



모드 추종성이 승용 자동차 에너지소비효율에 미치는 영향 연구

김성우* · 임재혁 · 김기호

한국석유관리원 석유기술연구소

A Study about Impact of Driving Quality on Fuel Economy of a Conventional Passenger Car

Sungwoo Kim* · Jaehyuk Lim · Kiho Kim

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

(Received 20 March 2017 / Revised 12 April 2017 / Accepted 17 April 2017)

Abstract : Manufacturers have been applying several technologies to enhance fuel economy on their cars. In contrast, other manufacturers have increased their cars' fuel economy through deliberate smooth driving capabilities. Since the driving technique could significantly impact the fuel economy of a vehicle, the U.S. had developed drive quality evaluation(DQE) indexes(EER, ASCR, RMSSE, and IWR), and has been monitoring the indexes of a manufacturer's independent certification tests. Also, the UNECE is preparing a new regulation regarding the indexes that are applicable to WLTC. In this paper, to set the DQE index threshold for the formal fuel economy certificate test(FTP-75 and HWFET), a diesel vehicle was tested according to three driving styles(smooth, rough, and normal), while the DQE indexes of the past 150 formal tests were analyzed statistically. Smooth driving showed increased fuel economy of up to 5.8 % than that of normal driving, while rough driving showed a decrease of up to 3.1 %. Also, a gap is expected to have a threshold value between the DQE indexes of the two different styles of driving and of normal driving. In the statistical analysis, 2σ percentile of the indexes were similar with their own 2σ normal probability, and they were within the range. Therefore, the probability was proposed as a reasonable DQE index threshold. Furthermore, since IWR was closely related with ASCR, either of the two might be excluded as the index.

Key words : Fuel economy(에너지소비효율), DQE index(모드추종성 지표), EER(에너지효율변화율), ASCR(절대 속도 변화율), RMSSE(제곱평균 속도오차), IWR(관성일률)

Subscripts

ASCR : absolute speed change rating, %
CO : carbon monoxide, g/km
CO₂ : carbon dioxide, g/km
DQE : drive quality evaluation
DR : distance rating, %
ER : energy rating, %

EER : energy economy rating, %
FTP-75 : federal test procedure at 75°F
HC : hydrocarbon, g/km
HWFET : highway fuel economy test
IGBT : insulated gate bipolar transistor
IWR : inertial working rating, %
MIM : middle in motor
RMSSE : root mean square speed error, mile/h

*Corresponding author, E-mail: ksw0020@kpetro.or.kr

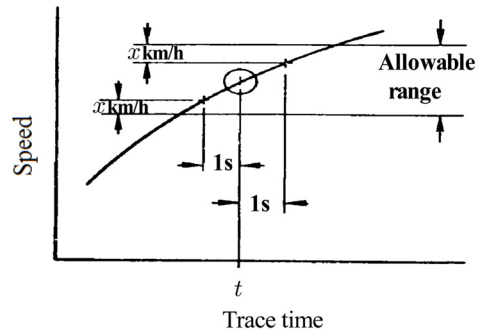
1. 서론

세계 주요국은 자국의 에너지 안보 및 에너지이용 합리화, 온실가스 배출량 저감을 위하여 기업평균 또는 차량등급별 에너지소비효율(이하 연비)과 이산화탄소 배출량 기준을 마련하고 있다. 또한 소비자에게 해당 차량의 연비 또는 이산화탄소 배출량을 고시하기 위하여 판매차량에 연비라벨(표시 연비)을 각국의 규정에 맞게 비치하도록 하고 있다.

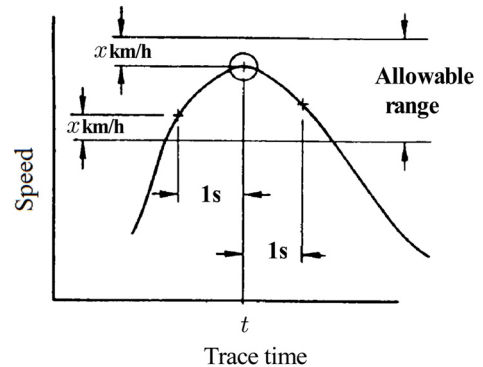
이를 위하여 각국은 표시연비 측정을 위한 시험방법을 제정하고 있다. 대부분의 연비 시험법은 정형화된 차량 속도 계획을 설정하고 있으며, 시험자는 이 속도를 추종하여 시험시간 동안 차량을 운전하게 된다. 이때 사람이 직접 운전하기 때문에 계획된 목표 속도를 매 시각 정확히 추종하는 것은 불가능에 가깝다. 이러한 이유로 Fig. 1과 같이 목표 속도에 허용오차(상한속도는 규정된 시각(t)의 ± 1 초 이내의 속도곡선 상에서 가장 높은 속도보다 x km/h 높은 속도이며 하한속도는 규정된 시각(t)의 ± 1 초 이내의 속도곡선 상에서 가장 낮은 속도보다 x km/h 낮은 속도로 허용됨)를 부여하고 일정 시간 및 횟수 동안 이 허용오차에 벗어나는 경우 해당 시험결과를 사용하지 못하도록 하고 있다. 그러나 이 허용범위를 최대한 이용하여 부드럽게(Soft, smooth) 운전하거나 공격적(Hard, rough)으로 주행하게 되는 경우 시험결과의 신뢰성을 무너뜨릴 수 있다.¹⁾

고유가의 지속에 따라 소비자가 승용차 연비에 큰 관심을 갖게 되면서 연비는 차량구매 시 차량별 비교조건의 주요 항목으로 작용하고 있다. 이에 따라 자동차 제작사(이하 제작사)는 국가별 정책 부합 및 소비자 구매 매력도를 높이기 위하여 다양한 기술을 도입함으로써 자사 차량의 연비향상에 주력하고 있다.²⁾

이러한 기술적 노력에 반하여, 일부 제작사의 자



(a) Example 1



(b) Example 2

Fig. 1 Allowable range at a target speed

체시험에서 고의적인 부드러운 운전경향을 파악³⁾한 미국의 경우 시험법에 목표추종속도를 최대한 따를 것을 언급하고 있음과 동시에 해당시험의 차량속도 데이터 및 SAE J2951에 따른 모드 추종성(DQE index)을 정부 부처에 제출하도록 하고 있다(EPA reg. title 40. part1066.425 (j) (1)~(2)). 미국의 경우 DQE index threshold를 법으로 규정하고 있지 않으나 SAE J2951에서 Table 1과 같이 Threshold를 추천하고 있다.⁴⁾

UNECE는 Euro 6d temp. 배출가스허용 기준부터 적용될 WLTP 시험방법에 DQE를 적용하기 위하여

Table 1 Threshold ranges proposed by SAE J2951⁴⁾

Test mode \ Index	EER		ASCR		RMSSE	
	Max. capability (2σ)	Avg. capability (2σ)	Max. capability (2σ)	Avg. capability (2σ)	Max. capability (2σ)	Avg. capability (2σ)
FTP-75 (4bag)	±2.24 (±0.80)	±1.44 (±0.80)	±2.43 (±0.60)	±1.68 (±0.60)	±0.20 (±0.12)	±0.14 (±0.12)
HWFET	±1.46	±0.75	±6.76	±4.08	±0.17	±0.11

Table 2 Threshold proposed by WLTP trace index TF⁵⁾

Index	JPN data (AVE±3σ)	CO ₂ deviation (2 g/km)	TS proposal	PSA proposal	Ford proposal	BMW	HS
ER (%)	-0.6 ~ +0.8	±1.5	-	-	-	-	-
DR (%)	-0.4 ~ +0.2	±0.4	-	-	-	-	-
EER(%)	-0.7 ~ +1.1	±1.5	-	±2.0 (±4.0)	-	±2.0	±2.0
ASCR (%)	-2.3 ~ +3.8	±3.0	±3.0	±6.0 (±8.0)	-2.0 ~ +4.8	±3.0	±3.0
IWR (%)	-2.8 ~ +4.6	±3.5	Under the study	-	Similar to ASCR	-	-
RMSSE (km/h)	~ +0.7	+0.8	< +0.8	-	< +1.3	< +1.3	< +1.3

SAE J2951를 보완할 수 있는 보정된 Index 계산법 및 종류, 허용범위를 개발 중에 있다. Table 2는 WLTP trace index task force 회원의 Index별 허용범위 제안내용을 나타내고 있다.

본 연구는 국내 연비시험방법 DQE Index 및 Threshold 도입을 위한 기초연구로써 1대의 일반 경유 차량을 대상으로 FTP-75 및 HWFET 모드에서 고의적인 부드러운 운전 및 공격적 운전이 일반적 목표속도 추정 운전과 나타내는 연비차와 DQE Index 관계를 분석하였다.

또한 적정수준의 정량적 Threshold를 추정하기 위하여 정상적인 150개 공식시험(FTP-75 및 HWFET 모드)의 DQE index를 통계 분석하였다.

2. 시험장치 및 방법

2.1 시험대상

2.1.1 시험차량

본 연구의 시험을 위하여 사용된 차량은 ‘C’사의 2 L급 엔진을 탑재한 디젤 승용차이며 Euro 5 배출가스 기준을 만족하는 차량으로 기타 상세한 제원은 Table 3에 나타내었다.

2.1.2 시험조건

부드러운 운전 조건(Soft, smooth)과 공격적인 운전조건(Hard, rough)의 차이를 DQE Index로 구별하기 위하여 5가지의 조건을 설정하였다.

먼저 고의적 부드러운 운전조건과 공격적인 운전조건 구현은 부드럽거나 공격적인 주행속도 계획을 수립하지 않고 시험법의 주행속도 계획의 허용오차

Table 3 Specifications of the test vehicle

Model year	2014
Engine Type/fuel	CI inline 4 cylinder/diesel
Engine displacement (cc)	1,956
Transmission	6AT
Valve mechanism	DOHC 16 valve
Max. power (ps/rpm)	156 / 3,750
Max. torque (kg.m/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

Table 4 Test conditions for the test vehicle

Driving condition		Driving pattern	Test mode
Soft (Smooth)	$x=1$	Driving smoothly in the allowable speed	FTP-75 & HWFET
	$x=2$		
Base		Following target speed without reference to the allowable speed	
Hard (Rough)	$x=1$	Driving roughly in the allowable speed	
	$x=2$		

범위 내에서 운전자가 임의적으로 운전을 하였다.

또한 두 운전조건에서 DQE Index 세분화를 위하여 Fig. 1의 허용범위 속도(x)를 1 km/h와 2 km/h로 설정하여 운전을 실시하였다. 마지막으로 일반적인 주행의 DQE Index 범위 확인 및 부드러운/공격적인 운전조건과의 비교를 위하여 시험법의 주행속도 계획을 성실히 추종하는 비교의적인 정상주행(Base)을 실시하였다. Table 4는 시험조건을 나타내고 있다.

2.1.3 통계분석을 위한 시험데이터

위 시험차량에 적용된 시험방법은 Table 4에 나타난 고의적인 운전 방법을 적용하였기 때문에 고의적인 운전과 일반적인 운전의 DQE Index 차이와 연비차를 확인할 수 있으나 정량적 Threshold 값을 획득할 수 없었다.

이를 보완하기 위하여 실제 공인시험의 운전자 DQE Index를 통계 분석함으로써 일반적인 운전(비 고의적)의 통상적 DQE Index 분포를 알아보고자 하였다. 이 통계 분석을 위하여 각기 다른 차량으로 수행된 150개 공인시험(FTP-75 및 HWFET)의 속도 데이터를 추출하고 DQE index를 계산하였다.

2.2 시험장치 및 방법

2.2.1 연비측정장치

본 연구를 위하여 Fig. 2와 같이 차대동력계와 배출가스 분석기로 이루어진 차대동력계 시스템을 사용하였다.

차대동력계는 자동차의 주행속도와 가속도에 사용하는 주행저항과 관성저항을 모사하는 장치이다. 본 시험에 사용된 차대동력계는 AVL사의 AC동력계로 관성중량(Inertia weight), 동력흡수계(Power absorption unit), 제어기(Controller)로 구성되어 있으며 상세제원은 Table 5에 나타내었다.

Table 5 Specifications of the chassis dynamometer

Roll type & diameter	Single roll (48inch MIM type)
Simulated vehicle weight	454 ~ 5400 kg
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. (F.S.: 5870N)
Measurement of driving distance	Encoder type
Max. flow rate of cooling fan	63000 CFM

Table 6 Specifications of the emission analyzer

Emission	Method	Range		Linearity and repeatability
		Min.	Max.	
HC	H.FID	10 ppmC	500 ppmC	Within ±2 % of full scale
CO	NDIR	10 ppm	2500 ppm	
CO ₂		1 %	16 %	

배출가스 분석기(Horiba사)는 자동차의 배출가스 중 CO, HC, CO₂ 등을 분석할 수 있는 장치로서 자동차에서 배출되는 배기가스를 정용량 시료채취 장치에서 희석시켜 일부를 포집백에 포집한 후 각 분석기에 보내져 농도를 분석한다. 각 분석된 농도는 중량단위로 환산되고 각 모드의 주행거리로 나누어 거리 당 배출량(g/km)으로 최종 결과를 표시한다. 배출가스 분석기의 주요 제원은 Table 6에 나타내었다.

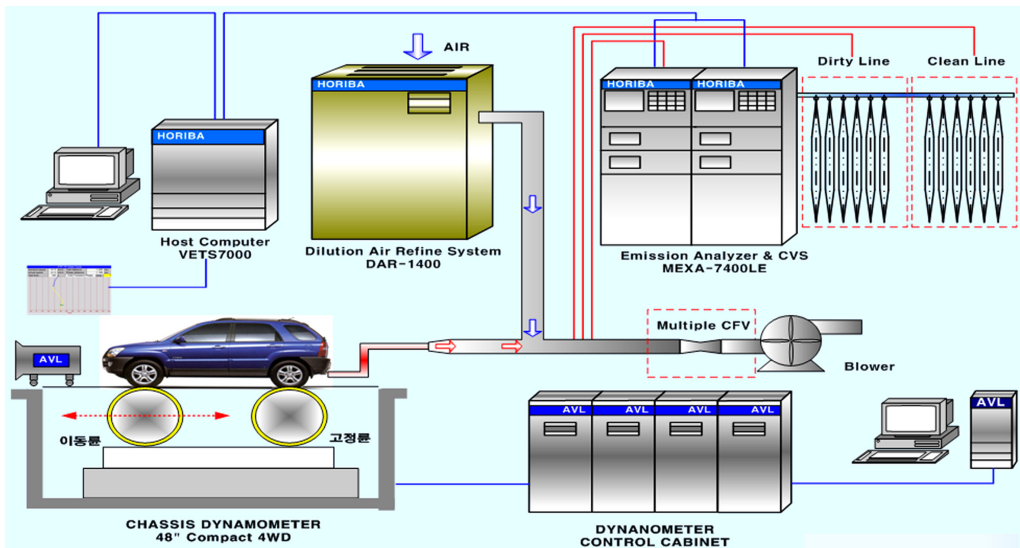


Fig. 2 Diagram of the chassis dynamometer system

2.2.2 연비측정방법

연비 측정을 위해 사용된 모드는 국내 연비시험 방법(자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비를 시험방법 등에 관한 고시)의 FTP-75 및 HWFET 모드이며 대기온도 조건 및 Soaking 조건 등은 시험법을 준수하였다. 단, 초기 배터리 상태에 따른 발전제어의 영향을 최소화하기 위하여 Soaking 시 배터리를 완전 충전하였고 시험 중에는 전조등을 On 하였다.⁶⁻⁸⁾

연비는 배출가스 분석기로 측정된 CO, HC, CO₂의 결과를 Carbon balance 법을 대입하여 계산하였으며 그 식은 아래 식 (1)에 나타내었다. 이 식은 2015년 11월 까지 국내 경유차 연비계산식으로 적용된 식이다(현재 국내 경유의 물성을 반영하여 개정되었으나 본 연구에 영향을 미치지 않음).

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

통계 분석을 위하여 수집된 150개의 공인시험(FTP-75 및 HWFET)은 정상적인 시험절차를 따른 시험결과이다(사전주행 후 추가적인 배터리 충전과 주행 중 전조등 사용은 실시하지 않음).

2.2.3 DQE Index 계산방법

DQE Index 계산을 위하여 가장 기초가 되는 데이터는 연비시험 시 해당차량의 실시간 속도 및 주행저항, 등가관성중량이다. 시험 시 실시간 속도는 차대동력계에서 0.1초 단위로 측정된 값을 취득하였으며 주행저항(F₀, F₁, F₂)은 시험 차량의 제작사에서 제공하는 값을 사용하였고 등가관성중량(ETW)은 공차중량을 기준으로 시험법의 등가관성중량 산정 기준을 준수하였다.

DQE Index 계산방법은 SAE J2951(Jan. 2014)를 따라 계산하였다. SAE J2951에서 제시하는 Index 중 본 연구에서 평가한 Index는 EER 및 ASCR, RMSSE, IWR이며 각 Index의 계산 방법은 아래 식 (2)부터 식 (5)에 나타내었다.

$$EER = \left[1 - \frac{DR/100+1}{ER/100+1} \right] \times 100 \quad (2)$$

$$DR = \frac{D_D - D_T}{D_T} \times 100 \quad (2-1)$$

$$ER = \frac{CE_D - CE_T}{CE_T} \times 100 \quad (2-2)$$

$$CE_J = \sum_{i=1}^N [1.105ETW a_{ji} + F_0 + F_1V_{ji} + F_2V_{ji}^2]^+ \quad (2-3)$$

$$V_{ji} = \frac{1}{5} \sum_{t=i-2}^{t=i+1} V_t \quad (2-4)$$

where D_J : J(D = Driven, T = Target) distance

CE_J : J (D = Driven, T = Target) cycle energy

ETW : effective test mass (kg)

F₀, F₁, and F₂ : coefficient of road load

V_{Ji} : 0.5s average vehicle speed (m/s)

t : trace time (10Hz)

$$ASCR = \frac{ASC_D - ASC_T}{ASC_T} \times 100 \quad (3)$$

$$ASC_J = 0.1 \sum_{i=1}^N |a_{ji}| \quad (3-1)$$

$$a_{ji} = \frac{V_{Ji+1} - V_{Ji-1}}{0.2} \quad (3-2)$$

where ASC_J : absolute speed change summation

a_{ji} : vehicle acceleration (m/s²)

$$RMSSE = 2.237 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{Di} - V_{Ti})^2}{N}} \quad (4)$$

where N : quantities that represent time series data (from 1 to N, 10Hz)

$$IWR = \frac{IW_D - IW_T}{IW_T} \quad (5)$$

$$IW_J = \sum_{i=1}^N [W_{T-Ji}]^+ \quad (5-1)$$

$$W_{T-Ji} = F_{T-Ji} d_{ji} = 1.015ETW a_{ji} V_{ji} 0.1 \quad (5-2)$$

where IW_J : inertial work

W_{T-Ji} : inertial work increment

F_{T-Ji} : inertial force

d_{ji} : distance increment

3. 시험결과 및 고찰

3.1 시험조건 별 연비측정 결과

Fig. 3과 Table 7은 Table 4의 운전방법에 따른 평균 연비 시험결과와 연비 증가율을 나타내고 있다. 예상한 바와 같이 FTP-75 모드 연비는 Soft>Base>Hard 순으로 높게 나타났으며 최대-최소의 연비차는 7.1%로 매우 크게 나타났다. HWFET 모드 연비 역시 Soft>Base>Hard 순으로 높게 나타났으며 최대-최소의 연비차는 3.9%로 통상오차 3%(연비 사전관리 시 제작사가 인증 서류로 제출한 결과와 검증기관에서 시험한 결과의 오차 허용범위)를 초과하였다.

FTP-75 모드에서 보인 Base 운전대비 Soft 운전의 연비 상승률은 통상 시험오차를 초과하는 5.6%로 매우 높아 국내 현행 시험방법은 고의적인 운전에만 따른 연비 과장에 대한 유혹에 노출되어 있다고 할 수 있다.

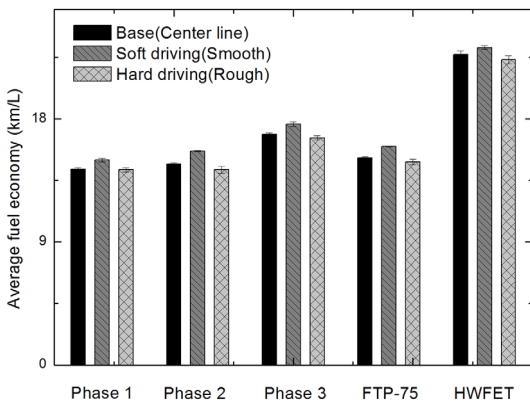


Fig. 3 Average fuel economy as driving patterns

Table 7 Increasing rate of fuel economy as driving patterns

Mode		Base vs Soft	Base vs Hard	Soft vs Hard
FTP-75	Phase 1	4.7 %	-0.2 %	4.7 %
	Phase 2	6.5 %	-2.8 %	-8.7 %
	Phase 3	4.6 %	-1.4 %	-5.7 %
	Total	5.6 %	-1.9 %	-7.1 %
HWFET		2.3 %	-1.7 %	-3.95 %

3.2 시험차량의 DQE Index와 연비 분석

Fig. 4와 Fig. 5는 FTP-75와 HWFET 모드 각 시험의 DQE Index 계산결과와 연비결과를 도시하고 있다.

먼저 운전방법에 따른 연비 영향도를 살펴보면 FTP-75 모드에서 Base 집단의 연비 오차는 ±1%로 나타나 매우 양호하였으나, Hard 집단 결과는 Base 집단 평균대비 0.3%~3.1% 연비 악화를 보였고, Soft 집단의 결과는 5.5%~5.8% 향상된 것으로 나타났다. HWFET 모드에서 Base 집단의 연비 오차는 -1.1~+2.3%로 나타났으나, Hard 집단 결과는 Base 집단 평균대비 0.3%~3.5% 연비 악화를 보였고 Soft 집단의 결과는 1.7%~2.9% 향상된 것으로 나타났다.

DQE Index는 FTP-75와 HWFET 모드 모두 Base 집단의 경우 Index가 0에 가깝게 분포하고 있으며, EER 및 ASCR, IWR의 경우 Hard 집단은 양의 방향으로 분포하고 있고, Soft 집단은 음의 방향으로 분포하고 있으며, RMSSE는 Hard와 Soft 집단 모두 Base 집단의 분포보다 큰 양의 방향으로 분포하고 있다. 각 DQE Index 분포는 Table 8에 나타내었다.

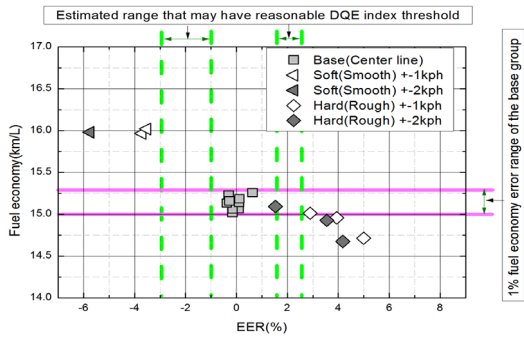
Index에 따른 연비변화 상관관계는 EER이 가장 양호하였으며(회귀분석 결정계수 FTP-75: 0.83, HWFET: 0.65) 나머지 ASCR과 IWR은 약 0.6이하의 결정계수를 보여 상관관계를 보이지 않았다. FTP-75의 EER을 제외하고 연비와 DQE Index의 상관관계가 낮기 때문에 단일 Index로 모드 추종성의 질을 판정하기 어려울 것으로 사료되며 다양한 Index를 고려하여 모드 추종성의 질을 판단하는 것이 합리적인 것으로 판단된다.

또한 전체적인 Index에 따른 연비 영향도를 살펴보면 Hard 조건보다 Soft 조건에서 연비영향이 크게 나타났다. 이는 식 (1) 및 식 (3), 식 (5)의 계산방법에 따른 영향이 있는 것으로 판단된다. EER의 경우 양의 사이클 에너지만 Index 계산에 사용하고 있으며, ASCR은 음의 가속도를 절댓값으로 환산하여 Index 계산에 포함하고 있고, IWR 역시 양의 관성 일만

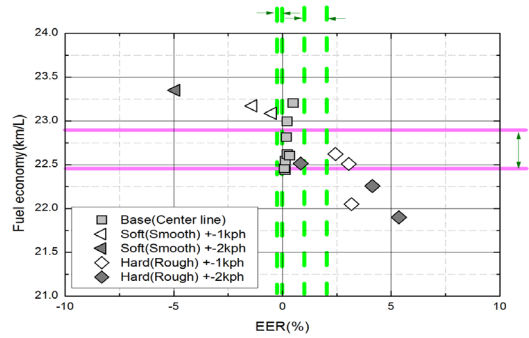
Table 8 DQE index result as driving patterns

Pattern	Index	EER (%)	ASCR (%)	RMSSE (mi/h)	IWR (%)
	FTP-75	Base	±0.7	±1.3	0.2~0.3
	Soft	-5.7~-3.5	-6.3~-2.5	0.5~1.2	-8.9~-3.3
	Hard	1.5~5.0	3.0~9.3	0.3~0.8	4.5~14.1
HWFET	Base	±0.5	±3.9	0.1~0.2	±4.9
	Soft	-4.9~-0.5	-16.6~-2.3	0.4~1.3	-20.3~-2.9
	Hard	0.8~5.4	5.5~51.7	0.3~1.5	7.4~67.6

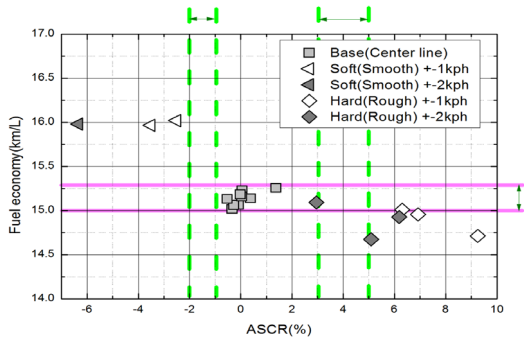
모드 추종성이 승용 자동차 에너지소비효율에 미치는 영향 연구



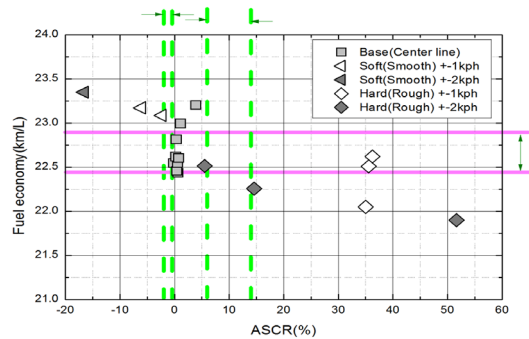
(a) EER



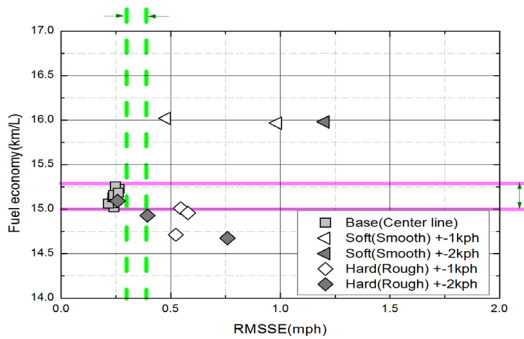
(a) EER



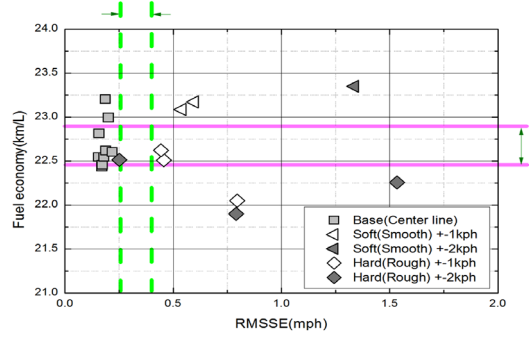
(b) ASCR



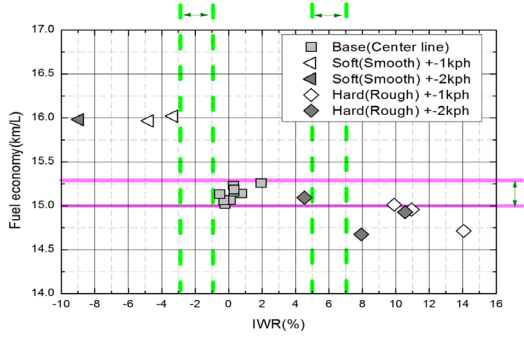
(b) ASCR



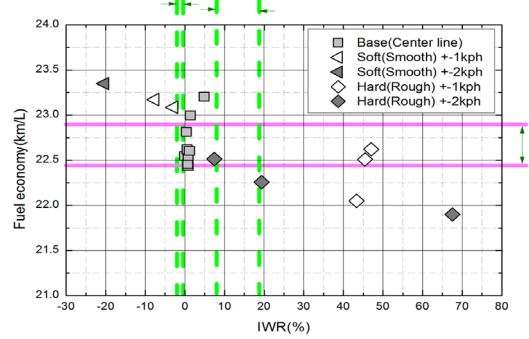
(c) RMSSE



(c) RMSSE



(b) IWR



(d) IWR

Fig. 4 FTP-75 fuel economy as each DQE index

Fig. 5 HWFET fuel economy as each DQE index

Index 계산에 사용하고 있어 Soft 운전방법에서 감속 시 최대한 부드러운 감속을 이용하여 연비를 향상시키는 경우를 배제하고 있다. 이에 따라 Soft 운전방법의 DQE Index의 절댓값이 작게 평가되어 각 Index에 따른 연비 영향도가 선형성을 띄지 않은 것으로 사료된다.

3.3 속도 허용범위 축소 효과 분석

DQE Index 설정과 평가의 최종 목적은 운전자의 운전방법에 따른 연비 오차를 축소하는 것이다. Index 계산은 수동적인 방법으로 연비시험을 마친 후 운전의 질을 평가하는 방법이다. 그러나 능동적인 방법으로 Fig. 1에 나타낸 운전자가 시험 중 활용할 수 있는 속도 허용범위(x km/h)를 현행 3.2 km/h 보다 축소하여 연비와 Index 오차를 개선시킬 수 있을 것으로 예상할 수 있다.

이에 대한 효과를 확인하기 위하여 Table 4와 같이 서로 다른 속도 허용범위($x=1, 2$)를 부여하여 시험한 결과를 Fig. 4와 5에 나타내었다. Hard와 Soft 심벌에서 흰색은 1 kph 속도 허용범위를 부여한 상태의 시험결과이며 흑색은 2 kph 속도 허용범위를 부여한 상태의 시험결과이다.

속도 허용범위 축소가 Index 오차를 개선하는 것이 유효하다면 1 kph 허용범위의 Index 절댓값이 2 kph 보다 작을 것이다. 그러나 시험결과를 살펴보면 Soft 집단은 위 예측을 따르고 있지만 Hard 집단은 1 kph와 2 kph 허용범위의 Index 절댓값의 차이가 구분되지 않고 혼재하고 있다.

또한, 속도 허용범위 축소가 연비오차를 개선하는 것이 유효하다면 1 kph 허용범위의 연비가 2 kph 보다 Base의 연비값에 근사하게 나타날 것이다. 그러나 시험결과를 살펴보면 HWFET의 Soft 집단은 위 예측을 따르고 있지만 나머지 연비 결과는 1 kph와 2 kph 허용범위의 연비 차이가 구분되지 않고 혼재하고 있다.

위 결과를 종합해볼 때 속도 허용범위 축소는 연비 오차 및 Index 오차를 개선하는 지배적인 역할을 하지 않고 있음을 알 수 있다. 다만, 시험대상과 모집단이 한정되어 있어 이 결과를 일반적 것으로 단정하려면 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

3.4 통계분석을 통한 Threshold 추정

위 3.2절에서 운전자가 고의적으로 부드럽거나 공격적인 운전을 함으로써 Base 조건과 각 조건 사이에 연비와 Index 공백이 범위 형태(Estimated range)로 Fig. 4와 5에 나타났다. 각 그림에 두 수평선으로 표시된 범위는 Base 집단의 평균 연비시험 결과의 $\pm 1\%$ 오차범위를 나타내고 있으며, 두 수직점선으로 표시된 범위는 $\pm 1\%$ 연비오차를 벗어나지 않는 최대 Index부터 오차를 벗어나는 최소 Index까지 공백 범위를 나타낸 것이다.

이 공백 범위는 1대의 경유차를 이용한 시험을 통하여 고의적인 운전과 일반적인 운전의 연비와 Index의 차이를 나타내고 있지만 정량적인 Threshold를 산출할 수 없다. 그러나 이 공백범위에 정량적인 Threshold가 위치하고 있을 것이다.

더 많은 시험을 수행하여 연비오차 허용범위에 가까운 Index를 확인하고 이를 Threshold로 설정하는 방법도 좋은 방법이나, Table 1에 나타낸 미국의 Threshold 제안과 같이 일반적이고 비교의적인 운전으로 수행된 많은 시험의 DQE Index 분포를 활용하여 현실적 Threshold를 제안하는 것도 좋은 방법이다.

또한 위 후자의 방법으로 현실적 Threshold를 확인하고 이 Threshold가 Fig. 4와 5의 공백범위에 위치한다면 합리적인 Threshold로 추정할 수 있을 것이다.

먼저 일반적 Index 분포를 활용함으로써 현실적 Threshold를 확인하기 위하여 1개의 차대동력계 시험실에서 각기 다른 차량으로 수행된 150개 공식 시험의 DQE Index를 계산하여 분포(빈도수 및 정규분포)를 Fig. 6에 나타내었다.

먼저 150개의 통계량을 살펴보면 전체적으로 0에서 우측(+)으로 정규분포가 이동하여 나타나는 것을 확인할 수 있다. EER의 경우 FTP-75 시험결과들은 $-1.0\% \sim 2.0\%$ 수준의 백분위(2σ)를 보이고 있고 정규분포에 따른 2σ 확률분포($-1.2\% \sim 2.0\%$)도 유사하다. HWFET의 EER 역시 시험결과들은 $-0.7\% \sim 1.0\%$ 수준의 백분위(2σ)를 보이고 있고 정규분포에 따른 2σ 확률분포($-0.8\% \sim 1.0\%$)도 유사하다.

FTP-75 모드의 EER 확률분포의 최솟값(-1.2%)은 3.2절의 Fig. 4(a)의 EER 하한 공백범위($-0.3\% \sim -1.0\%$)에 위치하고 있고 최댓값(2.0%)은 상한 공백

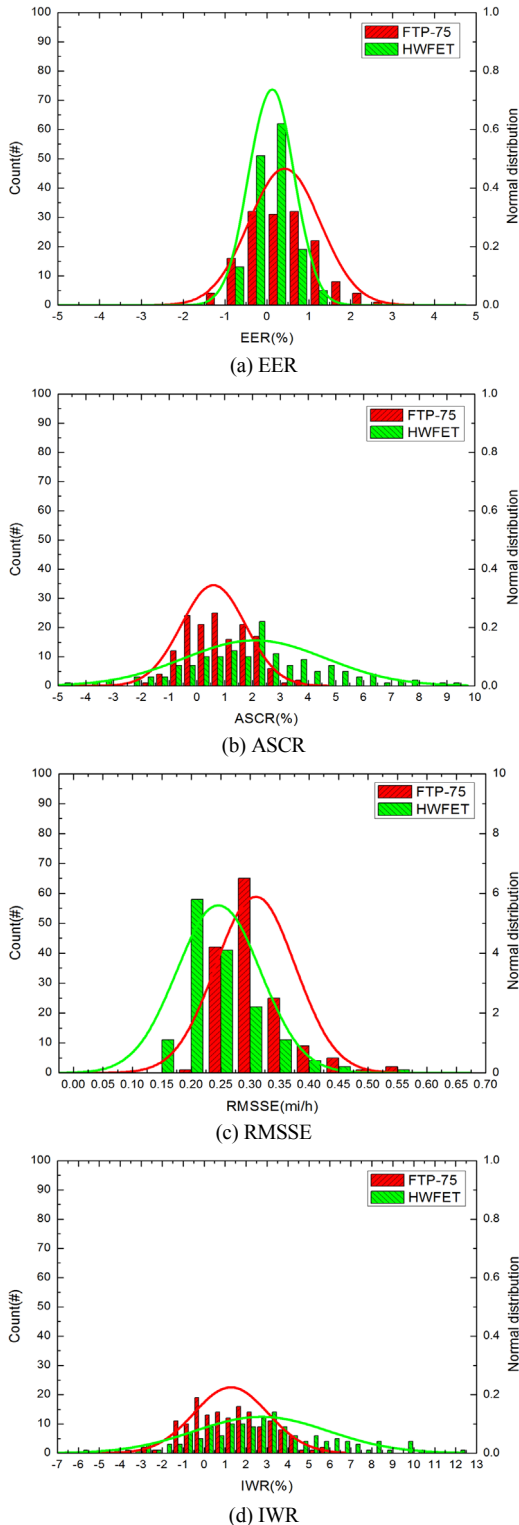


Fig. 6 Histogram and normal distribution of 150 tests' index

범위(1.0 % ~ 2.0 %)에 위치하는 것으로 나타났다. 따라서 현실적이고 합리적인 정량적 EER Threshold는 최소 -1.2 %, 최대 2.0%가 적절한 것으로 판단된다.

HWFET 모드의 EER 확률분포의 최솟값(-0.8 %) 역시 Fig 5(a)의 EER 하한 공백범위(0.0 % ~ -0.5 %)에 위치하고 최댓값(1.0 %)도 상한 공백범위(1.0 % ~ 2.0 %)에 위치하고 있어 EER Threshold는 최소 -0.8 %, 최대 1.0 %가 적절한 것으로 판단된다.

위와 같은 EER 적정 Threshold 선정 논리로 나머지 ASCR 및 RMSSE, IWR도 3.2절의 시험결과에 나타난 상·하한 공백범위에 확률분포 최댓값 및 최솟값이 위치하고 있어 이 방법으로 적정수준의 Threshold 산출이 가능하다. Table 9에 통계분포 및 확률분포 데이터, 3.2절의 공백 범위를 나타내었고 이에 따른 적정 Threshold 제안 값을 나타내었다.

본 연구에서 제안된 Threshold는 상한(공격적인 운전)의 절댓값이 크고 하한(부드러운 운전)의 절댓값이 작다. 그러나 SAE J2951(Table 1) 및 WLTP trace index TF(Table 2)에서 제안하는 Threshold는 상한과 하한의 절댓값이 같다. 이 이유는 SAE J2951에서 제안하는 범위 산출 시 확률분포를 구할 때 평균값을 0으로 대입하였기 때문이다. 이와 같이 평균값을 0으로 하여 본 연구결과의 확률분포를 구할 경우 두 가지 문제점이 발생한다.

한 가지 문제점은 SAE J2951의 ASCR max capability range의 하한은 -2.43 %로 Table 9에 나타난 하한 공백 범위(Estimated range (-))의 최솟값(-2.0 %) 보다 작은 값이기 때문에 연비에 영향을 미칠 수 있는 범위에 해당한다.

그리고 Table 2에서 나타난 JPN data에서도 Fig. 6의 150개 시험데이터의 결과와 같이 상한 Threshold의 절댓값이 하한의 절댓값보다 크게 나타나고 있다. 이와 같이 보편적인 시험실 운전자의 DQE index가 양의 방향에 치우쳐 있다면 확률분포를 산출할 때 평균값을 임의의 0으로 적용할 경우 상한 Threshold 값이 작아지는 효과를 가져와 연비 영향도가 매우 작음에도 불구하고 상한 Threshold를 초과하여 불필요한 재시험이 요구될 수 있다. 단, 본 연구에서 Threshold 존재 추정범위는 1대의 경우 차량을 상대로 산출하였기 때문에 다양한 차량을 대상으로 연구를 수행하

Table 9 Threshold proposal and statistical analysis

Test mode		Index	EER (%)	ASCR (%)	RMSSE (mi/h)	IWR (%)
FTP-75	150 vehicles data	Percentile (2σ)	-1.0 ~ 2.0	-1.1 ~ 2.9	0.44	-1.4 ~ 4.4
		Normal probability (2σ)	-1.2 ~ 2.0	-1.4 ~ 3.1	0.41	-2.2 ~ 4.8
	Estimated range*	(-)	-3.0 ~ -1.0	-2.0 ~ -1.0	3.0 ~ 5.0	-3.0 ~ -1.0
		(+)	1.0 ~ 2.0	3.0 ~ 5.0		5.0 ~ 7.0
	Threshold proposal	Min.	-1.2	-1.4	-	-2.2
		Max.	2.0	3.1	0.41	4.8
HWFET	150 vehicles data	Percentile (2σ)	-0.7 ~ 1.0	-3.1 ~ 7.5	0.37	-3.4 ~ 9.5
		Normal probability (2σ)	-0.8 ~ 1.0	-4.0 ~ 6.4	0.36	-3.6 ~ 9.1
	Estimated range*	(-)	0 ~ -0.5	-0.5 ~ -2.0	0.3 ~ 0.4	-0.5 ~ -2.5
		(+)	1.0 ~ 2.0	6.0 ~ 14.0		8.0 ~ 19.0
	Threshold proposal	Min.	-0.8	-4.0	-	-3.6
		Max.	1.0	6.4	0.36	9.1

* Estimated range that may have reasonable DQE index threshold

여 이에 대한 검증이 필요할 것으로 판단된다.

3.5 ASCR과 IWR의 상관관계

Fig. 7은 150개 시험의 ASCR과 IWR 결과를 회귀 분석한 결과를 도시하고 있다. 두 Index를 회귀 분석한 결과 결정계수가 FTP-75 모드에서 0.996, HWFET 모드에서 0.998을 보임에 따라 비록 정비례하고 있지는 않으나 두 Index는 밀접한 상관관계를 가지고 있는 것으로 판단된다. 따라서 IWR과 ASCR 둘 중 하나는 DQE Index에서 제외하여도 무방할 것으로 사료된다.

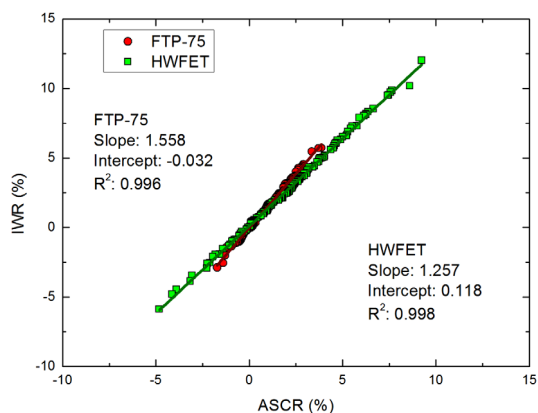


Fig. 7 Regression analysis between ASCR and IWR

4. 결론

본 연구는 국내 연비 시험모드인 FTP-75 모드 및 HWFET의 모드 추종성 허용범위(DQE Index Threshold) 선정을 위한 기초연구의 일환으로 1대의 경유 차량을 속도 허용범위 내에서 고의적인 부드러운 운전과 공격적인 운전을 통한 DQE Index와 연비의 상관관계를 분석하였다. 또한 적정 DQE Index Threshold를 제시하기 위하여 150개 공식 시험에 대한 Index 통계분석을 통하여 아래와 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 고의적인 부드러운 운전은 목표속도를 일반적으로 추종한 운전 대비 FTP-75는 평균 5.6 %, HWFET 평균 2.3 %의 연비가 향상되었다.
- 2) 고의적인 공격적인 운전은 목표속도를 일반적으로 추종한 운전 대비 FTP-75는 평균 1.9 %, HWFET 평균 1.7 %의 연비가 악화되었다.
- 3) FTP-75 모드에서 고의적인 부드러운/공격적인 운전과 일반적인 운전의 Threshold(하한/상한) 존재 추정범위는 EER(%) -3.0~-1.0 / 1.0~2.0, ASCR(%) -2.0~-1.0 / 3.0~5.0, RMSSE(mi/h) 3.0~5.0, IWR(%) -3.0~-1.0 / 5.0~7.0으로 나타났다.
- 4) HWFET 모드에서 고의적인 부드러운/공격적인 운전과 일반적인 운전의 Threshold(상한/하한) 존재

재 추정범위는 EER -0.5~0 / 1.0~2.0, ASCR -0.5~-2.0 / 6.0~14.0, RMSSE 3.0~4.0, IWR -0.5~-2.5 / 8.0~19.0으로 나타났다.

- 5) 일반적으로 운전된 150개의 FTP-75 및 HWFET 모드 시험의 DQE Index의 정규 확률분포(2σ)는 개별 시험데이터 백분위(2σ)와 유사한 값을 나타냈으며 EER(FTP-75/HWFET) -1.2~2.0 / -0.8~1.0, ASCR -1.4~3.1 / -4.0~6.4, RMSSE 0.41 / 0.36, IWR -2.2~4.8 / -3.6~9.1로 위 3)과 4) 결론의 Threshold 존재 추정범위 내 위치하여 이 값을 적정 DQE Threshold로 제안하였다.
- 6) DQE Index 중 ASCR과 IWR은 회귀분석에 의한 결정계수가 0.99로 나타나 밀접한 상관관계가 있는 것으로 나타났다.

후 기

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원의 지원으로 수행되었음(과제번호 14 TLRP-C090731-01).

References

- 1) H. Wi and J. Park, "Analyzing Uncertainty in Evaluation of Vehicle Fuel Economy Using FTP-75," Int. J. Automotive Technology, Vol.14, No.3, pp.471-477, 2013.
- 2) H. Kim, "Eco-Friendly Technology for Improving Fuel Economy," Auto Journal, KSAE, Vol.34, No.1, pp.32-38, 2012.
- 3) U. S. Environmental Protection Agency, "Fuel Economy Procedures," EPA/Industry Light Duty Vehicle Compliance Meeting, pp.50-63, 2013.
- 4) SAE J2951, Drive Quality Evaluation for Chassis Dynamometer Testing, SAE International, Surface Vehicle Recommended Practice, 2014.
- 5) WLTP Trace Index Task Force(TF), Progress Report Speed Trace Violations / Drive Trace Index, 2015.
- 6) S. Kim, K. Kim, J. Ha, S. Kwon and Y. Seo, "A Study about Impact of Battery SOC on Fuel Economy of Conventional Diesel Vehicle," Transactions of KSAE, Vol.24, No.4, pp.480-486, 2016.
- 7) G. Cho, H. Wi, J. Lee, J. Park and K. Park, "Effect of Alternator Control on Vehicle Fuel Economy," Transactions of KSAE, Vol.17, No.2, pp.20-25, 2009.
- 8) J. Lee and J. Ryu, "Research for RVC Validation Method," KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1667-1670, 2011.