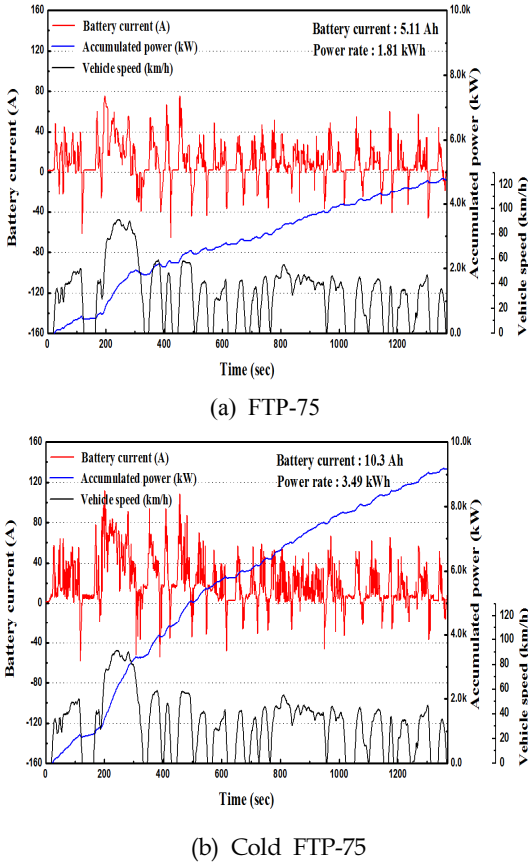


Fig. 9 Battery Current and power for test mode

Fig. 9는 A차량의 FTP-75(a)와 Cold FTP-75(b)의 배터리 전류 총·방전 특성 및 전력수지, 소비전력 등을 측정된 것이다. 시험모드는 동일함에 따라 온도 차이에 의한 특성을 살펴본 결과, 저온인 경우에 전류 값이 크게 증가하고 있고, 이때 전력수지 및 전력량이 2배 이상 차이가 나는 것을 볼 수 있다. 또한 Table 3에서 보듯이 상온 FTP-75모드가 저온 FTP-75보다 에너지소비효율이 약 34.3%, 1회 충전 주행거리는 36.7%가 더 높게 나왔다. 이는 저온에서 구동전류 증가와 배터리 효율의 감소 등에 의해 에너지소비효율을 떨어뜨리는 원인이 되는 것으로 보인다.<sup>2)</sup>

### 4.3 5-cycle 모드별 특성

Fig. 10은 5-cycle모드에 대한 두 차량의 에너지 소비효율을 나타낸 것이다. 전체적으로 B차량이

보다 높은 에너지소비효율을 보이고 있으나, 이는 배터리의 성능차이(용량, 전압)가 나타난 것으로 판단되며, FTP-75모드의 경우 다른 시험모드보다 높은 에너지소비효율을 나타내고 있는데 이는 차량 가속에서 소비되는 에너지를 감속구간 회생제동 에너지로 어느 정도 충전하기 때문으로 판단된다.<sup>3)</sup> 또한, HWFET가 FTP-75모드보다 낮은 에너지소비효율을 나타내고 있는 것을 볼 수 있는데, 이는 고속 운전영역에서 에너지 소비가 큰 것으로 보이며, 가·감속에 의한 다른 에너지소비 특성을 비교하기 위하여 비슷한 고속운전 영역인 HWFET모드와 급 가·감속으로 운전하는 US06모드를 비교해 봤을 때 US06 모드가 에너지소비효율이 더 낮음을 알 수 있다. 이는 고속운전에서 소비되는 에너지보다 급가·감속에 의한 소비가 더 큰 것으로 판단된다.<sup>4)</sup> 또한, SC03모드는 고온에서 에어컨을 사용하는 모드로 속도분포는 중·저속과 낮은 가·감속률을 가지고 있지만 에어컨 사용에 따른 에너지 소비가 크게 증가하고 있

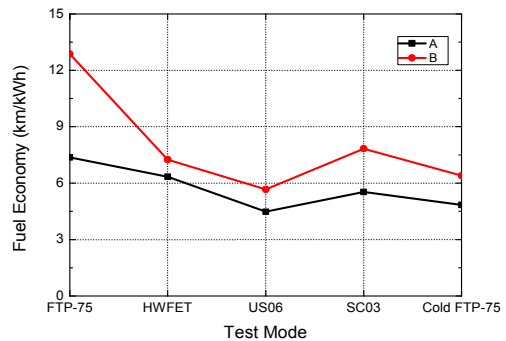


Fig. 10 Energy efficiency for 5-cycle mode

는 것을 볼 수 있다.<sup>5)</sup> 그러나 US06과 Cold FTP-75 모드보다는 높은 에너지소비효율을 나타내 전기자동차에서는 급가·감속과 저온에서의 차량 운영이 낮은 에너지소비효율을 나타내는 것으로 실험 결과 나타났다.

### 4.4 차량별 연비특성과 배터리 충전온도 특성

Fig. 11은 기존에 휘발유, 경유, LPG, 하이브리드 차량과 전기자동차의 5-cycle에 대한 에너지소



비효율 특성을 나타낸 것이다. 위의 결과에서 보듯이 전기자동차의 경우 기존차량과는 다른 에너지소비효율 경향을 보이고 있다. 전기자동차의 경우 고속구간으로 이루어진 HWFET 모드에서 에너지 소비가 많음을 알 수 있는데, 이는 기존차량들이 고속구간에서 높은 에너지소비효율을 나타낸 것과 다른 결과를 나타내고 있으며, 기존 차량에 비해 저온과 급가·감속 구간에서 낮은 에너지소비효율을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이는 배터리를 사용하는 전기자동차의 특성상 충전구간이 적은 급가·감속 구간에서 낮게 나온 것으로 보이며, 저온에서 배터리 성능저하에 따른 소비효율의 저하로 사료된다. 저온에서의 배터리 성능저하에 따라 충전환경이 전기자동차에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 A차량을 preconditioning 후 배터리 충전온도를 각각 25℃와 -7℃로 하여 충전함으로써 에너지소비효율을 측정해 보았다. Table 4는 충전온도에 따른 에너지 소비효율을 나타낸 것이다. 그 결과 배터리의 충전 온도 조건을 상온이 아닌 -7℃에서 충전했을 때 약 12.5%의 에너지소비효율 감소현상이 나타났으며, 충전 전력량도 11.5%의

Table 4 Energy efficiency of the charging temperature

	Test mode(Cold FTP-75,-7℃)	
	Charging temp(25℃)	Charging temp(-7℃)
Distance (km)	84.857	82.783
Charging rate (kWh)	17.529	19.545
Energy efficiency (km/kWh)	4.841	4.236

### 5. 결 론

전기자동차에 대해 5-cycle에 대한 각각의 에너지소비효율 측정과 충전온도 변화에 따른 에너지소비효율을 측정한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 전기자동차는 상온 FTP-75모드에서 저온 FTP-75모드보다 약 34.3% 에너지소비효율이 높게 나타났으며, 1회 충전 주행거리의 경우 36.7% 더 높게 나타나 온도에 크게 영향을 받음을 알 수 있었다.

2) 전기자동차의 5-cycle 모드별 특성 결과 에너지소비효율은 FTP-75, HWFET, SC03, Cold FTP-75, US06 순으로 높게 나타나 급가·감속과 저온에서 전기자동차 에너지소비효율에 더 많은 영향을 미쳤다.

3) 저온에 영향을 많이 받는 전기자동차의 충전 온도 조건(25℃, -7℃)을 다르게 하여 에너지소비효율을 측정한 결과 -7℃에서 약 12.5%의 에너지소비효율 감소가 나타났다.

### 후 기

본 연구는 산업통상자원부와 에너지관리공단 지원으로 수행한 연구과제의 일부 내용입니다.

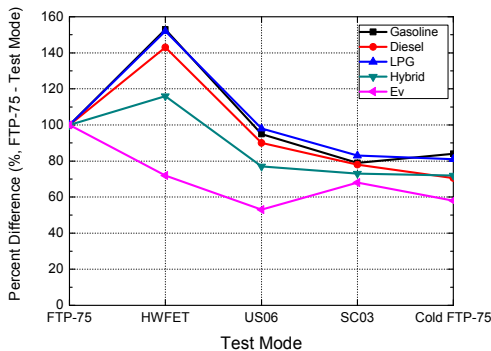


Fig. 11 Energy efficiency for each fuel

차이를 보였다. 이는 동일한 모드와 1회 충전 주행거리의 차량에서 충전온도에 따라 배터리에 저장되는 충전 전력량이 틀려져 에너지소비효율이 크게 변화되었음을 알 수 있다.<sup>6)</sup> 따라서 배터리에 민감한 전기자동차의 경우 충전온도에 따른 에너지소비효율 측정 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

## References

1. S. W. KIM. et al., 2013, “Study on green car fuel economy and technical details”, KPETRO Report. pp. 150-185.
2. S. S. Park. et al., 2010, “Countermeasures Research for Achieving Greenhouse Gas Emission Standard of Cars”, NEIR Report, pp. 121-122.
3. US EPA, 2005, “Vehicle Fuel Economy Labeling and The Effect of Cold Temperature, Air-Conditioning Usage and Aggressive Driving on Fuel Economy”, DRAFT STAFF REPORT. pp. 95-102.
4. KEMCO, 2007, “A Study about Restructuring Energy Efficiency Rating System of vehicle and policy to Supply High-efficiency Car”, MKE Report, p. 136.
5. SAE International, 2012, “Battery Electric Vehicle Energy Consumption and Range Test Procedure”, SAE J1634, pp. 257-260.
6. JAMA, 2008, “Reducing CO2 Emissions in the Global Road Transport Sector”, p. 126.