

# 시험모드에 따른 하이브리드자동차의 에너지소비효율 특성에 관한 연구

## The Study on the Assesment Fuel Economy of Hybrid Vehicle on Test Modes

김기호\*† · 김성우\* · 이민호\* · 오상기\*\* · 이승호\*\*

Ki-Ho Kim\*†, Sung-Woo Kim\*, Min-Ho Lee\*, Sang-Gi Oh\*\* and Seung-Ho Lee\*\*

(접수일 : 2014년 10월 08일, 수정일 : 2014년 11월 17일, 채택확정 : 2014년 11월 19일)

**Abstract:** Surely fuel economy(F.E.) label is needed to meet consumer’s right to know. Korea has developed and adopted F.E. correction equation similar to the feeling, because consumer complain about F.E. label higher than they feel. Recently, through continuous research and development high-efficiency & performance green car like HEV, PHEV and EV are being sold. In this situation, it is needed to know whether the current equation can reflect a part of their improved technic or not. In this paper, to review current equation through test using hybrid vehicles on 5-cycle SOC, correction equation and F.E were discussed. The result show HEV didn’t meet the SOC error standard on US06. Also, HEV has bigger F.E. difference between FTP-75 and 5-cycle than conventional vehicles. However, the correction equation that include HEV almost same with current one.

**Key Words :** HEV(hybrid vehicle), Fuel economy label, 5-cycle, correction equation

### 1. 서 론

자동차 연비표시는 소비자의 알권리 충족을 위 해 반드시 필요한 부분으로 공인연비와 실주행 연

비의 큰 편차로 인하여 공인연비에 대한 오해, 신뢰성 저하 및 소비자불만 등이 지속적으로 증대되어, 2012년부터 실도로 체감연비에 적합하도록 개선한 시험방법이 개발되어 적용·운영 중이다.<sup>1,2)</sup>

\*† 김기호(교신저자) : 한국석유관리원 석유기술연구소  
E-mail : kkh2373@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7951

\*김성우 : 한국석유관리원 석유기술연구소

\*이민호 : 한국석유관리원 석유기술연구소

\*\*오상기 : 경기과학기술대학교 자동차과

\*\*이승호 : 경기과학기술대학교 자동차과

\*† Ki-Ho Kim(corresponding author) : R&D center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33, Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea.

E-mail : kkh2373@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7951

\*Sung-Woo Kim : R&D center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

\*Min-Ho Lee : R&D center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

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

\*\*Seung-Ho Lee : Automotive Engineering, Gyeonggi College of Science & Technology.

그러나 전 세계적으로 지속적인 연구개발을 통해 고효율·고성능의 그린카가 개발되어 출시되고 있는 상황에서 현행 에너지소비효율 기준이 기술향상 부분을 반영하지 못하고 있어, 그린카에 대한 새로운 에너지소비효율 기준 설정이 필요한 상황이다.<sup>3,4)</sup>

본 논문에서는 국내 자동차 초기시장 창출을 위하여 '09. 6월 관련 고시 제정이후 하이브리드 자동차(HEV)의 기술향상 부분 등을 반영한 새로운 에너지소비효율 기준을 제시하고 있지 않은 상황에서 현재 양산되고 있는 HEV에 대한 5-cycle연비시험 및 기술적 세부사항을 검토하고, 현행 5-cycle 보정식 적용 타당성을 검토하였다.<sup>5)</sup>

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치

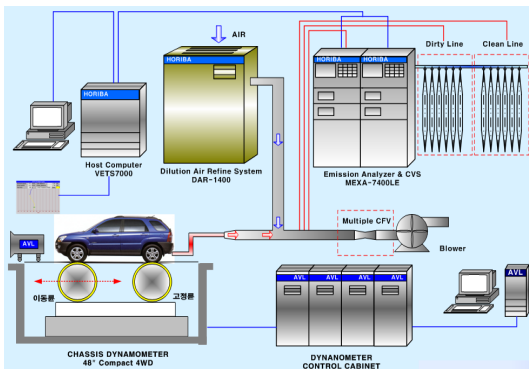


Fig. 1 Diagram of chassis dynamometer system

본 실험을 위하여 자동차를 실도로 조건과 동일하게 부하를 제어하기 위한 차대동력계의 제원을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 본 시스템은 국내 총중량 3.5ton 미만의 소형, 승용 및 화물자동차에 대하여 배출가스 및 연료소비율을 측정할 수 있는 장비로 자동차가 실제도로를 주행할 때 정지→가속→정속→감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 가해주는 장치로서 시험에 사용한 차대동력계는 AC동력계(AVL 저온시험

용 차대동력계)로 관성중량(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 구성되어 있다.

본 시험에 사용된 배출가스 분석 시스템은 (Horiba MEXA 7200, CVS 7200Sse) 자동차의 배기구를 통하여 배출되는 배출가스를 분석하는 배출가스 분석기, 배출가스를 일정하게 채취하기 위한 시료채취장치, 배기가스와 Ambient가스를 적절하게 희석하는 희석터널, 배기가스 열교환기, 보조운전장치(Driver aid, weather station) 등으로 구성되어 있는 형식승인 된 시험장비이다.

Table 1 Specifications of dynamometer system

Roll type & diameter	Single Roll 48 inch (MIM type)
Simulated vehicle weight	1000 ~ 15000 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 2 Specifications of test vehicles

	Vehicle A	Vehicle B
Manufacture	Korea 'H' motors	Japan 'T' motors
Engine type	I4 2.0, 1,999 cc, Gasoline	V6 3.5, 3,456 cc, Gasoline
Max. engine power	150 ps / 6,000 rpm	290 ps / 6,000 rpm
Max. torque	18.3 kg.m / 4,500 rpm	35.5 kg.m / 4,600rpm
Hybrid type	Parrallel	Combined
Motor power	35 kW / 205 N.m	200 PS / 28.0 kg.m
Fuel injection type	MPI	MPI
Battery	Li-PB, 270V	Ni-MH, 288V
Fuel economy (measured)	City : 22.1 km/L, HWY : 25.4 km/L	City : 15.6 km/L, HWY : 19.6 km/L
CO2	100.0 g/km	137.0 g/km
Transmission	6 A/T	CVT

또한, 전류적산계(Hioki 3390)를 사용하여 하이브리드자동차 배터리의 충·방전 상태 및 전류 이동량을 측정하였다.

본 연구에서 하이브리드자동차의 연비 및 기술적 세부사항을 검토하기 위해 사용된 시험차량은 국내에서 연비인증을 받고 출시되어 운행 중인 차량으로 타 차종을 대표할 수 있는 하이브리드 차량 2대를 가지고 시험하였으며, 이에 대한 자세한 제원은 Table 2에 나타내었다.

## 2.2 실험방법

시험에 사용된 운전조건(모드) 및 방법은 국내 가솔린 자동차의 배출가스 및 연비인증 모드로서 도시주행 모드인 FTP-75(CVS-75)모드와 고속도로 주행 모드인 HWFET(Highway Fuel Economy Test) 모드, 미국의 5-cycle모드 중 급가·감속모드인 US06모드, 에어컨 사용모드인 SC03모드, 저온조건에서의 시험인 Cold CVS-75모드를 사용하였다.

객관적인 시험결과 도출을 위해 시험차량은 시험연료로 연료를 교체한 후에는 200km 이상을 주행하여 차량상태를 안정화 시킨 후 실도로 상황과 동일한 부하조건을 구현하기 위하여 차대동력계에서 Coast-down을 실시하였다. Coast-down 실시 후에는 차량의 상태를 동일한 조건으로 유지하기 위하여 측정하고자 하는 시험모드로 1회 운전하는 Preconditioning을 하였다.

시험의 순서는 Soaking 후 시험을 진행하는 FTP-75(or Cold FTP-75모드)를 먼저 실시하고, Warm up시험조건을 가지고 있는 HWFET, US06, SC03의 순으로 진행하였다. FTP-75 모드 시험이 종료된 후에는 바로 HWFET, US06, SC03 모드를 시험함으로써 차량의 설치 및 제거와 데이터 측정에 소요되는 시간을 단축하여 시험하였다.

시험결과의 정밀도를 높이기 위하여 각 시험모드를 3회 시험 이상 진행하였다.

## 3. 시험결과 및 고찰

### 3.1 시험모드 및 차량별 연비 특성

Fig. 2는 HWFET, US06, SC03모드에서 측정된

연비와 전력수치를 나타낸 것이다. 이들 모드는 엔진을 일정한 온도로 예열한 후 시험하는 Hot시험모드들이고, HWFET모드는 고속도로 주행조건, US06모드는 고속도로와 급가·감속 운전조건, SC03모드는 고온(35°C)과 에어컨 가동 조건 등을 구현하기 위한 모드이다.

HWFET모드 연비결과를 살펴보면, FTP-75모드와 비교하여 약간 증가되어 측정되었지만, 일반적인 내연기관 자동차가 HWFET모드가 FTP-75모드보다 높은 연비결과를 나타내는데 반해 하이브리드자동차는 모터가동에 의한 엔진부하 감소와 감속시 회생제동, ISG(Idle stop & go) 등의 기능에 의해 FTP-75모드에서 우수한 연비특성을 나타내고 있다. 그러나 HWFET모드에서는 이러한 하이브리드자동차의 특성이 적용되지 않기 때문에 일반적인 내연기관의 모드별 연비특성과 차이가 있다고 판단된다.

US06과 SC03모드 연비는 Cold FTP-75모드 연비와 유사한 경향으로 나타났으며, 이는 엔진이나 모터에 주어지는 부하량이 세 가지 모드가 모두 비슷하기 때문으로 판단된다.

이러한 결과를 토대로 각 시험모드의 충전오차 만족여부를 살펴보면, HWFET모드와 SC03모드에서 충전오차를 만족하는데 비해, US06모드에서는 충전오차를 만족하지 못하였다. 이러한 결과에서 알 수 있듯이 기존의 연비 시험방법 중 하이브리드자동차의 연비계산에 있어서 두 가지 방법이 적용되어 있는 것을 다양한 시험모드나 환경(온도) 및 주행조건 특성에 따라 개별적으로 적용한 연비산출이 필요함을 확인하였다.

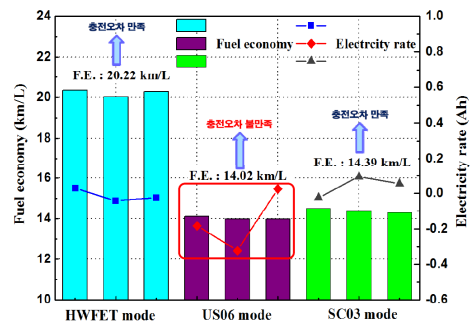


Fig. 2 F.E. of vehicle B on HWFET, US06, SC03

Fig. 3은 FTP-75 모드와 Cold FTP-75 모드에서 Phase별 연비결과를 나타낸 것으로 Phase-1과 Phase-2의 연비차이가 58.4%, 60.2%, Phase-3과 Phase-4의 연비차이가 4.4%, 31.2%로서 Phase-1, 2가 Phase-3, 4보다 큰 감소 차이를 보이고 있는데, 이러한 결과는 Phase-1에서는 냉각수 예열의 필요성에 의해 엔진이 계속적으로 가동되고 있기 때문이고, Phase-2에서는 배터리 충전에 필요한 부하를 엔진에서 얻어오기 때문이다. 또한 전체적으로 낮은 시험온도와 엔진냉각수온도로 인하여 연비차이가 34.7%로 낮게 측정되었다.

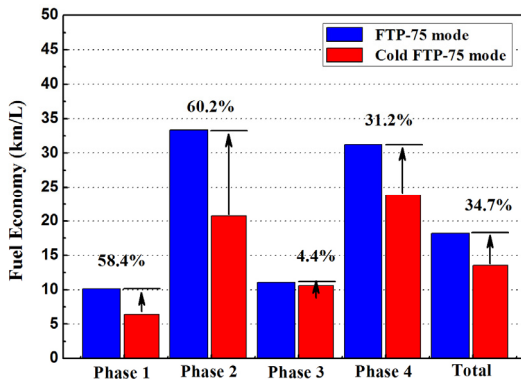


Fig. 3 F.E. results of vehicle B on each FTP phase

Fig. 4는 시험대상인 하이브리드자동차의 시험 모드에 따른 연비결과를 나타낸 것이다. 시험결과에서 각각의 시험차량 특징에 따라 연비차이가 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 결과는 두 차량의 특징 중에서 공차중량이나 주행저항이 일본 T사 차량이 크기 때문에 전체 시험모드 연비결과가 낮게 나타남을 알 수 있다.

5-cycle시험모드에 따른 연비 가감의 특징은 두 차량이 동일한 경향을 가지고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과를 토대로 하이브리드자동차의 5-cycle연비특성은 대부분의 차량에서 동일하게 적용될 수 있음을 알 수 있다.

5-cycle을 적용할 경우의 연비결과를 비교해 보면, 보정식이나 5-cycle측정에 의한 결과가 대략 30%정도 감소되는데, 이러한 이유는 시험모드의 목적과 일치하는 것으로서 상온 및 저온조건, 급

가·감속, 고속도로 주행, 에어컨작동 등의 실도로 주행상황이 반영이 되면서 감소되었다고 볼 수 있다.

특히, 하이브리드자동차의 연비감소가 기존의 차량보다 많이 감소하는 특성을 보이는데 이러한 차이를 줄이기 위해서는 배터리와 모터, 엔진 등의 제어로직을 저온, 급가·감속 및 에어컨 가동 등과 같은 실도로 주행상황을 적극 반영하여 개선할 필요성이 있음을 시사한다.

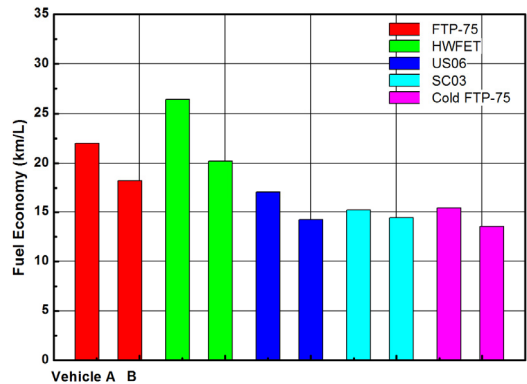
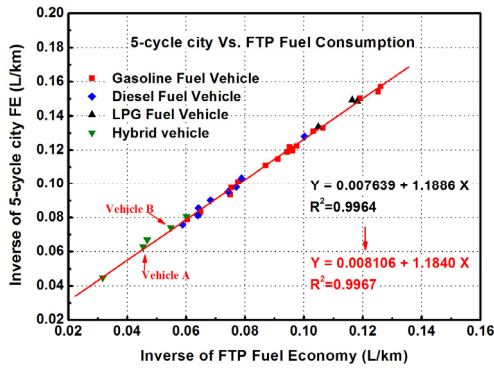


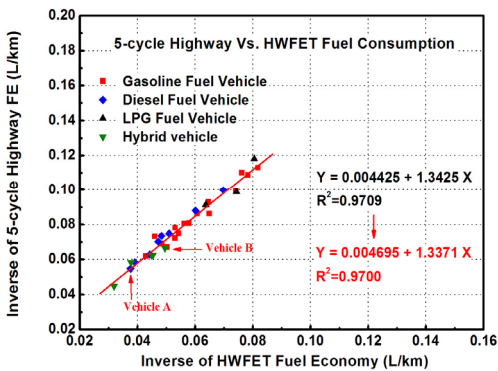
Fig. 4 F.E. of vehicle A & B on 5-cycle

Fig. 5와 Fig. 6은 현재 국내 연비시험 고시에 적용되어 있는 보정식과 본 연구에서 시험한 시험차량의 연비결과를 적용하여 새롭게 구한 신보정식을 나타낸 것이다. 두 보정식의 전체 연비구간에 대한 결과 차이는 도심주행에서 0.18%, 고속도로 주행 시 -0.10%로 차이가 없는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과를 통하여 하이브리드자동차의 기술적 세부사항의 조건 중 에너지소비효율(km/L)기준을 개정함에 있어 보정식을 적용하여 현행 표시연비와 동일하게 연비기준을 개정하는 것이 가능함을 확인할 수 있었다.

그러나 앞서 언급한 하이브리드 자동차의 측정 연비와 보정식의 차이가 일반차량보다 큰 점은 하이브리드 차량의 보급 비중이 일반 내연기관 대비 높아질수록 현재 보정식에 영향을 더욱 미칠 것으로 예상되며 이에 따라 하이브리드 자동차 보급 현황과 보정식 영향 모니터링이 지속적으로 필요할 것으로 판단된다.



(a) City F.E. on 5-cycle & new correction eq.



(b) HWFET F.E. on 5-cycle & new correction eq.  
Fig. 5 Comparing F.E 5-cycle & new correction eq.

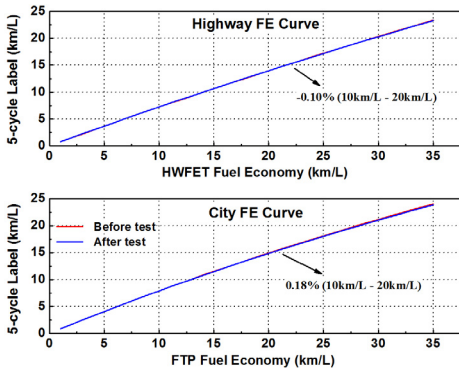


Fig. 6 Deviation of 5-cycle, current & new corrected F.E.

### 3.2 시험방법 및 시험환경에 따른 특성

Fig. 7은 환경조건이 틀린 FTP-75모드와 Cold FTP-75모드의 시험조건에서 시험한 결과를 나타

낸 것이다. 두 모드의 차이는 시험온도조건으로 각각 온도가 25℃, -7℃(Heater on)에서 시험하게 된다.

두 시험모드의 결과를 살펴보면 상이한 시험온도 조건에 의해 엔진냉각수의 온도가 32℃차이를 가지고 시험이 시작되어 온도편차가 일정하게 상승하여 최종 시험 종료까지 일정한 간격을 가지고 있음을 볼 수 있는데 이것은 외기의 온도에 의해 엔진냉각수 온도가 일정한 값 이상으로 상승하지 못하며, 또한 하이브리드 자동차의 특징인 ISG장치에 의해 엔진이 정지하면서 냉각수가 예열되지 못하기 때문이다.

엔진작동을 살펴보면 FTP-75모드는 저온시동 구간에서 엔진이 작동하여 일정시간이 지난 후 ISG에 의해 엔진운전 및 정지가 반복하여 일어나게 되는데 반해, Cold FTP-75모드에서는 Phase-1 동안에 엔진이 계속적으로 운전되고 있는 것을 볼 수 있다. 이러한 조건은 엔진냉각수 온도가 약 50℃에 도달하기 전에는 엔진을 계속적으로 운전하여 엔진상태를 안정하게 유지하기 위한 제어전략으로 판단된다. 그리고 SOC의 결과를 비교하여 보면 두 모드의 결과가 일정한 시간(약 505초)까지 동일하게 유지되다가 그 이후에 점차 벌어져 2.5%차이를 가지게 된다. 이러한 원인은 시험온도와 엔진의 작동상태에 의한 것이라 할 수 있다. 그러나 두 모드의 회생제동 토크는 시험온도에 따른 영향이 없이 제동구간에서 일정하게 발생되어 에너지를 저장하고 있음을 알 수 있다.

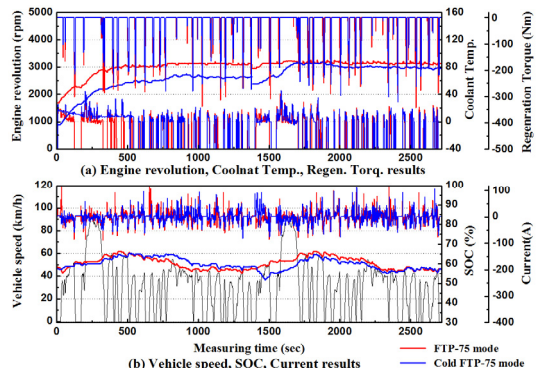


Fig. 7 SOC of vehicle B on Cold FTP & FTP-75

## 5. 결 론

Fig. 8은 앞서 수행한 시험방법(3 bag & 4 bag)과 시험환경(온도)조건에 의한 연비와 전력수지, 충전오차 만족여부를 나타낸 것이다.

3 bag과 4 bag 두 방법에 대한 연비의 반복에 의한 시험편차는 0.24km/L(4 bag), 0.30km/L(3 bag)로 일정하게 측정되고 있고, 방법사이의 평균연비 차이는 0.06km/L정도로 4 bag방법이 연비가 약간 높게 나타나고 있지만, 결과차이가 0.2% 이내로 거의 유사한 결과를 나타내고 있는 것을 볼 수 있다. 이때 충전오차 만족여부를 살펴보면 4 bag의 경우에는 만족하고 있으나, 3 bag의 경우에는 만족을 못하고 있다. 이러한 이유에 의해 기존 3 bag에 의해 하이브리드자동차를 시험함으로써 여러 번 시험하여 보정하는 회귀선 시험방법은 시간과 비용이 증가할 수 있음을 알 수 있다. 하지만, 변경된 4 bag시험방법은 최종적으로 충전오차를 만족할 수 있어, 1회 시험으로 시험차량의 연비결과를 확인할 수 있는 방법이라 할 수 있다.

전력수지는 초기 SOC량에 의해 약간씩 변화되고 있음을 알 수 있으나, 위의 결과에서 3 bag방법(-방향)과 4 bag방법(+방향)의 전력수지가 반대로 나타나게 되는데, 이러한 이유는 4 bag이 Phase-4를 더 주행함으로써 엔진으로부터 배터리의 전력이 충전되기 때문이다. 또한, 3 bag방법이나 4 bag방법 모두 전력수지가 +/- 한쪽 방향으로 나오는 것을 볼 수 있고, 이러한 특징으로 인하여 본 시험차량의 연비는 전력수지 0에 대한 보정을 하지 않아도 된다.

현재 양산되고 있는 하이브리드자동차를 대상으로 5-cycle 연비시험을 통해 시험모드에 따른 연비 특성 분석 및 5-cycle 보정식 적용 타당성 검토 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 하이브리드자동차의 HWFET, US06, SC03 모드에서 측정된 연비와 전력수지 시험결과 HWFET와 SC03모드에서 충전오차를 만족하는데 반해, US06모드에서는 충전오차를 만족하지 못하였다. 따라서 다양한 시험모드나 환경(온도) 및 주행조건특성을 고려한 연비산출이 필요함을 확인하였다.

2) 기존의 연비 시험방법인 FTP-75 모드 대비 5-cycle 모드를 적용할 경우 연비가 약 30%정도 감소되는데, 이러한 이유는 저온, 급가·감속, 고속도로 및 에어컨 작동 등의 실도로 주행사항이 반영된 결과이다.

3) 5-cycle 시험결과 하이브리드자동차의 연비가 기존 내연기관 자동차보다 많이 감소하는데 이러한 차이를 줄이기 위해서는 배터리와 모터, 엔진 등의 제어로직을 다양한 환경조건에 적합하도록 개선할 필요성이 있음을 확인하였다.

4) 기존의 연비보정식과 본 연구에서 시험한 두대의 HEV차량의 시험결과를 적용하여 새롭게 구한 연비 보정식을 비교하면 거의 동일한 결과를 나타내어 현행 연비 보정식이 HEV 차량에 적용가능함을 확인하였다.

## 참고문헌

1. KEMCO, 2007, "A Study about Restructuring Energy Efficiency Rating System of vehicle and Policy to Supply High-efficiency Car", MKE Report.
2. Korea Univ., 2010, "Countermeasures Research for Achieving Greenhouse Gas Emission Standards of Cars", NEIR Report.
3. U.S. EPA, 2005, "Vehicle Fuel Economy Labeling and The Effect of Cold Temperature,

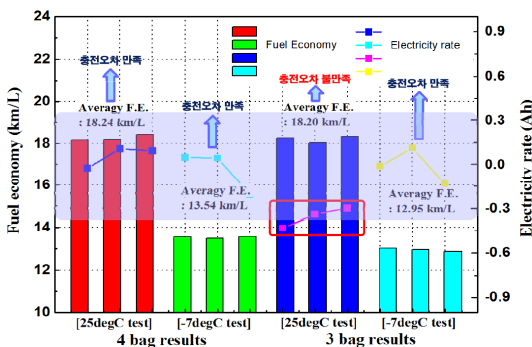


Fig. 8 F.E. results of vehicle B on each test mode



Air-Conditioning Usage and Aggressive Driving on Fuel Economy”, DRAFT STAFF REPORT.

4. CEEE, 2008, “Light-Duty Hybrid and Diesel Vehicle Tax Credits in the Energy Bill”
5. JAMA, 2008, “Reducing CO<sub>2</sub> Emissions in the Global Road Transport Sector”