

## 누적 주행거리에 따른 플러그인 하이브리드 자동차의 연비 특성 연구

박진성<sup>†</sup> · 임재혁 · 김기호 · 이정민

한국석유관리원 석유기술연구소

### Study on Fuel Economy Characteristics of Plug-In Hybrid Electric Vehicle by Cumulative Distance

JINSUNG PARK<sup>†</sup>, JAEHYUK LIM, KIHOO KIM, JUNGMIN LEE

Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33 Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju 28115, Korea

<sup>†</sup>Corresponding author :  
dofoman@kpetro.or.kr

Received 8 October, 2018  
Revised 6 December, 2018  
Accepted 30 December, 2018

**Abstract >>** Electric vehicles are taken a long time to charge and are restricted driving where charging infrastructure was not sufficiently constructed. The vehicle developed to solve these problems is a plug-in hybrid vehicle. It is possible to drive a certain distance by using electric motor and when the battery runs out, it operate the engine. Plug-in hybrid vehicle have a complicated structure and a lot of parts comparing a general vehicle because the electric parts and the internal combustion engine are installed together. Therefore, as the aging (mileage) of the plug-in hybrid vehicle, the influence which change of fuel consumption is expected to be larger than a general vehicle, but an experimental data are lacking. In this paper, we cumulate a mileage of the plug-in hybrid vehicle about 15,000 km and measured the fuel economy when the cumulated distance reached within 160 km, 6,500 km, 15,000 km respectively, by using domestic public test method. For measuring fuel economy of the vehicle, CD mode (driving distance on a single charge) which use only motor and the CS mode which operate motor and combustion engine were measured respectively. As a result, the fuel economy slightly increased at cumulated mileage of 6,500 km compared to the 160 km and the fuel economy of 15,000 km was similar to 160 km.

**Key words :** Plug-in hybrid(플러그인 하이브리드), Mileage(주행거리), Fuel economy(연비), Charge depleting mode(전류소진모드), Charge sustaining mode(전류유지모드), Driving mode(주행모드), Driving distance on a single charge (1회 충전 주행거리)

## 1. 서론

국내외 자동차 제작사들은 전 세계적으로 강화되고 있는 에너지소비효율과 온실가스 배출량 규제에 대응하기 위하여 하이브리드 자동차, 플러그인 하이브리드 자동차, 전기자동차, 수소연료전지 자동차와 같은 친환경 자동차를 개발하고 있다.

이러한 친환경 자동차 중에서 전기자동차는 내연기관을 사용하지 않고 배터리를 통하여 공급된 전기 에너지만을 동력원으로 하는 자동차로 보급 확대를 위하여 정부 및 제작사들을 통하여 많은 투자가 이루어지고 있는 상황이다.

그러나 전기자동차는 배터리가 완전히 충전될 때까지 걸리는 시간이 길고, 충전인프라가 부족하여 장거리를 운행하거나 충전소가 부족한 곳에서 운행이 이루어지는 경우 자동차 운행에 지장을 받을 수 있는 문제가 있다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 개발된 차량이 플러그인 하이브리드 자동차이다. 플러그인 하이브리드 자동차는 외부에서 충전 가능한 배터리 및 전기모터와 내연기관이 함께 장착이 되어 있어 전기모터만으로도 일정거리 주행이 가능하며 배터리가 소진되면, 내연기관을 작동하여 배터리의 충전량을 유지하며 주행할 수 있는 차량으로 전기자동차를 위한 충전인프라가 충분히 구축되기 전까지 실질적인 대안으로 여겨지고 있다.

플러그인 하이브리드 자동차는 전기모터 및 인버터와 같은 전기 관련 부품과 내연기관이 함께 있기 때문에 기본적인 구조가 전기자동차나 일반적인 내연기관 차량보다 복잡하고 부품의 종류도 많다. 따라서 자동차 노후화에 따라 연비 변화에 미칠 수 있는 영향이 내연기관 차량이나 전기자동차에 비하여 다양하고 그 변화가 클 것으로 예상된다.

하지만 플러그인 하이브리드 자동차의 연비를 측정하기 위해서는 전기모터만 사용할 때의 연비와 내연기관을 같이 사용할 때의 연비를 따로 측정해야하기 때문에 시험 기간이 최소 1주일 정도 소요되는데, 이러한 시험에 소요되는 시간적, 경제적 문제뿐만

아니라 장시간 이루어져야 하는 내구 주행의 어려움으로 인하여 플러그인 하이브리드 자동차에 대하여 주행거리가 증가함에 따라 연비가 어떻게 변화하는지에 대해서는 실증자료가 많이 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 국내에서 판매량이 높은 플러그인 하이브리드 자동차를 선정하여 비사업용 승용자동차의 1년 평균 주행거리인 15,000 km 구간을 내구 주행을 실시하였고, 내구 주행거리에 따라 연비의 변화가 어떻게 변화하는지 연구하여 친환경 자동차 성능 개선의 기초 자료로 사용하고자 하였다.

## 2. 시험 차량, 장비 및 방법

### 2.1 시험용 차량

시험용 차량은 2016년 기준으로 국내 등록대수가 가장 많은 플러그인 하이브리드 자동차로 선정하였으며, 제원은 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 시험장비 및 방법

선정된 시험차량에 대하여 2010년까지 사용되었던 연비 측정을 위한 법정 누적 주행거리인 160 km 이내의 신차 상태일 때와 현행 연비 측정 법정 길들이기 누적 주행거리인 9,000 km 이내(본 연구에서는 일반 내연기관 차량의 법정 길들이기 누적 주행거리인 6,500 km 정도의 수준으로 설정) 그리고 비사업

Table 1. Specifications of test vehicles

Item	Specification
Length ×width ×height (mm)	4,855×1,865×1,475
Wheel base (mm)	2,805
Electric-motor (Power [kW]/torque [Nm])	Permanent magnet synchronous motor (50/205)
Battery	Lithium polymer
Curb weight (kg)	1,725
Driving distance (by electric, km)	44

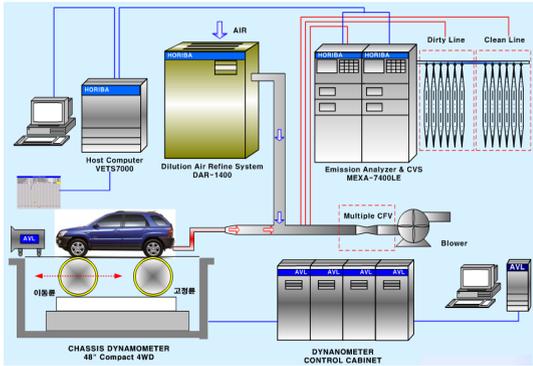


Fig. 1. Schematic diagram of gasoline vehicle emission measurement system

용 승용차량의 대략적인 1년 평균 누적 주행거리인 약 15,000 km를 측정구간으로 선정하여 각 주행거리에 도달하였을 때 연비를 측정하였다.

해당 차량에 대해서는 여러 운전자가 번갈아가면서 목표한 내구 주행거리에 도달하기까지 실제 도로 조건에서 주행하였으며, 연비 시험을 진행하기 전 실제 누적 주행거리는 각각 152 km, 6,734 km, 16,292 km였고, 본 논문에서는 편의를 위하여 160 km 이내, 6,500 km, 15,000 km로 표현하였다.

배출가스가 없어 차대동력계만을 사용하는 전기자동차와는 달리 플러그인 하이브리드 자동차는 차대동력계와 배출가스 분석기를 같이 사용하여 연비를 측정하게 된다. 연비 시험에 필요한 장비의 전체적인 개략도는 Fig. 1과 같고 제원은 Tables 2와 Table 3에 나타내었다.

시험모드는 연비의 정확한 측정을 위하여 <산업통상자원부 고시 제 2016-209호> 「자동차의 에너지 소비효율, 온실가스 배출량 및 연료 소비율 시험방법 등에 관한 고시」에 의거하여 내연기관과 전기모터가 동시에 작동할 때의 연비를 측정하는 charge-sustaining (CS) 모드와 전기모터만 사용될 때의 연비 및 1회 충전 주행거리를 측정하는 charge-depleting (CD) 모드를 구분하여 시험을 진행하였다. CS모드와 CD모드 측정 간에는 전류적산계(Hioki 3390) 장비를 이용하여 자동차의 메인 배터리의 충전 상태 및 전류 변화량을 측정하였다.

Table 2. Specifications of dynamometer system

Roll type & diameter	Single roll 48 inch
Simulated vehicle weight	1,000-1,500 lbs
Electric motor absorber type	AC IGBT Vector
Max. speed	200 km/h
Registration of actual speed value	± 0.01% km/h
Registration of actual tractive force value	± 0.1% F.S
Measurement of driving distance	Encoder type
Flow rate of cooling fan	63000 CFM

Table 3. Specification of the emission analyzer

Emission	Method	Range		Linearity and repeatability
		Min.	Max.	
HC	HFID	0-10 ppmC	0-500 ppmC	Withing ±2% of full scale
CO	NDIR	0-10 ppm	0-2,500 ppm	
CO2	NDIR	0-1%	0-16%	
NOx	CLD	0-10 ppm	0-500 ppm	
CH4	GC-FID	0-10 ppm	0-50 ppm	

또한 주행거리가 누적됨에 따라 자동차의 구동계통이나 타이어 마모 등으로 인한 저항 변화가 있을 수 있어, 동일한 저항 조건을 반영하기 위하여 고시의 시험법에 따라 차량을 설정하여 차대동력계에서 주행저항 재현을 실시한 이후 본 시험을 진행하였다.

플러그인 하이브리드 자동차는 내장형 충전식 에너지저장장치(rechargeable energy storage system, RESS)가 장착되어 있어 전기모터로 구동이 가능한데, CS모드는 이 RESS가 방전되어 전기모터로만 구동할 수 없는 조건일 때 연비를 측정하는 것으로 시험을 시작할 때와 끝날 때의 배터리의 충전량 변화가 1% 미만의 차이를 보여야 한다<sup>1)</sup>. CS모드에서는 도심연비 측정을 위하여 FTP-75 (UDDS 2회 반복) 모드와 고속도로 연비를 측정하는 HWFET모드를 사용하여 각 1회씩 측정하게 되고, 시험모드의 특성에 대해서는 Table 4에 나타내었다.

CD모드는 RESS가 완전히 충전된 상태에서 전기모터로만 구동을 하여 연비를 측정하며, RESS의 저장된 전류가 완전히 소진될 때까지 측정하여야 하기

Table 4. Key features of the fuel economy test mode

Test mode		Average speed	Max speed	Max acceleration	Ambient condition
FTP-75 (UDDS)	City	34 km/h	93 km/h	5.3 kmh/s	24°C
HWFET	Highway	77 km/h	96 km/h	5.3 kmh/s	24°C

Table 5. Resistive force against 160 km

Resistive force	160 km	6,500 km	15,000 km
F0 (N)	30.155	29.982	37.529
F1 (N/(km/h))	0.25562	0.28492	0.25285
F2 (N/(km/h) <sup>2</sup> )	0.02696	0.026911	0.026847
F(N, @34km/h)	70.01	70.78	77.16
F(N, @77km/h)	209.68	211.48	216.17

때문에 도심모드의 경우 전기 에너지를 모두 사용하여 시동이 걸릴 때까지 FTP-75 (UDDS) 모드를 반복하였고, 고속도로모드도 마찬가지로 시동이 걸리기 전까지 HWFET모드를 반복하여 측정하게 된다<sup>2,3)</sup>.

플러그인 하이브리드 자동차의 특성상 메인 배터리가 방전이 된 상태에서도 메인 배터리 초기 충전량에 따라 연비가 달라지는 문제점이 있어, 시험 결과의 차이가 3% 미만일 때 까지 최소 2회 이상 반복 측정하여 연비를 산출하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 누적 주행거리에 따른 주행저항 변화 특성

Table 5는 각 누적 주행거리에서 차대동력계 장비를 통해 재현한 도로주행 저항값을 표로 나타낸 것이다.

표에서 F0값은 베어링이나 실링, 타이어와 같이 속도의 변화와는 상관없이 주행에 저항을 주는 인자를 뜻하고, F1값은 트랜스미션, 엑셀 등과 같이 속도의 증가에 따라 저항값이 선형적으로 변화하는 인자이며, F2값은 바람과 같이 속도에 따라 제곱에 비례

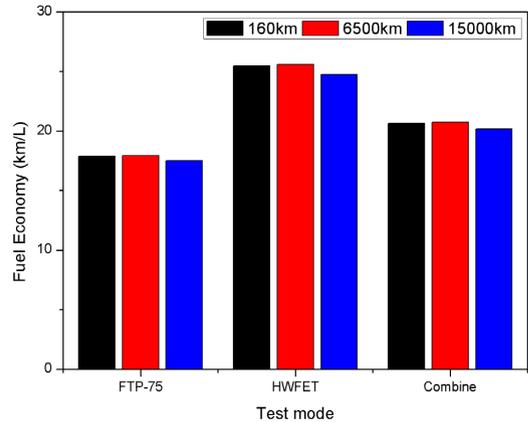


Fig. 2. Comparison of fuel economy (CS mode) at each cumulative mileage

하여 증가하는 인자이다.

동력계에서 재현하고자 하는 실측된 주행저항값(실외에서 측정된 값)은 누적 주행거리별로 동일하게 세팅하였기 때문에 동력계에서 재현된 주행저항값이 증가하였다는 것은 그만큼 자동차 자체의 저항이 줄어든 것을 의미한다.

160 km 대비하여 6,500 km에서는 F0, F2값은 감소하였지만 F1값은 증가하여 트랜스미션, 엑셀 등에서 발생하는 저항이 상대적으로 줄어들었음을 확인할 수 있었고, 15,000 km에서의 F0값은 증가하여 베어링이나 실링 및 타이어 마모에 의하여 저항이 줄어들었지만 F1, F2값이 다소 감소하여 동력계통에서는 저항이 증가하였음을 확인할 수 있었다. 또한 FTP-75모드와 HWFET모드에서의 평균 속도를 기준으로 하였을 때 160 km 이내 주행거리 대비하여 6,500 km와 15,000 km에서 자동차 자체의 내부저항은 상대적으로 감소하였음을 확인할 수 있었다.

#### 3.2 누적 주행거리에 따른 CS모드에서의 연비 변화 특성

Fig. 2는 플러그인 하이브리드 자동차의 누적 주행거리가 160 km 이내의 신차 상태일 때와 6,500 km일 때, 15,000 km일 때의 CS모드의 연비를 나타낸 것이다. 복합연비 기준으로 160 km 이내 대비하여

6,500 km의 누적 주행거리에서는 0.53% 증가하는 결과를 보였고 15,000 km에서는 2.35% 감소하는 결과를 보였다.

일반적으로 자동차를 길들이는 방법이나 누적되는 주행거리가 증가함에 따라 타이어의 마모상태나 브레이크, 엑셀 및 샤프트에 장착되어 있는 베어링, 트랜스미션 등 구동계통의 기계적인 내부저항 변화가 발생하는 것으로 알려져 있는데<sup>4,5)</sup>, CS모드에서의 약간의 연비 변화를 보이는 것은 160 km 이내의 주행거리를 가진 신차 상태에서 6,500 km, 15,000 km를 주행하면서 발생한 자동차의 자체적인 내부저항 변화 때문으로 생각된다.

### 3.3 누적 주행거리에 따른 CD모드에서의 연비 변화 특성

Fig. 3은 플러그인 하이브리드 자동차의 누적 주행거리가 160 km 이내의 신차 상태일 때와 6,500 km 일 때, 15,000 km일 때의 CD모드의 연비를 나타낸 것이다.

복합연비 기준으로 160 km 이내 대비하여 6,500 km의 누적 주행거리에서는 7.41% 증가하는 결과를 보였고, 15,000 km에서는 1.85% 증가하는 결과를 보였다.

주행저항 재현을 통하여 각 6,500 km에서도 160 km

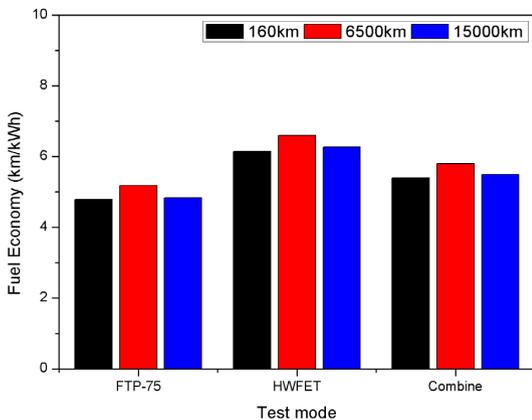


Fig. 3. Comparison of fuel economy (CD mode) at each cumulative mileage

때와 동일한 저항 조건을 반영하였음에도 CS모드 연비는 0.53% 증가한 반면 CD모드의 연비는 7.41% 증가하는 것과 같이 차이가 발생하였다.

CD모드 연비의 경우 내연기관과는 관계없이 메인 배터리나 전기모터 및 인버터 등과 같은 전기 주행을 위한 동력장치의 상태와 관련이 있다. 본 시험만으로 판단하기는 어렵지만 CS모드보다 CD모드의 연비 변화가 크고, Table 5의 주행저항 재현 결과와 같이 자동차 자체에서도 시험모드별 평균 속도에서의 내부저항이 160 km 이내보다 6,500 km에서 상대적으로 감소한 것을 미루어 보았을 때, 엔진이나 트랜스미션 등과 같은 기계 부품보다 전기 관련 부품에서의 변화가 연비 변화에 더 크게 작용하는 것으로 판단된다<sup>6)</sup>.

### 3.4 누적 주행거리에 따른 1회 충전 주행거리 변화 특성

Fig. 4는 각 누적 주행거리에서 1회 충전 주행거리를 나타낸 것이다.

복합 기준으로 160 km 이내 대비하여 6,500 km의 누적 주행거리에서는 5.88% 증가하는 결과를 보였고, 15,000 km에서는 160 km 이내와 동일한 결과를 보였다.

1회 충전 주행거리는 메인 배터리가 완전히 충전

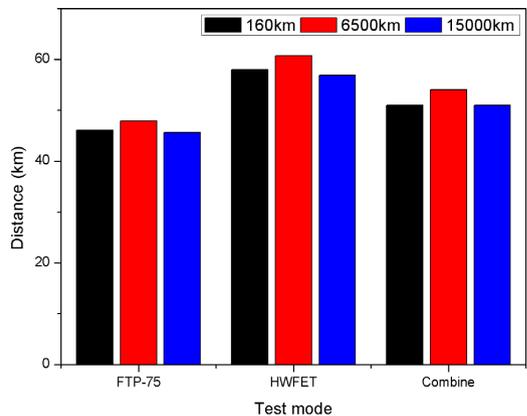


Fig. 4. Comparison of driving distance on a single charge at each cumulative mileage

된 상태에서 완전 방전할 때까지 즉, 전기 모터로 주행 중 더 이상 전기에너지가 없어 내연기관 모드로 전환될 때까지 갈 수 있는 순수 전기 동력 주행거리를 의미하며 모터의 출력 부족으로 시동이 걸리는 경우에는 메인 배터리에 남아 있는 전기량과 관계없이 시동 걸린 시점으로 1회 충전 주행거리가 결정이 된다.

CD모드에서의 연비 변화와 마찬가지로 변화량은 내연기관을 사용할 때에 대비하여 큰 것을 확인할 수 있었고, 6,500 km 정도의 누적 주행거리를 운행했을 때 가장 긴 1회 충전 주행거리를 가지는 것을 확인할 수 있었다.

### 3.5 누적 주행거리에 따른 전류 사용량 변화 특성

Fig. 5는 각 누적 주행거리에서 실제 CD사이클 주행거리(Rcda, actual charge-depleting cycle range)와 사용된 배터리 직류 전류량에서 실제 CD사이클 주행거리를 나눈 값을 나타낸 것이다.

실제 CD사이클 주행거리는 전기 모터의 연비를 구할 때 사용되는 주요 인자로서 CD모드 시험의 시작부터 마지막 한 개 또는 두 개의 주행 사이클의 평균 배터리량과 동일한 값을 가지는 사이클까지 주행한 거리를 의미하며, 이 값을 시험 종료 후 완충까지

의 교류 전력량으로 나누어주면 그 결과가 CD모드에서의 연비가 된다.

실제 CD사이클 주행거리는 160 km 이내 대비하여 6,500 km의 누적 주행거리에서 평균 5.06% 증가하였고, 15,000 km에서는 0.25% 감소하는 결과를 보였다.

CD모드 시험 동안 사용된 전체 배터리 직류 전류량에서 실제 CD사이클 주행거리를 나눈 값의 경우 160 km 이내 대비하여 6,500 km의 누적 주행거리에서 평균 5.47% 감소하였고, 15,000 km에서는 평균 1.84% 감소하는 결과를 보였고, 이는 6,500 km의 누적 주행거리를 가진 자동차가 일정 구간을 전기 동력으로 주행할 때 소요되는 전류량이 가장 적은 것을 의미한다.

시험모드 특성상 FTP-75 모드가 HWFET 모드에 비하여 가감속 구간이 많아 배터리의 직류전류를 교류전류로 변화하여 모터에 공급해주는 인버터와 회생제동시 배터리를 충전할 수 있도록 교류전류를 직류 전류로 변화해주는 컨버터 등 전기 관련 부품들의 작동이 많아진다. 6,500 km의 누적 주행거리에서는 160 km 이내의 주행거리 대비하여 HWFET모드 보다 FTP-75모드에서의 전류 사용량의 감소폭이 더 컸는데, 주행저항 재현을 통하여 주행시 자동차 자체가 받는 저항은 동일함에도 불구하고 전류 사용량이 감소한 것을 볼 때, 자동차의 구동에 연관된 전기 관련 부품의 효율이 160 km 이내 대비하여 다소 증가한 것으로 판단된다<sup>7)</sup>.

15,000 km의 누적 주행거리에 대해서는 160 km 이내의 주행거리 대비하여 좋지 못한 결과를 보였는데, 이 부분은 자동차의 주행거리 증가와 관련이 있는 사항으로 판단되지만 15,000 km 이후의 누적 주행거리에 대한 변화를 예측할 수 없기 때문에 정확한 확인을 위해서는 15,000 km 이후의 주행거리에 대해서도 추가적인 시험이 필요할 것으로 보인다.

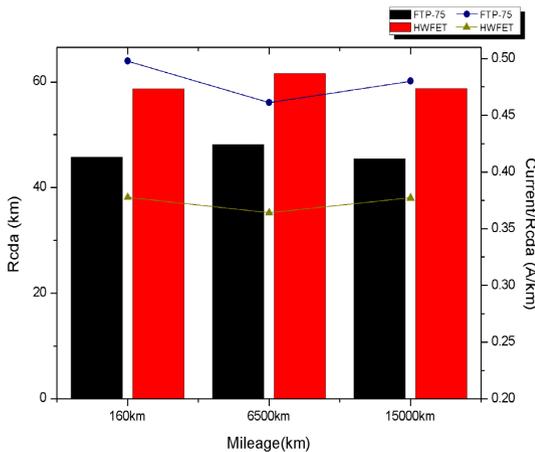


Fig. 5. Comparison of Rcda (actual charge-depleting cycle range) and electric current requirement per Rcda at each cumulative mileage

## 4. 결론

본 논문에서는 플러그인 하이브리드 자동차의 성

능 개선을 위한 데이터 확보를 위하여 누적 주행거리가 연비에 미치는 영향을 파악하고자 하였고, 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 복합연비 기준으로 CS모드에서는 160 km 이내 대비하여 6,500 km에서 0.53% 증가하였고, 15,000 km에서는 2.35% 감소하는 결과를 보였다.

2) 복합연비 기준으로 CD모드에서는 160 km 이내 대비하여 6,500 km에서 7.41% 증가하였고, 15,000 km에서는 1.85% 증가하여, 연비의 증감폭이 CS모드에서보다 다소 큰 결과를 보였다.

3) 1회 충전 주행거리는 160 km 이내 대비하여 6,500 km의 누적 주행거리에서 5.88% 증가하는 결과를 보였고, 15,000 km에서는 변화가 없었다.

4) 주행거리 당 전류 사용량은 6,500 km의 누적 주행거리에서 160 km 이내 대비 평균 5.47% 감소하여 상대적으로 적은 전류량으로 더 긴 거리를 주행할 수 있음을 확인하였다.

## 후 기

본 연구는 2017년 정부(산업통상자원부)의 재원으로 한국에너지기술평가원 주관 “산업기술혁신산업(에너지기술개발사업, No. 20152010103660)”으로 수행되었으며, 관계 기관의 지원 및 협조에 감사드립니다.

## References

1. S. W. Kim, M. H. Lee, K. H. Kim, S. G. Oh, and S. H. Lee, “The Study on the Assesment Fuel Economy of Hybrid Vehicle on Test Modes”, Trans. of KSPSE, Vol. 17, No. 1, 2013, pp. 64-68.
2. M. H. Lee, S. W. Kim, and K. H. Kim, “A Comparison of the Fuel Economy Test Method on Electric Vehicles (EVs)”, Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 28, No. 3, 2017, pp. 287-294.
3. M. H. Lee, S. W. Kim, and K. H. Kim, “The efficiency characteristics of electric vehicle (EV) according to the diverse driving modes and test conditions”, Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 28, No. 3, 2017, pp. 56-62.
4. J. C. Yeo, D. S. Kim, and J. J. Jeong, “Relative Damage Evaluation of Automotive Wheel bearing under Durability Test Modes”, Conference of KSAE, 2015, p. 539.
5. S. W. Lee and J. M. Ko, “A study on the influence of Tire Rolling Resistance Coefficient on Vehicle Fuel Consumption and CO2 Emissions”, Transaction of KSAE, Vol. 26, No. 3, 2018, pp. 402-406.
6. M. Cho, Y. M. Son, D. B. Nah, S. C. Kil, and S. W. Kim, “Lithium-ion Batteries for Plug-in hybrid electric vehicle”, Journal of KOSEE, Vol. 19, No. 2, 2010, pp. 81-91.
7. K. Y. Kim, D. H. Seong, W. S. Lim, and S. W. Cha, “Determining driving mode of Plug-in hybrid vehicle for enhancing fuel economy”, Journal of KSAE, Vol. 2016, No. 11, 2016, p. 657.