Transactions of KSAE, Vol. 29, No. 6, pp.507-514 (June, 2021)

Check for updates

Copyright © 2021 KSAE / 187-02
pISSN 1225-6382 / eISSN 2234-0149
DOI http://dx.doi.org/10.7467/KSAE.2021.29.6.507

5사이클 시험 및 실 주행 데이터를 이용한 공회전제한 장치의 연비개선효과

이 현 직 · 이 기 형*

한양대학교 기계설계공학과

Effect of the Idle Stop-Start Technology on Fuel Economy Improvement Using 5-cycle Test and Real-World Driving Data

Hyeonjik Lee · Kihyung Lee*

Department of Mechanical Design Engineering, Hanyang University, Gyeonggi 15588, Korea
(Received 21 October 2020 / Revised 27 January 2021 / Accepted 3 February 2021)

Abstract : The idle stop-start technology has an excellent fuel economy improvement effect in the certification cycle and can be recognized for its additional off-cycle credit. Therefore, its installation rate is gradually increasing with its perception as a useful device for meeting the reinforced fuel economy standard. However, due to the technical characteristics of the technology, its effect can be expected only in heavy traffic, and its usage rate may be limited in various environments such as a low outside temperature, a sloped road, and air conditioning operation. Therefore, research is lacking on the effect of improving fuel economy on real roads. In this study, a five-cycle test was conducted with a sports utility vehicle that had a 2.0-liter turbocharged GDI engine with an idle stop-start function, and big data from real road driving conditions were collected and analyzed using telematics information. Finally, the effect of the idle stop-start technology on fuel economy improvement was evaluated and compared with the laboratory results.

Key words : Fuel economy(연비), Real road condition(실 도로조건), Idle stop-start technology(공회전제한 기술), Off-cycle credit(오프사이클 크래딧), 5-cycle test(5사이클 시험), Telematics(텔래매틱스)

1. 서 론

차량의 연비성능은 중요한 상품성 중의 하나였으나, 최근 많은 제조사들에게는 생존과 연관되는 규제의 대상이 되었다. 미국 고속도로교통안전국 자료[1]에 따르면 오바마 행정부 때 25MY 승용차기준 기업평균연비(CAFE)목표 56 mpg를 제정하였고, 트럼프 행정부에서 다시 연평균 개선목표치를 기존 5 %에서 1.5 %로 완화하는 SAFE(Safer Affordable Fuel-Efficient)를 발표하여 25MY승용차기준 47 mpg로 하향 조정하였다. 통상 제조사는 5~6년 주기로 풀 모델 체인지 된 신차를 제공하고 있으며, SAFE에 대응하기 위해서는 최소 8~9 % 수준 이상의 연비개선이 필요하다. 만약 바이든 정부에서 다시 기업평균연비규제가 원복 될 경우 내연기관 기반의 기술만으로는 매우 도전적인 과제가 될 것이다. 그리고 제조사가 연비규제치를 만족하지 못할 경우 막대한 금액의 페널티를 부과받을 수 있다. 만약 10만대 판매수량의 차량이 연비규제치를 1 mpg 미달되었다면 페널티 금액은 $5.5/0.1 mpg x 10 x 10만대 = $55백만(환화로 약 646억원)수준이 된다.

따라서 제조사들은 막대한 페널티부과와 같은 리스크를 최소화하기 위해 기술 개발 투자를 통해 차량연비를 적극적으로 개선하여 규제치 이상을 달성하거나 그렇지 못할 경우, 별도의 크레딧 획득을 위해 에어컨 효율개선, 냉매 누설 저감 및 시험실 조건대비 실제 도로에서 온실가스 저감효과가 있는 기술(이른바 오프사이클 기술)의 적용을 적극적으로 검토하고 있는 실정이다. 특히 오프사이클 기술의 경우 Table 1과 같이 연비 기술별 정의된 내용에 따라 크래딧 량이 결정된다.

*Corresponding author, E-mail: hylee@hanyang.ac.kr
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium provided the original work is properly cited.

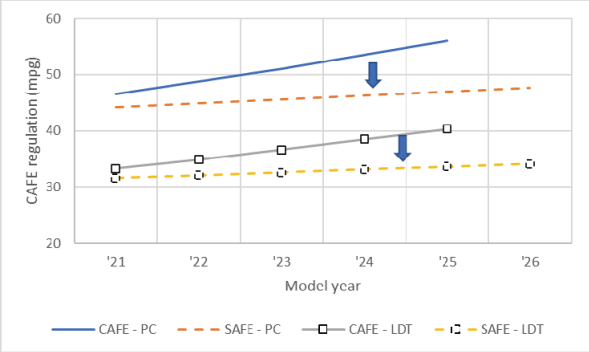

Fig. 1 CAFE & SAFE standards according to model year of passenger car and LDT

Table 1 Credit available for certain off-cycle technologies

Technologies	Cars (g/mile)	LDT (g/mile)
High efficiency exterior lighting (at 100W)	1.0	1.0
Waste heat recovery (at 100W: scalable)	0.7	0.7
Solar roof panels (for 75W, battery charging only)	3.3	3.3
Solar roof panels (for 75W, active cabin ventilation + battery charging)	2.5	2.5
Active aerodynamic improvements (scalable)	0.6	1.0
Engine idle stop-start with heater circulation system	2.5	4.4
Engine idle stop-start without heater circulation system	1.5	2.9
Active transmission warm-up	1.5	3.2
Active engine warm-up	1.5	3.2
Solar/Thermal control	max 3.0	max 4.3

특히 오프사이클 기술 중 공회전제한기술(Idle stop-start technology)는 인증모드뿐 아니라 도심 정체구간에서 연비개선 효과가 우수하고, 휘발유와 경유 차량에 무관하게 그 기술적용성이 매우 우수하여 많은 차량에 확대되고 있다.

공회전제한기술은 차량 정차 시 엔진 가동 및 중단 여부를 스스로 판단하고, 주행 시 알터네이터의 부하를 저감시키고 감속 때 배터리를 충전하도록 되어 있다(Fig. 2).

이러한 공회전제한기술은 시동횟수 대폭 증가 대응을 위한 강화 스타터모터, 배터리상태 모니터링을 위한 배터리센서, 충방전 내구 보강된 AGM(Absorbent Glass Mat)배터리 및 재시동시 전압 하강 방지를 위한 DC/DC 컨버터로 구성되어 있다(Fig. 3). 그리고 엔진정지시 변속기측 유압을 유지하고, 재출발시 지연감을 최소화하기 위해 전동식 오일펌프(Electrical oil pump), 언덕출발시 밀림방지를 위한 밀림방지 장치(Hill assist control)를 적용하여 주행 편의성을 확보할 수 있다. 그리고 COM (Change of Mind)과 같은 과도운전 구간에서 운전성을

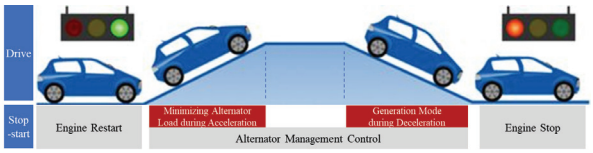

Fig. 2 Synergy effect of idle stop-start and alternator management control

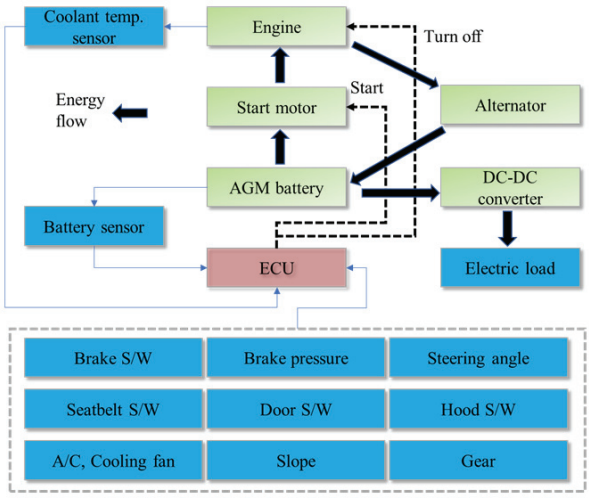

Fig. 3 Schematic diagram of idle stop-start system

보완하기 위해 차속 및 엔진RPM 연동 스타터모터(Tandem starter)나 48 V 시스템과 결합한 벨트드리븐 마일드하이브리드 스타터제너레이터(Mild hybrid starter & generator)를 적용하기도 한다.

공회전제한기술을 장착한 차량은 인증모드상 연비 개선효과뿐 아니라 별도의 오프사이클 크레딧을 획득받을 수 있다. 특히 전기난방 순환시스템을 장착한 승용차량에 대해서는 2.5 g/mile, 그렇지 못한 경우 1.5 g/mile의 오프사이클 크레딧을 획득할 수 있다. 여기서 전기난방순환 시스템 또는 유사장치는 외기 0 ℃ 이하에서 실내난방이 가동되는 조건에서 1분이상 엔진이 꺼진 상태로 유지되면 그 기술을 인정받을 수 있다. 그래서 일부 제조사들은 크레딧을 최대한 인정받기 위해 외기온도가 낮은 조건이라도 공회전제한기술이 작동된 이후 그 유지시간을 최소 1분 이상 되도록 설정되어 있다. 그래서 동계시즌에 공회전제한기술이 빈번하게 작동될 경우 난방성능 악화가 우려될 수 있다.

이렇게 공회전제한기술은 주행환경이나 운전자의 운전습관이나 성향에 따라 그 작동빈도가 달라지기 때문에 실도로 주행환경에서 공회전제한기술의 연료소모량이나 온실가스 저감효과는 달라질 수 있다.

Whittal[2]은 휘발유와 경유차량에 대해서 북미 5사이클

모드, NYCC, Japanese10-15모드 뿐 아니라 캐나다 실도로 주행조건에 대해 공회전제한기술의 작동유무에 따른 효과를 정량적으로 평가하였다. 특히 외기온도, 도심주행 빈도, 정차 빈도, 연간 주행거리에 따라 공회전제한기술의 연료비 저감효과가 크게 달라질 수 있음에 주목하였다.

Wishart 등[3]도 3대의 가솔린차량에 대해 시험실과 Fleet 상황에 기반을 둔 실도로 환경에서 공회전제한기술의 효과를 정량적으로 제시하였다. 특히 공회전제한기술은 변동요인이 많은 실도로 대비 시험실 조건에서 그 효과가 높은 것으로 확인되었다. 하지만 실도로 조건은 여전히 명확하게 정의하기가 어렵기 때문에 시험실과 실도로 조건에서 공회전제한기술의 효과 차이를 일반화하기에는 어려움이 있었다.

그래서 본 연구에서는 2.0리터 터보GDI엔진이 장착된 SUV에 대해 북미 5사이클 시험을 실시하여 공회전제한기술의 CO_2저감효과를 정량적으로 확인하고, 동일한 모델에 대해 2019년 1～12월 동안 북미 실제도로를 주행한 차량에서 취득한 CAN 데이타를 분석하여 실 도로 주행조건에서 공회전제한기술의 연비개선 저감효과를 산출하여 인증모드 효과와 비교하고, 법규에서 제공하는 오프사이클 크래딧량의 적절성을 점검해 보았다. 특히 실도로 데이터는 텔레매틱스 정보를 활용하였기 때문에 다양하고 광범위한 주행환경을 포함하였다.

2. 시험방법

본 연구에서는 공회전제한기술의 온실가스 저감효과를 확인하기 위하여 다양한 운전조건을 포함하는 북미 5사이클 시험모드를 적용하였다. 5사이클 시험모드는 북미 배출/연비 평가용 시험모드이다. 5사이클 시험모드는 5개의 시험모드를 의미하며, 도심주행을 모사한 FTP-75, 국도 및 고속도로 조건을 고려한 HFET(Highway Fuel Economy Test), 고속고부하 운전환경을 반영한 US06, 태양광 모사 조건에서 에어컨이 작동하는 SC03 및 저온조건의 Cold FTP로 구성되어 있다. Table 2[4]에 5사이클 시험모드 내용을 간단히 비교 정리하였다.

Fig. 4는 5사이클 시험모드의 속도 프로파일을 나타내었다. 특히 Cold FTP는 FTP-75와 프로파일이 동일하나 FTP-75대비 도로부하는 110 %, 외기온은 -7 ℃, 난방장치를 작동하는 조건의 시험모드이다.

Table 3에 나타낸 것처럼 본 연구에 사용된 시험차량은 2.0리터 터보직분식 엔진과 8단 자동변속기을 탑재한 북미 19MY 사륜구동 스포츠 유틸리티 차량이다. 또한, 공회전제한기술과 알터네이터 발전제어 기술이 적용되어 있으며, 시험차량의 시험중량과 도로부하정보는 인

Table 2 Comparisons of 5-cycle test mode

Cycle Attributes	Test cycle				
	FTP-75	HFET	US06	SC03	Cold FTP
Trip type	Low speeds in stop-and-go urban traffic	Free-flow traffic at highway speeds	Higher speed & harder acceleration & braking	A/C use under hot ambient conditions	City test with colder outside temp.
Top speed	56 mph	60 mph	80 mph	54.8 mph	56 mph
Average speed	21.2 mph	48.3 mph	48.4 mph	21.2 mph	21.2 mph
Max. acceleration	3.3 mph/sec	3.2 mph/sec	8.46 mph/sec	5.1 mph/sec	3.3 mph/sec
Simulated distance	11 mi.	10.3 mi.	8 mi.	3.6 mi.	11 mi.
Time	31.2 min.	12.75 min.	9.9 min.	9.9 min.	31.2 min.
Stops	23	None	4	5	23
Idling time	18% of time	None	7% of time	19% of time	18% of time
Engine startup*	Cold	Warm	Warm	Warm	Cold
Lab temperature	68°F–86°F			95°F	20°F
Air conditioning	Off	Off	Off	On	Off

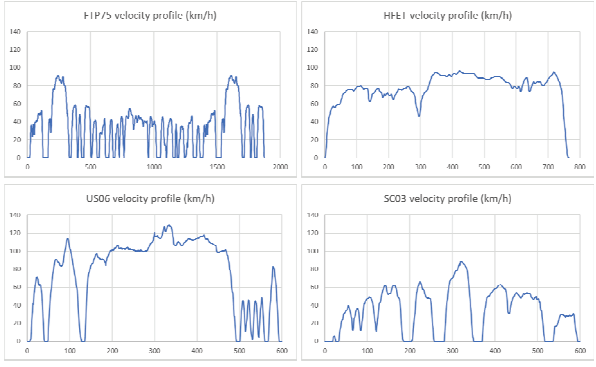

Fig. 4 Speed profiles of 5-cycle test mode

Table 3 Specifications of test vehicle

Vehicle	L x W x H (mm)	4,770x1,890x1,680
	Tire Size	235/55R19
	Curb weight (kg)	1,843~1,853
	ETW (lb)	4,500
	Battery	80Ah AGM
	Drivetrain	AWD
Engine	Type	In-line 2.0L T-GDI, DOHC
	Max Power/Torque (kW/kgfm)	175 / 35.3
	Alternator	13.5V, 150A
	Emission standard	Tier3 Bin70/LEVIII ULEV70
Transmission	Type	8 speed AT
Fuel Economy	City/Highway/Comb (mpg)	19 / 24 / 21

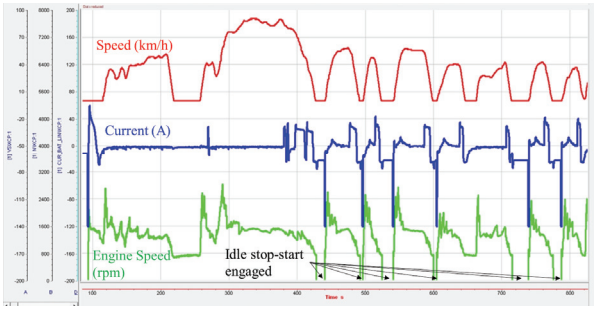

Fig. 5 Behaviors of idle stop-start and alternator management control

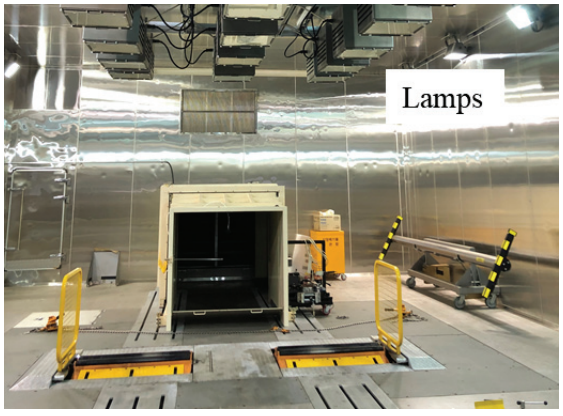

Photo. 1 Climate chamber with chassis dynamometer

Table 4 Properties of test fuel

Items	Tier-2	Tier-2 Cold CO
Specific gravity	0.742	0.736
NHV (btu)	18468	18719
CWF (wt%)	0.868	0.866

증정보[5]를 활용하였다. 알터네이터 발전제어 기술의 특징은 정속, 가속조건에서는 알터네이터 부하를 저감시키고 감속 연료컷 구간에서 알터네이터 회생을 통해 배터리 충전성능을 증대한 것이다. 본 시험 전 UDDS(Urban Dynamometer Driving Schedule)모드를 통한 사전시험을 통해 공회전제한기술의 작동성과 발전제어 거동을 확인하였다(Fig. 5).

본 시험에 사용된 차대동력계는 전기제어식이며, 관성중량 제어범위는 454～5433 kg으로 직경 122 cm의 싱글 롤러 타입이다. 특히 -7 ℃ 외기조건의 Cold FTP와 850 W/m^2 태양광 모사가 필요한 SC03 시험을 위해 Photo. 1에서 보여주는 복합 환경챔버에서 시험을 실시하였다.

Table 4는 시험차량에 적용한 북미 인증용 연료의 성상을 나타내었다. FTP-75, HFET, US06, SC03 시험용 연료는 Tire-2이며 Cold FTP용 시험연료는 저온 증발특성이 강화된 Tier-2 Cold CO 연료이다. 두 연료 모두 에탄올 함량은 없으며 아래 식 (1)과 같이 카본밸런스에 근거한 연비계산식을 적용하여 차량 연비를 산출하였다.

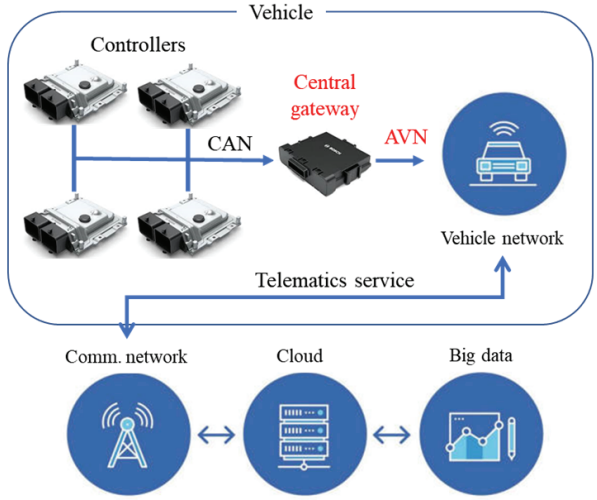

Fig. 6 Acquisition & transmission route on real road driving data

Table 5 Amounts of driving data used for analysis by time period

Period	Jan. to Apr.	May to Aug.	Sep. to Dec.
Number of trips	520,287	1,020,110	1,019,111

$$mpg = \frac{5174 \times 10^4 \cdot CWF \cdot SG}{(CWF \cdot HC + 0.429 \cdot CO + 0.273 \cdot CO_2) \times (0.6 \cdot SG \cdot NHV + 5471)} \quad (1)$$

실도로 주행 거동을 분석하기 위해 북미 임의지역 운전자를 대상으로 본 연구에 사용한 시험차종과 동일사양 차량의 주행데이터를 이용하였다. Fig. 6과 같이 텔레매틱스 서비스(블루링크 서비스™)를 통해 1초 간격으로 수집된 CAN데이터는 클라우드 서버에 저장되며, 계절별 특성을 포함하기 위해 Table 5에서 보여주듯이 19년 1월부터 12월동안 기간별로 나누어서 통계 처리하였다. 각 개별 데이터는 1회 Trip 기준이며 중복 운행을 포함한다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 5사이클 시험결과

Fig. 7은 공회전제한기술의 작동유무에 대한 연비와 CO_2결과를 보여준다. 2사이클 라벨연비는 FTP-75와 HFET 연비결과만을 사용하여 도심과 고속 보정연비를 산출한 후 도심 55 %, 고속 45 % 조화평균하여 산출하였다. 5사이클 라벨연비는 FTP-75, HFET, US06, SC03 및

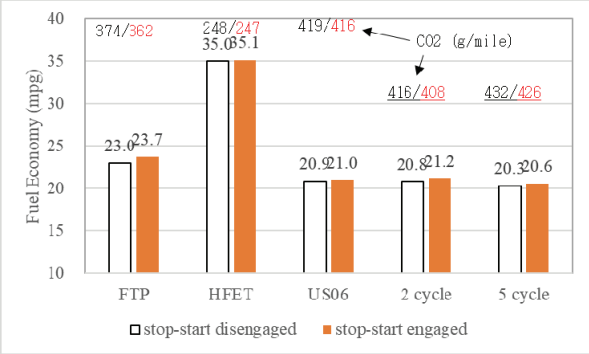

Fig. 7 Fuel economy results for various test modes

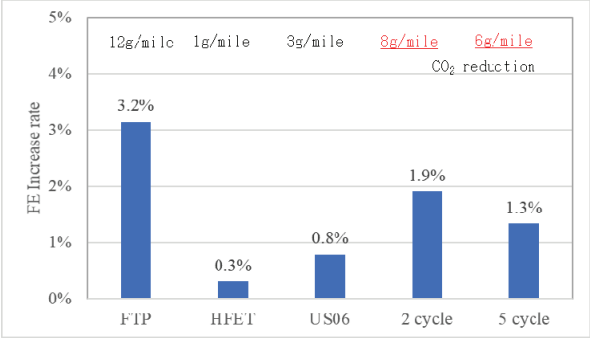

Fig. 8 Fuel economy increase rate by idle stop-start technology

Cold FTP 5개 시험결과를 모두 활용하여 도심과 고속연비를 산출한 후 도심 55 %, 고속 45 % 조화평균하여 산출하였다. 특히 SC03과 Cold FTP 모드에서는 공회전제한기술이 작동되지 않았다. 그 이유는 SC03 모드에서는 Full 에어컨 작동조건 때문(냉방성능확보)이며, Cold FTP에서 미작동 사유는 낮은 배터리 온도에서 공회전제한 장치에 의한 잦은 충방전은 배터리 수명을 단축시키기 때문이다. Cold FTP 시험동안 배터리 표면온도 측정결과 -5 ℃ 이하 수준으로 확인되었다.

공회전제한기술의 효과는 아이들 정차빈도가 가장 많은 FTP-75에서 3.2 % 수준으로 가장 높게 나타났다(Fig. 8). 하지만 일부 아이들 구간에서 공회전제한 기술은 작동되지 않았는데 그 이유는 증발가스 시스템 진단을 위한 것으로 확인되었으며 그 외 나머지 정차 구간에서는 모두 엔진 꺼짐이 확인되었다. 2사이클 대비 5사이클 연비 효과가 더 감소한 이유는 실도로 환경을 고려한 5사이클 연비산출시 공회전제한장치의 연료저감 효과가 없거나 거의 미미한 US06, SC03, Cold FTP 연비가 포함되기 때문이다. 김세준 등[6]은 국내 가솔린 차량에 대해 CVS-75 모드(북미 FTP-75와 동일) 기준 6.1 %의 효과를 제시하였고 황규만 등[7]은 4.8 %를 제시하였는데 본 연구 결과인 3.2 %와 다소 차이를 보인다. 기존의 연구대비 본 연구에서 효과가 작은 이유는 공회전제한장치의 효과에서 FTP-75 두번째 아이들 구간에서 OBD진단 작동으로 공회전제한기술이 미 작동되었기 때문이다.

3.2 실 도로 주행거동

실 도로 주행환경에서 공회전제한기술의 연료절감효과를 분석하기 위해 실제연료 성상의 편차와 클러스터 표시 연료량 정보의 정확성에 대한 점검이 필요하였다. 북미 현지 연료에 대한 편차를 확인하기 위하여 SGS (Societe Generale de Surveillance)에서 실시한 19~20년 하절기, 동절기 연료성상 Survey 결과를 참고하였다. 차

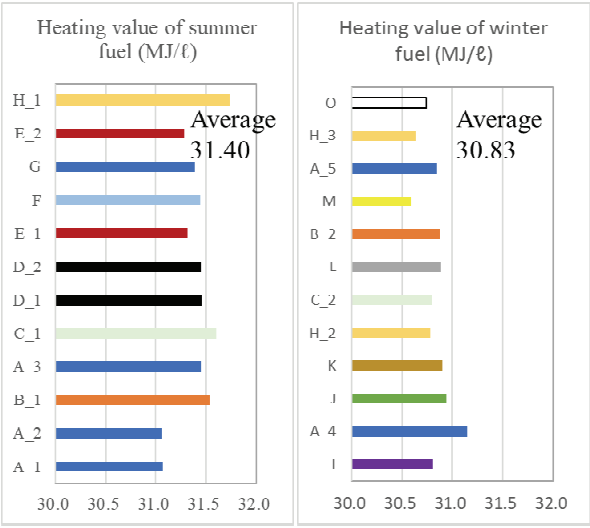

Fig. 9 Heating value of fuel by various refiners in US, 2019~2020 (Survey results by SGS)

Test mode		Volumetric Flow meter mpg	Cluster trip computer mpg	Trip computer error
Constant Speed	40kph	40.30	41.5	3.1%
	60kph	42.28	43.4	2.7%
	80kph	40.47	41.5	2.5%
	100kph	33.25	33.9	2.1%
	120kph	26.89	27.5	2.3%

Fig. 10 Comparison between cluster displayed fuel economy and actual fuel economy measured by volumetric flow meter

량 연비에 영향을 주는 주요 인자인 체적당 발열량에 대해서 8개 정유사에 대해 조사한 결과(Fig. 9) 하절기 평균 31.4 MJ/L, 동절기 평균 30.8 MJ/L, 전체 평균 31.11 MJ/L로 북미인증유 대비 약 2.0 % 높았다. 그리고 본 연구에 사용한 시험차량의 클러스터 표시연비와 실제연비와 차이

를 확인하기 위해 체적식 유량계를 이용하여 40～120 km/h 구간 정속연비를 비교한 결과 클러스터 표시연비가 유량계 측정연비 대비 약 2～3 % 정도 오버 리딩(유량계 측정연비 대비 우세표시)됨을 확인할 수 있었다(Fig. 10).

북미 현지 연료의 체적당 발열량이 인증연료대비 2 % 높고(연비 우세방향), 텔레매틱스 서비스를 통해 전송되는 클러스터 표시연비가 유량계 측정연비 대비 2～3 % 높게 표시되는 특성을 고려하여 실도로 주행 연비 분석 시 총 4 %정도 연비를 하향 조정하였다.

그리고 실 도로 운전조건에서 공회전제한기술의 연료절감 효과를 분석하기 위해 D단에서 에어컨 작동 유무에 따른 엔진 아이들 연료소모량을 측정하였다. 엔진의 연료소모량 측정은 체적식 유량계를 적용하였고 부가적인 전기부하가 없는 조건에서 300초동안 누적 연료량을 측정하였다. 측정결과 에어컨 작동유무에 따른 아이들 연료소모량 증가율은 약 36.8 % 수준으로 확인되었다.

Fig. 11은 실 도로 주행조건에서 분석한 주행시간 분포를 보여준다. 특히 30분 이내로 주행이 완료되는 빈도가 전체의 약 85 % 수준이며, 평균 주행시간은 약 19분이었다. 평균 속도는 약 34 km/h 수준으로 FTP-75(34.1 km/h)나 SC03(34.6 km/h)의 평균속도와 상당히 유사하였다(Fig. 12). 평균속도와 주행시간을 함께 고려할 경우 10분 이내, 30 km/h 이하로 주행하는 빈도가 가장 높게 조사되었으며, SC03 모드의 거동과 가장 유사하였다(Fig. 13).

Fig. 14는 실 도로 주행조건에서 에어컨 사용율 빈도를 보여준다. 에어컨 사용율은 90 % 이상(대부분 주행 시 에어컨 작동)으로 조사되었으며, 전체 평균사용율은 약 88 % 수준으로 높았다. 그래서 실 도로 주행조건에서 공회전제한기술의 연비개선 효과를 예측할 때 항시 에어컨 작동조건으로 검토하게 된 근거가 되었다.

Fig. 15는 실 도로 주행조건에서 공회전제한기술의 사용율 빈도를 보여주었다. 공회전제한기술의 사용율 2 % 미만이 가장 높은 빈도로 조사되었으며 전체평균 사용율은 약 4.5 % 수준으로 조사되었다.

여기서 공회전제한기술의 사용율은 주행시간에 대한 공회전제한장치의 작동시간의 비율로 정의하였다. FTP-75 모드에서 아이들 정차 비율은 약 18 % 수준이나 OBD진단 등의 사유로 공회전제한장치를 사용할 수 없는 구간을 고려하면 실제 작동빈도는 15 % 정도이다. 실 도로 주행조건에서 공회전제한장치의 작동율은 운전자의 요청,

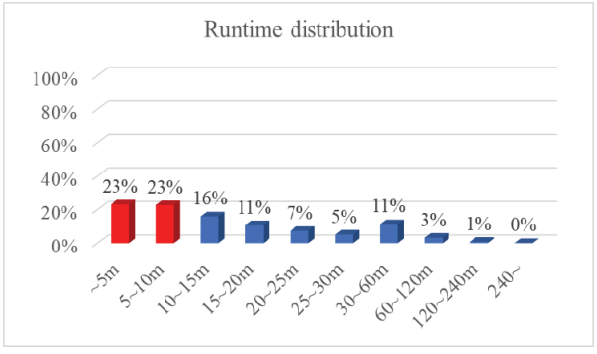

Fig. 11 Runtime distribution in real road driving condition (n=2,629,576)

km/h / Runtime	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
90.0	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
45.0	0%	1%	1%	2%	2%	2%	1%	1%	1%	0%
27.5	0%	0%	1%	1%	1%	1%	1%	0%	0%	0%
22.5	0%	1%	1%	2%	1%	1%	1%	0%	0%	0%
17.5	0%	1%	2%	3%	2%	1%	1%	0%	0%	0%
12.5	1%	2%	4%	5%	3%	2%	1%	0%	0%	0%
7.5	1%	4%	7%	7%	3%	1%	0%	0%	0%	0%
2.5	8%	6%	5%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	0%

Fig. 13 Vehicle speed and runtime distribution considered together in real road driving condition (n=2,541,034)

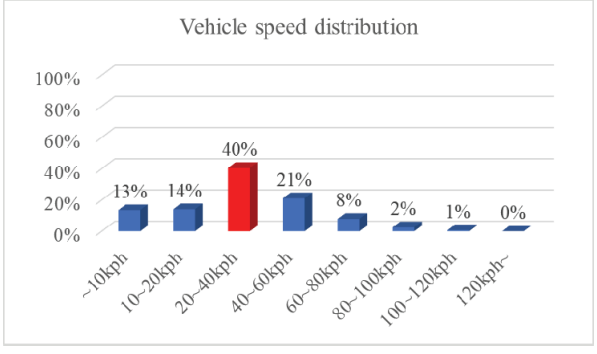

Fig. 12 Vehicle speed distribution in real road driving condition (n=2,629,128)

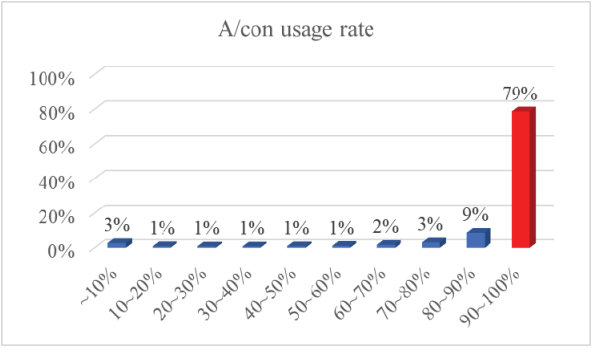

Fig. 14 Usage rate of A/con in real road driving condition (n=2,081,566)

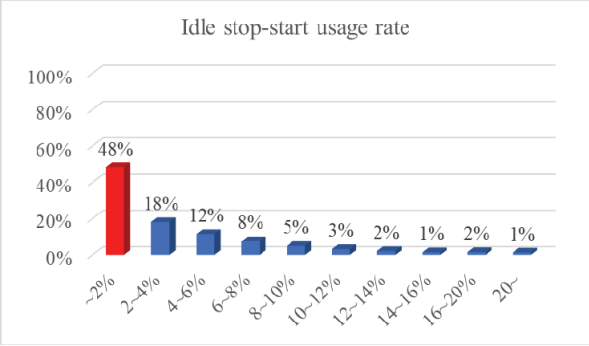

Fig. 15 Usage rate of idle stop-start technology in real road driving condition (n=1,067,020)

km/h / mpg	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
37.5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
32.5	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
27.5	0%	0%	0%	1%	3%	3%	2%	2%	1%	1%
22.5	0%	0%	3%	8%	7%	4%	2%	1%	1%	0%
17.5	0%	2%	11%	9%	3%	1%	0%	0%	0%	0%
12.5	1%	8%	7%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
7.5	4%	4%	1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
2.5	6%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Fig. 16 Fuel economy distribution displayed on cluster in real road driving condition (n=2,559,508)

배터리 충전량, 온도조건, 스티어링 각도, 공조시스템 작동 등에 의해서 감소된다. 본 연구에서는 상세 미 작동 사유에 대해서는 다루지 않았다.

Fig. 16은 실 도로 주행조건의 평균 차속 및 클러스터에 표시되는 연비의 분포를 나타내었다. 사전 연구에 따라 시험차량의 클러스터 표시연비 오차 2~3 %를 보정처리한 결과 평균속도 25 km/h에서 연비17.5 mpg 인 포인트의 빈도가 가장 높게 나타났다. 해당 차량의 인증연비가 21 mpg임을 감안하면 실 도로 주행조건의 연비는 인증대비 낮았으며, 특히 인증모드 중 Cold FTP, SC03가 실 도로 운전조건의 평균차속과 연비와 잘 일치함을 확인할 수 있었다.

3.3 공회전제한장치의 실 도로 연비효과 및 오프사이클 크레딧 예측

미국 환경보호청(EPA)에 따르면 공회전제한기술이 탑재된 차량의 2 cycle시 아이들 비율은 약 10 %이고, 실 도로조건에서 아이들 비율에 대한 MOVIES 분석값은 13.76 %였으나, 중간온도 범위에서의 작동비율 68.75 %, 저온영역에서의 작동 보정비율 19 %의 합인 87.75 %로 보정하여 최종 12.07 %의 아이들 비율을 얻었으며, EPA

Table 6 Vehicle simulation results for idle stop-start in CO_2

Items	Small-size	Mid-size	Large-size	LDT
Combined CO_2	208.1	276.2	353.4	535.4
(a) Reduced CO_2	8.9	15.8	17.0	21.4
(b) On road	10.7	19.1	20.5	25.8
(b)-(a)	1.8	3.3	3.5	4.4
Off-cycle credit	2.5			4.4

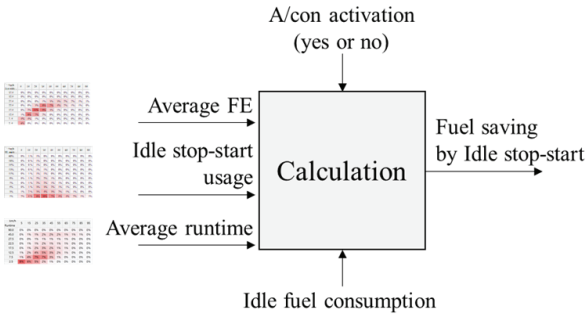

Fig. 17 Procedure for calculating fuel savings by idle stop-start technology

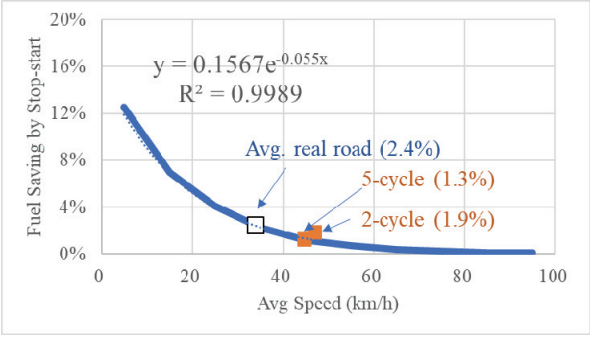

Fig. 18 Fuel saving rate by idle stop-start technology in various driving conditions

의 해석툴인 ALPHA를 이용하여 공회전제한장치의 연비 상승 효과를 Table 6과 같이 제시하였다. 최종 크래딧은 판매량을 가중 평균하여 승용차 2.5 g/mile, LDT 4.4 g/mile 값을 확정하였다.

본 연구에서는 실제 도로주행 조건에서 공회전제한기술의 연비개선 효과를 예측하기 위해 평균연비, 평균 차속 및 주행시간, 공회전제한기술 사용율, 에어컨 작동 유무 및 아이들 연료소모량을 고려하였다(Fig. 17).

실 도로 운전조건에서 취득한 데이터를 기반으로 공회전제한장치의 연비개선효과를 산출해 본 결과 Fig. 18과 같이 도심주행 거동에 가까울수록 높은 연료절감 효과를 기대할 수 있었으며, 평균차속이 높은 고속도로주

행 조건일수록 연비개선 효과가 낮아졌다. 이러한 거동은 인증모드에서의 효과와 유사하였다. 그리고 실도로 운전조건에서 평균차속이 34 km/h 수준임을 고려하면 공회전제한기술의 연료소모량 저감효과는 2.4 % 수준으로 산출되었다. 그리고 법규에서 인정하는 승용차의 공회전제한기술의 오프사이클 크래딧량은 2.5 g/mile이고 본 시험차량의 공회전제한기술 미작동시 2, 5사이클 복합 CO_2가 416, 432 g/mile(Fig. 7)임을 고려하면 공회전제한장치의 오프사이클 효과는 약 2.47 g/mile (=432×2.4 %-419×1.9 %)으로 법규 인정치와 상당히 유사한 결과를 얻을 수 있었다. 김세준 등[6]의 연구에서는 미국 LA 시내 지역에서 평가한 결과 12.4～12.6 %의 개선효과를 제시하고 있으며, 이는 본 연구의 분석결과처럼 평균 주행속도가 10 km/h미만의 도심구간 연료절감효과과 유사하였다.

4. 결 론

1) 2.0리터 터보직분식 가솔린 엔진 SUV에 대해 공회전제한기술 작동유무에 따른 5사이클 시험결과, FTP-75 모드에서 3.2 %의 연비개선효과를 확인하였고, 2사이클 라벨연비는 약 1.9 %, 5사이클 라벨연비는 약 1.3 %의 개선효과를 확인하였다. 특히 FTP-75모드에서 특정 아이들 구간에서 공회전제한 기술은 미작동되었는데 그 이유는 증발가스진단 때문인 것으로 확인되었다.
2) 텔레매틱스 정보를 활용하여 북미 실도로 운전조건의 약 1년간의 빅데이타 분석결과 주행시간은 10분이내, 평균속도 30 km/h 이하의 주행빈도가 가장 높게 조사되었으며, 이러한 거동은 인증모드 중 SC03과 매우 유사하였다.
3) 북미지역 실 도로 주행조건 분석결과 공회전제한기술의 작동율(주행시간에 대한 공회전제한기술의 작동시간)은 2 % 미만이 가장 높은 빈도로 조사되었으며 평균 작동율은 약 4.5 % 수준으로 조사되었다.
4) 실 도로 주행조건 분석결과 본 시험차량은 평균속도 25 km/h에서 연비17.5 mpg(약 7.4 km/l)의 주행빈도가 가장 높게 조사되었다.
5) 실 도로 주행조건의 평균연비, 공회전제한기술작동율, 평균주행시간 및 아이들연료소모량을 활용하여 공회전제한기술의 주행차속에 따른 연료저감효과를 산출하였고, 법규에서 인정하는 오프사이클 크래딧량(승용 2.5 g/mile)과 매우 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

후 기

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2019R1A2C1007609).

References

1) R. LaHood and L. P. Jackson, “Final Rule Making for 2017-2025 Light-duty Vehicle Greenhouse Gas Emission Standards and Corporate Average Fuel Economy Standards,” EPA and NHTSA, pp.3-24, 2012.
2) I. Whittal, “Off-cycle Fuel Consumption Evaluation of Stop-Start Systems,” SAE 2012-01-1601, 2012.
3) J. Wishart, M. Shirk, T. Gray and N. Fengler, Quantifying the Effects of Idle-stop Systems on Fuel Economy in Light-duty Passenger Vehicles, SAE 2012-01-0719, 2012.
4) Fuel Economy, https://www.fueleconomy.gov/feg/fe_test_schedules.shtml, The Official U.S. Government Source for Fuel Economy Information, 15 Oct, 2012.
5) EPA, Data on Cars used for Testing Fuel Economy, https://www.epa.gov/compliance-and-fuel-economy-data/data-cars-used-testing-fuel-economy, 2020.
6) S. Kim, J. Yu, C. Gwon and H. Kim, “Idle Stop & Go System Development for Automatic Transmission Vehicle,” KSAE Spring Conference Proceedings, pp.647-652, 2011.
7) G. M. Hwang, Y. T. Kwon, S. S. Ko and J. K. Choi, “A Research on Fuel Economy Improvement by Intelligent Idle Stop & Go,” Transactions of KSAE, Vol.22, No.1, pp.71-76, 2014.