

디젤차량 연비시험에 있어 시험온도 및 냉각팬 조건이 미치는 영향분석에 관한 연구

A Study on the Influence of Test Temperature & Cooling Fan Condition on the Fuel Test of Diesel Vehicle

김현진*† · 김성우* · 임재혁* · 노경하* · 이정천* · 김기호* · 오상기**

Hyun-Jin Kim*, Sung-Woo Kim*, Jae-Hyuk Lim*, Kyung-ha Noh*,
Jung-Cheon Lee*, Ki-Ho Kim* and Sang-Gi Oh**

(Received 15 September 2017, Revision received 04 December 2017, Accepted 04 December 2017)

Abstract: Due to the arise of natural disasters caused by global warming, consumers have more interest in the fuel efficiency of their vehicles, and fuel efficiency became an important factor in comparing vehicles. In this market situation, methods to measure fuel efficiency has become one of the main interests of vehicle related organizations and laboratories, and the current method to measure fuel efficiency is to follow the notification established by the ministry of trade, industry and energy, ministry of environment, and the ministry of land, infrastructure and transport. In this study, we analyze the influence of vehicle fuel efficiency according to test temperature and cooling fan condition which have the possibility to cause difference in fuel efficiency. The analysis results of the influence of the fuel efficiency according to the test temperature, the difference of the fuel efficiency of the test temperature (21~29℃) within the allowable range of the notification showed a maximum difference of 2.9%. Therefore, it is necessary to consider the introduction of a test method that permits only the temperature change based on the reference point as the allowable range even in the test within the allowable range. The analysis of the influence of the fuel efficiency according to the cooling method showed no significant effect, and it seems reasonable to maintain the test method of the current notification.

Key Words : Energy Consumption Efficiency, Fuel Consumption, Test Temperature, Soaking Temperature, Cooling Fan Condition

*† 김현진(교신저자) : 한국석유관리원 석유기술연구소

E-mail : khj1546@kpetro.or.kr Tel : 043-240-7961

*김성우, 임재혁, 노경하, 이정천, 김기호 : 한국석유관리원 석유기술연구소

**오상기 : 경기과학기술대학교 자동차과

*† Hyun-Jin kim(corresponding author) : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority.

E-mail : khj1546@kpetro.or.kr Tel : 043-240-7961

*Sung-Woo Kim, Jae-Hyuk Lim, Kyung-ha Noh, Jung-Cheon Lee, Ki-Ho Kim : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality&Distribution Authority.

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

1. 서 론

선진국은 자국의 에너지 안보 및 에너지이용 합리화를 위하여 기업 평균 및 차량 등급별 에너지소비효율과 CO₂ 배출량 기준을 마련하고 있다. 지구온난화에 의한 자연재해가 전 세계적인 문제로 대두되면서 소비자는 자동차 연비에 대해 큰 관심을 갖게 되었으며, 연비는 차량구매 시 차량별 비교조건의 주요항목으로 작용하게 되었다.¹⁾

이러한 시장 상황에서 자동차 연비 측정 방법은 자동차 유관기관 및 연구소의 주요 관심사가 되었으며, 현재 국내의 자동차 연비 측정 방법은 산업통상자원부, 환경부, 국토교통부 3개 부처에서 공동으로 제정한 고시를 따르게 되어있다.

제정된 고시에 따르면 시험이 진행되는 동안 시험실의 온도는 20~30℃를 유지하여야 하며, 같은 조건에서 12시간 이상 주차(Soaking) 시간을 가져야 한다. 또한 도로 주행상태를 재현하기 위해 정속냉각팬(2.5 m³/s 미만) 또는 속도가변냉각팬을 사용할 수 있다고 명기되어 있다. 하지만 위의 시험 허용범위 내에서 수행하는 연비측정 결과가 허용범위 내 어느 지점에서든 일관성을 보이는지에 대한 실험적 근거 자료가 부족한 상황이다.

본 연구에서는 고시에서 제시하는 다양한 인자 중 연비 차이 발생 가능성을 내재하고 있는 시험 온도 및 냉각팬 조건에 따른 자동차 연비 영향도를 분석하여 향후 고시 개정을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 시험온도에 의한 영향

차량의 엔진 및 동력전달계통 초기온도는 마찰력의 차이를 유발한다. 온도가 낮을수록 마찰력은 증가되고 온도가 높을수록 마찰력은 낮아진다. 또한 엔진의 낮은 초기온도는 예열된 엔진대비 엔진의 연소효율을 악화시키고 냉각열손실을 증가시킨다.⁵⁾ 온도에 따른 온실가스 및 연비 관련 연구 중 P Bielaczyc et al.은 25℃ 대비 -7℃ 대기온도에서 NEDC모드 영역별 CO₂가 1.1~1.41배가 배

출된다고 발표하였으며,⁶⁾ 미국 에너지부(DOE)는 22℃ 대비 15℃, -7℃ 대기온도에서 UDSS 냉간 시동 주행에서 3%, 12% 연비가 악화됨을 발표하였다.⁷⁾

2.2 냉각방식에 의한 영향

차대동력계를 이용한 연비 및 배출가스 시험에서 엔진의 냉각체계는 자동차가 고정된 상태에서 냉각팬을 이용하여 엔진의 열을 라디에이터에서 방출한다. 이러한 시험방식은 엔진의 열을 방출하는 정도의 차이가 발생되므로 연비에 영향을 미친다. 특히, 디젤차량의 경우 EGR(Exhaust Gas Recirculation)의 적용으로 일부 고온의 배기가스를 EGR Cooler에서 열을 흡수하여 다시 흡기시스템으로 보낸다. 이러한 과정에서 EGR Cooler는 냉각수를 사용하여 배기열을 회수하므로 냉각수의 온도가 주요인자로 작용한다. 미국 DOE의 보고서에 따르면 EGR Cooler퇴적물 생성에 따라 연료소비율이 1~2% 감소한다고 발표하였다.⁸⁾ Pang HH et al.은 EGR ratio가 높을수록 연료소모량이 증가한다고 하였다.⁹⁾

2.3 전기부하에 의한 영향

자동차의 모든 전기·전자 장치에 사용되는 동력 에너지원은 발전기를 통해 얻어지므로 연비에 미치는 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 전기에너지

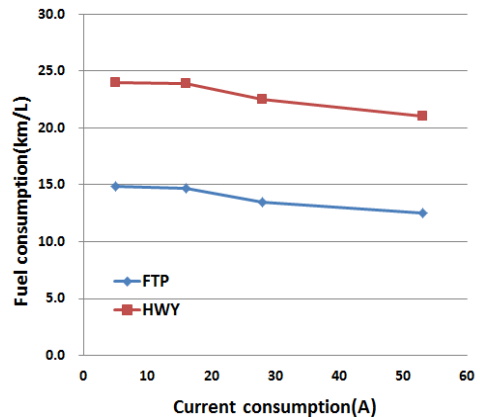


Fig. 1 Changes in fuel consumption by using electric devices

사용량에 따른 대표적인 연구결과를 보면 차량의 모든 전기장치를 Off한 상태와 On한 상태에서 60 km/h의 정속주행 시 On한 상태가 Off한 상태보다 2.5 km/L의 연비가 감소하는 결과를 도출하였다.^{2,4)} 유사한 다른 연구에서도 전류 소모 1A 증가 시 0.2~0.5% 연비가 악화하는 것으로 보고되고 있다.⁴⁾ Fig. 1은 국내연비시험 모드 중 도심주행을 모사한 FTP(Federal Test Procedure) 모드와 고속도로주행을 모사한 HWY(Highway) 모드 주행 시 소모전류량에 따른 연비감소를 보여주고 있다.

3. 시험방법 및 장치

고시에서 제공하고 있는 시험 허용범위 내 시험온도 및 냉각방식에 따른 자동차 연비 영향도를 분석하고자 현행 고시 「자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시」에 따른 시험방법을 선택하였으며, 현행 법률 「환경분야 시험·검사 등에 관한 법률」에 의거하여 형식승인과 정도검사를 받은 장치(차대동력계 시스템, 배출가스분석기, 전력분석기)를 활용하여 연구를 수행하였다.

3.1 시험방법

3.1.1 시험모드

「자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시」에 따른 시험방법 중 FTP-75, HWFET모드를 사용하였으며, 각 조건별 2회 이상의 시험을 통하여 신뢰성 있는 데이터를 취득하였다. 각 모드의 특징은 Fig. 2, Table 1과 같다.

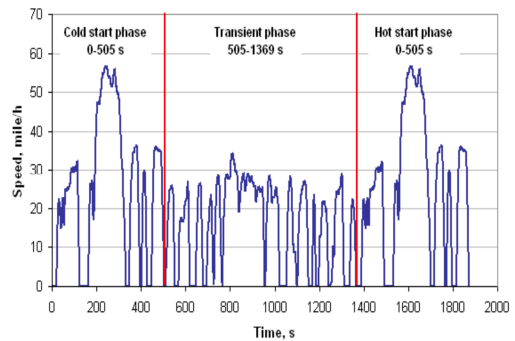
3.1.2 연비계산방법

연비계산방법은 고시에서 적용된 다음의 수식을 적용하였다.

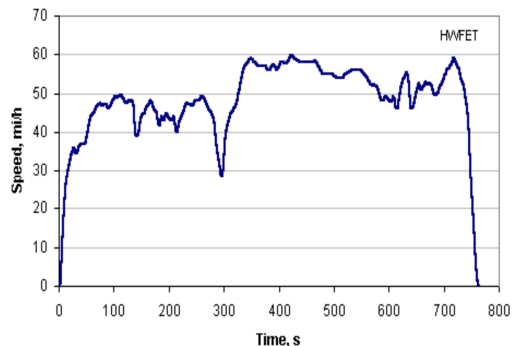
$$F.E. = \frac{734}{0.866 \times HC + 0.429 \times CO + 0.273 \times CO_2} \quad (1)$$

Table 1 Driving conditions in FTP-75 and HWFET mode

Driving Schedule Attributes	Test Schedule	
	City	Highway
	FTP-75	HWFET
Top Speen	D90.1 kph	96.6 kph
Average Speed	D34.1 kph	77.7 kph
Max. Acceleration	5.31 kph/sec	5.15 kph/sec
Simulated Distance	17.7 km	16.58 km
Time(min)	31.2	12.75
Stops	23	None
Idling time	18%	None
Engine Startup	Cold	Warm
Lab temperature	20~30℃	
Vehicle air conditioning	Off	Off



(a) FTP-75 mode



(b) HWFET mode

Fig. 2 Plan drive speed in FTP-75 and HWFET modes

3.1.3 시험조건

현행 고시의 시험 허용범위(시험온도, 냉각팬) 내에서 연비에 영향을 미칠 것으로 예상되는 조건을 선정하여 시험을 수행하였으며, 시험온도의 경우 시험오차에 의한 허용범위 이탈을 방지하기 위해 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 를 적용하여 Table 2와 같이 선정하였다.

Table 2 Test conditions for test temperature

Conditions	Low	Base	High
Lab. Tem.($^{\circ}\text{C}$)	21	25	29

냉각팬의 경우 고시의 시험 허용범위(가변, 고정 최대 지점, 고정 최소지점)에 따라 Table 3과 같이 선정하였다.

Table 3 Test conditions for cooling fan

Conditions	Variable fan	Fixed fan (Low)	Fixed fan (High)
Cooling(m^3/s)	Variable	1.0	2.5

3.1.4 시험차량

본 연구의 시험을 위해 사용된 차량은 'C'사의 2L급 엔진을 탑재한 디젤승용차로 Euro 5 배출가스 기준을 만족하는 차량이다. 자세한 제원은 Table 4와 같다.

Table 4 Test vehicle specification

Model year	2014
Engine Type	CI inline 4 cylinder
Engine displacement(cc)	1,956
Transmission	6AT
Valve mechanism	DOHC 16 valve
Max. power(ps/rpm)	156/3,750
Max. torque($\text{kg} \cdot \text{m}/\text{rpm}$)	35.8/1,750~2,500
Intake charging	VGT
Fuel supply type	CRDI
Label fuel economy(km/L)	13.3 (city:11.9/highway:15.7)
Curb weight(kg)	1,645
Battery type	Lead acid / Flooded
Battery capacity(Ah)	90
Battery voltage(V)	12
Alternator type	RVC-DFM
Alternator capacity(V/A)	14.2/140

3.2 시험장치

3.2.1 차대동력계 시스템

본 연구에 사용된 차대동력계는 자동차가 시험 모드를 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어 주는 장치이며, 실제 도로를 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 공동고시 시험모드를 주행할 수 있도록 되어 있다. 차대동력계는 Fig. 3과 같이 구성되어 있으며, 제원은 Table 5와 같다.

Table 5 Chassis dynamometer specifications

Roller type & Diameter	Single roll 48 inch (MIM type)
Inertia weight	1000~15000 lbs
Inertia weighting system & Power absorbing device	AC Motor
Max. speed	200 km/h
Speed error	$\pm 0.01\%$ F.S
Torque error	$\pm 0.1\%$ F.S
Mileage measurement	Encoder
Blower capacity	63000 CFM
Coast down	Within 1 second



Fig. 3 Chassis dynamometer

3.2.2 배출가스 분석기

본 연구에 사용된 배출가스 측정장치(HORIBA Co. MEXA series, Fig. 4)는 자동차의 배출가스 중 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄를 분석할 수 있는 장치로서, 분석원리는 CO 및 CO₂는 비분산적외선분석법(NDIR, Nondispersive Infrared), THC는 열식불꽃이온화검출기법(HFID, Heated Flame Ionization Detector), NOx는 화학발광법(CLD, Chemiluminescence

Detector), CH4는 GC-FID(Gas Chromatography-FID)를 사용한다.



Fig. 4 Exhaust gas analyzer

3.2.3 전력분석기

냉각팬 조건 시 라디에이터 팬 구동에 따른 전력 소모량을 측정하기 위해 국내 자동차 시험장 치 규격에 적합한 Hioki 3390 전류적산계를 사용하였으며, 전류 측정을 위하여 최대 200A 측정이 가능한 Hioki CT 9278 2기와 20A 측정이 가능한 Hioki CT 9277 2기를 사용하였다. 전력분석기의 구성과 측정 위치는 Fig. 5와 같다.

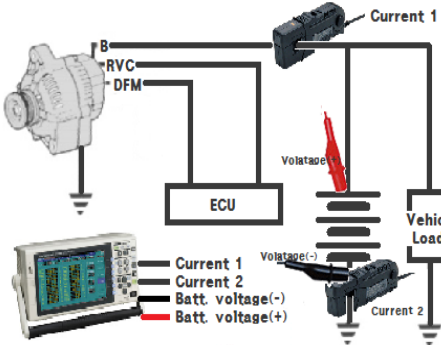


Fig. 5 Generator and battery current sensor measurement location

4. 시험결과 및 분석

4.1 시험온도

이론적 배경에서 언급한 바와 같이 자동차 연비는 시험온도에 영향을 받는다. 특히, FTP-75모

드와 같이 냉간시동조건이 포함될 경우 초기 엔진의 냉각정도에 따라 연비는 상이하게 나타난다. 따라서, 현행 연비시험온도조건인 3개 Point(21°C, 25°C 및 29°C)를 Soaking(고시 규정 주차시간) 및 시험온도조건으로 적용하여 연비시험을 수행한 결과 Fig. 6 및 Table 6과 같이 나타났다.

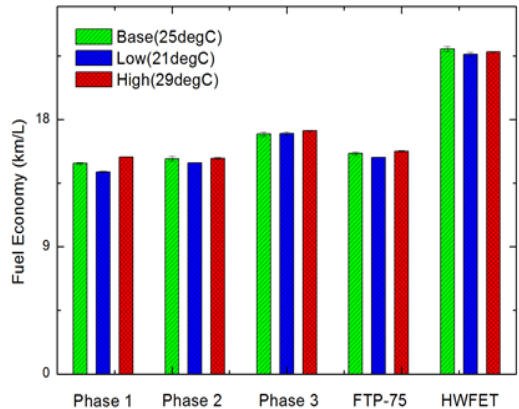
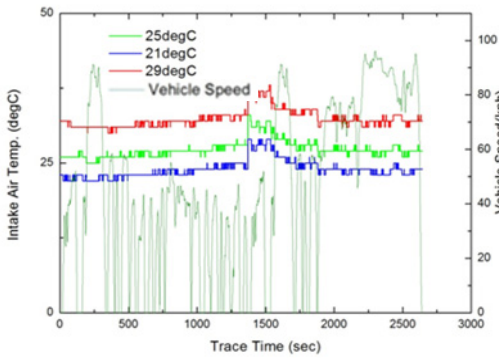


Fig. 6 Fuel economy results based on soaking and test temperature conditions

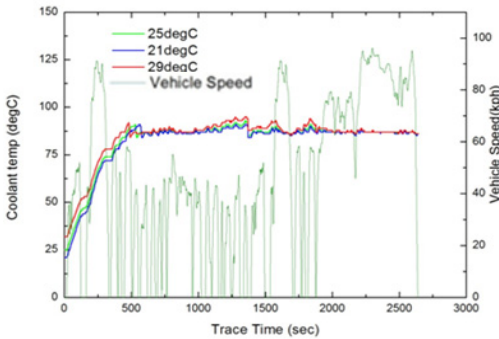
Table 6 Influence of fuel consumption on soaking and test temperature conditions (Unit : %)

Mode	25°C vs 21°C	25°C vs 29°C	21°C vs 29°C
Phase 1	-4.1	3.0	7.3
Phase 2	-1.9	0.2	2.1
Phase 3	0.3	1.3	1.1
FTP-75	-1.8	1.1	2.9
HWFET	-1.6	-0.9	0.7

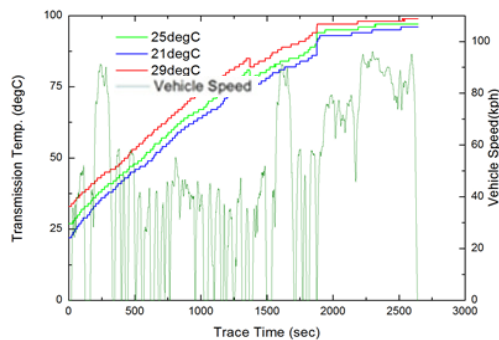
FTP-75모드의 연비시험결과는 29°C>25°C>21°C 순으로 온도조건이 높을수록 연비가 높았으며, 최대-최소의 차이는 2.9%로 유의미한 수준으로 나타났다. 3개의 Phase로 규정되어 있는 FTP-75모드의 Phase별 연비를 살펴보면 냉간시동조건에서 시작한 Phase 1의 연비차가 온도에 따라 뚜렷하게 나타났다으며, 최대-최소 연비차는 7.3%로 나타나 Soaking 온도차에 따른 마찰력 증감이 최종 결과에 주요한 인자로 작용된다고 판단된다.



(a) Intake temperature



(b) Engine coolant temperature



(c) Transmission oil temperature

Fig. 7 Change in transmission oil temperature, coolant temperature and intake air temperature during the test

Fig. 7 (a)의 흡기온도 변화를 보면 선정된 시험 온도 조건이 적절하게 유지된 것을 확인할 수 있

다. 시험 중반에 온도가 일시적으로 상승된 구간은 가속에 의한 엔진내부온도의 증가로 인한 현상으로 판단된다. (b)의 엔진냉각수 온도는 Phase 1에서 시험온도가 높을수록 빠르게 상승하였고, Phase 2부터는 엔진의 안정화로 인해 동등한 수준으로 유지되었다. (c)의 변속기오일 온도는 시험온도가 높을수록 높게 나타났으나, FTP-75모드 전구간에서 높게 나타났다. 연비의 변화량이 (c)의 변속기 오일 온도 변화보다 (b)의 냉각수온도 변화에 더 일치하는 모습을 볼 때, 시험온도 조건에 따른 FTP-75모드의 연비 영향도는 변속기 오일의 온도보다 냉간시동조건 시 엔진의 온도에 더 큰 영향을 받는 것으로 보여진다. 위 결과에 따르면 시험 허용범위 내의 시험에서 시험온도조건이 미치는 연비 영향도는 유의미하다고 판단되며, 이 온도범위가 고의적으로 악용될 가능성이 있다. 예를 들어 차량이 25℃ 온도조건보다 21℃ 조건이 유리하다고 판단되는 경우 Soaking은 30℃에서 실시하여 엔진 및 동력전달계통의 마찰력을 시험범위 내에서 최소화하고 실제 시험은 21℃에서 실시하여 흡기효율을 시험범위 내에서 최대화할 수 있다. 이러한 고의적 시험실온도 조건 제어를 방지하기 위해 아래 Fig. 8과 같이 허용범위 내의 시험이라도 기준점을 중심으로 이루어지는 온도변화만을 허용범위로 인정하는 시험방법의 도입을 고려할 필요가 있다. 이 방법은 현재 UN에서 추진하고 있는 WLTP 시험방법이다.

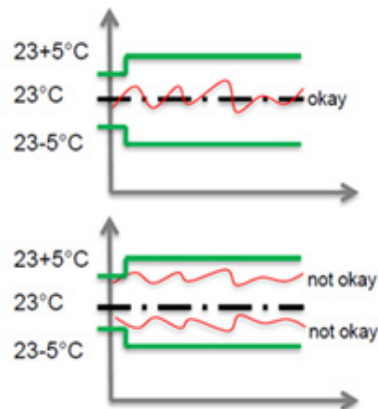


Fig. 8 Test cell and soak temperatures of WLTP

HWFET모드의 연비결과는 25℃>29℃>21℃ 순으로 연비가 높게 나타나, 온도조건에 따른 경향은 미비한 것으로 보인다. 고시의 HWFET모드 시험 절차상 예비주행에서 엔진의 예열이 완료된 후 측정주행에 들어가기 때문에 온도조건에 따른 경향이 크게 나타나지 않는 것으로 판단된다. 최대-최소 연비차는 1.6%로 시험오차범위 이내이지만 위에 제시한 Fig. 8과 같은 시험방법을 적용한다면 연비차가 더 감소할 것으로 사료된다.

4.2 냉각팬 조건

일반적인 내연기관 자동차는 과도한 외부 대기 온도 또는 차량정지 시 공회전 상태에서의 열교환이 불량하여 엔진이 과열되는 것을 방지하기 위해 라디에이터 후면에 라디에이터 팬을 장착하고 있다. 이러한 라디에이터 팬은 차량의 배터리 또는 발전기에서 전원을 공급받기 때문에 연비시험 시 엔진 열 방출을 위한 라디에이터 팬의 작동 시간 증가가 전기적 부하로 이어질 수 있으며, 이는 연비하락의 원인으로 작용할 수 있다.

국내 연비 시험방법에서는 냉각팬을 가변팬(Variable fan) 및 고정팬(Fixed fan)으로 사용할 수 있도록 명기되어 있다. 이때 두 가지 팬 모두 차량의 전면과의 거리가 30.5 cm 이내에 위치하도록 정하고 있다. 가변팬의 경우 차량후드를 닫은 채 차대동력계에서 측정되는 차속에 정비례하는 풍속을 차량의 전면에서 부여하고 고정팬의 경우 차량후드를 연 채 2.5 m³/s 이하의 고정된 풍량을 차량의 전면에서 부여하는 방식이다.

본 연구에서는 냉각팬 적용방식에 따른 연비 영향도를 평가하기 위하여 냉각팬조건을 현행 시험방법 범위내의 3가지 방법(차속비례 가변팬 및 고정팬(High: 2.5 m³/s), 고정팬(Low: 1.0 m³/s)을 적용하고 타 조건은 동일조건으로 적용한 결과 Fig. 9 및 Table 7과 같이 나타났다.

FTP=75모드의 경우 고정팬(Low)>가변팬>고정팬(High) 순으로 연비가 높았으나, 최대-최소의 차이는 0.5%로 나타났다. FTP-75모드의 단위별 모드(Phase 1~3)에서도 최대-최소 편차는 1% 미만으로 나타났으며, 조건에 따른 경향성은 나타나지 않아

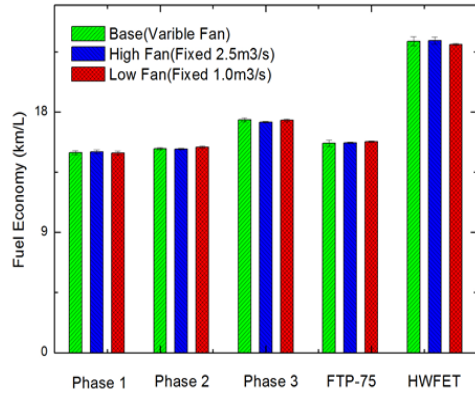


Fig. 9 Fuel economy results according to cooling fan usage

Table 7 Influence of fuel consumption by cooling fan type (Unit : %)

Mode	Variable fan vs Fixed fan (High)	Variable fan vs Fixed fan (Low)	Fixed fan(High) vs Fixed fan (Low)
Phase 1	0.5	-0.1	-0.6
Phase 2	-0.2	0.7	0.9
Phase 3	-1.0	-0.3	0.7
FTP-75	-0.2	0.3	0.5
HWFET	0.2	-1.0	-1.2

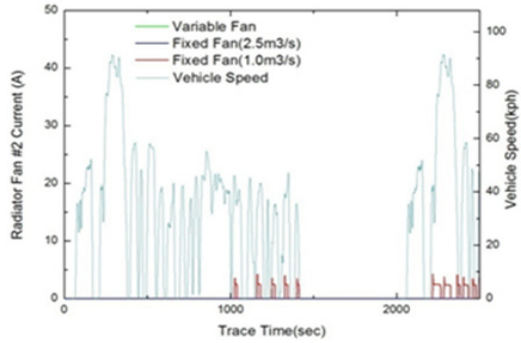
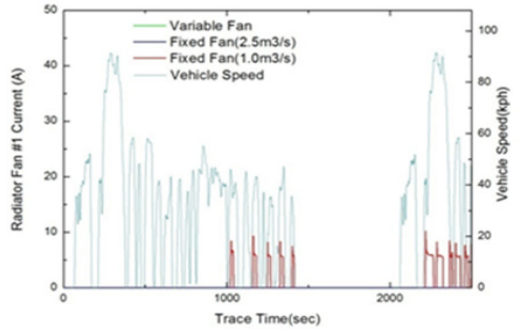
각 조건의 연비의 차이는 시험오차 범위 내의 결과를 도출하였다. FTP-75모드에서 현행 시험방법 내에서 3가지 조건에 따른 영향은 없는 것으로 나타났다. HWFET모드는 고정팬(High)>가변팬>고정팬(Low) 순으로 연비가 높았으나 최대-최소의 차이는 1.2% 수준으로 특별한 경향성을 확인할 수 없었으며, 연비에 미치는 영향이 크지 않은 것으로 사료된다.

Fig. 10은 각 조건에 따른 라디에이터 팬 작동 상황을 확인하기 위하여 차량에 장착된 2대의 라디에이터 팬 전원선에 전류센서 및 전류적산계를 설치하여 FTP-75 및 HWFET모드에서 측정된 실시간 전류소모량 결과이다.

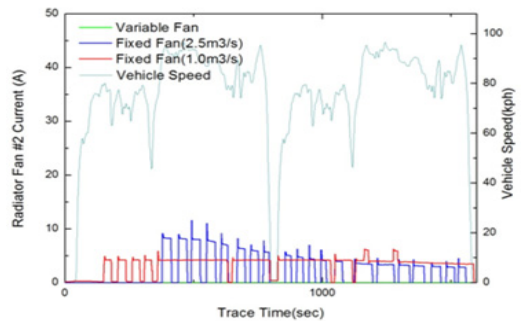
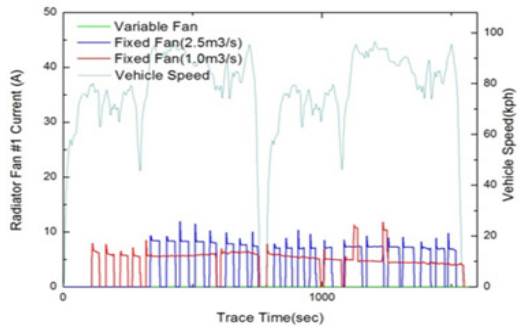
FTP-75모드에서 가변팬과 고정팬(High)조건에서는 라디에이터 팬의 소모전류가 모드 전 구간에 걸쳐 0으로 나타나 충분한 열교환으로 냉각수

온도가 적정온도 이하에서 제어되었음을 알 수 있다. 그러나 고정팬(Low)의 경우 모드 1000~1450 초 구간(Phase 2의 하반기)과 2,150~2,500초 구간(Phase 2의 중하반기)에서 라디에이터 팬의 소모 전류가 간헐적으로 나타나 적정온도 이상으로 냉각수의 온도가 상승하였음을 알 수 있다. 그러나 고정팬(Low)조건에서 라디에이터 팬이 소모한 전기에너지에도 불구하고 소모 전기에너지가 없는 가변팬과 고정팬(High) 대비 0.3%, 0.5% 높게 나타난 것은 일반적인 시험오차이거나 엔진냉각수의 온도상승으로 인한 냉각열손실 감소의 결과로 판단된다.

HWFWT모드에서는 가변팬 조건에서 라디에이터 팬의 소모전류가 모드 전 구간에서 0으로 나타나 충분한 열교환으로 냉각수 온도가 적정온도 이하에서 제어되었음을 확인하였다. 그러나 고정팬(High 및 Low)조건에서 라디에이터 팬의 소모 전류가 관측되었다. 고정팬(High)의 경우 라디에이터 팬 소모전류는 모든 구간에 걸쳐 주기적으로 나타났으며, 고정팬(Low)은 순간 최고 소모전류는 낮으나 모든 전구간에서 작동하고 있는 것으로 나타났다. Fig. 11과 같이 모드 중 엔진냉각수 온도는 고정팬 조건이 가변팬보다 낮았으며 두 고정팬은 동등수준을 나타내었다. 흡기온도는 고정팬(Low)조건에서 최대 37°C까지 상승하였다. 이는 HWFET모드가 FTP-75모드 대비 고속으로 운행됨에 따라 엔진의 발열이 크고 냉각팬이 낮은 풍량으로 작동되어 엔진룸 내부의 온도를 높인 것으로 판단된다. 이러한 영향에도 불구하고 냉각팬 조건에 따른 HWFET모드 연비의 최대 편차가 1.2%로 매우 낮게 나타나는 것은 라디에이터팬이 HWFET모드에서 소모하는 전기에너지의 영향과 높은 엔진냉각수 온도에 따른 냉각열손실 감소의 결과로 판단된다. 결과적으로 냉각팬 조건은 현행 시험 허용범위 내 최대 및 최소값에 따른 연비 영향도가 적은 것으로 판단되나, 풍량감소에 따른 연비에 영향이 관측됨에 따라 고정팬 사용 시 과도한 풍량 감소를 지양하고 냉각팬과 차량전면의 거리(30.5 cm)를 준수할 필요가 있다.

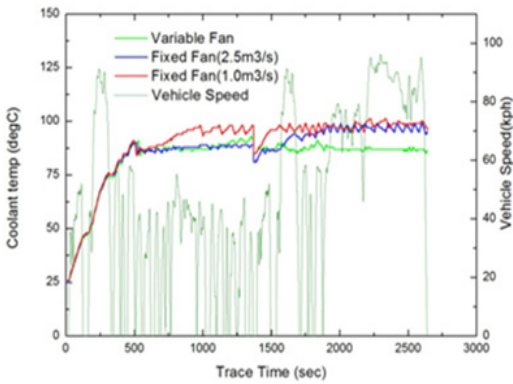


(a) FTP-75 mode

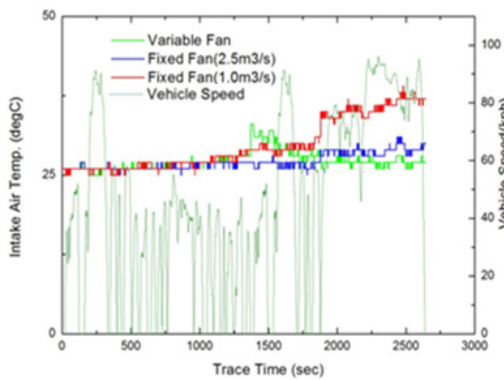


(b) HWFET mod

Fig. 10 Real-time radiator fan current consumption based on cooling fan conditions



(a) Real-time engine coolant temperature



(b) Real-time engine intake temperature

Fig. 11 Real-time engine cooling water temperature and intake air temperature according to cooling fan condition

5. 결 론

본 연구에서는 연비 차이 발생 가능성을 내재하고 있는 시험온도 및 냉각팬 조건에 따른 자동차 연비 영향성 평가를 수행하고, 다음과 같은 결론을 얻었다.

시험온도에 따른 연비 영향도 분석결과 현행 시험 허용범위 내 연비차이가 다음과 같이 나타났다.

(Unit : %)

Mode	25℃ vs 21℃	25℃ vs 29℃	21℃ vs 29℃
FTP-75	-1.8	1.1	2.9
HWFET	-1.6	-0.9	0.7

시험결과 연비차이가 최대 2.9%로 유의미한 차이를 나타내었다. 따라서 앞서 설명한 시험방법 (Fig. 8)과 같은 허용범위 내의 시험이라도 기준점을 중심으로 이루어지는 온도변화만을 허용범위로 인정하는 시험방법의 도입을 고려할 필요가 있다.

냉각방식에 따른 연비 영향도 분석결과 냉각팬 조건은 현행 시험 허용범위 내 최대 및 최소값에 따른 연비 영향도가 다음과 같이 나타났다.

(Unit : %)

Mode	Variable fan vs Fixed fan (High)	Variable fan vs Fixed fan (Low)	Fixed fan(High) vs Fixed fan (Low)
FTP-75	-0.2	0.3	0.5
HWFET	0.2	-1.0	-1.2

냉각방식에 따른 연비 영향도 분석결과 의미 있는 영향은 없는 것으로 나타났으며, 냉각방식은 현행 시험방법을 유지하는 것이 타당한 것으로 보인다.

향후 시험온도 및 냉각방식 외에 영향을 미칠 수 있는 배터리 충전상태 및 운전모드 추종성에 대한 연구를 수행하여 전반적인 조건별 연비 영향도 분석을 검토할 필요가 있을 것으로 보인다.

후 기

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

References

1. K. H. KIM, 2016, "Eco-Friendly Technology for Improving Fuel Economy", Journal of KSAE, Vol. 34, No. 1, pp. 32-38.
2. K. H. KIM, 2013, "Study on energy saving effect

- of economical driving", Korea Energy Agency
3. H. Y. KIM, 2012, "Impact of the test conditions of fuel economy(Diesel vehicle)", KPETRO, Seoul, Korea.
 4. Ford, 2014, "Driving Trace Index", WLTP Trace index Task Force(TF).
 5. M. D. EOM, 2009, "Eco-drive campaign for low carbon emissions", KSAE Auto Journal.
 6. Bielaczyc, P., Szczotka, A. and Woodburn, J., 2011, "The effect of a low ambient temperature on the cold-start emissions and fuel consumption of passenger cars", P I Mech Eng D-J Aut 225, D9, 1253-1623.
 7. US DOE, 2013, "Vehicle systems simulation and testing", Vehicle technology office.
 8. Pang HH, Brace CJ, Akehurst S, 2004, "Potential of a Controllable Engine Cooling System to Reduce NOx Emission in Diesel Engines", SAE International.
 9. Michael J. Lance, C. Scott Sluder, Matt K. Ferber, John M.E. Storey, Hassina Bilheux, 2013, "Materials Issues Associated with EGR Systems", Oak Ridge National Laboratory.