

Construction & Transportation R&D Report

보안 과제(), 일반 과제(○) / 공개(○), 비공개()
교통물류연구사업 제1차 연도 최종 보고서

R&D /
14TLRP-C090731-01

발간등록번호
11-1613000-001799-01

자동차부문 연료소비율
시험시스템 개발
최종보고서

2017. 01

주관연구기관 / 교통안전공단
협동연구기관 / 자동차부품연구원
한국석유관리원

국 토 교 통 부

(전문기관) 국토교통과학기술진흥원

제 출 문

국토교통과학기술진흥원장 귀하

'자동차부문 연료소비율 시험시스템 개발'(연구개발 기간 : 2014. 12. 29 ~ 2016. 06. 28) 과제의
최종보고서를 제출합니다.

2017. 01. 25.

주관연구기관명 : 교통안전공단

(대표자) 오영태



협동(공동)연구기관명 : 자동차부품연구원 (대표자) 김병수



협동(공동)연구기관명 : 한국석유관리원 (대표자) 신성철



주관연구기관책임자: 이현우

협동(공동)연구기관책임자: 서영호(자동차부품연구원)

협동(공동)연구기관책임자: 김기호(한국석유관리원)

국토교통부소관 연구개발사업 운영규정 제29조에 따라 최종보고서 열람에
동의합니다.

보고서 요약서

과제 고유 번호	14TLRP -C090731-01	해당 단계 연구 기간	2014. 12. 29. ~ 2016. 6. 28.	단계구분	1/1
연구사업명	중사업명	교통물류연구사업			
	세부사업명	-			
연구과제명	대과제명	자동차부문 연료소비율 시험시스템 개발			
	세부과제명	(주관)자동차부문 연료소비율 시험시스템 개발 (공동)가솔린차량의 연비 시험조건별 영향 분석 (공동)디젤차량의 연비 시험조건별 영향 분석			
연구책임자	이현우	해당단계 참여 연구원 수	총: 40명 내부: 37명 외부: 3명	해당단계 연구개발비	정부: 780,000천원 기업: -천원 정부 외: -천원 계: 780,000천원
		총 연구기간 참여 연구원 수	총: 40명 내부: 37명 외부: 3명	총 연구개발비	정부: 780,000천원 기업: -천원 정부 외: -천원 계: 780,000천원
연구기관명 및 소속 부서명	(주관)교통안전공단 자동차안전연구원 (공동)자동차부품연구원 그린카파워시스템연구본부 (공동)한국석유관리원 석유기술연구소			참여기업명	
국제공동연구	상대국명:			상대국 연구기관명:	
위탁연구	연구기관명: 고려대학교/서울대학교			연구책임자: 박심수/민경덕	
요 약			보고서 면수		

○ 자동차 길들이기 표준 모드(안) 개발

- 자동차 길들이기 관련 국내외 규정 동향분석
- 자동차 길들이기 관련 주요 인자를 파악하고 주요 인자별 효과를 분석
- 자동차 길들이기 표준모드 운전계획(안) 도출

○ 자동차 주행저항 표준 측정방법(안) 개발

- 자동차 주행저항 시험 및 측정방법 관련 국내외 동향분석
- 시험자동차 점검 및 주행저항 측정장비 설치 표준절차 등 마련
- 주행저항 시험조건 및 측정 방식에 따른 영향 분석을 통한 주행저항 편차 계산 방법 및 적정 허용오차를 도출
- 주행저항 표준 측정방법(안)을 개발 및 현 과제 연구 결과 등을 반영한 통합 프로그램 개발

○ 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구

- 국내 연비 시험기관간 협의체를 구성하고 상관성 시험 수행
- 연비 시험조건별 영향 분석을 통해 상관성 시험방법 및 판정기준 개발

○ 연비 제도 개선 연구

- 국내외 연비 제도에 대한 분석
- 본 과제 연구성과를 토대로 공동고시에 명시되어 있는 길들이기, 주행저항 및 상관성 시험에 대한 개선(안) 도출

국문 요약문

연구의 목적 및 내용	1. 자동차 길들이기 표준 모드(안) 개발
	- 자동차 길들이기 관련 시험모드 파악
	- 자동차 길들이기 관련 주요인자 파악
	- 자동차 길들이기 주요 인자별 효과를 분석
	- 실제적인 자동차 길들이기 표준모드 및 운전계획(안) 도출
	2. 자동차 주행저항 표준 측정방법(안) 도출 및 주행저항 통합 측정 프로그램 개발
	- 주행저항 표준 측정절차 개발
	- 주행저항 시험조건별 영향 분석
	- 주행저항 허용오차 산정기준 개발
	- 주행저항 측정결과 통합 프로그램 개발
연구개발성과	3. 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구
	- 연비 시험기관간 협의체 구성 및 상관성 시험 수행
	- 연비 시험조건별 영향 분석
	- 상관성 시험방법 및 판정 기준(안) 도출
	4. 연비 제도 개선 연구
	- 국내외 승용/중대형 차량의 연비제도 분석 및 국내 연비제도 개선(안) 마련
	- 본 과제 연구성과를 토대로 공동고시 개정(안) 도출
	1. 자동차 길들이기 표준 모드(안) 개발
	- 자동차 길들이기 차량 선정 및 주요인자(길들이기 시험장소, 시험모드, 누적주행거리 등)설정 후 길들이기 수행
	- 자동차 길들이기 주요 인자별 효과를 분석을 위해 차대동력계 상에서 2가지 방법으로 Vehicle loss 측정
연구개발성과	- 누적 주행거리 6,500km까지 vehicle loss저함 효과 나타남. 그러나 6,500km-10,000km까지 추가적인 길들이기에 따른 vehicle loss 저함 효과는 나타나지 않음
	- 시험모드 및 시험장소에 따른 기계적 미찰저감은 ISO-13528 기반 Z-score 검증 결과 $ Z \leq 2$ 수준으로 유의한 차이가 나타나지 않음
	- 연비 사후조사의 정해진 기간내 효율적인 수행을 위해 목표 길들이기 거리 주행에 소요되는 시간이 가장 적은 C-모드로 표준모드를 선정함
	2. 자동차 주행저항 표준 측정방법(안) 도출 및 주행저항 통합 측정 프로그램 개발
	- 주행저항 시험 동향 분석 및 주행저항 측정표준절차 4단계 도출(차량준비 및 장비설치 단계, 차량예열단계, 주행저항 측정시험 단계 및 주행저항 값 산출단계 도출)
	- 주행저항 판정기준 5가지를 적용하여 주행저항 허용오차를 산정한 후 주행저항 계수의 상수를 도출함
	- 주행저항에 영향을 주는 유효 인자들(노면 상태, 국부적인 편평도 및 기울기 변화, 길들이기 상태, 운전자의 의한 조향장치 작동, 시험장비 및 데이터 처리방식 등) 파악
	- 주행저항 시험장소가 주행저항 상관성에 영향을 미치는 유일한 주요인자이며 나머지 인자들에 대해서는 차이가 5% 이내로 미미함
	- 주행저항 측정결과 통합 프로그램 개발하여 국내 및 해외 법규에 다른 주행저항 시험과 각 방법 별 분석 방법 확립 및 구현
	3. 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구
연구개발성과	- 연비 시험기관간 협의체 구성을 통한 round-robin test 진행
	- 가솔린 차량과 디젤차량으로 나누어 각각 SOC, 냉각 방식, 시험실 온도, 모드추종성이 대해 연비시험에 대한 영향 분석
	- 초기 SOC조건과 모드추종성이 연비에 영향을 미치며 냉각 방식과 시험실 온도는 연비에

	<p>미치는 영향이 미미함</p> <ul style="list-style-type: none"> - 상관성 시험시 모든 시험기관간 시험조건은 사전에 협의하여 모두 동일한 조건하에서 시험 진행(초기 SOC 및 모드추종성, 동일batch연료 사용, 6,500km이상 길들이기된 시험차량 등) - 상관성 시험 판정 방안 도출(CVS-75:basic Z-score. 평균값 대비 min/max 5%, HWFET:각 기관별 3회의 시험결과에 대한 CV분석 시행 후, CV<3%인 경우 평균을 내어 1개의 데이터로 사용. 총 6개의 데이터에 대한 basic Z-score 및 평균값 대비 min/max 5% 기준점 제시) <p>4. 연비 제도 개선 연구</p> <ul style="list-style-type: none"> - 자동차 사후관리 시험방법 개선안 도출 - 주행저항 허용오차 : 최종 계산된 에너지의 경우 소수점 첫째자리까지 계산, 이값을 비교하여 그 차이가 15%이내일 경우 제작사 제시 주행저항값 인정 - 시험차량 길들이기 : 비용과 효율성을 모두 고려하여 길들이기 모드 “C-모드” 선정 - 상관성 시험방법 : 시험실 온도(시험 전 $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$, 시험 중에는 $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$를 유지), 측정장비(시험차량없이 차대동력계 80km/h로 30분간 주행), 주행계획(FTP-75 1회, HWFET 3회) - 본 과제 연구성과를 토대로 공동고시 개정(안) 도출(고려대)연구 동향 파악 및 연비 상관성 판정방법 개발 				
연구개발성과의 활용계획 (기대효과)	<ul style="list-style-type: none"> - 자동차 연비 시험방법의 체계적인 정립과 표준 시험방법 개발 및 연료소비율 시험 시스템 개발을 수행하여 국민 신뢰성 확보, 국내 연비 기준과 판정방법에 대한 타당성 근거 및 기초자료로 활용됨 - 공동고시의 미비점을 보완하여 신뢰성 있는 정부 정책이 시행될 수 있도록 자동차 연비 공동고시 기준 개정에 활용할 수 있음. - 소비자 보호를 위해 자동차 제작사가 정확하고 신뢰성 있는 연비 정보의 제공을 유도할 수 있도록 객관적이고 신뢰성 있는 연비 사후관리 기반 마련함 				
핵심어 (5개 이내)	연비	길들이기	주행저항	상관성시험	공동고시

<SUMMARY>

Purpose & Contents	<ol style="list-style-type: none">1. Development of break-in standard test mode(plan)<ul style="list-style-type: none">- Identify the test mode related to break-in- Identify the key factors related to break-in- Analyze effects of key factors- Derive the following conclusions for actual break-in standard mode and operation plan2. Development of road load standard measurement method and integrated measuring program for road load<ul style="list-style-type: none">- Develop the standard measurement procedures of road load- Analyze impact of road load test conditions- Develop the tolerance estimation standards of road load- Develop the integrated measuring program for road load3. Study of correlation management plan between domestic fuel economy testing laboratories<ul style="list-style-type: none">- Perform the council between fuel testing laboratories and carry out the correlation test- Analyze impact of fuel economy test conditions- Improve correlation test method and criterion(plan)4. Study of improvement for fuel efficiency system<ul style="list-style-type: none">- Analyze fuel mileage system of domestic(oversea) passenger vehicle/large vehicle and prepare improvement(plan)- Improve joint administrative rule amendments on the basis of this research project
Results	<ol style="list-style-type: none">1. Development of break-in standard test mode(plan)<ul style="list-style-type: none">- Select the break-in vehicle and set-up key factor(test site, test mode, accumulated mileage, etc.) and perform the break-in test- Measure the vehicle loss on a chassis dynamometer in 2 ways to analyze the effects of key factors- Effect of resistance of Vehicle loss appeared up to 6,500km. However effect was not appeared according to additional break-in from 6,500km to 10,000km- As a result of Z-score investigation based on ISO-13528, mechanical drag reduction according to test mode and test site do not reveal meaningful differences to $Z \leq 2$ level- For efficient perform within a set period of ex post investigation of fuel efficiency, select the C mode to standard mode because it takes less time for target break-in traveling distance2. Development of road load standard measurement method and integrated measuring program for road load<ul style="list-style-type: none">- Research trend road load test and improve 4 steps measurement standards procedures of road load(preparing vehicle and equipment installation step, warm up step, measurement test step, result value calculation step)- Apply 5 criterion to calculate road load tolerance and derive a constant of road load coefficient- Grasp effective factors that influence on road load(road condition, local flatness and grade change, break-in condition, steering system operation by driver, etc.)- Road load test site is only effective factor that effect on road load and

	<p>other factors have small difference no more than 5%</p> <ul style="list-style-type: none"> -Develop the integrated measuring program for road load and implement road load test by domestic(oversea) regulation and analysis method <p>3. Study of correlation management plan between domestic fuel economy testing laboratories</p> <ul style="list-style-type: none"> - Perform round-robin test according to council between fuel testing laboratories - Analyze effect of fuel economy test conditions of gasoline vehicle and diesel vehicle : battery charging status, cooling fan air flow, laboratory temperature, drive trace-ability - Early SOC condition and drive trace-ability effect on fuel efficiency and effects of cooling fan air flow and laboratory temperature are minor on fuel efficiency - For the correlation test, all test laboratories carry out the experiments in the same condition of prior consultation with everyone concerned.(Early SOC condition, using same batch fuel, the test vehicle that had break-in test over 6,500km, etc.) - Determine correlation test criterion measure(CVS-75:basic Z-score, compared to the average min/max 5%, HWFET: after CV analysis about 3 test result of each test labs, take average and use it to one date if CV<3%. Suggest basic Z-score about 6 data and reference point compared to the average min/max 5%) <p>4. Study of improvement for fuel efficiency system</p> <ul style="list-style-type: none"> - Develop the vehicle following-up management test measure improvement(plan) - Road load tolerance : In case of final calculated energy, calculate to nearest integer and compare with this result. If the difference is within 15%, allow road load value presented by company. - Break in test vehicle : select "C mode" to standard mode for cost and efficiency - Correlation test method : test laboratory temperature(keep temperature at $25\pm2^{\circ}\text{C}$ before the test and at $25\pm3^{\circ}\text{C}$ during the test), measuring equipment (drive on a chassis dynamometer 80km/h for 30 minutes without the test vehicle), drive plan(FTP-75 1 time, HWFET 3 times) - Derive the following conclusions for joint administrative rule amendments on the basis of this research project and develop the fuel economy correlation measurement method 					
Expected Contribution	<ol style="list-style-type: none"> 1. By performing a development of fuel economy test system, systematic creation, and standard test mode development, provide feasibility evidence and based data provision on domestic fuel economy standard and evaluation process 2. Take advantage of the gaps in the implementation of the joint administrative rule announced fuel economy standards to be identified in advance and implemented a reliable government policy complements 3. Prepared based on objective and reliable follow-up fuel so that the fuel can be induced to provide accurate and reliable information about the vehicle manufacturer for Consumer Protection 					
Keywords	Fuel Efficiency	Break-in	Road Load	Correlation Test	Joint administrative rule	

〈 목 차 〉

제1장. 연구개발과제의 개요	1
제 1 절 연구개발 목적	1
제 2 절 연구개발의 필요성	1
제 3절 연구개발 범위	2
제2장. 국내외 기술 개발 현황	4
제 1 절 연구 동향 분석	4
제 2 절 기술 특허 동향 분석	57
제3장. 연구 수행 내용 및 성과	60
제 1 절 자동차 길들이기 표준모드(안) 개발	60
제 2 절 자동차 주행저항 표준 측정방법(안) 및 주행저항 통합 프로그램 개발	71
제 3 절 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구(고, 석, 자)	98
제 4 절 자동차 연비 공동고시 개정(안) 도출	159
제 5 절 사회경제적 파급효과 분석	164
제4장. 목표 달성을 및 관련 분야 기여도	172
제 1 절 목표 달성을	172
제 2 절 관련 분야 기여도	173
제5장. 연구개발성과의 활용계획	174
제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보	175
제 1 절 미국의 기술정보	175
제 2 절 UNECE	178
제7장. 연구개발성과의 보안등급	182
제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황	183
제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적	184
제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적	185
제11장. 참고 문헌	186

<표 차례>

[표 1] 국가 연구개발사업 유사연구 실적-1	18
[표 2] 국가 연구개발사업 유사연구 실적-2	19
[표 3] 국가 연구 개발사업 유사연구 실적-3	19
[표 4] NEDC, WLTC 모드특성 비교	26
[표 5] 미국 현행 모드특성 비교	28
[표 6] 일본 현행 모드특성 비교	29
[표 7] 국내 평균에너지소비효율 기준	37
[표 8] 국내 온실가스 평균배출량 기준	38
[표 9] 연비기준 달성을 시 온실가스 배출 수준표	40
[표 10] 역대 미국 행정부의 연비규제 정책 비교	42
[표 11] 미국 연비기준치의 추이(12년 이후는 예상)	43
[표 12] 강화된 미국 CAFE 기준 평균 연비	43
[표 13] Required CAFE Levels(mpg) for Passenger Cars(출처 : CAFE)	44
[표 14] 경트럭(Light trucks)에 대한 Footprint 값 구분	45
[표 15] 경트럭에 대한 Footprint별 연비 기준	45
[표 16] Reformed CAFE와 Unreformed CAFE 비교	45
[표 17] Estimate CAFE Standards by Vehicle Category	46
[표 18] CARB의 초기 규정의 가중계수	46
[표 19] CARB의 초기 규정의 가중계수	47
[표 20] CARB의 AB 1493 규정	47
[표 21] CARB의 온실가스 규제 및 CO ₂ 와 연비 환산	47
[표 22] 연도별 Fleet-wide 기준 CO ₂ 예상 배출수준	48
[표 23] 2009년부터 2016년까지 온실가스 배출기준	50
[표 24] 2017년부터 2025년 이후까지 온실가스 배출기준(PCs)	50
[표 25] 제작사가 판매하는 승용차의 SET 의무비율	51
[표 26] 초과 배출가스 프리미엄 계산식	52
[표 27] 제작사가 판매하는 화물차의 SET 의무 비율	53
[표 28] 화물차의 Super-Credits 적용 계획	54
[표 29] EU의 연도별 SET 적용 소형화물차 평균 목표	54
[표 30] WLTP trace index TF 회원의 지표별 허용범위 제안내역	62
[표 31] 길들이기 시험자동차 차량제원	74
[표 32] 길들이기 거리, 모드 및 장소	74
[표 33] 자동차 및 타이어 길들이기 세부 내용	75
[표 34] 주행시험로 장비제원	76
[표 35] VBOX MINI 장비제원	76
[표 36] 4륜 차대동력계 장비제원	77
[표 37] Coastdown test에 영향을 주는 유효인자들	84
[표 38] 차대동력 시험 시 결과에 영향을 미치는 인자들	87
[표 39] Potential effect on emissions due to reference mass flexibilities	88

[표 40] Potential effect on emissions due to running-in period flexibilities	89
[표 41] Potential effect on emissions due to battery state of flexibilities	90
[표 42] 적용 가능한 유연성(Flexibility)	90
[표 43] 주행저항 허용오차 판정기준(안) 검토	97
[표 44] 주행저항 계수의 상수값	98
[표 45] 시험자동차 제원	98
[표 46] 연비 시험모드를 고려하여 계산한 에너지 손실 기반 통계적 분석 결과	101
[표 47] FTP-75 모드에서 주인자에 대한 ANOVA 결과	101
[표 48] FTP-75 모드에서 주인자에 대한 ANOVA 결과	101
[표 49] 상관성 시험 절차	111
[표 50] 시험 차량 제원	111
[표 51] 시험 차량 관리방안	112
[표 52] 시험 일정	112
[표 53] 가솔린	113
[표 54] 디젤	113
[표 55] DQE 분석	123
[표 56] 가솔린 시험 차량 제원	129
[표 57] 디젤 시험 차량 제원	130
[표 58] 차대동력계의 제원	131
[표 59] 배출가스 분석기의 제원	132
[표 60] 희석터널의 제원	132
[표 61] FTP-75 및 HWFET 모드의 주행 조건	134
[표 62] 다양한 시험 조건	135
[표 63] 항목별 시험조건	135
[표 64] Base condition에 대한 시험결과	136
[표 65] Low SOC(%) & High SOC(%) condition에 대한 시험결과	138
[표 66] High/Low Fan condition에 대한 시험결과	140
[표 67] High/Low Temperature condition에 대한 시험결과	143
[표 68] 36 hour Soaking condition에 대한 시험결과	145
[표 69] High/Low Temperature condition에 대한 시험결과	146
[표 70] 초기 배터리 SOC에 따른 연비 영향도	148
[표 71] 초기 배터리 SOC에 따른 연비 영향도	150
[표 72] 발전기가 생산한 전류의 적산량과 배터리에 충·방전된 전류의 적산량	152
[표 73] 냉각팬 사용방식 따른 연비 영향도	153
[표 74] 모드 추종성에 따른 평균 연비 영향도	155
[표 75] FTP-75(도심주행) 시험조건별 영향 분석	165
[표 76] HWFET(고속도로주행) 시험조건별 영향 분석	166
[표 77] 상관성 시험에 대한 방법(안)	167
[표 78] 주행저항 모드별 계수	174
[표 79] 자동차연비 과대·과소 공시 시정에 의한 사회후생 증가규모	179
[표 80] 2014년 수송용 에너지원별 소비량	179
[표 81] 수송용 에너지원별 소비량(리터) 당 대기오염물질 배출량	187
[표 82] 에너지원별 연료소비 감소량	188

[표 83] 대기오염물질 배출 감소량 추정 결과 : 2015-2022	188
[표 84] 대기오염물질 배출감소에 의한 환경피해비용 절감액	188
[표 85] 기준대기오염물질과 CO_2 배출 감소 편익 : 2015-2022	188
[표 86] 신형 판매차 연비 증가에 따른 환경개선 편익 증가규모	188
[표 87] 제작사가 판매하는 승용차 및 화물차의 SET 의무 비율	187
[표 88] 화물차의 Super-Credits 적용 계획	188
[표 89] EU의 연도별 SET 적용 소형화물차 평균 목표	188
[표 90] EU의 연도별 SET 적용 소형화물차 평균 목표	188

<그림 차례>

[그림 1] 연구개발 목적	1
[그림 2] 자동차 연비 관련 현황 및 해결방안	2
[그림 3] 일본, 유럽 및 미국의 승용차 규제	6
[그림 4] 실도로 운행조건에서의 질소산화물 규제값과 실제배출량 차이	7
[그림 5] 저온조건에서의 질소산화물 규제값과 실제배출량 차이	7
[그림 6] 저온조건에서의 극미세입자 배출량 증가	8
[그림 7] 유럽의 새로운 승용차 규제모드 (WLTP)	8
[그림 8] 미국의 배출가스 규제모드의 운전 영역	9
[그림 9] US06 모드에서 NOx 배출 수준	9
[그림 10] US06 모드에서 EGR rate 및 NOx 배출 수준	10
[그림 11] SC03 모드에서 NOx 배출 수준	10
[그림 12] SC03 모드에서 EGR rate 및 NOx 배출 수준	11
[그림 13] 상온 및 저온 조건에서 NOx 배출량 비교	11
[그림 14] 상온 및 저온 조건에서 유종 별 차량 NOx 배출량 비교	12
[그림 15] Worldwide harmonized Light-duty Test Cycle(WLTC)>	12
[그림 16] US EPA FTP-75	13
[그림 17] US EPA Highway Fuel Economy Test (HWFET)	13
[그림 18] US EPA US06	13
[그림 19] Japan 11 Mode cold cycle	14
[그림 20] Japan 10-15 Mode hot cycle	14
[그림 21] Japan JC08 Cycle	15
[그림 22] Coastdown Test 시스템 및 test mode	15
[그림 23] EPA Coastdown 측정 방식	16
[그림 24] EC Coastdown 측정 방식	18
[그림 25] EC Coastdown 측정 방식	19
[그림 26] 국내외 주행저항 측정법	20
[그림 27] 저마찰 타이어 사용에 의한 CO ₂ 저감 성능	21
[그림 28] EU WLTP 도입 계획	21
[그림 29] NEDC에서 WLTP로 전환에 따른 이산화탄소 배출량 영향	22
[그림 30] NEDC-WLTP CO ₂ 배출량 상관성 판정을 위한 인자 및 그 영향도 분석	22
[그림 31] 승용차 연도별 평균연비목표(단위 : mpg)	26
[그림 32] 경량트럭 연도별 평균연비목표(단위 : mpg)	26
[그림 33] 새로운 5-cycle 시험법에 따른 연비 특성(City Label)	27
[그림 34] 새로운 5-cycle 시험법에 따른 연비 특성(Highway Label)	27
[그림 35] 미국 CAFE 차량 Footprint에 따른 연비 목표 수치	29
[그림 36] 각 업체별 달성 목표	30
[그림 37] 연도별 CO ₂ 배출량 곡선	35
[그림 38] Footprint 41ft ² 초과 및 56ft ² 이하 차량의 배출기준 산출식	36
[그림 39] 유럽 신차(승용차)로부터 CO ₂ 저감 계획	37
[그림 40] 차량별 Set 적용 그래프	38

[그림 41] 각 국가별 길들이기 관련 규정	41
[그림 42] 주행저항 평가 장비	43
[그림 43] 급가속 방법에 따른 연비	44
[그림 44] 정속 대비 가감속 시험 방법 및 결과	45
[그림 45] FTP-75 및 UC 모드 연비 비교	45
[그림 46] 연비 감소율 빈도	46
[그림 47] FTP-75 mode와 UC mode 주행 스케줄	46
[그림 48] HWFET 및 US06 모드 연비 비교	46
[그림 49] HWFET mode와 US06 mode 주행 스케줄	47
[그림 50] 연비 감소율 빈도	47
[그림 51] EPA 모드 추종성 관련 조항	48
[그림 52] DQE 지표별 연비 영향도 평가	49
[그림 53] 시험별 Index값을 활용한 정규분포 분석방법	50
[그림 54] 전기장치 사용에 따른 연비 변화	50
[그림 55] 발전제어와 비발전제어 알터네이터 구분방법	51
[그림 56] 가감속 구간에서의 발전제어	51
[그림 57] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화	52
[그림 58] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화	53
[그림 59] 세계 각국의 승용차 연비향상 및 CO ₂ 규제안 시나리오	53
[그림 60] WLTP 모드의 주행속도(Class 3)와 Class 분류 기준	54
[그림 61] 유럽, 미국, 일본, 한국의 승용차 연비 규제안	54
[그림 62] 해외 중대형 차량 규제 적용 현황	55
[그림 63] 해외 중대형 상용차 연비 제도 예시(중국)	55
[그림 64] 연비 규제 달성을 위한 신기술 개발 흐름	56
[그림 65] ISG(Idle stop & go) 시스템	58
[그림 66] 능동공력제어 시스템	58
[그림 67] 타이어 개선 특허	59
[그림 68] 표준 길들이기 운전계획(안)도출 계획	60
[그림 69] 자동차안전연구원 주행장	62
[그림 70] V-box	63
[그림 71] Vehicle loss 측정 세부 절차	65
[그림 72] Vehicle loss 시험 조건 및 사진	65
[그림 73] Parameter check 측정방법 (VL1)	66
[그림 74] Vehicle losses 측정방법 (VL2)	66
[그림 75] 길들이기 주요 인자별 마찰저감율 비교	66
[그림 76] 주행거리별 vehicle loss 변화	67
[그림 77] Basic Z-score 개념	67
[그림 78] 속도별 vehicle loss에 대한 basic Z-score 판정 비교	68
[그림 79] 시험모드별 경제성 분석	69
[그림 80] 길들이기 모드 “C-모드” 운전계획(안)	70
[그림 81] past and available of the flexibilities	78
[그림 82] Ratio of realistic and Type Approval road load test results of all tested vehicles	78

[그림 83] 자동차 인증 시 발생하는 실험 유연성 항목	79
[그림 84] 주행저항 설정 절차	80
[그림 85] 유럽과 미국의 주행저항 인증값과 실제값 비교	81
[그림 86] 미쓰비시 자동차 연비 설정 과정	82
[그림 87] 연비시험 모드를 고려한 에너지 산정	83
[그림 88] 길들이기 주행거리별 주행저항력	86
[그림 89] 길들이기 주행거리별 주행저항 에너지 비교	86
[그림 90] 길들이기 주행거리별 복합주행저항 에너지	87
[그림 91] 주행저항시험	87
[그림 92] 주행저항 허용오차 산정 기준 관련 국내 협의체 회의록	90
[그림 93] 주행저항 시험 단계별 설명	91
[그림 94] 주행저항 통합 프로그램 개발 절차	92
[그림 95] 주행저항 측정장비 구성도 및 장착 사진	92
[그림 96] 데이터 취득 유닛 제원	93
[그림 97] 각 국가별 주행저항 계산식	94
[그림 98] Reduce 방식	96
[그림 99] Sampling 방법	96
[그림 100] Low pass filter 방법	96
[그림 101] 주행저항 통합프로그램 실행 화면	97
[그림 102] 가솔린차량 FTP-75 구연비	101
[그림 103] 가솔린차량 FTP-75 신연비	101
[그림 104] 가솔린차량 FTP-75 initial연비	101
[그림 105] 가솔린차량 FTP-75 전체 연비비교	101
[그림 106] 가솔린차량 HWFET 구연비	102
[그림 107] 가솔린차량 HWFET 신연비	102
[그림 108] 가솔린차량 HWFET initial연비	102
[그림 109] 가솔린차량 HWFET 전체 연비비교	102
[그림 110] 디젤차량 FTP-75 구연비	103
[그림 111] 디젤차량 FTP-75 신연비	103
[그림 112] 디젤차량 FTP-75 전체 연비비교	103
[그림 113] 디젤차량 HWFET 구연비	104
[그림 114] 디젤차량 HWFET 신연비	104
[그림 115] 디젤차량 HWFET 전체 연비비교	104
[그림 116] 하이브리드차량 FTP-75 구연비	105
[그림 117] 하이브리드차량 FTP-75 신연비	105
[그림 118] 하이브리드차량 FTP-75 initial연비	105
[그림 119] 하이브리드차량 FTP-75 전체 연비비교	105
[그림 120] 하이브리드차량 HWFET 구연비	106
[그림 121] 하이브리드차량 HWFET 신연비	106
[그림 122] 하이브리드차량 HWFET initial연비	106
[그림 123] 하이브리드차량 HWFET 전체 연비비교	106
[그림 124] 가솔린 CVS-75 CO ₂	106
[그림 125] 가솔린 HWFET CO ₂	106

[그림 126] 디젤 CVS-75 CO ₂	107
[그림 127] 디젤 HWFET CO ₂	107
[그림 128] 하이브리드 CVS-75 CO ₂	107
[그림 129] 하이브리드 HWFET CO ₂	107
[그림 130] 가솔린 CVS-75 THC	107
[그림 131] 가솔린 HWFET THC	107
[그림 132] 디젤 CVS-75 THC	108
[그림 133] 디젤 HWFET THC	108
[그림 134] 하이브리드 CVS-75 THC	108
[그림 135] 하이브리드 HWFET THC	108
[그림 136] 가솔린 CVS-75 CO	108
[그림 137] 가솔린 HWFET CO	108
[그림 138] 디젤 CVS-75 CO	109
[그림 139] 디젤 HWFET CO	109
[그림 140] 하이브리드 CVS-75 CO	109
[그림 141] 하이브리드 HWFET CO	109
[그림 142] 가솔린 CVS-75 EER	111
[그림 143] 가솔린 CVS-75 ASCR	111
[그림 144] 가솔린 CVS-75 IWR	111
[그림 145] 가솔린 CVS-75 RMSSE	111
[그림 146] 가솔린 HWFET EER	112
[그림 147] 가솔린 HWFET ASCR	112
[그림 148] 가솔린 HWFET IWR	112
[그림 149] 가솔린 HWFET RMSSE	112
[그림 150] 디젤 CVS-75 EER	113
[그림 151] 디젤 CVS-75 ASCR	113
[그림 152] 디젤 CVS-75 IWR	113
[그림 153] 디젤 CVS-75 RMSSE	113
[그림 154] 디젤 HWFET EER	114
[그림 155] 디젤 HWFET ASCR	114
[그림 156] 디젤 HWFET IWR	114
[그림 157] 디젤 HWFET RMSSE	114
[그림 158] 하이브리드 CVS-75 EER	114
[그림 159] 하이브리드 CVS-75 ASCR	114
[그림 160] 하이브리드 CVS-75 IWR	115
[그림 161] 하이브리드 CVS-75 RMSSE	115
[그림 162] 하이브리드 HWFET EER	115
[그림 163] 하이브리드 HWFET ASCR	115
[그림 164] 하이브리드 HWFET IWR	115
[그림 165] 하이브리드 HWFET RMSSE	115
[그림 166] 차대동력계 상에 설치된 가솔린 시험 차량	116
[그림 167] 배출가스 특성 조사 시험장치의 개략도	117
[그림 168] 주행모드별 시간대 속도 프로파일	118

[그림 169] 전류 적산계의 사진과 정확도	120
[그림 170] 전류 클램프의 사진과 제원	120
[그림 171] 발전기 및 배터리 전류센서 측정위치	120
[그림 172] FTP-75(좌) 및 HWFET(우) 모드의 주행속도 계획	120
[그림 173] 연비시험 절차	121
[그림 174] Base condition의 실시간 OBD 데이터 측정결과	123
[그림 175] Base condition의 실시간 배출가스 측정결과	124
[그림 176] Low SOC(%) 및 High SOC(%)의 연비 영향도 평가	125
[그림 177] 배터리 충전상태에 따른 SOC(%) OBD 실시간 데이터	126
[그림 178] 배터리 충전상태에 따른 Alternator 작동 OBD 실시간 데이터	126
[그림 179] High Fan 및 Low Fan의 연비 영향도 평가	128
[그림 180] High/Low Fan 냉각수 온도	128
[그림 181] High/Low Fan condition의 실시간 배출가스 측정결과	129
[그림 182] High/Low Temp.의 연비 영향도 평가	130
[그림 183] High/Low Temperature condition의 실시간 배출가스 측정결과	131
[그림 184] WLTP 모드의 시험실 및 Soaking 온도조건	131
[그림 185] Base 12h & 36h Soaking의 연비 영향도 평가	132
[그림 186] Standard/Hard/Soft driving의 주행 추종성 평가	134
[그림 187] Standard/Hard/Soft driving의 DQE(Drive Quality Evaluation) 평가 결과	134
[그림 188] 초기 배터리 SOC에 따른 연비결과	135
[그림 189] FTP-75(좌) 및 HWFET(우) 모드 시험 중 발전기 발전전류	135
[그림 190] FTP-75(좌) 및 HWFET(우) 모드 시험의 발전량과 연비의 상관관계	136
[그림 191] 초기 배터리 SOC에 따른 연비결과	137
[그림 192] 연비결과와 발전기 생산전류량 관계	138
[그림 193] 실시간 발전기 생산전류량(좌) 및 배터리 충·방전량(우)	139
[그림 194] 냉각팬 사용방식 따른 연비결과	140
[그림 195] HWFET 모드에서 라이에이터 팬의 소모전류	140
[그림 196] 시험 중 냉각수 온도(좌) 및 흡기온도(우) 변화	141
[그림 197] WLTP 모드의 시험실 및 Soaking 온도조건	141
[그림 198] 모드 추종성에 따른 평균 연비결과	142
[그림 199] FTP-75 모드의 추종성 지표에 따른 연비 비교	143
[그림 200] HWFET 모드의 추종성 지표에 따른 연비 비교	144
[그림 201] HWFET 모드의 운전성 지표에 따른 연비 비교	145
[그림 202] 운전성 지표에 따른 연비 비교	146
[그림 203] 재생여부에 따른 연비결과	147
[그림 204] 재생 여부에 따른 FTP-75 모드의 실시간 배출가스 농도	148
[그림 205] 상관성 시험 flow chart	156
[그림 206] 주행저항 판정 flow-chart	157
[그림 207] EU, 미국 제조사 디젤 차량의 실도로 NOX 및 CO ₂ 배출 결과	159
[그림 208] 실 연비와 모드 연비 값 차이에 대한 연비 유연성 항목의 영향도 비교	160
[그림 209] 길들이기 모드 “C-모드” 운전계획(안)	162
[그림 210] 자동차 연비 과대 공시에 의한 소비자임여손실 및 생산자임여 손실	165
[그림 211] 자동차 연비 과소 공시에 의한 소비자의 자동차 유보가격 변화와 사회후생 손실	167

[그림 212] 성과검증 관련 향후 연구계획 Time Table	174
[그림 213] EPA의 10Hz 주행 프로파일 제공자료	175
[그림 215] 연도별 light duty 차량의 CO ₂ 배출량 곡선	176
[그림 216] 연도별 light duty truck의 CO ₂ 배출량 곡선	177
[그림 217] 2009년부터 2016년까지 온실가스 배출기준	177
[그림 218] 2017년부터 2025년 이후까지 온실가스 배출기준(PCs)	178
[그림 219] Footprint 41ft2초과 및 56ft2이하 차량의 배출기준 산출식	178
[그림 220] UNECE 주행추종성 분석 적용성 검토자료	179
[그림 221] 차량분석에 사용된 주행추종성 결과자료(예시)	179
[그림 222] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화	181
[그림 223] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화	181

제1장. 연구개발과제의 개요

제 1 절 연구개발 목적



[그림 2] 연구개발 목적

1. 연구 동향 분석 및 상관성 판정방법 도출

자동차 관련 시험모드(연비, 배출가스 등) 및 주행저항 측정방법 관련 동향을 분석하고 국내외 연비 상관성 시험방법 관련 동향 분석을 통해 상관성 판정방법 도출

2. 자동차 길들이기 표준모드(안) 개발

자동차 길들이기 관련 주요 인자를 파악하고 주요 인자별 효과를 분석하여 자동차 길들이기 운전계획(안) 도출

3. 자동차 주행저항 표준 측정방법(안) 및 주행저항 통합 프로그램 개발

시험자동차 점검 및 주행저항 측정 장비 설치 표준절차 등을 마련하고, 주행저항 시험조건 및 측정 방식에 따른 영향 분석을 통해 주행저항 편차 계산 방법 및 적정 허용오차를 도출하여 주행저항 표준 측정방법(안)을 개발하고, 자동차 주행저항 표준 측정절차 및 적정 허용오차 산정 기준 연구 결과 등을 반영한 통합 프로그램 개발

4. 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구

국내 연비 시험기관간 협의체를 구성하고 상관성 검증용 시험자동차 관리방안을 마련하여 연비 시험조건별 영향 분석을 통해 상관성 시험방법 및 판정기준 개발

5. 자동차 연비 공동고시 개정(안) 도출

국내 연비 시험기관간 협의체를 구성하고 상관성 검증용 시험자동차 관리방안을 마련하여 연비 시험조건별 영향 분석을 통해 상관성 시험방법 및 판정기준 개발과 이를 통한 효율적인 연비 제도를 시행하고 실질적인 연비 값을 규제에 반영하여, 자동차 연비에 대한 소비자의 불만을 줄이고 및 제조사의 연비 경쟁력을 확보

제 2 절 연구개발의 필요성

자동차 연비는 자동차와 관련된 산업의 기술 개발의 유도나 국가 에너지 및 온실가스 관리의 지표로서 활용되고 있으며, 소비자에게는 차량 구매 시 정보제공에 일익을 담당하고 있음. 자동차 연비의 효율적이고 객관적인 관리정책 수립을 위해 기준 연비 측정 방법의 문제점을 보완하고 새로운 측정방법을 개발 및 통일하고자 하는 노력이 국제사회에서 이루어지고 있음. 그러나 현재 자동차 연비에 대한 공인된 시험방법 등이 정립되지 않고 자동차 길들이기 모드 및 주행저항 시험값에 대해 제작사 제출 데이터에 의존하고 있어 자동차 연비에 대한 국민 신뢰가 떨어지고 있는 실정이며, 이에 따른 제원 연비와 실주행 연비의 큰 편차로 인하여 제원 연비에 대한 오해 및 소비자 불만이 지속적으로 제기됨.

미국에서 국내 자동차 업체의 연비과장 논란(‘12.11월) 또한 제작사가 제출한 주행저항 시험값의 사후검증이 이뤄지지 않아 발생. 이후, 국내의 시민 단체, 언론 등에서 연비 사후관리 강화 필요성을 제기하였으나 제작사 자체측정에 대한 검증절차 미비 및 연비관리 전반에 대한 표준화된 시험시스템 미비로 인해 정확한 주행저항 측정이 이루어지기 힘든 상황임.

‘14년 6월 정부는 국가정책조정회의를 열고 그동안 3개 부처로 나뉘어 있던 자동차 연비 관련 기준을 통일하겠다고 발표했으며(지금까지 자동차 연비는 자동차 성능과 안전 측면에서는 국토교통부가, 에너지 효율 측면에서는 산업통상자원부가, 배출가스 측면에서는 환경부가 관리해 왔음), 자동차 연비의 사후검증기관을 국토교통부로 일원화하고, 자동차 연비 공동고시를 통하여 연비 측정 기준과 방법을 통일함. 따라서 자동차 연비에 대한 사회적 관심 및 불신 증가를 해소하기 위해 공신력, 객관성, 투명성을 기반으로 자동차 연비 시험 시험방법의 체계적인 정립과 표준 시험 방법 개발을 통한 자동차부문 연료소비율 시험시스템 개발이 필수적이며, 자동차 연비 시험기관의 시험설비 간의 편차를 줄이고 연비 시험 결과의 객관성 확보를 위하여 시험기관간 상관성 관리체계 마련이 시급함.



[그림 3] 자동차 연비 관련 현황 및 해결방안

제 3절 연구개발 범위

1. 자동차 길들이기 표준모드(안) 개발

- 국내외 자동차 길들이기 규정 관련 동향분석
- 길들이기 관련 주요 인자별 연비시험에 미치는 영향분석 및 표준모드 개발

2. 자동차 주행저항 표준 측정방법(안) 및 주행저항 통합 프로그램 개발

- 국내외 주행저항 시험방법 및 판정방법 관련 규정 동향분석

- 시험자동차 주행저항 측정장비 설피 표준절차 등 마련
- 주행저항 시험조건 및 측정 방식에 따른 영향 분석 및 연구 결과 반영한 통합 프로그램 개발

3. 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구

- 세부시험조건 관련 국내외 문헌자료 조사
- 시험조건에 따른 가솔린, 디젤 차량의 연비시험 영향도 결과 분석
- 상관성 검증용 시험차량 관리 방안 마련
- 상관성 시험방법 및 판정기준 개발

4. 자동차 연비 공동고시 개정(안) 도출

- 국내외 연비 제도에 대한 동향 파악 및 분석
- 본 과제 연구 성과를 토대로 공동고시에 명시된 길들이기, 주행저항 및 상관성 시험에 대한 개선(안) 도출

제2장. 국내외 기술 개발 현황

제 1 절 연구 동향 분석

1. 관련 분야의 국내외 연구동향 및 학술적 성과

가. 국가 연구개발사업 유사연구 실적

(1) 연비 표준 시험방법 개발

[표 1] 국가 연구개발사업 유사연구 실적-1

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
국토교통부	교통체계효율화사업	하이브리드자동차 안전성 평가기술 개발 연구	12	
국토교통부	교통체계효율화사업	수소연료전지자동차 안전성 평가 기술개발 연구	244	
국토교통부	교통체계효율화사업	교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발	71.2	

(가) 연구개발 과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

- 하이브리드자동차 안전성 평가기술 개발 연구(‘06~’08, 국토부)

· 하이브리드자동차 연비시험방법 연구 및 자동차 주행저항시험방법 연구

· 연구 결과를 반영한 자동차 안전기준 개정 완료

- 수소연료전지자동차 안전성 평가 기술개발 연구(‘07~’12, 국토부)

· 수소연료전지자동차 연비시험방법 연구

· 연구 결과를 환경부 ‘제작자동차 시험검사 및 절차에 관한 규정’ 고시 및 연비 공동고시에 반영

- 교통부문 온실가스 저감 및 통합관리기술 개발(‘10~’12, 국토부)

· 승용·화물·승합 자동차 및 이륜차, 비도로 자동차(건설기계) 온실가스 배출계수 개발 방법 연구

· 연비 계산식 반영을 위한 자동차 연료 특성 연구

· 연구 결과를 자동차 연비 공동고시에 반영

(2) 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구

[표 2] 국가 연구개발사업 유사연구 실적-2

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
산업부	-	자동차의 표시연비 시험방법 및 표시연비 보정식 개발 연구	0.4	
에너지관리 공단	-	자동차 경제운전 에너지절감 효과분석 연구	0.4	
에너지관리 공단	-	그린카 에너지소비효율 시험 및 기술적 세부사항 연구	0.67	
환경부	오토오일 프로그램 사업	환경챔버를 활용한 유종별 차량 온실가스 및 대기오염물질 배출특성 평가	1.8	

(가) 연구개발 과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

- 자동차의 표시연비 시험방법 및 표시연비 보정식 개발 연구('11. 5 ~ '11. 8)
 - 해외 선진국(미·일·유럽)의 자동차 연비 표시제도 적용
 - 국내·외 자동차 에너지소비효율 측정 시험방법 검토
 - 국내 대표차량에 대한 미국 5-Cycle 적용 시험
 - 국내 차량 표시연비 시험방법 및 보정식 개발
- 자동차 경제운전 에너지절감 효과분석 연구('12. 5 ~ '12. 12)
 - 국내외 자동차 경제운전 관련 자료 조사
 - 운전자의 운전기법에 및 차량관리에 따른 에너지절감 효과 분석
 - 제작자동차 등 관련기업 및 관련단체와 토론회 등을 통한 협의
- 그린카 에너지소비효율 시험 및 기술적 세부사항 연구('13. 4 ~ '13. 8)
 - 해외 그린카 기술 기준 및 세계지원 기준 현황 파악
 - 하이브리드, 전기, 플러그인하이브리드 자동차의 5-cycle 연비 시험 및 기술적 세부사항 검토
 - HEV, EV 및 PHEV의 시험결과와 내연기관 차량 시험결과 비교 분석
- 환경챔버를 활용한 유종별 차량 온실가스 및 대기오염물질 배출특성 평가('13. 5 ~ '14. 4)
 - 국외(미국, 유럽, 일본) 배출가스 및 온실가스, 대기오염물질 적용 사례 분석(자료조사)
 - 다양한 운전조건(환경조건)과 특정 주행상태, 제어기술에 따른 차량 대기오염물질(규제 및 미규제 배출가스 및 온실가스) 배출특성 분석
 - 신형식 차량에 대한 특이 운전조건에 따른 대기오염물질 배출특성 분석

(3) 연비 제도 개선 연구

[표 3] 국가 연구 개발사업 유사연구 실적-3

(단위 : 억원)

부처명	사업명	과제명	예산	비 고
환경부	차세대핵심환경기술개발	자동차 온실가스 및 배출가스 저감기술과제 도출을 위한 기획연구	2	2008년 (사)자동차환경센터에서 수행

(가) 연구개발 과제의 중복방지를 위한 조사 및 검토결과

- 2008년에 (사)자동차환경센터에서 차세대핵심환경기술개발 사업의 일환으로 자동차 온실가

스 및 배출가스 저감기술과제 도출을 위한 기획연구' 과제를 수행

· 자동차 온실가스 및 미규제물질의 대응기술, 엔진연소기술, 차량경량화 및 에어컨 등 자동차 연비향상 기술의 전망 및 개발방안, 하이브리드자동차, 연료전지자동차 등 차세대 친환경 저온실가스 자동차의 전망 및 개발방안, 자동차 친환경연료인 LCFs(Low Carbon Fuel)의 전망 및 자동차 적용방안, 미규제유해물질의 규제방향과 MSATs(Mobile Source Air Toxics) 동향, Tire 기술동향 조사 등을 바탕으로 했음.

2. 관련분야의 국내외 연구동향 및 학술적 흐름 분석

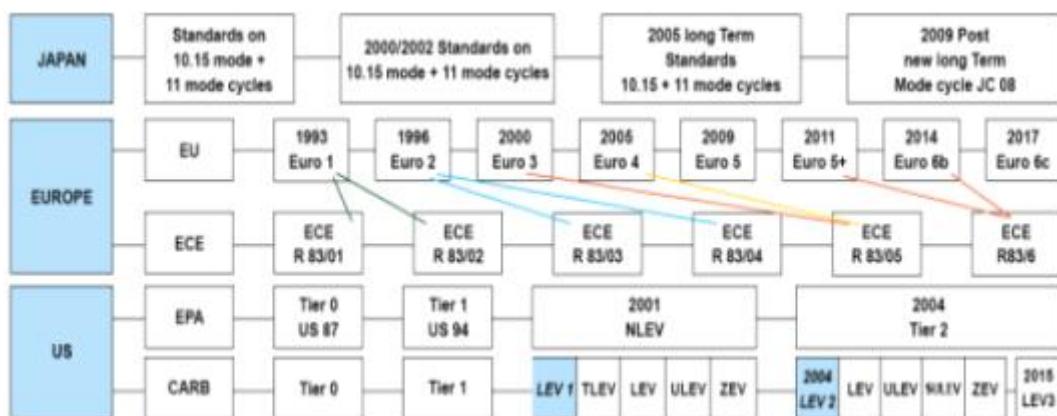
가. 연구 동향 분석 및 상관성 판정방법 도출

(1) 신규 배출가스 규제 모드

환경부에서는 2015년부터 2차 수도권 대기환경 기본계획을 통하여 2024년까지 $10 \mu\text{m}$ 미만의 극미세입자(PM10)는 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $2.5 \mu\text{m}$ 미만의 극미세입자(PM2.5)는 $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 개선하겠다는 계획을 발표하였으며, 또한 질소산화물은 21ppb, 오존은 60ppb로 개선하여 배출량을 오염물질별로 배출전망치(BAU) 대비 34~56% 감축하겠다는 목표를 설정. 환경부에 따르면 이러한 개선이 이루어질 경우 인체위해성 중심 대기관리효과로써 약 6조원의 건강 피해비용을 저감할 수 있다고 하며 최근 중국발 미세먼지로 인해 국민들의 대기환경에 대한 관심이 높아지고 있는 상황에서, 수도권의 미세먼지와 질소산화물 배출량의 50%를 차지하는 자동차에 대한 관리와 저감대책이 절실히 요구됨.

현재 승용차의 배출가스 규제는 경유자동차에 대해서는 유럽의 배출가스 규제인 Euro 규제를 도입하여 적용하고 있으며, 휘발유 및 LPG 자동차에 대해서는 미국의 LEV 규제를 적용하고 있음.

다음 그림은 일본, 유럽 및 미국의 자동차 환경규제의 변화 및 도입예정인 규제를 나타내고 있으며 국내 또한 경유자동차의 경우 2014년 9월부터 기존의 Euro5 규제보다 질소산화물 규제가 강화된 Euro6 규제가 도입되었으며, 휘발유 및 LPG 자동차에 대해서도 2016년부터 기존의 ULEV 규제보다 강화된 LEV3 규제가 도입 예정.



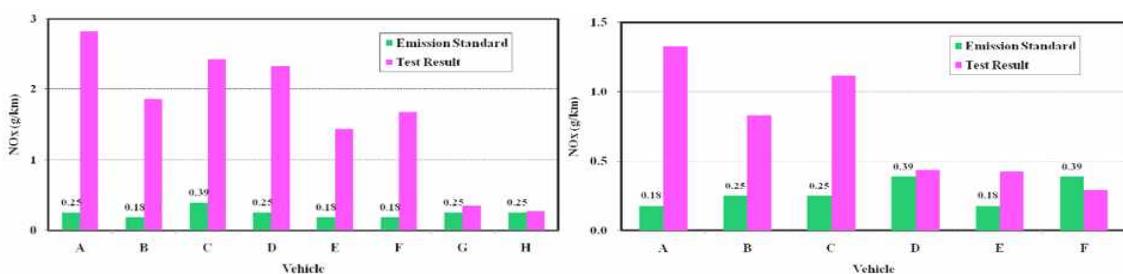
[그림 3] 일본, 유럽 및 미국의 승용차 규제

경유자동차는 유럽의 규제모드인 NEDC(New European Driving Cycle)에서 시험하고 있으며, 휘발유 및 LPG 자동차에 대해서는 미국의 규제모드인 FTP-75(Federal Test Procedure)에서 시험하고 있으나 유럽과 미국 모두 기존의 규제모드가 실도로 운전조건과 상이한 점이 많아 실제 배출

량을 반영하지 못한다는 연구결과가 지속적으로 발표됨에 따라 새로운 규제모드 도입 예정.

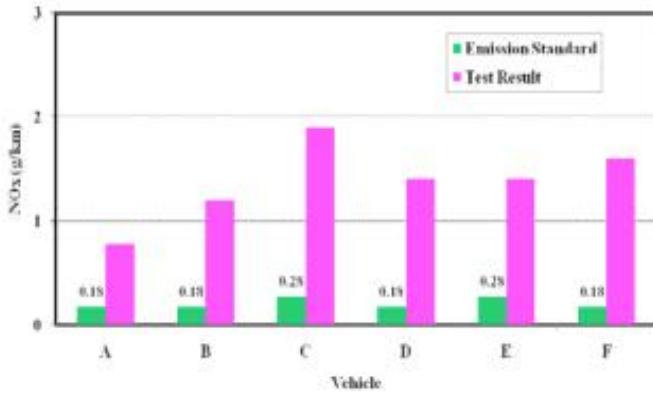
규제모드의 경우 상온조건에서 정해진 속도로 차량을 운행하도록 되어 있으나, 실도로에서의 운행은 0°C 이하의 저온조건, 35°C 이상의 고온조건 및 에어컨작동, 언덕, 급가속·급제동 등 다양한 변수를 포함.

다음 [그림 5]는 국내의 연구결과로서 국내에서 판매중인 자동차(A~H)에 대해 질소산화물의 배출가스 규제값(녹색)과 실도로 운행조건에서의 실제 배출량(분홍색)의 차이를 나타내고 있으며 차량에 따라 차이는 있으나, 규제치 대비 최대 10배 이상의 차이를 나타냄. 이러한 경향성은 극미세입자의 배출량 차이에서도 나타나는데 다음 [그림 6]은 외국의 한 연구결과를 나타낸 것으로써, 상온 대비 저온에서 경유자동차가 운행할 때 극미세입자의 배출이 2배가량 증가하는 것으로 나타났음. 이는 현재의 규제모드가 실제 운전조건을 적절히 반영하지 못하기 때문인 것으로써, 장기적으로 현재의 규제를 유지할 경우 실제 대기환경개선 효과 또한 감소할 것이 분명함.



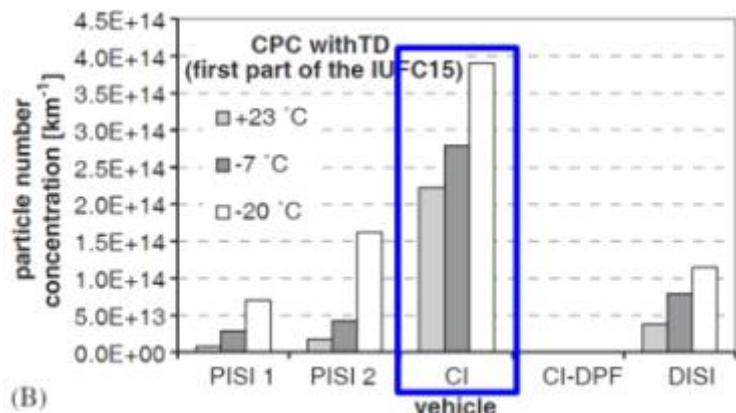
[그림 4] 실도로 운행조건에서의 질소산화물 규제값과 실제배출량 차이

(좌: 에어컨 작동조건, 우: 고온조건)



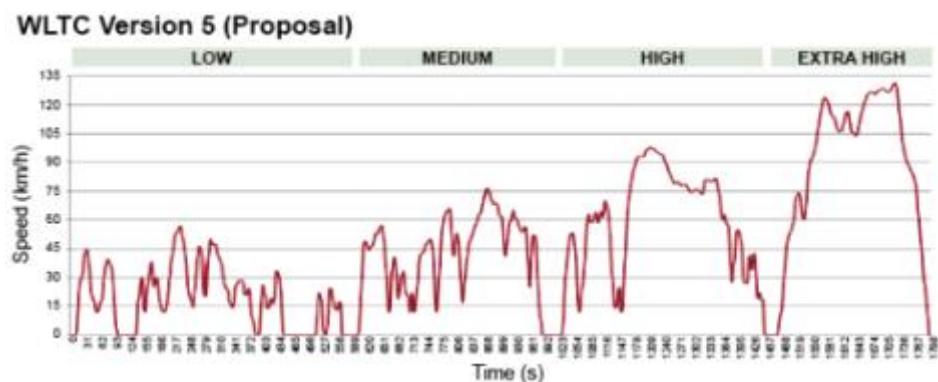
[그림 5] 저온조건에서의 질소산화물 규제값과

실제배출량 차이



[그림 6] 저온조건에서의 극미세입자 배출량 증가

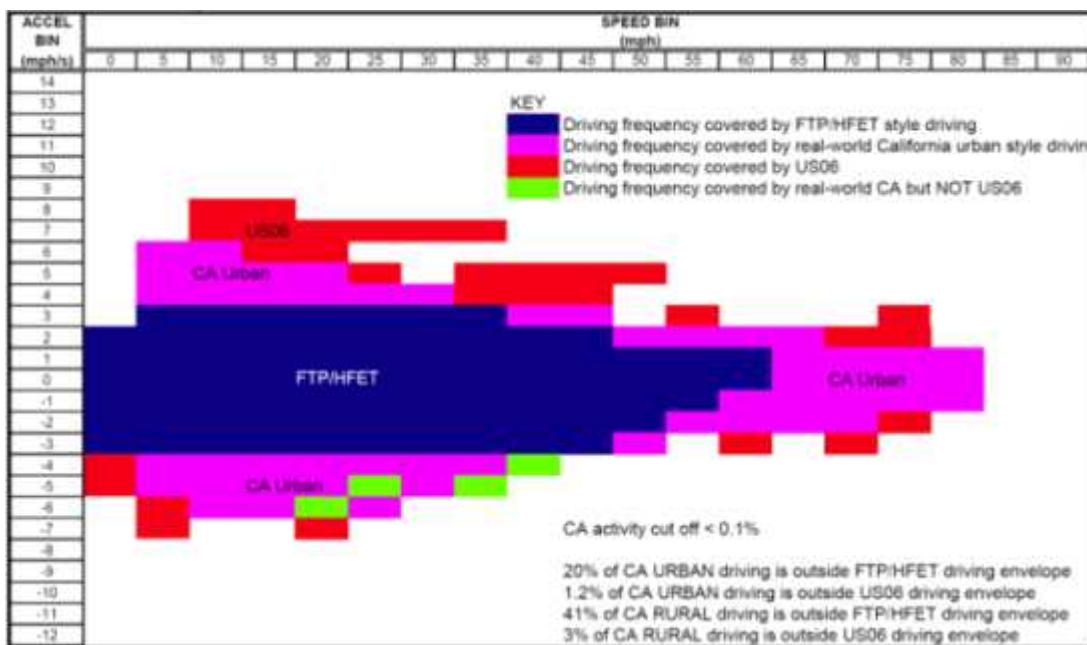
유럽에서는 이러한 규제와 실제 배출량의 차이를 줄이기 위하여 기존의 NEDC 모드를 대체하기 위한 규제모드로써, 세계조화모드(WLTP, Worldwide Harmonized Light-duty vehicle Test Procedure) 도입을 검토하고 있으며, 다음 그림은 가장 최근 제안된 WLTP의 5번째 개선안을 나타냄. 현재 2017년 도입을 목표로 논의 중에 있으며, 실도로 운전조건을 반영할 수 있도록 초고속구간(약 130km/h)포함 및 에어컨작동 유/무, 전조등작동 유/무, 오디오시스템 작동 유/무, 배터리 충전상태, 외부대기온도, 차량무게(적재량) 등이 배출가스 및 성능에 미치는 영향에 대해서 각각의 WG(Working Group)에서 연구 중임.



[그림 7] 유럽의 새로운 승용차 규제모드 (WLTP)

그 외에도 배출가스 규제에 에탄올, 알데히드, 아산화질소(N2O), 암모니아(NH3)를 포함하기 위한 연구 또한 진행되고 있으며, 극미세입자의 측정방법 및 범위 등 광범위한 연구가 진행 중임.

미국 또한 실도로 배출가스를 반영하기 위하여 기존의 규제모드에 추가적인 규제모드(SFTP, Supplemental Federal Test Procedure)를 추가한 5-cycle을 도입함. 추가적인 규제모드는 실도로 주행조건을 반영할 수 있는 고속·고부하 운전모드(US06), 에어컨 작동모드(SC03) 등으로 이루어져 있고, 저온조건에서의 일산화탄소 및 유해물질 규제를 위한 저온 FTP-75 (기존의 FTP-75 모드를 -6.7°C에서 운전) 및 고속도로운전모드(HWFET, Highway Fuel Economy Test)에 대해서도 시험함으로써, 다음 그림과 같이 규제모드에서의 자동차의 운전조건을 확장함으로써 실도로 운전영역과 비교할 때 큰 차이가 없는 것으로 나타남.

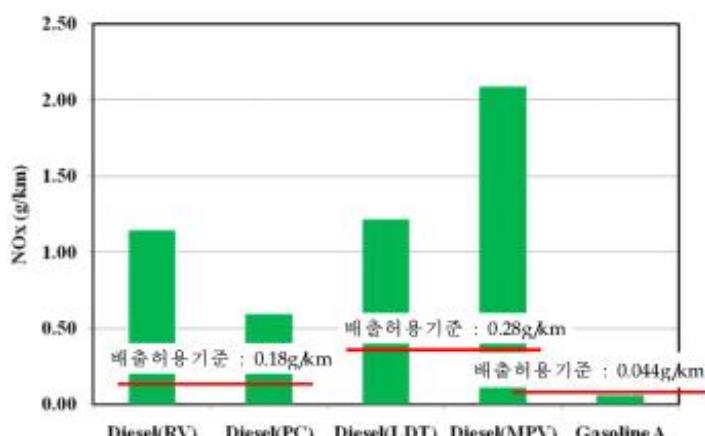


[그림 8] 미국의 배출가스 규제모드의 운전 영역

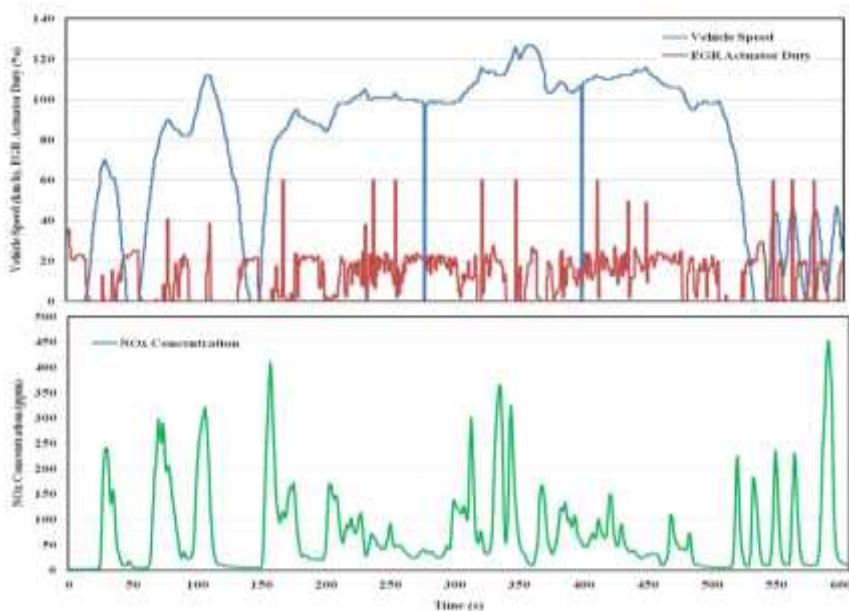
국내의 경우 환경부에서 휘발유 및 LPG 자동차의 오염물질에 대해 실도로 주행조건을 반영한 시험모드 추가를 위해 대기환경보전법 시행규칙 개정을 추진 중이지만, 경유자동차에 대해서는 준비가 부족한 실정이며, 휘발유 및 LPG 자동차 또한 미국의 규제를 도입할 예정이기 때문에 국내 도로 설정과는 다소 차이가 있음. 국내 도로상황이 반영된 자동차 배출가스 시험은 국내 일부 연구기관에서 연구를 진행하였으나, 측정한 배출가스가 제한적으로 자동차의 대기환경성 및 인체위해성을 종합적으로 분석하기에는 다소 한계가 있음.

(2) 현행 인증모드 외 운전조건 배출가스 연구

국립환경과학원 교통환경연구소의 운행조건별 경유차 배출특성 조사 연구(권상일, et al.)에 따르면, 130km/h의 고속 및 급가속이 포함된 US 06 모드에서는 다음 그림에서 보듯이 급가속시 EGR 작동이 중단되면서 NOx 배출량이 급격히 증가함에 따라 배출허용기준 보다 3~8배 초과하는 것으로 나타났으며 특히 차량 무게가 무거운 소형승합차량에서 가장 크게 NOx 배출량이 증가. 이는 타 차종에 비해 급격한 부하변동이 발생함에 따른 것으로 판단됨.

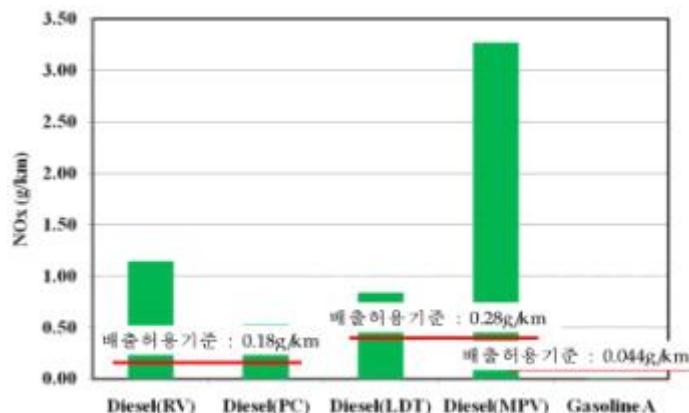


[그림 9] US06 모드에서 NOx 배출 수준



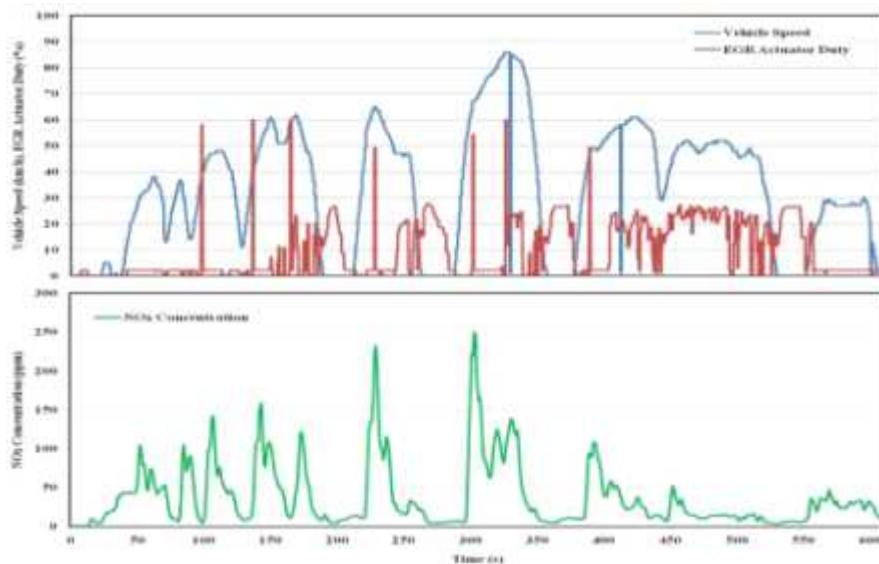
[그림 10] US06 모드에서 EGR rate 및 NOx 배출 수준

SC 03 모드는 에어컨 가동시의 영향을 알아보기 위하여 개발된 시험모드로 전체적으로 주행 패턴은 규제 모드와 유사한데 다음 그림에서 같이 전체 경유자동차에서 배출허용기준을 3~12 배를 초과하였으며, 특히 RV 차종과 소형 화물자동차에서 NOx 배출이 급격히 증가함.



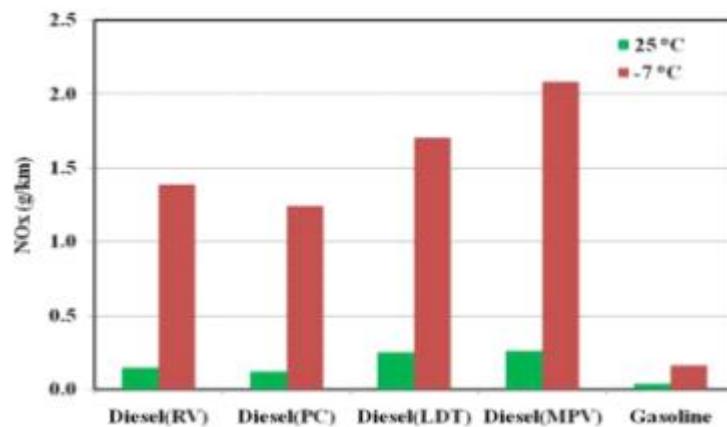
[그림 11] SC03 모드에서 NOx 배출 수준

이는 다른 차종에 비해 출력이 부족한 부분을 보상하기 위하여 에어컨 작동 시 질소산화물 저감장치인 EGR의 작동을 급격히 줄이거나 중지시킴에 따른 결과로 판단되며, 이를 확인하기 위하여 모드 주행에 따른 실시간 EGR 작동률과 NOx 배출량과의 관계를 다음 그림에 나타내었으며 결과에서 보듯이 고출력이 필요한 가속 시에 EGR 작동 중단되면서 NOx 배출량이 급격히 증가함.

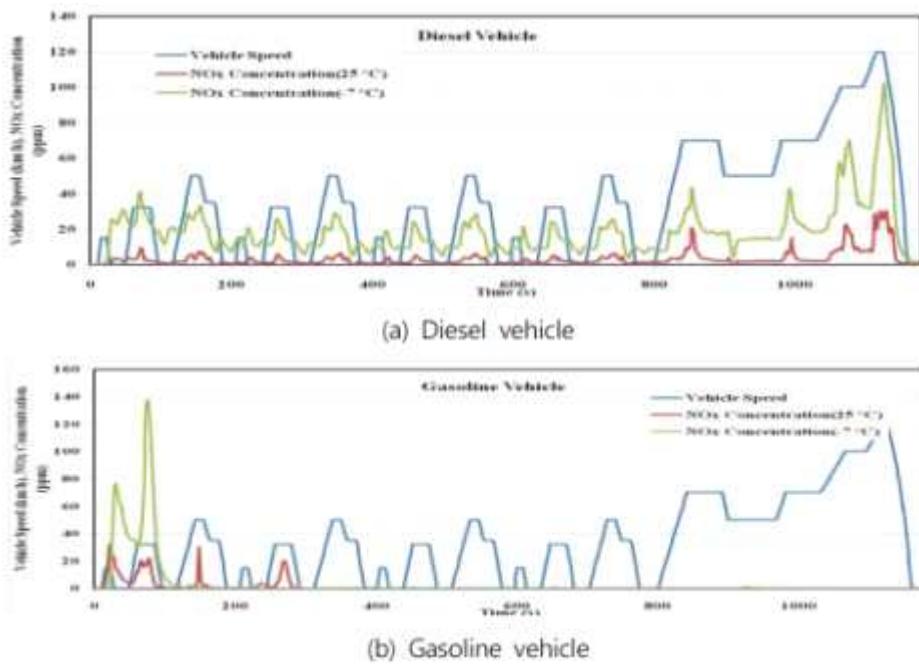


[그림 12] SC03 모드에서 EGR rate 및 NOx 배출 수준

일반적으로 인증시험모드는 외기온도가 평균 25°C에서 배출가스를 평가함에 따라 영하의 저온조건에서의 NOx 배출특성을 분석하기 위하여 외기온도 25°C와 -7°C에서의 NOx 배출특성 비교 결과를 다음 그림에 나타냄. -7°C의 외기온도에서는 25°C보다 경유자동차와 휘발유자동차 모두 5~10배 높은 NOx가 배출원인 분석을 위하여 주행모드에 따른 실시간 NOx 배출 농도를 나타낸 [그림 13]에서 보듯이 휘발유자동차의 경우 삼원촉매 온도가 활성화 온도에 도달되기 전인 초기 300초까지 NOx의 배출이 저온조건에서 급격히 증가하였으나 경유자동차는 모든 운전영역에서 상온 조건보다 높게 배출되는 것으로 나타났기 때문에 일반 실도로 운행조건에서는 대부분 엔진이 예열된 상태에서 운전하는 휘발유자동차는 저온조건에서도 NOx 배출이 크게 차이가 없을 것으로 판단됨. 그러나 경유자동차에서는 저온조건에서 NOx 배출량이 크게 증가할 것으로 예상됨에 따라 인증 및 사후관리 단계에서 이에 대한 대책 마련이 시급함.



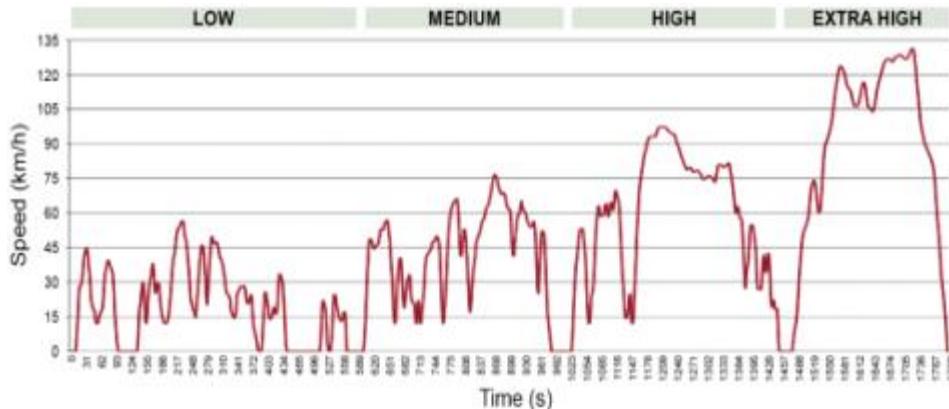
[그림 13] 상온 및 저온 조건에서 NOx 배출량 비교



[그림 14] 상온 및 저온 조건에서 유종 별 차량 NOx 배출량 비교

(3) 연비 및 배출가스 규제 모드 분석

(가) 유럽 WLTC : 다음 그림은 2020년부터 EU에 도입 될 WLTP 시험법에 포함된 주행 모드인 WLTC를 나타내며, 현행 NEDC와 비교한 모드 특성은 다음 표에 나타남.

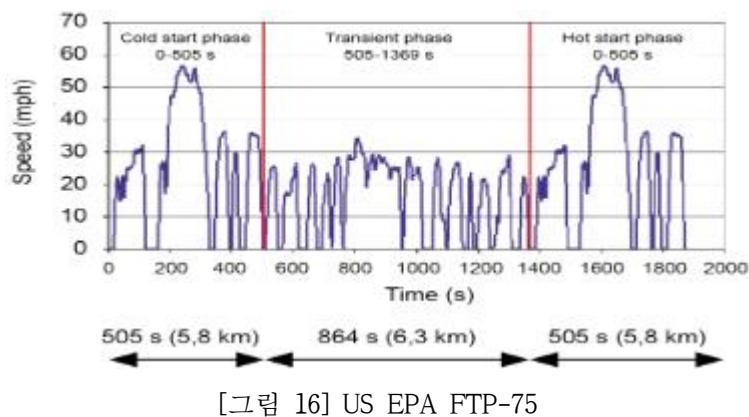


[그림 15] Worldwide harmonized Light-duty Test Cycle(WLTC)

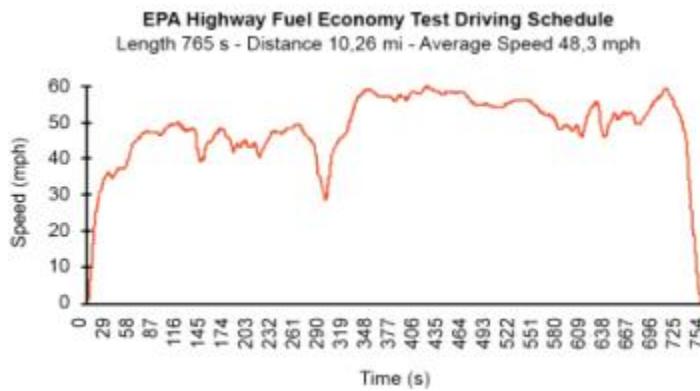
[표 4] NEDC, WLTC 모드특성 비교

	NEDC	WLTC
Length(s)	1,220	1,800
Length(km)	11.06	23.26
Idle time (%)	33	13
Vmax(kph)	120	131.6
Vavg(kph)	31.6	46.3
Accel.max(m/sec ²)	1	1.6

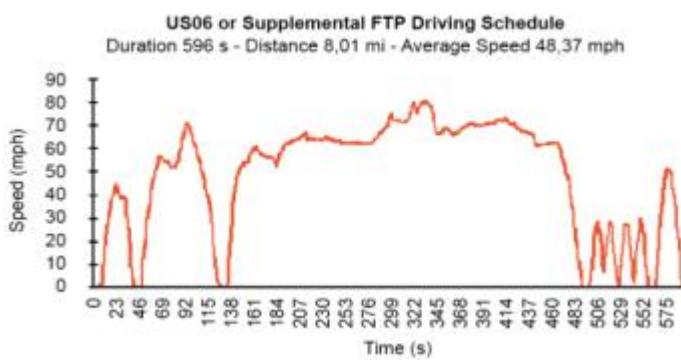
(나) 미국 EPA : 다음 그림은 현행 FTP-75를 포함한 미국의 주행 모드이며, 에어컨을 사용하는 SC03, 고부하 운전 모드인 US06 등이 포함되어 있으며, -7°C 저온 주행은 FTP-75 모드를 그대로 사용. 표에는 각 모드의 특성을 비교함.



[그림 16] US EPA FTP-75



[그림 17] US EPA Highway Fuel Economy Test (HWFET)

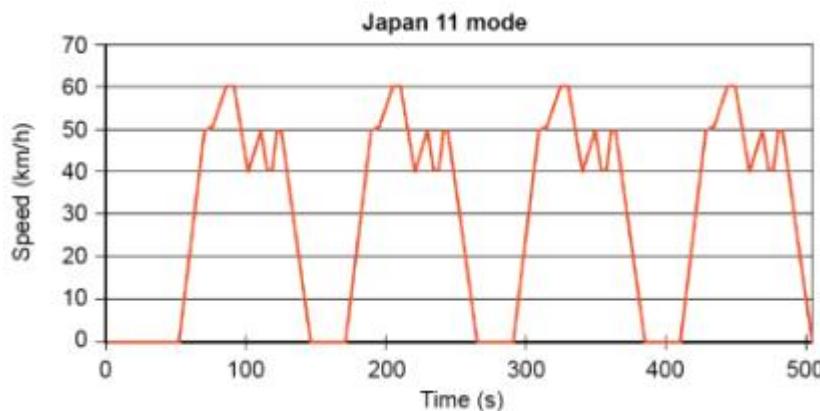


[그림 18] US EPA US06

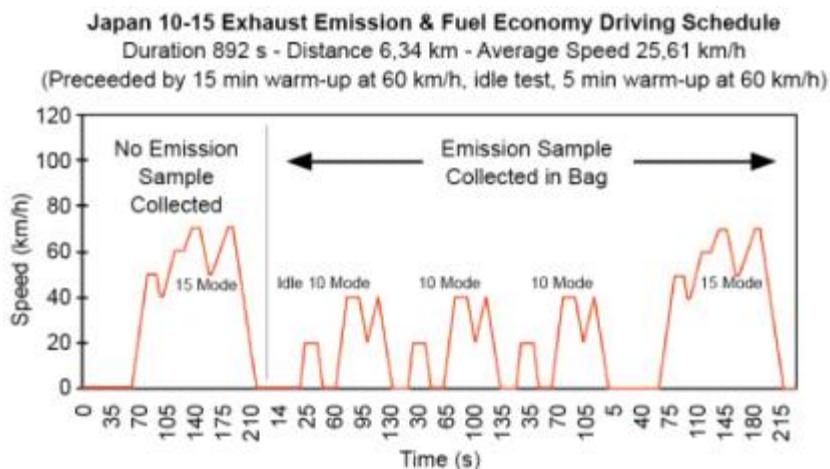
[표 5] 미국 현행 모드특성 비교

	FTP-75	HWFET	SC03	US06
Length(s)	1,874	765	598	596
Length(km)	17.77	16.5	3.58	12.86
Vmax(kph)	91.2	96.4	88	129
Vavg(kph)	34.2	77.7	34.9	77.2

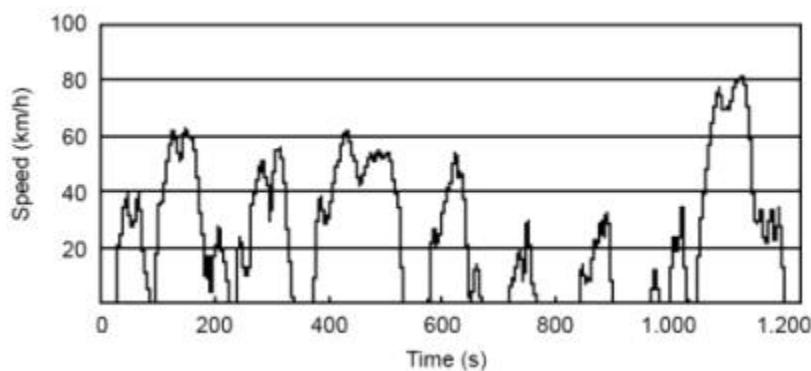
(다) 일본 : 다음은 일본에서 사용 중인 11-mode 저온 사이클, 10-15 모드, JC08 등을 정리함.



[그림 19] Japan 11 Mode cold cycle



[그림 20] Japan 10-15 Mode hot cycle



[그림 21] Japan JC08 Cycle

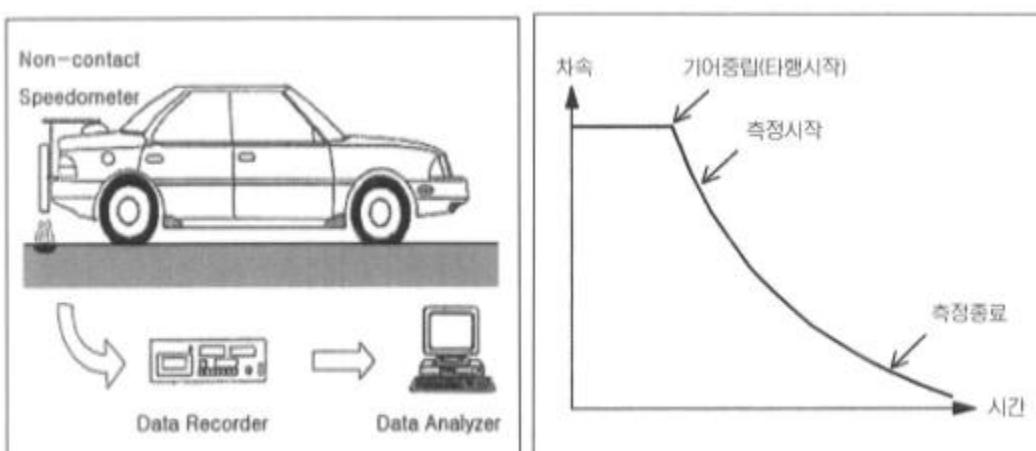
[표 6] 일본 현행 모드특성 비교

	11 mode	10-15 mode	JC08
Length(s)	480	660	1205
Length(km)	4.084	4.16	8.2
Vmax(kph)	60	70	80
Vavg(kph)	30.6	22.7	24.4

(4) Coastdown Test를 이용한 주행저항 측정법

다음 그림의 시험모드와 같이 측정시작 차속보다 충분히 높은 차속으로 정속 주행 중 구배가 없는 직선로 구간에서 기어를 중립으로 하여 타행을 시작함. 시험의 오차를 줄이고, Coastdown Test중 발생되는 바람의 영향을 상쇄하기 위해 동일 차속구간에 대해 바람에 대한 순방향과 역방향 타행을 교대로 수차례 반복 수행함.

Data 측정방법은 측정방식에 따라 일정 시간간격에 따른 차속의 변화를 측정하는 방법(EPA 방식)과 지정된 차속구간에 대한 감속 소요시간을 측정하는 방법(EC 방식)이 있는데, Coastdown Test중 측정된 Data를 Data Recorder에 저장한 후 시험이 완료되면 Data Analyzer에서 저장된 Data를 분석하여 시험 중 차량에 작용한 주행저항을 구함.



[그림 22] Coastdown Test 시스템 및 test mode

주행중인 차량에 작용하는 저항은 구름저항, 공기저항, 구배저항 등이 있는데, Coastdown Test는 구배가 없는 직선로에서 이루어지므로 구배저항은 없다고 볼 수 있음. 바람이 없는 이상적인 조건에서의 Coastdown Test 시 차량에 작용하는 저항은 차속에 무관하게 일정한 성분과 차속의 제곱에 비례하는 성분으로 나누어질 수 있으나, 실제로는 Coastdown 시험 시 바람에 의한 주행 저항이 추가되어 다음과 같이 차속에 대한 일차항이 존재하는 이차식의 주행저항이 차량에 작용됨.

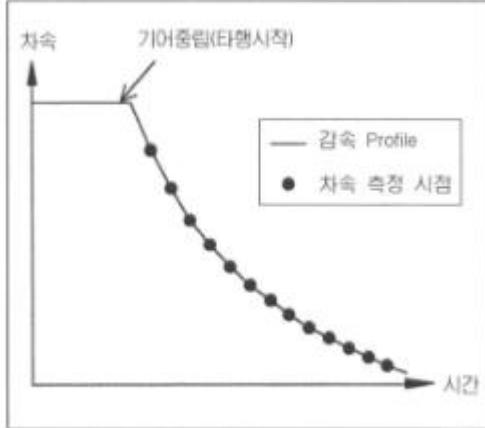
$$-\frac{dV}{dt} = f_0 + f_1 \cdot V + f_2 \cdot V^2 \quad <\text{식 } 1>$$

여기서 f_0, f_1, f_2 는 road coastdown 중인 차량에 적용되는 총 힘, V 는 차량의 속도를 의미함. Data Analyzer를 사용하여 구해진 식 1의 계수들을 표준대기상태에 대해 주어진 방식으로 보정한 후 동력계에 적용하여 실도로에서의 차량에 작용하는 주행저항을 구현함. (주행저항 계수의 계산 및 보정방식에 대해 국가별로 상이한 방식을 채택하고 있음)

(5) 국가 별 Coastdown Test 방법 비교

(가) EPA Coastdown Test

- 측정방식 : EPA Coastdown Test에서는 다음 그림과 같이 타행이 시작된 후 일정한 시간간격으로 차속을 측정하는 방식을 채택하고 있으며, 시험의 정확성을 높이고 바람에 의한 영향을 상쇄시키기 위해 바람에 대한 순방향과 역방향을 교대로 수차례 반복 시험함.



[그림 23] EPA Coastdown 측정 방식

- 분석과정 : Coastdown Test는 풍속이 작은 경우에 실시하도록 규정하고 있어 바람의 영향은 크지 않으나, 바람의 순방향과 역방향에 따른 감속 Profile은 꽤 큰 차이를 보이는데 이는 주행저항의 일차항이 바람의 방향에 따라 부호가 반대가 되기 때문이며 바람의 영향을 고려한 주행저항을 수식으로 나타내면 다음의 식 2와 같이 나타낼 수 있음.

$$-\frac{dV}{dt} = a_0 + a_2(\vec{w} \cdot \vec{s})^2 + g(\vec{\delta} \cdot \vec{s}) - 2a_0(\vec{w} \cdot \vec{s})V + a_2V^2 \quad <\text{식 } 2>$$

여기서 a_0, a_2 는 주행저항계수, $\vec{w}, \vec{s}, \vec{\delta}$ 는 각각 풍속벡터, 차량의 진행방향 단위벡터, 구배벡터를 의미하며, 식 2를 변수분리(Separation of Variables)한 후 적분하면 차속을 시간의 함수로 표현.

$$V = (B/a_2) \tan B(C-t) + (\tilde{w} \cdot \tilde{s}) \quad < \text{식 } 3 >$$

여기서 V_0 는 시간(t)가 0일 때의 차속을 의미하며 B, C는 각각 식 4, 식5에 의해 정의.

$$B^2 = a_0 [a_2 + g(\tilde{\delta} \cdot \tilde{s})] \quad < \text{식 } 4 >$$

$$C = \frac{1}{B} \tan^{-1} \left[\frac{a_0 V_0 - a_2 (\tilde{w} \cdot \tilde{s})}{B} \right] \quad < \text{식 } 5 >$$

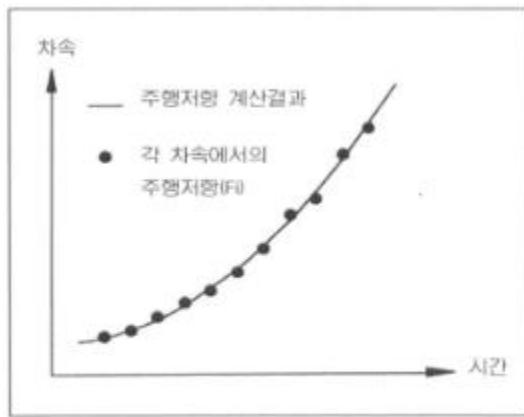
Coastdown Test를 통해 측정된 실제 차속과 가장 근접한 계산치를 식 3으로 표현할 수 있도록 최소오차자승법(Least Square Method)을 사용하여 a_0, a_2 를 구하는데, Coastdown Test는 구배의 영향이 없는 직선로에서 바람에 대한 순방향과 역방향을 교대로 실시하므로 양 방향에 대해 구해진 주행저항을 평균하면 차속에 대한 일차항이 상쇄되어 식 2를 다음과 같이 표현.

$$-\frac{dV}{dt} = a_0 + a_2 (\vec{w} \cdot \vec{s})^2 + a_2 V^2 \quad < \text{식 } 6 >$$

시험이 진행되는 동안의 풍속과 풍향을 측정하여 식 6에 존재하는 풍속의 영향을 제외시켜 주면 단일 왕복주행에 대한 주행저항 계수를 구할 수 있으며, 수차례 반복시험을 통해 구해진 주행저항 계수들 중 속도계산치의 평균오차와 시험간 표준편차가 규정된 수준 이내를 만족하는 계수들을 선정하여 평균하면 전체 Coastdown Test동안의 평균 주행저항 계수를 구할 수 있음. Coastdown Test가 항상 표준 대기상태에서만 실시할 수는 없으므로 지금까지 살펴본 방법으로 구해진 평균 주행저항 계수를 표준 대기상태에 해당하는 표준 주행저항 계수로 보정하게 되는데, EPA Coastdown에서는 대기온, 대기압 변화에 따른 공기밀도 차이를 보정하고 대기온 변화에 따른 타이어 구름저항 차이를 보정하고 있음.

(나) EC Coastdown Test

- 측정방식 : EPA Coastdown Test에서는 일정한 시간간격으로 차속을 측정하는 반면, EC Coastdown Test는 지정된 속도구간에 대해 감속소요시간을 측정하는 방식을 채택함. 즉 다음 그림에서 도시된 바와 같이 차속 V_A 에서 V_C 로 감속되는데 소요되는 시간($T_C - T_A$)을 측정함. 시험의 정확도를 높이고 바람의 영향을 상쇄시키기 위해 동일한 속도구간에 대해 바람의 순방향과 역방향 타행을 교대로 수차례 반복시험을 실시했음. 각 타행주행 시 구해진 감속소요시간들 중 표준편차가 규정된 수준 이내를 만족하는 것들을 선택한 후 평균하여 주어진 속도구간에 대한 평균 감속소요시간으로 채택함.



[그림 24] EC Coastdown 측정 방식

- 분석과정 : EC Coastdown Test는 EPA Coastdown Test에 비해 비교적 단순한 방법으로 주행저항을 분석하며 시험을 통해 구해진 평균 감속소요시간에 대한 보정을 먼저 실시하는데, 대기상태 보정을 위해 식 7과 같이 정의된 보정계수 K를 사용.

$$K = \frac{R_R}{R_T} [1 + K_R(t - t_0)] + \frac{R_{aero}}{R_T} \cdot \frac{\rho_0}{\rho} \quad < \text{식 } 7 >$$

여기서, R_R , R_{aero} , R_T 는 각각 구름저항, 공기저항, 전주행저항(구름저항과 공기저항의 합)을 의미하며, EC법규상의 Table 값을 이용하거나 풍동시험을 통한 공기저항 측정결과 자료와 Tire 제조업체의 구름저항계수 측정결과 자료를 이용하여 구했음. t , ρ , t_0 , ρ_0 는 각각 시험 시 대기온, 시험 시 공기밀도(대기온과 대기압으로부터 계산), 표준 대기온, 표준 공기밀도를 의미하며, K_R 은 구름저항에 대한 온도 보정계수로 실험식으로부터 구해진 값인 $8.64 \times 10^{-3}/^\circ\text{C}$ 을 사용했음. 시험을 통해 측정된 평균 감속소요시간을 식 7로부터 구해진 보정계수 K를 사용하여 대기보정을 수행하고, 시험중량과 등가관성중량의 차이에 대한 질량보정을 수행하여 표준상태에 대한 감속소요시간을 구했음.

$$\overline{T_{measure}} = \frac{\overline{T_{measure}}}{K} \cdot \frac{I}{M} \quad < \text{식 } 8 >$$

여기서, I , M 은 각각 등가관성중량과 실제 Coastdown Test시 적용된 차량중량을 의미하고, $\overline{T_{measure}}$, $T_{correct}$ 는 각각 시험을 통해 구해진 평균 감속소요시간과 이를 보정해서 구한 표준상태 감속소요시간을 의미하며 식 8에서 구해진 표준 감속소요시간으로부터 각 차속 구간에서의 주행저항을 식 9와 같이 구할 수 있음.

$$F = I \cdot \frac{\Delta V}{T_{correct}} \quad < \text{식 } 9 >$$

EC 인증 시에는 식 8에서 구해진 표준상태 감속소요시간이나 식 9에서 구해진 각 차속 구간의 주행저항이 구현될 수 있도록 동력계를 조정하여 인증을 실시함.

(다) 일본 Coastdown Test

- 측정방식 : 일본 Coastdown Test는 EC Coastdown Test와 차속구간에 다소 차이가 있을 뿐 동일한 방식으로 시험 및 측정을 실시했음.
- 분석과정 : EC Coastdown Test와 동일한 방법으로 구해진 각 차속구간에 대한 평균 타행

소요시간으로부터 주행저항을 구할 수 있음. 즉 다음 그림과 같은 타행의 경우 주행저항 측정차속 V_B 에서의 주행저항은 $\Delta V (= V_A - V_C)$ 와 $\Delta T (= T_A - T_C)$ 로부터 구할 수 있는데, 이를 식으로 나타내면 식 10과 같이 표현됨.

$$F = M \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad <\text{식 } 10>$$

여기서, M 은 Coastdown Test시 적용된 차량중량을 의미하며, 일본 Coastdown Test에서는 주행저항을 식 11과 같이 상수항과 속도의 이차항의 합으로 규정.

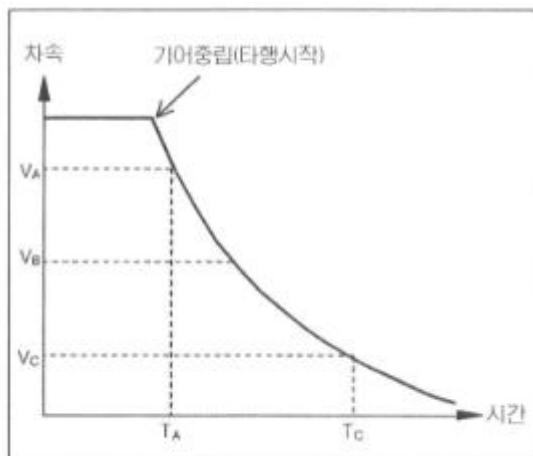
$$F = a + b \cdot V^2 \quad <\text{식 } 11>$$

식 10으로부터 구해진 각 주행저항 측정차속(V_i)에서의 주행저항(F_i)을 만족하는 식 11의 계수를 구하기 위해 전체 속도구간(n 개) 최소오차자승법을 사용하면 주행저항 계수를 식 12, 식 13과 같이 표현할 수 있음.

$$a = \frac{\sum V_i^4 \sum F_i - \sum V_i^2 \sum V_i^2 F_i}{n \sum V_i^4 - (\sum V_i^2)^2} \quad <\text{식 } 12>$$

$$b = \frac{n \sum V_i^2 F_i - \sum V_i^2 \sum F_i}{n \sum V_i^4 - (\sum V_i^2)^2} \quad <\text{식 } 13>$$

위 그림은 식 10으로 정의된 각 차속에서의 주행저항(F_i)과 식 12, 식 13으로부터 구해진 주행저항계수를 사용하여 식 11로 계산된 주행저항을 비교한 것으로, 식 12, 식 13의 주행 저항 계수들은 Coastdown시의 대기온(T_e), 대기압(P), 주행방향 풍속(W)을 표준 대기상태로 보정하여 동력계에 적용하여 보정식은 식 14, 식 15와 같음.



[그림 25] EC Coastdown 측정 방식

$$a_{STD} = (a - b \cdot W^2) \cdot [1 + 0.00864(T_e - 20)] \quad <\text{식 } 14>$$

$$b_{STD} = 2.59b \cdot \frac{T_e + 273}{P} \quad <\text{식 } 15>$$

(6) 국내외 주행저항 시험법

자동차의 주행저항 시험법은 주요 국가별로 상이하며, 국가별 주행저항 측정법을 다음 그림에 정리함. 상세한 부분에서는 차이가 있으나 국내를 포함하여 대부분의 국가에서 실도로 coastdown 방식을 채용하고 있으며, 특히 우리나라는 주행저항 측정치에 대한 사후검증 체계를 준비 중에 있음. 현행 기준에 따르면 주행저항 측정치의 허용 오차는 15%이며, 실도로 coastdown은 115→15kph 타행시간을 측정하여 계산하는 방식을 사용하고 있음.

	북미	유럽	일본	내수
외기조건	외기 5~35°C	시험시 공기밀도가 표준조건 공기밀도와의 차이가 ±7.5% 이내	별도 규정 없음	외기 5~35°C
풍향조건	(탑재식) 평균풍속 35kph 이내 승강최대풍속 50kph 이내 평균 직각성분 풍속 15kph 이내	평균풍속 3m/s 이내 최고풍속 5m/s 이내 직각성분 풍속 2m/s 이내	시험로 방향의 풍속평균 5m/s 이하 속 20kph 이내, 시험로 직각성분풍 & 시험로 직각방향의 풍속평균 속 8kph 이내 2m/s 이하 (탑재식) 평균풍속 35kph 이내 또는 최고풍속 50kph 이내	평균풍속 16kph 이내 또는 최고풍 속 20kph 이내, 시험로 직각성분풍 & 시험로 직각방향의 풍속평균 속 8kph 이내 (탑재식) 평균풍속 35kph 이내 또는 최고풍속 50kph 이내
시험중량	ETW	Reference Weight (CVW+100kg)	Unloaded state+110kg	ETW
시험전 워밍업	80kph 최소 30분 이상	별도 규정 없음	별도 규정 없음 (충분한 워밍업)	80kph 최소 30분 이상
시험방법	1) 실도로 코스트다운 방식 (115→15kph 타행시간 측정) 2) 제조사의 GEP(Good Engineering Practice) 근거하여 별도 방법으로 구할 수 있음(풀동, 다 이노, 타이어평가, 부품변치시험)	1) 실도로 코스트다운 방식 (125→115, 115→105, ..., 25→15kph 각 속도구간에 대해 타행시간을 측정) 2) 실도로 토크측정법 정속 주행시 토크 측정	1) 실도로 코스트다운 방식 (95→85, 85→75, ..., 25→15kph 각 속도구간에 대해 타행시간을 측정) 2) 휠 토크 방식 지정속도(20, 30, ..., 90kph)에서 휠 토크 측정	실도로 코스트다운 방식 (115→15kph 타행시간 측정)
편차판정 방법	1) 사후검증방법 : 코스트다운 Audit 측정치로 계산한 FTP, HFET 에너지손실과 신고치로 계산한 FTP, HFET 에너지 손실과의 차이	별도 규정 없음	별도 규정 없음	1) 사후검증 방법 : 미첨 (※KATRI안 : 15~115kph 구간 에서 10kph 속도별 주행저항의 차이의 평균값)
허용오차	FTP 에너지손실 10% 이내 HFET 에너지손실 7% 이내	별도 규정 없음	별도 규정 없음	15%
관련 규정	SAE J2263 A/C 55C	EN_1970L0220	TRIAS 99-006-01	자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등 에 관한 고시 (공통교시)

[그림 26] 국내외 주행저항 측정법

특히, 위의 산업통상자원부·환경부·국토교통부의 공동고시안에도 명시되어 있듯 타행시간 측정 구간은 2020년에도 115→15kph로 지정되어 있으나, WLTP의 인증 주행 모드인 WLTC는 최대 차속이 약 131kph로 100kph 이상의 고속 영역에서는 중·저속 영역에 비해 주행저항이 훨씬 크게 나타나고 속도에 선형적이지 않은 특성을 고려할 때, 측정대상 속도 범위를 135kph 이상으로 확대하는 방안을 고려해야 함.

(7) 주행저항 저감기술에 의한 CO₂ 저감 성능 연구

TNO는 저마찰 타이어 뿐 아니라 각종 주행저항 저감 기술에 의한 CO₂ 저감 가능성에 대한 연구를 진행했고, 다음 표에 여러 요인에 의한 CO₂ 저감가능성 시뮬레이션 결과가 나타나 있음.

[Excerpt, TNO Science and Industry (2006)]

A short review of relevant literature has revealed the range of the CO₂ reduction potential of energy efficient tyres but also some other interesting issues as well. Table 5.1 summarises the reduction potential retrieved from various bibliographic sources. The first remark that can be made on these data is that there is an evident inconsistency on what is considered low friction tyre. This was expected due to the lack of specific definition of low rolling resistance tyres (LRRT). Two major approaches are distinguished; reduction potential expressed with regard to a certain rolling resistance decrease (usually 10%) or expressed in relation to the generalised idea of a low rolling resistance tyre. It is estimated that the second equals approximately a 20% reduction of the resistance factor. Additionally, a clear difference is observed between older estimates [IEA 1993] and newer ones. This difference reveals the aforementioned technological improvements that were achieved during the last decade. Finally it must be commented that there is no referenced methodology on which these estimates were based. Due to the lack of a predefined protocol, most of them are based either on measurements that were conducted under different conditions or on calculations that adopted different assumptions. Therefore the presented numbers cannot be directly compared.

Table 5.1. Review of the CO₂ reduction potential through the use of energy efficient tyres.

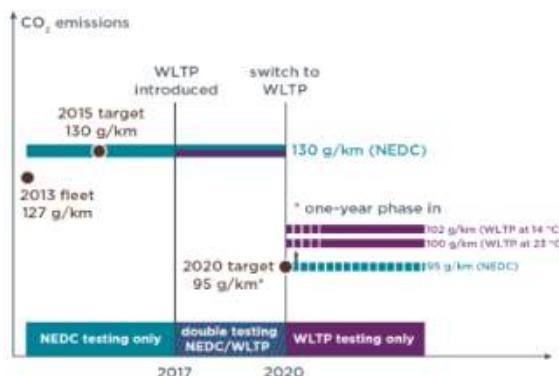
Source:	LAT	IEEP 2004	CARB 2004a	NRDC 2004		Penant 2005	IEA 1993	
Rolling resistance factor decrease	10%	LRRT	10%	20%	LRRT	LRRT	10%	10%
CO₂ emissions benefit	1.7%	2%	2%	3-4%	2-6%	3-4%	1.0%	0.5-1%
Notes	Real-world estimates			Based on measurements	Best case		IEA estimates	Manufacturer estimates

[그림 27] 저마찰 타이어 사용에 의한 CO₂ 저감 성능

(8) WLTP-NEDC 상관성 연구

EU가 차기 자동차 연비 및 이산화탄소, 배출가스 인증 시험법으로 WLTP를 도입하기로 결정함에 따라 관련 연구가 활발히 수행되고 있는데, EU에 따르면 2017년까지는 현행 NEDC 시험법을 유지하고 2017년부터 2020년까지 NEDC와 WLTP를 모두 사용하며, 이후 2020년부터는 WLTP만을 인증 모드로 사용할 것을 확정함.

다음 그림은 EU의 WLTP 도입 일정과 이산화탄소 배출 규제치를 정리.

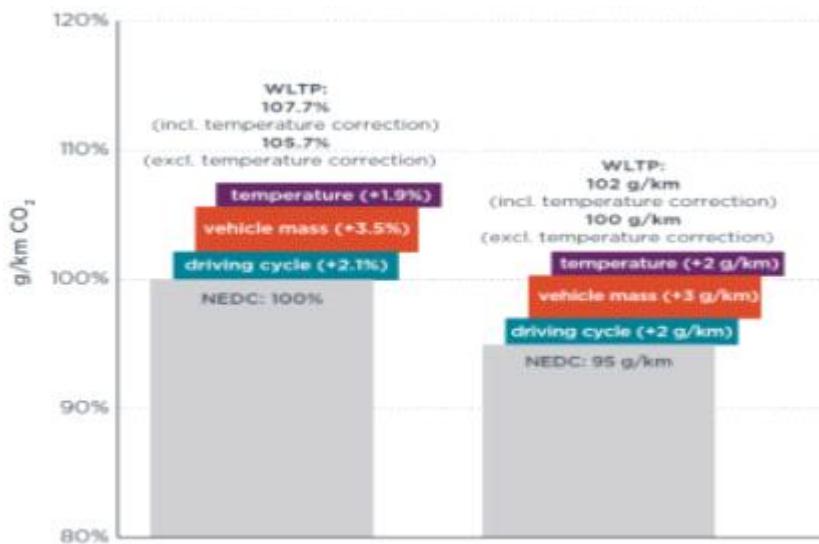


[그림 28] EU WLTP 도입 계획

ICCT (The International Council on Clean Transportation)는 WLTP-NEDC 상관성 연구를 진행하였으며, 두 시험법의 특성을 분석하고, 이산화탄소 배출량 시험 결과에 영향을 미칠 수 있는 중요한 인자들을 분석하여 그 기여도를 평가했음.

다음 그림은 각 인자들과 그 영향을 분석하여 간략히 도표화한 것으로, NEDC 시험법에 의한 결과와 WLTP 시험법에 의한 이산화탄소 결과를 비교하였고 ICCT는 주행 사이클(WLTC)에 의한 영향을 약 2.1%, 차량 준비 상태(중량, 공력성능, 타이어 등)에 의한 영향을 3.5%, WLTP에 도입될 가능성이 있는 14°C에 의한 영향을 약 2%로 산정하였음. 해당 연구 결과에는 나타나 있지 않

으나 NOx 배출량 역시 시험법의 harshness에 따라 민감하게 변화하므로, 이에 대한 분석 및 연구 필요.



[그림 29] NEDC에서 WLTP로 전환에 따른 이산화탄소 배출량 영향

Parameter	Definition in NEDC (Euro 6)	Definition in EU WLTP	To be considered for a WLTP-NEDC conversion factor?
TEST CYCLE			
Driving cycle	NEDC	WLTC	YES Revised driving cycle
Gear shift strategy for manual transmission vehicles	fixed gear positions	vehicle specific gear positions	YES Part of revised driving cycle
ROAD LOAD DETERMINATION			
Tyre size and type	worst tyre (2nd worst if >3 tyres with different rolling resistance)	vehicle specific	NO Equal demands of NEDC intention (NEDC slightly more stringent)
Tyre tread depth	>3,000 km running-in or 50%-90%	80%-100%	NO Equal demands of NEDC intention (WLTP slightly more stringent)
Tyre pre-treatment	not defined	no heating or ageing	NO Equal demands of NEDC intention
Tyre pressure	not defined	as specified	NO Equal demands of NEDC intention
Wheel alignment	no definitions on adjustments of toe and camber	as production vehicle	NO Equal demands of NEDC intention
Aerodynamics	worst bodywork, no definitions on movable parts	vehicle specific, use of movable parts as under test conditions	NO Equal demands of NEDC intention (NEDC slightly more stringent)
Brakes	not defined	no manual adjustment	NO Equal demands of NEDC intention
Calculation procedure	erroneous	corrected	NO NEDC procedure deficient
Warm-up	not defined	>20 min at 118 km/h	NO Effect on CO ₂ negligible
TEST TEMPERATURES			
Soak area	20 °C-30 °C	14 °C / 23 °C	YES NO Effect on CO ₂ negligible for 23 °C
Test cell	20 °C-30 °C	14 °C / 23 °C	YES NO Effect on CO ₂ negligible for 23 °C
VEHICLE MASSES			
Test mass	Kerb weight + 100 kg	Kerb weight + 100 kg + extras + payload	YES Revised definition
Inertia	discrete classes	step-less, vehicle specific	NO On fleet average: Effect on CO ₂ negligible
Rotating masses (wheels)	simulation of total inertia of the vehicle as driven on the road	+ 1.5% for 1-axle dynamometers	NO Equal demands of NEDC intention
OTHER			
Vehicle running in	>3,000 km	3,000 km-15,000 km	NO Effect on CO ₂ negligible
Pre-conditioning cycle	diesel: 3x EUDC, petrol: 1x UDC, 2x EUDC (opt. only PFI)	WLTC	NO Effect on CO ₂ negligible
Battery state of charge	not defined	no battery charging before emission test	NO Equal demands of NEDC intention
Procedure for hybrids	not defined	not yet defined	NO WLTP definitions to follow
Four wheel drive vehicles	1-axle dynamometer possible	2-axle dynamometer only	NO Effect on CO ₂ negligible

[그림 30] NEDC-WLTP CO₂ 배출량 상관성 판정을 위한 인자 및 그 영향도 분석

3. 국내·외 승용자동차 연비 또는 온실가스 배출기준

(1) 국내(산업통상자원부 및 환경부)

국내 에너지소비효율 및 이산화탄소 배출량 규제치는 저탄소 녹색성장 기본법 및 에너지이용

합리화법에 의거하여 설정됐음. 평균에너지소비효율 및 온실가스 평균배출량의 개념으로 나누어져 있으며 제작사는 둘 중 하나의 기준을 만족해야 함.

‘평균에너지소비효율’은 제작사가 판매한 모든 자동차의 에너지소비효율의 합계를 자동차 판매 대수로 나누어 산출한 평균값임(km/l). 평균에너지소비효율 기준은 아래 <표 7>과 같음.

[표 7] 국내 평균에너지소비효율 기준

적용기간	적용 기준
2011년*까지	배기량 1,600cc 이하: 연비 12.4km/l 이상 배기량 1,600cc 초과: 연비 9.6km/l 이상
2012년 ~ 2015년**	평균에너지소비효율 기준 = [대상자동차 총 판매량(대)/ Σ (대상자동차 종류별 판매량(대)/대상자동차 종류별 에너지소비효율기준)] · 대상자동차 종류별 에너지소비효율기준 = $28.4577 - 0.007813 \times m$ · m = 해당 연도의 판매자동차의 종류별 공차중량값
2016년 ~ 2020년***	평균에너지소비효율 기준 = [대상자동차 총 판매량(대)/ Σ (대상자동차 종류별 판매량(대)/대상자동차 종류별 에너지소비효율기준)] o 10인승 이하의 승용 및 승합자동차 · 대상자동차 종류별 에너지소비효율기준 = $40.678 - 0.011168 \times m$ ($m > 1,070\text{kg}$) = 28.7 km/L ($m \leq 1,070\text{kg}$) * m : 해당 연도의 판매자동차의 종류별 공차중량값 o 11인승 이상 15인승 이하의 승합 및 화물자동차 · 대상자동차 종류별 에너지소비효율기준 = $23.45 - 0.004089 \times m$ ($m > 1,070\text{kg}$) = 19.1 km/L ($m \leq 1,070\text{kg}$) * m = 해당 연도의 판매자동차의 종류별 공차중량값

* 대상 : LPG와 경차를 제외한 승용자동차 (당해 회계연도 국내 판매량이 1,000대 이상인 제작자)

대상)

** 대상 : 승차인원 10인승 이하의 승용 및 승합자동차로 다음의 자동차에 대해서는 예외

- 치료 및 환자 수송 등 의료목적으로 제작된 자동차
- 군용자동차

○ 방송 · 통신 등의 목적을 위하여 제작된 자동차

○ 2012년 1월 1일 이전에 단종되어 더 이상 제작되지 않는 자동차

○ 기타 공익의 목적 등을 고려하여 특수 목적차량으로 분류한 자동차

*** 대상 : 승차인원 15인승 이하의 승용 및 승합자동차(총 중량 3.5톤 미만), 화물자동차 (총 중량 3.5톤 미만)로 다음의 자동차에 대해서는 예외

- 치료 및 환자 수송 등 의료목적으로 제작된 자동차

- 군용자동차

- 방송 · 통신 등의 목적을 위하여 제작된 자동차

- 2016년 1월 1일 이전에 단종되어 더 이상 제작되지 않는 자동차

o 기타 공익의 목적 등을 고려하여 특수 목적차량으로 분류한 자동차

2011년까지 평균연비의 산정은 당해 회계연도에 판매된 승용자동차 중 세부 동일차종별 판매량을 기준으로 하되, 상기 배기량별로 구분하여 적용함. 제작자가 각 배기량별로 평균연비 기준을 초과하여 달성한 경우 및 경차를 생산한 경우는 다음과 같은 산식에 따라 크레디트를 계산하여 부여할 수 있으며, 발생한 크레디트는 당해 연도 부족 군에 사용할 수 있음.

$$\text{평균연비 기준 초과분에 대한 크레디트} = \frac{\text{평균연비 기준}}{\text{초과분}} \times \frac{1,600\text{cc이하(또는 초과) 판매량}}{1,600\text{cc초과(또는 이하) 판매량}}$$

$$\text{경차에 대한 크레디트} = \frac{(\text{경차 평균연비}-1,600\text{cc이하 평균연비 기준})}{1,600\text{cc이하 판매량}} \times \frac{\text{경차 판매량}}{1,600\text{cc이하 판매량}}$$

“온실가스 평균배출량”은 자동차 제작업체가 판매한 모든 자동차의 온실가스 배출량의 합계를 자동차 판매 대수로 나누어 산출한 평균값(g/km)임. 온실가스 평균배출량 기준은 아래 <표 8>과 같음.

[표 8] 국내 온실가스 평균배출량 기준

적용기간	적용 기준
2012년 ~ 2015년**	<ul style="list-style-type: none"> o 소규모 제작업체: $140 + 0.0484 \times (M - 1,423.2)$ o 그 외의 제작업체: $140 + 0.0588 \times (M - 1,423.2)$
2016년 ~ 2020년***	<ul style="list-style-type: none"> o 10인승 이하의 승용 및 승합자동차 $97 + 0.0407 \times (M - 1421.8)$ ($M > 1,070\text{kg}$) 82.7g/km ($m \leq 1,070\text{kg}$) * m = 해당 연도의 판매자동차의 종류별 공차중량값 o 11인승 이상 15인승 이하 승합 및 화물자동차 $166 + 0.0407 \times (M - 1920.1)$ ($M > 1,070\text{kg}$) 131.4 ($M \leq 1,070\text{kg}$)

자동차 제작업체별 평균에너지소비효율기준 또는 온실가스 배출허용기준을 적용받는 자동차에 대해 제작업체별 판매량을 기준으로 하여 2012년에는 30%, 2013년에는 60%, 2014년에는 80%, 2015년부터는 100%를 적용했음. 2016년 이후 적용되는 온실가스 규제는 2016년 30%, 2017년 20%, 2018년 30%, 2019년 60% 2020년 100%를 적용할 예정임.

2009년 국내 자동차 판매량이 4,500대 이하인 자동차 제작업체(이하 “소규모제작업체”라 한다)에 대하여 2015년까지 자동차 평균에너지소비효율기준 또는 자동차 온실가스 배출허용기준의 19% 완화된 기준을 적용했음. 다만, 2009년 국내 판매량이 500대 이하인 자동차 제작업체에 대하여 환경부장관은 산업통상자원부장관 및 해당 자동차 제작업체와 협의하여 감축 또는 개선해야 하는 자동차 제작업체별 온실가스 평균배출량 감축 목표 기준 또는 평균에너지소비효율

개선 목표 기준을 정하여 적용했음.

자동차제작업체는 해당 연도 판매한 자동차에 대한 평균에너지소비효율과 온실가스 평균배출량에 대한 실적을 다음을 따라 계산함.

온실가스 평균배출량(g/km)

$$= [\sum(\text{대상자동차 종류별 판매량(대)} \times \text{대상자동차 종류별 온실가스 배출량(g/km)}) / \text{대상자동차 총 판매량(대)}]$$

자동차 제작업체는 평균에너지소비효율 또는 온실가스 평균배출량 계산 시 온실가스 저배출 또는 고연비 차량에 대하여 다음 기준에 따라 온실가스 평균배출량 또는 평균에너지소비효율을 산정할 수 있음. 이 경우 전기자동차의 온실가스 배출량은 0g/km로 하며, 전기자동차가 포함된 평균에너지소비효율 산정은 전기자동차를 포함하기 전과 후에 계산한 온실가스 평균배출량 실적의 향상분만큼 동일하게 비례하여 적용함.

2015년까지 자동차 제작업체가 해당 연도에 판매한 자동차 중에서 자동차에서 배출되는 온실가스 배출량이 50g/km미만 또는 자동차 에너지소비효율이 유종에 따라 휘발유자동차 46.9km/l, 경유자동차 53.8km/l, LPG자동차 35.3km/l를 초과하는 자동차의 경우 1대당 3대의 판매실적으로 산정했음.

2015년까지 자동차 제작업체가 해당 연도에 판매한 자동차 중에서 자동차에서 배출되는 온실가스 배출량이 50g/km이상 100g/km이하 또는 자동차 에너지소비효율이 유종에 따라 휘발유자동차 23.4km/l 이상 46.9km/l 이하, 경유자동차 26.9km/l 이상 53.8km/l 이하, LPG자동차 17.7km/l 이상 35.3km/l 이하인 자동차의 경우 1대당 2대의 판매실적으로 산정했음.

2016년부터 2020년까지 자동차 제작업체가 해당 연도에 판매한 자동차 중에서 자동차에서 배출되는 온실가스 배출량이 50g/km미만 또는 자동차 에너지소비효율이 유종에 따라 휘발유자동차 44.7km/l, 경유자동차 51.8km/l, LPG자동차 34.4km/l를 초과하는 자동차의 경우 1대당 1.5대의 판매실적으로 산정하고, 전기자동차 등 온실가스 배출이 없는 자동차의 경우 1대당 2대의 판매실적으로 산정하며, 경형자동차의 경우 1대당 1.2대의 판매실적으로 산정할 예정. 그리고 자동차 제작업체가 판매한 차량 중 수동변속기 장착 차량의 경우 1대당 1.3대의 판매실적으로 산정할 예정. 단 화물자동차는 제외함.

2016년부터 2020년까지 자동차제작업체는 환경부장관이 산업통상자원부장관과 협의하여 인정하는 온실가스 배출 저감 및 에너지소비효율 개선 기술을 적용한 경우 그 효과를 실적 산정에 반영할 수 있음. 다만, 적용 기술에 대한 효과의 합이 온실가스는 7g/km, 에너지소비효율은 1.8km/l를 초과할 수 없음.

(2) 미국(연방정부 및 캘리포니아주)

(가) 개요

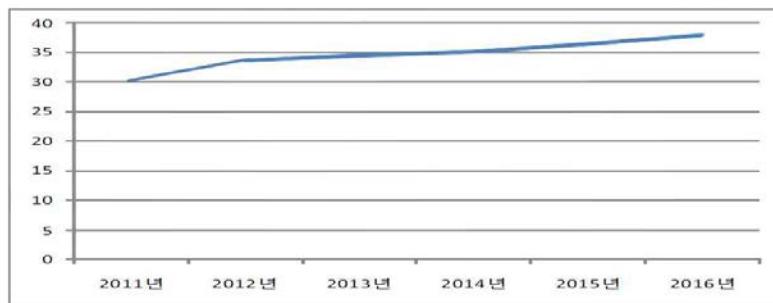
미국은 1975년 제정된 연방 정부의 연비 규제가 존재하면서 캘리포니아 등 일부 주정부에서 별개의 온실가스 규제를 추진해오는 상황이었으나, 2009년 연비와 온실가스를 동시에 규제하는 단일법의 제정이 연방환경청(EPA, Environmental Protection Agency)과 교통부(DOT, Department of Transportation)의 공동 작업으로 진행됐음. 이 규제는 연방정부 차원의 강화된 평균연비와 온실가스 기준을 마련함. 2009년 9월 제시된 법안에 따르면, 연료소비 감소를 위해 수송부문 온실가스 배출량의 60 %를 차지하는 승용차, 경트럭의 평균연비 및 온실가스(GHG)를 규제(2012 ~ 2016)하는 방안으로 자동차 제작사 및 수입업체는 연비 및 온실가스 기준을 모두 만족시켜야 했음. 평균연비와 온실가스 배출 기준은 비슷한 수준으로 제안하였으나, 연비기준이

다소 유리하게 책정되어 있었음. 에어컨 시스템의 경우, 온실가스의 크레디트 적용 제한으로 연비기준이 온실가스 배출 기준에 비해 다소 낮았음. 2016년 승용차 및 경트럭의 경우 연비 및 이산화탄소 목표는 각각 35.5 mpg, 250 g/mile로 설정되었음.

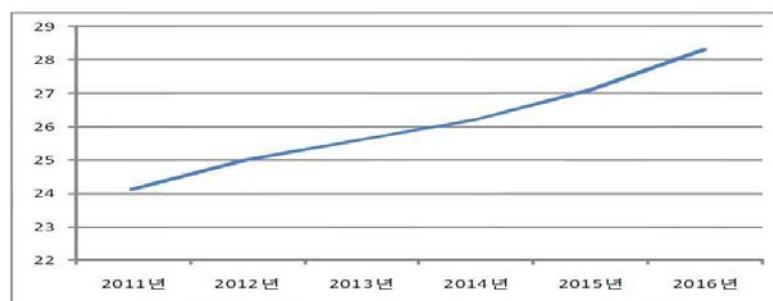
[표 9] 연비기준 달성 시 온실가스 배출 수준(단위 : g/mile)

구분	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년
승용차	261	253	246	235	224
경량트럭	352	341	332	317	302
평균배출	295	286	276	263	250

주: 연비와 이산화탄소 환산시 100% 휘발유 가정(환산계수 : 8,887g CO₂/gal)



[그림 31] 승용차 연도별 평균연비목표(단위 : mpg)



[그림 32] 경량트럭 연도별 평균연비목표(단위 : mpg)

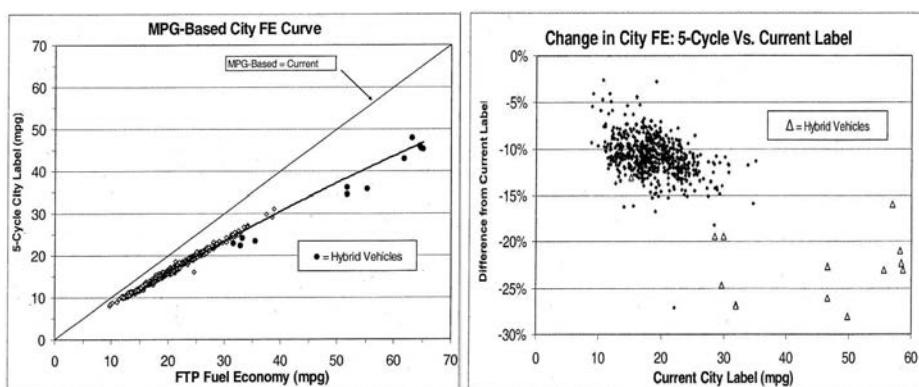
미국의 연비 제도는 연방정부에서 실시하는 기업평균연비 (CAFE : Corporate Average Fuel Economy) 제도에 따라 이루어지고 이와 별도로 캘리포니아는 주의 특수한 상황을 반영하여 온실가스, 특히 CO₂ 를 규제하는 CARB (California Air Resources Board)를 실행하고 있음. 이외에도 미 연방정부는 연비가 크게 떨어지는 차량에 추가 세금을 부과하는 Gas guzzler tax 제도, 소형 하이브리드자동차 및 트럭 (8500 lbs GVWR 이하)에 대한 인센티브제도, 연비표시 제도 등을 실시 중임.

미국 연방에서는 신규 제작 또는 수입되는 승용차와 경부하 트럭 (차량 총중량 8500 lbs 미안의 픽업트럭, 밴, SPV (Special Purpose Vehicles))에 대하여 시가지과 고속도로연비, 차량의 주요 특성, 연간 연료비용 등이 기재된 라벨을 차량 측면유리에 부착하도록 하고 있음. 연비라벨에 표시되는 시가지연비와 고속도로연비는 인증 차량의 연비측정 시험 시에 얻어진 연비 값에 0.9와 0.78의 가중치를 곱하여 하향 조정된 값을 2008년 이전 모델까지 사용하여 왔음.

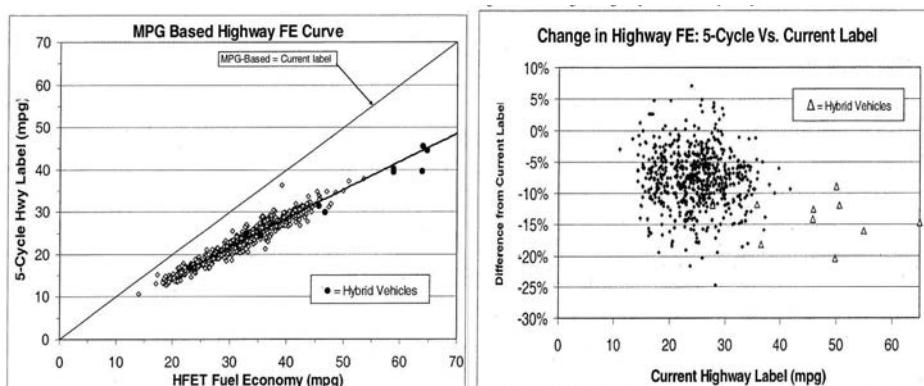
그러나 EPA에서는 2008년 모델 이후부터 개정된 연비 측정방법 및 라벨을 사용 중임. 이전에

연비라벨은 차량총중량 8500 lbs 이하의 승용차 및 경트럭에 적용하였으나, 2011년부터는 대형 SUV와 VAN을 포함하는 MDPV (Medium Duty Passenger Vehicles)에 대해서도 연비라벨을 적용중임. 다만, CAFE 연비의 산정에는 현행과 같이 가중치를 적용하지 않은 시가지 및 고속연비를 사용함.

새로운 연비 시험법에서는 보다 정확한 연비의 산출을 위하여 자동차 제작사가 이미 배출가스 인증 시험에 사용하여 오고 있는 3가지의 추가 배출가스 시험법을 연비 시험용으로 사용함. 이들 3가지 시험법은 보다 광범위한 실도로 주행을 반영하며, 이들은 고속 및 보다 공격적인 운전 (보다 높은 가속도), 고온 주위조건에서의 에어컨의 사용, 저온운전조건 등의 효과를 포함함. 따라서 현행 시가지 및 고속모드인 FTP 및 HWFET 모드 외에 3가지 추가모드인 US06, SC03, Cold FTP를 포함하여 “5-cycle” 시험법을 사용함. 또한 기존 시가지 연비는 FTP 시험 결과만을 조정하고 고속연비는 HWFET 시험 결과만을 조정하였으나, 새로운 시험법에서는 5-cycle 모드 시험법의 모두를 가지고 복합적인 계산에 기초하여 새로운 시가지 및 고속 연비를 구하도록 각기 적절히 가중됨. 아울러 EPA에서는 5-cycle 시험법에 의해 산출된 연비를 추가적으로 하향 조정함. 이는 동력계 시험에서 반영될 수 없는 영향을 고려하기 위한 것으로서 도로 구배, 바람, 타이어압력, 보다 무거운 부하, 언덕, 눈 / 얼음, 가솔린 내의 에탄올의 영향 등을 포함.



[그림 33] 새로운 5-cycle 시험법에 따른 연비 특성 (City Label)



[그림 34] 새로운 5-cycle 시험법에 따른 연비 특성 (Highway Label)

5-cycle 시험법은 본질적으로 차량 특성에 영향을 받기 때문에 현행 및 새로운 연비 값 사이의 차이는 차량에 따라서 크게 변화하나, 새로운 시험법은 대부분의 현행 자동차에 대하여 현재의 연비 값보다 10 % ~ 20 % 낮은 연비값을 나타냄. 하이브리드 자동차와 같이 일반적으로 보다 좋은 연비를 나타내는 차량에 있어서는 새로운 시험법은 20 % ~ 30 % 낮은 연비 값을 나타냄.

오바마 미국 대통령은 2009년 1월 29일 환경 관련 최초의 행정명령으로 부시 행정부에서 실행되지 못했던 캘리포니아 및 기타 17 개 주의 보다 강화된 연비 및 배기가스 규제 시행을 재검토

하도록 함. 이는 보다 강화된 연비 규제를 통해 현재 승용 차량 27.5 mpg, 트럭의 22 mpg의 평균 연비를 2020년까지 35 mpg로 개선할 경우, 하루에 2 백만 배럴에 해당하는 원유를 절약할 수 있다고 언급하며, 기존 차량의 연비를 개선할 것을 촉구.

[표 10] 역대 미국 행정부의 연비규제 정책 비교

미국 행정부		내용
대통령(당적)	재임기간	
포드(공화당)	1974~1977	1975년 에너지정책 및 절약법 제정, 기준평균연비제도(CAFE) 도입
카터(민주당)	1977~1981	10년 내 신형 차량의 연비를 점진적으로 27.5mpg로 끌어올릴 계획수립 및 실천
레이건(공화당)	1981~1989	1986년 연비기준을 26mpg로 하향
부시 I (공화당)	1989~1993	연비기준을 1985년 수준인 27.5mpg로 상향
클린턴(민주당)	1993~2001	경량트럭의 연비기준 상향 조정방안을 검토하였으나 미시건주의회 등의 압력으로 무산
부시 II(공화당)	2001~2009	2007년 말 2020년까지 연비기준을 35mpg로 높이겠다고 발표 2008년 4월 2011~2015MY 연비규제 초안 발표
오바마(민주당)	2009~	2009년 5월 연비기준을 2016년까지 35.5mpg로 높이겠다고 발표

(나) CAFE (Corporate Average Fuel Economy) 제도

미 연방정부에서는 1차 오일쇼크를 계기로 1975년에 Energy Policy and Conservation Act of 1975에 의거하여 승용차에 대한 기업평균연비(CAFE) 제도를 시행하였는데, 이 제도는 특정 자동차 제조업체에서 신규 생산되는 승용차의 평균 연비를 규제하는 방식으로 미국에서 1만 대 이상을 판매한 제조사에 적용되며, 시가지 및 고속 도로 인증 연비를 조화 평균한 연비값을 사용함. 1977년도부터는 규제 대상이 승용차에서 8500 lbs (3856 kg) 이하의 경트럭(LDT : Light Duty Truck)으로 확대됐으며, 규제 범위는 앞으로 더욱 넓어질 것으로 예상됨.

연방차원에서 실시되는 이 제도는 자동차 제조사(또는 수입업체)가 보다 적은 양의 가솔린을 소비하는 자동차를 판매하도록 함으로써 고갈되어 가는 석유자원을 보호하고 대외 원유의존도를 낮춤과 동시에 심각해져가는 대기오염을 줄이고자 하는 에너지절약 및 환경보전 목적을 포함.

자동차 제조사(또는 수입업체)는 매년 미국 내에서 신규로 판매하는 승용차와 경부하 트럭순에 대해, CAFE 기준연비(기업별 판매대수 기준 조화평균연비)를 만족해야 하며, 각 사의 CAFE 연비가 CAFE 기준을 미달하는 경우에는 벌금을 부과하는데, 벌금은 기업 평균연비 기준 미달 시 \$ 5.5 / 0.1 mpg에 차량생산대수를 곱하여 과태료로 부과됨. 크레디트는 기준 초과 달성 경우에는 해당 부분 크레디트를 받아 모델년도 3년 전후의 미달분을 상쇄하는데 사용할 수 있음. 또한 EPA는 2009년 자동차 판매대수가 40만대 이하인 업체가 10만대까지 완화된 기준(기준대비 125 % 배출허용)을 적용할 수 있는 프로그램을 제안함.

CAFE 연비 규제에서 승용차에 대한 연비 목표값은 1990년부터 2009년까지 27.5 mpg를 유지하고 있는데, 이는 우리나라에서 사용하는 연비 단위로 단순 환산하면 11.6 km/L에 해당함.

이러한 연비 규제 수치는 Daimler, Porsche 등 일부 고급 차량 중심의 업체를 제외한 대부분의

자동차사가 이미 수년 전부터 초과달성을 해오고 있을 정도의 비교적 수월한 목표라고 할 수 있음.

미국은 이처럼 비교적 연비 규제 강화에 소극적이었으나, 2000년대에 경트럭에 대한 연비 규제를 점차 강화해왔으며, 2011년부터는 개정된 CAFE 규정에 따라 본격적으로 승용차와 경트럭(차량 총중량 4,536 kg 이하의 트럭) 모두에 대한 연비 규제 수치를 단계적으로 강화할 예정이었고, [표 11]과 같이 2020년에 승용차와 경트럭 모두의 평균연비를 35.0 mpg(단순 환산 14.8 km/L) 까지 향상시키도록 계획하고 있었음.

[표 11] 미국 연비기준치의 추이(12년 이후는 예상)

(단위 : mpg)

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
승용차	27.5	27.5	27.5	27.5	30.2	33.6	34.4	35.2	36.4	38.0
소형트럭	22.5	22.5	23.1	23.5	24.1	25.0	25.6	26.2	27.1	28.3
합 산	-	-	-	-	27.3	29.8	30.6	31.4	32.6	34.1

※ 참고 : 38.0 mpg = 16.2 km/L, 28.3 mpg = 12.0 km/L, 34.1 mpg = 14.5 km/L

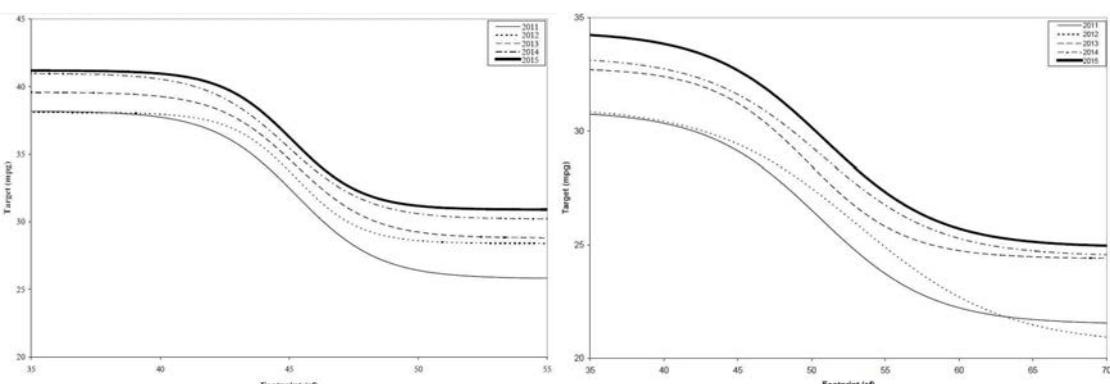
[표 12] 강화된 미국 CAFE 기준 평균 연비

(단위 mpg)

구 분	Passenger	Light Truck	Combined
2009	27.5	23.1	
MY2010	27.5	23.5	25.5
~	~	~	~
MY2015	35.7	28.6	31.6
2016 까지	39.0	30.0	35.5

그러나 2009년 5월 오바마 정부는 한층 강화된 연비 규제를 제안하였으며 그 수치는 [표 13]과 같이 승용차와 경트럭을 합친 평균 연비가 35.5 mpg(단순환산 15.0 km/L)로 기존안보다 강화되었고, 이를 달성하는 목표 시기도 2016년으로 앞당겨짐.

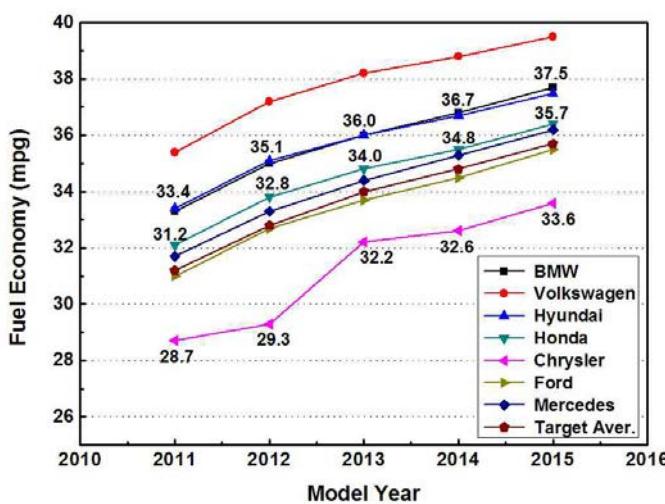
CAFE의 연비 기준은 제조사와 차종별 특성을 고려하여 크게는 제조사에 따라, 작게는 차량의 Footprint(휠베이스(축거)에 차량의 넓이(윤거)를 곱한 값)에 따라 다르게 부과됨.



(a) Passenger cars

(b) Light trucks

[그림 35] 미국 CAFE 차량 Footprint에 따른 연비 목표 수치



[그림 36] 각 업체별 달성 목표

[표 13] Required CAFE Levels (mpg) for Passenger Cars (출처 : CAFE)

Manufacturer	MY2011	MY2012	MY2013	MY2014	MY2015
BMW	33.3	35.0	36.0	36.8	37.7
Chrysler	28.7	29.3	32.2	32.6	33.6
Ferrari	30.4	32.0	33.1	33.9	34.9
Ford	31.0	32.7	33.7	34.5	35.5
Fuji (Subaru)	36.9	38.7	39.6	40.1	40.8
General Motors	30.0	31.7	32.8	33.7	34.7
Honda	32.1	33.8	34.8	35.5	36.4
Hyundai	33.4	35.1	36.0	36.7	37.5
Lotus	38.1	40.0	40.8	41.2	41.7
Maserati	28.9	30.6	31.8	32.8	34.0
Mercedes	31.7	33.3	34.4	35.3	36.2
Mitsubishi	33.0	35.1	35.9	37.0	37.9
Nissan	31.2	33.2	34.2	35.0	35.9
Porsche	37.6	39.4	40.3	40.7	41.3
Suzuki	37.3	39.2	40.1	40.6	41.2
Toyota	30.1	31.5	32.7	33.6	34.6
Volkswagen	35.4	37.2	38.2	38.8	39.5
Total/Average	31.2	32.8	34.0	34.8	35.7

① Reformed CAFE

DOT와 NHTSA(미국도로교통안전국, National Highway Traffic Safety Administration)에서는 경트럭에 대한 CAFE 제도를 수정하였는데, Model year 2008 ~ 2011의 경트럭(Light trucks)에 대한 CAFE 기준을 강화함. 과도기간인 2008년 ~ 2011년에 대해 자동차 제작사는 개정된 구조(Reformed CAFE)에서 설정된 CAFE 기준 또는 기존 방법(Unreformed CAFE)에서 설정된 기준에 따라야 함. 이는 자동차 제작사나 담당기관이 Reformed CAFE 기준의 시행에 따른 경험을 축척하기 위한 것으로서 2011년에는 모든 자동차 제작사가 이 기준을 따라야 함.

Reformed CAFE는 기준이 엄격해진 것뿐만 아니라 적용대상도 종전의 8500 lbs 이하의 경트럭에서 10,000 lbs 이하의 경트럭으로 확대되었으며, 강화된 CAFE 규정으로 인해 2008 ~ 2011년까지 약 78억 갤런의 석유가 절약될 것으로 예상하고 있음.

[표 14] 경트럭 (Light trucks)에 대한 Footprint 값 구분

Category	1	2	3	4	5	6
Footprint (ft ² /m ²)	~ 43 ft ² ~ 3.99 m ²	~ 47 ft ² ~ 4.37 m ²	~ 52 ft ² ~ 4.83 m ²	~ 56.5 ft ² ~ 5.25 m ²	~ 65 ft ² ~ 6.04 m ²	~ 65 ft ² ~ 6.04 m ²
차종	Small SUV	Mid-size	Small Pickup	Mini Vans	Full-size	Largest Pickup

이 규정은 무조건 경량화를 지향하는 것으로, Footprint를 기준으로 한 연비 규제 방식을 통해 SUV와 경트럭을 많이 생산하는 미국 자동차 업체에 상대적으로 유리함. 이러한 이유는 Footprint에 비례하여 연비 목표수준이 설정되는 것으로서, Footprint가 작은 경트럭은 높은 기준을 갖게 되며 커질수록 낮아짐. 또한 제작사의 기업평균연비는 각 Footprint에서의 판매량 분포에 의해 단일식에 의해 가중됨. 따라서 각 제조사는 각 생산 모델년도에 대하여 단일의 평균연비를 가짐.

Unreformed CAFE 기준은 MY2008에 22.5 mpg, MY2009에 23.1 mpg, MY2010에 23.5 mpg임. Reformed CAFE로의 전이를 위하여 이들 년도의 Reformed CAFE가 설정되며, 당해 년도의 Reformed CAFE와 Unreformed CAFE 기준에 따른 전 산업체에 걸친 비용이 대략 동일하도록 설정됨. MY2011에 대하여 Reformed CAFE 기준은 Net benefit을 최대화하는 레벨로 설정됨. Net benefit는 기술 발전에 따른 경트럭 가격의 상승, 연비의 감소, 사회적 기타 요인을 포함함. 모든 기준은 기술적 타당성, 경제적 실용성, 그 밖의 인자 등을 고려하여 최대 가능한 수준으로 설정됨. 최적으로 결정된 Reformed CAFE 기준은 [표 16]과 같음.

[표 15] 경트럭에 대한 Footprint별 연비 기준

Footprint (ft ² /m ²)	1	2	3	4	5	6
~43.0 ft ² ~3.99 m ²	~47.0 ~4.37	~52.0 ~4.83	~56.5 ~5.25	~65.0 ~6.04	65.0~ 6.04~	
2008MY	26.8	25.6	22.3	22.2	20.7	20.4
2009MY	27.4	25.6	23.5	22.7	21.0	21.0
2010MY	27.8	26.4	24.0	22.9	21.6	20.8
2011MY	28.4	27.0	24.5	23.3	21.7	21.2

[표 16] Reformed CAFE와 Unreformed CAFE 비교

Category	1	2	3	4
Unreformed CAFE	22.5 mpg	23.1 mpg	23.5 mpg	-
Reformed CAFE	22.7 mpg	23.4 mpg	23.7 mpg	24.0 mpg

② Proposed CAFE

NHTSA은 2008년 4월 22일 U.S.'s celebration of Earth Day에 맞추어 좀 더 강화된 Proposed CAFE를 제안함. Proposed CAFE를 제안한 배경에는 The Energy Independence and Security Act of 2007 (EISA)가 있는데, 이 조례는 NHTSA가 2020년까지 현재 대비 약 40 %가 높은 35 mpg 수준의 CAFE를 적용하기를 요구하고 있으며, 이전 CAFE에는 포함되지 않았던 work trucks과 heavy-duty trucks에 대한 연비규정과 renewable fuel 사용 증대에 관한 내용을 담고 있음.

Proposed CAFE는 기술력, 상업성, 다른 주 정부와의 관계 그리고 에너지소비 감소 요구를 고려하여 정해졌으며, 연비기준 계산 방식은 Footprint를 사용한 기준 방식과 동일함. 한 회사가 생산하는 전 차량을 PC와 non-PC로 나누었으며, 평균적으로 전년 대비 4.5 % 가량 증가하는 값을 가짐.

NHTSA는 PC와 non-PC의 평균 CAFE standard를 정하여 2020년까지 이것을 35 mpg 수준으로 끌어올릴 계획이며, 평균 CAFE standard는 차종과 상관없이 고른 연비향상을 이끌어낼 수 있을 것으로 예상됨. 이 제안의 CAFE PC를 맞추기 위해서는 16조 달러, non-PC 기준을 맞추기 위해서는 31조 달러가 필요할 것으로 예상하고 있으며, 강화된 규정으로 인해 매년 54.7조 갤런의 연료 절감과 521 billion metric tons의 CO₂ 저감을 기대하고 있음.

[표 17] Estimate CAFE Standards by Vehicle Category

MY	PC	non-PC	Combined Average*
2011	31.2 mpg	25.0 mpg	27.8 mpg
2012	32.8 mpg	26.4 mpg	29.2 mpg
2013	34.0 mpg	27.8 mpg	30.5 mpg
2014	34.8 mpg	28.2 mpg	31.0 mpg
2015	35.7 mpg	28.6 mpg	31.6 mpg

* Combined mpg is based on each manufacturer meeting their minimum CAFE obligations

(다) CARB (California Air Resources Board) 제도

캘리포니아에서는 주의 상황을 고려하여 CAFE와는 별도로 온실가스 (GHG) 규제정책을 실행 중임. 2004년 CARB (California Air Resources Board)는 Chapter 200, Statutes of 2002 (AB (Assembly Bill) 1493, Pavley)에 의거하여 온실가스 저감을 위한 법안을 통화시켰고, 이 법안은 Passenger car (PC)와 Light duty truck (LDT)에 대해 2009년부터 실행되어 왔음. 자동차에서 배출되는 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O, HCFC 등으로 엔진 내부에서 뿐만 아니라 타이어와 같은 소모품에서도 발생하는데, AB 1493 규정은 이러한 다양한 배출물들을 [표 19]와 같은 가중계수를 사용하여 CO₂로 환산한 후 환산된 총 배출량 (CO₂ equivalent emission standards)을 규제하는 방식을 이용하고 있으며, 각각이 차지하는 비중은 [표 18]과 같음. CO₂ 환산 배출량은 시가지모드와 고속모드의 배출량에 대해 CAFE와 마찬가지로 각각 55 %, 45 %가 가중되어 합산됨.

AB 1493 규정이 규제하는 CO₂ 배출량은 연비와도 비례하므로 AB 1493 규정을 일종의 연비 규제로도 생각할 수 있으며, [표 21]에서와 같이 MY2009년부터 MY2016까지 승용차 + 경트럭의 이산화탄소 배출량 36.5% 저감, 연비로 환산 시 57.6%의 저감목표를 가지고 연도별 목표를 정하여 적용하고 있음.

[표 18] CARB의 초기 규정의 가중계수

Greenhouse Gas Compound	Global Warming Potential
Carbon Dioxide	1
Methane	23
Nitrous Oxide	296
HFC 134a	1300
HFC 152a	120

[표 19] CARB의 초기 규정의 가중계수

GHG emission Compound	Rate (CO ₂ equiv., g/mile)	Calculated Share (% Total)
CO ₂ emissions resulting directly from the operation of the vehicle	291 ~ 512	92 % ~ 95 %
CH ₄ emissions resulting directly from the operation of the vehicle	0.1	0.02 % ~ 0.03 %
N ₂ O emissions resulting directly from the operation of the vehicle	1.8	0.3 % ~ 0.6 %
CO ₂ emissions resulting from operating the air conditioning system	13.5 ~ 19.0	4 %
Refrigerant emissions from the air conditioning system	8.5	2 % ~ 3 %

[표 20] CARB의 AB 1493 규정

Tier	Year	CO ₂ equivalent emission standards (g/km)	
		PC / LDT1	LDT2
Near-term	2009	201	273
	2010	187	261
	2011	165	242
	2012	145	224
Mid-term	2013	141	221
	2014	138	218
	2015	132	212
	2016	127	206

[표 21] CARB의 온실가스 규제 및 CO₂ 와 연비 환산

MY	PC + LDT1 (~ 1701 kg)		LDT2 (1701 ~ 3856 kg)	
	CO ₂ (g/mile)	연비 (km/L)	CO ₂ (g/mile)	연비 (km/L)
2009	323	11.6	439	8.5
2010	301	12.5	420	9.0
2011	267	14.1	390	9.6
2012	233	16.1	361	10.4
2013	227	16.6	355	10.6
2014	222	17.0	350	10.7
2015	213	17.7	341	11.0
2016	205	18.3	332	11.3
CO ₂ 저감율	36.5 %		24.4 %	
연비 향상률	57.6 %		32.2 %	

CARB에서는 캘리포니아 주 내에서 판매되는 승용차 및 경트럭에 대해 2009년도 모델부터 5 등급의 온실가스 등급 라벨의 부착을 의무화함.

또한 캘리포니아 주에서는 1998년 모델년도부터 시행해 오던 기존의 Smog Index Label을 지구 온난화 가스에 대한 정보를 포함한 환경성능 (Environmental performance) 라벨로 개정하는 AB

1229이 Health & Safety Code 43200.1에 2005년 추가됐음. 환경성능라벨은 2009년 모델년도부터 적용되었으며, 대상차량은 캘리포니아 주에서 판매되는 모든 승용차, 차량총중량 8500 lbs 이하의 경트럭, 차량총중량 10000 lbs 이하의 중형승용차(Medium duty passenger vehicles)임.

(라) 연방정부의 차기 연비 및 온실가스(CO_2 , CH₄, N₂O)배출량 규제

EPA와 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)은 2017~2025 light-duty 차량을 대상으로 National Program을 강화하기로 결정. 위 프로그램의 강화를 통해 온실가스 저감, 연료 성능 향상이 기대되기 때문임. EPA는 온실가스 배출 규제를 Clean Air Act에 근거하여 도입, NHTSA는 CAFE (Corporate Average Fuel Economy) 규제를 Energy Policy and Conservation Act 근거 하에 설정함.

EPA의 온실가스 규제는 MY 2017~2025의 PC (Passenger Car), light-duty truck 및 medium-duty passenger vehicle을 대상으로 적용됨. 온실가스 규제 적용 및 온실가스 저감이 오직 연료의 성능 향상에 의존한다면 2025년 average industry fleet-wide 기준 163 grams/mile (1 갤런 당 54.5 mpg (miles per gallon)에 상응하는 수치)이 기대됨. Light-duty vehicle은 현재 U.S 교통과 연관된 석유 사용량 및 GHG 배출량의 60 % 수준을 차지하고 있기 때문에 light-duty vehicle을 중점으로 규제가 강화됨.

EPA는 light truck과 차량에 대한 fleet-wide 평균 CO_2 배출량 규제를 도입. 위 규제 수준은 CO_2 배출량의 footprint curve를 기준으로 하고 있으며, 이에 따라 각 차량에 대해 차량 고유의 CO_2 footprint curve(일반적으로 차량의 크기와 일정한 관계를 가짐)를 근거하여 이에 상응하는 수준의 CO_2 배출량 규제 수준이 결정됨. 일반적으로 더 높은 수준의 CO_2 footprint curve를 가지는 차량에 대해 더 높은 수준에 해당하는 CO_2 배출규제치가 적용됨. 이에 따라, 각 차량제조업자는 생산되는 차량을 고려한 고유의 fleet-wide 규제치를 적용받음. 추가적으로, EPA의 GHG 프로그램은 차량제조업자의 강화된 규제 충족을 위해 다양한 제도(Credit program 및 규제 적용 유예 등)를 도입한 상태임.

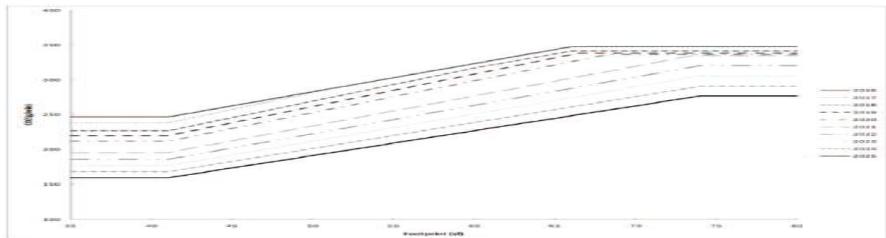
[표 22] 연도별 Fleet-wide 기준 CO_2 예상 배출수준

	Table 1 - Projected Fleet-Wide Emissions Compliance Targets under the Footprint-Based CO_2 Standards (g/mi) and Corresponding Fuel Economy (mpg)									
	2016 base	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
Passenger Cars (g/mi)	225	212	202	191	182	172	164	157	150	143
Light Trucks (g/mi)	298	295	285	277	269	249	237	225	214	203
Combined Cars & Trucks (g/mi)	250	243	232	222	213	199	190	180	171	163
Combined Cars & Trucks (mpg)	35.5	36.6	38.3	40.0	41.7	44.7	46.8	49.4	52.0	54.5

MY 2017-2025 기준으로 차량의 CO_2 배출 수준에 대한 규제가 강화됨에 따라 2017년 및 2025년 기준 각각 212 및 143 grams per mile, truck에 대한 295 및 203 grams per mile, 평균 light vehicle(car 및 truck) 243 및 163 grams per mile로 감소될 것으로 예상함. 163 grams per mile은 해당 연료의 성능 향상만을 고려하면 54.5 miles per gallon에 상응하는 수치임.



(a) 연도별 light duty 차량의 CO₂ 배출량 곡선



(b) 연도별 light duty truck의 CO₂ 배출량 곡선

[그림 37] 연도별 CO_2 배출량 곡선

[그림 37]의 (a)는 연도별 실제 CO₂ footprint 경향을 나타내며 CO₂의 footprint 곡선을 고려한 CO₂의 평균 배출 수준은 MY 2016-2025 기간 동안 각 해당 연도별 5% 해당하는 수준으로 감소될 것으로 예상됨. [그림 37]의 (b)는 light-duty truck에 대한 연도별 실제 CO₂ footprint 경향을 나타내며 CO₂의 footprint 곡선 및 light-duty truck의 CO₂ 배출량 저감을 위한 기술수준을 고려한 CO₂의 평균 배출 수준은 light-duty 차량과 달리 MY 2017~2021 기간 동안 각 해당 연도별 3.5 %, MY 2022~2025 기간 동안 각 해당연도별 5% 수준으로 감소될 것으로 예상됨.

실제 Tier 3에 적용된 온실가스 배출기준은 아래에서 설명할 캘리포니아 주의 온실가스 규제와 동일함.

(마) 캘리포니아 주의 차기 온실가스(CO_2 , CH_4 , N_2O) 배출량 규제

2009년부터 2016년까지 온실가스 배출규제는 자동차 제작사가 판매하는 모든 차량을 대상으로 기업평균값을 규제함. 2017년부터 2025년까지는 차량 중량 카테고리별 배출허용기준을 신설하였으며 Footprint 개념을 적용하여 같은 카테고리 안에서 세부적 기준을 신설함. [표 23]은 2009년부터 2016년까지 온실가스 기업평균 배출기준을 나타내고 있으며, [표 24]는 Footprint 41ft² 이하 및 56ft² 초과 차량의 온실가스 기업평균 배출기준을 나타내고 있음.

[표 23] 2009년부터 2016년까지 온실가스 배출기준

FLEET AVERAGE GREENHOUSE GAS EXHAUST MASS EMISSION REQUIREMENTS FOR PASSENGER CAR, LIGHT-DUTY TRUCK, AND MEDIUM-DUTY PASSENGER VEHICLE WEIGHT CLASSES ¹ (4,000 mile Durability Vehicle Basis)		
Model Year	Fleet Average Greenhouse Gas Emissions (grams per mile CO ₂ -equivalent)	
	All PCs; LDTs 0-3750 lbs. LWV	LDTs 3751 lbs. LWV - 8500 lbs. GVW; MDPVs
	323	439
2009	301	420
2011	267	390
2012	233	361
2013	227	355
2014	222	350
2015	213	341
2016+	205	332

[표 24] 2017년부터 2025년 이후까지 온실가스 배출기준(PCs)

Model Year	CO ₂ Target Value (grams/mile)	Model Year	CO ₂ Target Value (grams/mile)
2017	195.0	2017	263.0
2018	185.0	2018	250.0
2019	175.0	2019	238.0
2020	166.0	2020	226.0
2021	157.0	2021	215.0
2022	150.0	2022	205.0
2023	143.0	2023	196.0
2025	137.0	2025	188.0
2025 and subsequent	131.0	2025 and subsequent	179.0

(a) Footprint 41ft² 이하

(b) Footprint 56ft² 초과

Footprint 41ft²초과 및 56ft²이하 차량은 다음과 같은 수식으로 배출기준을 정함.

Model year	a	b
2017	4.53	8.9
2018	4.35	6.5
2019	4.17	4.2
2020	4.01	1.9
2021	3.84	-0.4
2022	3.69	-1.1
2023	3.54	-1.8
2024	3.4	-2.5
2025 and subsequent	3.26	-3.2

$$\text{Target gCO}_2/\text{mile} = [a \times f] + b$$

Where: f is the vehicle footprint and coefficients a and b are selected from the following table for the applicable model year.

[그림 38] Footprint 41ft²초과 및 56ft²이하 차량의 배출기준 산출식

또한, 2017년부터는 주요 온실가스인 N2O와 CH4 배출량을 규제할 예정임. 해당차종의 N2O는 FTP-75 결과값 기준 0.010g/mi(PC, LDT, MDT)을 초과하지 않아야 하고 CH4는 0.030g/mi을 초과하지 않아야 함. N2O 및 CH4 통합규제는 FTP-75와 HWFET mode의 결과값을 통합하여 기업평균 N2O는 298까지 CH4는 25까지 허용됨. 제작사는 상기 두 가지 방법 중 하나를 선택하여 해당

기준에 부합해야 함.

(3) 유럽연합

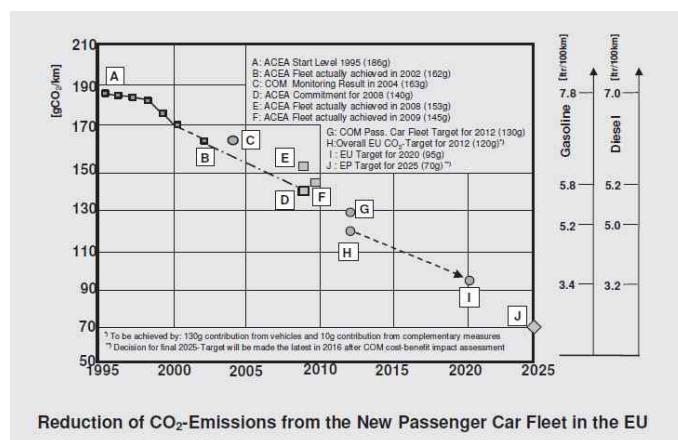
(가) 승용자동차의 CO₂ 와 에너지소비효율 저감 계획

2009년 4월 23일에 발간된 EC Directive 443/2009는 Light Duty 차량의 CO₂ 감축을 위한 목표를 수립하고 있음. 2012년에는 120g/km를 목표로 2015년 까지 다음 표와 같은 목표를 수립했음. 순수 자동차 기술에 의한 감축 목표는 130g/km이며 대체연료 또는 타 기술에 의한 감축량이 10g/km에 해당함.

위 문서에서는 목표의 달성을 위하여 보완대책이 필요함을 강조하고 있으며, CO₂ 의무 규제 사항은 Fleet 평균 기준으로 하고, 기업 간의 연합을 허용.

제작사의 Fleet으로부터 120g/km 차량이 각 당해 년도의 목표치(%)를 달성하도록 정하고 있으며, CO₂ 규제를 성취하지 못한 기업은 특정 패널티를 부여하도록 함.

또한, 혁신적인 기술과 대체연료사용을 촉진토록하고 있으며 2020년 목표로 비용-효율적인 면을 고려하여 95g/km를 목표로 하고 있음.



[그림 39] 유럽 신차(승용차)로부터 CO₂ 저감 계획

EP와 COM에 의하여 동의된 제안은 승용차의 CO₂ 목표가 선형적인 기반에서 차량의 유저리티 기능으로써 정의되는 것임. 이 유저리티를 표현하기 위하여 자동차 중량을 현재 배출가스와 상관성을 부여하는 적절한 요소로 간주하고 있음. 그러므로 자동차 중량은 보다 현실적이고 경쟁적으로 중립적인 목표의 결과를 낳을 수 있음. 대체연료 유저리티 요소의 데이터(예를 들면 Footprint와 같은)는 유저리티를 기반으로 한 접근방법의 장기간의 평가를 가능토록 하기 위하여 필요함. COM은 2014년까지 데이터의 이용가능성을 검토하고 있으며 가능하다면 EP와 의회에게 유저리티 요소 적용을 위한 제안서를 제출할 것임.

각 차량의 SET는 다음의 식에 따라서 계산되어질 예정.

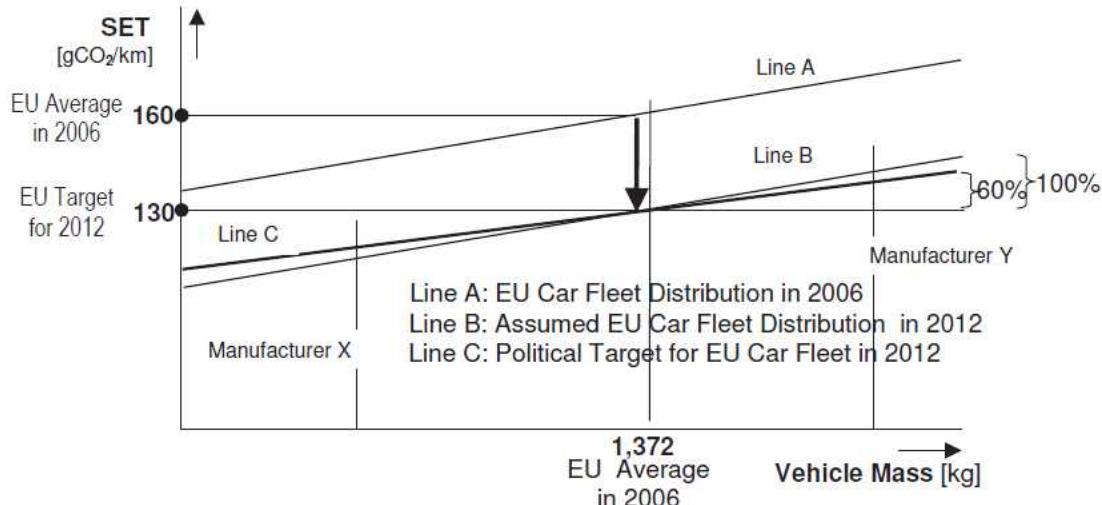
[표 25] 제작사가 판매하는 승용차의 SET 의무비율

Year	% of manufacturer's car fleet which has to meet the target
2012	65
2013	75
2014	80
as of 2015	100

$$SET = 130 + a(M - M_0) [\text{gCO}_2 / \text{km}]$$

여기서, 2012-2015: $a=0.0457$; M =제작사의 자동차 fleet의 평균중량[kg]; $M_0=1,327\text{kg}$
 2016이후 : $a=0.0457$; M =제작사의 자동차 fleet의 평균중량[kg]; $M_0=1,392.4\text{kg}$

EU-Philosophy of SET-Determination for the 2012 CO₂-Target



[그림 40] 차량별 Set 적용 그래프

위 그래프의 line A는 2006년도의 실제 자동차 CO₂ 배출 분포를 보여줌. line A는 line B(2012) 목표와 평행. 정치적인 수정으로 line B의 기울기가 100%에서 60%로 수정된 것은 line C를 나타냄. 따라서 제작사 X가 높은 SET를 가지게 되었고 제작사 Y는 낮은 SET를 준수해야 하는 상황임.

(나) 초과 배출가스 프리미엄

만약 SET에서 정한 목표 CO₂ 를 준수하지 못하면 다음과 같은 계산식에 의하여 패널티를 부여함.

[표 26] 초과 배출가스 프리미엄 계산식

The average specific emissions (ASE) of CO ₂ exceed the specific emission target (SET) by... gCO ₂ /km		Calculation of the Excess Emissions – Premium (EEP)
From 2012 until 2018		
more than 3		$\text{EEP} [\text{€}] = [(EE - 3 \text{ gCO}_2/\text{km}) \times 95\text{€ per gCO}_2/\text{km} + 1 \text{ gCO}_2/\text{km} \times 25\text{€ per gCO}_2/\text{km} + 1 \text{ gCO}_2/\text{km} \times 15\text{€ per gCO}_2/\text{km} + 1 \text{ gCO}_2/\text{km} \times 5\text{€ per gCO}_2/\text{km}] \times N$
more than 2 but less than 3		$\text{EEP} [\text{€}] = [(EE - 2 \text{ gCO}_2/\text{km}) \times 25\text{€ per gCO}_2/\text{km} + 1 \text{ gCO}_2/\text{km} \times 15\text{€ per gCO}_2/\text{km} + 1 \text{ gCO}_2/\text{km} \times 5\text{€ per gCO}_2/\text{km}] \times N$
more than 1 but less than 2		$\text{EEP} [\text{€}] = [(EE - 1 \text{ gCO}_2/\text{km}) \times 15\text{€ per gCO}_2/\text{km} + 1 \text{ gCO}_2/\text{km} \times 5\text{€ per gCO}_2/\text{km}] \times N$
less than 1		$\text{EEP} [\text{€}] = (EE \times 5\text{€ per gCO}_2/\text{km}) \times N$
From 2019 onwards		
		$\text{EEP} [\text{€}] = (EE \times 95\text{€ per gCO}_2/\text{km}) \times N$

EE=초과 배출가스; N=새로운 승용차의 수(특정 제작사가 EU 내에서 판매)

Ex) 2012년도에 135g/km의 CO₂ 를 배출한 제작사의 판매수가 100,000대 일 경우
 SET=130g/km, ASE=135g/km, N=100,000
 EE=ASE-SET=135g/km-130g/km=5g/km
 5g/km을 초과하였으므로 3g/km 이상 초과시 계산식을 적용하여
 EEP(€)=[(5-3)×95+25+15+5]×100,000=23,500,000

한화기준=약35,250,000,000원의 패널티를 부담하게 됨

(다) 소형화물차의 CO₂ 와 에너지소비효율 저감 계획

2009년 10월 28일 EC의 의회는 “새로운 소형 상용자동차에 대한 CO₂ 배출가스 성능기준 마련과 감축”을 제안하는 문서를 발간. “Regulation of the European Parliament and of the Council setting CO₂ emission performance standards for new light commercial vehicles as part of the Community's intergrated approach to reduce CO₂ emissions from light-duty vehicles“

위 제안은 2014년부터 2016년까지 기간을 두어 175g/km의 CO₂ 까지 fleet 평균을 감축하는 목표를 포함하고 있음. 그리고 2020년도까지는 135g/km의 CO₂ 배출을 목표로 함.

2010년 12월 3일 EP, Council 그리고 COM 2016년에서 2017년 사이에 175g/km를 적용키로 하였으며, 2020년까지는 145g/km로 변경할 예정.

2020년까지의 목표는 규제를 재차 확인할 수 있는 검토가 필요하며 2013년에 계획되어 있음. 2013년 검토 시의 목표에 도달하기 위한 세부사항도 정의될 예정임.

① SET(Specific Emissions Targets)

2014년 1월 1일부터는 소형화물자동차를 제작하는 SET를 초과해서는 안 됨. 이는 각 제작사의 SET를 설정하는 목적으로, 각 해당연도에 등록되는 새로운 소형상용자동차의 비율은 다음 표와 같음.

[표 27] 제작사가 판매하는 화물차의 SET 의무 비율

Year	% of manufacturer's car fleet which has to meet the target
2014	70%
2015	75%
2016	80%
as of 2017	100%

다음과 같은 식에 의하여 각 소형상용차량의 SET가 결정되어짐.

$$SET=175+a(M-M0)[gCO_2 /km]$$

여기서, M= 자동차의 중량(kg), M0=1706.0kg(2014-2017)
 M0=미정(2018년 이후)

연간 제작사의 SET는 당해 연도에 등록된 차량의 CO₂ 계산값의 평균으로 계산함.

② Super Credit

매우 낮은 CO₂ 를 배출하는 소형상용차는 추가적인 혜택을 줄 수 있음. 50g/km 이하의 차량은 다음과 같이 차량의 대수를 적용하여 산출.

[표 28] 화물차의 Super-Credits 적용 계획

Year	2014	2015	2016	2017	2018
Each new LCV with specific CO ₂ emissions of <50g/km will be counted as	3.5	3.5	2.5	1.5	1
Light commercial vehicles					

Super Credit 계획의 지속을 위하여 50g/km 이하의 CO₂ 차량의 최고 한계를 제작사당 25,000 으로 정함.

[표 29] EU의 연도별 SET 적용 소형화물차 평균 목표

EU fleet average target for LCV(vans) Target Year 2014	Phase-In Scheme[%]				Long Term Target for year 2020
	2014	2015	2016	2017	
175g/km(CO ₂)	70	75	80	100	147g/km(CO ₂)

제작사의 SET 준수를 위하여 E85를 사용하는 차량은 2015년 12월 31일 까지 SET에서 5%를 감해주기로 함.(EU에서 정하는 E85를 주유할 수 있는 시설이 30% 이상 차지하는 회원 국가에 한 함)

③ Pooling

제작사는 제작사간 그룹을 만들어 SET를 달성을 할 수 있음.

④ 초과 배출가스 프리미엄

2014년 1월 1일부터 12월 31일까지 그리고 이후 매년도에 COM은 초과 배출가스 프리미엄을 평균 SET를 초과한 제작사에게 부과할 수 있음. 계산식은 M1 등급과 동일하며 2014부터 2018년도까지 단계적 계산식을 적용하고 2019년도부터는 마지막 계산식을 적용함.

⑤ Eco-Innovations

제작사나 공급사에 의한 적용에 따라 CO₂ 저감을 위한 혁신적인 기술의 사용이 권장됨. 이러한 혁신적 기술의 총 기여도에 따라 제작사의 SET에서 7g/km(CO₂)를 감하여 줄 수 있음.

⑥ Derogation

SET에 대한 개정사항 적용은 각 당해년도 등록된 새로운 소형상용자동차를 22,000대 보다 적게 생산하는 제작사에 의하여 만들어짐.

나. 자동차 길들이기 표준모드(안) 개발

(1) 총론

자동차 주행거리가 늘어날수록 타이어 마모 증가 및 구동부 마찰저항 감소로 주행저항이 줄어들기 때문에 자동차 길들이기는 연료소비율 측정 결과에 영향을 미치는 중요한 인자이며, 현재

전세계적으로 배출가스 인증을 위한 길들이기 규정은 존재하나 자동차 연료소비율 측정을 위한 길들이기 규정은 없음. 다음 그림은 국가별 배출가스 인증을 위한 주행저항 측정 전 차량의 길들이기 상태에 대한 규정임.

	북미	유럽	일본	내수
주행거리	최소 3,500 km 권장 6,500 km (※EPA확인시험 조건 3,000~10,000 mile)	최소 3,000km	내용 없음	5,500 ~ 6,500km
주행방법	내용 없음	내용 없음	내용 없음	9개 구간으로 구분 (1~5 : 시내, 국도, 6~9: 고속) 권장사항이며 제작사 자체모드 가능
주행장소	내용 없음	내용 없음	내용 없음	주행장, 누적 차대동력계 설제도로 모두 가능
타이어	시험차와 유사한 부여 조건하에 다른 차량에서 베드인 가능 원타이어 깊이의 최소 50% 이상 남아 있을것	시험차와 동시에 길들이기 실시 원 타이어 깊이의 최소 50%이상 남아 있을것	내용 없음	시험차와 유사한 부여 조건하에 다른 차량에서 베드인 가능 원 타이어 깊이의 최소 50%이상 남아 있을것
규정	SAE J2263	EN_1970L0220	TRIAS 99-006-01	자동차의 에너지소비효율, 온실 가스 배출량 및 연료소비율 시험 방법 등에 관한 고시 (공동고시)

[그림 41] 각 국가별 길들이기 관련 규정

(2) 각 국가별 길들이기 규정

(가) 미국

- 미국의 배출가스 인증을 위한 자동차 길들이기는 CFR Part86의 “내구성시험 운전계획”과 “표준 주행 사이클(SRC)”에 따름. 내구성시험 운전계획은 총 3.7 mile을 주행하는 11개 구간으로 이루어졌고, 표준 주행 사이클은 누적주행거리 사이클로 총 3.7 mile을 주행하는 7개 구간으로 이루어짐.
- 2012년 연비과장 논란 이후 길들이기 방법은 일반 도로주행을 대표할 수 있는 방법으로 길들이기를 실시할 것을 권고함.

(나) 유럽

- 유럽의 경우 배출가스 인증시험에 대한 규정인 ECE R83 Annex7 Appendix3을 따라 주행저항 시험 전 자동차 길들이기를 수행함.

(다) 브라질

- 브라질의 경우 주행저항 측정값에 대한 허용오차를 ‘14년까지 25%, 15년부터는 15% 이내’로 관리하며 주행저항 시험결과 허용오차를 초과하게 되면 2번의 재시험 기회를 주고, 다시 허용오차를 초과하게 되면 2번의 추가시험을 실시하여 총 3회의 주행저항 측정값을 평균하여 산정하는데, 그럼에도 불구하고 허용오차를 초과하는 경우 연비 라벨 사용이 정지되고 새로운 주행저항 측정을 실시함.

(라) 국내

- 국내 배출가스 인증을 위한 자동차 길들이기는 “내구성시험 운전계획”과 “부품강제열화 방식 내구성시험”(환경부고시 제2014-144호)에 따르는데 내구성시험 운전계획은 기본적으로 9개 구간에서 정속 구간 없이 가속과 감속을 반복하는 형태로 이루어지고 부품강제열화 방식 내구성시험은 차대동력계 주행모드를 2회 이상 운전하여 촉매 온도 정보를 산출함.

- 국내 자동차 제작사의 경우 연비시험을 위한 길들이기는 각 제작사별로 실제 도로에서 주행을 하거나 자체 길들이기 시험모드를 통해 주행거리 누적을 수행하고 있는 실정임.

다. 자동차 주행저항 표준 측정방법(안)

(1) 총론

자동차가 달릴 때 공기와 지면으로부터 받는 저항으로써 저항값이 클수록 연비가 나빠지며 환경조건(시험노면, 풍향풍속), 차량조건(자동차 길들이기, 장착 타이어) 등에 따라 차이가 날 수 있으며, 자동차 연료소비율 측정은 실도로 조건의 차량 주행저항 값을 미리 산출하여 차대동력계에 차량속도와 상관된 기초 차량 부하 값으로 적용함.

(2) 미국

(가) 주행저항 시험 : SAE J1263/J2263(권장)에 따라 풍향풍속계, 속도계, 데이터 기록장치 등을 차량에 설치하고 80 kph, 30분 이상 예비주행을 한 후 115~15 kph 속도 범위에서 왕복 5회 이상 시험을 진행. EPA의 경우 SAE 규정을 보완한 AC55 규정을 사용하고 있으며 현재는 AC55 개정을 위한 준비를 수행 중임.

(나) 제작사의 주행저항 측정 방법과 관련하여 실도로 주행저항 평가 방법 외에 풍동에서의 공기저항 측정, 정밀한 동력계에서의 구동 저항 측정을 이용한 방법 등 다양한 방법의 주행저항 평가 방법이 검토됨. (※ 2014년 ROAD LOAD GUIDANCE 내용)

(3) 유럽

(가) 주행저항 시험 : 배출가스 인증시험에 대한 규정인 ECE R83 Annex7 Appendix3 시험모드를 사용하며 속도계, 데이터 기록장치 등을 차량에 설치하여 일반 주행시의 온도 상태로 만들기 위한 예비주행을 실시하고 125~15 kph의 속도 범위에서 최소 4회에서 최대 15회 시험을 진행하는데, 미국의 경우 주행저항 측정시험에서 일정한 시간 간격으로 차속을 측정하는 반면 유럽의 경우 지정된 속도 구간에 대해 감속 소요시간을 측정하는 방식을 채택함.

(나) 주행저항값 허용오차 : 유럽의 경우 주행저항 시험 시 인증관 입회하에 기술적 시험절차 준수 여부를 확인하는데 오차에 대한 기준이 없어 인증관 판단 하에 재시험 여부를 결정하고 주행저항 값 승인 시 외기온 등의 시험 당시 조건에 대해 표기함. 중국, 인도, 남미 지역은 유럽 기준을 준용.

(4) 국내

국내 주행저항값 측정 방식은 미국과 동일한 시험방식을 채택하고 있으나, 등가관성중량 및 시험중량 산정기준이 다소 상이한데 국내는 50%, 미국은 30% 이상의 선택사양을 장착한 공차중량을 기준으로 하여 등가관성중량 및 시험중량을 산정.

라. 주행저항 값 산출 및 결과분석 처리 프로그램 개발

(1) 총론

미국, 일본 등에서 개발한 주행 저항 값 산출 기술을 독점적으로 사용하고 있으며 관련 프로그램 또한 해외에서 도입되고 있는 관계로 국내 관련 기술기반은 매우 취약한 실정.

(2) 미국

자동차의 주행저항값의 보다 실질적인 묘사를 위해 개량된 산출 방정식의 개발이 진행되고 있으며, 현재 SAE J2263 규정 외에 ABCD 규정이 새로운 주행저항 해법으로 제시된 상태임.

ABCD 방식은 SAE J2263 제정을 위한 논리가 설명된 문서로 풍동에서의 계측과 실차에서 계측된 공기역학적 힘의 상관관계에 대해 실험하고 있으며 Motion 방정식을 구성한 후, 풍향과 관련된 SAE J2263의 a0, a1, a2, a3, a4 계수가 유도되는 과정에 대해 설명하고, 탑재식 풍속계 자체의 영향에 대해서도 분석함.



[그림 42] 주행저항 평가 장비

마. 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구

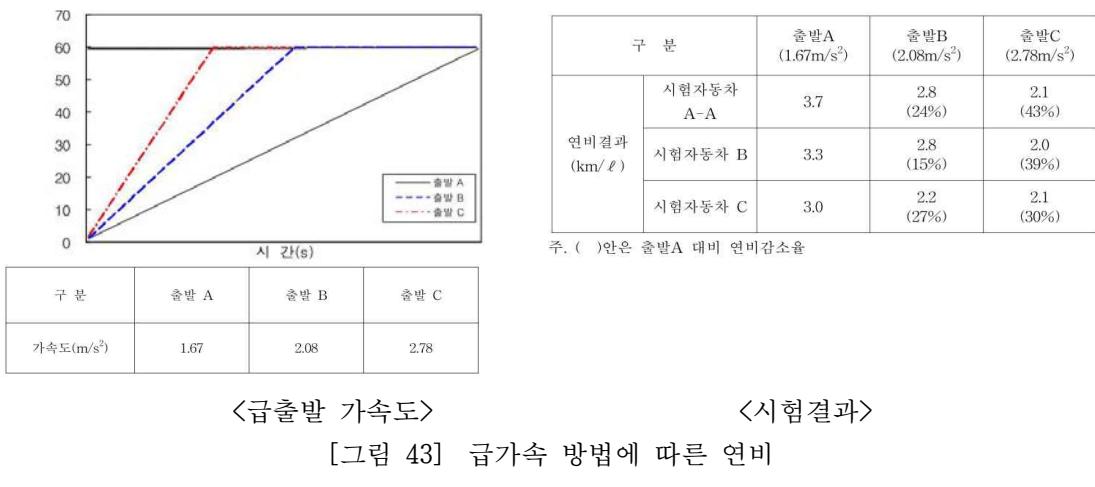
(1) 세부 시험조건 관련 국내외 문헌자료 조사

(가) 가감속에 의한 영향

가속도가 클수록 관성저항이 증가되고 관성저항을 극복하기 위한 변속단수의 Kick Down으로 연료소모량이 큰 영역에서 운전하기 때문에 연비가 악화됨.

산업부의 보고서에서는 급출발 가속 시 15% ~ 30%의 연비 악화가 나타나는 것으로 보고하고 있으며, 차량의 제원에 따라 감소 폭이 다르다고 언급됨. 측정결과를 살펴보면 출발A보다 출발B의 연비 감소 폭이 15% ~ 27%의 연비 감소가 나타났으며, 출발 C는 30% ~ 43%의 높은 연비 감소가 나타남.¹⁾

1) 최선모 외(교통안전공단), ‘승용차 연료절약 기법 개발’, 2007, 산업부.



주행 중 속도를 낮추어 정지하기 위하여 브레이크를 사용하는 경우 Fuel Cut 기능이 실행되어 연료의 소모량은 매우 적고 차량의 주행속도와 중량에 비례하여 관성에너지를 가지고 있기 때문에 이 에너지를 이용하여 주행거리를 길게 하면 연비가 향상됨.

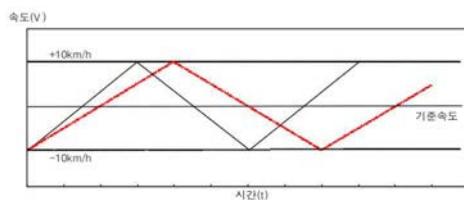
산업부 보고서에는 감속방법에 따른 연비 영향을 평가하였는데, 감속 시 브레이크 작동 강도와 상관없이 엔진속도(RPM)가 비슷하므로 연료소모량도 동일한 것으로 판단되며, 관성주행을 최대한 활용할 때 연비 상승효과가 최대로 된다고 밝힘.

주행 중 정속을 유지하지 못하고 빈번한 가속페달과 브레이크의 사용은 관성부하를 자주 발생하는 요인이며 반복적인 엔진회전수 변화는 엔진제어가 불완전하기 때문에 연료를 더 많이 소모하는 결과를 낳을 수 있음. 산업부는 급·감속 주행은 정속주행 대비 완감속시 10~40%, 급감속시 20%~70%의 연비가 감소된 것으로 보고함. 또한 한국에너지공단의 보고서에서도 가속도가 높을수록 지수적으로 연비가 악화된다고 보고함. 이 보고서에 따르면 가솔린 차량은 일정 목표 속도에서 3.0m/s^2 가속도 대비 0.5m/s^2 으로 가속될 경우 최대 27.6% 연비가 향상되며, 디젤 차량은 동일조건에서 29.9% 연비가 향상되고, 일정 목표속도에서 가속방법에 따라 0.5%~29.9%의 연비가 향상되는 변화를 보였음(3.0m/s^2 기준). 또한 감속도가 클수록 연비가 악화됨(48%~95% 악화)²⁾.

급가감속과 관련하여 일본 에코드라이빙 보급연락회 교육 교재에서는 정속주행 대비 완감속 시(약 $\pm 0.77\text{m/s}^2$) 20%, 급가감속(약 $\pm 1.67\text{m/s}^2$)시 46%의 연료소모량이 증가된다고 보고함.³⁾

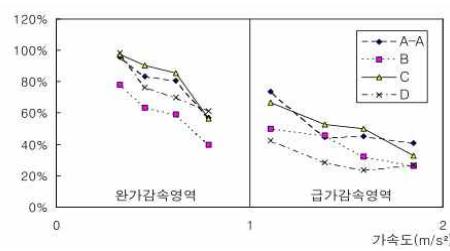
2) 김기호 외(한국석유관리원), '자동차 경제운전 에너지절감 효과분석 연구', 2012, 한국에너지공단.

3) 일본 에코드라이빙 보급연락회 교육교재



구 분 차속조건	완가감속도(m/s^2)	급가감속도(m/s^2)
60±10km/h	0.79	1.85
70±10km/h	0.62	1.59
80±10km/h	0.46	1.39
100±10km/h	0.33	1.11

주. ()안은 가감속에 소요되는 시간



구 분		시험자동차 A-A	시험자동차 B	시험자동차 C	시험자동차 D
60 ±10km/h	정 속 연 비	22.6	23.0	18.9	18.7
	완가 · 감속연비	12.9 (-43%)	9.2 (-60%)	10.7 (-43%)	11.5 (-39%)
	급가 · 감속연비	9.2 (-59%)	6.1 (-73%)	6.2 (-67%)	5.0 (-73%)
70 ±10km/h	정 속 연 비	20.7	19.0	17.8	16.3
	완가 · 감속연비	16.7 (-19%)	11.2 (-41%)	15.2 (-15%)	11.4 (-30%)
	급가 · 감속연비	9.4 (-55%)	6.1 (-68%)	8.9 (-50%)	3.9 (-76%)
80 ±10km/h	정 속 연 비	18.7	18.8	16.8	16.0
	완가 · 감속연비	15.6 (-17%)	11.9 (-37%)	15.2 (-10%)	12.2 (-24%)
	급가 · 감속연비	8.4 (-55%)	8.6 (-54%)	8.9 (-47%)	4.6 (-71%)
100 ±10km/h	정 속 연 비	14.8	15.7	14.1	12.4
	완가 · 감속연비	14.2 (-4%)	12.2 (-22%)	13.7 (-3%)	12.2 (-2%)
	급가 · 감속연비	10.9 (-26%)	7.8 (-50%)	9.4 (-33%)	5.3 (-57%)

주. ()안은 정속대비 연비 감소율

<가감속도 변화에 따른 연비변화>

<정속 대비 가감속 시험결과>

[그림 44] 정속 대비 가·감속 시험 방법 및 결과

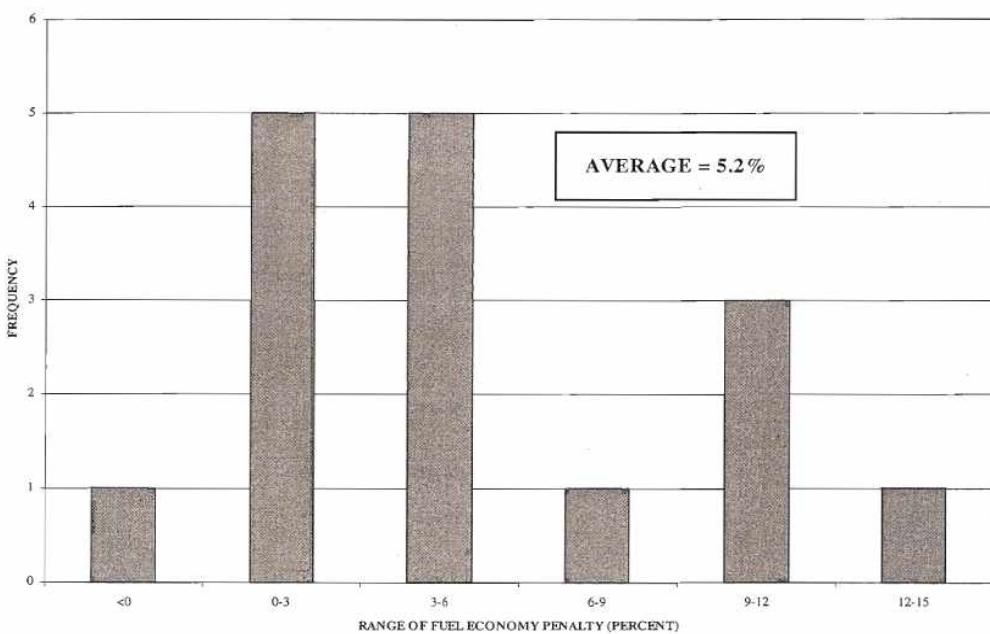
미국에서는 배출가스 및 연비 측정시험모드의 평균 및 최고 가·감속을 분석하고 연비 측정 결과를 인용하여 가감속 주행에 대한 연비 영향도를 산출함. UCC(California Unified Cycle) 모드는 FTP-75 모드 보다 평균 가속도가 30% 큰 주행모드임. CARB는 1996년 17대 차량으로 두 개의 모드를 이용하여 연비를 산출한 결과 평균 5.2%의 연비가 낮게 측정됨([그림 45]4).

또한, US 06 모드는 HWFET 모드보다 평균 가속도가 300%, 평균속도가 30%, 최고 가감속도가 100% 큰 주행모드임. EPA에서 두 가지 모드를 이용하여 30대 차량의 연비를 비교한 결과 25%~48%의 연비 차이가 나는 것으로 나타났음([그림 46]).

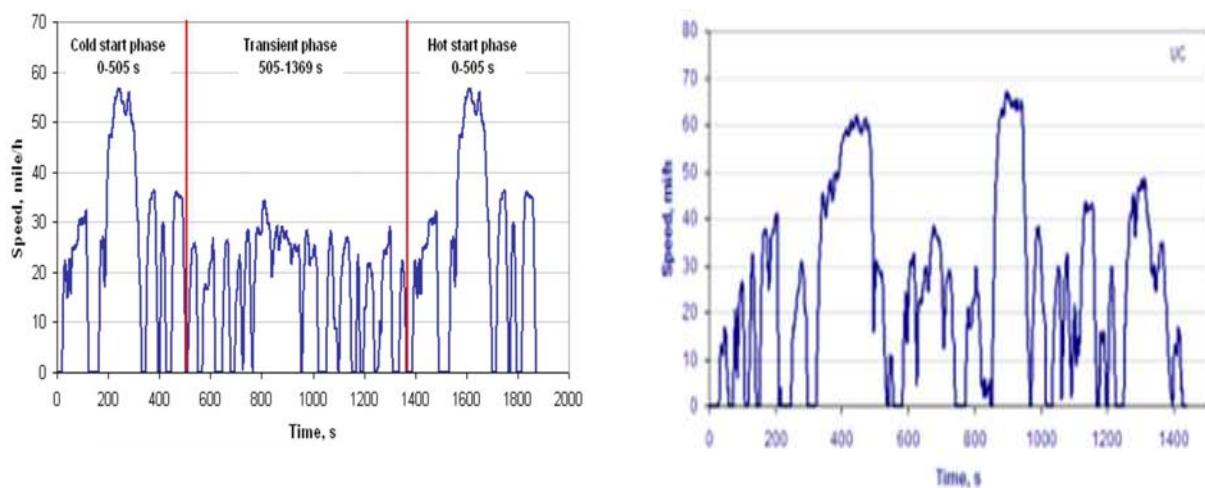
	FTP (CITY)	UC
Average Speed (mph)	21.18	24.63
Maximum Speed (mph)	56.70	67.20
Average Acceleration (mph/sec)	0.89	1.15
Maximum Acceleration (mph/sec)	3.30	6.90
Maximum Deceleration (mph/sec)	-3.30	-8.80

[그림 45] FTP-75 및 UC 모드 연비 비교

4) Owner related fuel economy improvements, Oak ridge national laboratory, 2001



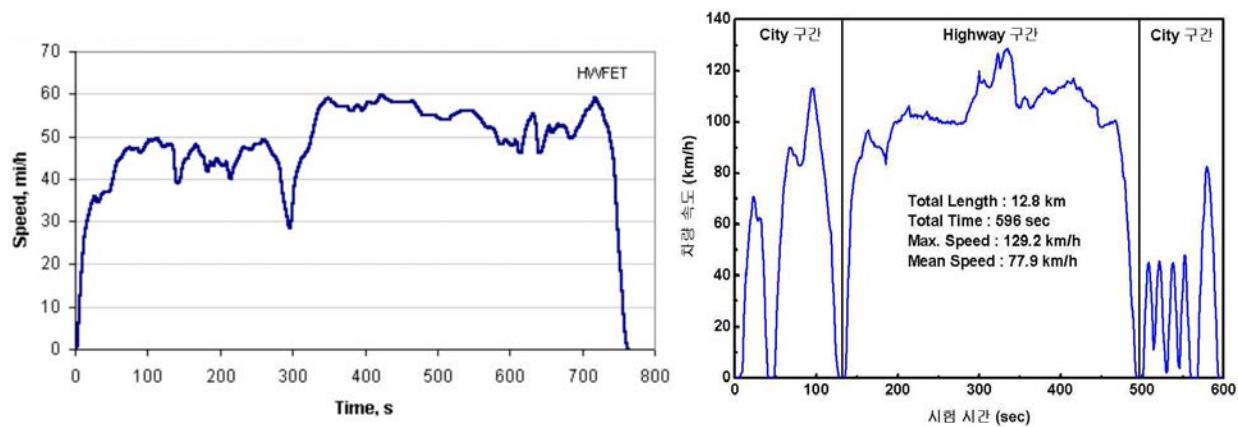
[그림 46] 연비 감소율 빈도



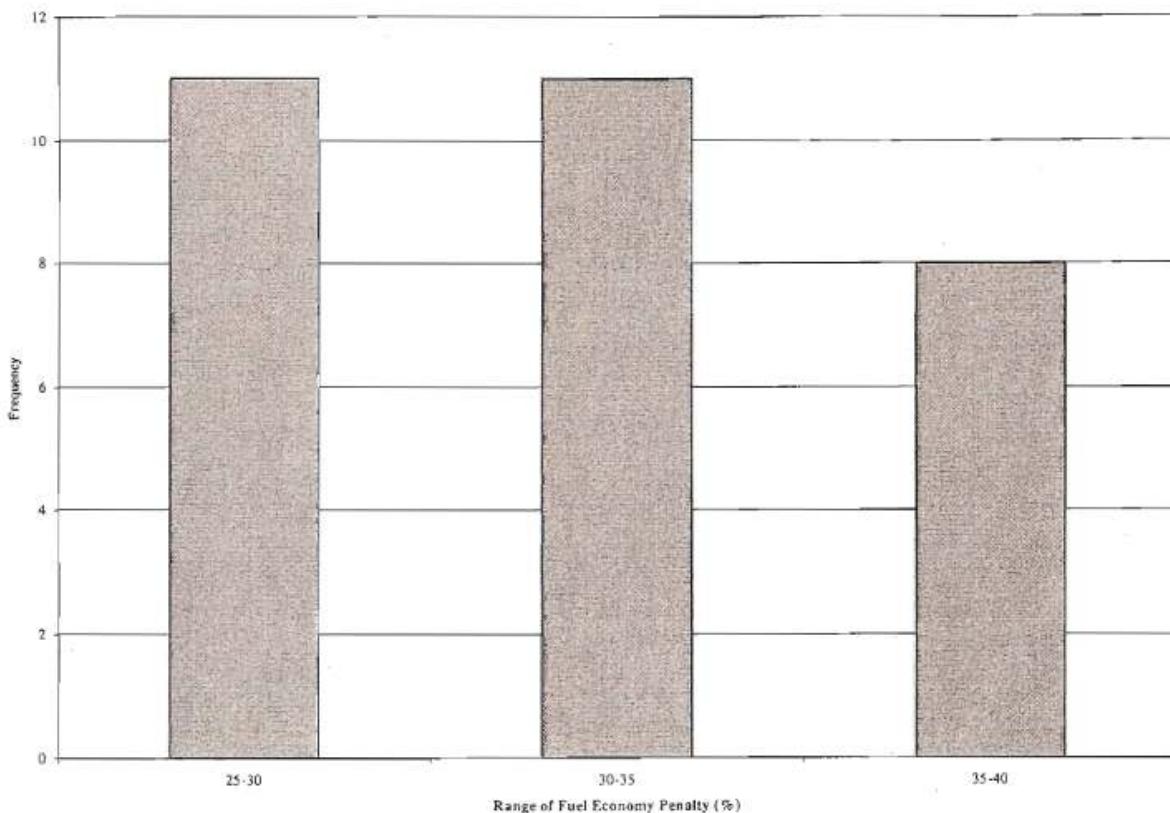
[그림 47] FTP-75 mode와 UC mode 주행 스케줄

	FTP (HWY)	US06
Average Speed (mph)	48.27	48.37
Maximum Speed (mph)	59.90	80.30
Average Acceleration (mph/sec)	0.384	1.383
Maximum Acceleration (mph/sec)	3.20	8.40
Maximum Deceleration (mph/sec)	-3.30	-6.90

[그림 48] HWFET 및 US06 모드 연비 비교



[그림 49] HWFET mode와 US06 mode 주행 스케줄



[그림 50] 연비 감소율 빈도

(나) 모드 추종성에 의한 영향

위에서 언급한 바와 같이 가감속의 영향은 연비에 미치는 영향이 큼. 이는 모드 추종성에 의한 영향이 연비에 미치는 영향과 직결됨. 모든 차대동력계를 이용한 시험방법은 목표속도(주행 스케줄)에서 시험자(운전자)가 준수해야 할 추종속도 허용범위를 가짐. 현행 연비시험방법은 해당 시각의 ±1초의 속도에 ±3.2km/h의 속도에 해당하는 추종속도 허용범위를 부여하는데 이 범위 안에서 운전자의 가감속 정도에 따라 연비가 상이하게 나타날 수 있음.

미국 EPA는 연비 시험방법에서 모드 추종성과 관련한 지표를 제출하도록 규정하고 있으나 지표의 허용범위에 대한 규정은 존재하지 않음. 신규 유럽 및 국제시험방법으로 적용 예정중인 WLTP 시험방법에서 모드 추종성 지표도입 타당성에 대한 검토가 진행 중이며 ASGR, RMSSE, IWR이 선정가능 지표로 거론되고 있음.

Title 40: Protection of Environment

PART 1066—VEHICLE-TESTING PROCEDURES

Subpart E—Preparing Vehicles and Running an Exhaust Emission Test

§1066.425 Performing emission tests.

.....

(b) The driver must attempt to follow the target schedule as closely as possible, consistent with the specifications in paragraph (b) of this section. Instantaneous speeds must stay within the following tolerances:

- (1) The upper limit is 2.0 mph higher than the highest point on the trace within 1.0 s of the given point in time.
- (2) The lower limit is 2.0 mph lower than the lowest point on the trace within 1.0 s of the given time.
- (3) The same limits apply for vehicle operation without exhaust measurements, such as vehicle preconditioning and warm-up, except that the upper and lower limits for speed values are ± 4.0 mph. In addition, up to three occurrences of speed variations greater than the tolerance are acceptable for vehicle operation in which no exhaust emission standards apply, as long as they occur for less than 15 seconds on any occasion and are clearly documented as to the time and speed at that point of the driving schedule.

.....

(j) For vehicles at or below 14,000 pounds GVWR, determine overall driver accuracy as follows:

- (1) Compare the following drive-cycle metrics, based on measured vehicle speeds, to a reference value based on the target cycle that would have been generated by driving exactly to the target trace as described in SAE J2951 (incorporated by reference in §1066.1010):
 - (i) Determine the Energy Economy Rating as described in Section 5.4 of SAE J2951.
 - (ii) Determine the Absolute Speed Change Rating as described in Section 5.5 of SAE J2951.
 - (iii) Determine the Inertia Work Rating as described in Section 5.6 of SAE J2951.
 - (iv) Determine the phase-weighted composite Energy Based Drive Metrics for the criteria specified in this paragraph (j)(1) as described in Section 5.7 of SAE J2951.
- (2) The standard-setting part may require you to give us 10 Hz data to characterize both target and actual values for cycle energy. Calculate target values based on the vehicles speeds from the specified test cycle.

[그림 51] EPA 모드 추종성 관련 조항

UN ECE에서 개발 중인 WLTP 모드에도 추종성 판단을 위한 DQE Index와 Threshold를 제정코자 노력 중임. 이 과정에서 자체 시험 및 각 제작사의 의견을 반영 중에 있으며 각 현황은 [표 30]과 같음.

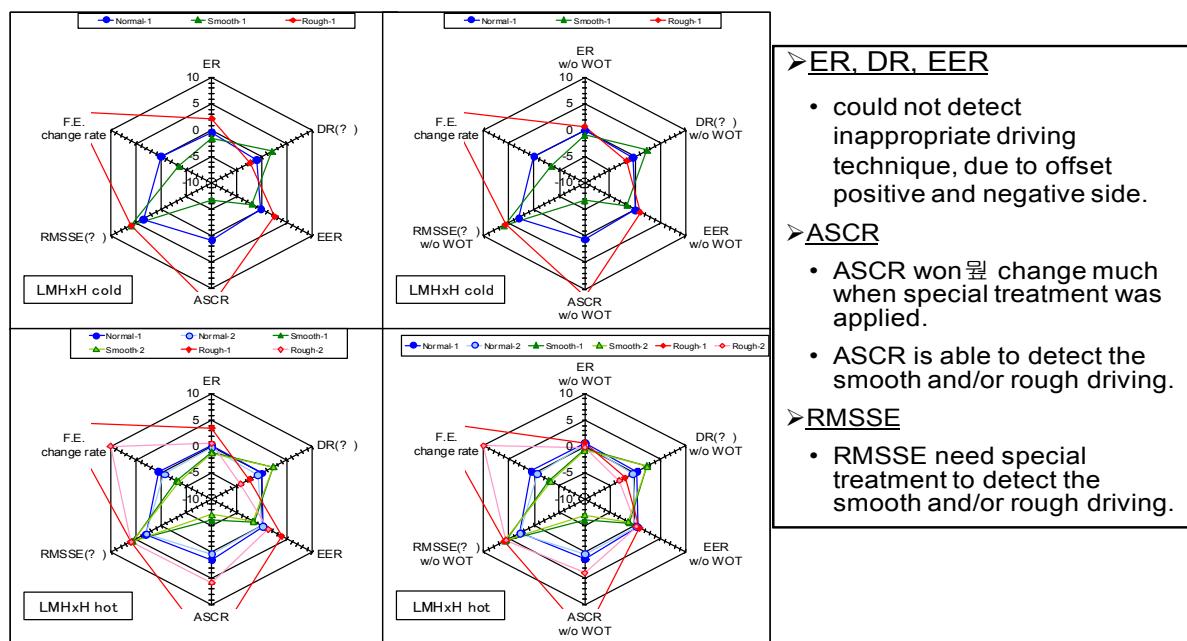
WLTP의 경우 DQE Index는 [그림 52]와 같이 연비변화율에 민감한 지표로 판단되는 ASCR, RMSSE가 거론되고 있으며 IWR은 검증 중에 있음. WLTP의 DQE Index의 산출 시 미국 방법(SAE J2951)과 다른 점은 WOT(Wide Open Throttle) 운전 시 보정을 한다는 점임. 만약 주행 중

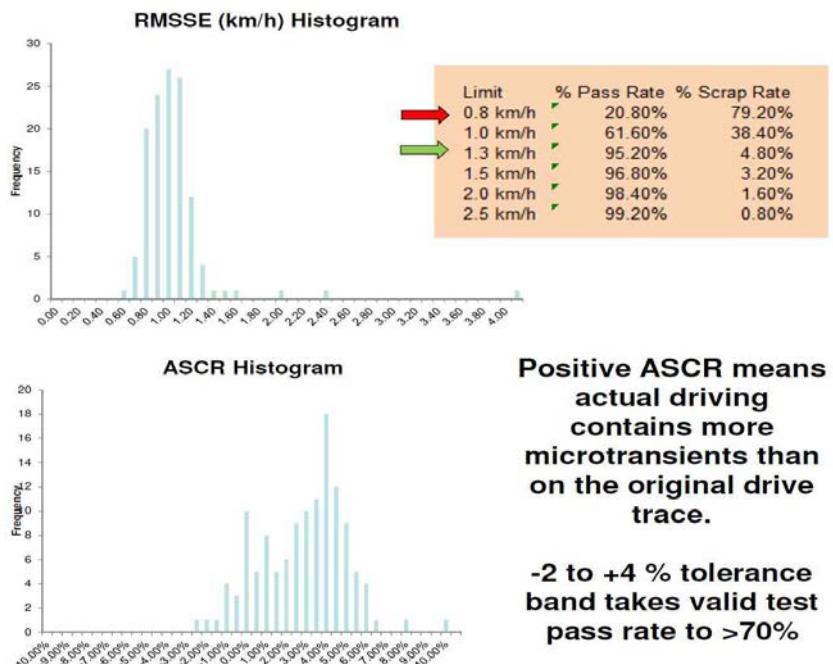
가속페달을 완전히 밟아 운전하여도 목표속도를 추종하지 못하였다면 목표속도가 아닌 실제속도를 목표속도로 환산하여 계산함. 또한 MT(Manual Transmission) 차량의 경우 변속 시 추종속도허용범위가 불필요하므로 변속이 일어난 시점의 ±1초 동안의 목표속도를 실제속도로 환산하여 계산하는 것을 제안하고 있음(그러나 이에 대한 뚜렷한 보정효과를 얻지 못하고 있으며 추가적 연구가 진행 중임)). 포드의 경우 [그림 53]과 같이 방대한 양의 개별 시험방법에 대한 Index 표본 수를 정규분포화하여 분석하는 방법으로 DQE Index Threshold를 제안함. 그러나 이 방법은 시험당사자가 누구인가에 따라서 다르게 나타날 것으로 예상되므로 다양한 기관의 데이터를 종합하여 분석할 필요가 있을 것으로 사료됨.

한정된 과제기관 및 예산 상황에서 1대의 차량을 대상으로 도출된 정량적 수치 제시는 어려우나, 본 연구결과를 통하여 추종성에 따른 연비 영향 유·무를 제시함으로써 추종성에 대한 중요성을 피력하였음. 또한 유럽과 같이 정량적 추종성 허용범위 지표를 시험방법으로 정하기 위해 자동차제작사 및 수입사의 의견과 국내 시험기관의 의견을 취합하는 등 추가적 노력이 필요함.

[표 30] WLTP trace index TF 회원의 지표별 허용범위 제안내역⁶⁾

Indexes	JPN data (AVE ± 3σ)		CO ₂ deviation (2.0 g/km)	TS proposal*	PSA Proposal**	FORD proposal***	BMW	HS
	LMH	LMHxH						
ER (%)	-1.0 ~ +1.4	-0.6 ~ +0.8	+/- 1.5	-	-	-	-	-
DR (%)	-0.5 ~ +0.3	-0.4 ~ +0.2	+/- 0.4	-	-	-	-	-
EER (%)	-1.1 ~ +1.7	-0.7 ~ +1.1	+/- 1.5	-	+/- 2.0 (+/- 4.0)	-	+/- 2.0	+/- 2.0
ASCR (%)	-2.6 ~ +4.0	-2.3 ~ +3.8	+/- 3.0	+/- 3.0	+/- 6.0 (+/- 8.0)	-2.0 ~ +4.0	+/- 3.0	+/- 3.0
IWR (%)	-2.9 ~ +4.8	-2.8 ~ +4.6	+/- 3.5	Under the study	-	IWR is very similar to ASCR	-	-
RMSSE (km/h)	~ +0.7	~ +0.7	+0.8	< +0.8	-	< +1.3	< +1.3	< +1.3





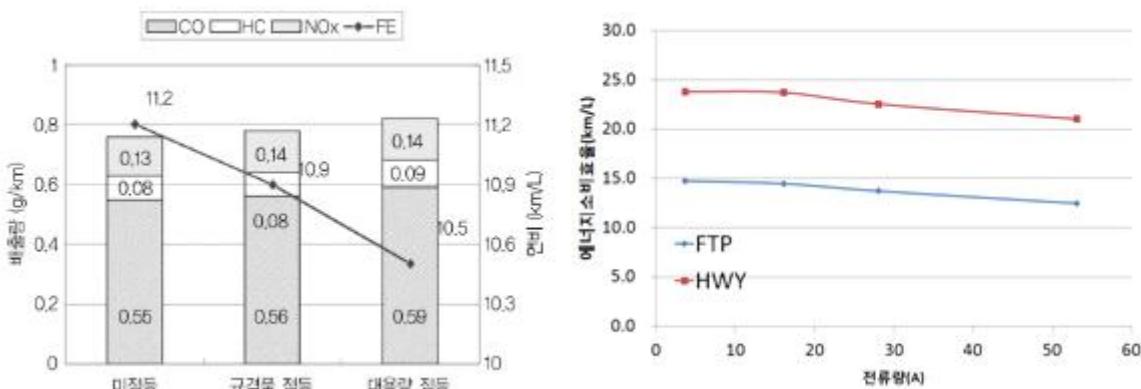
[그림 53] 시험별 Index값을 활용한 정규분포 분석방법⁸⁾

(다) 전기부하에 의한 영향

2004년 산업자원부의 보고서에 따르면 차량에 전기장치를 모두 Off한 상태와 On한 상태에서 60km/h의 정속주행 시 연비를 비교한 결과 전기장치를 모두 On한 상태에서 Off한 상태보다 2.5km/L의 연비가 감소했음.(약 10.9%의 연비 감소)

국립환경과학원 발표 자료에서는 전조등 On/Off에 따라서 약 2.8%의 연비가 감소하는 것으로 나타났으며, 대용량 램프사용은 약 6.3%의 연비 감소가 나타남.⁹⁾

에너지관리공단(자동차 경제운전 에너지절감효과분석 연구, 2012, kpetro)의 보고서에서도 전류 소모 1A 증가 시 0.2~0.5%의 연비가 악화하는 것으로 발표됐음.



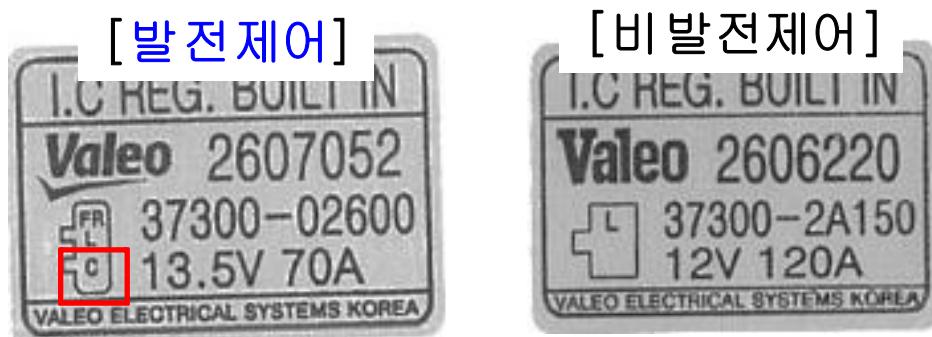
[그림 54] 전기장치 사용에 따른 연비 변화

자동차의 배터리(일반차량에서 사용하는 보조배터리)은 발전기에서 생산된 전기에너지를 축적하여 시동 시 스타트모터에 전원을 공급하고 주행 시에는 발전기와 함께 차량의 전기전자장치에 전원을 공급함. 최근 효율적인 전기에너지 사용을 위하여 발전제어의 개념이 도입되어 연비

8) Ford(C. Hosier and P. Rowland), "Driving Trace Index", WLTP Trace Index Task Force(TF), 2014.

9) 엄명도(국립환경과학원), '저탄소 배출을 위한 에코드라이브 운동', KSAE Auto Journal 2009.06.

향상 역할을 함. 초기 발전제어의 개념은 주행 중 배터리의 충전상태가 일정상태 이상으로 양호할 경우 발전기를 사용하지 않고 배터리에 충전된 에너지만을 사용하는 것이었음. 이와 같은 초기 발전제어는 연비시험과 같이 최초 배터리상태가 양호한 구간에서만 연비 향상효과를 가져오므로 한계성이 존재함.



[그림 55] 발전제어와 비발전제어 알터네이터 구분방법

이를 극복하기 위하여 [그림 56]과 같이 배터리 충전을 위하여 회생재동의 개념을 활용한 Micro-Hybrid 기술이 탑재됨. 일반적으로 하이브리드는 독립적인 구동 및 회생을 위한 모터를 사용하고 있으나 Micro-Hybrid는 별도 모터를 사용하지 않고 감속 시 발전기에 생산전력을 최대로 가동하여 회생재동의 개념으로 배터리를 충전하는 방법임. 이 방법을 적용하는 차량은 충·방전효율을 높이기 위하여 일반 납산배터리(Flooded)를 대체하여 AGM(Absorbed Glass Mat Batteries) 배터리를 적용하고 있으며 이 기술의 적용으로 김대광 외(2012)는 인증 모드에서 1.3~1.4% 수준의 연비향상을 달성하였다고 보고함.¹⁰⁾



[그림 56] 가감속 구간에서의 발전제어

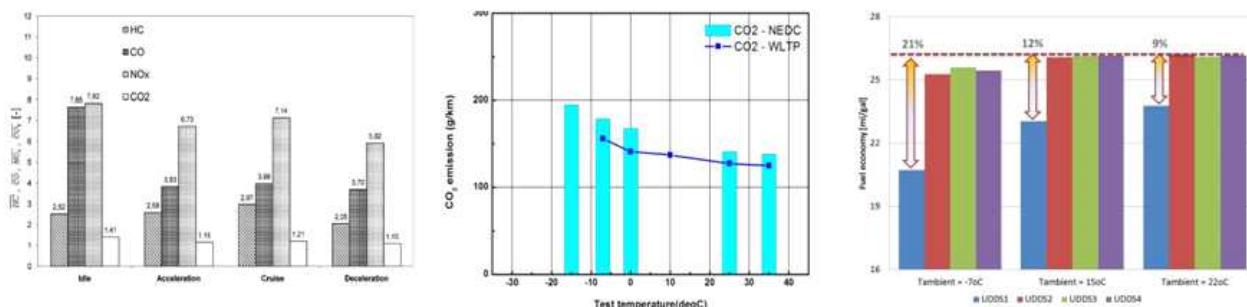
(라) 시험온도에 의한 영향

차량의 엔진 및 동력전달계통 초기 온도는 마찰력의 차이를 유발함. 온도가 낮을수록 마찰력은 증가되고 온도가 높을수록 마찰력은 낮아짐. 또한 엔진의 낮은 초기온도는 예열된 엔진 대비 엔진의 연소효율을 악화시키고 냉각열손실이 증가됨. 이러한 초기온도 특성을 개선하기 위하여 최근 일부 하이브리드 차량에 냉각수 열교환형 배기열 회수 시스템이 적용됨(초기온도와 관계없이 배기열을 회수하여 에너지로 전환하는 개념이 보다 포괄적인 배기열 회수 시스템 개념임). 배기열 회수 시스템은 배기가스의 열을 회수하여 엔진 냉각수에 전달함으로써 빠른 엔진예열을 도모하여 연비를 향상시키는 개념을 가짐. 이제현 외(2011)는 하이브리드 자동차에 배기열 회수

10) D. Kim, J. Lee, M. Choi, K. Kim, S. Kim and S. Lee, "A Development of Next Generation Alternator Management System", KSAE Annual Conference Proceedings, pp.584-589, 2012.

를 통한 엔진 및 변속기 예열 시스템을 적용한 결과 UDDS 모드에서 2.5%의 연비향상을 달성하였다고 보고함.¹¹⁾

P Bielaczyc et al.(2011)은 25°C 대비 -7 °C 대기온에서 NEDC모드 영역별 CO₂ 가 1.10~1.41배 배출된다고 발표하였으며¹²⁾, 오토오일위원회(Kpetro, 2014)의 보고서는 25 °C 대비 35, 10 °C 대기온에서 WLTP CO₂ 배출량 -2%, +8% 변화, 0°C NEDC +19% 변화하는 것으로 보고함.¹³⁾ 미국 에너지부(DOE, 2013) 역시 22 °C 대비 15, -7 °C 대기온에서 UDDS 냉간시동 주행에서 3%, 12% 연비가 악화됨을 발표함.¹⁴⁾



[그림 57] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화

(마) 냉각방식에 의한 영향

차대동력계를 이용한 연비 및 배출가스 시험에서 차량은 고정되고 냉각팬을 이용하여 엔진의 열을 냉각수를 매개체로 라디에이터에서 방출함. 따라서 냉각 방식에 따라 엔진의 열을 방출하는 정도의 차이가 발생되므로 연비에 영향을 미침. 특히 디젤차량의 경우 EGR(Exhaust Gas Recirculation)을 사용하여 NOx를 저감함. EGR은 일부 배기가스를 EGR Cooler에서 배기가스의 열을 흡수하여 다시 흡기로 보냄. EGR Cooler는 냉각수를 사용하여 배기열을 회수하므로 냉각수의 온도가 주요 영향을 미침.

Pang HH at al.(2004)은 EGR ratio 가 높을수록 연료소모량이 증가한다고 발표하였으며,¹⁵⁾ 미국 에너지부(DOE, 2013)는 EGR Cooler 퇴적물 생성(유로 및 열교환 방해)에 따라 연소효율이 1~2% 감소한다고 발표함.¹⁶⁾ 이를 통해 냉각수 온도에 따라 냉각팬 가동률이 변화되는 것으로 조사됨.

11) J. Lee, H. Ohn, J. Choi, S. Kim and B. Min, "Fuel Economy Improvement on Development of Effective Exhaust Gas Heat Recovery System for a Hybrid Electric Vehicle", KSAE Annual Conference Proceedings, 2011.

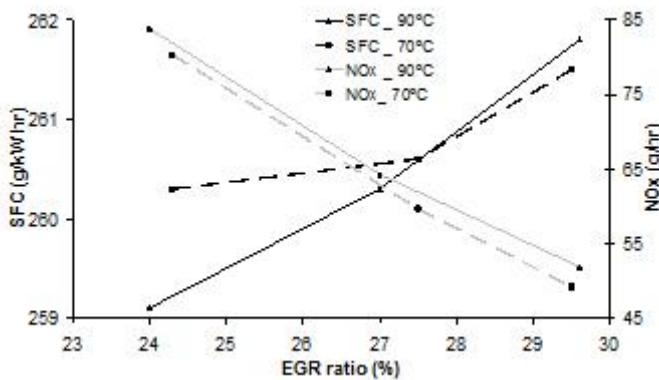
12) Bielaczyc, P., Szczotka, A. and Woodburn, J., 'The effect of a low ambient temperature on the cold-start emissions and fuel consumption of passenger cars', 2011, P I Mech Eng D-J Aut 225, D9, 1253-1264.

13) 이민호 외(한국석유관리원), '환경챔버를 활용한 유종별 차량 온실가스 및 대기오염물질 배출특성 평가(III)', 2014, 오토오일위원회.

14) Vehicle systems simulation and testing, US DOE, 2013, Vehicle technology office.

15) Pang HH, Brace CJ, Akehurst S, Potential of a Controllable Engine Cooling System to Reduce NOx Emissions in Diesel Engines, 2004, SAE International.

16) Michael J. Lance, C. Scott Sluder, Matt K. Ferber, John M.E. Storey and Hassina Bilheux, 'Materials Issues Associated with EGR Systems', 2013, Oak Ridge National Laboratory

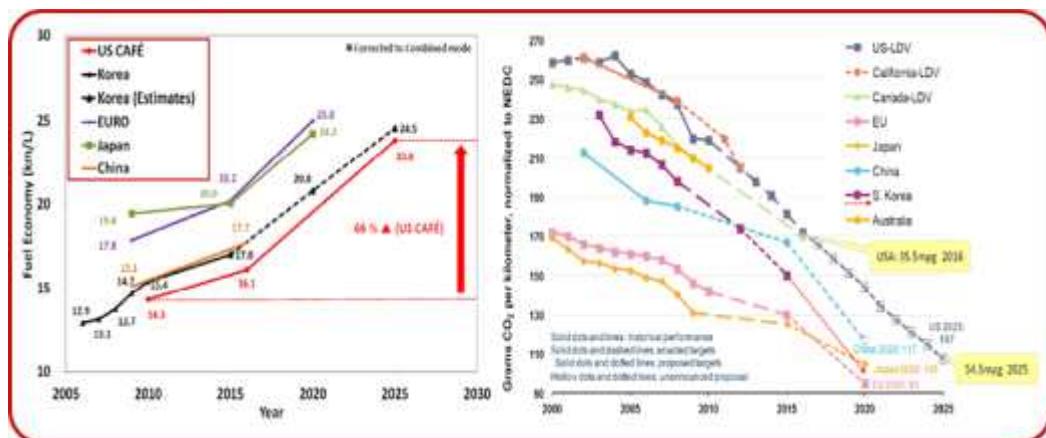


[그림 58] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화

바. 자동차 연비 공동고시 개정(안) 도출

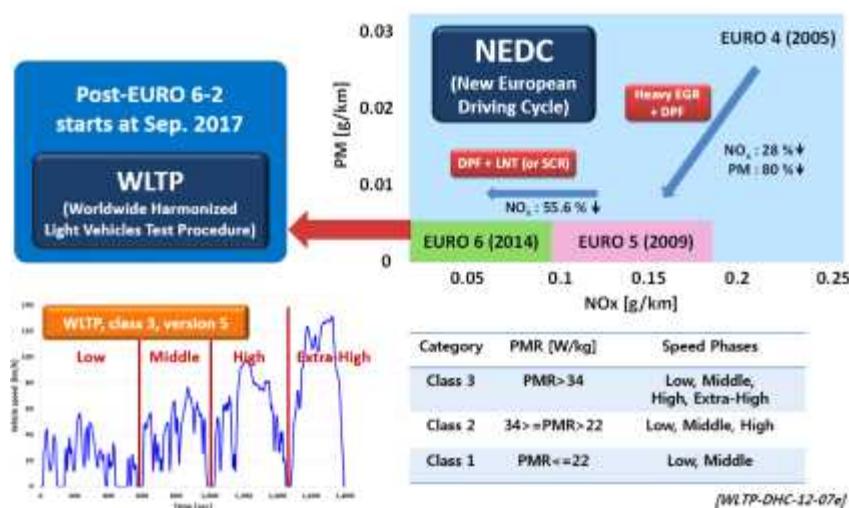
(1) 연비 제도 개선 연구

전 세계적으로 에너지 사용량이 지속적으로 증가할 것으로 예상되고 있으며, 국내의 경우 1990년대 이후로 승용차뿐만 아니라, 교통 및 운송부분에 이르기까지 연료 소모량 및 배기 배출이 급격히 상승하여, 현재 우리나라의 경우 수송 분야의 온실가스 배출량이 전체의 약 16%이고 에너지 사용량은 전체의 약 20%에 해당됨. 따라서 전 세계적으로 에너지 사용량 저감을 목표로 하고 있음. 특히 미국, 일본, 유럽에서는 자동차 연비 규제를 강화되고 있는 추세이며, 배기 규제 또한 지속적으로 강화되고 있는 추세로 미래의 규제는 현재에 비해 상당히 강화될 예정임.



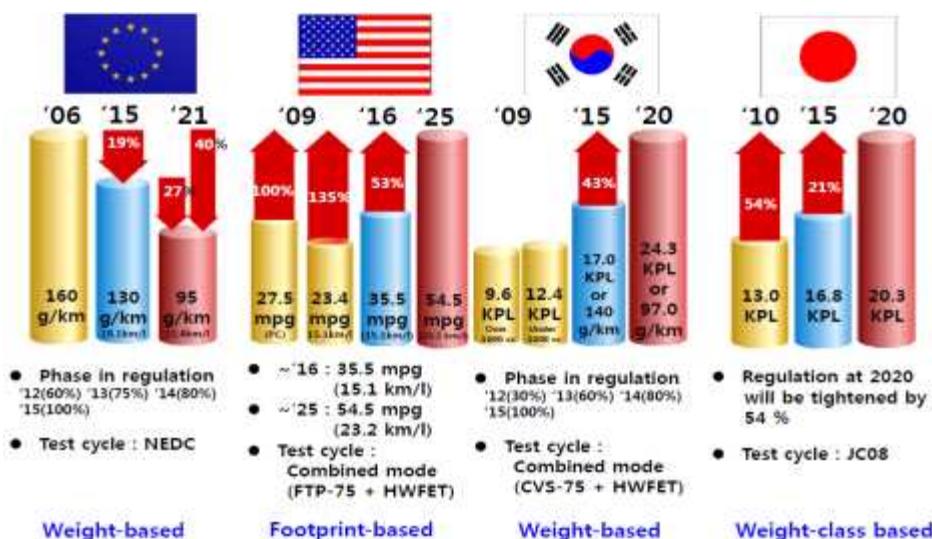
[그림 59] 세계 각국의 승용차 연비향상 및 CO₂ 규제안 시나리오

이러한 규제 강화에 따라 UN ECE GRPE(Working Party on Pollution and Energy) group에서 기존의 배기 측정 모드인 NEDC(New European Driving Cycle)주행모드에서 WLTP(Worldwide Harmonized Light Vehicles Test Procedure) 주행모드로 변경할 예정이며(2017년 적용 예정), 이 모드의 경우 Class 1~3(Power-to-mass ratio, PMR에 따라 구분)까지 나누어 다양한 주행모드를 적용하여 보다 정교한 분석이 가능할 것으로 판단됨.



[그림 60] WLTP 모드의 주행속도(Class 3)와 Class 분류 기준

규제의 변화는 국내외를 막론하고 해당 국가의 연비 측정 및 배기 규제 정책에도 큰 변화를 끼치고 있으며, 각 국가별로 자국의 특성을 고려하여 규제를 마련하고, 이를 바탕으로 규제안에 대하여 지속적으로 개발 및 수정 중에 있음.

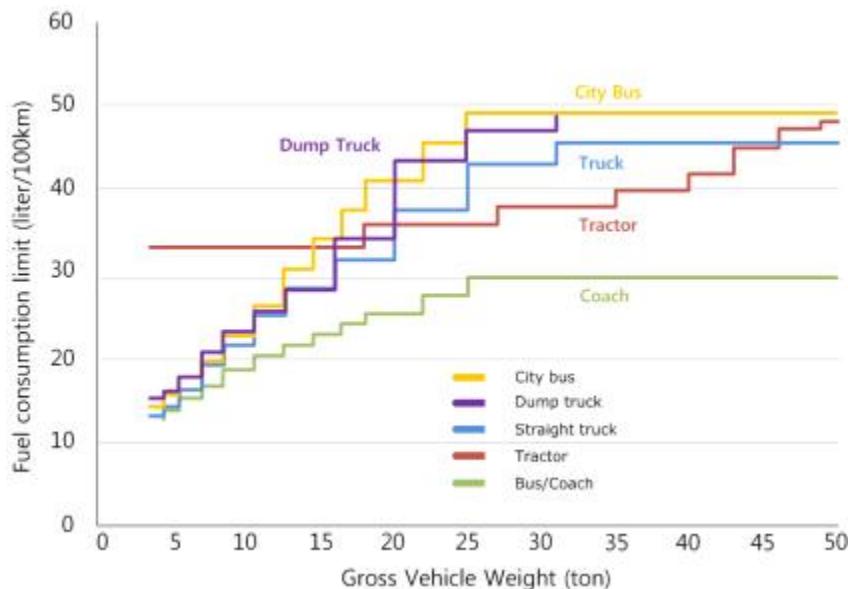


[그림 61] 유럽, 미국, 일본, 한국의 승용차 연비 규제안

이러한 규제의 변화와 강화는 승용차뿐만 아니라 중대형 상용차에도 적용이 필요한 현실이며, 국내 중대형 상용차량의 경우, 승용차에 비해 대수는 작으나, 대당 연료소모량이 많고 주행거리가 길다는 것을 고려하여(승용차 18,134천 toe/1,360만대, 화물 및 승합차 16,303,천 toe/430만대, 2010년 에너지 사용량기준), 연비 규제 도입을 통한 지속적인 관리가 필요한 상황임. 2030년까지 중대형 상용차량의 연료 소모량이 전체 소모량의 약 30%가 될 것으로 예측되며, 현재 미국, 일본, 중국, 유럽 등 해외 각국에서 중대형 상용차량 연비 및 온실가스 규제를 시행하거나 시행 할 예정에 있음.

Country/Region	Regulation Type	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Japan	Fuel economy							Phase 1 regulation implemented starting MY 2015				
United States	GHG/Fuel efficiency	Standard proposal	Final rule				Regulation implemented starting MY 2014 (mandatory DOT program starts MY 2016)					
						Phase 2 proposal and final rule?						Phase 2 implementation?
Canada	GHG/Fuel efficiency			Standard proposal & final rule?			Regulation implemented starting MY 2014?				Phase 2 implementation?	
Mexico	Fuel efficiency			Standard proposal?				Regulation implemented starting MY 2016?			Phase 2 implementation?	
China	Fuel consumption	Test procedure finalized	Industry standard proposal	Industry std implemented	Standard proposal?	Final rule?			Regulation implemented starting MY 2015?			
European Union	GHG	Technical studies		Impact assessment	Test procedure finalized?						Policy implementation?	
California	End-user purchase requirements	Requirements for new tractors and trailers (MY 2011+)		Additional reqs. for existing tractors and trailers (<MY 2010)		Additional reqs. for existing trailers and reefers (<MY 2010)						

[그림 62] 해외 중대형 차량 규제 적용 현황



[그림 63] 해외 중대형 상용차 연비 제도 예시(중국)

이에 따라 국내외 제조사는 승용부터 중대형 상용차에 이르기까지 다양한 신기술을 개발 및 적용을 통하여 규제에 대응하고 있으며, 지속적인 연비 규제 변화에 따른 신기술 개발은 기업의 핵심 프로젝트임. 따라서 국가의 자동차 산업 및 기업 경쟁력 강화를 위해서는 연비 기술 개발 및 제도안에 대한 시나리오를 예측하고, 이를 기반으로 과제를 기획하여 제도적, 기술적 체계를 마련하는 것이 중요한 이슈임. 2020 ~ 2030년 CO₂ 저감을 목표로 Cooled EGR 기술 개발, Atkinson/Miller 사이클 엔진 개발, 인젝터 기술개발, 경량화, 배기 시스템 개선, 터보차저 기술, 다운사이징, 가변 밸브 기술(VVL, Variable Valve Lift) 등 연비 개발을 위하여 과제를 기획하여 진행 중임.

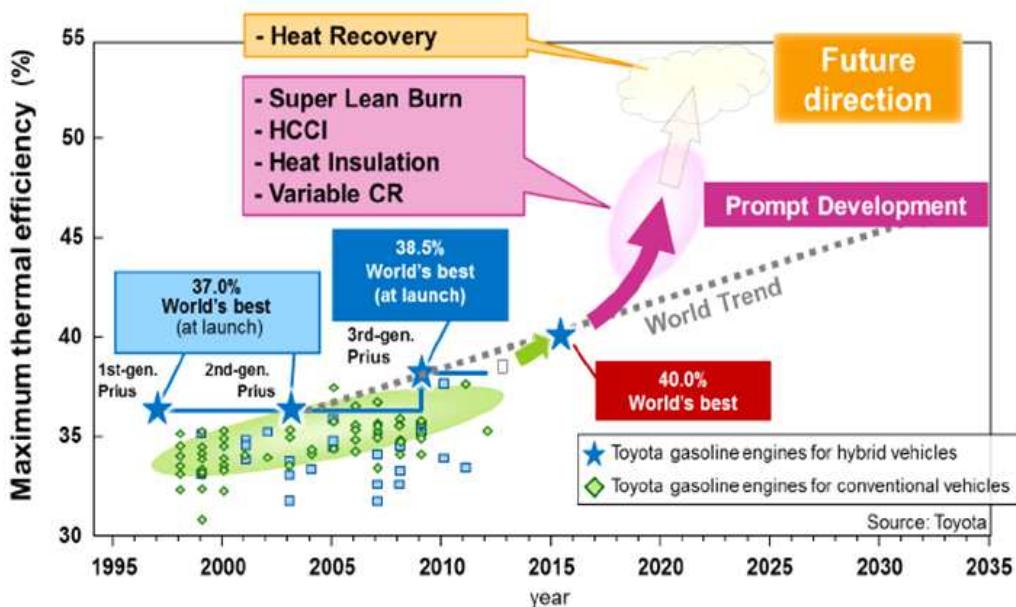
연비 개발을 위하여, 기존의 다양한 단품 분석에서 차량의 시스템 분석으로 확장되고 있으며, 다양한 최적화 기법들을 기반으로 차량 제어로직 최적화가 진행 중이며, VTMS(Vehicle Thermal Management System)에 대한 연구를 통하여 다양한 운전 조건(외기 온도 -10 °C ~ 상온 25 °C)에서의 차량의 효율 개선을 추구하며, 버려지는 배기 에너지 회생을 이용, 마찰 손실 저감을 통한 연비 개선에 관한 연구가 활발히 진행 중임.

중대형 상용차의 경우 Road load에 영향을 주는 인자(공기저항, 투영면적, 구름저항)에 대한

연구가 활발히 진행 중에 있으며, 설계 인자 변경 및 최적화를 통한 주행에너지 저감 및 국내외 모두 강화되는 제도와 규제에 따라 연비를 개발하고, 시행 될 규제를 대비하여 연비 제도 개선에 대한 연구를 수행하고, 대응방안을 도출 중임.

(2) 연비 제도 개선 연구

향후 엄격한 연비 규제를 만족하기 위하여 지속적인 연구가 진행되고 있는 실정



[그림 64] 연비 규제 달성을 위한 신기술 개발 흐름

규제가 엄격해지고 이에 대한 폐널티 등이 점차 강화되면서, 연비 값을 측정하는 방법에 대한 제조사와 각 해당 국가의 논란이 지속되고 있는 실정.

이에 각 해당 국가는 다양한 신기술 및 연비에 영향을 미치는 인자를 연비 측정 기준에 포함하고, 정확한 연비 규제와 연비 측정 방법에 대한 신뢰성 확보를 위하여 제도의 지속적인 개선을 위한 연구를 진행 중에 있음.

(가) 국외 연비제도(측정방법 등) 개선 동향

- 모드 추종성 : 미국 및 유럽에서는 최근 연비에 영향을 주는 인자로 각 해당 모드에 대한 추종성을 선정하여 관련 기준 마련을 위한 연구를 활성화하고 있음. WLTP-06-16e, SAEJ2951 등에서는 모드 추종성을 각종 통계기법을 통해 분석하여, 향후 모드 추종성에 대한 기준을 제도에 반영하기 위한 선행 연구를 진행 중임. 현재 미국 ECFR 1066.415 Vehicle operation, 유럽 UNECE Annex 6에서는 모드 추종성에 대하여 적절히 부드럽게 가속하거나 불필요한 가속페달의 움직임을 가지지 말 것을 명시하고 있음.
- 실험실 온도 : 유럽의 WLTP에서는 기존 NEDC 기준 실험실 온도 20 °C ~ 30 °C 대신에, 해당 국가의 특성을 고려하여 기준온도를 23 °C로 변화하여 이를 제도에 반영하였음.
- 중대형차 제도 : 미국, 일본, 중국 등 주요 국가에서는 중대형차에 대한 에너지 소비 및 환경 문제를 비중 있게 고려하여, 이에 대한 규제를 마련하여 시행하고 있음.
- 배터리 초기 잔존량 : UNECE Annex 6에서는 예비시험 전 배터리를 완충할 것을 권고하고 있으며, 본 시험 전, 재충전을 금하고 있음.

(나) 국내 연비제도(측정방법) 현황

국내의 경우 연비 관련하여 최근에 불거진 각종 이슈에 대응하고자, 몇몇 시험 조건이 고시에 반영되었으나, 구체적인 방법 제시 측면에서 미흡한 부분이 존재함. 뿐만 아니라 여전히 미 반영된 부분이 많기 때문에, 이를 반영하기 위한 추가적인 제도 개선이 필요함. 국외 주요국들에서 시행중인 연비제도 및 실험 절차 등에 대한 고려도 더 필요함.

「자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시」 제5장 12조에 주행저항 허용 오차를 15% 반영하도록 되어 있으나, 이 오차를 계산하기 위한 방법이 미비한 상황.

자동차 연비 값에 대해서 형식 승인을 거치는 유럽과, 사실상 형식 승인을 거치는 미국과 달리, 우리나라에서는 연비 값이 제조사의 자기 인증을 통해 산출되기 때문에, 차량 연비 값에 대한 사후조사가 별도로 이뤄지고 있음. 신뢰할만한 사후조사를 위해서는 다양한 연비 시험 기관 간에 발생할 수 있는 연비 값에 대한 편차를 관리하고 이를 최소화 하는 것이 중요함. 따라서 국내 자동차 산업 및 구조 하에선, 연비 측정 기관 간 상관성 시험 방법 및 이를 판정하기 위한 기준 마련이 필요하며, 관련 내용을 공동고시에 반영하기 위한 연구가 필요함.

중대형차의 경우 「자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시」 제2장 4조에 의거 3.5톤 이상 차량의 경우, 정속주행 모드를 통해 에너지소비효율 및 연료소비율을 측정하고 있으며 이외엔 별다른 언급이 존재하지 않음. 현재 다른 국가에서는 정속주행이 아닌, 각 국의 특성을 반영한 주행모드를 개발하여 중대형차 연비 측정에 활용하고 있음.

또한 자동차의 전장화 등에 따라 배터리 초기 잔존량이 중요해짐에도 불구하고, 연비 공동고시 내용 중, 이에 대한 언급이 없는 실정임.

이러한 점들을 고려하여, 국내의 현실과 특성을 반영한 지속적인 연비제도 개선과 이를 위한 연구가 필요하다고 볼 수 있음.

제 2 절 기술 특허 동향 분석

1. 관련 분야의 국내외 기술 특허 동향

가. 연비 개선 특허 동향

(1) 다양한 조건에 적합한 차량 개발 및 특허 출원

자동차 제작사 및 수입사들은 실제 도로 조건 및 다양하게 나타날 수 있는 조건들은 적용하여 개발하고 있으며, 그에 따른 연비 개선 특허를 출원하고 있음. 연비 개선 특허는 지속적으로 늘어나고 있는 실정임.

(2) ISG(Idle Stop & Go)시스템

아이들 중 연료 손실을 제거하기 위한 시스템. 디젤 차량의 ISG 시스템은 디젤 특유의 진동특성 때문에 더욱 정교하게 개발되고 부가적인 컨트롤 로직이 적용되고 있음.



[그림 65] ISG(Idle stop & go) 시스템

(3) 공기저항 감소를 위한 능동공력제어 시스템

BMW에서 엑티브 에어프랩(고속 주행 시 차량 전면 공기흡입구를 막아 공기 저항을 최소화하는 기능을 함)을 승용차에 적용하기 시작한 이래 각 제조사에서 유사한 방식의 기술 개발이 활발히 추진되고 있음.



[그림 66] 능동공력제어 시스템

(4) 주행저항 중 타이어의 구름저항은 실리카컴파운드 도입

최근에는 타이어 구조 최적화 및 신컴파운드의 추가 적용을 통해 더욱 낮은 구름저항 구현이 가능해져 연비 개선에 크게 기여하고 있음. 타이어의 웜업(Warm-up) 특성을 개선하여 연비를 개선하기 위한 노력도 시도 중임.



[그림 67] 타이어 개선 특허

제3장. 연구 수행 내용 및 성과

제 1 절 자동차 길들이기 표준모드(안) 개발

1. 개발 목적

자동차 주행저항, 연비 및 배출가스 인증 시험을 수행하기 위해서는 자동차 길들이기 과정을 통해 각 국가별로 규정되어 있는 목표 누적거리를 만족하여야 함. 일반적으로 자동차 길들이기 시험방법 및 주행거리에 따라 타이어 마모상태가 다르게 되고, 브레이크, 허브베어링, 드라이브 샤프트, 변속기 등의 구동 부품 내부저항에도 차이가 발생하는 것으로 알려짐. 이는 자동차 주행 저항 구성 요소 중 타이어 구름저항 및 내부저항으로 구성되는 기계적 저항 수준에 차이를 발생시켜 결국 차대동력계상에서 수행하는 연비 및 배출가스에 영향을 미칠 수 있음을 의미함. 따라서 자동차 기계적 저항에 영향을 미치는 주요 인자 3가지 (길들이기 시험장소, 시험모드, 누적 주행거리)를 선정하고, 차대동력계상에서 누적 주행거리 변화에 따른 기계적 마찰력 측정을 통해 저감 추이를 파악 · 분석하여 최적의 길들이기 운전모드(안)을 도출하여, 연비 사후조사 시에 일관성 있고 효율적인 길들이기 시험방법으로 활용하고자 함.



[그림 68] 표준 길들이기 운전계획(안)도출 계획

2. 시험자동차 및 길들이기 시험방법

가. 시험자동차 : 그랜저 HG 2.4 가솔린 자동차 7대

[표 31] 길들이기 시험자동차 차량제원

구 분	주요 제원	시험차 순번	
		번 호	차대번호
Engine Type	I4 GDI	1	KMHFF41CBFA463951
Displacement (cc)	2,359	2	KMHFF41CBFA463952
Max. power (ps/rpm)	190/6,000	3	KMHFF41CBFA463953
Max. torque (kg.m/rpm)	24.6/4,000	4	KMHFF41CBFA463954
Combined Fuel economy (km/l)	11.3	5	KMHFF41CBFA463733
CO ₂ emission (g/km)	156	6	KMHFF41CBFA463956
Curbe weight / ETW(kg)	1,575 / 1,701	7	KMHFF41CBFA463957

나. 길들이기 시험방법

(1) 길들이기 거리, 모드 및 장소

[표 32] 길들이기 거리, 모드 및 장소

구 분	길들이기 거리	길들이기 모드	비 고
길들이기 효과분석용 차량	A-모드	10,000km KATRI 길들이기 시험모드 (KATRI 내 주행장)	
	B-모드	10,000km 연비 공동고시 별표7 길들이기 시험모드 (KATRI 내 주행장)	
	C-모드	10,000km a사 길들이기 시험모드 (KATRI 내 주행장)	
	D-모드	10,000km 100 km/h 정속모드 (정속 유지조건 : 100 km/h) (KATRI 내 주행장)	80~120 km/h 내에서 속도 유지
	E-모드	10,000km 랜덤 모드 (KATRI 내 주행장)	-
	F-모드	10,000km KATRI 길들이기 시험모드 (외부 실도로 주행)	도심 : 30% 국도 : 30% 고속도로 : 40%
	G-모드	10,000km 고속도로 주행모드 (정속 유지조건 : 100 km/h) (외부 실도로 주행)	80~120 km/h 내에서 속도 유지

(2) 길들이기 시험준비 사항

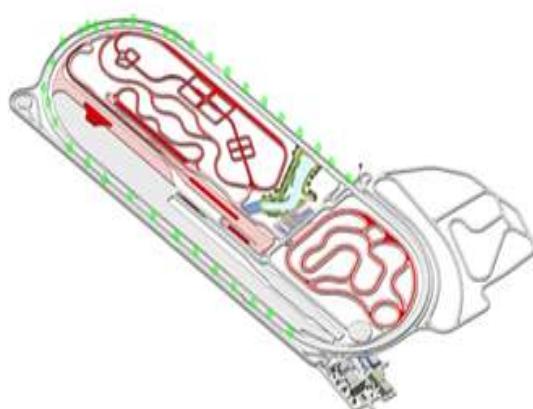
[표 33] 자동차 및 타이어 길들이기 세부 내용

구 분	세 부 항 목	비 고										
제원확인 및 길들이기 (Bed-in) 준비	<ul style="list-style-type: none"> - 시험자동차 제원 확인 및 내·외관 점검 - 시험자동차 내·외 사진촬영 - 주행시 자동차 이상여부 확인 - 차속 데이터 수집 장비 장착/정상작동 확인 등 	시험자동차 및 장비류 등 이상 유무 확인										
시험준비 및 실시	<p>길들이기 (Bed-in) 시험</p>  <ul style="list-style-type: none"> - 시험자동차 기본 점검 실시 <ul style="list-style-type: none"> · 연료량/오일량/냉각수량/타이어 공기압 등 - 시험자동차 길들이기(bed-in) 실시 <table border="1" data-bbox="504 572 1182 819"> <thead> <tr> <th>구 분</th><th>대 수</th><th>시험장소</th><th>누적주행 거리</th><th>시험모드</th></tr> </thead> <tbody> <tr> <td>길들이기 효과 분석용 차량</td><td>7</td><td>-5대: 자동차안전 연구원내 주행장 -2대: 외부 실도로 주행</td><td>10,000km</td><td> <ul style="list-style-type: none"> -KATRI모드 -연비공동고시 별표7 모드 -a사모드 -정속모드 -랜덤모드 </td></tr> </tbody> </table> <ul style="list-style-type: none"> · 타이어 위치교환 : 매 5,000km 마다 실시 - 차속 데이터 수집 및 결과 정리 등 	구 분	대 수	시험장소	누적주행 거리	시험모드	길들이기 효과 분석용 차량	7	-5대: 자동차안전 연구원내 주행장 -2대: 외부 실도로 주행	10,000km	<ul style="list-style-type: none"> -KATRI모드 -연비공동고시 별표7 모드 -a사모드 -정속모드 -랜덤모드 	길들이기 진행 현황 일지 작성
구 분	대 수	시험장소	누적주행 거리	시험모드								
길들이기 효과 분석용 차량	7	-5대: 자동차안전 연구원내 주행장 -2대: 외부 실도로 주행	10,000km	<ul style="list-style-type: none"> -KATRI모드 -연비공동고시 별표7 모드 -a사모드 -정속모드 -랜덤모드 								
시험완료	<ul style="list-style-type: none"> - 차속 데이터 수집 장비 탈거 - 시험자동차 점검 및 정리 - 시험결과 제출 등 	시험자동차 및 장비류 등 이상 유무 확인										

(3) 길들이기 시험장소 및 장비

(가) 자동차안전연구원 내 주행장

자동차안전연구원 주행시험로는 장방형의 타원형으로 1회전 길이 5,040m, 차로폭 16.2m의 4 차로 아스팔트로 구성되어 있으며, 원곡선구간 주행시 횡방향의 원심력이 작용하지 않고 원선회부의 끝단의 경사각은 약 42°로 일정고속(약 180km)에서 핸들의 조작 없이 주행이 가능하도록 설계되었음. 2개의 직선 구간과 2개의 원곡선구간으로 주행이 가능하며 최대안전 설계최고속도는 250km/h임. 자동차안전연구원 주행 시험로의 시설 및 제원은 아래와 같음.



[그림 69] 자동차안전연구원 주행장

[표 34] 주행시험로 장비제원

항 목	규격
자동차안전연구원 주행시험로	<ul style="list-style-type: none"> • 5,040m × 15.2~19.5m (타원형) • 종방향 : 직선구간 967m×2, 완화구간 411×4, 곡선구간 731×2 • 횡방향 : 직선구간 15.2m(4.0/3.6/3.6/4.0), 곡선구간 19.5m (5.5/5.0/5.0/4.0) • 곡선반경 360m • 최대각도 42° • 최고속도 250km/h(설계속도 180km/h)

(나) 길들이기 측정장비

테스트부분에서 널리 사용되는 VBOX MINI는 10Hz GPS엔진, 내장 안테나, SD card logging, back-lit LCD 스크린으로 이루어져 있음. VBOX MINI는 최고/평균/실시간 차속 표시, 랙 타입/스플릿 측정을 빠르고 정확한 하게 측정할 수 있는 Data-logger임. VBOX MINI를 시험 차량에 장착한 모습과 VBOX MINI에 연동 가능한 GPS는 그림 및 주요 제원은 아래와 같음.



[그림 70] V-box

[표 35] VBOX MINI 장비제원

항 목	항 목	규격
VBOX MINI (Racelogic Ltd)	Supplier	Racelogic Ltd. in UK
	Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Accurate GPS data logging at 10Hz • Internal yaw rate measurement for slip angle and heading • RS232 serial interface • Internal and external GPS antenna • LCD screen to view live data and results • USB interface • Optional input module available for logging of additional analogue and digital signals • Logs directly to SD card
	Software	VBox Tools - Data Analysis & Report Tool

3. 시험자동차 Vehicle loss 측정장치 및 방법

가. 측정장치 : 4×4 사륜차대동력계

(1) 주요 제원

[표 36] 4륜 차대동력계 장비제원

4륜 차대동력계		구성도
1) 동력계 롤러 부		
롤러 직경	1,219 mm (48") ± 0.254 mm	
최 외측 사이 거리	≥ 2,300 mm	
최 내측 사이 거리	≤ 900 mm	
축 최대 허용 하중	≥ 2,500 kg	
시험 최고 속도	≥ 250 km/h	
관성시뮬레이션 범위	500 kg ~ 3,500 kg	
각 롤러의 속도 동기화	< ±0.05 km/h	
2) 축간 거리 조정 장치		
최대 축간 거리	≥ 4,000 mm	
최소 축간 거리	≤ 2,000 mm	
위치 정확도	≤ ±2 mm	
가변 축	전축	

나. Veicle loss 측정 방법

(1) Vehicle loss 측정 세부 절차

순 서	주요 시험 절차	비고
1	• 동력계 Warm up - 30분 @ 80 kph	Parasitic 마찰 안정화
2	• Parasitic loss check (w/o vehicle)	
3	• 타이어 공기압 점검	제작사 추천 공기압
4	• 차대동력계 위에 시험자동차 설치	4WD mode
5	• 시험자동차 예열 – 30분 @ 100 kph	
6	• 시험자동차 Coast-down 또는 Parameter Check 5회 실시	C/D C-D : ± 10N 이내
7	• VL1(Dynomeasured – Dynoset_0K) 측정(계산)	
8	• 시험자동차 Vehicle loss 5회 반복 시험 후 VL2 측정	Parasitic loss 보정 위한 전기부하만 적용
9	• 시험 종료 및 시험데이터 처리	

[그림 71] Vehicle loss 측정 세부 절차

(2) Vehicle loss 시험 조건 및 측정 사진

구 분	주요 시험 조건	4WD front right	4WD front left
1	• 속도 범위 : 115 km/h ~ 15 km/h		
2	• 속도 간격 : 10 km/h		
3	• 시험실 온도 : 25 °C ± 2 °C 이내		
4	• 후드 : 닫음(closed)		
5	• 냉각팬 : 가변속도팬		
6	• 기어 : N단, 4Wheel mode 선택		
7	• Brake 작동 여부 : 미작동		

[그림 72] Vehicle loss 시험 조건 및 측정 사진

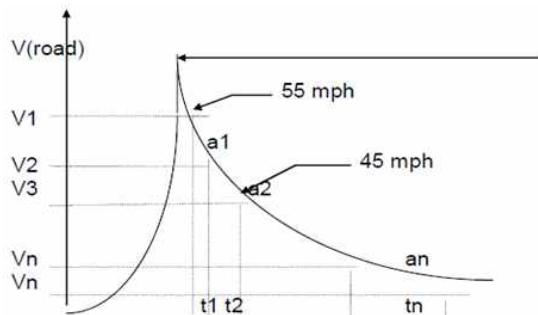
(3) Vehicle loss 2가지 측정방법 및 선정

(가) Vehicle loss 2가지 측정방법

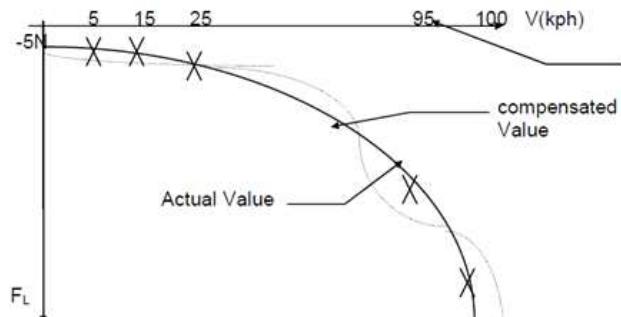
차량의 기계적 저항을 측정방법으로 아래의 두 가지 vehicle loss 측정방법을 고려했음.

- Parameter check 측정방법 (VL1) : 차대동력계의 dynoset 값을 고정하여 차량의 길들이기 진행에 따른 마찰력 저감 추이를 확인할 수 있는 방법이며, 각 차속대별 시간에 따른 연속 측정으로 인해 아래의 VL2 측정방법 대비 재현성이 우수함(편차 적음).
- Vehicle losses 측정방법 (VL2) : 차대동력계 자체의 parasitic loss에 기인한 속도별 마찰력

을 0점 조정하여 차량에 의해서만 발생하는 마찰력을 측정할 수 있는 방법이며 각 차속대별 일정시간 동안의 평균값을 이용하여 측정함. 그러나 위의 VL1 측정방법 대비하여 재현성 측면에서 불리함.



[그림 73] Parameter check 측정방법
(VL1)



[그림 74] Vehicle losses 측정방법 (VL2)

(나) Vehicle loss 측정방법 선정

- 본 연구에서 차량의 길들이기 효과에 따른 기계적 저항 측정 방법으로 vehicle losses 측정방법 (VL2) 대비 재현성이 우수(편차 적음)한 Parameter check 측정방법 (VL1)을 선정함.

4. 시험결과

가. 길들이기 주요 인자(거리, 모드, 장소) 별 효과 (전 속도 구간의 평균값 비교)

1,000km ~ 10,000km 길들이기기에 따른 vehicle loss 측정 결과, 5호차 E-모드 (Random 주행모드)에서 기계적 평균 마찰저감력이 약 33.6N 및 평균 마찰저감율이 약 16.0% 수준으로 가장 크게 나타났음. 그러나 6,500km ~ 10,000km까지 평균 마찰저감력 수준은 $\pm 10\text{N}$ 이내의 차대동력 계 adaptation 허용 편차 수준으로 추가 길들이기기에 따른 마찰저감 효과가 없는 것으로 나타났음.

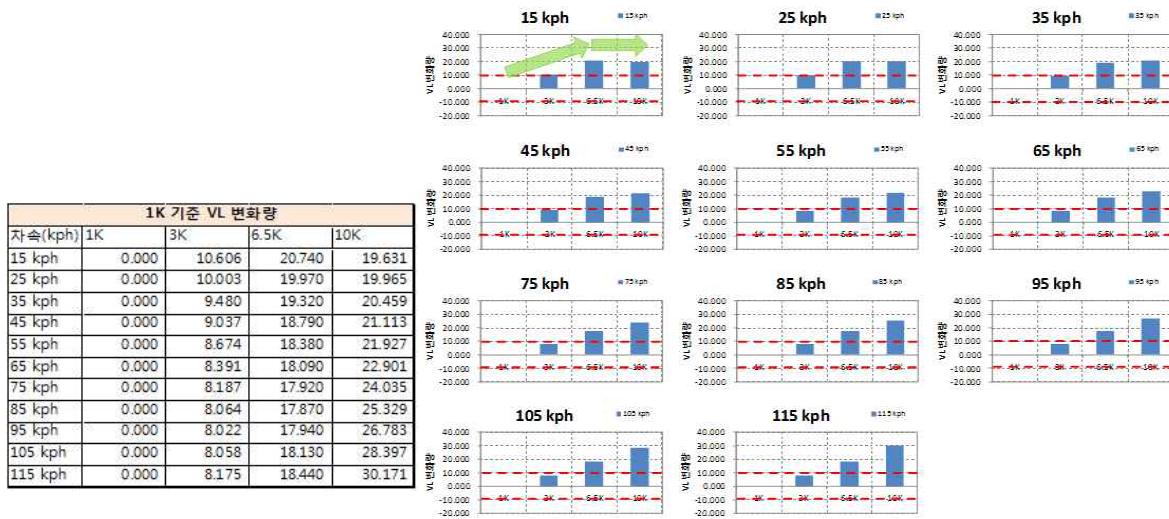
길들이기 장소		KATRI 고속주행로					외부실도로	
차량번호	길들이기 모드	PC_1호차	PC_2호차	PC_3호차	PC_4호차	PC_5호차	PC_6호차	PC_7호차
1K~6.5K	평균 마찰저감력(N)	-13.6	-25.4	-17.2	-10.0	-32.1	-23.9	-9.7
	평균 마찰저감율(%)	-6.5	-11.6	-8.6	-5.3	-15.2	-11.3	-5.0
1K~10K	평균 마찰저감력(N)	2.1	-23.5	-27.2	-8.6	-33.6	-24.7	-10.4
	평균 마찰저감율(%)	1.0	-10.7	-13.7	-4.5	-16.0	-11.7	-5.4
6.5K~10K	평균 마찰저감력(N)	15.7	1.9	-10.0	1.5	-1.5	-0.8	-0.7
	평균 마찰저감율(%)	8.8	1.2	-6.2	0.9	-0.9	-0.5	-0.4

[그림 75] 길들이기 주요 인자별 마찰저감율 비교

나. 주행거리별 vehicle loss 변화

주행거리에 따른 vehicle loss 시험데이터의 통계적 분석을 위해 첫째, SPSS Box plot을 이용하여 각 주행거리별 시험 data의 이상치(outliers)를 제거하였고, 둘째 F-검정 및 t-검정을 통해 모형 및 계수의 적합성(유의성)을 확인하였고, 최적의 모형 선정을 위해 각 모형별 결정계수(R-square)를 이용하였으며 최종 선정된 모형(2차 모형)을 통해 vehicle loss 산출식을 산정했음.

1,000km 대비하여 6,500km 길들이기 수준에서 vehicle loss가 약 20N 정도 줄어드는 결과를 통해, 길들이기 주행거리가 증가함에 따라 자동차의 기계적 저항 특성이 줄어드는 효과가 나타나는 것을 확인했음. 그러나 6,500km에서 10,000km까지 추가적인 길들이기기에 따른 vehicle loss 저감 효과는 보이지 않았음.



[그림 76] 주행거리별 vehicle loss 변화

다. 길들이기 시험모드별 vehicle loss 통계 분석 (6,500km 조건)

시험자동차의 7가지 시험모드에 따른 vehicle loss의 유의한 차이 여부를 검토하기 위해 ISO-13528을 기반으로 하는 아래의 Z-score를 적용했음.

✓ Basic Z-score

시험소간 상관성 시험에 대한 수행도 평가는 z값에 대하여 $ z \leq 2$ 이다.	$z = (x-\bar{x})/s$ x: 연비측정값 X: 평균 s: 결과값의 분산 정도 (표준편차)	Z-점수의 해석 $ Z \leq 2$: 만족 $2 < Z < 3$: 의심스러움 $ Z \geq 3$: 불만족(이상치)
---	--	--

[그림 77] Basic Z-score 개념

현재 연비 공동고시에서 내연기관 자동차의 길들이기 거리로 정하고 있는 6,500km 수준에서 7가지 길들이기 시험모드에 따른 vehicle loss 시험데이터의 통계적 유의성을 Z-score를 적용하여 검증한 결과 115km ~ 15km의 전 속도 영역에서 $|Z| \leq 2$ 수준으로 본 과제에서 수행한 7가지 길들이기 시험모드에 따른 vehicle loss 차이는 없는 것으로 나타남. 또한 이 시험 결과는 시험 장소에 따른 차이도 포함하고 있으므로 시험 장소에 따른 차이도 없는 것으로 확인됨.

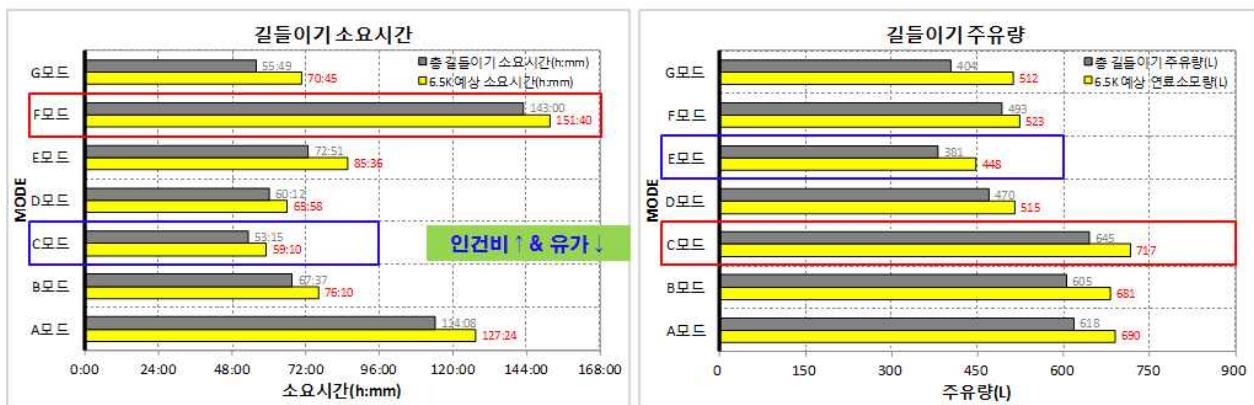
분석결과				분석결과				분석결과				분석결과			
15 kph	VL	Z-score	비고	25 kph	VL	Z-score	비고	35 kph	VL	Z-score	비고	45 kph	VL	Z-score	비고
A모드	-172,500	-1.341		A모드	-178,160	-1.713		A모드	-183,570	-1.893		A모드	-188,730	-1.792	
B모드	-153,590	1.412		B모드	-163,530	0.902		B모드	-172,840	0.148		B모드	-181,520	-0.538	
C모드	-155,220	1.174		C모드	-161,930	1.188		C모드	-168,180	1.035		C모드	-173,980	0.772	
D모드	-162,490	0.116		D모드	-166,380	0.393		D모드	-170,110	0.668		D모드	-173,700	0.821	
E모드	-163,990	-0.102		E모드	-166,840	0.311		E모드	-169,700	0.746		E모드	-172,560	1.019	
F모드	-167,050	-0.547		F모드	-171,880	-0.590		F모드	-176,460	-0.540		F모드	-180,810	-0.415	
G모드	-168,180	-0.712		G모드	-171,320	-0.490		G모드	-174,480	-0.164		G모드	-177,660	0.133	
평균	-163,289			평균	-168,577			평균	-173,620			평균	-178,423		
표준편차	6,870		-	표준편차	5,594		-	표준편차	5,255		-	표준편차	5,752		-
분산	47,203			분산	31,294			분산	27,616			분산	33,088		
분석결과				분석결과				분석결과				분석결과			
55 kph	VL	Z-score	비고	65 kph	VL	Z-score	비고	75 kph	VL	Z-score	비고	85 kph	VL	Z-score	비고
A모드	-193,650	-1.590		A모드	-198,320	-1.411		A모드	-202,740	-1.280		A모드	-206,910	-1.189	
B모드	-189,560	-0.981		B모드	-196,980	-1.240		B모드	-203,760	-1.395		B모드	-209,910	-1.494	
C모드	-179,320	0.546		C모드	-184,210	0.396		C모드	-188,650	0.307		C모드	-192,630	0.262	
D모드	-177,140	0.871		D모드	-180,420	0.881		D모드	-183,560	0.881		D모드	-186,540	0.881	
E모드	-175,420	1.127		E모드	-178,290	1.154		E모드	-181,170	1.150		E모드	-184,040	1.135	
F모드	-184,920	-0.289		F모드	-188,790	-0.191		F모드	-192,420	-0.118		F모드	-195,810	-0.061	
G모드	-180,860	0.316		G모드	-184,090	0.411		G모드	-187,340	0.455		G모드	-190,610	0.467	
평균	-182,981			평균	-187,300			평균	-191,377			평균	-195,207		
표준편차	6,709		-	표준편차	7,807		-	표준편차	8,875		-	표준편차	9,841		-
분산	45,010			분산	60,955			분산	78,761			분산	96,849		
분석결과				분석결과				분석결과				분석결과			
95 kph	VL	Z-score	비고	105 kph	VL	Z-score	비고	115 kph	VL	Z-score	비고	125 kph	VL	Z-score	비고
A모드	-210,840	-1.129		A모드	-214,520	-1.092		A모드	-217,950	-1.073		A모드	-221,510	-1.052	
B모드	-215,430	-1.559		B모드	-220,320	-1.604		B모드	-224,580	-1.633		B모드	-229,510	-1.594	
C모드	-196,160	0.248		C모드	-199,230	0.258		C모드	-201,850	0.288		C모드	-205,510	0.262	
D모드	-189,370	0.884		D모드	-192,060	0.891		D모드	-194,590	0.902		D모드	-198,510	0.881	
E모드	-186,930	1.113		E모드	-189,810	1.089		E모드	-192,700	1.061		E모드	-196,510	1.035	
F모드	-198,970	-0.016		F모드	-201,880	0.024		F모드	-204,560	0.059		F모드	-208,510	0.046	
G모드	-193,310	0.459		G모드	-197,230	0.434		G모드	-200,570	0.396		G모드	-204,510	0.375	
평균	-198,801			평균	-202,150			평균	-205,257			평균	-209,510		
표준편차	10,663		-	표준편차	11,329		-	표준편차	11,832		-	표준편차	12,849		-
분산	113,708			분산	128,343			분산	140,003			분산	152,849		

[그림 78] 속도별 vehicle loss에 대한 basic Z-score 판정 비교

라. 길들이기 시험모드 별 경제성 분석 (6,500km 기준)

가솔린 연료의 단가는 리터당 약 1,350원, 길들이기 운전자 단가는 “엔지니어링 노임단가 초급기술자” 단가를 적용하여 1일당 150,083원, 1일 길들이기 운전시간을 8시간 적용하여 경제성 분석을 수행함. 각 시험모드 별 길들이기 거리는 ODO meter 6,500km 기준으로 실제 길들이기 모드 주행한 거리를 산정함. 이를 바탕으로 6,500km 길들이기에 해당하는 길들이기 소요시간과 주유량을 추정함. 6,500km까지 길들이기 소요시간은 C-모드에서 약 59시간 10분 수준으로 가장 적게 추정되었고, F-모드에서 약 151시간 40분 수준으로 가장 오래 소요되는 것으로 추정됨. 한편 6,500km 길들이기에 소요되는 주유량은 E-모드에서 약 448L 수준으로 가장 적게, C-모드에서 약 717L 수준으로 가장 많은 연료가 소모되는 것으로 추정됨. 6,500km 기준의 길들이기에 소요되는 총 유류비용과 총 운전자 비용을 종합적으로 고려할 때 가장 경제적인 시험모드는 D-모드, G-모드, C-모드, E-모드, B-모드, A-모드, F-모드 순으로 나타났음.

구분	총 실제 길들이기 주행거리(km)	총 길들이기 소요시간(h:mm)		총 용역비(원)	총 유류비	총합
		실제	6.5K 기준			
A모드	5,823	114:08	127:24	₩2,390,125	₩931,298	₩3,321,423
B모드	5,771	67:37	76:10	₩1,428,933	₩919,923	₩2,348,856
C모드	5,850	53:15	59:10	₩1,109,989	₩967,500	₩2,077,489
D모드	5,931	60:12	65:58	₩1,237,723	₩695,372	₩1,933,095
E모드	5,532	72:51	85:36	₩1,605,921	₩604,352	₩2,210,273
F모드	6,128	143:00	151:40	₩2,845,589	₩705,952	₩3,551,541
G모드	5,128	55:49	70:45	₩1,327,305	₩691,322	₩2,018,627



[그림 79] 시험모드별 경제성 분석

5. 결론

가. 자동차 길들이기 시험모드 (7개), 시험장소 (2개), 주행거리 (1K / 3K / 6.5K / 10K)에 따른 vehicle loss 측정 및 시험데이터 분석 결과 길들이기 누적 주행거리 6,500km 수준에서 7가지 길들이기 시험모드 및 2가지 시험 장소에 따른 기계적 마찰저감은 ISO-13528 기반 Z-score 검증 결과 $|Z| \leq 2$ 수준으로 유의미한 차이가 나타나지 않았음. 다만, 길들이기 거리가 1k에서 6,500km까지 증가함에 따라 기계적 마찰 수준이 약 10N 정도 저감되어 길들이기 효과 있는 것을 확인하였으며, 6,500km에서 10,000km까지 추가적인 길들이기에 따른 마찰저감은 차대동력계 adaptation 허용 편차 수준인 $\pm 10N$ 이내로 추가적인 길들이기 효과가 없는 것으로 나타남.

나. 6,500km 기준, 경제성 분석 결과 길들이기 소요시간은 C-모드에서 최소 F-모드에서 최대이고, 주유량은 E-모드에서 최소 C-모드에서 최대임을 확인하였고, 총 소요비용은 D-모드, G-모드, C-모드, E-모드, B-모드, A-모드, F-모드 순으로 나타남.

다. 본 연구의 결과를 토대로 주행저항 및 연비 사후조사의 선행단계로 수행되는 자동차 및 타이어 길들이기 운전계획(안)은 길들이기 거리 6,500km 기준에서 시험모드 및 시험장소에 따른 유의한 차이가 없고, 연비 사후조사의 정해진 기간내 효율적인 수행을 위하여 목표 길들이기 거리 주행에 소요되는 시간이 가장 적은 C-모드로 설정했음.

라. “C-모드” 운전계획(안)은 아래와 같이 구성.

NO	주행구간 (km)	순행속도 (km)	주행거리 (km)	기속방법	운전방법	횟수/HST
1	0~100	60kph	100km	일반기속	정속주행	—
2	100~300	↑	200km	↑	BRAKE 0.3g→0kph	1회/1회전
3	300~500	80kph	↑	↑	정속주행	—
4	500~700	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→0kph	1회/1회전
5	700~800	100kph	100km	W.O.T	정속주행	—
6	800~1000	↑	200km	↑	BRAKE 0.3g→50kph	1회/1회전
7	1000~1100	110kph	↑	↑	정속주행	—
8	1100~1200	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→60kph	1회/1회전
9	1200~1300	130kph	↑	↑	정속주행	—
10	1300~1400	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→80kph	1회/1회전
11	1400~1500	145kph	↑	↑	정속주행	—
12	1500~1600	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
13	1600~1700	130kph	↑	↑	정속주행	—
14	1700~1800	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→80kph	1회/1회전
15	1800~1900	145kph	↑	↑	정속주행	—
16	1900~2000	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
17	2000~2100	↑	↑	↑	정속주행	—
18	2100~2200	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
19	2200~2300	↑	↑	↑	정속주행	—
20	2300~2400	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
21	2400~2500	↑	↑	↑	정속주행	—
22	2500~2600	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
23	2600~2700	↑	↑	↑	정속주행	—
24	2700~2800	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
25	2800~2900	↑	↑	↑	정속주행	—
26	2900~3000	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전



	A	B	C	D	E	F	G	H	
정속 구간	주행구간 (km)	0~100	300~500	700~800	1000~1100	1200~1300	1400~1500	1600~1700	1800~1900
	속도 (km/h)	60	80	100	110	130	145	130	145
가감속 구간	주행구간 (km)	100~300	500~700	800~1000	1100~1200	1300~1400	1500~1600	1700~1800	1900~2000
	감속 최종 속도 (km/h)	0	0	50	60	80	110	80	110
	가속 방법	완가속	—	—	급가속	—	—	—	—

- A~H 구간은 각각 정속과 가감속 구간으로 구성되며 일반 내연기관 차량은 2000km 이후 H구간 반복
(단, 하이브리드 차량은 3,000km 이후 A구간부터 반복 실시)
- 정속 구간 : 주행구간 동안 규정된 속도 유지
- 가감속 구간 : 가감속 구간은 정속구간 규정속도로 주행 중 고속 주회로 트랙 1회전당 1회씩의 감속 및 재가속을 실시
 - 감속시는 일반적인 완감속
 - 가속시는 상기 표에 표시된 대로 초기는 일반적인 완가속, 이후 구간에서는 엑셀페달 50% 이상의 급가속 주행

[그림 80] 길들이기 모드 “C-모드” 운전계획(안)

* 3,000km 이후는 2,000km 이후 모드를 반복 실시

제 2 절 자동차 주행저항 표준 측정방법(안) 및 주행저항 통합 프로그램 개발

1. 주행저항 시험 동향 분석

가. Coastdown Test에 영향을 주는 유효 인자들

승용차의 실도로 주행시 CO_2 배출값과 형식승인 시 CO_2 배출값 사이에 괴리감이 존재함. 유럽 승용차의 CO_2 규제치는 형식승인 CO_2 배출량에 기준을 두고 있으므로 실도로 주행 시 CO_2 배출량이 형식승인 CO_2 배출량과 크게 차이가 나는 것은 CO_2 규제의 효과가 줄어드는 결과를 초래함. 유럽위원회와 네덜란드 정부의 목표 중 하나는 형식승인 규제를 강화함으로써 실도로와 형식승인 간 CO_2 배출량의 차이를 줄이는 것임.

승용차의 형식 승인 배출량은 실험실에서 차대동력계를 이용하여 결정되며, 차량의 총 저항, 즉 ‘road load’는 배출가스의 대표값을 얻기 위해 차대동력계 위에서 모의적으로 실험. 연소기관의 주 목표는 저항력을 극복하는 것이고, 이 저항력의 적절한 값은 차대동력계에서 배출가스 대표값 측정에 중요한 값임.

차량의 road load는 결국 coastdown 시험으로 결정되며, coastdown test는 외부의 실험 트랙에서 기어를 중립으로 두고 125km/h에서 15km/h까지 관성으로 속도를 줄이면서 수행됨. 감속의 정도에 따라 총 관성과 결합된 중량 관성과 회전 관성의 합은 차속에 따른 저항을 결정함. 실험의 정확도를 높이기 위하여, 실험은 양 방향으로 여러 번 수행됨. 속력과 시간은 coastdown test 동안 매우 정확하게 측정되며, 차량의 중량을 알고 있기 때문에, 소위 말하는 차량의 저항곡선이 결정될 수 있음. 많은 변수와 외부의 조건들이 coastdown test에 영향을 미치기 때문에, coastdown test를 수행하기 위한 형식 승인 과정에선 특정 실험 변수에 대해 약간의 여유(오차)를 둠. 이러한 오차는 차량의 상태와 외부 환경에 연관돼있고, 실도로주행과 형식 승인 사이의 배출량의 차이를 어느 정도 설명할 수 있음.

다음은 TNO에서 발표한, 실도로 주행 시 coastdown test에 영향을 주는 유효 인자들을 나타냅니다.¹⁷⁾

[표 37] Coastdown test에 영향을 주는 유효인자들

Fitted tyres and wheels	Coastdown test 진행 시 타이어 공기압의 기준치인 2.1bar 대신 타이어 공기압을 2.7bar의 설정을 가진 친환경 타이어를 장착하여 시험을 진행하였음. 타이어 공기압 기준치인 2.1bar에서는 친환경 타이어(2.7bar)에 비해 구름저항이 9% 증가하였지만 압력에 따라 최대 22%의 구름저항을 줄일 수 있으며, 구름저항의 순감소량은 13%가 될 수 있다고 밝힘. 또한 더 넓은 스포츠 타이어(18")를 사용해 시험한 경우, 타이어의 구름저항은 5% 더 낮았고 공기저항은 1.5% 더 높게 나타남.
Wheel alignment	대부분의 시험은 nominal 0.2° 의 toe-in 값으로 수행됨. 바퀴는 캠버와 캐스터처럼 다른 방향으로 조정할 수 없음. 차량은 또한 0° toe-in 값으로도 시험된다. 이것은 nominal 혹은 midpoint에 비해 구름저항을 6% 감소시키며, 일반적인 0.2° 의 wheel alignment는 트랙이 조금만 굽어져 있다면(100m당 약 1-2m정도), 가장 낮은 구름저항을 갖는 것처럼 보임.
Removal of certain accessories	한 실험에서 차량의 kerb-side mirror를 제거하고 driver-side mirror를 접고, 안테나와 와이퍼를 제거하고, 훨을 거의 막은 것처럼 휠캡을 씌운 뒤 실험한 결과 공기 저항 값을 4% 정도 줄여들었음.

17) Supporting Analysis regarding Test procedure Flexibilities and Technology Deployment for Review of the Light Duty Vehicle CO₂ Regulations - TNO, 2012

<p>such as antennas, passenger side mirrors, etc.</p>	<p><Some of the aspects affecting the air drag on a car></p>
<p>Tyre pressure</p>	<p>타이어 압력의 영향은 복잡한 문제인 것으로 판명됨. 시험 동안 타이어의 압력은 계속 모니터링했으며, 큰 변화가 발견됨. 타이어 압력의 기준치는 2.1bar였으나 압력을 조절하고 난 뒤엔 2.3bar였으며, 초기 압력이 더 높을 경우에는, 2.1bar였을 때의 중간치보다 낮았지만 조절 후 압력 또한 더 높아짐. 모니터링된 압력에 따른 구름 저항의 변화는 다음과 같음</p> $: F_0 = 157 \text{ N} + 51 \text{ N/bar} \sim 75 * (2.1+0.7/\text{bar})$ <p>2.1bar를 조절된 압력 p라고 했을 때, 측정 프로그램에 따른 구름 저항은 다음과 같음</p> $: F_{0\text{road-load}} = F_{0\text{test}} (\text{p}_{\text{test}}/\text{p}_{\text{set}})^{0.7}$ <p>더 오래된 문헌에서는 0.7승 대신 1이나 1.5승이 종종 인용되며, 지금은 0.5승이나 0.7승이 일반적. 결과는 타이어의 종류나 초기 압력에 따라 달라짐.</p> <p>Coastdown test 전에 preconditioning을 하는 것은 coastdown test의 마지막 단계에 제한적인 영향을 가지며, 총 시험 프로그램은 한 시간 정도가 소요됨. 실제 주행 시 마지막 부분에서 가속, 제동, 방향 전환 등은 타이어의 압력에 영향을 미치는 것으로 보이며, 날씨 조건, 바람, 그리고 노면의 온도는 상당한 영향을 미침. 이러한 영향은 완벽히 해석할 수 없지만, 결으로는 동일한 기준 시험에서 타이어 압력 변화 정도가 14%의 차이가 존재하는 것을 확인할 수 있음. 타이어 압력은 시험의 고속구간부터 저속구간으로 진행 될수록 감소함.</p> <p><Some of the physical aspects of the complex heat balance of a tyre affecting the tyre pressure></p>
<p>Test mass</p>	<p>차량 중량은 관성 에너지와 구름 저항 모두에 영향을 미침. 구름 저항은 차량 중량에 비례한다고 가정하며, 즉 더 높은 중량은 공기 항력이 질량에 대한 관성과 저항력을 방해하는 더 높은 속도에서 coastdown test에 영향을 미침. 질량은 coastdown test에서 중요한 요인이기 때문에 생산되는 차량의 적절한 중량과 관성값을 정하는 것은 매우 중요함. 시험을 진행하는 동안, 연속된 가속과 coastdown test는 많은 연료를 소모하기 때문에 차량의 총 중량은 시험 전과 시험 후에 약간의 차이가 발생했음.</p> <p>휠과 타이어의 회전관성은 일반적으로 차량의 중량의 3%라고 가정됨. 공식 판매점에서 제공하는 일반적인 휠과 18" 스포츠휠을 장착한 차량은 간단한 물리적인 시험으로 관성을 구할 수 있음. 관성의 차이는 4kg x 4개</p>

	또는 총 16kg이며 이는 상당한 양임. 일반 훈에 대해선, 회전 관성은 훈과 타이어의 무게의 56%이며, 스포츠 훈에 대해선 63%이며, 대략적인 평균치로 회전 관성을 차량무게의 60%로 적용할 수 있음. 같은 실험에서 구동 축의 저항도 정해졌으며 구동축에 대해서 바퀴당 9.9N이였고 다른 축에선 2.3N 이였음.
Grill vane settings	open grill vane상태와 closed grill vane 상태로 시험을 진행할 경우, 공기 저항의 영향은 10% 정도이나 모든 차량이 똑 같은 grill vane를 갖는 건 아니고, 설정값은 주행 동안 달라질 수 있음. 그리고 open grill vane는 실제로 주행 시 최악의 case에 적합한 설정임.
Temperature	실도로 주행시 연료 소비를 모니터링한 결과, 연비와 온도 사이에 큰 관련이 있다는 것을 발견. 승용차와 중량 차량 모두 연간 변화는 7%정도였으며, Coastdown test 시 영향은 더 작아지며, 고온에서 적은 공기밀도는 큰 영향을 가질 것으로 예상됨. 타이어의 점도와 공기밀도가 구름 항에 주는 영향은 온도에 대하여 다음의 그림에서 설명됨.
	<The aspects of air affecting the air drag of the vehicle. The air density is considered the dominant effect. Viscosity and temperature yield otherwise only secondary effects (Hucho, 1998)>
Wind speed and wind direction	시험 트랙에서 1.0m/s 속도의 돌풍은 테스트 별, coastdown test 결과에서의 차이로 설명될 수 있으며 테스트 case 간 차이는 2.8%였음. 1.0m/s, 즉 3.6km/h 의 풍속 차이 때문에, 72km/h의 속도에서 겉보기에 5%의 차이는 coastdown test 시 3%의 차이가 나는 것으로 확인되었음.
Atmospheric pressure	해발 수 백 미터인 지점에서의 공기압은 상당히 낮으며 이 차이는 날씨에 의한 차이보다 훨씬 큼. 유럽에서 해발 수 백 미터 혹은 그보다 더 높은 곳에서의 주행은 흔한 일이기 때문에, 이것은 공식적인 road-load 값, 공기 밀도와 압력에 비례하는 실제 공기 항력 사이의 차이에 주로 영향을 미친다고 고려할 수 있고 높은 고도에서 더 낮은 공기 압력은 공기 저항을 더 낮게 하여 좋은 영향을 미칠 수 있음.
Relative humidity	10°C 와 25°C 사이라는 제한적인 온도에도 불구하고, 상대습도는 시험 전반적으로 영향을 미치며, 더 높은 상대습도는 약 1%정도의 더 낮은 공기 항력을 유발함.
Road surface	노면은 구름 저항에 큰 영향을 미침. 모든 다른 수정값들이 reference trip에 적용되었을 때, 다른 트랙에서 진행된 coastdown test마다 조직적 편차를 보여주며 이 효과는 20%까지 올라갔음. VTI(Hammarstrom, 2009 and Karlsson, 2011)은 노면 상의 road-load 의존도를 전체적으로 측정하는 프로그램을 가진 몇 안 되는 집단 중 하나이며 그들은 중요한 effects들을 보여줌. 하지만, 서로 다른 시험 트랙의 노면의 질감(거칠기, texture)에 대한 데이터는 매우 제한적이며, 일반적으로 사용

	되는 유럽의 도로의 노면은 매끄러울 것이라고 가정할 수 있음.
Road gradient	<p>GPS 데이터로부터 도로의 기울기를 결정할 수 있으며 이는 coastdown test 때 보정이 필요함. WLTP에서의 해결방법은 양쪽 방향의 평균치를 이용하는 것이지만 각각의 방향에 대해서 따로 수정을 하는 것이 가능하며 이 경우엔, 차량의 중량이 중력에 의한 추가적인 힘과, 차량 질량, 그리고 기울기를 이용하여 다시 산출되며, 편평한 트랙에 비해 경사진 트랙에서는 약 6% 더 높은 road load force를 갖는 것으로 밝혀짐.</p> <p>Coastdown 시간 T를 그대로 평균을 내는 NEDC방법과는 다르게, “a” 와 “b” 테스트의 coastdown 시간을 역수로 취해 평균을 얻는 WLTP 테스트 과정이 주된 개선책이며 이는 편평한 트랙과 경사진 트랙의 차이를 줄일 수 있음.</p>

나. 연비 및 배출가스 인증시험에 영향을 주는 유효 인자들

공동고시에 정확하게 명시되어 있지 않은 항목들로 인하여 인증기관마다 편차가 존재하게 되며 명시되지 않은 시험항목들 외에도 기술적 장비 편차나 드라이버의 운전성향 등으로 인한 편차가 존재함.

(1) 차대동력 시험 시 시험결과에 영향을 미치는 인자들

[표 38] 차대동력 시험 시 결과에 영향을 미치는 인자들

Reference mass	Battery state of charge	Coastdown curve
Laboratory instrumentation and fuel specification	Laboratory altitude (air density)	Running in period of test vehicle
Temperature effects	Declared CO ₂ value	Driving technique
Wheel and tyre specification, and rolling resistance	Gear change scheule and definition	

기준 질량은 실험에 사용되는 새시 동력계 inertia 설정에 이용되므로 전체 cycle energy에 영향을 줌. 기준 질량이 줄어드는 것은 더 낮은 inertia class를 선택할 수 있게 되어 차량 총 주행 저항을 줄일 수 있게 되며 주행 저항을 줄이면, 그 load는 기준 질량과 관련이 있기 때문에 그에 대한 연쇄 반응이 있음. 기준 질량에 대한 정의는 자동차 제작사가 차량의 어느 부품을 장착하였는가와 추후에 부품 시장이나 딜러에 의해 추가된 옵션들을 고려하는 것임. UNECE R83 - Annex 1, 2.6에는 사용되는 기준 질량에 대해 다음과 같이 명시하고 있음. “제작사에 의해 맞춰진 coupling device가 있는 category와의 다른 category의 견인차 같은 경우에, 차체를 포함한 차량의 질량, 혹은 제작사가 차체나 coupling device를 맞추지 않았다면 차체와/혹은 coupling device를 제외한 chassis 또는 chassis cab의 질량”

이러한 언급은 제작사에 의해 맞춰진 것이 아니라, 딜러에 의해 추가적으로 맞춰진 옵션 등 특정 물건을 명시할 수 있으며 만약 차량이 class boundary의 낮은 범위의 끝에 가까워진다면 inertia class가 줄어들 수도 있음. Inertia class boundary 때문에 차량을 한 단계 낮은 inertia class로 낮췄을 때만 기준 질량의 감축에 대한 이점이 있으며, 이것은 inertia class에 따라서 대략

110kg를 줄일 수 있음. 예를 들어 1440kg의 차량에 대하여 inertia class에 대한 기준질량은 1470kg라면 유연성(flexibilities)을 이용하여 질량을 35kg 줄이는 것이 가능하고 이것은 차량의 inertia class를 한 단계 낮은 class로 이끌고, 이에 대한 결과로 inertia setting이 110kg 줄어든 1360kg이 됨.

이론적인 계산을 기초로 질량이 110kg 줄어든다면 이산화탄소 배출량이 대략 2-3%가 감소함. 가솔린과 디젤엔진 모두에 대해서 그 결과는 같으며 이는 차량의 가속이 줄어듦에 따라 출력도 줄어드는 것으로 설명할 수 있음. 따라서 더 적은 주행에너지가 cycle의 감속 구간에서 사라지며 엔진에 더 낮은 부하를 걸기 위해 warm-up 시간을 늘리는 것의 영향을 제외한다면 이산화탄소의 감축량을 통해서 다른 배기ガ스의 영향을 예상할 수 있음. 흔히 Warm-up시간을 길어지면 warm-up calibration 조작시간이 길어지고 이는 또한 다른 배출ガ스에 영향을 미칠 수 있음.

[표 39] Potential effect on emissions due to reference mass flexibilities

Test Vehicle	CO ₂	NOx	PM	CO	HC
Gasoline	-2.5%	Down	Down	Up	Up
Diesel	-2.5%	Down	Down	Up	Up

차대동력 인증시험에서 일반 휠, 타이어, 그리고 규정 타이어 압력이 사용되며, 이는 제작사에 의해 명시됨. 제작사는 낮은 이산화탄소를 배출하는 휠과 타이어를 지정하지만 실제로 손님들은 자신의 성향에 맞는 옵션을 고르기 때문에 지정된 휠과 타이어를 사용되지 않는다는 점에서 유연성이 존재함.

휠과 타이어는 구름반경에 영향을 미치므로 변속에도 영향을 미치는데, 일반적으로 높은 기어비는 기관 제동연료소비율(BSFC, Brake Specific Fuel Consumption)을 향상시키고, 이는 더 낮은 엔진속도에서 발생하므로 이산화탄소 배출을 감축하는데 이점이 있음. 인증시험 시 사용될 타이어를 높은 압력과 낮은 구름저항을 갖는 타이어를 선택해서 전체적인 구름 저항을 개선시키면 이산화탄소 배출량 감축에 유리함.

Twin roller 새시동력계를 사용할 경우, 더 높은 타이어의 압력이 허용되며 이에 대한 내용은 UNECE R83 – Annex 4a, 6.2.3에 다음과 같이 명시되어 있음. “two-roller dynamometer를 사용할 때, 제작사에서 표기한 타이어의 압력보다 50% 더 높게 설정할 수 있다.” 하지만 twin roller는 타이어에 작용하는 변형을 증가시키기 때문에 구름저항도 증가할 것이고 이산화탄소 감축에 이점을 주는지는 명확하지 않음.

차량을 고정시키기 위하여 차량의 바닥으로 묶은 고정장치의 장력, 차량의 질량과 질량분배, 운전자의 무게 등 이러한 요인들은 타이어의 변형과 동력 전달장치의 구성부품, 예를 들어 등속 조인트와 같은 부품의 구조에 어떻게 영향을 미치는지에 따라 이산화탄소 배출량이 변화함. 최적화된 배열 상태는, 각 구동 바퀴에 최소한의 질량이 적용하면서 구동축은 평행을 유지하는 것이며, 이론적인 계산으로 전체 구름저항계수를 20% 줄이면, 이산화탄소는 2.8% 감소함.

차량의 길들이기 기간은 Regulation UNECE R83 – Annex 4a, 3.2.1에 실험 전에 최소 거리가 기록되어야 한다고 명시되어 있음. “차량은 기계적으로 좋은 상태에 있어야 하고 길들이기가 되어있어야 하며, 실험 전에 적어도 3000km을 주행했어야 한다.”

3000km를 길들이기 한 차량 15000km를 길들이기 한 차량을 비교했을 때, 15000km를 길들이기 한 차량은 실제 브레이크, 베어링 등의 마찰저항 수준에 이점이 있어 전체 주행저항에 감소효

과가 있으며, 다음 표는 차량 길들이기 거리에 따른 배출가스 영향도를 나타냄.

[표 40] Potential effect on emissions due to running-in period flexibilities

Test Vehicle	CO ₂	NOx	PM	CO	HC
Gasoline	-2.5%	Down	Down	Up	Up
Diesel	-2.5%	Down	Down	Up	Up

시험 장비에 대한 규제는 측정 정확도, 분해능 등 측정 장비의 허용 범위를 명시하는데 만약 실제 장비의 정확도가 허용할만한 수준의 범위 안에 있다면, 측정되는 배출가스 배출량을 줄이기 위하여 허용 범위를 고의적으로 이용할 가능성이 있음. 또한 인증시험 시 셀의 외기 온도, 엔진 흡기 온도, 배기가스 측정 시스템에 필요한 회석과 샘플링 온도, 대기압, 절대습도 (H)는 정확히 측정되어야 함.

연료의 성분은 시험 결과에 영향을 미치기 때문에 연료 소비량과 형식승인 목적을 위한 인증 시험에서는 기준연료로 시험함. 기준 연료의 성질은 주로 물리적인 성질을 포함하고 있으며 탄소 물질에 대한 성질은 없지만 배출가스와 연료 소비량의 계산에 대해선 실제 탄소와 수소 성분이 연료 실험 보고서에 명시되었고, 휘발유는 탄소가 84 mass%를 차지하고 있으며 이와 반대로 상업 디젤 연료(EN590) 또는 휘발유(EN228)는 더 높은 허용 범위를 가지고 있음.

인증시험 동안 쓰이는 시험실의 대기 상태 중 흡입공기의 밀도는 실험실 고도에 따라 다르며 이는 실험실 장비에 영향을 미치며 시험결과에 직, 간접적으로 영향을 미칠 수 있음. 디젤엔진은 질소산화물 배출을 제어하는 방법에 따라 고도에 의한 영향에 민감할 수 있으며 사용하는 제어 전략에 따라 연쇄적으로 배출에도 영향을 미칠 수 있음. 엔진의 하드웨어에 따라, boost control을 통해 줄어든 주변 공기의 밀도를 보충하는 방법이 가능하지 않을 수 있고 이는 연소효율의 감소로 나타나 이산화탄소 배출을 증가시킬 수 있지만 선행연구 사례를 보면, 고도에 따른 영향은 적다고 발표됨. 가솔린 엔진의 경우 공기의 밀도가 희박한 높은 고도에서 쓰로틀 벨브가 더 넓게 열리기 때문에 엔진 연소 효율은 약간 증가하는 경향이 있지만 디젤엔진의 경우처럼 질소산화물 배출에 미치는 영향은 미미함. 고지대에선 디젤 차량에서의 질소산화물 배출량이 증가할 것이고 이는 배기후처리장치와 후처리 제어방법에 따라 달라짐.

시험실의 온도에 대한 규제는 다음과 같이 명시되어 있음. UNECE R83 – Annex 4a, 3.1.1 “실험 동안 실험실의 온도는 20°C에서 30°C 사이로 맞춰야 하며 시험실의 Soaking 온도도 유사하게 유지되어야 하며, 엔진오일과 냉각수 온도로 이를 판단함. 이러한 조건은 적어도 6시간 이상 Soaking 되어야 함.” 이것은 특정한 범위 내의 온도에 대한 유연성을 보여주는 것으로 더 높은 soaking 온도는 엔진과 차량 부품의 마찰을 줄여주기 때문에 이점이 존재하며 온도의 변화는 시동 실험에서 엔진을 빨리 예열하기 위해 필요한 calibration setting에 영향을 줄 수 있음. 이러한 설정은 더 높은 연료 소모량을 가져올 수 있어서 warm-up 시간을 줄이면 마찰을 줄일 뿐만 아니라 결과를 개선할 수 있으며 또한 높은 온도에서 실험을 시작하는 것은 후처리 warm-up 시간을 줄여주고 다른 배기가스에 대해서 이점을 줌. 또한 디젤엔진의 경우 높은 온도로 실험을 시작하면 질소산화물의 배출량이 증가하게 되지만 이는 EGR 및 후처리 장치, 제어 기술전략으로 대응할 수 있음.

인증시험에서 시동 시 스타터/보조 배터리의 충전 상태는 실험 동안 알터네이터가 배터리를 충전하기 때문에 발생하는 추가적인 전기적 부하의 영향 때문에 중요한 요인이며 만약 배터리가 실험 전에 완충되어 있다면 충전이 덜 되어있는 배터리로 실험했을 때와 비교해서 부하가 줄

어둠.

배터리 충전상태는 몇몇 차량에서 쓰는 stop&start 기술에도 영향을 미치는데, 만약 배터리가 충분히 충전되어 있지 않다면 엔진 제어 시스템은 stop&start 기술을 쓰지 못하고 이는 이산화탄소의 증가로 이어짐. 시험결과는 알터네이터의 종류와 배터리 충전 단계의 변화에 영향을 받는데, 이론적인 계산을 이용하여 다른 알터네이터의 전력 요구량이 cycle의 배출가스 배출에 미치는 영향을 평가함. 이 분석은 비교를 위한 정상 상태를 정의한 것에 따라 다음과 같이 결과가 많이 달라짐. 충전량을 처음 420W에서 300초동안 215W로 떨어트린 경우는 215W를 유지한 경우보다 0.7%의 이산화탄소 감축을 보여주었음. 다음 표는 배터리 충전 상태에 따른 배출가스 영향도를 나타냄.

[표 41] Potential effect on emissions due to battery state of flexibilities

Test Vehicle	CO ₂	NOx	PM	CO	HC
Gasoline	-2.5%	Down	Down	Up	Up
Diesel	-2.5%	Down	Down	Up	Up

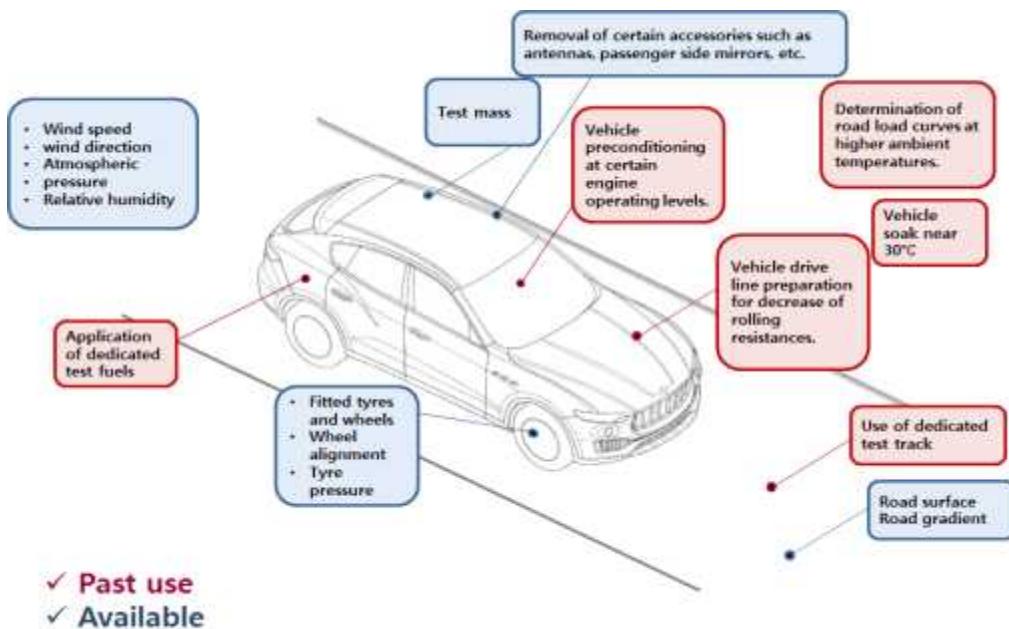
(2) Flexibility

유연성(Flexibility)이란 시험 절차에서 명확히 규제되어지지 않은 잠재적 활용 인자들을 지칭하며 차량 모델, OEM, 특별한 경우에 어떻게 실행되어야 할지에 따라 그 활용범위가 무한함. 형식승인 시험에서 유연성은 분명히 연비 및 배출가스에 많은 영향을 준다는 것은 분명한 사실이며 2002년에서 2010년 사이 동안 수많은 유연성들의 적용으로 인하여 일반 승용차는 11%, LCV의 경우 약 7%정도 이산화탄소를 감축하였음. 형식승인절차에서 허용 가능한 유연성들의 적용은 차종간 비교와 제작사간에 따라 다양해지는데, 과거와 현재에 사용된 유연성들의 평가는 연비 및 배출가스 인증시험, 상관성 시험에 대하여 일반화하고 객관화하기에는 부족한 실정임. 추후 강화되는 규제를 만족하기 위하여 새로운 유연성들의 적용이 고려되어야하지만, 아직도 많은 요소들이 시험 절차에 적용되지 않았고, 이는 형식승인 및 시험기관 간 상관성 시험 결과에 편차를 증가시킴.

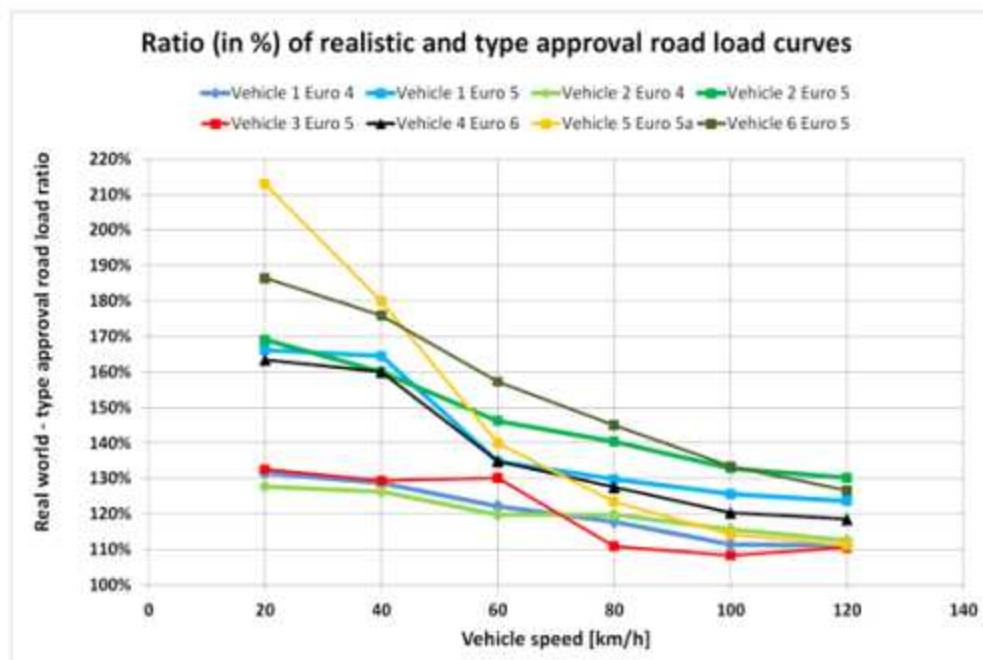
[표 42] 적용 가능한 유연성(Flexibility)

Test track surface condition (concrete or asphalt)	Prepared tires (modified profile)	Increased inertia of tires (fluid or metal)
Slope of the test track	Taping of body parts	Optimized wheel alignment
Optimized front cooling air inlet	Optimized body position (height/ ground clearance)	Optimized resistance of wheel bearings
Definition of a standard vehicle	Test modes	

아래의 그림은 과거와 현재 적용 중인 유연성들을 나타내주고 있음. 붉은색 텱은 과거에 적용되었던 유연성들을 나타내고, 파란색 텱은 현재에 적용되고 있는 유연성들임. 과거에 coastdown 시험 및 인증시험에서 적용한 유연성으로는 구름저항을 줄이기 위한 차량의 준비 상태, 주행저항에 최적화된 트랙의 사용, 높은 외기온에서 시험 주행, 전처리 과정, 30°C 근처에서의 Soaking, 최적화된 연료 사용 등이 있음. 그 이후 강화되는 규제를 맞추기 위하여 현재에 적용하고 있는 유연성으로는 타이어 및 휠의 조정, 안테나 등의 부속품들 제거, 타이어 압력, 시험 중량, Grill vane 설정, 외기온도 및 대기압력, 풍향 및 풍속, 상대 습도, 도로 구배, 엔진 로드, 엔진 및 다른 오일류, 드라이버, 연료품질 등이 있음.



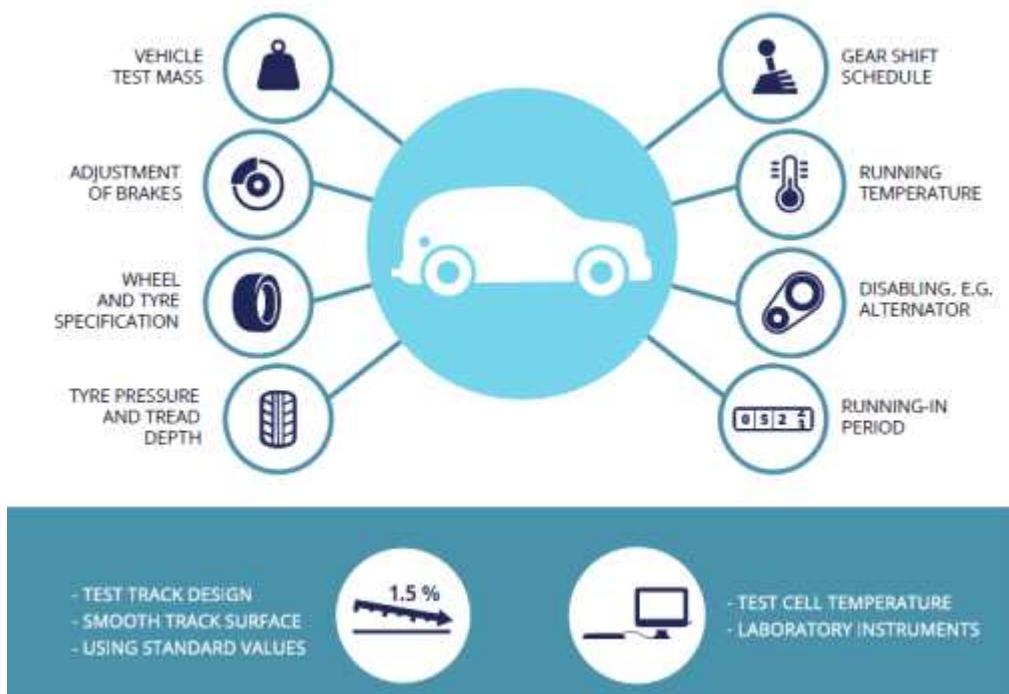
[그림 81] past and available of the flexibilities



[그림 82] Ratio of realistic and Type Approval road load test results of all tested vehicles

다. 자동차 인증과 실제 CO₂ 배출량 (연비) 의 차이점 분석 (주행저항 Road Load 설정 항목)

최근 자동차 제작사에서 보고하는 CO₂ 배출량과 실제 인증기관에서 측정한 CO₂ 배출량 차이에 대한 상세 분석 연구가 유럽을 중심으로 수행되고 있으며, 특히 CO₂ 배출량에 큰 영향을 미치는 주행저항이 제작사에서 보고된 수치와 연구기관에서 시험한 값과 큰 편차를 보이는 경향이 확인되었고 이를 위해 2017년부터 적용되는 WLTP 시험절차에서는 모호한 시험방법에 대한 규정을 명확히 하여 CO₂ 편차를 축소시키기 위한 노력이 경주되고 있음. 다음 그림은 European Environment Agency (EEA)에서 보고한 자동차 인증 시 발생하는 CO₂ 배출량에 영향을 미치는 인자를 나타낸 그림임.¹⁸⁾

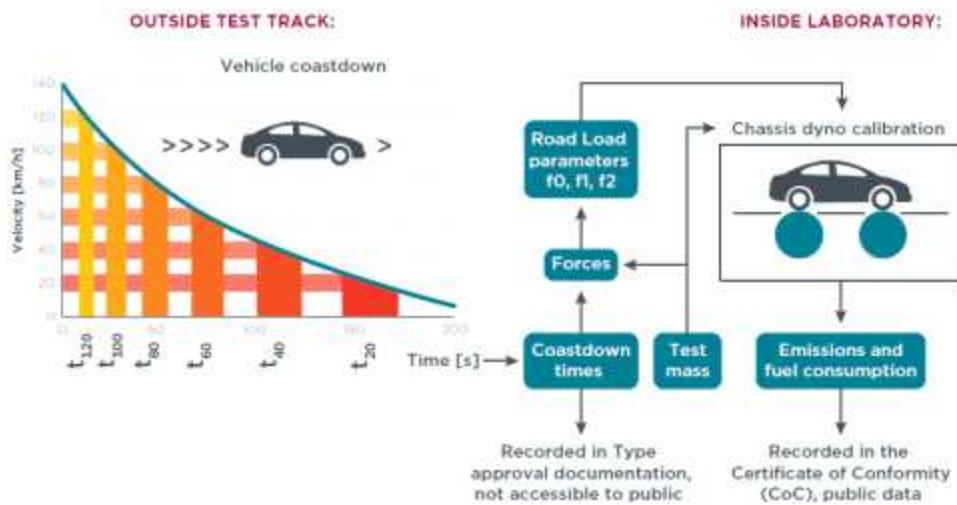


[그림 83] 자동차 인증 시 발생하는 실험 유연성 항목

자동차 주행저항의 정확한 설정은 차대 동력계 상의 CO₂ 배출량과 밀접한 관련이 있음. 2016년 ICCT에서 분석한 자료¹⁹⁾에 근거하여 인증 시의 주행저항과 실제 주행저항을 비교한 결과, NEDC 모드를 기준으로 실제 주행저항 치는 15% 정도 증가하여 CO₂ 배출량도 7.2% 높음을 보고했음. 유럽과 미국의 주행저항 측정방법과 사용 장비는 유사하지만 유럽에 비해 미국에서 측정한 주행저항치의 정밀도가 4.2% 정도로 유럽에 비해 실제 값에 근접해 CO₂ 편차는 1.8% 정도로 보고되고 있음. 이는 미국의 경우 주행저항계수 산정에 정밀하고 상세한 측정법을 적용해서라기보다는, US EPA에서 제작사의 주행저항 치를 검증하는 절차가 매우 엄격하며 큰 편차를 보일 경우 차량 리콜제도를 활용하므로 투명성 있는 인증절차가 구축된 측면이 강하다고 할 수 있음. 이는 국내 연비와 CO₂ 인증 시험모드가 CVS-75 + HWFET를 사용하므로 유럽과 같은 주행저항치의 괴리감은 크지 않다고 할 수 있음.

18) Explaining road transport emissions - EEA, 2016

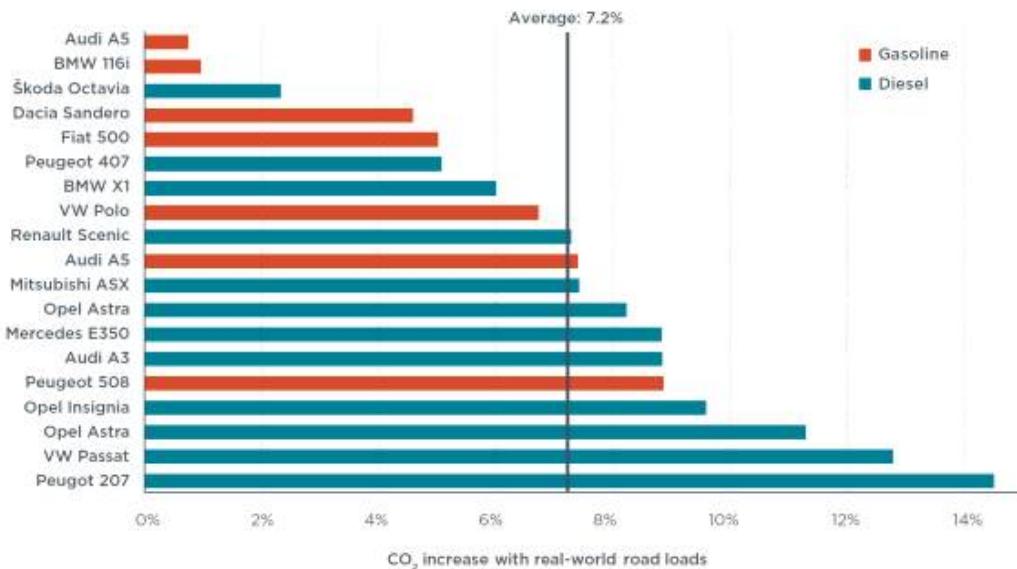
19) The Impact of Official Versus Real-world Road Loads on CO₂ Emissions and Fuel Consumption of European Passenger Cars - ICCT, 2016



[그림 84] 주행저항 설정 절차

유럽과 미국에서 동일차종에 대해 인증 시 제출한 주행저항값과 TNO, VTT, LAT, TUG 등에서 실험한 실제 주행치를 사용하여 측정된 CO₂, 배출수준을 다음 그림에 나타냄. 유럽에 비해 미국차량의 인증값과 실제값의 차이가 매우 적음을 알 수 있음.

Vehicle ID	Vehicle Model	Test Mass kg	CO ₂ EU road loads g/km	CO ₂ US road loads g/km	CO ₂ real road loads g/km	delta CO ₂ EU real/EU-1	delta CO ₂ US real/US-1
TNO02	Peugeot 207	1250	104.3		119.4	14.5%	
TNO01	VW Passat	1810	126.0		142.1	12.8%	
TUG02	Opel Astra EU5 1.7CDTI	1470	132.3		147.3	11.3%	
VTT08	Opel Insignia Sports Tourer 2.0 CDTI EcoFlex	1700	142.8	157.0	156.5	9.6%	-0.3%
TNO06	Peugeot 508	1470	178.6		194.4	8.8%	
TUG05	Audi A3 Sportback	1590	111.1	118.1	120.9	8.8%	2.4%
TNO04	Mercedes E350 Bluetec	1930	192.0	197.3	209.0	8.8%	5.9%
LAT01	Opel Astra EU5 1.3 D	1360	117.1		126.8	8.2%	
TUG07	Mitsubishi ASX 4WD	1700	183.5	187.7	197.1	7.4%	5.0%
VTT01	Audi A5 1.8 TFSI	1700	172.7	185.8	185.5	7.4%	-0.2%
TNO05	Renault Scenic	1470	142.7		153.1	7.3%	
LAT02	VW Polo 1.2 TSI	1250	126.5		135.0	6.7%	
LAT03	BMW X1 sDrive20d	1590	165.9	168.5	175.8	6.0%	4.4%
TUG01	Peugeot 407 SW	1590	146.5		154.0	5.3%	
TNO03	Fiat 500	1020	109.9		115.4	5.0%	
VTT04	Dacia Sandero 1.6 Hi-Flex	1130	151.0		157.9	4.6%	
VTT09	Škoda Octavia HB 1.6 TDI GreenLine	1360	112.9		115.6	2.3%	
VTT02	BMW 116i	1360	157.2		158.7	0.9%	
TUG08	Audi A5 2.0I TFSI	1700	203.4	214.7	204.9	0.7%	-4.5%
TUG06	Honda Civic 1.4 Comfort	1250		152.3	155.7		2.3%
TUG09	Mazda CX-5	1700		180.3	181.9		0.9%
Average EU (19 vehicles):						7.2%	
Average US (9 vehicles):						1.8%	
Averages EU and US (7 vehicles):						7.0%	1.8%



[그림 85] 유럽과 미국의 주행저항 인증값과 실제값 비교

최근 미쓰비시 자동차의 연비 조작사태는 위에서 언급한 주행저항값의 조작과 실험 및 신고과정의 투명성이 결여된 측면이 매우 강하다고 볼 수 있음.

미쓰비시 자동차의 연비 위장 문제

국가 연비실험과 미쓰비시의 부정



[그림 86] 미쓰비시 자동차 연비 설정 과정

결론적으로 인증과 실제 CO₂ 배출량의 편차를 줄이기 위해서는 자동차 인증 시험방법의 유연성을 실험을 통해 배제한 절차획립과 주행저항에 대한 데이터 공개가 일반에게도 필요하며 In-use 시험단계를 통해 투명성이 검증될 필요가 있음.

2. 주행저항 판정기준(안) 도출

가. 배경 및 목적

현재 전 세계적으로 주행저항 판정기준과 관련하여 명확하게 규정되어 있는 법규는 없음. 미국 EPA의 경우 2017년부터 제작사에서 제시한 주행저항에 대해 실제 양산차를 이용하여 검증을 실시할 예정이고, 이때 주행저항 허용오차 판정은 에너지 손실 기준으로 FPT-75 모드 10%이내, HWFET 모드 7% 이내를 각각 만족할 것을 공표하고 있음.

국제통합소형차시험절차(WLTP) phase 1b 전문가기술회의에서 최종 제출된 GTP No.15에서는 주행저항 값의 정확성에 대해 각 제조사에 책임이 있음을 일반 요구사항에 명시하고 있으나, 주행저항 판정기준과 관련된 것은 규정되어 있지 않음. WLTP 2단계에서 본격적인 연구가 진행될 것으로 사료됨.

국내 연비 공동고시에는 주행저항 판정기준에 대해 검증한 실측주행저항 값과 제시된 주행저항 값의 오차가 연비모드를 고려한 에너지 차이로 15% 이내인 경우에만 제작사에 의해 제시된 주행저항 값을 인정한다고 명시되어 있으나 15% 판정 방법에 대해서는 명확하게 규정되어 있지 않음.

자동차 주행저항은 노면 상태, 국부적인 편평도 및 기울기 변화, 차량 길들이기 상태, 운전자에 의한 미세한 조향장치 작동, 시험장비 및 데이터 처리 방식 등 다양한 요인에 의해 주행저항 차이가 발생하게 됨. 이러한 차이를 보다 정확하고 객관적으로 산정할 수 있는 주행저항 판정기준(안)을 도출하고, 현행 연비 공동고시의 미비점을 보완하여 2016년부터 주행저항 사후조사시 주행저항 허용오차 15% 만족 여부에 활용함으로써, 주행저항 사후검증의 신뢰성 및 객관성을 확보하고, 대국민 신뢰성을 향상시키고자 함.

나. 주행저항 허용오차 판정기준(안) 검토

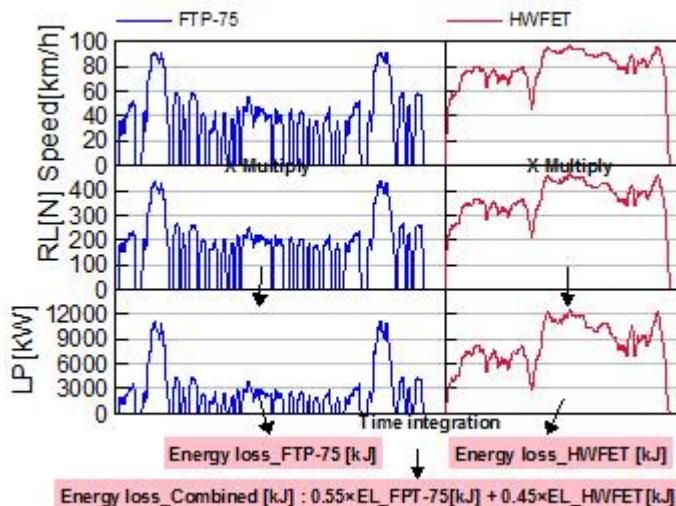
(1) 5가지 주행저항 판정 기준(안)

(가) 개별 연비모드를 고려한 에너지 차이

미국과 한국에서 연비 시험모드로 사용하고 있는 FTP-75 및 HWFET 모드에서 각각의 에너지 손실 차이를 의미함.

(나) 복합 연비모드를 고려한 에너지 차이

미국과 한국에서 연비 시험모드로 사용하고 있는 FTP-75 모드와 HWFET 모드의 각 에너지 손실을 구하고 각각 55%, 45%씩 반영하여 계산한 복합 에너지 손실 차이를 의미함. 이때 운전모드 목표속도와 주행저항 값을 곱하여 출력(power)을 구하고 시간에 대해 적분하면 최종 주행저항에 의해 손실되는 에너지를 계산함. 아래 그림은 위 (가) 및 (나)에서 설명한 주행저항 판정기준에 대한 에너지 손실 계산 과정을 보여줌.



[그림 87] 연비시험 모드를 고려한 에너지 산정

(다) 주행저항력 (주행에너지) 차이 (115 ~ 15km/h)

국내 주행저항 탑재식 측정방법의 속도범위로 사용하고 있는 115 ~ 15 km/h 구간을 5 km/h 단위로 구분 후 각 주행저항력(또는 주행에너지)을 계산하고, 최종 21개 속도점에서의 평균 주행저항력(또는 주행에너지) 차이를 의미함.

(라) RLHP 차이 @ 50mph (EPA)

현재 미국 EPA에서 사용하고 있는 50mph 조건에서의 주행저항마력(RLHP) 차이를 의미함.

(마) 각 주행저항 계수의 차이 (f_0 , f_2)

주행저항 계수 중 구름저항 계수 f_0 및 공기저항 계수 f_2 에 대한 각각의 차이를 의미함.

(2) 5가지 주행저항 판정 기준(안)을 적용한 주행저항 차이 산정 예

위 (1)에서 제시한 5가지 평가기준 비교를 위해, 목표 주행저항 값 및 측정된 주행저항 값을 임의로 설정하여 각 평가기준별 차이를 산정·비교해 보았고, 아래 표에 그 결과를 나타냄.

첫 번째 주행저항 허용오차 판정기준 적용시 FTP-75 모드에서 14.9%, HWFET 모드에서 10.6%, 두 번째 기준 적용시 12.6%의 에너지 손실 차이가 발생함. 세 번째 및 네 번째 기준 적용

시 주행저항 산정 결과는 14.8% 및 10.8% 차이가 발생함. 마지막 다섯 번째 기준 적용시 f_0 에서 29.6%, f_2 에서 0% 차이가 발생하는 결과를 나타냄. 이러한 사실은 주행저항 허용오차 판정기준에 따라 계산 결과가 달라질 수 있다는 것을 의미하므로, 제작사에서 제시한 주행저항에 대해 사후검증을 실시하는 경우 사전에 주행저항 허용오차 판정기준을 명확하게 제시하는 것이 요구됨을 알 수 있음.

[표 43] 주행저항 허용오차 판정기준(안) 검토

Evaluation criteria		Brief description		Calculation result over target road load coefficients (A)	Calculation result over confirmed road load coefficients (B)	Road load diff.(%) $\{(B-A)/A \times 100\}$	Remarks	
		Target road load coefficients	Confirmed road load coefficients					
Coefficients	$f_0(N)$	120.1	155.7	-	-	-	-	
	$f_1(N/KPH)$	0.636	0.691					
	$f_2(N/KPH^2)$	0.0309	0.0309					
1. Energy loss diff. (individual)		FTP-75 test cycle	4505.7 (kJ)	5175.6 (kJ)	14.9	O	-	
		HWFET test cycle	6251.1 (kJ)	6911.6 (kJ)	10.6			
2. Energy loss diff. (combined)		$0.55 \times \text{FTP-75 energy loss} + 0.45 \times \text{HWFET energy loss}$	5291.1 (kJ)	5956.8 (kJ)	12.6	-		
3. Road load force diff. (115~15kph)		Averaged road load force for 21 points considering coastdown speed range	6726.7 (N)	7549.3 (N)	12.2	-		
4. RLHP diff. @ 50mph (EPA)		RLHP at 50mph	8.3 (kW)	9.2 (kW)	10.8	-		
5. Each road load coefficient diff.		f_0 coefficient	120.1 (N)	155.7 (N)	29.6	-	-	
		f_2 coefficient	0.0309 (N/KPH ²)	0.0309 (N/KPH ²)	0			

(3) 연비 시험모드를 고려한 에너지 차이 산정의 한계

연비 시험모드를 이용한 에너지 산정방법(위 표의 첫 번째, 두 번째 판정기준)은 운전모드추종 속도, 운전시간, 속도=0 으로 처리하는 속도구간 및 단위환산 등을 제작사와 검증기관 간에 상이하게 적용하는 경우 계산된 에너지 차이가 약간씩 달라질 수 있음. 따라서 주행저항 허용오차 산정시 이러한 논쟁거리를 없애고, 보다 명확한 주행저항 차이를 제시하기 위해 주행저항 계수의 상수를 유도함.

(4) 주행저항 계수의 상수 유도

차대동력계상에서 운전모드추종속도를 주행하는 동안 주행저항에 의해 손실되는 에너지는 주행거리가 S, 시간이 t일 때, 아래와 같이 계산할 수 있음. 전 세계적으로 관련 법규가 존재하지 않아 주행저항 판정을 위한 상수유도를 위하여 아래의 식을 도출함.

$$\begin{aligned}
 E_{RL} &= \int (f_0 + f_1 v + f_2 v^2) \times dS \\
 &= \int (f_0 v + f_1 v^2 + f_2 v^3) dt \\
 &= f_0 \times \int v dt + f_1 \times \int v^2 dt + f_2 \times \int v^3 dt \\
 &= f_0 \times \sum(v \Delta t) + f_1 \times \sum(v^2 \Delta t) \\
 &\quad + f_2 \times \sum(v^3 \Delta t)
 \end{aligned}$$

- 여기서 E_{RL} 은 주행저항에 의해 손실된 에너지, f_1 은 road coastdown 중인 차량에 적용되는 총힘을 의미함. FTP-75 및 HWFET 연비 시험모드를 고려하여 주행저항 계수의 상수를 유도하면 아래 표와 같이 계산됨. FTP-75 모드의 경우 내연기관 차량은 3-bag 시험모드를 고려하지만, 하이브리드 차량의 경우는 4-bag 시험모드를 고려하여 주행저항 계수의 상수를 유도하였고, lbs 단위는 N단위의 상수값을 이용하여 단위 환산만 적용하여 유도하였음. 이때 연비모드는 “공동 고시” 참조하며, “차속 <15km/h” 인 구간에서의 주행저항 에너지는 모두 0으로 처리함. 또한 최종 계산된 에너지의 경우 소수점 첫째짜리 계산하고, 이 값을 비교하여 그 차이가 15% 이내일 경우 제작사가 제시한 주행저항을 인정함.

* 하이브리드 차량의 경우 가솔린 차량과 같은 내연기관이 포함된 차량으로 내연기관차량의 주행저항 특성을 파악하는데 필요함.

[표 44] 주행저항 계수의 상수값

구분	N 단위			lbf 단위			관련기준	비고
	A _{f0}	B _{f1}	C _{f2}	A _{f0}	B _{f1}	C _{f2}		
FTP-75 (3bag)	17.4	945.0	58910.7	77.4	2612.0	101124.9		내연기관 차량
FTP-75 (4bag)	23.4	1175.4	68057.1	104.1	3246.3	116885.9	공동고시	하이브리드 차량
HWFET	16.5	1338.0	110662.3	73.4	3698.2	190059.0		공통

향후 위 표에 제시된 주행저항 계수의 상수값을 이용하여 주행저항 허용오차 산정시 앞서 검토한 5가지 판정기준(안) 대비 매우 명확하게 주행저항 차이 산정이 가능하므로 위 허용오차 산정 방법(안)을 주행저항 허용오차 판정기준으로 도출함.

다. 주행저항 시험조건 별 영향 분석

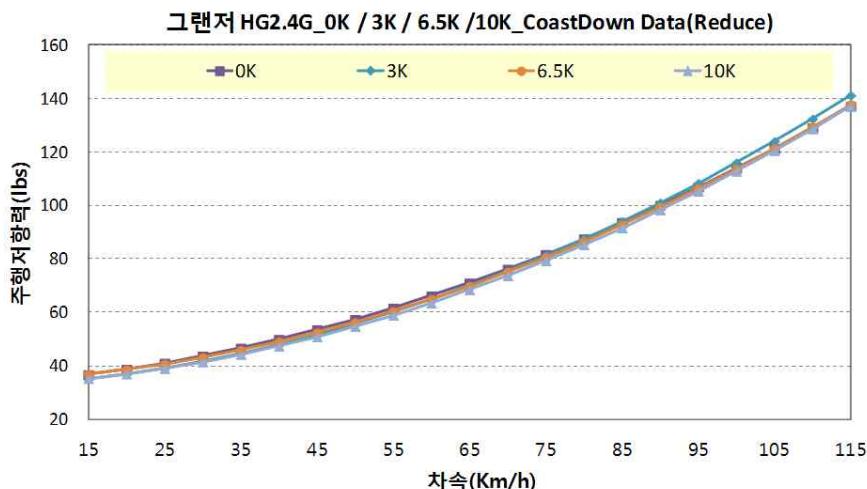
(1) 시험자동차

[표 45] 시험자동차 제원

구 분	주요 제원
Engine Type	I4 GDI
Displacement (cc)	2,359
Max. power (ps/rpm)	190/6,000
Max. torque (kg.m/rpm)	24.6/4,000
Combined Fuel economy (km/l)	11.3
CO ₂ emission (g/km)	156
Curbe weight / ETW(kg)	1,575 / 1,701

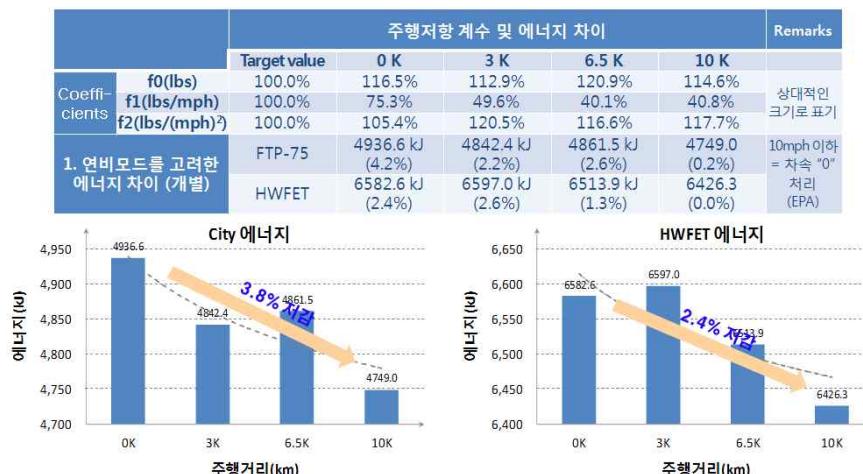
(2) 길들이기 거리에 따른 주행저항 영향 분석 (연비모드를 고려한 에너지 차이)

길들이기 누적 주행거리 (0K / 3K / 6.5K / 10K)에 따른 차속별 주행저항력 비교 그래프는 아래와 같으나, 그래프만으로는 그 차이가 어느 정도인지는 명확하게 나타낼 수 없는 문제가 있음.



[그림 88] 길들이기 주행거리별 주행저항력

- 위 그래프로 나타난 주행저항력 (또는 주행에너지)을 누적 주행거리에 따른 개별 주행저항 에너지 차이로 각각 산정해 보면, 0km 대비 10,000km 수준에서 FTP-75 모드는 약 3.8%, HWFET 모드는 약 2.4% 에너지가 저감되는 결과가 나타남.



[그림 89] 길들이기 주행거리별 주행저항 에너지 비교

- 복합 주행저항 에너지 차이로 계산하면, 0km 대비 10,000km 수준에서 약 3.1% 저감됨

		주행저항 계수 및 에너지 차이				Remarks
		Target value	0 K	3 K	6.5 K	
Coefficients	f0(lbs)	100.0%	116.5%	112.9%	120.9%	114.6%
clients	f1(lbs/mph)	100.0%	75.3%	49.6%	40.1%	40.8%
	f2(lbs/(mph) ²)	100.0%	105.4%	120.5%	116.6%	117.7%
	2. 연비모드를 고려한 에너지 차이 (복합)	0.55*FTP-75 + 0.45*HWFET	5677.3 kJ (3.2%)	5632.0 kJ (2.4%)	5605.0 kJ (1.9%)	5503.8 (0.1%)



[그림 90] 길들이기 주행거리별 복합주행저항 에너지

(3) 시험장소, 시험운전자, 시험장비에 따른 주행저항 영향 분석

(가) 시험 방법

시험기관 간 주행저항 상관성에 영향을 미칠 수 있는 여러 인자들 가운데 차량 주행거리, 타이어 조건, 시험 중량, 타이어 압력, 예열 조건, 속도범위, 분할 측정 횟수, 각 방향 시험 횟수, 회전 관성 중량 등 인위적으로 제어 가능한 인자에 대해서는 동일한 조건을 적용하였고, 기상조건은 최대한 유사한 조건에서 상관성시험을 수행했음.

시험기관 간 주행저항 상관성 비교를 위해 시험장소, 시험운전자 및 시험 장비를 상호 교체하면서 측정한 Data를 Data 취득 장치에 저장한 후 시험이 완료되면 Data Analyzer에서 저장된 데이터를 분석하여 시험 중 차량에 작용한 주행저항을 구하였고, 길이가 충분히 확보되지 않은 관계로 시험구간을 고속과 저속 구간으로 나누어 시험을 진행함. 아래는 주행저항 시험시설 및 차량을 나타냄.



[그림 91] 주행저항시험

주요 시험인자 3가지(시험장소, 시험운전자, 시험장비) 및 각 인자별 수준은 2-수준으로 고려한 실험계획법 완전요인설계에 따라 시험을 수행하였고, 구해진 주행저항 값에 대해 연비모드를 고려한 에너지로 환산하여 ANOVA 분석을 통해 각 인자별 주행저항 영향을 분석함.

(나) 시험결과

각 시험 순서에 따른 FTP-75 모드 및 HWFET 모드를 고려한 에너지 손실을 계산한 결과 아래 표와 같은 결과를 얻음. (각 주행저항 계수는 전체 평균값에 대한 상대적인 크기로 나타냄)

FTP-75 모드에서의 시험순서 1, 3, 5, 7은 A 시험 장소에서 측정한 주행저항에 의한 에너지 손실을 의미하고, 평균 에너지 손실은 4824.4kJ이며, 시험순서 2, 4, 6, 8은 B 시험 장소에서 측정한 주행저항에 의한 에너지 손실을 의미하고, 평균 에너지 손실은 4961.5kJ임.

A 시험장소는 B 시험장소 대비 평균 에너지 손실 비교시 약 2.8% 정도 낮은 결과를 보여주며, 각 시험순서 별 비교시 최대 편차는 시험순서 4와 시험순서 7에서 약 3.6% 발생함. 시험순서 1 ~8 까지 전체 평균 에너지 손실은 4892.9 kJ이며, 이 값 기준 최대 편차는 시험순서 7에서 약 2.0% 발생으로 매우 양호한 편차 수준을 확인함.

한편 시험순서 1의 경우 A 시험기관 주관으로 측정한 주행저항을 보여주고, 시험순서 8은 B 시험기관 주관으로 측정한 주행저항을 나타내며 그 에너지 차이는 약 3.2% 발생함. 이 두 가지 경우에 대해, 시험순서 1은 제작사에 의해 제시된 주행저항, 시험순서 8은 정부에 의해 실시된 사후조사 주행저항으로 간주한다면 향후 본 연구 결과에 대해 주행저항 사후검증 시 활용할 수 있을 것임.

[표 46] 연비 시험모드를 고려하여 계산한 에너지 손실 기반 통계적 분석 결과

Run order	X1	X2	X3	Road load coefficients			FTP-75 test cycle		HWFET test cycle	
				f0(N)	f1(N/KPH)	f2(N/KPH ²)	E _{FTP-75} (kJ)	Diff. (%)	E _{HWFET} (kJ)	Diff. (%)
1	1	1	1	-0.26%	-6.24%	-1.91%	4814.4	-1.6	6471.1	-1.9
2	2	1	1	2.36%	-9.68%	3.48%	4956.0	1.3	6685.7	1.4
3	1	2	1	-0.26%	-10.56%	-0.52%	4813.2	-1.6	6481.0	-1.7
4	2	2	1	1.90%	10.27%	-1.63%	4972.9	1.6	6672.8	1.2
5	1	1	2	-6.14%	43.48%	-7.00%	4875.8	-0.4	6584.4	-0.2
6	2	1	2	-4.51%	41.32%	-4.37%	4950.7	1.2	6693.4	1.5
7	1	2	2	-3.27%	-7.89%	1.70%	4794.2	-2.0	6507.6	-1.3
8	2	2	2	10.22%	-60.71%	10.24%	4966.2	1.5	6664.6	1.1
Average (1~8)				-	-	-	4892.9	-	6595.1	-

- 연비 시험모드를 고려하여 계산한 에너지 손실 기반 통계적 분석 결과, 3가지 주요 인자 중 시험장소만이 P-value가 0.05보다 작은 결과를 보이므로, 시험장소가 주행저항 상관성에 영향을 미치는 유일한 인자이며 A 시험기관의 주행저항이 B 시험기관 보다 적은 것을 확인함.

[표 47] FTP-75 모드에서 주인자에 대한 ANOVA 결과

Source	DF	SS	MS	F	P
X1	1	37565.4	37565.4	41.22	0.003
X2	1	317.5	317.5	0.35	0.587
X3	1	115.5	115.5	0.13	0.740

[표 48] FTP-75 모드에서 주인자에 대한 ANOVA 결과

Source	DF	SS	MS	F	P
X1	1	56515	56515	50.39	0.002
X2	1	1474	1474	1.31	0.315
X3	1	2429	2429	2.17	0.215

라. 결론

(가) 주행저항 상관성 판정을 위해 5가지 기준을 검토해 본 결과 에너지 편차 수준이 최대 14.9% ~ 최소 10.8% 까지 발생하였고, 판정기준에 따라 주행저항에 의해 손실되는 에너지가 달라질 수 있음을 확인함.

(나) 유도한 $f_0(N)$, $f_1(N/km)$, $f_2(N/km^2)$ 주행저항 계수의 상수는 FTP-75 모드에서 내연기관 차량 (3-bag)에 대해 17.4km, 945.0km²/h, 58910.7km³/h², 하이브리드 차량 (4-bag)에 대해서는 23.4km, 1175.4km²/h, 68057.1km³/h²과 HWFET 모드에서 16.5km, 1338.0km²/h, 110662.3km³/h² 을 가짐.

(다) 연비 시험모드를 고려하여 계산한 에너지 손실 기반 통계적 분석 결과, 시험장소가 주행 저항 상관성에 영향을 미치는 유일한 주요인자이며 A 시험기관의 주행저항이 B 시험기관 보다 적은 것을 확인함.

(라) 연비시험모드를 고려한 주행저항 계수의 상수를 유도하여 제작사가 제시한 주행저항 값에 대해 정부에 의해 사후검증을 실시코자 할 때 활용할 수 있도록 제시함.

(마) 0km ~ 10,000km까지 자동차 길들이기 누적 주행거리에 따른 주행저항에 의한 에너지 차이가 5% 이내로 미미하며, 충분히 길들이기 된 차량을 이용하여 완전요인설계에 따른 코스트 다운에 의한 각각의 주행저항 값에 대한 에너지 차이 비교 결과 5% 이내로 역시 미미한 결과로 판단된다, 추후 사후검증시 15% 허용오차 적정성에 대한 추가적인 검토가 필요할 것으로 사료됨.

회 의 득

회의명	연비R&D 과제 관련 협의체 회의			
일 시	2016년 04월 15일 14:00 ~			
장 소	자동차안전연구원 2층회의실			
참석자	연구원 김자룡 책임연구원 등 3명 한국GM 김민수 차장 등 3명 현대자동차 박성우 책임연구원 등 3명 로노삼성 진종희 수석연구원 등 4명			
회의 내용				
(1) 자동차 길들이기 표준모드(안) 관련 논의 <ul style="list-style-type: none"> · 길들이기 주요 인자별 분석 결과 소개 · 길들이기 효과 검토를 위한 Vehicle loss 시험데이터 통계 분석 결과 소개 - 주요 인자별 길들이기 효과에 차이가 없는 것으로 나타남 - 이어 경제성 분석까지 포함하여 검토한 결과 C모드가 가장 효율적인 것으로 나타남 · 협의체 의견 - 길들이기 표준모드(안)으로 C모드에 동의 - '16년 사후관리 및 공동고시 개정(안)으로 C모드 반영에 동의 (2) 자동차 주행저항 허용오차 판정기준(안) 관련 논의 <ul style="list-style-type: none"> · 연비 시험모드별 에너지 순실을 고려한 각 주행저항 계수의 산수 소개 - 공동고시 속도프로파일 기준(차속 15 km/h 이상 반영) - 주행저항 계수 1.0, 1.1, 1.2 값의 소수점 자리수(각각 3, 5, 7) 소개 - 하이브리드 자동차의 경우 4 phases 시험모드에 대한 산수 적용 · 협의체 의견 - 연비 시험모드별 주행저항 계수에 대한 고정 산수를 사용하여 주행저항 허용오차를 판정하는 방법에 동의 				
				

[그림 92] 주행저항 허용오차 산정 기준
관련 국내 협의체 회의록

3. 주행저항 통합프로그램

가. 배경 및 목적

연비 공동고시에 따른 자동차 주행저항 표준 측정절차 및 적정 허용오차 산정 방법에 대한 연구결과 등을 반영하고, 자동차 주행저항 평가를 수행하는데 있어 주행저항시험에 대한 규정에 맞게 분석 및 결과 처리를 수행할 수 있는 통합프로그램을 개발하여, 2016년부터 정부의 주행저항 사후검증에 대한 신뢰성을 제고하고자 함.

나. 주행저항 표준절차(안) 보완사항

주행저항 시험절차는 차량준비 및 장비설치 단계, 차량예열단계, 주행저항 측정시험 단계 및 주행저항 값 산출단계 등 크게 4단계로 구분할 수 있음.

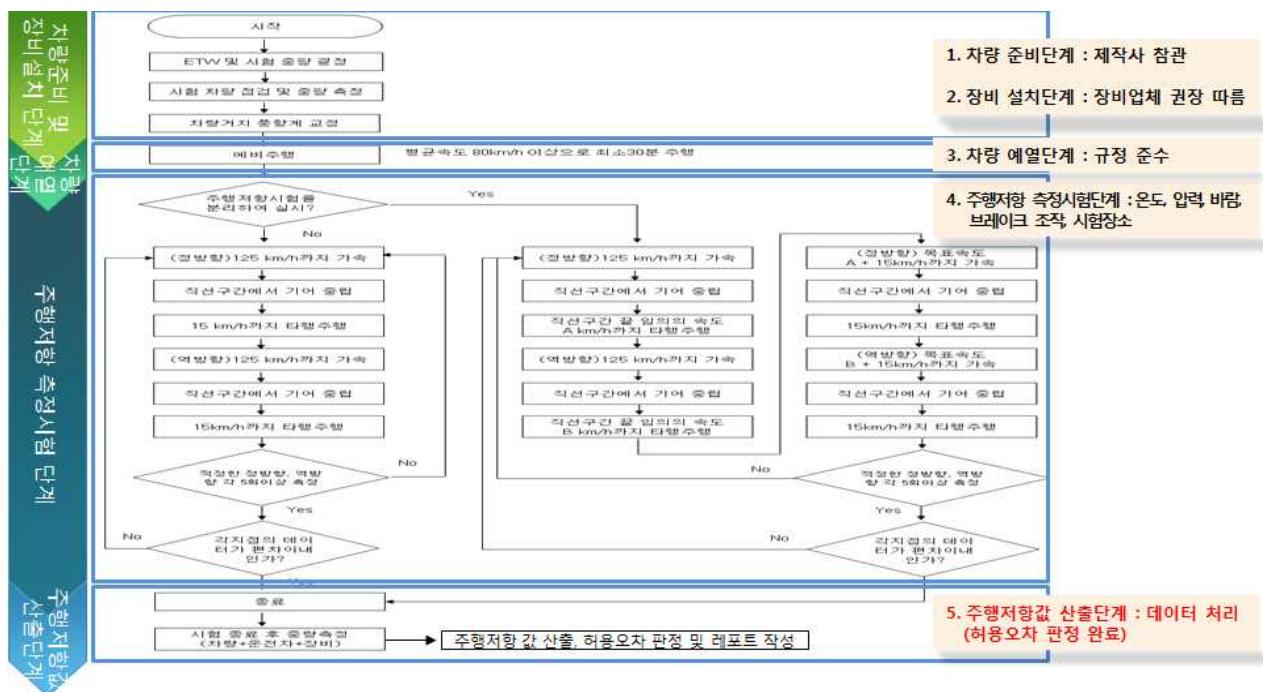
현재 차량준비단계는 타이어 및 시험중량이 공동고시에 명확하게 제시되어 있고, 제작사가 참관하여 공동의 차량점검을 허용하고 있어 크게 쟁점사항이 없을 것으로 사료됨.

차량 예열단계 역시 연비공동고시에 80km/h 조건에서 최소 30분 이상 주행할 것을 명시하고 있어 실제 사후검증시 예열은 최소 30분을 적용하고 있는 상황임. 한편 하이브리드 차량과 같이 모터의 작동에 의해 엔진의 예열시간이 부족할 것으로 예상되는 경우는 제작사와 협의하여 내연기관 30분의 예열에 해당하는 추가적인 예열시간 반영을 고려하고 있음.

주행저항 측정시험단계에서 주행저항에 영향을 미치는 주요인자로 검토된 시험장소의 경우는 제작사 요청시 사전에 해당제작사와의 상관성을 통해 비교하는 것을 검토할 수 있음. 또한 주행저항 시험순서 별 브레이크 조작에 의한 영향을 최소화하기 위해 브레이크 사용을 최소화하는 것이 요구되며, 이에 대한 확인을 위해 주행저항 시험 전 제작사에서 CAN data 제공시 브레이크 작동여부를 확인할 수 있도록 주행저항 통합프로그램에 CAN data 측정기능을 추가함. 한편 환경조건에 해당하는 온도, 압력, 풍향 및 풍속조건은 연비 공동고시에 이미 반영되어 있음.

주행저항 값 산출단계의 경우, 이번 연비 R&D 과제를 통해 도출한 주행저항 허용오차 판정기

준(주행저항 계수의 상수 값)을 적용하여 연비모드를 고려한 에너지를 계산하고, 이를 통해 제작사에서 제시한 주행저항 값의 15% 만족 유무를 판정하는 로직을 추가하였고, 최종 결과에 대해 레포트 파일로 작성되도록 고안함.



[그림 93] 주행저항 시험 단계별 설명

다. 주행저항 통합프로그램 개발

(1) 주요 개발 내용

- 주행저항 평가 절차 자동화 기능
- 시험 가능 조건 및 적합성 판단 기능
- 배포용 및 연구개발용 주행저항 통합프로그램 2가지 버전으로 구현
- 풍향 풍속 자동 보정 기능
- 결과 도출, 허용오차 판정 (후처리) 및 레포트 자동 생성 기능 등

평가 절차 자동화

- 평가시험시 프로그램의 안내에 따라 시험준비, 시험진행(자동시작, 자동종료, 실시간분석), 적합성 평가, 결과 도출 등 전 과정을 자동화하여 평가원의 성향에 따른 오차 제거
- KATRI 기상 데이터 파일을 자동 변환하여 시험데이터와 연동

시험 가능 조건 및 적합성 판단

- OBD II on CAN 사용하여 냉각수 온도 측정하여 워밍업 여부 판단에 사용, 엔진 RPM, APS, Engine 부하값을 측정하여 시험 적합성 여부 판단에 사용
- 제작사 요청이 있는 경우, CANdb, CCP 통신을 이용하여 브레이크압, 조향토크 등을 측정하여 적합성 판단을 위한 보조 조건 등으로 사용
- 실시간 온도, 압력, 풍향, 풍속을 이용하여 시험 적합성 판단 및 문제 여부 실시간 통보
- 기상예보 데이터 활용하여 당일 시험 가능 여부 미리 판단

연구 개발용 기능

- 적합성 평가 및 결과 분석 과정에서 사용되는 기능(필터링, 분석 등)의 사용 여부와 설정값을 변경 가능토록 하여 새로운 시험 개발 및 검증용으로 사용

풍향 풍속 자동 보정

- Anemometer Calibration (Wind Direction) (KATRI / EPA)
 - (KATRI) 시험데이터 중 고속 구간의 평균 풍향을 보정 옵션
 - (EPA) 수동으로 0점 맞춘 후 30초간 계측된 평균 풍향을 보정 옵션
- Blockage Correction (KATRI / EPA)
 - (KATRI) 시험데이터로 차속 대 풍속 테이블 생성(종 방향 성분만 사용) 후, 회귀분석을 이용하여 차속에 따른 풍속의 평균 오차를 추출하고, 추출된 보정 계수로 풍속 데이터 보정
 - (EPA) 예열 주행 중 특정 차속 대 풍속 데이터를 수집하여 보정 계수 산출 후 풍속 데이터 보정

결과 도출 및 후처리

- 측정된 GPG 데이터와 Google Earth 연동
- 풍향 풍속 보정 및 필터 적용 등에 따른 전, 후 데이터를 그래프로 표시하여 적합성 근거로 사용
- 주행저항 측정 결과 신고값 대비 허용오차 만족여부 판단 기능

[그림 94] 주행저항 통합 프로그램 개발 절차

(2) 주행저항 측정장비 구성도 및 장비 장착 모습



[그림 95] 주행저항 측정장비 구성도 및 장착 사진

Physical & Environmental Specifications

Dimensions (W x D x H)	332 X 276 X 91
Weight	4.6 Kg
Operating Temperature	-5 ~ 50 °C
Humidity	10 ~ 90% RH

Electrical Specifications	
Power Supply Voltage Range	+12V _{DC} (9V ~ 30V)
Power Consumption	13W (excluding the output of the POWER-OUT terminal)
Protection Fuse	20A, min blade fuse
Power Output	1-channel, Notebook only, 9A max 3-channels, Sensor supply only, 9A max
Fuel Flow Sensor Interface	2-channels (FUEL-A, FUEL-B)
Inertial Sensor Interface	1-channel (IMU-CAN)
Analog Inputs	Number of channels 6-channels (WIND, AH ~ AH4)
	Input Range ± 1V, 5V, 10V, 20V (max.±30V)
	A/D Resolution 16-bit
	A/D Sampling Rate 20KS/s per channel
	Input Impedance 200 KΩ
	DC Accuracy ± 0.03% of reading
	Input Protection ± 75 V permanent, additional ESD protection
	Sensor Excitation None
Pulse Inputs	Sensor Connection BNC Female
	Number of channels 3-channels (SPEED, PLS1 ~ PLS2)
	Input Range TTL (LOW: 0 ~ 0.6V, HIGH: 2 ~ 5V)
	Bandwidth(-3dB) 1,000,000 Hz
	Isolation Voltage 2500 V _{RMS}
	Input Protection ± 75 V permanent, additional ESD protection
	Sensor Excitation +1.2V / 50mA per channel, short circuit protected.
	Sensor Connection BNC Female
Temp. Inputs	Number of channels 16-channels (T=AIR, 01 ~ 15)
	Input Range -100 ~ 1350 °C (Thermocouple-K type)
	ADC Resolution Delta-sigma, 24bit
	Resolution & conversion timing (High resolution mode) < 0.02 s, 55 ms/channel (High speed mode) < 0.25 s, 740 us/channel
	Overvoltage Protection ±30V (with 24 input channels)
	Sensor Connection Omega MP-K-F
	Number of channels 2-channels (CAN1 ~ CAN2)
	Max Bitrate 1 Mbps
CAN	Transceiver NXP TJA1041
	Safety Voltage (Port-to-GND) -27 ~ 40V _{DC} max
	Sensor Connection D-Sub 9-pin Male

[그림 96] 데이터 취득 유닛 제원

(3) 주행저항 평가시험 지원 법규

(가) 국내 법규

“(국토교통부) 자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시” 중 “[별표 8] 주행저항 시험방법”에 따른 탑재식 기상 정보 시험 및 관측소 기상 정보방식 시험

(나) 미국 법규

- SAE J2263 시험 : ROAD LOAD MEASUREMENT USING ONBOARD ANEMOMETRY AND COASTDOWN TECHNIQUES²⁰⁾

- SAE J1264 시험 : ROAD LOAD MEASUREMENT AND DYNAMOMETER SIMULATION USING COASTDOWN TECHNIQUES²¹⁾

(다) EC 법규

- ECE Regulation No. 83 : “Uniform provisions concerning the approval of vehicles with regard to the emission of pollutants according to engine fuel requirements”, Annex 4a. Appendix 7 “Measurement of vehicle road load Resistance to progress of a vehicle measurement method on the road simulation on a chassis dynamometer”

(라) 일본 법규

“道路運送車両の保安基準の細目を定める告示【2012.03.30】” 중

“別添 42 (軽・中量車排出ガスの測定方法)” 및 “別紙 4

走行抵抗測定方法及びシャシダイナモータへの負荷設定方法 (5. 関係)”에 따른 시험

20) Road Load Measurement Using Onboard Anemometry and Coastdown Techniques - SAE, 2008

21) Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques - SAE, 2010

➤ 국내 탑재식 주행 저항 시험, SAE J2263

- $F = A_m + B_m \cdot V + C_m \cdot V^2 + 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot Vr^2 (a_0 + a_1 \cdot Y + a_2 \cdot Y^2 + a_3 \cdot Y^3 + a_4 \cdot Y^4) + D_{grav}$
- 기구 2차, 공기 4차 함수 형식

➤ 국내 관측소 방식, SAE J1263

- $F = f_0 + f_2 \cdot V^2$
- 2차 함수 형식 (1차항 생략)

➤ ECE-R83, 일본

- $F = f_0 + f_1 \cdot V + f_2 \cdot V^2$
- 2차 함수 형식

➤ WLTP (작성 중)

- 기본적으로 SAE J2263과 동일하나 속도 범위가 다르며 최고 속도 135km/h에서 시작
- 시험 데이터에 통계적 적합성이 있는지 판단하여 오차가 심한 데이터를 자동으로 잘라내는 기능이 추가됨
- $F = A_m + B_m \cdot V + C_m \cdot V^2 + 0.5 \cdot \rho \cdot A \cdot Vr^2 (a_0 + a_1 \cdot Y + a_2 \cdot Y^2 + a_3 \cdot Y^3 + a_4 \cdot Y^4) + D_{grav}$
- 기구 2차, 공기 4차 함수 형식

➤ 사용자 정의 추가

- 향후 법규 개선 및 검토에 사용할 수 있는 "개발자" 모드 구현

[그림 97] 각 국가별 주행저항 계산식



국내 탑재식 주행저항 시험 SAE J2263에서 A_m , B_m , C_m 은 기계저항 계수, V 는 차량의 속도, V_r 은 풍속 대비 차량속도, Y 는 풍속 대비 차량운행 방향에 대한 요-앵글, D_{grav} 는 중력저항을 의미함. 국내 관측소 방식 SAE J1263와 일본의 ECE-R83에서 f_0 와 f_2 는 각각 road coastdown 중인 차량에 적용되는 총힘, V 는 차량의 속도를 의미함.

(4) 결과 적합성 검사

(가) 국내 탑재식, J2263

특별한 조건 없음. 5 회 이상의 양방향 주행 데이터가 완성되면 완료.

(나) 국내 관측소 방식, J1263

- 각 주행 데이터 쌍(양방향)마다 별도로 f_0 , f_2 값을 산출한 후 측정된 차속과 f_0 , f_2 , t 로 역산한 차속의 RMS 에러가 0.4kph 이상인 경우 해당 주행 데이터는 제거.
- f_0 의 표준 편차가 11N 또는 평균값의 5%를 상회하는 경우 평균에서 가장 벗어난 주행 데이터를 제거한 후 재시도.
- f_2 의 표준 편차가 0.011N/kph² 또는 평균값의 3%를 상회하는 경우 평균에서 가장 벗어난 주행 데이터를 제거한 후 재시도.

위 조건에 따라 데이터를 제거한 후 남아 있는 데이터가 3 쌍 이상인 경우 OK.

(다) ECE-R83

매 속도 구간 별 Statistical Accuracy (P Value)를 계산하여 모든 구간에서 P 값이 2% 이하인 경우 OK. 최소 4 쌍 이상의 데이터 측정 필수.

(라) 일본

같은 방향 데이터 사이의 최대 타행 시간과 최소 타행 시간의 비가 1.1 이하가 될 수 있도록

평균에서 많이 벗어난 주행 데이터를 제거한 후 남아 있는 데이터가 3 쌍 이상이면 OK.

(마) WLTP

모든 데이터를 이용하여 산출한 주행 저항 계수에 기준 속도 V_j 를 대입하여 $F(V_j)$ 값을 계산하고, 매 주행 데이터 쌍마다 해당 데이터를 제외하고 산출한 주행저항 계수로 $F_i(V_j)$ 를 계산한 뒤, $|F_i(V_j) - F(V_j)| / F(V_j)$ 값이 $0.03 / \sqrt{n-1}$ 을 초과하는 경우 해당 주행 데이터 쌍을 제거. 이때 남아 있는 주행 데이터가 5쌍 이상이면 완료.

(5) 기상 보정

(가) 국내 관측소 방식, SAE J1263

국내 관측소 방식 및 J1263의 경우 공기 밀도가 20°C , 736.6mmHg에서 1.1678kg/m^3 으로 정의됨. ISO 2533:1975 (International Standard Atmosphere)에 정의된 표준 대기(15°C , 101.325kPa)를 해당 조건(20°C , 736.6mmHg)으로 환산한 밀도는 1.167088831kg/m^3 이며 이는 관측소 방식 및 J1263에 정의된 밀도와 0.06%정도 차이가 있음.

(나) 기타 모든 시험(국내 탑재식, SAE J2263, ECE-R83, WLTP 등)

ISO 2533:1975 (International Standard Atmosphere)에 정의된 15°C , 101.325kPa , 1.225kg/m^3 을 기본으로 사용하도록 프로그램.

(6) 풍향 및 풍속(Blockage) 보정

탑재식 풍향풍속계의 경우 저속에서의 움직임이 풍향·풍속에 의해서만 변화되는 것이 아니라 차량의 움직임에도 영향을 받아 정확한 보정값을 얻기 어려워, 풍향의 경우 80kph, 풍속의 경우 40kph 이상의 차속에서 얻어지는 데이터를 사용함. 이때, 결정된 차속의 경우, SAE J2263과 SAE J1263에 제시된 값을 참고하여 사용하였음.

(가) 풍향 보정

전체 시험 데이터의 모든 샘플 중 차속이 80kph 이상인 데이터만 이용하여 풍향 평균 값을 계산한 뒤, 이 값이 0이 되도록 영점 보정 팩터를 설정.

(나) 풍속(Blockage) 보정

전체 시험 데이터의 모든 샘플 중 차속이 40kph 이상인 데이터만 이용하여 차속에 따른 풍속의 경향을 파악하여 시험 데이터에서 각 샘플마다 해당 차속에서의 풍속 에러 값을(Blockage)을 보정.

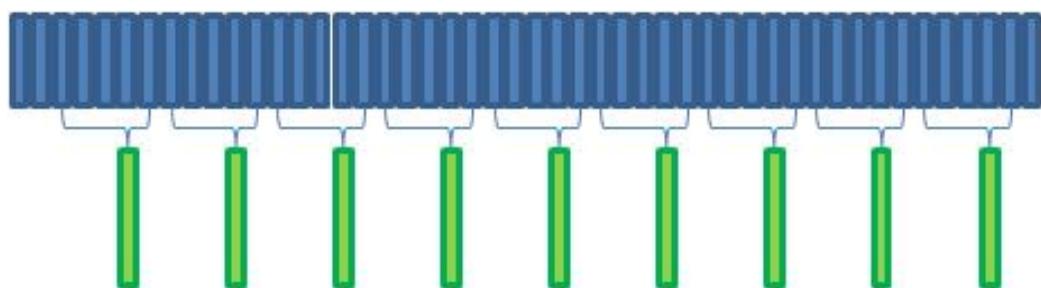
- 모든 데이터 Sample에서 상대풍속(V_r)을 상대풍향(Y)에 따라 종방향(V_{rx})과 횡방향(V_{ry})으로 분리
 - $\rightarrow V_{rx} = V_r * \cos(Y)$
 - $\rightarrow V_{ry} = V_r * \sin(Y)$
- 차속(V)에 따른 V_{rx} 의 추세 계산 (회귀 분석)
 - $\rightarrow V_{rx_ref} = A \cdot V_2 + B \cdot V + C$
- 모든 데이터 Sample에 대해 차속(V)과 해당 차속에서의 V_{rx_ref} 의 차이 V_{rx_error} 를 계산하여 V_{rx} 를 보정한 후 Vector 합 계산하여 V_{r_corr} 및 Y_{corr} 업데이트
 - $\rightarrow V_{rx_error} = V - V_{rx_ref}$
 - $\rightarrow V_{rx_corr} = V_{rx} + V_{rx_error}$

- $Vr_{corr} = \sqrt{Vrx_{corr} \cdot Vrx_{corr} + Vry \cdot Vry}$
- $Y_{corr} = \text{atan2}(Vrx_{corr}, Vry)$
- Vr 과 Y 대신 Vr_{corr} 과 Y_{corr} 를 이용하여 분석

(7) 측정데이터 간소화 방법 ($5\text{Hz} \rightarrow 1\text{Hz}$)

(가) Reduce (Average, 기본 방식)

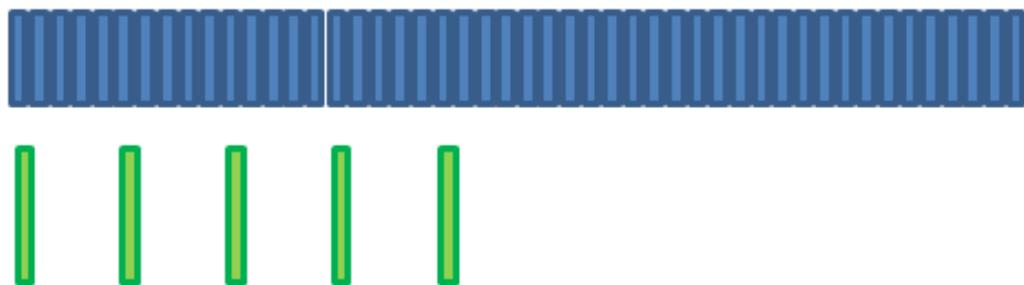
- 매 1초 Sampling Point마다 전/후 5 샘플을 평균하여 사용
- Reduce 방식은 EPA 샘플 프로그램의 방식을 따르며, 전 3샘플 및 후 1샘플을 평균해서 사용



[그림 98] Reduce 방식

(나) Sampling

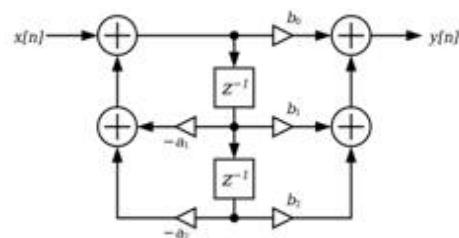
- 매 1초 Sampling Point의 데이터만 사용



[그림 99] Sampling 방법

(다) Low Pass Filter

- 5Hz 데이터에 1Hz LPF 적용
- Phase Shift를 막기 위해 Zero Shift Logic 사용



[그림 100] Low pass filter 방법

(8) 주행저항 허용오차 판정 기능

(가) 주행저항 에너지 산정 방법

- Energy[J] = Force[N] * Distance[m]
- Force[N] = $A + B \cdot V[\text{km}/\text{h}] + C \cdot V_2[(\text{km}/\text{h})^2]$

$$\text{Distance[m]} = V' \text{ [m/s]} \cdot \Delta t[\text{s}]$$

$$V' \text{ [m/s]} = V[\text{km/h}] * 3600 / 1000 = V[\text{km/h}] * 3.6$$

$$\text{Energy[kJ]} = ((A + B \cdot V[\text{km/h}] + C \cdot V^2[\text{(km/h)}^2]) * V' [\text{m/s}] \cdot \Delta t[\text{s}]) / 1000$$

$$= A \cdot V' \text{ [m/s]} \cdot \Delta t \text{ [s]} / 1000 + B \cdot V \text{ [km/h]} \cdot V' \text{ [m/s]} \cdot \Delta t \text{ [s]} / 1000 + C \cdot V^2 \text{ [(km/h)^2]} \cdot V' \text{ [m/s]} \cdot \Delta t \text{ [s]} / 1000$$

- Coefficients (if $\Delta t[s] = 1$)

For A : V / 3.6 / 1000 = V / 3600

For B : $V \cdot V / 3.6 / 1000 = V_2 / 3600$

For C : $V_2 \cdot V / 3.6 / 1000 = V_3 / 3600$

(나) 각 연비모드별로 미리 계산된 상수(단, 속도가 15km/h 미만인 구간은 계산에서 제외함)

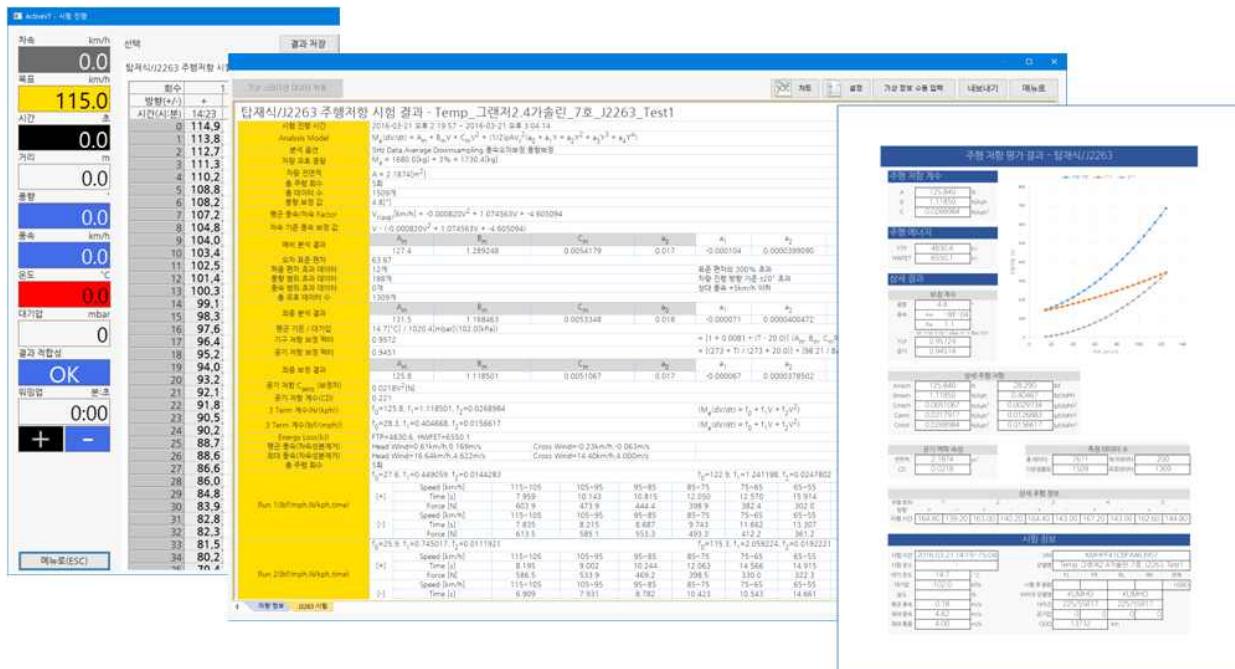
- FTP-75 모드 (N 단위)

- 3-Bags : Energy Loss (kJ) = $17.4 \times f_0 + 945.0 \times f_1 + 58910.7 \times f_2$
 - 4-Bags : Energy Loss (kJ) = $23.4 \times f_0 + 1175.4.0 \times f_1 + 68057.1 \times f_2$

HWFET 모드 (N 단위)

 - Energy Loss (kJ) = $16.5 \times f_0 + 1338.0 \times f_1 + 110662.3 \times f_2$

(9) 시험진행 / 결과 / 보고서 출력 기능 (예, 국내 탑재식 및 J2263)



[그림 101] 주행저항 통합프로그램 실행 화면

라. 주행저항 통합프로그램 개발 성과

국내 및 해외 법규에 따른 주행저항 시험과 각 방법 별 분석 방법 확립 및 구현함. 각 법규에 따라 시험 준비부터 보고서 출력까지 완전 자동화된 시험 절차를 제공하는 주행저항 측정 프로그램을 구현함. 주행 저항 평가용 센서 데이터 취득 및 사용자 인터페이스를 제공하는 데이터 취득 유닛 개발함. 향후 법규 개선 및 검토에 사용할 수 있는 “개발자” 모드를 구현함.

마. 통합 프로그램 배포 계획

주행저항 통합프로그램은 일정기간(약 6~12개월) 모니터링을 거치고 2017년 12월까지 한국자동차산업협회 및 한국수입자동차협회에 통보하여 제작사가 자체적으로 프로그램을 활용할 수 있

게 할 계획임.

제 3 절 국내 연비 시험기관간 상관성 관리방안 연구

1. 연비 시험기관 Round-robin Test 운영

가. 시험 목적

자동차 연비상관성시험 방법 및 환경기준 설정을 위한 연비 시험기관간 Round-robin Test

* 하이브리드차량도 내연기관이 포함된 차량으로 내연기관차량의 상관성을 보기위한 시험이기 때문에 포함시킴.

나. 상관성 시험 절차

[표 49] 상관성 시험 절차

구 분	상관성 시험 방안	비 고
시험차종	- HG 2.4 Gasoline - HG 2.2 Diesel - HG 2.4 Hybrid	3대
시험 조건	- 시험실 온도 : $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ - 시험 연료 제공 : 가솔린(자동차안전연구원), 디젤(석유관리원) - 시험 모드/횟수 : CVS-75/1회 + HWFET/3회 - 기타조건 : 시험 결과에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 동일하게 조작	협의
상관성 시험 관련 사항	- 차량 점검 : 각 시험기관 - 시험 주관 : 각 시험기관 - 차대동력계 Adaptation : 차속 80kph & 30분 주행하여 예열 직후 Adaptation (기어 D단 & Cruise 가능 사용 가능/ Hood Close) - 차량 냉각방식 : 가변팬 & Hood closed (30.5cm 앞 냉각팬 설치)	협의
분석 장비	각 시험기관	
기타 사항	공동고시 규정에 따름	

다. 시험 차량 제원 및 관리 방안

[표 50] 시험 차량 제원

Vehicle/Fuel	Gasoline	Diesel	HEV
Engine Type	I4 GDI	eVGT + CRDI	I4 MPI
Displacement (cc)	2,359	2,199	2,359
Max. power (ps/rpm)	190/6,000	202/3,800	159/5,500
Max. torque (kg.m/rpm)	24.6/4,000	45.0/3,800	21.0/4,500
Combined			
Fuel economy (km/l)	11.3	14.0	16.0
CO ₂ emission (g/km)	156	142	105
Unloaded weight/ETW(kg)	1,575/1,701	1,691/1,814.4	1,680/1,814.4

[표 51] 시험 차량 관리방안

구분	월간 점검	분기 점검	조치사항
가솔린 디젤	<ul style="list-style-type: none"> · 냉각수 점검 · 엔진오일 점검 · 배터리 점검 	<ul style="list-style-type: none"> · 냉각수 점검 · 엔진오일 점검 · 배터리 점검 · 타이어공기압 점검 · 기타전기장치 점검 	<ul style="list-style-type: none"> · 부족한 냉각수 및 엔진오일 보충 · 배터리 충전상태 불량시 충전 · 적정 타이어공기압 보충 및 램프 교환 · 주기적인 주행 (50km)
하이브리드	"	<ul style="list-style-type: none"> · 고전압 배터리 점검 	<ul style="list-style-type: none"> " · 고전압 배터리 충전 상태 불량시 충전

라. 시험 일정

[표 52] 시험 일정

상관성 시험 일정	자동차안전연구원	'16.1.18(월) ~ ' 16.1.22(금)
	한국석유관리원	'16.1.25(월) ~ ' 16.2.5(금)
	자동차부품연구원	'16.2.8(월) ~ ' 16.2.12 (금)
	한국에너지기술연구원	'16.2.15(월) ~ ' 16.2.19(금)
	한국환경공단	'16.2.22(월) ~ ' 16.2.26(금)
	교통환경연구소	'16.2.29(월) ~ ' 16.3.11(금)
	GM KOREA	'16.3.14(월) ~ ' 16.3.18(금)
	르노 삼성	'16.3.21(월) ~ ' 16.3.25(금)
	현대자동차	'16.3.28(월) ~ ' 16.4.8(금)

마. 시험 연료 성상

[표 53] 가솔린

항목		시료 Gasoline
증류 성상	10% 유출(°C)	44
	50% 유출(°C)	73
	90% 유출(°C)	119
	종말점(°C)	178
	잔류량 (부피%)	1.0
물과침전물(부피%)		0.01 미만
동판부식 (50°C, 3h)		1A
방향족화합물 함량 (부피%)		7.0
벤젠 함량 (부피%)		0.4
올레핀 함량 (부피%)		10.0
산소 함량 (무게%)		2.1
메탄올 함량 (무게%)		0.1 미만
(저위)발열량(MJ/kg)		82.72
CH(무게%)		15.15
밀도(g/cm3)		0.69582

[표 54] 디젤

항목		시료 Diesel
유동점(°C)		-6
인화점(°C)		49.5
동점도(40°C, mm2/s)		2.56
증류성상(90% 유출온도, °C)		348.2
10%잔유중잔류탄소분(무게%)		0.04
물과침전물(부피%)		0.005미만
황분(mg/kg)		4.614
회분(무게%)		0
세탄값		55.53
동판부식(100°C, 3h)		1이하
필터막힘점(°C)		-4
윤활성(HFRR 마모흔경, μm)		110
밀도(kg/m3)		825.18
바이오디젤함량(부피%)		2.0781

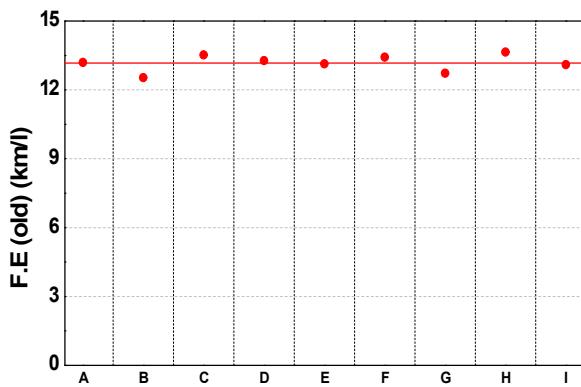
바. 시험 결과

(1) 연비 결과

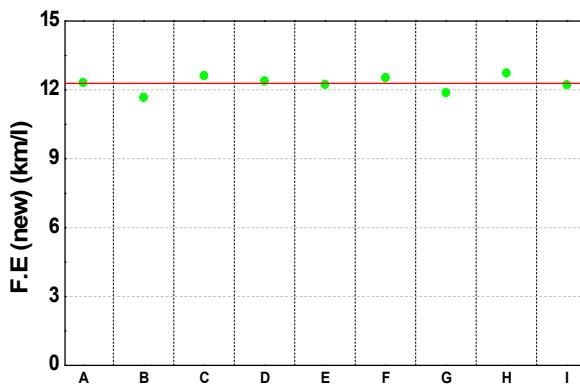
(가) 가솔린

가솔린 차량의 연비 결과 그래프에서 old, new, initial 은 각각 구연비, 신연비, 초기 공동고시안(이하 초기안) 계산식으로 계산한 CVS-75 연비 결과를 의미함. 구연비의 평균은 13.174 km/l, 표준편차는 0.339이고, 신연비의 평균은 12.289km/l, 표준편차는 0.321, 초기안 평균은 12.548km/l, 표준편차는 0.325의 결과를 보임.

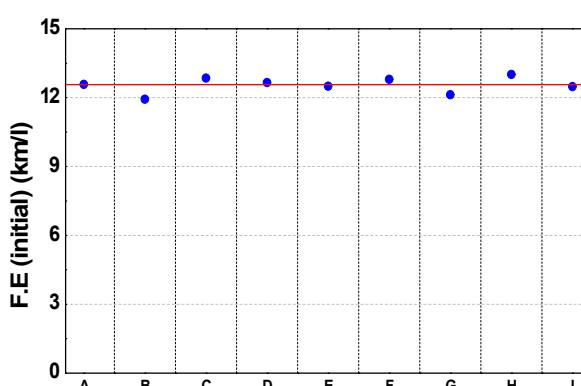
각 연비계산식 간의 차이는 구연비를 기준으로 신연비는 약 6%, 공동고시안 초기안 연비는 약 5%의 차이가 있었으며, 신연비와 초기안 연비 사이에는 약 2%의 차이가 존재함. 제작사를 제외한 시험기관 간 실험 결과에서 연비가 가장 좋은 값과 가장 나쁜 값을 비교해본 결과 구연비로 계산했을 시 약 7%의 차이가 존재함.



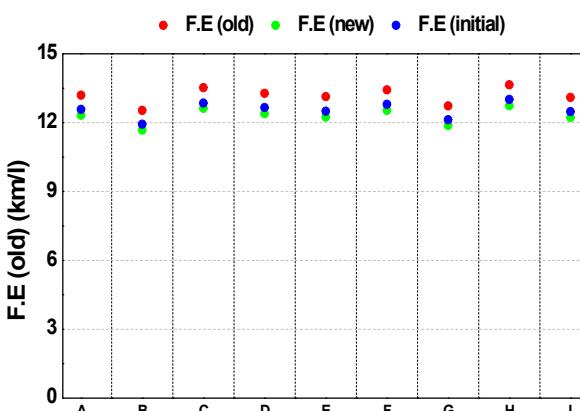
[그림 102] 가솔린차량 FTP-75 구연비



[그림 103] 가솔린차량 FTP-75 신연비



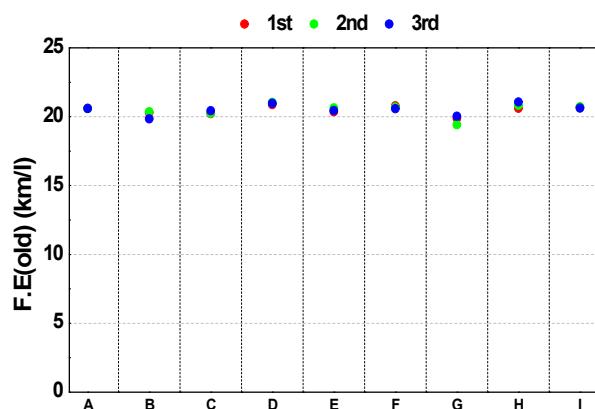
[그림 104] 가솔린차량 FTP-75 initial연비



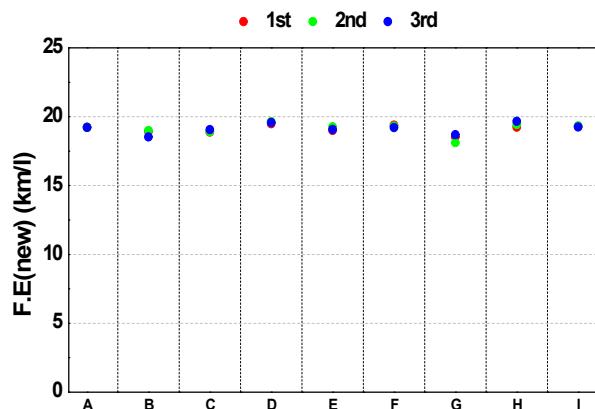
[그림 105] 가솔린차량 FTP-75 전체 연비비교

HWFET 시험 결과 가솔린 차량의 구연비의 평균은 20.496, 표준편차는 0.347이며 신연비는 평균 19.127, 표준편차는 0.324, 초기안 평균은 19.528, 표준편차는 0.328의 결과가 나타남. 구연비를 기준으로 구연비와 신연비의 차이는 약 6%, 구연비와 초기안 연비의 차이는 약 5%, 신연비와 초기안 연비의 차이는 약 2% 정도로 CVS-75의 결과와 매우 비슷한 경향을 보임. 시험기관 D와 제작사 G, H는 총 3회 실험의 결과에 차이가 발생하는 현상을 보여주며, 다른 기관의 경우 3회 실험의 차이가 거의 존재하지 않음.

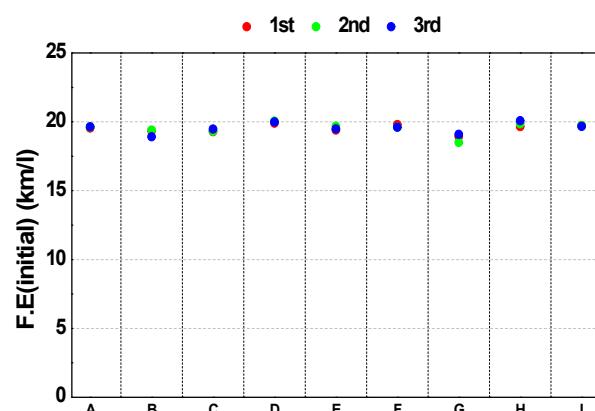
(나) 디젤



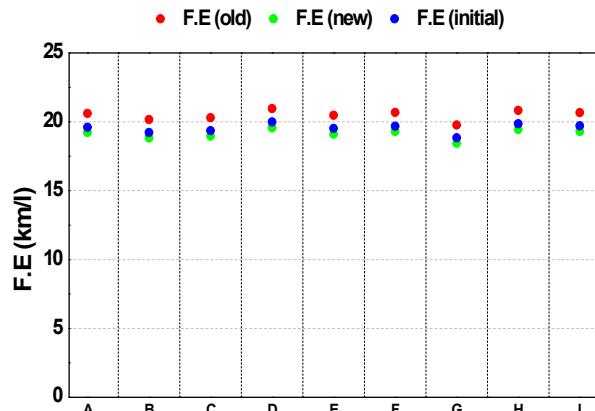
[그림 106] 가솔린차량 HWFET 구연비



[그림 107] 가솔린차량 HWFET 신연비

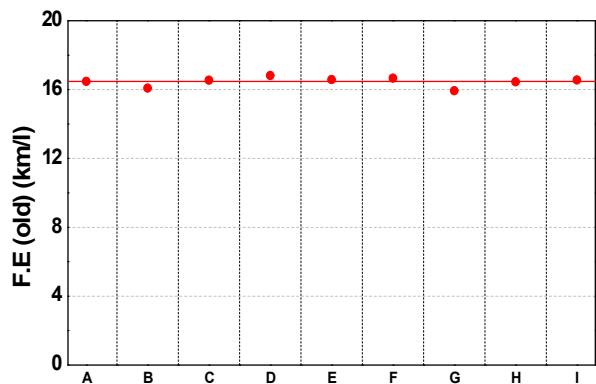


[그림 108] 가솔린차량 HWFET initial연비

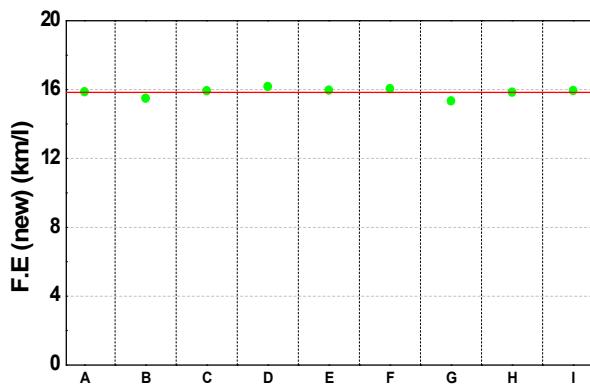


[그림 109] 가솔린차량 HWFET 전체 연비비교

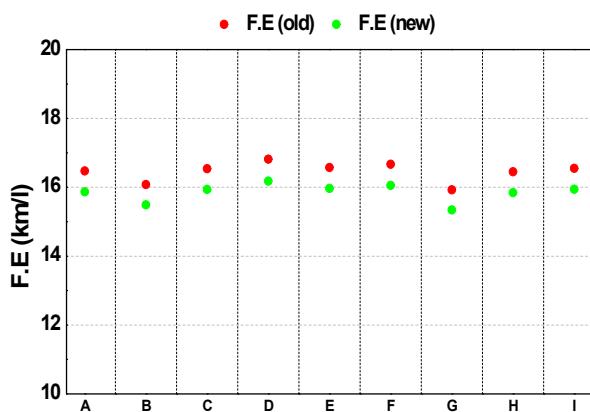
디젤 차량의 경우 공동고시안 초기 계산식이 없으므로 신연비와 구연비로 결과가 나뉘며, 구연비 평균은 16.454km/l, 표준편차는 0.264 이고, 신연비의 평균은 15.847km/l, 표준편차는 0.251 의 결과가 나타남. 디젤 차량의 신연비와 구연비의 차이는 구연비 기준으로 약 3.5%의 차이가 존재함. 제작사를 제외한 시험기관 간 연비 결과 중, 연비가 가장 좋은 기관과 가장 나쁜 기관을 비교했을 시, 구연비로 계산한 결과 약 4%의 차이가 존재함.



[그림 110] 디젤차량 FTP-75 구연비

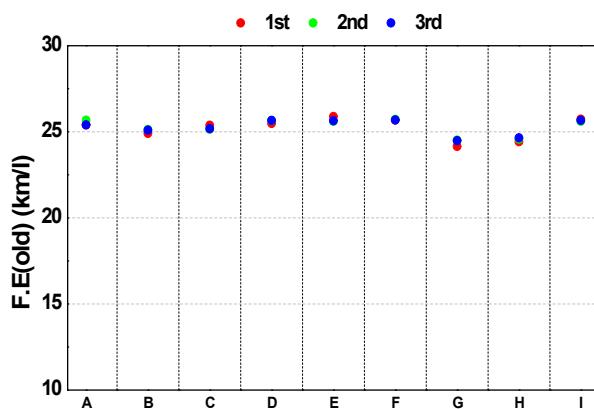


[그림 111] 디젤차량 FTP-75 신연비

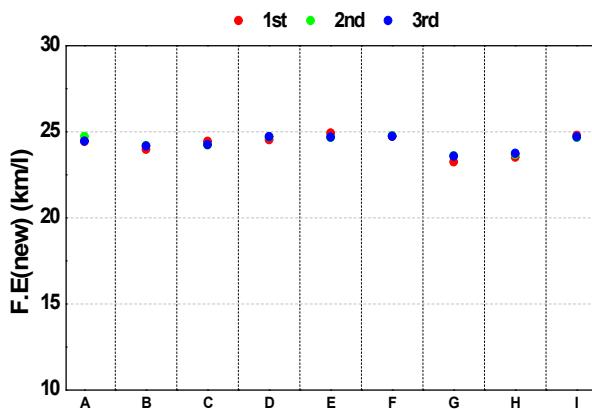


[그림 112] 디젤차량 FTP-75 전체 연비비교

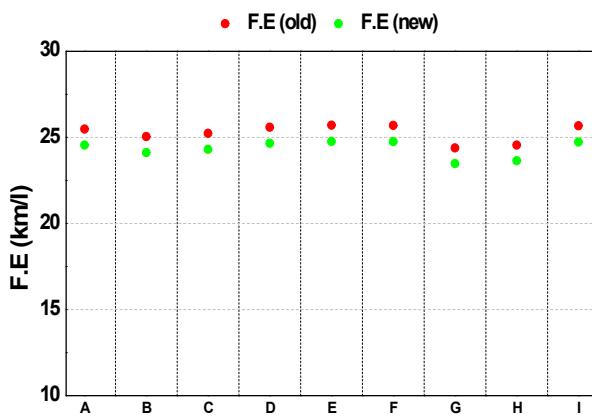
디젤 차량의 HWFET 결과는 구연비 평균 25.263km/l, 표준편차 0.477, 신연비 평균 24.334km/l, 표준편차 0.459로 나타나며, 구연비를 기준으로 구연비와 신연비 사이의 차이는 약 3% 정도로 가솔린과 마찬가지로 CVS-75 결과와 비슷한 경향이 나타남. 디젤 차량의 경우 가솔린 차량과는 다르게 대부분의 기관에서 3회의 HWFET 실험 결과가 서로 약간씩 상이하였지만 그 차이는 1% 정도로 미미함.



[그림 113] 디젤차량 HWFET 구연비



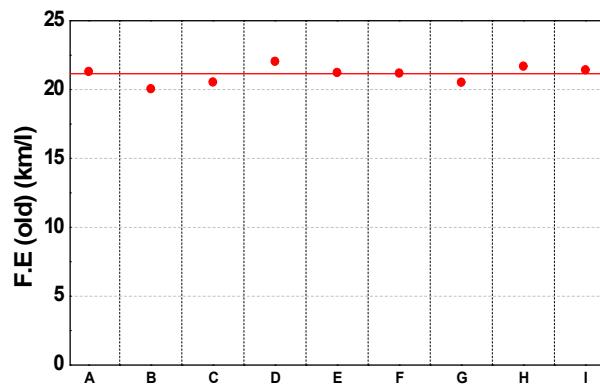
[그림 114] 디젤차량 HWFET 신연비



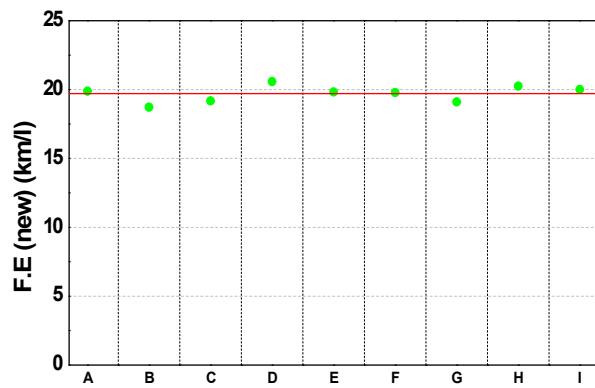
[그림 115] 디젤차량 HWFET 전체 연비비교

(다) 하이브리드

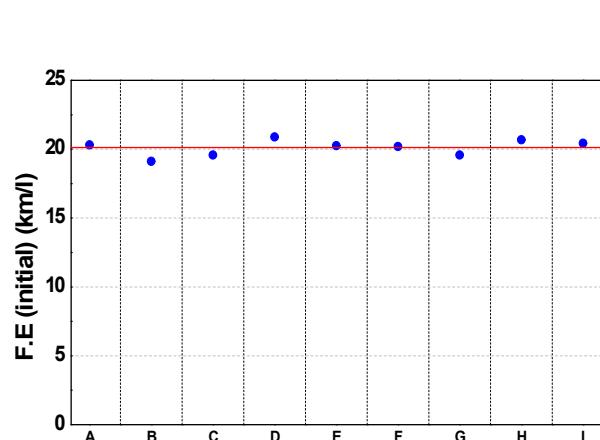
가솔린과 마찬가지로 하이브리드의 old, new, initial은 각각 구연비, 신연비, 공동고시안 초기 연비를 의미함. 하이브리드 차량의 구연비는 평균 21.119km/l, 표준편차 0.592이며, 신연비는 19.702km/l, 표준편차는 0.558, 초기안 연비는 평균 20.116km/l, 표준편차 0.544의 결과가 나타남. 구연비를 기준으로 구연비와 신연비는 약 6%, 구연비와 초기안 연비는 약 5%, 신연비와 초기안 연비 사이에는 약 2%의 차이가 존재함. 제작사를 제외한 시험기관 간 연비 결과 중 가장 좋은 결과와 가장 나쁜 결과를 비교했을 시 둘 사이에 약 9%의 차이가 있음.



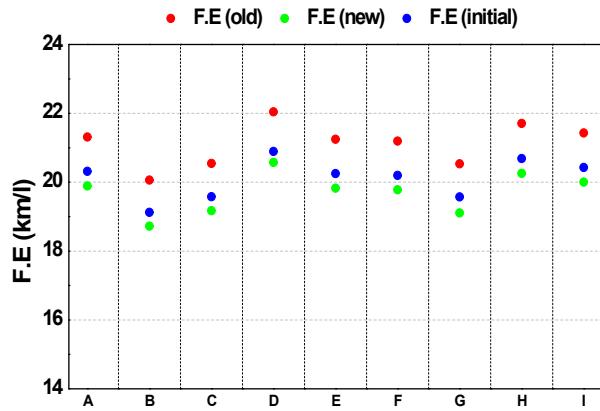
[그림 116] 하이브리드차량 FTP-75 구연비



[그림 117] 하이브리드차량 FTP-75 신연비

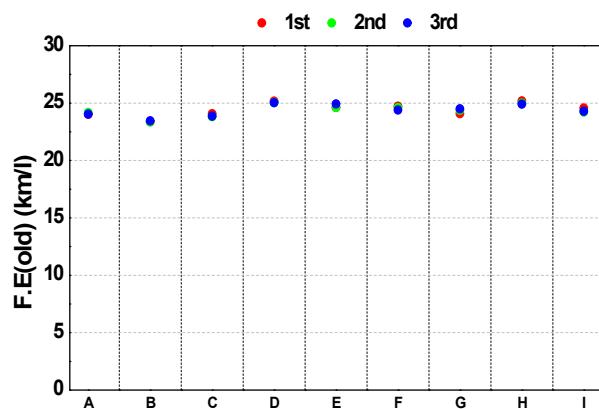


[그림 118] 하이브리드차량 FTP-75 initial연비

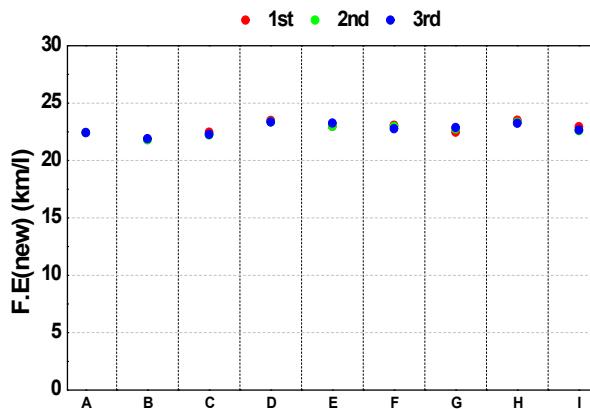


[그림 119] 하이브리드차량 FTP-75 전체
연비비교

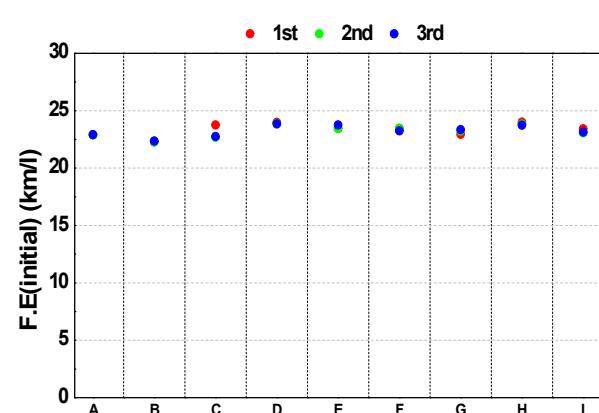
하이브리드 차량의 HWFET 결과 구연비의 평균은 24.385km/l, 표준편차는 0.509, 신연비의 평균은 22.751km/l, 표준편차는 0.479, 초기안의 평균은 23.237km/l, 표준편차는 0.489 의 결과를 보임. 구연비를 기준으로 구연비와 신연비 사이에는 약 6.5%, 구연비와 초기안 사이에는 약 5%, 신연비와 초기안 연비 사이에는 약 2%의 차이가 존재했으며 CVS-75에서 나타난 경향과 매우 비슷함. HWFET를 3회 시행한 결과, 시험기관 D와 제작사 G,H에서 시험별로 약간의 차이가 발생하지만 약 1%정도로 미미한 수준임.



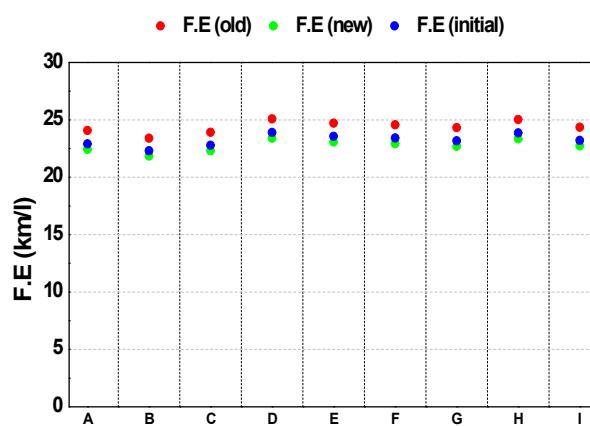
[그림 120] 하이브리드차량 HWFET 구연비



[그림 121] 하이브리드차량 HWFET 신연비



[그림 122] 하이브리드차량 HWFET initial연비

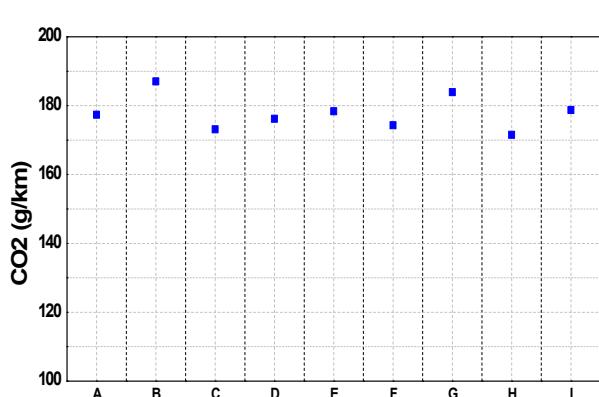


[그림 123] 하이브리드차량 HWFET 전체 연비비교

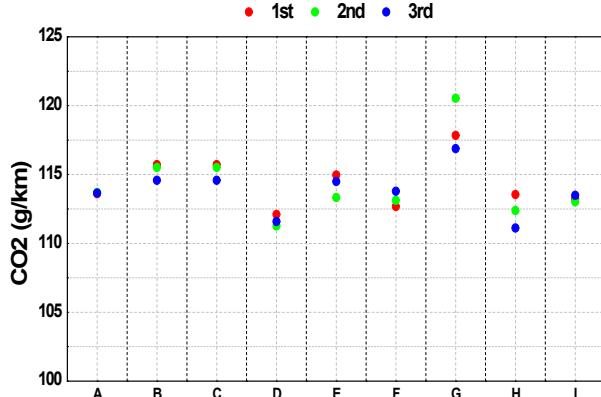
(2) 배출가스 결과

본 시험은 시험기관 간 연비 상관성을 보는 시험이므로 CO_2 를 제외한 나머지 배출가스 결과는 그레프로만 명시함. CO_2 결과는 대체로 연비와 비슷한 경향을 보임.

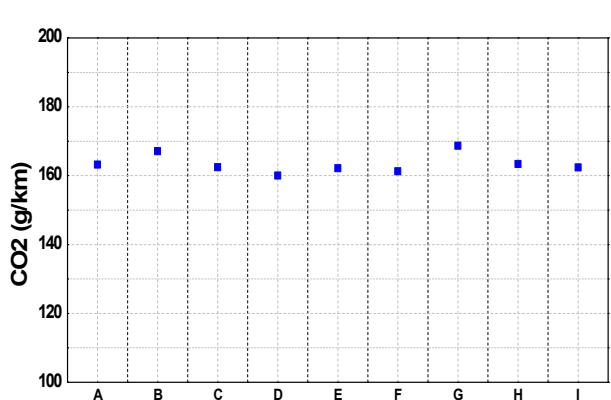
(가) CO_2



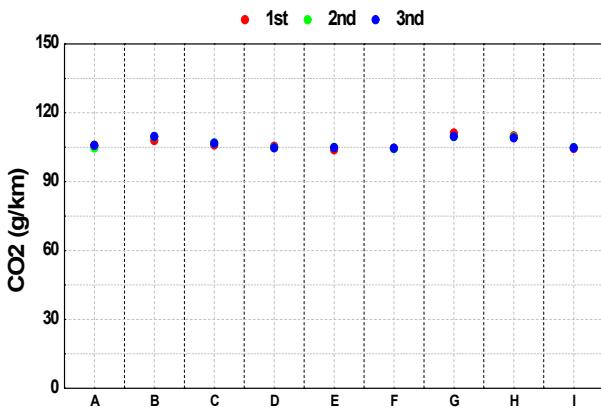
[그림 124] 가솔린 CVS-75 CO_2



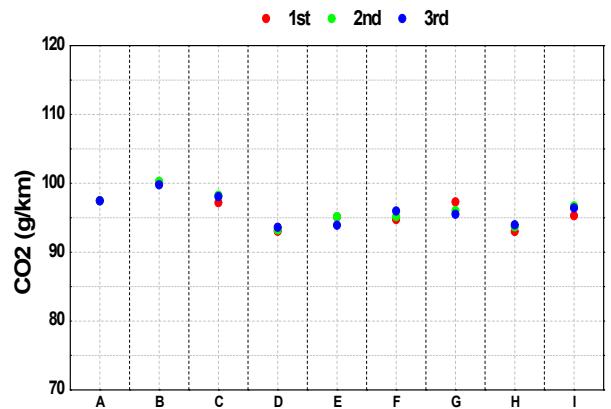
[그림 125] 가솔린 HWFET CO_2



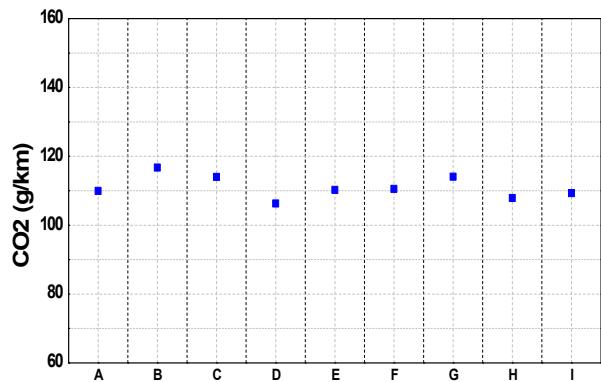
[그림 126] 디젤 CVS-75 CO₂



[그림 127] 디젤 HWFET CO₂

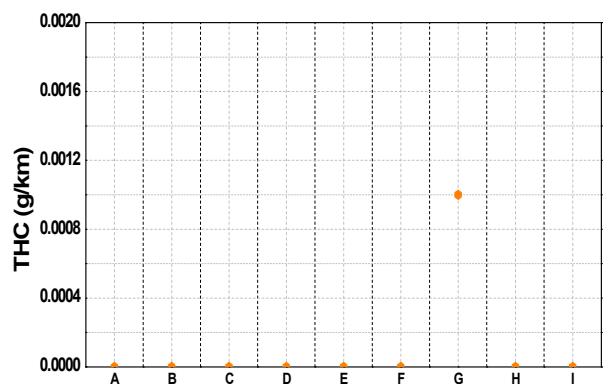


[그림 128] 하이브리드 CVS-75 CO₂

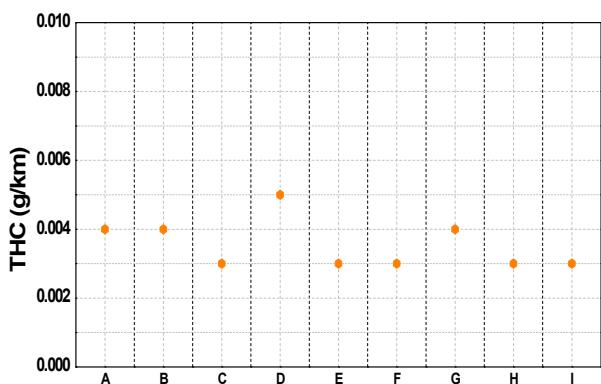


[그림 129] 하이브리드 HWFET CO₂

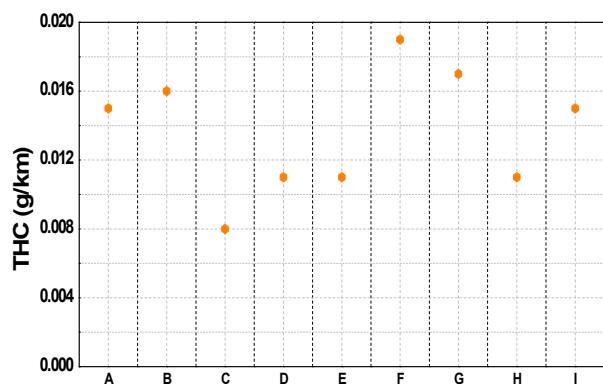
(나) THC



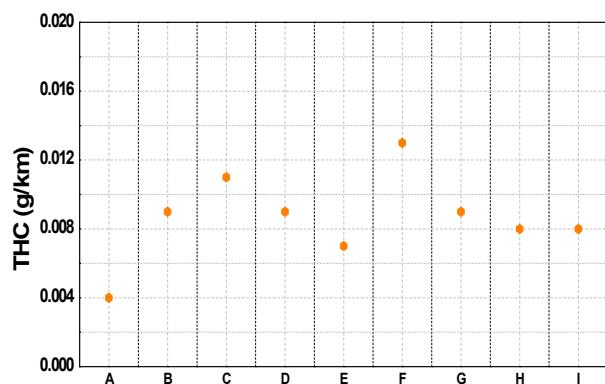
[그림 130] 가솔린 CVS-75 THC



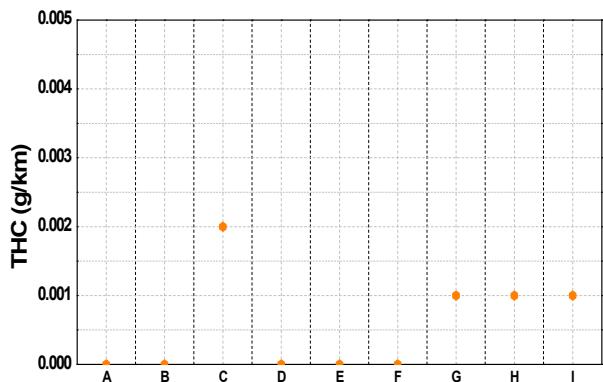
[그림 131] 가솔린 HWFET THC



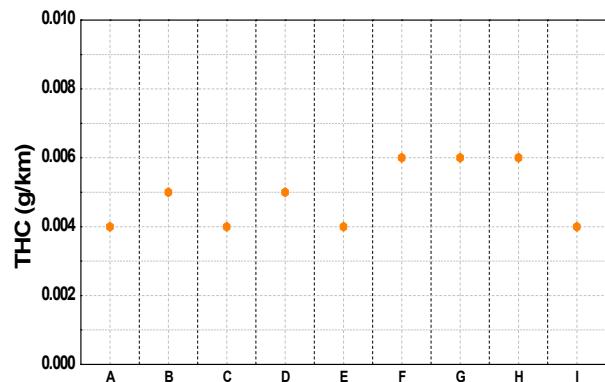
[그림 132] 디젤 CVS-75 THC



[그림 133] 디젤 HWFET THC

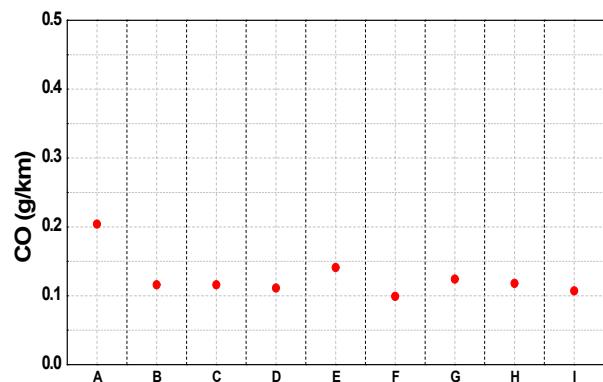


[그림 134] 하이브리드 CVS-75 THC

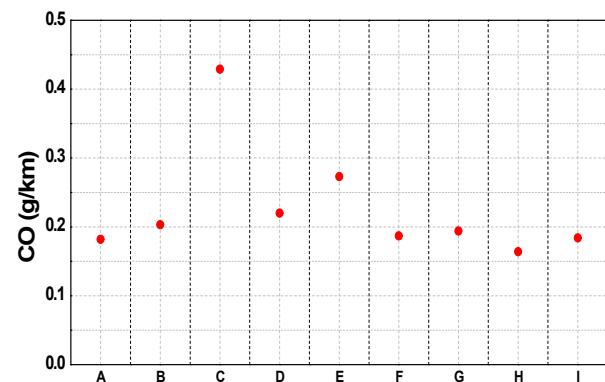


[그림 135] 하이브리드 HWFET THC

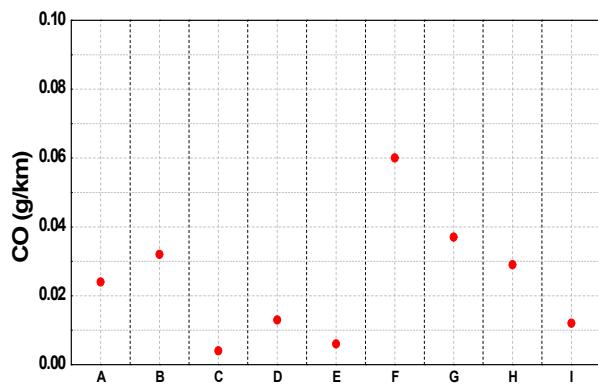
(다) CO



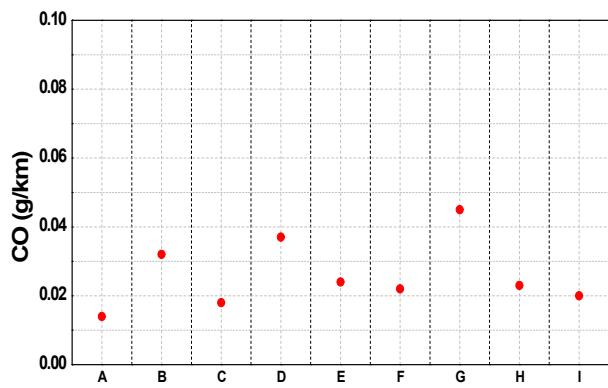
[그림 136] 가솔린 CVS-75 CO



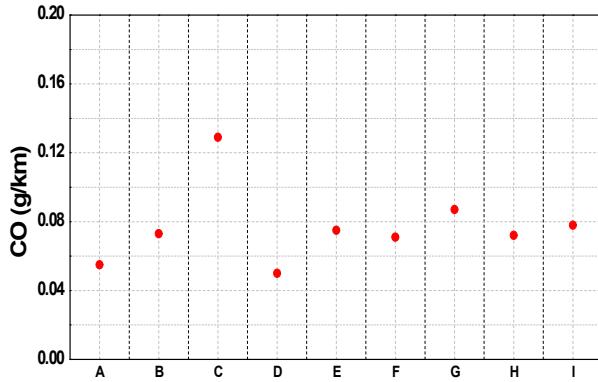
[그림 137] 가솔린 HWFET CO



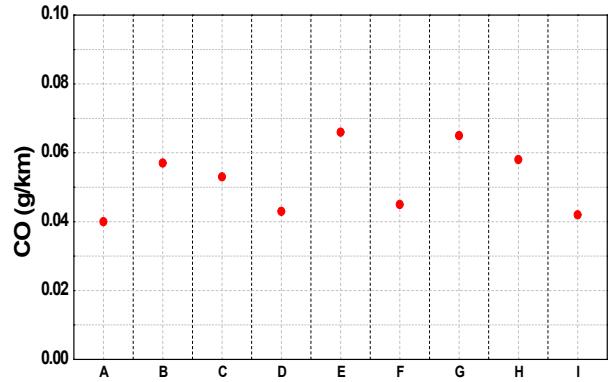
[그림 138] 디젤 CVS-75 CO



[그림 139] 디젤 HWFET CO



[그림 140] 하이브리드 CVS-75 CO



[그림 141] 하이브리드 HWFET CO

(3) DQE 분석

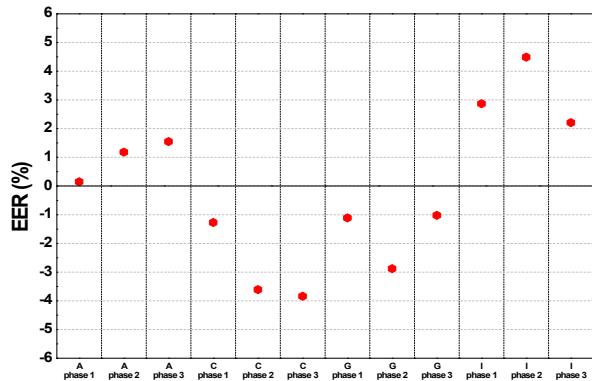
각 기관의 모드 추종성 및 driving quality를 분석하기 위하여 시험 데이터를 10Hz (0.1초) 단위로 측정한 기관에 한해서 DQE 분석을 시행함.

[표 55] DQE 분석

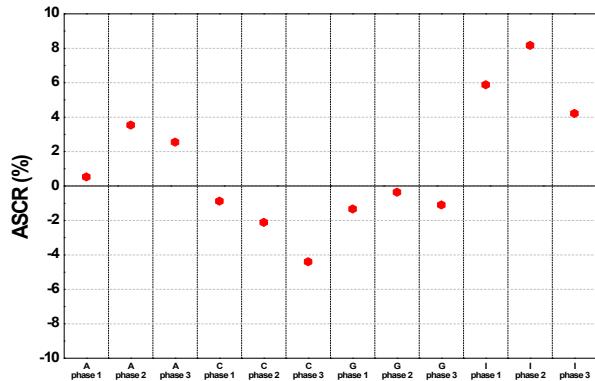
용어	정의	의미
ER	is defined as the percent difference between the total driven and target cycle energy	Smooth driving : Negative value Rough driving : Positive value Index value varies depend on each phase
DR	is defined as the percent difference between the total driven and scheduled distance	Smooth driving : Positive value Rough driving : Negative value Difficult to detect inappropriate driving technique
EER	is defined as the percentage difference between the distance per unit cycle energy for the driven and target traces	Smooth driving : Negative value Rough driving : Positive value a significant difference according to driving techniques linear relationship to fuel economy impact (only smooth driving)
ASCR	is defined as the percentage difference between the ASC for the driven and target traces	Smooth driving : Negative value Rough driving : Positive value a significant difference according to driving techniques
IWR	is defined as the percentage difference between the inertial work for the driven and target traces	-
RMSSE	provides the driver's performance in meeting the schedule speed trace throughout the test cycle in terms of the Root Mean Squared Speed Error	Smooth driving : Positive value Rough driving : Positive value a significant difference according to driving techniques

가솔린 차량의 경우 기관 2곳과 제작사 2곳에서 DQE 분석이 가능하였고, 디젤과 하이브리드 차량의 경우 기관 1곳과 제작사 1곳에서 DQE 분석이 가능했음. 따라서 이번 상관성 시험을 통하여 명확한 DQE 기준점을 제시하기는 어려우며 참고사항으로 사용 가능할 것임. 차기에 상관성 판정방안에 대한 타당성을 확보하기 위해 뚜렷한 기준점을 세우는 것이 필요함.

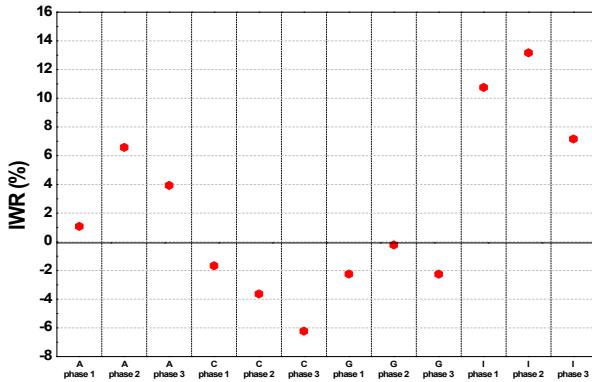
(가) 가솔린 CVS-75



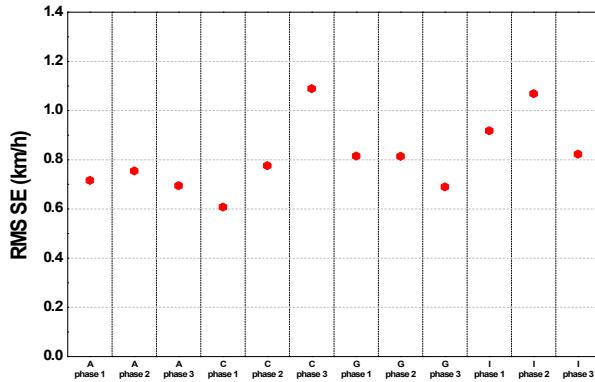
[그림 142] 가솔린 CVS-75 EER



[그림 143] 가솔린 CVS-75 ASCR



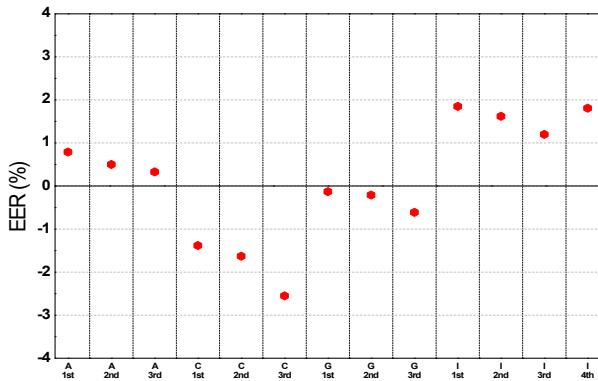
[그림 144] 가솔린 CVS-75 IWR



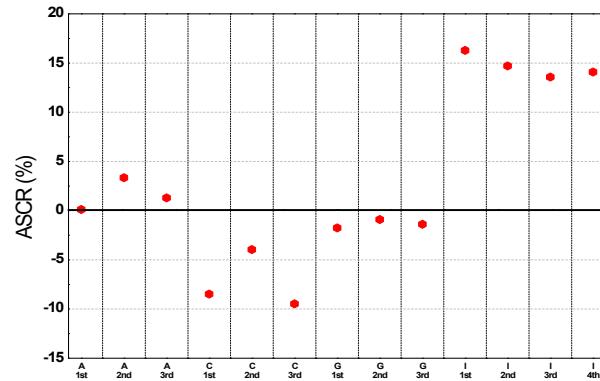
[그림 145] 가솔린 CVS-75 RMSSE

RMSSE를 비교한 결과 기관 A와 C, 제작사 G, I는 대부분 RMSSE 1 미만으로 drive mode 추종성이 좋다고 판단할 수 있음. 제작사 I 같은 경우 EER, ASCR 등이 다른 기관에 비해 높은 값으로 나오는 것으로 보아 대체로 부드러운 가, 감속을 한 것으로 판단됨. 기관 C 같은 경우 다른 기관에 비하여 RMSSE가 다소 높고 EER, ASCR 등이 낮은 값으로 나오는 것으로 보아 대체로 부드럽지 못한 가, 감속을 한 것으로 판단됨.

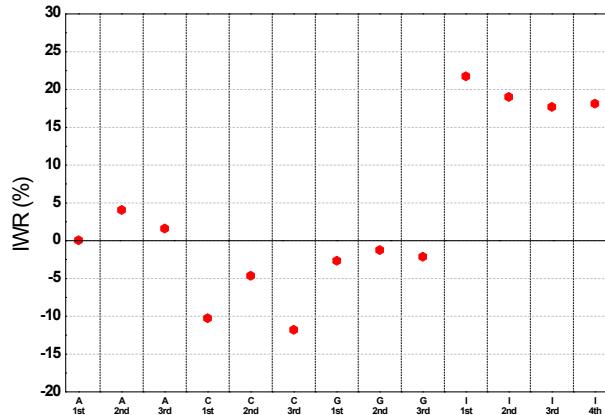
(나) 가솔린 HWFET



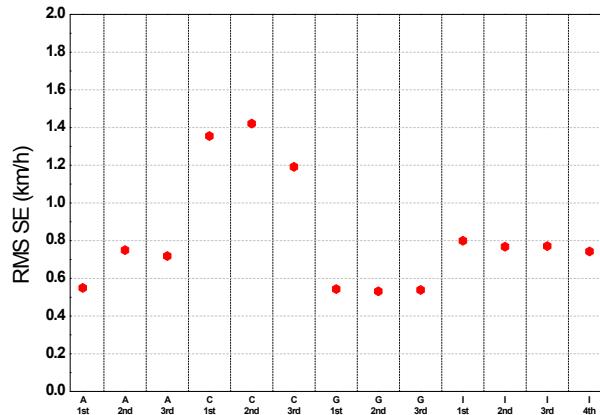
[그림 146] 가솔린 HWFET EER



[그림 147] 가솔린 HWFET ASCR



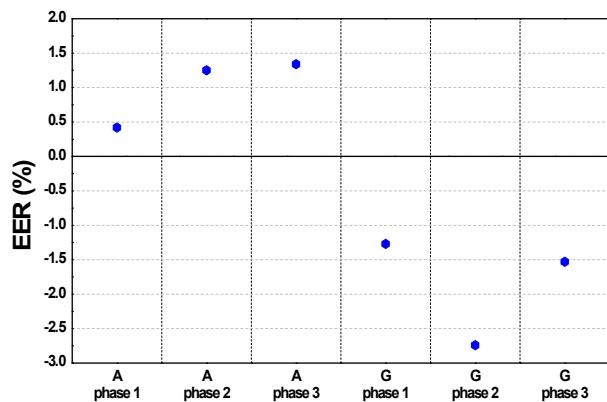
[그림 148] 가솔린 HWFET IWR



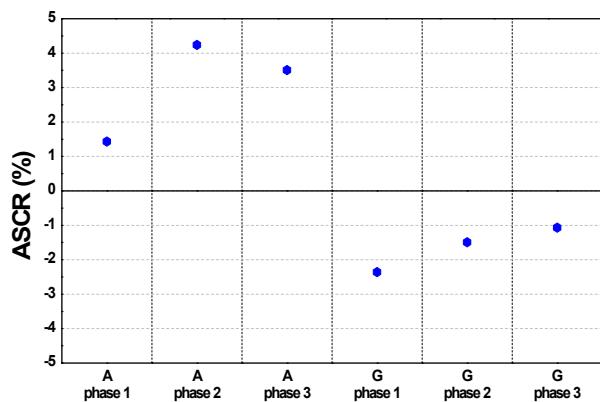
[그림 149] 가솔린 HWFET RMSSE

RMSSE를 비교한 결과 기관 C를 제외하고는 대체로 속도 추종이 잘 된 것으로 보임. 기관 C의 경우 EER, ASCR 등이 매우 낮은 값을 보이고 RMSSE 값이 다른 기관에 비해 높은 것으로 보아 드라이빙 모드와의 속도 편차가 많은 것으로 판단됨. 제작사 I의 경우 EER, ASCR 등이 다른 기관에 비해 높은 값을 보이므로 부드러운 가, 감속을 한 것으로 판단됨. 제작사 I의 경우 DQE index에 따르면 부드러운 운전을 한 것으로 판단되나 연비 결과를 보면 다른 기관과 제작사들에 비해 다소 낮은 값을 나타냄.

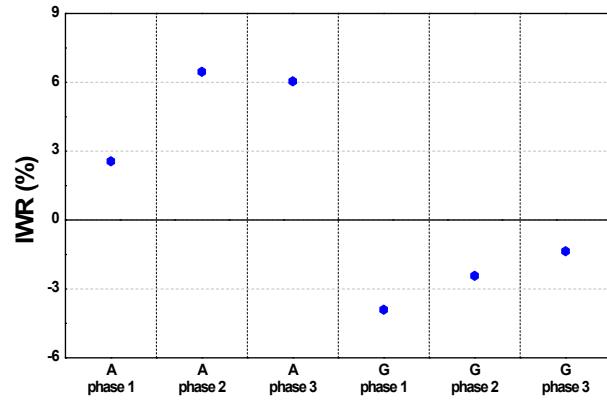
(다) 디젤 CVS-75



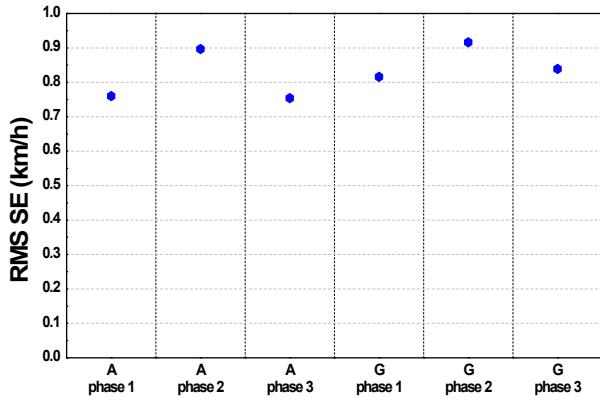
[그림 150] 디젤 CVS-75 EER



[그림 151] 디젤 CVS-75 ASGR



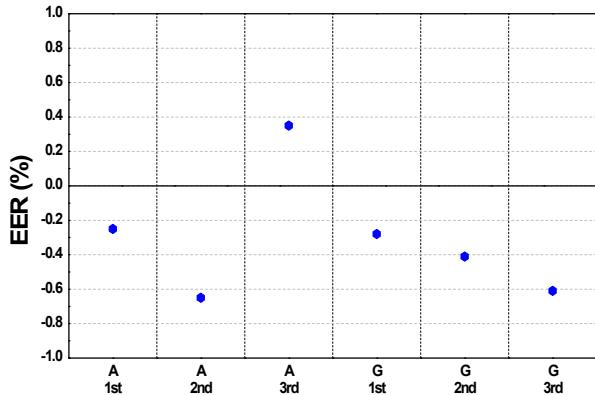
[그림 152] 디젤 CVS-75 IWR



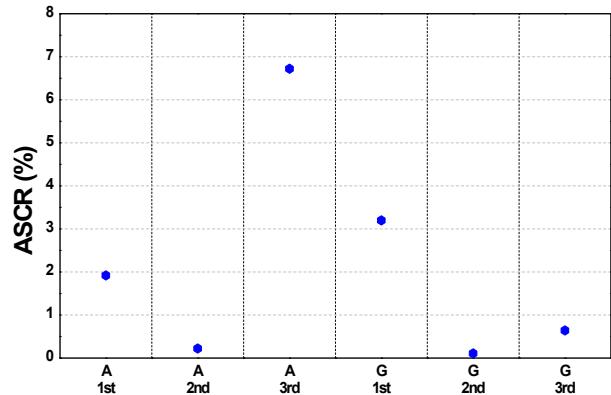
[그림 153] 디젤 CVS-75 RMSSE

디젤 차량의 경우 기관 A와 제작사 G가 10Hz로 시험을 진행하였기에 분석을 A와 G만 진행함. 표본이 가솔린에 비해 적으므로 뚜렷한 기준점을 정하기 어려움이 있음. RMSSE를 비교하였을 때 두 기관 모두 대체로 좋은 추종성을 보여주지만, 기관 A는 EER, ASGR 등에서 양수값을, 제작사 G는 음수값을 보이므로 기관 A가 제작사 G에 비해 더 부드러운 가, 감속을 하였다고 판단 가능함. 두 기관 간의 연비차이는 약 3% 정도로 부드러운 운전을 한 A기관이 더 높은 것으로 나타남.

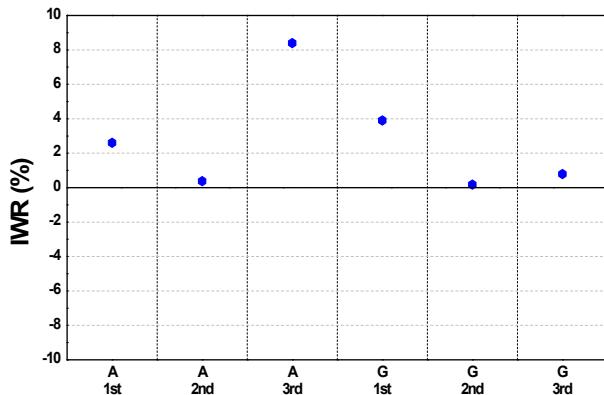
(라) 디젤 HWFET



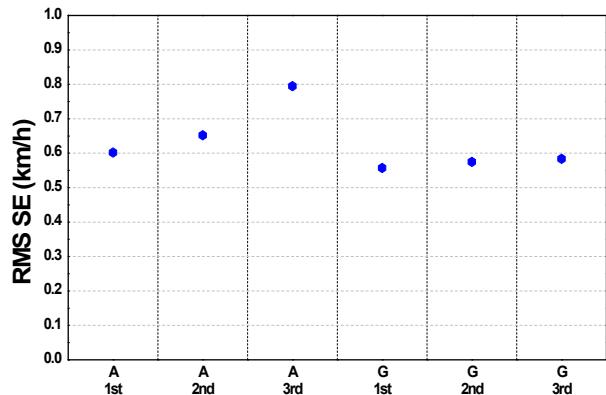
[그림 154] 디젤 HWFET EER



[그림 155] 디젤 HWFET ASCR



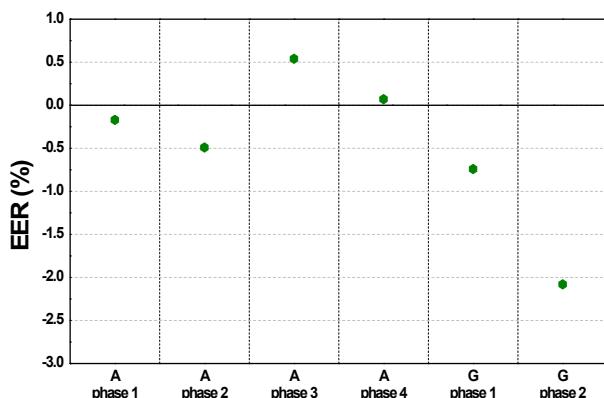
[그림 156] 디젤 HWFET IWR



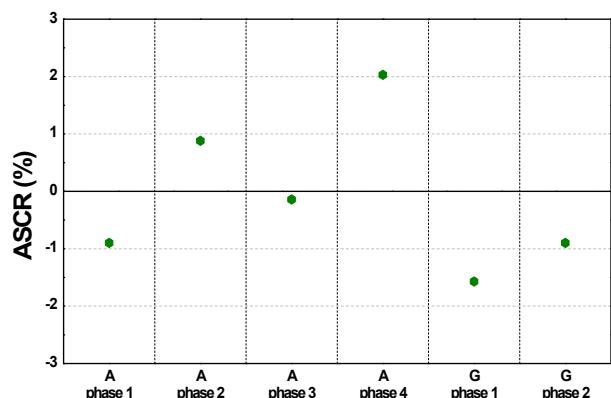
[그림 157] 디젤 HWFET RMSSE

디젤 HWFET 같은 경우 기관 A의 3번째 시험을 제외하곤 좋은 추종성을 보임. 기관 A의 3번째 시험의 경우 부드러운 가, 감속을 한 것으로 판단되나 연비면에서 다른 시험 결과와 큰 차이가 없음.

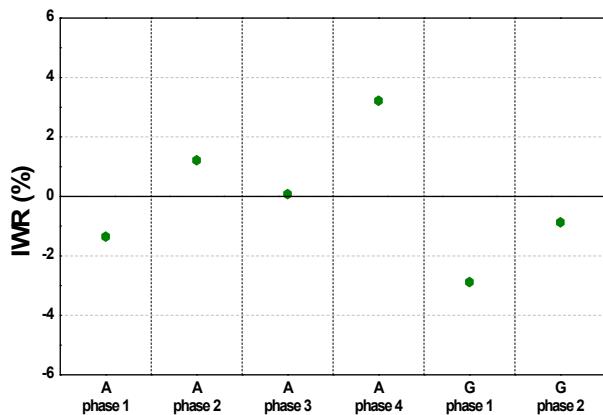
(마) 하이브리드 CVS-75



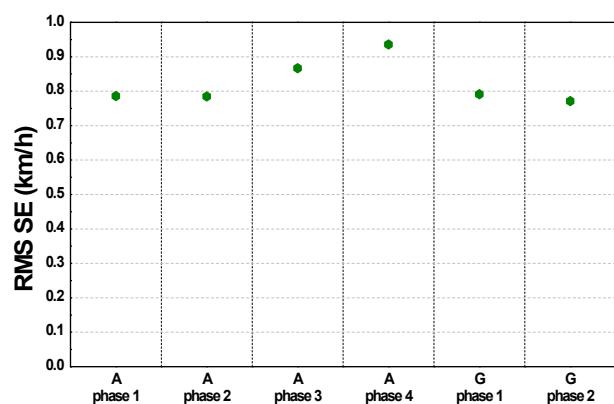
[그림 158] 하이브리드 CVS-75 EER



[그림 159] 하이브리드 CVS-75 ASCR



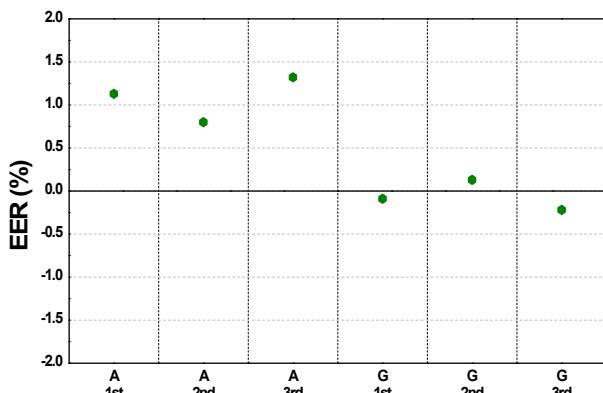
[그림 160] 하이브리드 CVS-75 IWR



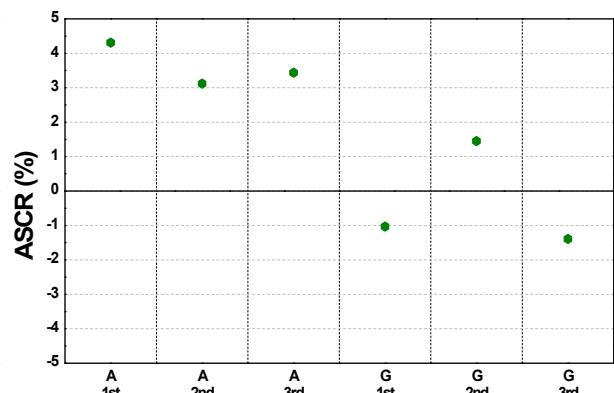
[그림 161] 하이브리드 CVS-75 RMSSE

하이브리드 CVS-75 시험의 경우 DQE index 간에 큰 특이점은 보이지 않으며 연비 역시 큰 차이를 보이지 않음.

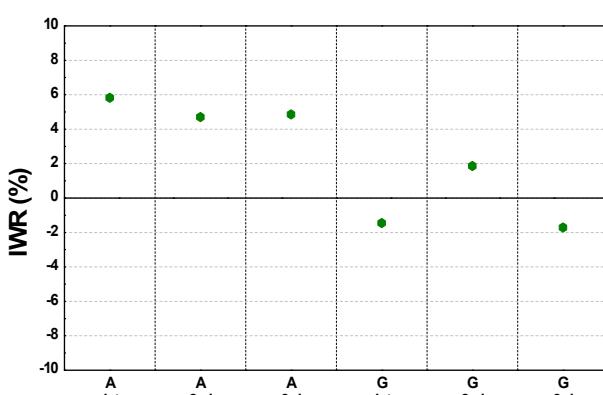
(바) 하이브리드 HWFET



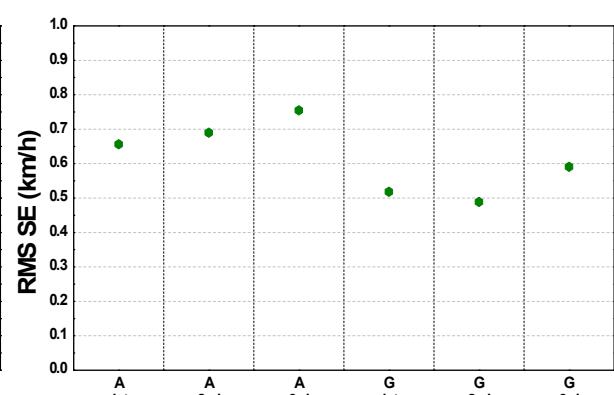
[그림 162] 하이브리드 HWFET EER



[그림 163] 하이브리드 HWFET ASCR



[그림 164] 하이브리드 HWFET IWR



[그림 165] 하이브리드 HWFET RMSSE

RMSSE를 비교하였을 때 기관 A와 제작사 G 모두 좋은 추종성을 보여주며, EER과 ASCR을 비교하였을 때 기관 A가 제작사 G에 비하여 더욱 부드러운 가, 감속을 하였다고 판단 가능함. 기관 A가 제작사 G에 비하여 더 높은 연비결과가 나타났으며 약 4%정도의 차이를 보임.

2. 연비시험조건별 영향 분석

가. 시험 차량 선정

(1) 시험 조건별 연비영향도 분석을 위한 시험 차량 선정

(가) 가솔린 시험

본 연구 과제를 수행하기 위하여 가솔린 시험 모델로는 2,000cc급의 차량을 선정하였으며, [그림 166]과 [표 56]에 시험을 수행하기 위해 차대동력계 위해 시험 차량을 설치한 사진 및 제원이 나타남. 르노삼성자동차의 지원으로 다양한 OBD 데이터를 취득하면서 시험을 수행하였으며, 배터리 전압, 냉각수 온도, 엔진오일 온도 등 추가로 측정함.

[표 56] 가솔린 시험 차량 제원



[그림 166] 차대동력계 상에 설치된 가솔린 시험 차량

차량연식	2013년
공차중량(kg)	1,415
엔진형식	2.0 CVTC II
배기량	1,998
최고출력(ps/rpm)	141 / 6,000
최고토크(kg · m/rpm)	19.8 / 4,800
변속형식	CVT
표시연비(km/L)	12.6

(나) 디젤 시험

디젤 시험 시험모델은 C' 사의 2,000cc급의 엔진을 탑재한 승용차로 Euro 5 배출가스 기준을 만족하는 차량으로 RVC (RVC 기능은 배터리 및 발전기, ECM, BCM으로 구성되어 있으며 BCM은 배터리 전류를 모니터링하여 SOC 및 RVC 기본동작이 가능하도록 ECM에 신호를 보내고 ECM은 발전기의 발전상태를 모니터링 함과 동시에 전압제어 신호를 발전기에 보내는 기능²²⁾) 기능이 적용되어 있고, 상세제원은 [표 57]에 명시되어 있음.

22) J. Lee and J. Ryu, 'Reserch for RVC Validation Method', 2011, KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1667-1670.

[표 57] 디젤 시험 차량 제원

차량연식	2014년
공차중량(kg)	1,645
엔진 형식	CI inline 4 cylinder
배기량	1,956
최고출력(ps/rpm)	156 / 3,750
최고토크(kg · m/rpm)	35.8 / 1,750 ~ 2,500
변속형식	6AT
표시연비(km/L)	13.3

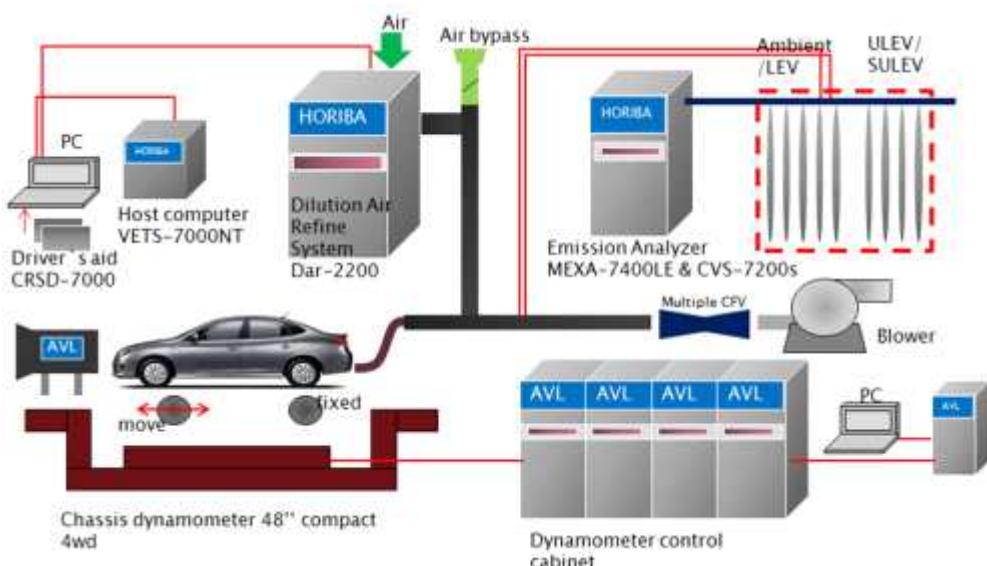
(다) 일반차량 시험결과의 타당성

현행 연비시험방법의 법적인 허용범위 내에서 연비에 영향을 미칠 것으로 예상되는 시험 조건에 대해 연비에 미치는 영향도 유·무를 파악하고 영향도가 있는 경우 이 영향도에 대한 연비의 변화를 현행 고시상의 허용범위 내(제작사 신고값 대비 -5% 미만) 수준으로 감축할 수 있는 방안을 도출하는 것이므로 대표성을 가진 자동차가 아닌 일반자동차 시험결과로도 유의미한 결과를 가지고 있다고 할 수 있음. 이 영향도로 인한 연비시험값의 오차범위를 줄이는 방안은 보고서 뒤에 연비시험조건별 영향분석 연구결과 및 시험방법 제안에 서술하였음.

나. 시험 장치 및 주행모드

(가) 가솔린 시험

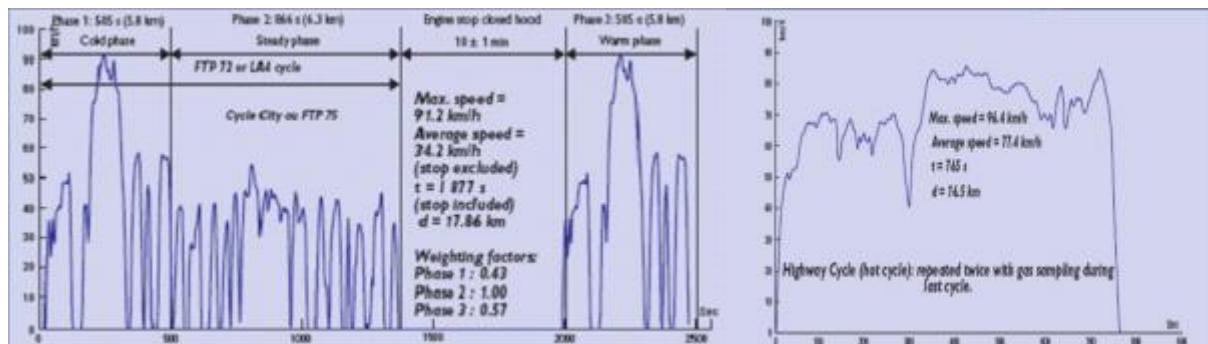
실내에서 실외와 같은 도로조건을 모사하여 차량의 배출가스 특성에 대한 평가를 실시하기 위하여 [그림 167]과 같이 차대동력계 및 배기측정기기를 포함하는 시험 장치를 활용함.



[그림 167] 배출가스 특성 조사 시험장치의 개략도

차대동력계는 48" Single roll type(AVL 社) 장비를 사용하였으며, 배기측정기는 LPG 차량의 경우 SULEV 대응 MEXA-7400LE(Horiba 社)를 적용하였고 경유 차량의 경우 Euro-6 대응 i60(AVL 社) 장비를 사용함. 가솔린 차량의 시험 조건별 연비 특성 평가를 위하여 FTP-75,

HWFET 모드를 수행함. [그림 168]에 해당 시험모드의 시간대 속도 프로파일을 나타냈으며, 각 조건별 주행모드 시험을 2회 이상 측정 분석함.



[그림 168] 주행모드별 시간대 속도 프로파일

(나) 디젤 시험

① 차대동력계

자동차가 실제 도로를 주행할 때 정지 → 가속 → 정속 → 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 실측 주행모드를 사용하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 걸어주는 장치로써 노상 주행저항과 관성 등을 시뮬레이션하여 실제 주행과 동일한 운행 조건을 구현함. 본 과제에서 사용된 차대동력계는 AC(교류) 동력계 (AVL 저온시험용 차대동력계)로써, 관성중량 (Inertia weight), 동력흡수계 (Power absorption unit), 제어기 (Controller)로 구성됨.

[표 58] 차대동력계의 제원

로울러 형식 및 직경	Single Roll 48 inch (MIM type)
관성중량	1000 ~ 15000 lbs
관성중량 부여 방식 및 동력 흡수장치	AC Motor (전기동력장치)
최고속도	200 km/h
속도 오차	± 0.01 % F.S
토크 오차	± 0.1 % F.S
주행거리 측정	Encoder
송풍장치 용량	63000 CFM
코스트 다운	1 초 이내

② 배출가스분석기

배출가스 측정은 시험자동차가 차대동력계의 롤러 위에서 각 모드별로 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량 시료채취장치 (CVS, Constant volume sampler)로 일정량의 공기를 흡입한 후, 시료 채취백(Sample bag)에 채취하여 배출가스를 정량·분석함.

본 연구과제에 사용된 배출가스 측정 장치 (HORIBA사 MEXA series)는 자동차의 배출가스 중 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄를 분석할 수 있는 장치로서, 분석원리는 CO 및 CO₂ 가 비분산적외선분석법 (NDIR, Nondispersive Infrared), THC는 열식불꽃이온화검출기법 (HFID, Heated Flame Ionization Detector), NOx는 화학발광법 (CLD, Chemiluminescence Detector), CH₄는 GC-FID

(Gas chromatography-FID)을 사용함. 분석된 배출가스농도(THC, CO, CO₂)를 기반으로 카본밸런스 법에 의한 연비를 산출함.

[표 59] 배출가스 분석기의 제원

배출가스분석기 (Exhaust Analyzer)	
시료채취장치	CFV 방식(정용량시료채취기)
온도계의 정도	±0.5°C 이내
압력계의 정도	±1kpa 이내
시료채취주머니용량	90 l
벤츄리규격	15, 30, 45 m ³ /min
분석원리	CO/CO ₂ (NDIR), HC/CH ₄ (FID), NO/NO _x (CLD)
분석범위	CO (0 ~ 50/100/1000/2500ppm)
	CO ₂ (0 ~ 1/2/3/16vol%)
	CH ₄ (0 ~ 10/20/50ppm)
	HC (0 ~ 10/50/100/500ppmC),
	NO _x (0 ~ 10/50/100/500ppm)
CFO인젝션	±2% 이내
응답시간	당해농도 스팬가스 값의 90% 까지 5초 이내
반복성	±2% 이내
직성성	각 분할 교정점에서 ±2% 이내
컨버터효율시험	90% 이상

[표 60] 희석터널의 제원

희석터널 (CVS Tunnel)	
구성	배출가스 희석터널, 채취관, 여과지홀더
희석터널크리	355.6 mm
채취관 직경	38.1 mm
필터직경	70 mm
시료채취유량	기준유량의 ±5% 이내
희석터널 내부온도	51.7°C 이내

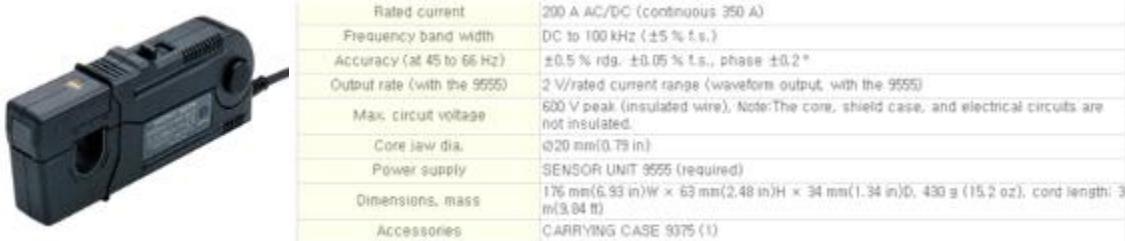
③ 전력분석기

전력분석기는 전기장치의 입출력 전류와 전압을 측정 및 기록함과 동시에 사용전력을 계산하는 기능을 수행하는 장치임.

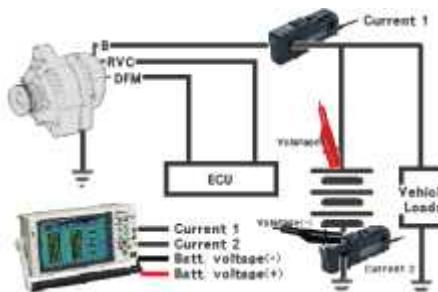
본 연구에서 사용된 전력분석기는 국내 자동차 시험장치 규격에 적합한 Hioki 3390 전류 적산계를 사용하였으며 전류 측정을 위하여 최대 200A 측정이 가능한 Hioki CT 9278 2기(배터리 충방전류 및 발전기 생산전류 측정)와 20A 측정이 가능한 9277 2기(라디에이터 팬 소모전력 측정)가 사용됨.



[그림 169] 전류 적산계의 사진과 정확도



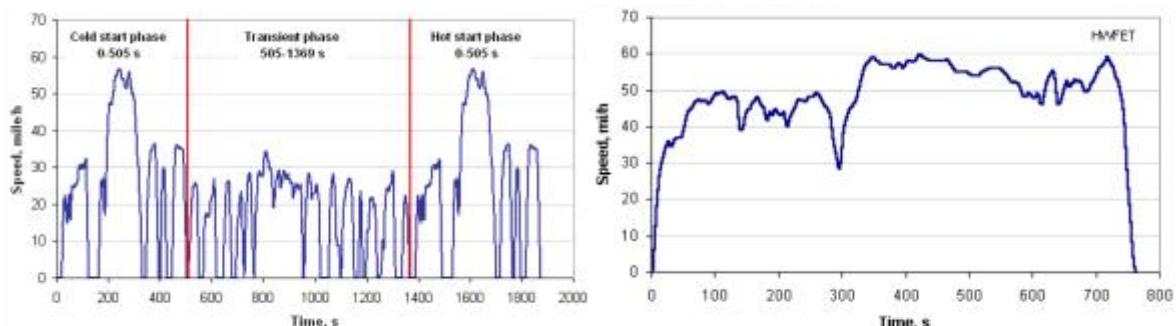
[그림 170] 전류 클램프의 사진과 제원



[그림 171] 발전기 및 배터리
전류센서 측정위치

④ 시험모드

본 연구의 목적에 부합하기 위하여 현행 연료소비율 측정방법으로 사용되는 FTP-75모드 및 HWFET 모드를 사용하였으며 각 조건별 2회 이상의 시험을 통하여 신뢰성 있는 데이터를 취득함.



[그림 172] FTP-75(좌) 및 HWFET(우) 모드의 주행속도 계획

[표 61] FTP-75 및 HWFET 모드의 주행 조건

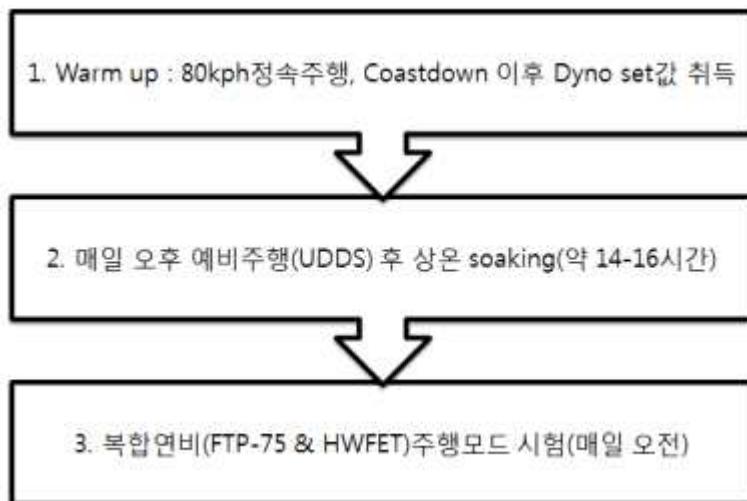
Driving Schedule Attributes	Test Schedule	
	도심(City)	고속도로(Highway)
최고속도(Top Speed)	90.1 kph	96.6 kph
평균속도(Average Speed)	34.1 kph	77.7 kph
최대가속도(Max. Acceleration)	5.31 kph/sec	5.15 kph/sec
주행거리(Simulated Distance)	17.7 km	16.58 km
주행시간(Time (min))	31.2	12.75
정지구간(Stops)	23	None
공회전시간(Idling time)	18 %	None
시동조건(Engine Startup*)	Cold	Warm
시험온도(Lab temperature)	20 ~ 30 °C	
에어컨작동여부 (Vehicle air conditioning)	Off	Off

다. 연비영향도 분석을 위한 시험 조건

(1) 가솔린 시험

2,000 cc급 가솔린 차량을 선정하여 시험온도, 시험차량의 배터리상태(SOC), 냉각방식 및 운전 모드 추종성 등 연비 시험조건별 영향도 분석을 실시하고, 이를 바탕으로 상관성시험 기준조건(안)을 제시함.

연비시험 특성상 연달아 시험을 수행 할 수 없는 한계가 있으므로, 시험 재현성을 확보하고 변수를 최소화하기 위하여 다음과 같이 Test routine 조건을 설정함.



[그림 173] 연비시험 절차

* 2~3번 반복

SOC(%), Accelerator position, RPM, Speed, Torque, Coolant temp., Battery voltage 등은 제작사의 지원으로 1Hz의 OBD II 데이터를 취득하였으며, 시험 시작 전에 냉각수, 엔진오일, 배터리 전압을 측정함. 배출가스 온도데이터는 1초당 측정이 가능한 modal 조건으로 시험 설정함.

Standard 조건 시험 외에 아래의 조건과 같이 시험을 수행하였으며, 가솔린 차량의 다양한 시험 조건별 연비 영향도를 분석함.

[표 62] 다양한 시험 조건

번호	시험조건	설명
1	Base 조건	<u>25±1°C, 가변풍량팬, 98% SOC고정, Alternator 상시구동</u>
2	High SOC(%)	25±1°C, 가변풍량팬, <u>88% SOC</u> , Alternator 상시구동
3	Low SOC(%)	25±1°C, 가변풍량팬, 99%SOC, <u>Alternator 부분구동</u>
4	High fan	25±1°C, <u>2.5m³/s 고속풍량팬</u> , 98%SOC고정, Alt. 상시구동
5	Low fan	25±1°C, <u>1.0m³/s 저속풍량팬</u> , 98%SOC고정, Alt. 상시구동
6	High temp.	<u>29±1°C 고온조건</u> , 가변풍량팬, 98%SOC고정, Alt. 상시구동
7	Low temp.	<u>21±1°C 저온조건</u> , 가변풍량팬, 98%SOC고정, Alt. 상시구동
8	Hard driving	±1.5km/h의 편차로 가혹 운전 추종, 이외 조건동일
9	Soft driving	±1.5km/h의 편차로 온순 운전 추종, 이외 조건동일

(2) 디젤 시험

① 항목별 시험조건

본 연구에 적용된 세부 시험조건은 현행 고시에서 세부내용이 명기되어 있지 않거나 허용기준은 있으나 범위가 넓거나 명확하지 못하여 해석상의 오해가 있어 시험 결과에 영향을 미칠 수 있는 항목은 4가지임.(냉각방식 및 배터리 SOC, 시험실온도, 모드 추종성) 시험조건은 현행 시험법 내에서 설정하였으며 각 항목당 3가지 조건을 설정하였으며 필요시 3가지 이상의 조건을 적용함. 부가적으로 시험 시 배출가스 후처리장치(DPF) 재생이 발생된 시험의 데이터를 수집하여 재생에 따른 영향도를 확인함.

[표 63] 항목별 시험조건

시험조건 적용시험조건	냉각조건	배터리 SOC	시험실온도	모드추종성
냉각팬 적용조건(m3/s)	가변, 고정 2.5, 고정 1.0,		가변	
초기 배터리상태 SOC(%)	100	100, 90, 80, 60	100	
시험실 온도(°C)	25±1		21, 25, 29	25±1
모드추종성	목표속도 추종			±3.2km주)
기타	전조등 off			전조등 on

라. 시험조건별 연비 영향도 결과

(1) 가솔린 시험

(가) Base condition

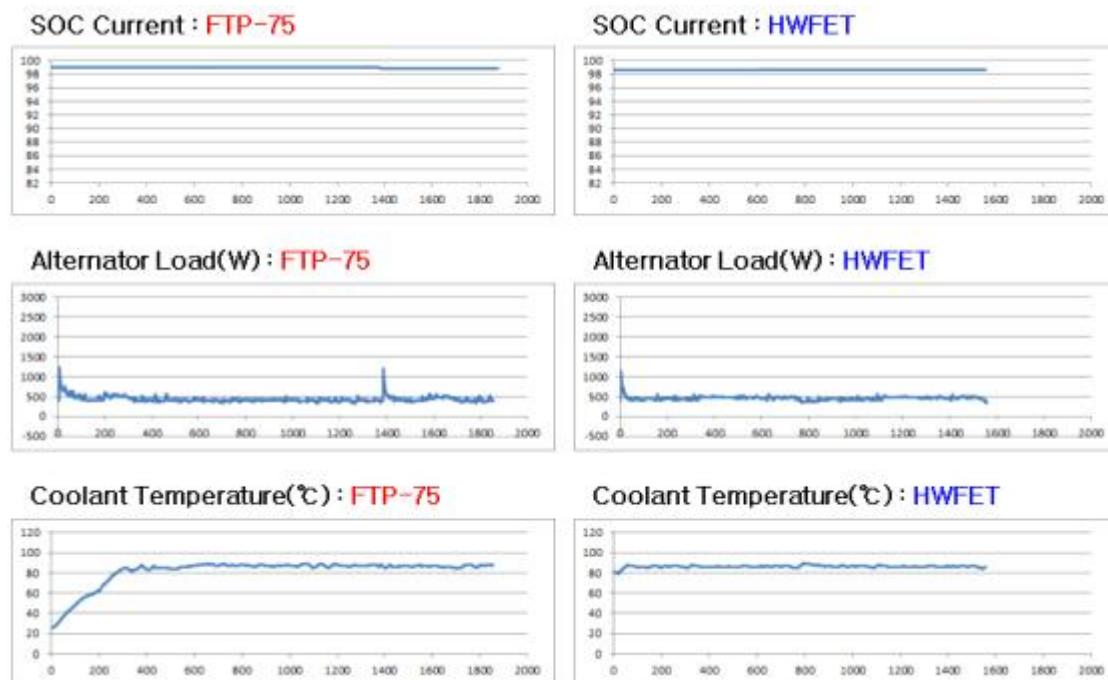
가솔린차량 시험조건별 연비 영향도 결과 측정을 위하여 가장 기본적으로 Base condition에 대한 기준이 필요하였고, 이는 현재 에너지측정시험의 공동고시로 개정된 국토교통부, 환경부, 산업통상자원부의 “자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시(2015.4.8)”를 준수하는 것으로 정의함.

다양한 반복 시험을 통하여 상기의 Base 조건 기준 값을 취득하였고, Base condition 값을 도출하기 위하여 차량의 Alternator는 상시 부하가 가동되는 상태로 정의함. Alternator 작동 유/무와 관련하여 시험차량의 에너지소비효율 측정 결과 값이 다소 큰 폭으로 차이가 났었고 이러한 시험 자료들을 바탕으로 배터리 변화에 대한 연비 변화 측정시험을 준비함.

[표 64] Base condition에 대한 시험결과

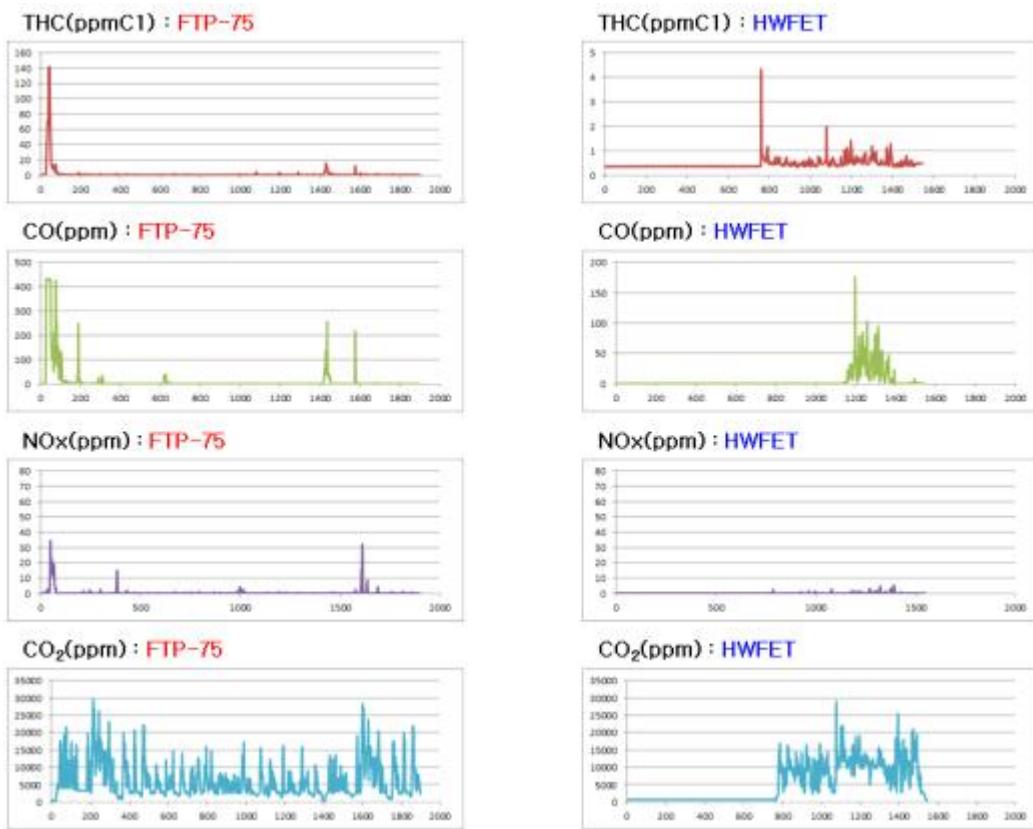
시험 조건	주행 모드	초기 배터리 (V)		SOC Current		Δ SOC	시험실 온도(°C)	엔진오일 온도(°C)	냉각수 온도(°C)		연비 (km/L)	평균연비 (km/L)		
		OBD	측정	시작	종료				측정	OBD	측정			
Base 1-1	FTP-75	-	12.6	-	-	-	-	25.1	-	24.8	14.366	14.325	20.241	
	HWFET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.298			
Base 1-2	FTP-75	12.32	12.6	98.64	98.82	0.18	25.14	24.41	25.5	26	25.0	14.284		
	HWFET	12.40	-	98.67	98.64	-0.03	25.14	24.75	-	81	-	20.183		

다음의 [그림 174]는 Base condition의 SOC, Alternator Load, Coolant Temperature 3 가지 측정값에 대한 실시간 OBD 데이터를 나타냈고, 이를 통하여 SOC 약 98% 고정, Alternator Load 약 500W 상시부하 가동, Coolant Temperature 약 81 °C로 고정될 때 차량의 에너지소비효율 결과가 변동없이 유지될 수 있음을 확인함.



[그림 174] Base condition의 실시간 OBD 데이터 측정결과

Base condition의 복합에너지소비효율 측정을 위하여 FTP-75 및 HWFET 주행모드의 실시간 배출가스를 분석한 결과를 아래의 그림으로 나타냄.



[그림 175] Base condition의 실시간 배출가스 측정결과

(나) Low SOC & High SOC(Alternator saving) condition

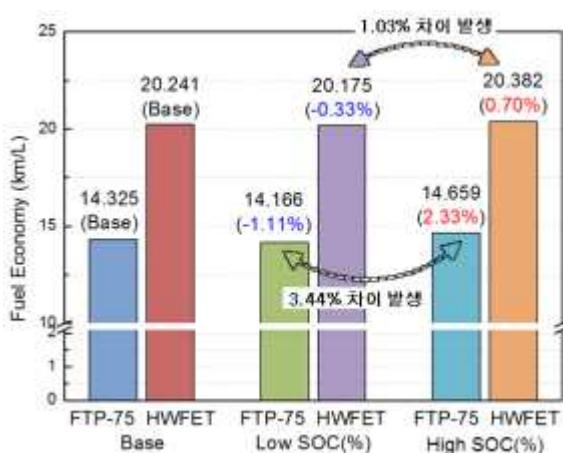
앞서 시험한 Base condition 에너지소비효율 측정 결과에서 중요한 변수로 볼 수 있는 SOC(%) 기준과 Alternator 작동 여부를 관찰하기 위하여 Low SOC 및 High SOC(Alternator saving) 조건에 대한 FTP-75 및 HWFET 실차 연비측정 시험을 수행함.

[표 65] Low SOC(%) & High SOC(%) condition에 대한 시험결과

시험 조건	주행 모드	초기 배터리 (V)		SOC Current		Δ SOC	시험실 온도(°C)	엔진오일 온도(°C)	냉각수 온도(°C)		연비 (km/L)	평균연비 (km/L)		
		OBD	측정	시작	종료				측정	OBD	측정	FTP-75	HWFET	
Low SOC (%) 2-1	FTP-75	-	12.5	-	-	-	24.52	25.41	25.5	-	25.1	14.148	14.166	20.175
	HWFET	-	-	-	-	-	24.35	25.61	-	-	-	20.123		
Low SOC (%) 2-2	FTP-75	12.32	12.5	88.39	89.74	1.35	24.19	24.96	25.3	26	25.1	14.184	Base	Base
	HWFET	12.48	-	89.45	89.91	0.46	24.35	25.83	-	78	-	20.226		
High SOC (%) 3-1	FTP-75	12.32	12.7	97.47	90.26	-7.21	24.23	25.14	26.2	27	25.4	14.524	14.659	20.382
	HWFET	12.32	-	89.91	90.25	0.34	24.18	25.52	-	79	-	20.375		
High SOC (%) 3-2	FTP-75	12.48	12.5	99.41	90.42	-8.99	24.92	25.48	25.0	26	24.5	14.794	Base	Base
	HWFET	12.32	-	90.30	90.38	0.08	25.06	25.12	-	85	-	20.389		

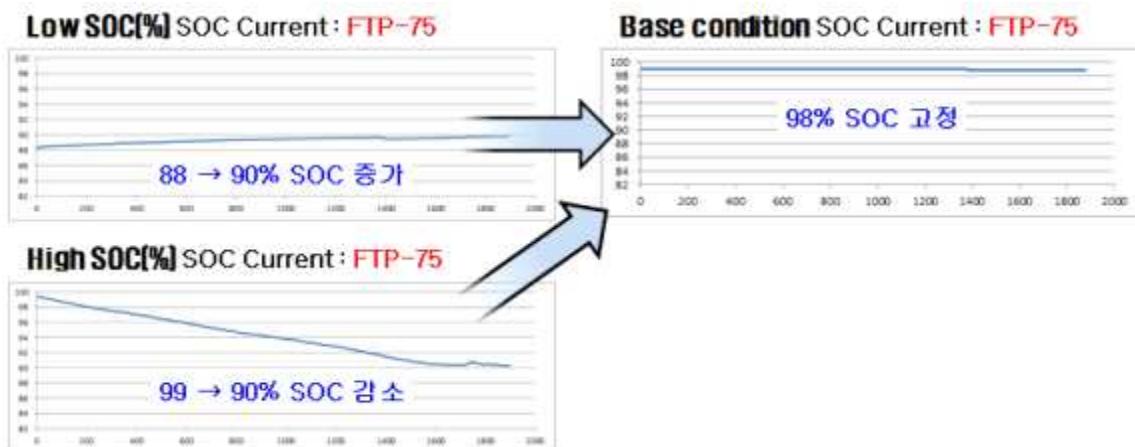
차량의 SOC를 조절해 가며 시험을 진행하였고 2회 평균 측정연비를 분석한 결과 Low SOC(%) 조건에서는 Base 대비 FTP-75에서는 약 -1.11 % 연비감소 그리고 HWFET에서는 약 -1.33 %의 연비감소가 나타남.

High SOC(%) 조건에서 에너지소비효율 측정결과 Base 대비 FTP-75에서 약 2.33 %의 연비증가, HWFET에서 약 0.70 %의 연비가 증가하였고, FTP-75 주행모드 시험 시 High SOC(%) 조건이 Low SOC(%) 조건보다 연비에 대한 증가 폭이 매우 커으나 HWFET 주행모드에서는 큰 변화가 나타나지 않았음.

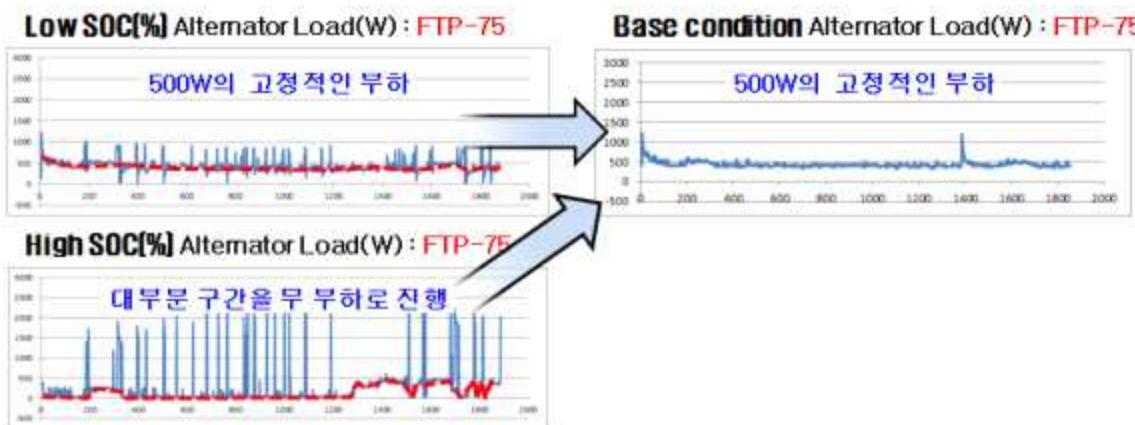


[그림 176] Low SOC(%) 및 High SOC(%)의 연비 영향도 평가

연비 변화가 크게 나타난 FTP-75 주행모드의 원인 파악을 위하여, 차량 내 OBD 데이터를 실시간으로 측정하여 이를 아래의 그래프로 나타냄.



[그림 177] 배터리 충전상태에 따른 SOC(%) OBD 실시간 데이터



[그림 178] 배터리 충전상태에 따른 Alternator 작동 OBD 실시간 데이터

차량내 OBD 실시간 데이터를 분석한 결과 High SOC(%) 조건의 SOC Current는 $99 \rightarrow 90\%$ 로 큰 변화가 나타났고, Phase 1, 2에서는 Alternator가 작동하지 않다가 Phase 3 후반부에서 부하가 증가하여 Phase 3 부터 SOC가 유지됨을 확인함.

상기의 결과로 인하여 차량 에너지소비효율을 측정함에 있어 Alternator의 작동여부가 매우 큰 변수임을 확인하였고, 시험의 영향을 줄이기 위해서는 Alternator가 상시적으로 작동하는 조건을 맞추어 시험을 진행할 필요가 있음.

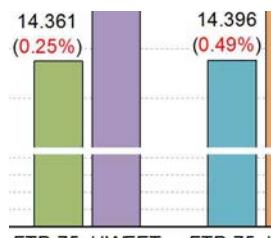
(다) High/Low Fan condition

국내의 공동고시는 실차 시험에서 차량 앞 30.5 cm(12 in)에 차량냉각을 위한 풍량팬을 설치하게 되어 있는데 이에 대한 영향도 분석을 위하여 High Fan 조건과 Low Fan 조건으로 나누어 시험을 진행함.

[표 66] High/Low Fan condition에 대한 시험결과

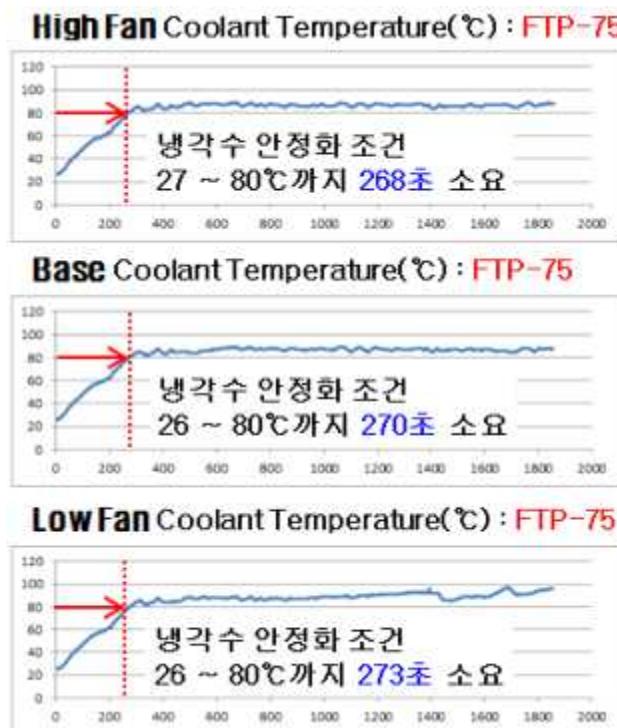
시험 조건	주행 모드	초기 배터리 (V)		SOC Current		Δ SOC	시험실 온도(°C)		엔진오일 온도(°C)	냉각수 온도(°C)		연비 (km/L)	평균연비 (km/L)	
		OBD	측정	시작	종료		OBD	시작	종료	측정	OBD	측정	FTP-75	HWFET
High Fan 4-1 (2.5m ³ /s)	FTP-75	-	12.8	-	-	-	24.70	25.35	26.2	-	25.0	14.426	14.361	20.369
	HWFET	-	-	-	-	-	25.57	25.27	-	-	-	20.425		
High Fan 4-2 (2.5m ³ /s)	FTP-75	12.40	12.8	99.24	98.99	-0.25	25.39	24.33	26.2	27	25.7	14.295	Base 대비 0.25 %	Base 대비 0.63 %
	HWFET	12.56	-	98.80	98.76	-0.04	24.12	25.06	-	84	-	20.312		
Low Fan 5-1 (1.0m ³ /s)	FTP-75	-	12.7	-	-	-	24.70	24.89	26.3	-	25.7	14.387	14.396	20.371
	HWFET	-	-	-	-	-	24.67	25.14	-	-	-	20.336		
Low Fan 5-2 (1.0m ³ /s)	FTP-75	12.32	12.7	98.70	98.99	0.29	24.28	25.35	25.1	26	24.9	14.404	Base 대비 0.49 %	Base 대비 0.64 %
	HWFET	12.48	-	98.88	99.00	0.12	24.17	24.94	-	91	-	20.405		

공동고시에서는 정속냉각팬을 사용할 경우 팬 용량은 $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ 를 넘지 않아야 한다는 규정이 있고, 이 규정을 만족하며 풍량팬의 연비 영향도 비교 분석을 진행하기 위하여 High Fan($2.5 \text{ m}^3/\text{s}$) 그리고 Low Fan($1.0 \text{ m}^3/\text{s}$) 기준을 설정함.

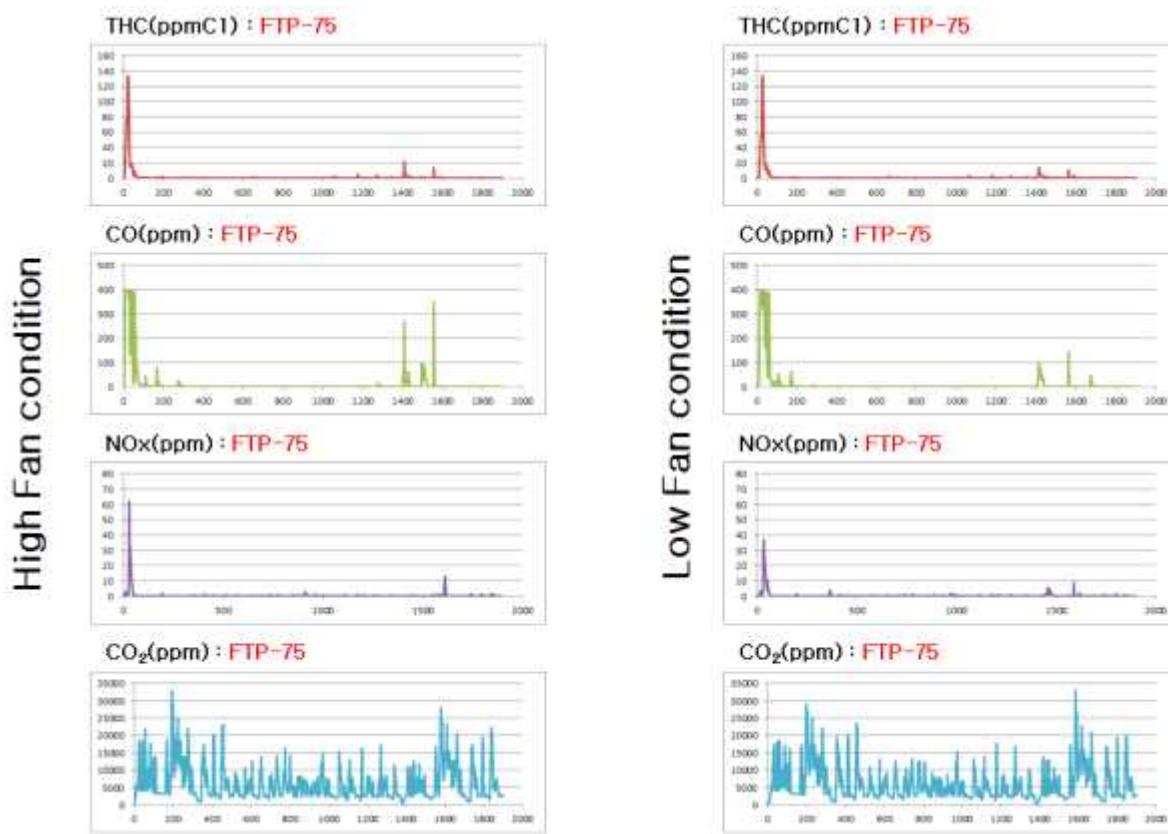


[그림 179] High Fan 및 Low Fan의 연비
영향도 평가

모든 조건에서 평균연비의 증가폭이 매우 낮은 수준이여서 전체적으로 Base condition 대비 유사한 수준이고, 차속비례형 및 고정형 풍량팬 냉각조건 변경 시험에서 냉각수가 80°C 까지 안정화 시간을 분석한 결과 270 ± 3 초로 유사한 수준으로 나타남.



[그림 180] High/Low Fan 냉각수 온도



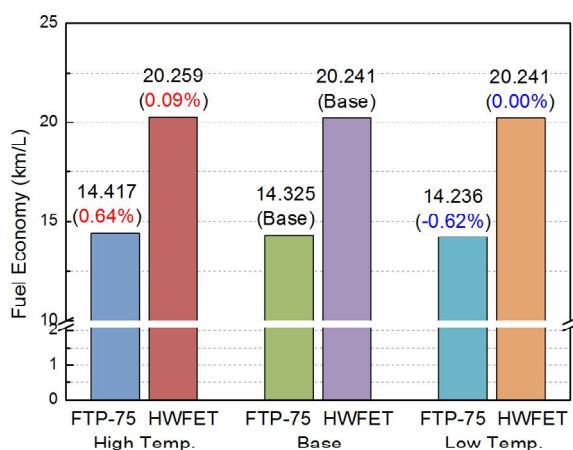
[그림 181] High/Low Fan condition의 실시간 배출가스 측정결과

(라) High/Low Temperature condition

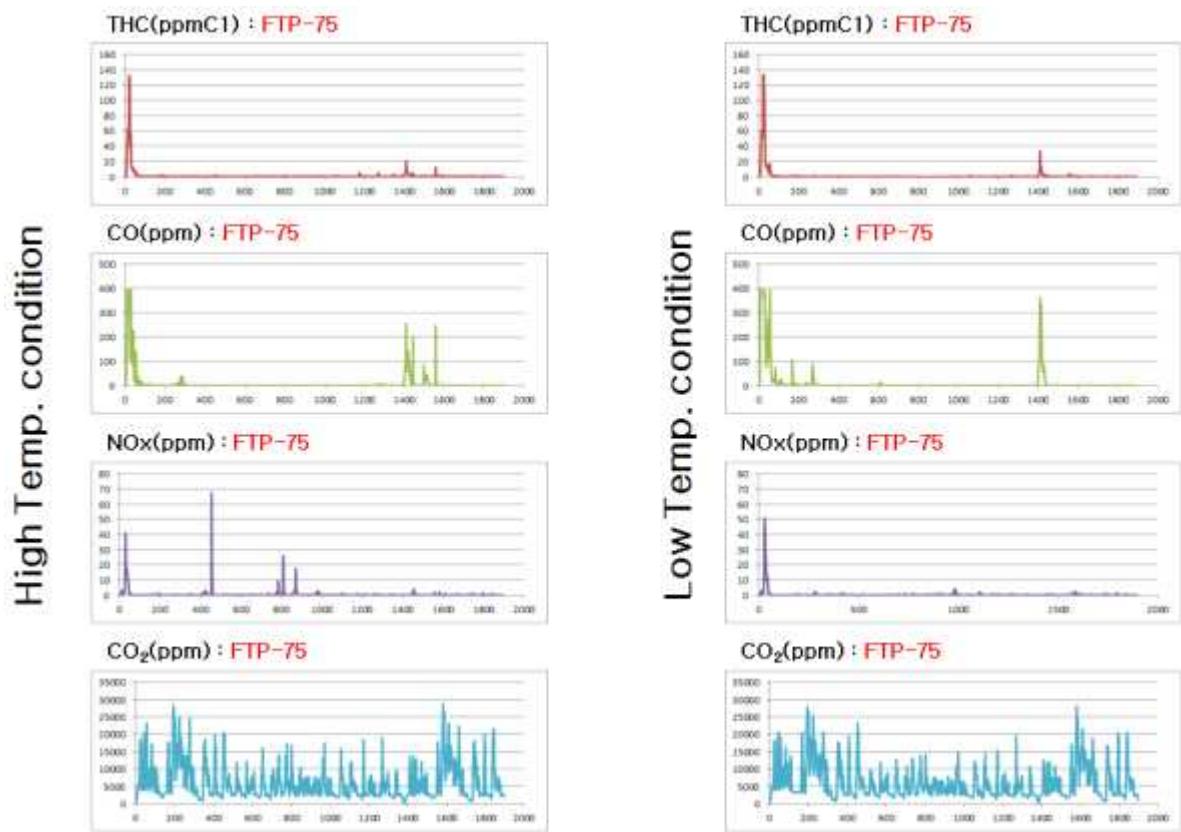
공동고시에는 시험이 진행되는 동안 시험실의 온도는 20 ~ 30 °C (68 ~ 86 °F)를 유지하여 한다고 명시되어 있기에, 시험실의 온도에 따라 실차 에너지소비효율 측정시험에 미치는 영향을 파악하기 위해 시험을 진행함. 고시 기준을 준용하면서 High Temperature(29 °C) 그리고 Low Temperature(21 °C)로 시험기준을 설정하여 표 6과 같이 시험 결과를 취득함.

[표 67] High/Low Temperature condition에 대한 시험결과

시험 조건	주행 모드	초기 배터리 (V)		SOC Current		Δ SOC	시험실 온도(°C)	엔진오일 온도(°C)	냉각수 온도(°C)	연비 (km/L)	평균연비 (km/L)	
		OBD	측정	시작	종료						FTP-75	HWFET
High Temp. 6-1 (29 °C)	FTP-75	-	12.6	-	-	-	28.72	28.53	30.0	-	29.2	14.453
	HWFET	-	-	-	-	-	29.38	28.49	-	-	20.279	14.417
High Temp. 6-2 (29 °C)	FTP-75	12.40	12.7	94.55	94.68	0.13	28.43	27.81	29.8	30	29.2	14.380
	HWFET	12.48	-	94.56	94.64	0.08	28.38	28.24	-	85	-	20.238
High Temp. 7-1 (21 °C)	FTP-75	12.32	12.7	99.00	99.00	0.00	20.83	20.80	20.8	21	20.4	14.214
	HWFET	14.00	-	98.89	98.85	-0.04	21.85	22.47	-	83	-	20.206
High Temp. 7-2 (21 °C)	FTP-75	-	12.6	-	-	-	21.14	21.10	20.9	-	20.6	14.257
	HWFET	-	-	-	-	-	21.55	20.54	-	-	-	20.275

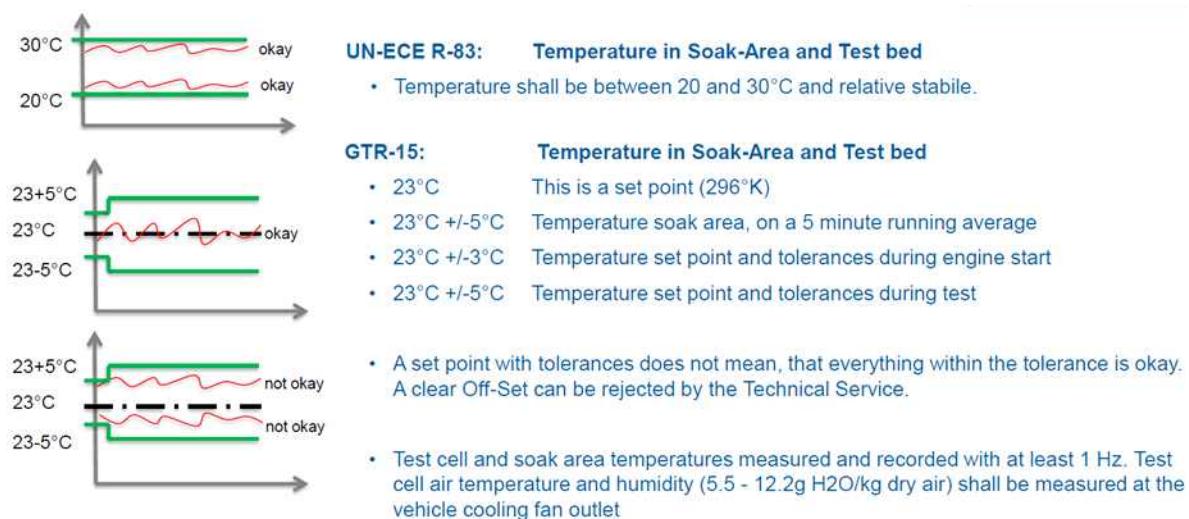


[그림 182] High/Low Temp.의 연비 영향도 평가



[그림 183] High/Low Temperature condition의 실시간 배출가스 측정결과

시험 결과 FTP-75 연비의 경우 Hot 조건에서 연비 상승과 Cold 조건에서 연비 하강이 나타남. 가솔린 차량의 초반 warm-up의 차이로 Hot/Cold 조건에서 최대편차 1.26 %의 연비 차이가 발생 함. Low Temp. 조건에서 냉각수 안정화에 도달되기까지 293 초가 소요됐으며, HWFET 조건은 이미 차량이 열간 상태로 시험이 진행되기 때문에 시험실 온도에 대한 연비 영향도는 Base 대비 약 0.09%로 매우 낮았음.



Note: GTR-15 defines temperatures in °K (296°K +/- 5), here it is shown in °C without decimal places, for a better understanding and in mind keeping.

[그림 184] WLTP 모드의 시험실 및 Soaking 온도조건

(마) 36h Soaking condition

차량을 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 의 온도조건에서 대기하는 조건인 Soaking 시간에 관하여 공동고시는 예비주행이 완료된 후 5분 이내에 자동차를 동력계에서 분리한 후 주차실(Soaking room)로 옮겨 주차한 뒤, 주차시간은 휘발유 및 가스자동차는 12~36시간이고, 경유자동차는 12시간 이상으로 규정하고 있음.

가솔린차량 시험 기준에 맞추어 Base 상태의 12h soaking 조건과 36h soaking 조건을 비교하였고, 그 결과를 다음 표 7에 명시함.

[표 68] 36 hour Soaking condition에 대한 시험결과

시험 조건	주행 모드	초기 배터리 (V)		SOC Current		Δ SOC	시험실 온도(°C)		엔진오일 온도(°C)	냉각수 온도(°C)		연비 (km/L)	평균연비 (km/L)
		OBD	측정	시작	종료		시작	종료		측정	OBD	측정	
Base 2회 평균	FTP -75	12.32	12.6	98.64	98.82	0.18	25.14	24.41	25.5	26	25.0	14.325	
36h soaking	FTP -75	12.24	12.6	92.11	92.76	0.65	24.31	24.61	24.9	25	24.9	14.213	Base 대비 -0.78 %

12h 보다 36h Soaking 조건은 보다 오랜 시간 차량 냉각이 유지되었고, 이에 따라서 FTP-75 주행 초반에 연비가 하강되는 경향이 나타남. Base 대비 36h Soaking 조건에서 냉각수 안정화에 오랜 시간이 소요되며, 냉각수 외 엔진 구동에 필요한 부속기기의 warm-up이 늦어져서 Phase 1의 연비가 차이가 많이 나는 것을 확인함. 하지만 Base 대비 약 2배 이상의 soaking 시간이 경과되었음에도 최종 연비결과차이는 1% 미만으로 나타나는 것을 확인할 수 있었음.



[그림 185] Base 12h & 36h Soaking의 연비 영향도 평가

(바) Driving trace condition

미국 자동차공학회에서 SAE J2951 “SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE”의 기준에 따라서 EER, ASCR, RMSSE, IWR 분석을 자료 조사하였고, 이를 위하여 Standard/Hard/Soft 세 가지 주행을 통하여 주행 추종성에 대한 분석을 수행함.

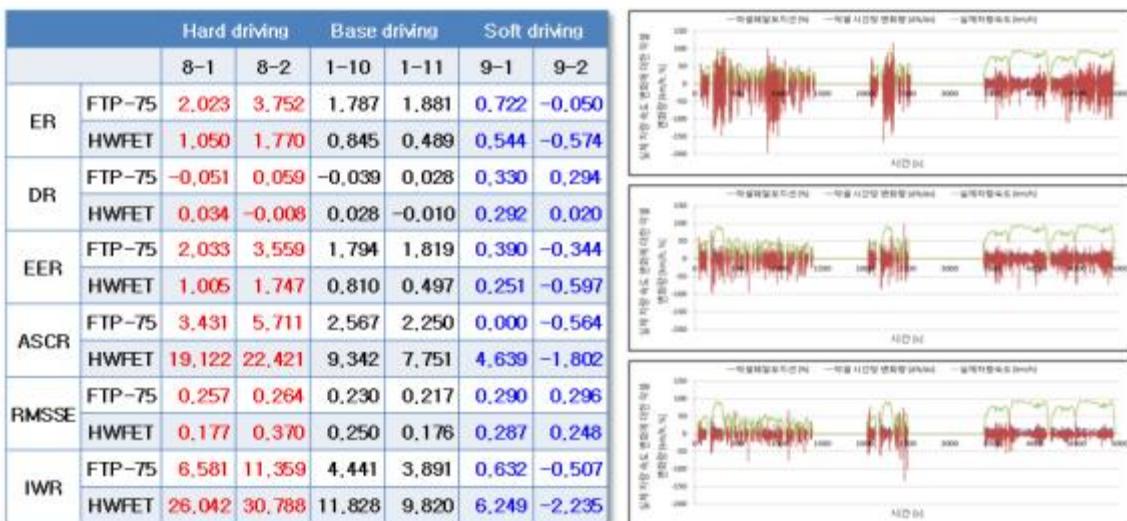
Standard 조건을 재시험을 통해 다시 설정하고 운전속도 추종성 비교시험을 실시. Standard 조건과 FTP-75, HWFET 연비결과를 비교하였을 때 Hard driving 주행은 각각 -1.8%, -0.7% 연비의 감소가 나타났고, Soft driving 조건에서는 3.4%, 1.9%의 연비 상승이 나타남. Hard driving 조

건과 Soft Driving 조건의 연비차이는 최대 약 5.2%로 비교적 큰 차이를 보임.

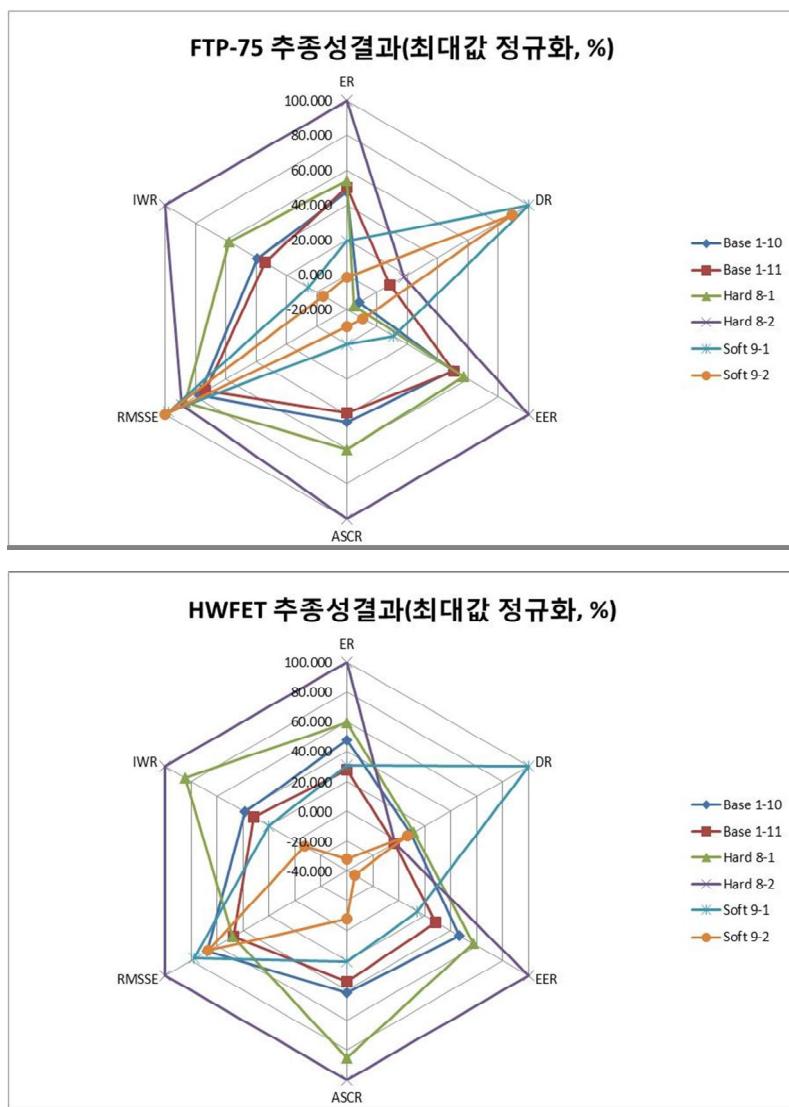
[표 69] High/Low Temperature condition에 대한 시험결과

시험 조건	주행 모드	초기 배터리 (V)		SOC Current		Δ SOC	시험실 온도(°C)		엔진오일 온도(°C)	냉각수 온도(°C)		연비 (km/L)	평균연비 (km/L)	
		OBD	측정	시작	종료		OBD	시작	종료	측정	OBD	측정	FTP-75	HWFE T
Standard driving 1-10	FTP -75	-	12.4	-	-	-	-	-	24.3	-	24.3	14.153	14.183	19.903
	HW FET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.909		
Standard driving 1-10	FTP -75	-	12.4	-	-	-	-	-	24.2	-	24.2	14.212	19.897	
	HW FET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.897		
Hard driving 8-1	FTP -75	-	12.4	-	-	-	-	-	26.3	-	26.1	14.038	13.923	19.763
	HW FET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.879	Base	Base
Hard driving 8-1	FTP -75	-	12.3	-	-	-	-	-	24.8	-	24.9	13.807	대비 -1.83 %	대비 -0.71 %
	HW FET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19.646	Base	Base
Soft driving 9-1	FTP -75	-	12.6	-	-	-	-	-	25.4	-	25.2	14.625	14.662	20.279
	HW FET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.144		
Soft driving 9-2	FTP -75	-	12.6	-	-	-	-	-	25.5	-	25.6	14.699	대비 3.38 %	대비 1.89 %
	HW FET	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	20.414	Base	Base

10Hz로 측정한 OBD data로부터 EER, ASCR, IWR 등의 분석을 통하여 Hard조건과 Soft 조건의 주행 차이를 비교함. FTP-75 주행모드는 가감의 편차가 크기 때문에 높은 EER 편차와 연비 차이가 나타남.



[그림 186] Standard/Hard/Soft driving의 주행 추종성 평가



[그림 187] Standard/Hard/Soft driving의 DQE(Drive Quality Evaluation) 평가 결과

(2) 디젤 시험

(가) Low SOC & High SOC(Alternator saving) condition

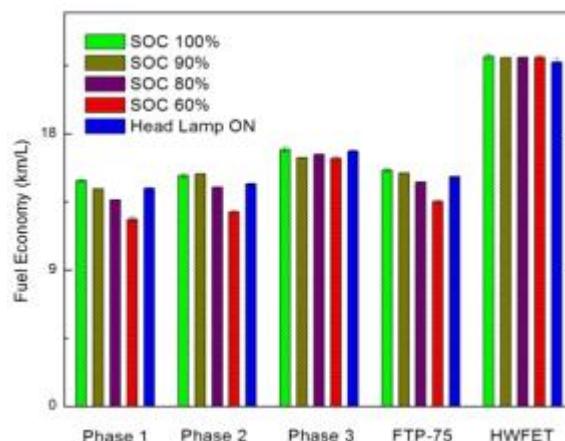
FTP-75 모드 시작 전 SOC 조건에 따라 연비 변화가 큼. FTP-75 모드에서 SOC 100 조건 대비 1.2%(SOC 90%), 5.0%(SOC 80%), 13.2%(SOC 60%) 차이가 있음. 강제 방전 조건은 배터리 충전을 위한 소모전력이 발전기의 부하로 작용한 것으로 판단됨. 강제방전 조건에서 발전된 전류는 대부분 배터리 충전에 사용됨. SOC 100, 90% 조건에서는 배터리에 저장된 에너지를 일부 사용함.

FTP-75 모드에서 배터리가 충전됨에 따라 HWFET 모드는 동등수준으로 나타남. (완전충전 대비 H/L ON은 1.5% 감소함) 강제방전 조건에서 고속 연비가 동등 수준을 나타내는 것은 FTP-75 및 예열 HWFET 구간에서 배터리가 충전되어 발전기의 발전량이 동등수준으로 유지되기 때문으로 판단됨.

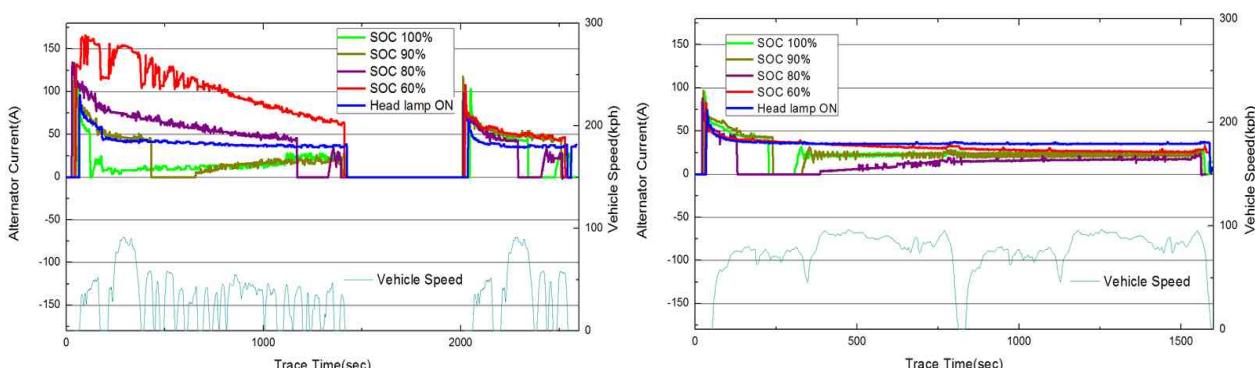
[표 70] 초기 배터리 SOC에 따른 연비 영향도

단위: %

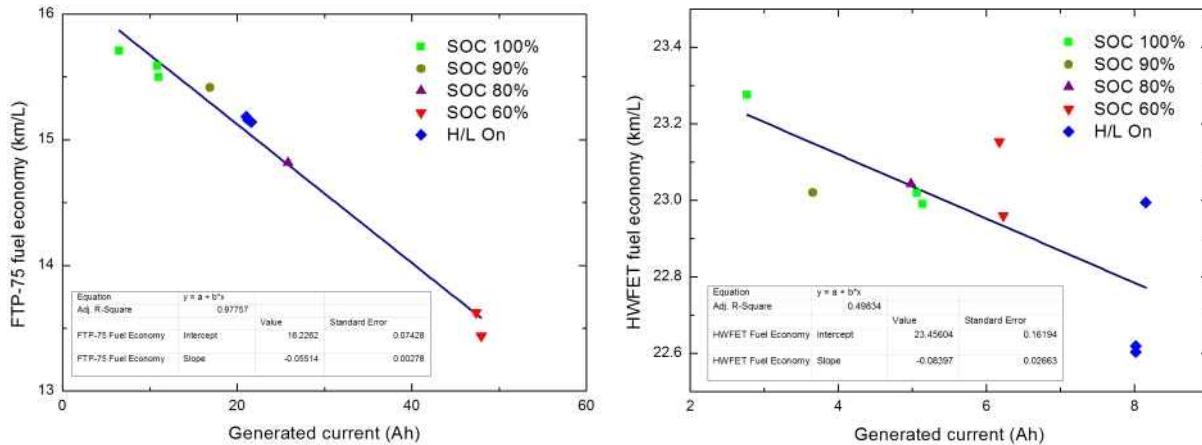
Mode	SOC 100 vs 90	SOC 100 vs 80	SOC 100 vs 60	SOC 100 vs H/L on
Phase 1	-3.5	-8.4	-17.1	-3.5
Phase 2	0.8	-5.0	-15.7	-3.5
Phase 3	-3.2	-2.0	-3.5	-0.6
FTP-75	-1.2	-5.0	-13.2	-2.8
HWFET	0.2	-1.0	0.0	-1.5



[그림 188] 초기 배터리 SOC에 따른 연비 결과



[그림 189] FTP-75(좌) 및 HWFET(우) 모드 시험 중 발전기 발전전류



[그림 190] FTP-75(좌) 및 HWFET(우) 모드 시험의 발전량과 연비의 상관관계

배터리 상태에 대한 연비영향도가 분명함에도 불구하고 협행 시험방법은 배터리 충·방전에 대한 규정이 모호한 상태임. 협행 시험방법은 예열주행(80kph, 30분이상)을 마치고 Coast down을 수행도록 하고 있으며 본 시험 전 예비주행(Preconditioning)을 마친 후 12시간~32시간 동안 Soaking 후 본 시험에 임하도록 되어있음. 이 시험방법을 연속적으로 따른다면 배터리 충전상태가 연비에 미치는 영향은 작을 수 있음. 이는 차량 최초 입고상태의 배터리 충전량이 불량하더라고 본 시험 전 예열주행 및 Coast down, 예비주행(약 1시간~1.5시간 소요)에서 충분히 충전될 수 있다는 가정 하에 유효함. 만약 예열주행 및 Coast down을 D-3일에 실시하고 예비주행을 D-1일에 수행 후 D일에 본 시험을 수행하는 경우 이 시험은 시험법에 적합하나 배터리 충전상태는 연속적으로 시험을 수행하는 경우와 다를 수 있음. 또한, 시험자 또는 의뢰자가 인지하지 못하는 전기에너지의 이상적 소모가 Soaking 기간 중 발생하는 경우에도 배터리 충전상태가 낮아지게 되어 연비에 영향을 미칠 수 있음. 즉, 배터리 충전상태에 대한 관리를 위한 구체적 방법이 시험법에 포함되어야 함.

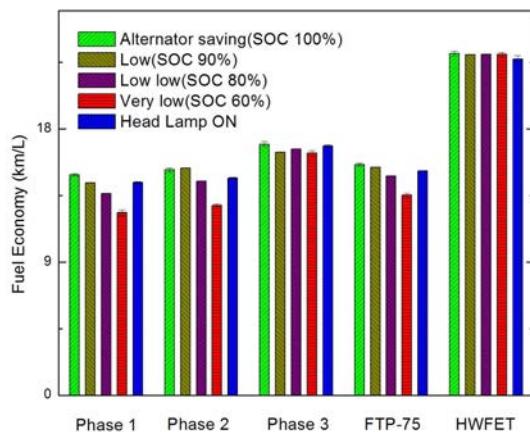
추가적으로 현재 차량은 발전제어라는 기능을 적용하고 있음. 발전제어의 개념은 차량이 소모하는 전기에너지의 출처를 능동적으로 선택하는 것임. 발전제어 기능이 없는 차량은 배터리 충전상태와 상관없이 주행 중 차량이 소모하는 전기에너지를 발전기에서 생산하기 때문에 연비시험 중 발전기가 지속적으로 가동됨. 그러나 발전제어가 적용된 차량은 배터리 충전상태가 적정 수준 이상인 경우 발전기를 사용하지 않고 배터리에 충전된 에너지를 사용하여 엔진에 부하를 낮추는 방법으로 연료소모량을 감소시킴. 또한 더 발전된 형태의 발전제어는 회생제동의 개념으로 차량 감속 시 발전기의 발전량을 늘리는 방법으로 배터리를 충전하는 방법으로 연료소모량을 감소시킴.

발전제어가 적용된 차량을 대상으로 연비시험을 수행할 때 배터리의 충전상태가 양호한 경우 발전제어의 로직에 따라 연비는 향상됐고, 반면 발전제어 적용의 여부에 상관없이 배터리 충전상태가 불량한 경우 연비는 악화됨.

본 절에서는 협행 시험방법에 구체적으로 제시되지 않은 배터리 충전상태 관리방법에 대한 구체적 방안을 제시하기 위하여 본 시험 전 배터리 충전상태(SOC)를 임의적으로 조절(100% 및 90%, 80%, 60%)하여 연비시험을 실시함. 또한 발전제어의 영향을 평가하기 위하여 발전제어가 적용되지 않는 조건인 전조등 가동(H/L on) 조건의 연비시험도 수행함.

[그림 191]과 [표 71]은 연비시험결과와 영향도를 나타냄. FTP-75 모드에서 배터리 충전상태가 높을수록 연비는 높게 나타났으며(SOC 100>SOC 90>SOC 80>SOC 60) 완전충전(SOC 100%) 대

비 충전상태(SOC 90 및 80, 60%)가 낮을수록 1.2%, 5.0%, 13.2%의 연비가 하락됨. 반면, HWFET 모드에서는 SOC 90>SOC 100>SOC 60>SOC 80 순으로 높게 나타났으며 초기 SOC에 따른 경향은 나타나지 않았고 큰 차이를 나타내지 않음. 그리고 H/L On 시험조건의 연비는 FTP-75 모드에서 완전충전 조건대비 2.8%의 연비가 하락되었으며 HWFET 모드에서는 1.5%의 연비가 하락됨.



[그림 191] 초기 배터리 SOC에 따른 연비결과

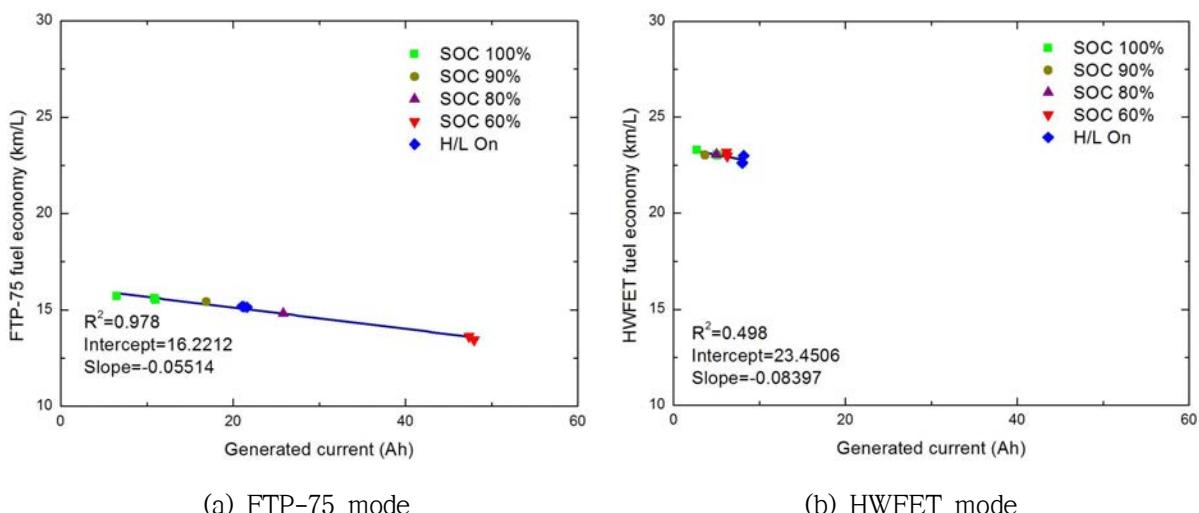
[표 71] 초기 배터리 SOC에 따른 연비 영향도

단위: %

Mode	SOC 100 vs 90	SOC 100 vs 80	SOC 100 vs 60	SOC 100 vs H/L on
Phase 1	-3.5	-8.4	-17.1	-3.5
Phase 2	0.8	-5.0	-15.7	-3.5
Phase 3	-3.2	-2.0	-3.5	-0.6
FTP-75	-1.2	-5.0	-13.2	-2.8
HWFET	0.2	-1.0	0.0	-1.5

[그림 192]는 각 시험별 연비결과와 발전기 생산 전류량을 선형회귀분석과 함께 도시함. FTP-75 모드에서 각 시험별 연비결과는 발전기가 생산한 전류량과 반비례하였으며 결정계수는 0.98로 매우 양호하여 발전기 부하정도는 FTP-75 연비에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 판단됨.

그러나 HWFET 모드의 결과는 반비례 경향이 나타나지 않았으며 결정계수는 0.50로 나타남. FTP-75 및 HWFET 모드의 예열구간에서 배터리의 충전상태가 차량에 세팅된 목표 SOC에 도달되어 HWFET 모드 연비에는 거의 영향을 주지 않은 것으로 판단됨. 단, 위 결과는 고속도로 주행을 모사한 HWFET 모드의 시험방법에 따라 FTP-75 모드 및 예열모드를 포함하는 원인에 기인한 것으로, 실제 고속도로 운전에서 SOC 상태가 연비에 영향을 미치지 않음을 의미하지는 않음.



[그림 192] 연비결과와 발전기 생산전류량 관계

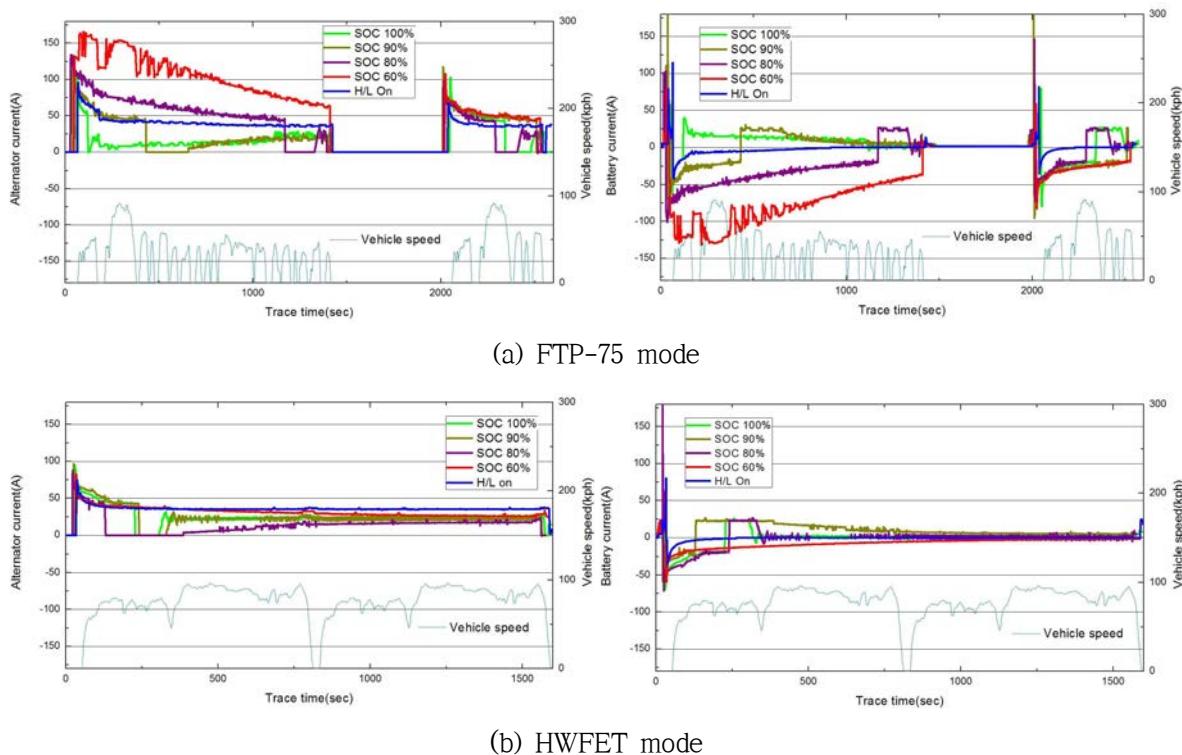
[그림 192]의 좌측은 각 조건의 대표 시험에서 획득된 실시간 발전기 생산전류량을 나타냄. FTP-75 모드에서 SOC 상태가 낮을수록 발전기가 생산하는 전류의 양은 높았으며 발전제어로 발전기 전류가 0A가 되는 구간이 나타난 SOC 상태는 100, 90, 80% 이었으며 60%에서는 나타나지 않음. HWFET 모드에서도 발전제어구간이 동일한 시험조건에서 나타났으나 예열주행 구간에서 나타났으며 본 시험 구간에서는 나타나지 않았고 본 시험에서 소모전류는 25A 내외로 일정하게 나타났으며 정량적 순서는 초기 SOC와 비례하지 않음.

[그림 192]의 우측은 각 조건의 대표 시험에서 획득된 실시간 배터리 충·방전량을 나타내고 있음. 배터리 충·방전 전류에서도 발전제어 구간을 동일한 시점에서 확인할 수 있으며 발전제어 구간에서 측정전류량이 양의 값(배터리 에너지를 사용하는)으로 나타남을 확인할 수 있고 SOC 100% 조건에서는 FTP-75 모드 시작 후 약 140초 이후부터 발전기의 에너지와 배터리 에너지를 동시에 사용하고 있음을 알 수 있음. HWFET 모드의 본 시험구간에서 배터리 충·방전량이 0A에 가깝게 나타나는 것은 본 시험모드에서 발전제어가 이루어지 않은 것을 시사함.

H/L On 조건에서는 H/L의 전기부하로 인하여 FTP-75 및 HWFET 모드 전반에 걸쳐 40A 수준의 일정한 전류를 소모하고 있으며 FTP-75 모드에서는 타 조건의 발전제어가 나타난 구간보다 높고 HWFET 모드에서는 다소 높게 나타남. 배터리 충·방전량 역시 0A에 가깝게 나타나는 것을 확인할 수 있음.

[표 72]는 각 모드에서 발전기가 생산한 전류의 적산량과 배터리에 충·방전된 전류의 적산량을 나타내고 있음. 시험 시작 전 SOC가 낮을수록 발전기 생산 전류적산량은 높고 배터리 방전 적산량이 낮은 것은 발전제어의 특성을 보여줌. 그리고 발전기 생산 전류량에서 배터리 충전 전류량의 차는 SOC가 낮아질수록 높게 나타남에 따라 SOC가 낮을수록 발전기와 배터리 사이에서 에너지 손실이 발생되는 것으로 판단됨. 발전제어가 FTP-75 모드에서만 관측됨에 따라 발전제어에 따른 연비향상 효과는 HWFET 모드에서는 없는 것으로 판단되며, FTP-75 모드의 특성상 초기 완전 충전이 이루어질 수 없고 완전 충전 시 예비주행 후 SOC가 95% 수준이며 Soaking 기간 중 소모되는 전류를 고려한다면 시험 시작 전 SOC는 약 90% 수준으로 판단됨. SOC 90%의 발전기 생산전류량은 16.9Ah이고 배터리 에너지 사용량은 3.8Ah이므로 충·방전효율을 고려하지 않고 발전제어가 적용되지 않았을 때 발전기 생산전류 적산량은 약 20.7Ah로 추정됨. 이 부하를 [그림 192] (a)에서 나타난 선형회귀곡선에 대입하면 실제 정상적인 연비시험에서 발전제어에 의한 연비향상 효과는 1.4% 수준으로 판단됨. 단, 각 제작사의 차량의 발전제어는 서로 차이

를 가지고 있으므로 위 결과를 모든 차량에 일반화하여 적용하는 것은 불가능할 것으로 사료되나 위와 같이 일반차량에서도 연비시험 결과에 SOC와 발전제어가 미치는 영향이 주요하므로 현행 연비시험법에 시험초기 SOC에 대한 정의가 필요함을 시사.



[그림 193] 실시간 발전기 생산전류량(좌) 및 배터리 충·방전량(우)

[표 72] 발전기가 생산한 전류의 적산량과 배터리에 충·방전된 전류의 적산량

Integ. current(Ah)	Condition	SOC 100%	SOC 90%	SOC 80%	SOC 60%	H/L On
Alternator		9.461	16.878	25.820	47.655	21.301
Battery	charge	2.033	7.101	14.639	33.938	2.562
	discharge	6.895	3.847	2.594	0.590	1.418
Alternator - Battery charge		7.828	9.777	11.181	13.717	18.739

(나) High/Low Fan condition

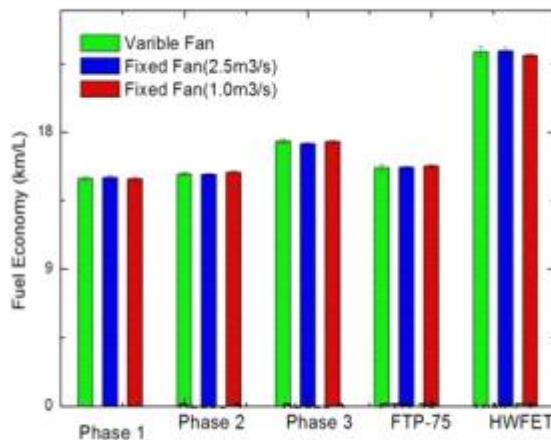
현행 시험방법 내 냉각팬 조건이 연비에 미치는 영향은 매우 낮음. 가변팬 사용 대비 고정팬(1.0m³/s) 사용 시 FTP-75 모드에서 영향은 매우 낮았으며, 가변팬 사용 대비 고정팬(1.0m³/s) 사용 시 HWFET 모드에서 1.0% 연비가 감소함. 고정팬(2.5m³/s) 사용 대비 고정팬(1.0m³/s) 사용 시 HWFET 모드에서 1.2% 연비가 감소함. HWFET 모드에서 연비하락의 원인은 라디에이터 팬 작동에 따른 전기부하로 판단됨. 영향도는 매우 낮으나 가변팬 사용시 작동하지 않은 라디에이터 팬이 고정팬 사용시 작동된 것으로 추정됨. 고정팬(2.5m³/s) 사용 대비 고정팬(1.0m³/s) 사용 시 라디에이터 팬 사용량이 증가함.

결론적으로 냉각팬 조건은 현행시험방법을 유지하는 것이 합리적인 것으로 판단되나 본 절에서 보인 풍량 감소에 따른 연비에 영향이 관측됨에 따라 고정 팬 사용 시 과도한 풍량 감소를 지양하고 냉각팬과 차량전면의 거리(30.5cm)를 꼭 준수하여야 함.

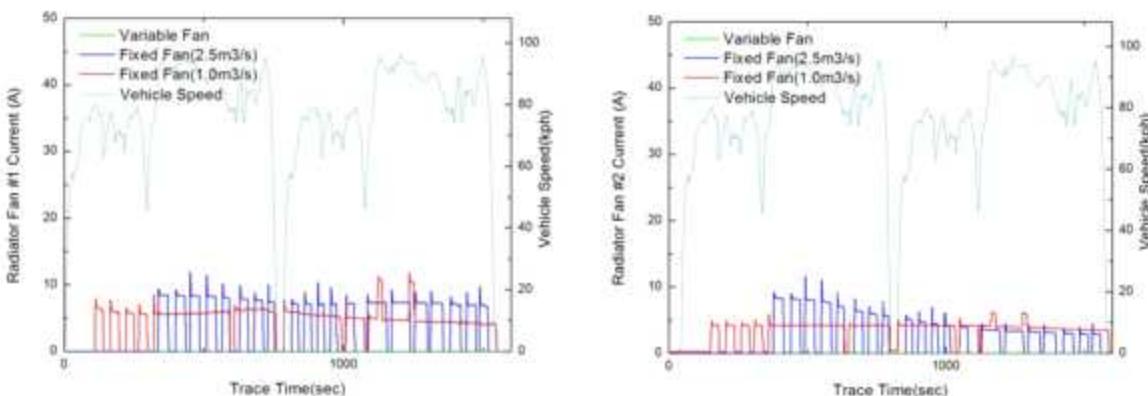
[표 73] 냉각팬 사용방식 따른 연비 영향도

단위: %

Mode	가변 vs 고정($2.5\text{m}^3/\text{s}$)	가변 vs 고정($1.0\text{m}^3/\text{s}$)	고정($2.5\text{m}^3/\text{s}$) vs 고정($1.0\text{m}^3/\text{s}$)
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



[그림 194] 냉각팬 사용방식 따른 연비결과

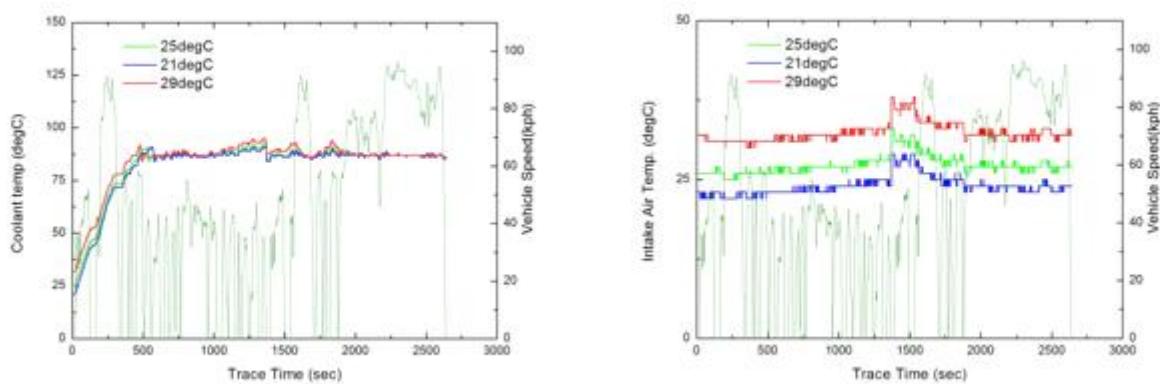


[그림 195] HWFET 모드에서 라이에이터 팬의 소모전류

(다) High/Low Temperature condition

현행 시험방법 허용범위 내 최대 연비차가 유의미한 것으로 나타남. 시험실 온도 25°C 시험조건 대비 21°C 조건에서 약 2%의 연비가 감소함. 반면에 25°C 시험조건 대비 29°C 조건에서 도심 약 1% 연비 증가 및 고속도로 약 1% 연비가 감소함. 온도 21°C 대비 29°C 연비는 도심 약 3%, 고속도로 약 1%의 증가함.

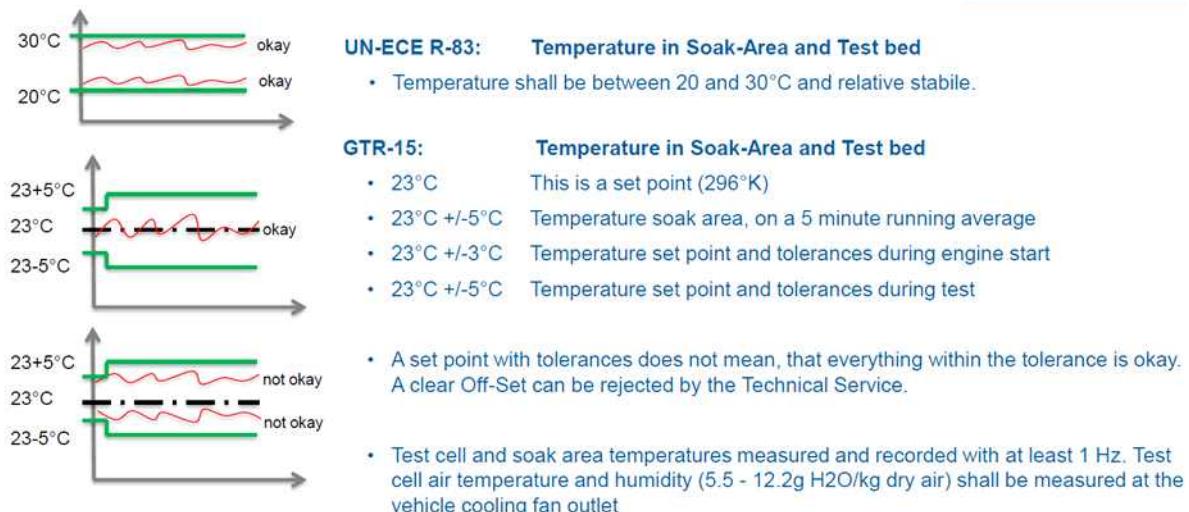
연비차의 원인은 Soaking 온도차 및 시험 온도 모두 영향을 준 것으로 판단됨. Soaking 온도에 따라 시험 중 냉각수 온도상승 추이가 변화함.(엔진예열 기간에 따른 영향) 시험실 온도에 따라 흡기온도가 변화함.(흡기효율에 따른 영향)



[그림 196] 시험 중 냉각수 온도(좌) 및 흡기온도(우) 변화

연비 국내 시험방법은 시험온도조건을 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 로 규정하고 있으며 차량의 엔진 및 동력전달계통의 온도가 일정수준에 도달할 수 있도록 주차(Soaking)시간을 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 온도조건에서 12시간 이상 32시간 이하(디젤 차량의 경우 12시간 이상)로 규정하고 있음. 그러나 현행 온도변화 허용 범위는 10°C 의 간격을 가지고 있어 이에 따른 영향은 명백히 존재함. 단 현행 온도범위 구간에서 최대-최소온도조건에서 시험 시 연비에 대한 영향도가 무시할 정도인지 확인이 필요하다는 문제가 존재함. 현행 시험온도조건은 미국 시험방법을 도입한 것으로써 미국시험방법 개발은 1975년에 완료되었고 국내 배출가스 시험방법으로 1987년 도입됨. 따라서 과거 시험방법 제정 당시 현행온도 범위에서 연비에 미치는 영향도가 낮다고 판단한 결과라고 추정가능하나 현재에도 이 범위가 유효한 것인지는 의문임.

더불어 일부 제작사들이 이 온도범위를 고의적으로 악용할 가능성이 있음. 예를 들어 자사의 차량이 25°C 온도조건 보다 21°C 조건이 유리하다고 판단되는 경우 Soaking은 30°C 에서 실시하여 엔진 및 동력전달계통의 마찰력을 시험법 범위 내에서 최소화하고 실제 시험은 21°C 에서 실시하여 흡기효율을 시험법 범위 내에서 최대화할 수 있음. 이러한 고의적 시험실온도 조건 제어를 방지하기 위하여 UN에서 추진하고 있는 WLTP 시험방법은 [그림 197]과 같이 현행 시험온도 조건을 보다 구체화하여 제시하고 있음.



Note: GTR-15 defines temperatures in $^{\circ}\text{K}$ ($296^{\circ}\text{K} +/- 5$), here it is shown in $^{\circ}\text{C}$ without decimal places, for a better understanding and in mind keeping.

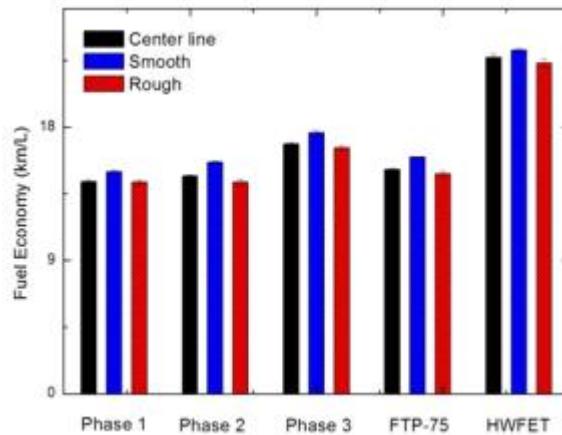
[그림 197] WLTP 모드의 시험실 및 Soaking 온도조건

(라) Driving trace condition

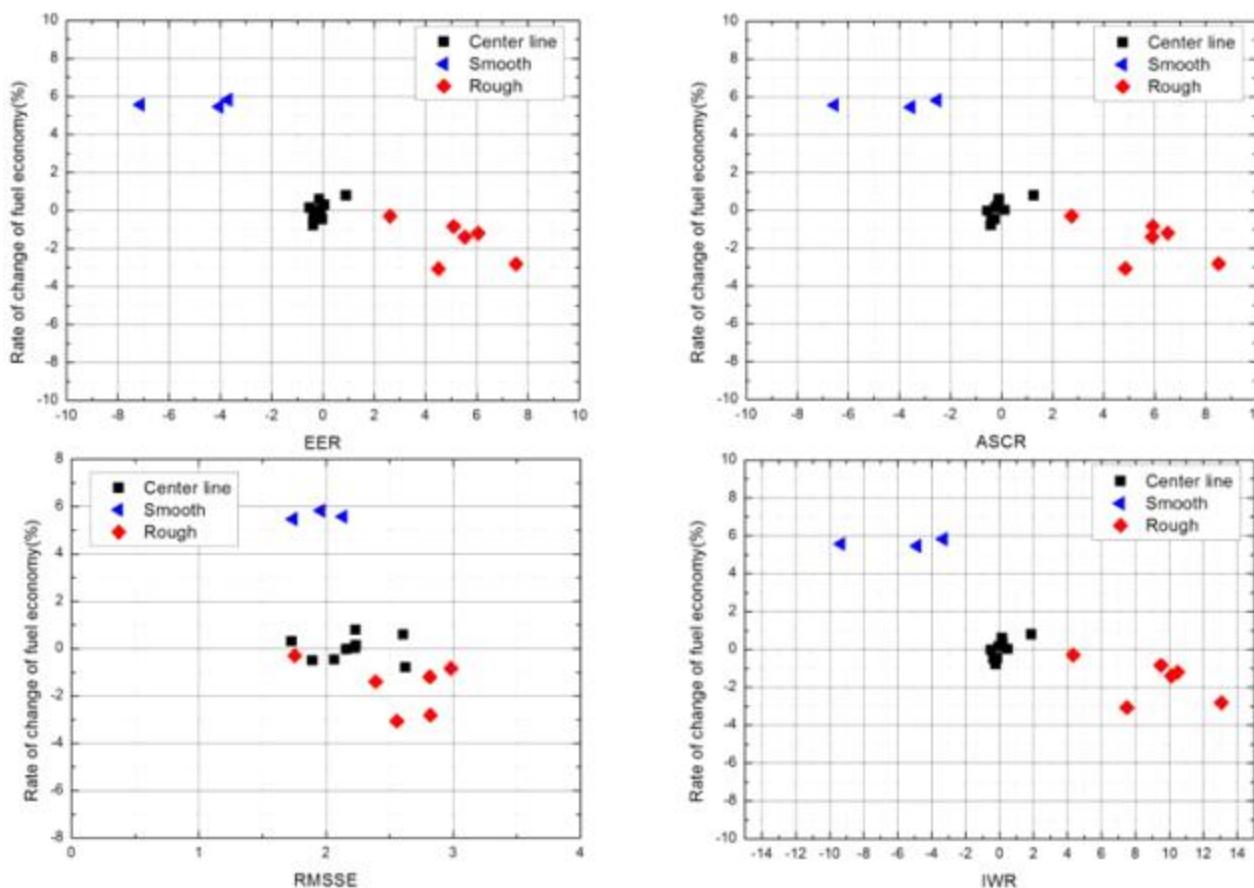
모드 추종성에 따라 큰 연비차이를 보임. 목표속도 추종시험(Base) 조건 대비 부드러운 운전조건(Smooth)에서 도심 평균 6%, 고속 평균 2%의 연비가 향상됨. Base 시험 조건 대비 Rough 조건에서 도심 평균 2%, 고속 평균 2% 연비가 감소하였고, Smooth 조건 대비 Rough 조건에서 도심 평균 7%, 고속도로 평균 4% 연비가 감소함. 시험차량의 경우 FTP-75 모드에서는 Smooth한 조건, HWFET 모드에서는 Rough한 조건이 상대적으로 높은 영향을 미치는 것으로 나타남. 추종성 지표 적용결과 의도적인 주행(부드러운/공격적인) 확연한 구분이 가능함. FTP-75모드에서 HWFET 모드보다 구분이 뚜렷함. 단, 차량의 패달응답성, 엔진배기량(출력) 대비 공차중량 등에 따라 경향은 다르게 나타날 것으로 판단됨.

[표 74] 모드 추종성에 따른 평균 연비 영향도

Mode	Base vs Smooth	Base vs Rough	Smooth vs Rough
Phase 1	4.7	-0.2	4.7
Phase 2	6.5	-2.8	-8.7
Phase 3	4.6	-1.4	-5.7
FTP-75	5.6	-1.9	-7.1
HWFET	2.3	-1.7	-3.9



[그림 198] 모드 추종성에 따른 평균 연비 결과



[그림 199] FTP-75 모드의 추종성 지표에 따른 연비 비교

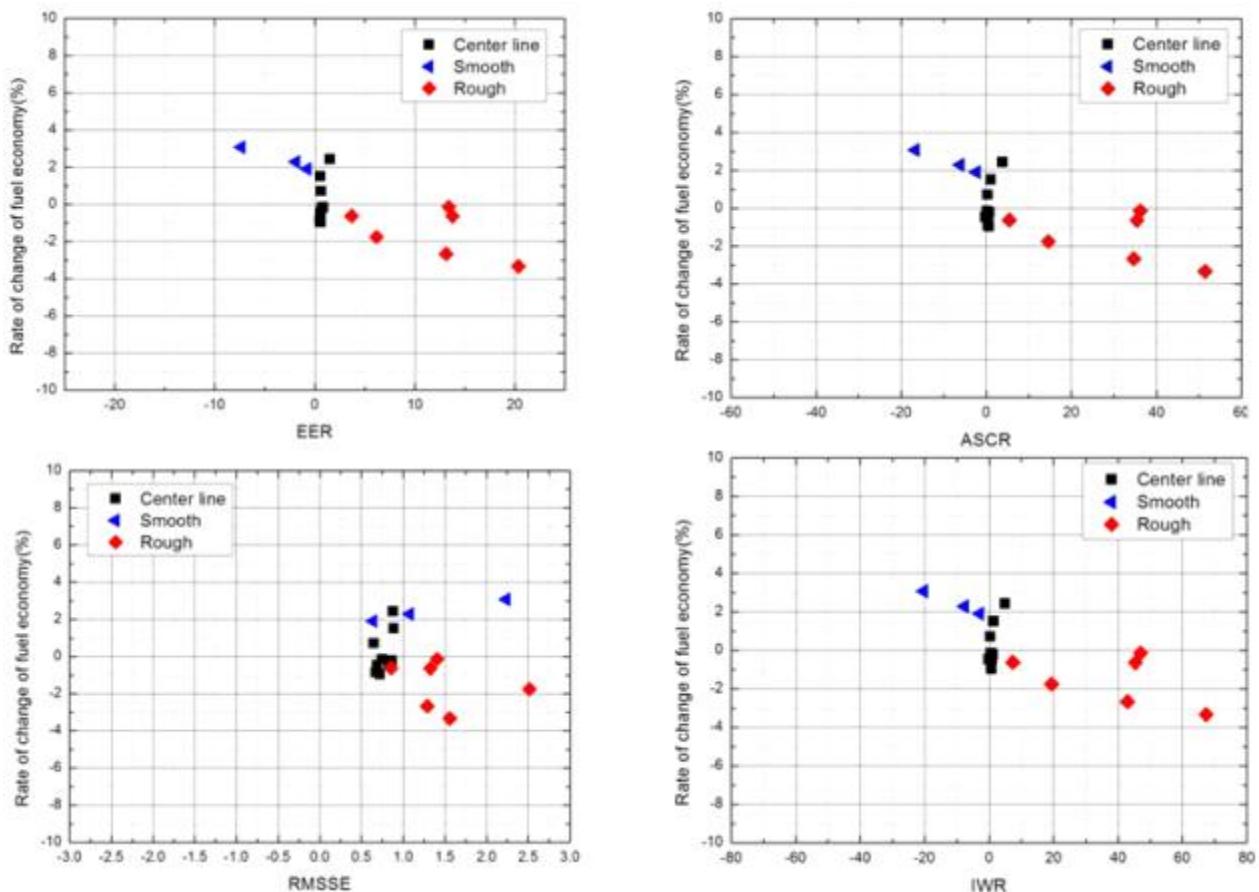
[그림 199]는 FTP-75 모드 Base 조건의 평균대비 각 시험의 연비시험결과의 변화율과 DQE Index 계산결과를 도표에 도시한 결과임. 목표속도를 추종한 Base 집단 결과는 EER 및 ASCR, RMSSE, IWR가 $\pm 0.8\%$ 및 $\pm 1.3\%$, 0.9mph, $\pm 1.9\%$ 수준으로 나타났으나 Soft 집단 결과는 $-5.7\sim-3.4\%$ 및 $-6.5\sim-2.5\%$, 1.32mph, $-9.3\sim-3.3\%$ 의 결과를 나타내었고 Hard 결과는 $1.6\sim5\%$ 및 $2.7\sim8.5\%$, 1.85mph, $4.3\sim13.1\%$ 의 결과를 나타냄. Base 집단의 연비차는 $\pm 1\%$ 로 나타나 매우 양호하였으나 Hard 집단 결과는 $0.3\sim3.1\%$ 연비 악화를 보였고 Soft 집단의 결과는 $5.5\sim5.8\%$ 향상된 것으로 나타남. FTP-75 모드의 경우 Hard 조건보다 Soft 조건에 연비영향의 연비차가 크게 나타남.

아래 시험결과에 따른 FTP-75 EER -Threshold는 $-3.0\sim-1.0$ 에 존재할 것으로 판단되며 +Threshold는 $+2.0\sim+3.0$ 에 존재할 것으로 판단되고, FTP-75 ASCR -Threshold는 $-2\sim-1$ 에 존재할 것으로 판단되며, +Threshold는 $+3\sim+5$ 에 존재할 것으로 판단되고, FTP-75 RMSSE Threshold는 $+0.9\sim+1.0$ 에 존재할 것으로 판단되고, FTP-75 IWR -Threshold는 $-3\sim-1$ 에 존재할 것으로 판단되며, +Threshold는 $+5\sim+7$ 에 존재할 것으로 판단됨.

Index별 선형도는 EER이 가장 높았으나 ASCR, EER, IWR은 유사한 경향을 보임. RMSSE는 Hard 및 Soft한 운전에서는 뚜렷이 구분되었으나 Soft의 운전의 경우 연비 영향도 대비 Hard 운전보다 뚜렷하지 못함.

Hard와 Soft 심볼에서 파란색은 $\pm 1\text{kph}$ 추종성 허용범위를 부여한 상태의 시험결과이며 붉은 색은 $\pm 2\text{kph}$ 추종성 허용범위를 부여한 상태의 시험결과임. Hard의 경우 파란색 심벌이 나타내는 연비변화율이 $-0.8\sim-2.8\%$ 에 분포하는 반면 붉은색 심벌은 $-0.3\sim-3.1\%$ 에 분포하고 있어 추종성 허용범위를 좁히는 것은 Hard한 추종성에 의한 연비편차를 줄이는데 다소 도움이 될 것으로 판단됨(단, 허용범위 축소 후 주행에도 불구하고 Hard 조건에서 DQE Index 편차가 축소 전보다

높은 현상이 발견됨에 따라 완벽한 방안은 아님). Soft의 경우 두 색의 심별이 동등한 연비변화율 수준에 분포하고 있어 연비편차를 줄일 수 없다고 판단되나 모집단이 Hard 만큼 충분하지 않기 때문에 단정하기 어려움.



[그림 200] HWFET 모드의 추종성 지표에 따른 연비 비교

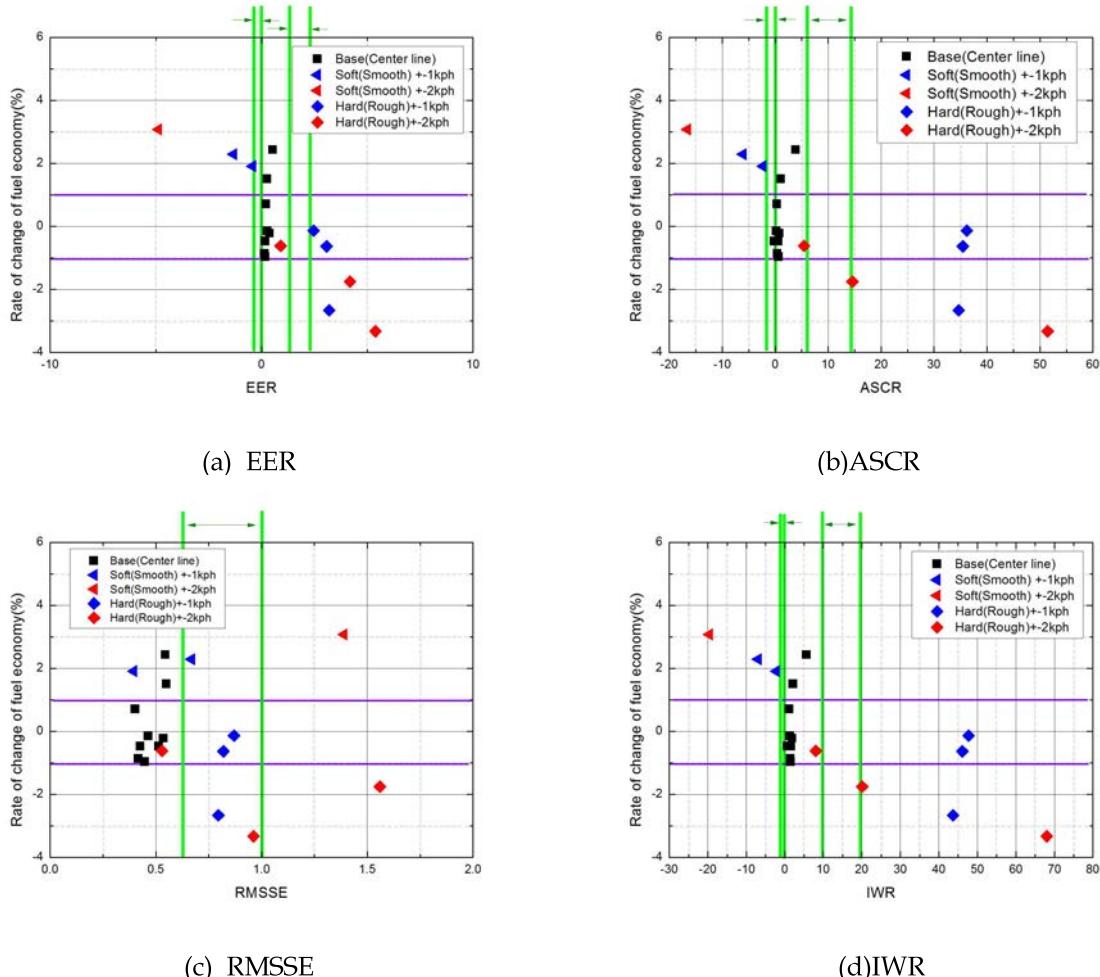
[그림 200]은 HWFET 모드 Base 조건의 평균대비 각 시험의 연비시험결과의 변화율과 DQE Index 계산결과를 도표에 도시한 결과임. 목표속도를 추종한 Base 집단 결과는 EER 및 ASCR, RMSSE, IWR가 $\pm 0.5\%$ 및 $\pm 3.88\%$, 0.5mph , ± 5.6 수준으로 나타났으나 Soft 집단 결과는 $-4.9\sim-0.4\%$ 및 $-16.6\sim-2.3$, $0.4\sim1.39\text{mph}$, $-19.6\sim-2.2\%$ 의 결과를 나타내었고 Hard 결과는 $0.9\sim5.4\%$ 및 $5.4\sim51.4$, $0.5\sim1.6\text{mph}$, $8.1\sim68.0\%$ 의 결과를 나타냄. Base 집단의 연비차는 $-1.1\sim+2.3\%$ 로 나타났으나 Hard 집단 결과는 $0.3\sim3.5\%$ 연비 악화를 보였고 Soft 집단의 결과는 $1.7\sim2.9\%$ 향상된 것으로 나타남. HWFET 모드는 FTP-75 모드와 반대로 Hard 조건이 Soft 조건보다 연비 영향도가 큰 것으로 나타남.

아래 시험결과에 따른 HWFET EER -Threshold는 $-1\sim0$ 에 존재할 것으로 판단되며 +Threshold는 $+2.5\sim+3.5\%$ 에 존재할 것으로 판단되고 HWFET ASCR -Threshold는 $-2.0\sim0\%$ 에 존재할 것으로 판단되며 +Threshold는 $+6\sim+14.5\%$ 에 존재할 것으로 판단되며 HWFET RMSSE Threshold는 $0.7\sim+1.0\text{mph}$ 에 존재할 것으로 판단되고 HWFET IWR -Threshold는 $-2\sim0\%$ 에 존재할 것으로 판단되며 +Threshold는 $+10.0\sim+20.0\%$ 에 존재할 것으로 판단됨.

Index별 선형도는 EER이 가장 높았으며 ASCR과 IWR은 동등 수준임. RMSSE는 Hard 조건의 경우 뚜렷하게 나타났으나 Soft 조건은 유사하게 나타남.

Hard와 Soft 심별에서 파란색은 $\pm 1\text{kph}$ 추종성 허용범위를 부여한 상태의 시험결과이며 붉은 색은 $\pm 2\text{kph}$ 추종성 허용범위를 부여한 상태의 시험결과임. Hard의 경우 파란색 심별이 나타내

는 연비변화율이 -0.8~2.8%에 분포하는 반면 붉은색 심벌은 -0.8~3.5%에 분포하고 있어 추종성 허용범위를 좁히는 것은 Hard한 추종성에 의한 연비편차를 줄이는데 다소 도움이 될 것으로 판단됨. Soft의 경우 역시 붉은색 심벌의 연비변화율이 높게 나타남에 따라 추종성 허용범위를 좁히는 것은 연비편차를 다소 개선할 수 있을 것으로 판단되나 모집단이 Hard 만큼 충분하지 않기 때문에 단정하기 어려움.

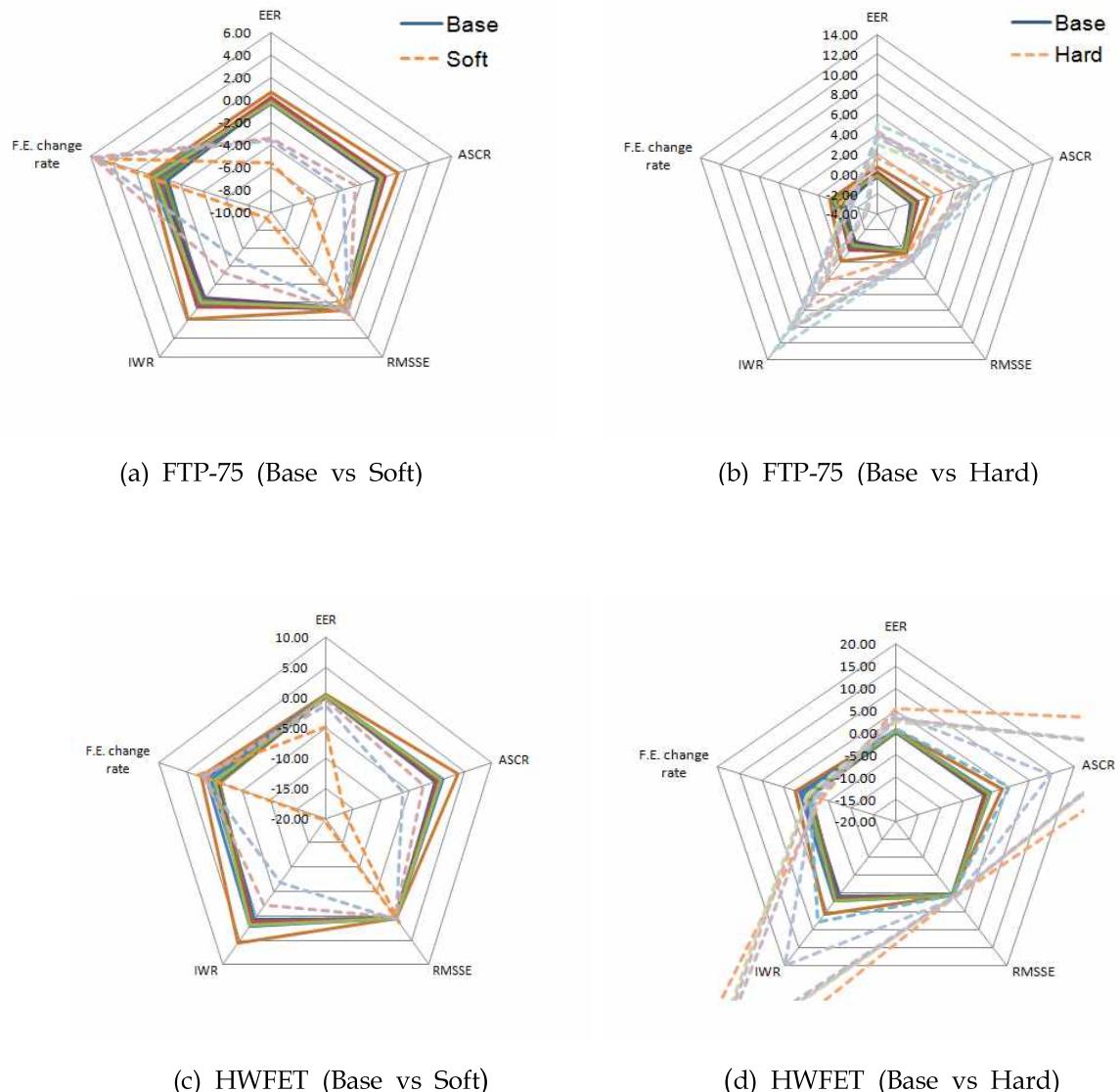


[그림 201] HWFET 모드의 운전성 지표에 따른 연비 비교

본 연구결과를 종합해볼 때 모든 여러 Index들 중 한 가지만 사용하여 운전의 질을 평가한다는 것은 어려울 것으로 판단됨. 앞서 설명한 각 Index들은 단점을 가지고 있으므로 여러 Index의 값들을 조합하여 어떤 방법으로 연비가 변화되었는지 설명이 가능할 것으로 판단됨. 예를 들어 감속구간에서 부드러운 운전으로 주행거리를 증가시킨 경우(감속 시에는 Fuel Cut기능으로 연료가 소모되지 않아 주행거리를 늘리는 방법으로 연비가 향상됨)에 EER, IWR은 변화가 없고 ASCR과 RMSSE이 증가됨.

만약 ASCR Threshold 만을 설정한다고 가정할 경우 가속구간에서 부드러운 운전으로 연비를 향상시키고 감속구간에서 급감속으로 운전하여 ASCR의 변화량이 없도록 할 수 있음. 이때 IWR의 Threshold가 있다면 가속구간의 부드러운 운전을 확인할 수 있음. [그림 202]에 위 결과를 방사형 그래프로 표현함. Hard 조건과 Soft 조건의 DQE Index는 Base 조건대비 차이를 가지고 있는 것을 볼 수 있음. 그러나 연비변화도와 정확히 일치하는 Index는 찾아볼 수 없으며 (d)에 나타난 것과 같이 빈번한 가·감속으로 IWR과 ASCR이 과도히 증가되었으나 연비차가 크지 않은 이유

는 가속 직후 감속은 타행주행이므로 연비에 긍정적 효과를 나타남에도 불구하고 IWR에 반영되지 않았기 때문임.



[그림 202] 운전성 지표에 따른 연비 비교

보편타당한 Threshold 값을 설정하는 것은 아직 시기상조로 보임. 차량마다 제원의 특성상 DQE Index 차에 따른 영향이 상이할 것으로 판단되기 때문. 예를 들어 차량의 중량대비 엔진의 출력이 큰 차량이라면 목표속도 추종대비 높은 가속도로 운전하여도 Kick down이 일어나지 않아 연비에 큰 영향을 미치지 않을 수 있으나 중량대비 엔진 출력이 낮은 차량이라면 Kick down이 일어나 연비에 큰 영향을 미칠 수 있음. 더불어 임의적으로 Hard 또는 Soft 주행을 하는 경우 매 시험의 편차를 정규화하기 어려워 제2장에서 언급한([그림 53] 참고) 개별시험의 Index 값을 정규분포화하여 분석방법을 이용하는 것도 하나의 방법으로 판단됨. 이 방법을 위해서는 국내외 시험기관의 데이터 축적과 공개 등이 필수적으로 수반되어져야 함. 때문에 보편타당한 Threshold 값을 설정하기 위하여 추가적인 연구가 필요할 것으로 판단됨.

(마) DPF재생조건

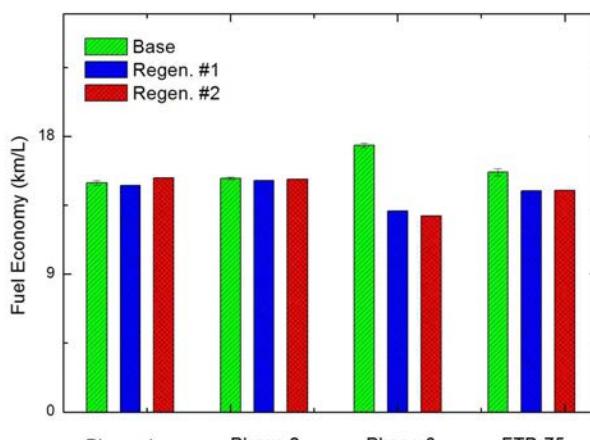
시험 중 DPF 강제재생이 발생한 경우 연비 영향도가 매우 크게 나타남.

DPF 압력차로 구현되는 재생의 일반적인 로직은 먼저 EGR 개도를 닫아 1차로 배기가스 온도를 높여 DPF 자체 온도를 상승시킨 후 일정 온도 이상에 도달하면 연료를 과도 분사하여 2차로 배기가스의 온도를 상승시켜 DPF 내 PM이 고온의 배기가스에 의해 연소되어 CO₂의 형태로 배출하게 함. 때문에 일반적으로 DPF 재생이 일어난 시험의 배출가스 결과에서 과도연료분사에 의한 THC 및 CO₂ 증가, EGR 닫음에 따른 NOx 증가가 관측되고 연비는 하락하는 것을 볼 수 있음.

현행 연비 시험방법에는 DPF에 대한 재생절차가 부재한 상황이며, 이에 따라 시험 시 재생이 발생한 경우 책임소재에 대한 분쟁이 발생할 수 있음. 최근 개정된 다양한 시험법에서 재생에 대한 절차를 규정하고 있으며, UN의 WLTP 시험방법에도 재생절차를 규정하고 있어 국내 시험방법에도 이에 대한 규정 및 정의가 필요한 상황임.

본 절은 시험 중 재생이 발생하여 정규데이터로 사용할 수 없었던 시험결과를 Base 결과와 비교하여 DPF 재생이 연비에 미치는 영향에 대하여 논함.

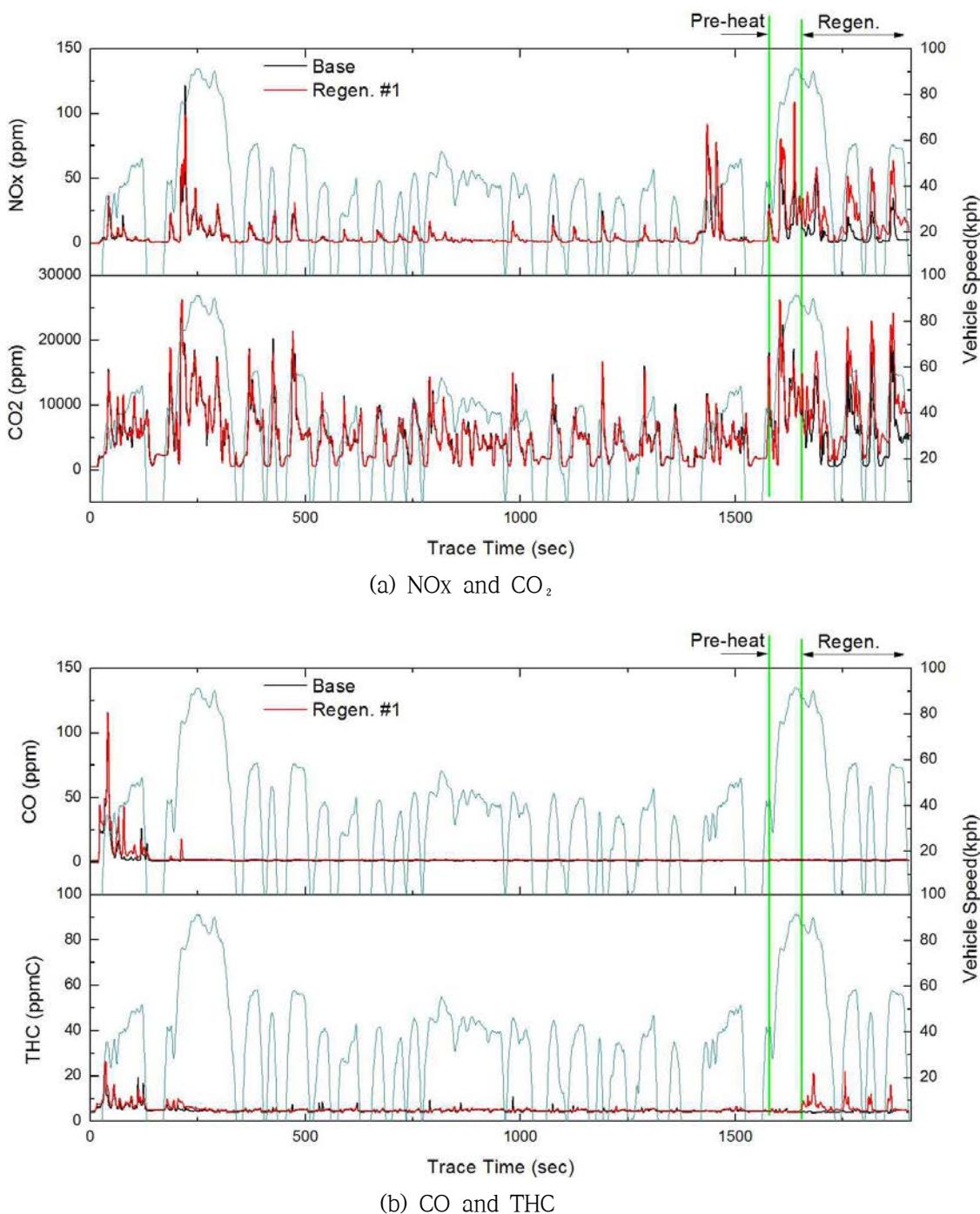
[그림 203]은 정상적인 시험과 DPF 재생이 발생한 시험의 연비결과를 나타냄. 재생이 발생한 시험은 정상적인 시험결과 대비 약 7.6%의 연비 악화가 발생됨. 아래 그림은 Phase 3에서 재생이 발생하였으나 실제 시점은 예측할 수 없음.



[그림 203] 재생여부에 따른 연비결과

[그림 204]는 정상적인 시험과 재생 발생시험의 대표 FTP-75 시험의 THC, CO, NOx 및 CO₂ 실시간 배출농도를 나타냄. 재생이 발생하기 전 배출가스 농도는 정상적으로 나타나나 재생이 시작되기 전 NOx의 값이 증가하고 재생이 시작되면서 THC와 CO₂ 가 비정상적으로 증가하는 것을 알 수 있음. 이는 앞서 밝힌바와 같이 DPF 재생을 위하여 연료분사량을 증가시킨 것이 원인임.

만약 시험의 마지막 부분에서 재생이 일어난 경우 [그림 200]에서 나타난 급격한 연비차를 확인할 수 없어 시험자는 재생 여부를 명확하게 판정할 수 없음. 따라서 현행 시험방법에 DPF 재생 관련 절차 및 정의 추가는 필수적인 사항으로 판단됨.



[그림 204] 재생 여부에 따른 FTP-75 모드의 실시간 배출가스 농도

바. 연비시험조건별 영향분석 연구결과 및 시험방법 제안

(1) 가솔린 시험

휘발유차량의 냉각팬풍량, 온도조건, SOC(%) 변화, 드라이빙 추종성 등의 시험조건 변화에 따른 연비 영향도 분석을 위하여 시험 차량으로 연구를 수행하였고, 다음과 같은 결론을 도출함.
 (가) Base 조건 결정 : 속도비례형 가변팬, 98%의 일정한 SOC(%), 상온조건($25 \pm 1^{\circ}\text{C}$), 주행모드 추종성($\pm 1\text{ km/h}$ 이내 일반주행)의 상태를 Base condition으로 결정.

(나) 배터리 충전상태 : High SOC 조건은 Low SOC 조건과 비교하여 약 -3.4 %로 비교적 큰 연비 차이를 나타냄으로써, 초기 배터리 SOC(%) 조건에 대한 신중한 결정이 필요.

(다) 냉각팬 풍량 : High/Low Fan 시험결과 연비의 변화폭이 매우 적고 Base 조건과 유사한 수준을 나타냄으로써 팬 풍량의 영향은 무시할만한 수준이라고 판단.

- (라) 실험실 온도 : High/Low Temp. 시험결과 편차가 약 1.3%로 나타났으며, 일반적인 온도조건($25 \pm 3^{\circ}\text{C}$)내에서 시험을 실시한다면 1% 이내의 편차가 존재할 것으로 판단.
- (마) 드라이빙 추종성 : $\pm 1\text{ km/h}$ 이내를 유지하면서 다소 부드러운 운전(Soft driving)과 경직된 운전(Hard driving)으로 비교 시험한 결과 FTP-75 모드가 HWFET 모드보다 연비 변화가 크게 나타났으며, 운전패턴 변화에 따른 연비차이가 최대 5.2% 수준으로 나타남으로써 운전자의 드라이빙 추종성에 대한 기준 설정이 중요한 변수로 작용.

(2) 디젤 시험

(가) 배터리 SOC : 배터리 SOC에 따른 시험 및 영향도 분석결과 SOC는 연비에 큰 영향을 미치는 것으로 나타남. 현행 시험방법에는 SOC와 관련한 시험방법이 부재하여 이에 대한 조건 신설이 필요함.

① 제안 내용

- 초기 SOC 기준 마련(방법1: 예비주행 전 완전충전)

예비주행 전 외부충전기를 이용하여 완전충전을 하는 방법은 각 차량마다의 특성을 반영 할 수 있어 매우 합리적인 방법으로 판단됨. 다만, 예비주행과정에서 차량에 설정된 일반적 충전상태로 진입한 것인지에 대한 의문이 남아 있으며, 충전과정을 위하여 연비시험을 연속적으로(예열주행-Coast down-예비주행-Soak-본시험) 진행이 불가능함. 따라서 시험자는 Coast down이 완료되면 바로 예비주행을 실시하지 못하고 충전을 실시하여야 하는데 이 시간이 길어질 경우 효율적 시험실 운영 측면에서 불리하다는 단점이 있음.

- 초기 SOC 기준 마련(방법2: 예비주행 전 제작사 제시 SOC까지 충전)

예비주행 전 외부충전기 또는 임의 방전을 통하여 제작사가 제시하는 SOC 상태까지 조절 하는 방법은 위 방법 1보다 합리적인 것으로 판단됨. 다만, 이를 위해 제작사는 자신이 제시하는 SOC에 대한 타당성을 확보한 근거자료를 제출해야 한다는 단서가 필요하고, 방법 1과 같이 효율적 시험실 운영측면에 있어서 불리함.

- 초기 SOC 기준 마련(방법3: 시험시작 전 SOC 확인 및 기록)

예비주행 후 SOC를 확인하고 시험시작 전 SOC를 확인하여 배터리의 상태가 변화가 있었는지 확인하는 방법은 직접 시험자가 SOC를 확인한다는 측면에서 배터리 초기 상태의 적합성을 확인하기 위한 확실한 방안임. 다만, 예열주행-Coast down-예비주행이 연속적으로 진행되어 배터리 SOC가 일반적 충전상태로 진입하여야 한다는 단점이 있음.

- 시험 시 차량의 발전제어기능 억제

발전제어기능 억제 방법은 배터리에서 단독으로 에너지를 사용하는 로직을 사용하지 않는 것을 의미함. 발전제어기능 억제를 통하여 발전제어로 발생되는 반복성 저하를 막을 수 있음. 그러나 이 방법은 배터리 초기설정도 함께 이루어져야 함. 또한, 연비 향상기술인 발전제어의 효과를 구현하지 않기 때문에 실제 공인연비 시험에서는 사용이 어렵다는 단점이 있음.

(나) 시험온도조건 : 정상적이고 비의도적인 시험실 기준온도(25°C) 설정에서 큰 연비차는 보이지 않을 것으로 판단됨. 그러나 비정상적이고 의도적인 시험실 온도 설정은 의미 있는 영향도를 보임에 따라 현행 Soaking room 및 시험온도조건 개정이 필요함.

① 제안 내용

- Soaking room 온도 범위 축소(현행 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ → 개선(안) $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$)

soaking은 주로 시험실과 달리 열의 흡수·방출이 없으므로 상대적으로 시험실보다 온도제어가 용이함. 따라서 Soaking room 온도범위를 $25 \pm 5^{\circ}\text{C}$ 에서 $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 축소하는 것은 현실

성이 높음. 그러나 Soaking room 공조기가 시험실용 보다 용량이 작거나, 시험실과 구분이 없는 경우는 다소 현실성이 낮을 것으로 판단됨.

- Soaking room 온도 단기간 별 평균제한 적용(현행 평균개념 없음 → 개선(안) 매 5분간 평균온도 $25\pm3^{\circ}\text{C}$)

Soaking 온도가 25°C 를 기준으로 냉·난방을 반복하여 적정수준 유지가 가능하나 제어를 위한 공조기의 제어 폭이 커 순간온도가 $25\pm3^{\circ}\text{C}$ 를 넘는 경우를 위하여 매 5분간 평균온도를 $25\pm3^{\circ}\text{C}$ 에 위치하는지 확인하는 방법을 제안할 수 있음. 이 방법의 단점은 12시간 이상 동안 매 1초간 축적된 큰 용량의 데이터를 시험자가 매 5분 단위로 평균을 계산하고 확인하는 것이 큰 업무 부담이 될 수 있으며 실시간으로 확인이 어렵다는 점임.

- 시험시작온도 범위축소(현행 $25\pm5^{\circ}\text{C}$ → 개선(안) $25\pm3^{\circ}\text{C}$)

대부분의 차대동력계 시험실은 일정한 온도 유지를 위하여 적정 용량(차량 발생열과 외부 공기의 유입으로 인한 온도변화를 극복할 수 있는)의 공조기를 사용하여 25°C 수준으로 유지. 그러나 시험실의 사정에 따라(공조시설이 노후화 되었거나 설계용량보다 많은 열발생 또는 외부온도와 시험실 공기온도차가 매우 클 경우) 시험실 온도는 불안정할 수 있음. 때문에 전 시험기간 동안 $25\pm3^{\circ}\text{C}$ 로 범위를 축소하는 것은 현실성이 떨어지므로 시험시작 전 온도만 $25\pm3^{\circ}\text{C}$ 로 범위를 축소하는 것이 타당할 것으로 판단됨.

- 시험 시작 전 냉각수 또는 엔진오일온도 확인(신설(안) $25\pm3^{\circ}\text{C}$)

Soaking room 온도제어의 주요 목적은 시험 시작 전 엔진 및 동력전달계통, 연료의 온도가 일정온도에 도달하도록 하는 것임. 따라서 시험 시작 전 시험자가 냉각수 또는 엔진오일 온도를 확인하여 $25\pm3^{\circ}\text{C}$ 에 위치한다면 Soaking이 정상적으로 이루어졌다고 판단할 수 있음. 단, 이 방안을 적용하기 위해서는 엔진 냉각수 온도 및 엔진오일 온도 측정위치를 명확히 해야 할 필요성이 있으며 연료온도에 대한 측정방법도 마련이 필요함.

(다) 모드추종성조건 : 모드 추종성에 따른 영향도 축소 방안을 마련하는 것이 필요함. 운전자 운전패턴에 따라 큰 영향도를 미치는 것으로 나타남에 따라 운전패턴에 따른 영향도를 축소할 수 있는 방안이 필요함. 추종성 지표의 도입이 필요한 것으로 판단되나 현재 국내·외 연구결과의 모집단 부족으로 threshold 개념의 허용범위 적용은 어려울 것으로 판단됨. 한정된 과제기관 및 예산 상황에서 1대의 차량을 대상으로 도출된 정량적 수치 제시는 어려우나, 본 연구결과를 통하여 추종성에 따른 연비 영향 유·무를 제시함으로써 추종성에 대한 중요성을 피력하였음. 유럽과 같이 정량적 추종성 허용범위 지표를 시험방법으로 정하기 위해서 자동차 제작사 및 수입사의 의견(자사의 시험결과)과 국내 시험기관의 의견을 취합하는 등 추가적 노력이 필요함.(추가 연구 필요)

① 제안 내용

- 목표속도 허용오차 범위 축소(현행 $\pm 3.5\text{km/h}$ → 개선(안) $\pm 1\text{km/h}$, 단, 수동변속기 차량은 제외)

Index 및 Threshold 도입은 기반마련이 필요하므로 현재 추종성에 따른 연비영향도를 축소할 수 있는 방안은 현행 시험방법의 모드 추종성 허용범위를 축소하는 방법임.

- 추종성 지표 제한 범위 신설(단, 현재 연구결과 부족으로 추가 연구 필요)

- 속도데이터 기록 및 제출(제작사의 의도적인 부드러운 주행으로 연비과장 방지 기대)

이 데이터를 공인시험결과 제출 시 함께 해당 부처에 제출하는 것을 제도화 한다면 모드 추종성에 대한 객관적 자료가 남기 때문에 제작사 입장에서는 의도적인 운전에 대한 부담감을 갖게 될 것으로 판단됨.

(라) 기타 조건(DPF재생조건 등) : 시험 중 DPF 재생 발생 방지 방안이 필요하다.

① 제안 내용

- 예비주행전 재생 절차 추가(배출가스 후처리장치 장착차량)

다만 차량이 외부 제어기를 통한 강제재생 기능을 갖추고 있을 때 가능함.

- 시험 중 강제재생기능 억제

다만 DPF에 과도한 PM이 누적되어있는 경우에 따른 연비영향도는 고려되지 않는 단점이 존재함.

- 시험의 효율성 관련 시험결과서 양식통일 필요함

시험기관은 해당 제작사가 제출한 관련자료를 검토하여 관련 시험방법에 적합하게 시험하였는지 판단해야 하는데 현행고시에 관련 자료에 대한 서식이 부재하여 제작사별 제출양식이 달라 해당 자료에 대한 적합성 검토에 어려움이 있음. 따라서 연비에 주요 영향을 미치는 관련 제출서류에 대한 양식을 마련한다면 시험 및 관리 효율성과 부처별 소통을 더욱 원활하게 할 것으로 기대됨.

(3) 연비시험인자 관련 내용 총괄 비교표

[표 75] FTP-75(도심주행) 시험조건별 영향 분석

유종	시험조건	Base 대비			중요도
		상승	악화	최대편차	
가 솔 린	Base	-	-	-	-
	High Fan (2.5 m ³ /s)	+0.25 %	-	0.49 %	낮음 (개선불필요)
	Low Fan (1.0 m ³ /s)	+0.49 %	-		
	High Temp. (29 °C)	+0.64 %	-	1.26 %	낮음 (개선불필요)
	Low Temp. (21 °C)	-	-0.62 %		
	High SOC (약 98 %)	+2.33 %	-	3.44 %	높음 (개선필요)
	Low SOC (약 88 %)	-	-1.11 %		
디 젤	Soft driving	+3.38 %	-	5.21 %	가장 높음 (개선필요)
	Hard driving	-	-1.83 %		
	Base	-	-	-	-
	High Fan (2.5 m ³ /s)	-	-0.2 %	0.5 %	낮음 (개선불필요)
	Low Fan (1.0 m ³ /s)	+0.3 %	-		
	High Temp. (29 °C)	+1.1 %	-	2.9 %	높음 (개선필요)
	Low Temp. (21 °C)	-	-1.8 %		
	High SOC ^{†)} (약 90 %)	-	-1.2 %	5.0 %	높음 (개선필요)
	Low SOC ^{†)} (약 80 %)	-	-5.0 %		
	Soft driving	+5.6 %	-	7.1 %	가장 높음 (개선필요)
	Hard driving	-	-1.9 %		

주) Base는 SOC 100%

[표 76] HWFET(고속도로주행) 시험조건별 영향 분석

유종	시험조건	Base 대비			중요도
		상승	악화	최대편차	
가 솔 린	Base	-	-	-	-
	High Fan (2.5 m ³ /s)	+0.63 %	-	0.64 %	낮음 (개선불필요)
	Low Fan (1.0 m ³ /s)	+0.64 %	-		
	High Temp. (29 °C)	+0.09 %	-	0.09 %	낮음 (개선불필요)
	Low Temp. (21 °C)	-	-0.00 %		
	High SOC (약 98 %)	+0.70 %	-	1.03 %	낮음 (개선불필요)
	Low SOC (약 88 %)	-	-0.33 %		
	Soft driving	+1.89 %	-	2.60 %	높음 (개선필요)
디 켈	Hard driving	-	-0.71 %		
	Base	-	-	-	-
	High Fan (2.5 m ³ /s)	+0.2 %	-	1.2 %	낮음 (개선불필요)
	Low Fan (1.0 m ³ /s)	-	-1.0 %		
	High Temp. (29 °C)	-	-1.6 %	0.7 %	낮음 (개선불필요)
	Low Temp. (21 °C)	-	-0.9 %		
	High SOC (약 90 %)	-	-0.2 %	1.0 %	낮음 (개선불필요)
	Low SOC (약 80 %)	-	-1.0 %		
	Soft driving	+2.3 %	-	3.9 %	높음 (개선필요)
	Hard driving	-	-1.7 %		

3. 연비상관성 시험 방법 및 판정방법(안)

시험기관 간 연비상관성 시험을 통하여 차후 시행될 상관성 시험에 대한 방법(안)을 시험기관 간 회의를 통해 도출함.

[표 77] 상관성 시험에 대한 방법(안)

항목	현행 공동고시 (국토부/산업부/환경부)	고려대학교 제안(안)	비고
셀 온도	20~30°C	(시험전) 25±2°C / (시험중) 25±3°C 시험 중 평균온도 25±3°C 유지	
습도	-	-	습도에 따른 큰 편차 없음
소깅시간	12~36시간	12~24시간 (하루이내)	
길들이기	6,500±1,000km	길들이기 누적 주행거리 6,500km 이상 (상한 없음)	
다이나모 웜업	동력계 마찰 손실이 안정화 될 때까지	동력계 마찰 손실이 안정화 될 때까지 (80km/h 정속 30분)	
SOC	- x-EV 차량에 대해서는 완 충으로 정의 - SOC 기준 정의 없음	SOC가 연비에 최소한으로 영향을 줄 수 있는 수준을 찾아서 조치 (세부적 사항은 시험 전 회의를 통해 결정)	
연료충전	규정된 시험연료 40%이상 주입	- 현행 고시에 따름 - 동일 batch의 연료 사용	
차량설치	수동으로 설치, 수평 유지	수동으로 설치, 수평 유지	
다이나모 부하설정	주행저항 허용오차 15% 이내	현행 고시에 따름	
타이어 공기압 설정	주차 전 규정 공기압 +6psi 주입 주차 후 제작사 권장 공기압에 맞도록 설정	현행 고시에 따름	
Precon. mode	-	후처리 장치에 의한 연비영향도를 최소화 하는 조건으로 설정	
속도 Trace	1.0초의 범위에서 ±3.2 km/h	- 1.0초의 범위에서 ±2.0 km/h - 실시간 차속 데이터 측정 - 너무 부드럽게 가감속을 하지 않고 최대한 center line을 따라 주행	
냉각 팬 종류	고정 사용 시 : open hood 가변 사용 시 : closed hood	가변 팬	가변 팬과 고정 팬에 따른 연비 차이 1% 미만
냉각 팬 설치 위치	차체 앞 30.5 cm	현행 고시에 따름	
냉각 팬 속도	고정팬 사용 시 2.5m ³ /s 이하	가변 팬 사용	
modal data frequency	10Hz or 1Hz	현행 고시에 따름	
상관성 시험 모드 범위	-	CVS-75 1회 HWFET 3회	

실험실장비 간 편차분석 및 보고양식	-	상관성 보고 양식의 통일 (기록데이터 범위와 양식 표준화)	
상관성 시험 판정 방안	-	<ul style="list-style-type: none"> - CVS-75 : basic z-score - HWFET : 각 기관이 시행한 3회의 시험결과에 대해 CV 분석 시행 CV<3% 인 경우 각 기관이 시행한 3회의 시험을 평균내어 1개의 데이터로 사용. 총 6개의 HWFET 데이터에 대해 basic z-score 검증 및 min/max 5% 기준점 제시 	

basic z-score 검증은 다음과 같이 진행됨.

$$\text{Basic Z-Score} = \frac{\text{Result} - \text{Mean}}{\text{Sample Std Dev}}$$

Less than ± 2 = satisfactory

Between ± 2 & ± 3 = questionable

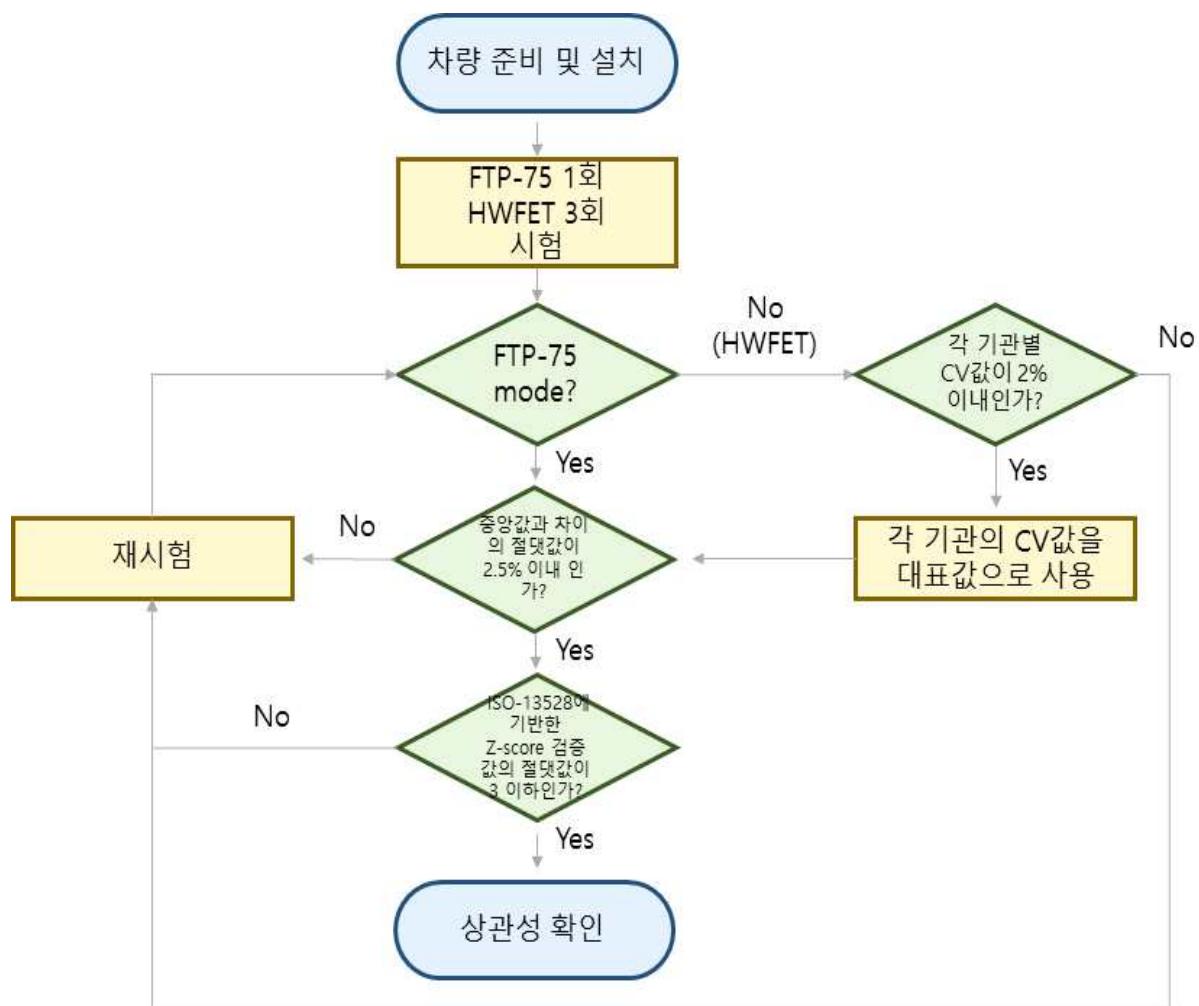
More than ± 3 = unsatisfactory

CV의 정의는 다음과 같음.

$$CV = \frac{\sigma_{n-1}}{\mu} \times 100$$

CV값이 작을수록, data는 더 precise 하다고 볼 수 있음. CV값이 5% 이하일 경우 평균이 매우 안정적임.

4. 상관성 시험 flow chart



[그림 205] 상관성 시험 flow chart

제 4 절 자동차 연비 공동고시 개정(안) 도출

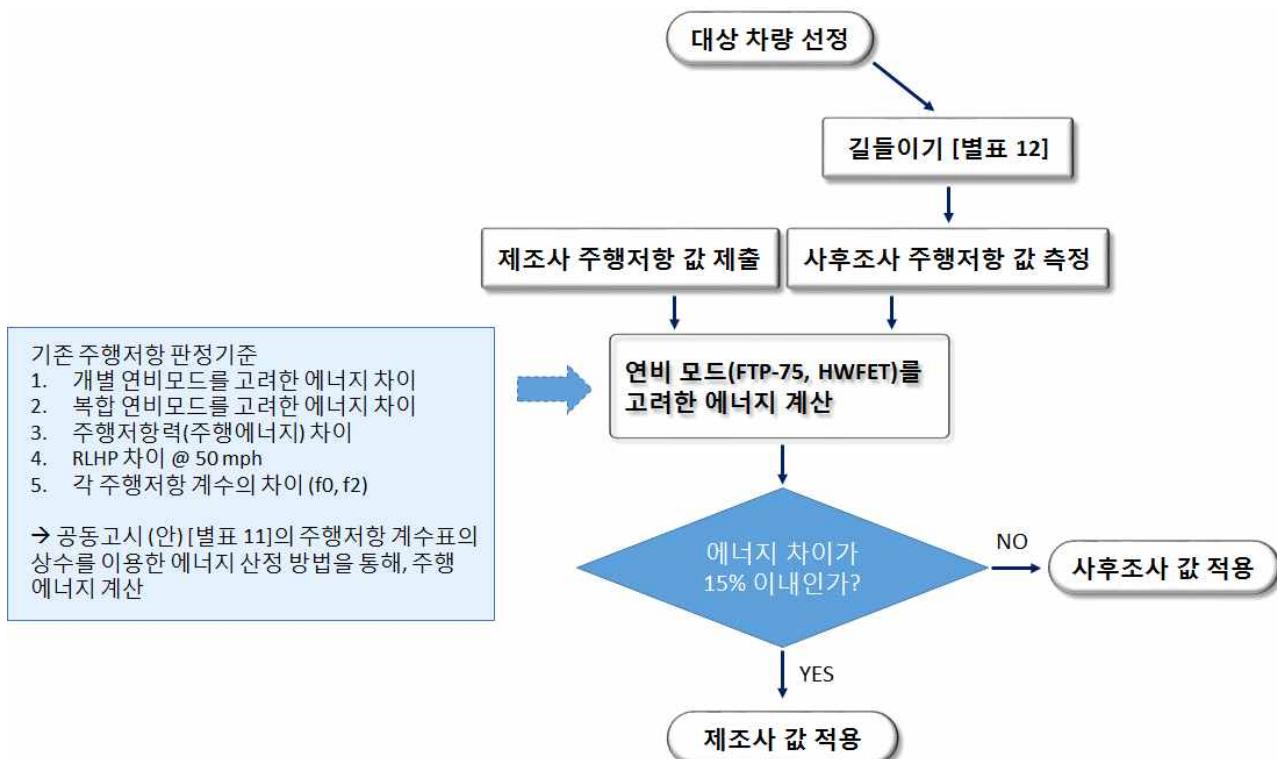
1. 연비 제도 개선안

가. 배경

제원연비와 실주행 연비의 큰 편차를 인해 소비자 불만 지속적 제기와 더불어 공동고시안 수정 필요성 제기됨. 사후관리, 상관성 판정, 일부 항목 등에 관한 “자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 시험방법 등에 관한 고시” 개정 및 신설이 필요함.

나. 제도 개선안

(1) 자동차 사후관리 시험방법 개선안



[그림 206] 주행저항 판정 flow-chart

2. 국내 연비시험방법 개선사항 (연비 신규과제 (안))

가. 연료 물성치 변화에 의한 연비 영향 분석 및 연비보정식 개발(안)

(1) 배경

국내 시판되는 연료들은 계절, 정유사, 유통단계 등에 따라 성분 차이가 발생함. 연료성분에 따른 연료소비율 측정결과 간의 편차가 존재하므로, 연료 물성치 변화에 따른 연비영향 분석 및 연비보정식 개발이 필요함. 가솔린은 연료 물성치 성분을 반영한 연비계산식 적용하고 있으나, 경유 및 LPG의 경우 3개년의 연료 물성의 평균값을 적용한 상수식을 사용함. CNG는 연비 시험방법과 절차 및 연비계산식 관련 고시가 없는 실정임. 유럽과 중국 등에서는 사용된 연료의 밀도 값을 연비계산식에 적용하여 사용 중임.

(2) 연구범위

(가) 해외 자동차 연비계산식 기준 및 동향 분석

- 유종별 자동차 연비측정 시험방법 파악
- 연비 규제 기준 및 정책, 연비계산식, 향후 전망 조사

(나) 국내 · 외 자동차 연비계산식의 적합성 분석 및 신규 연비계산식 도입 검토

- 다양한 물성을 가진 시험연료를 바탕으로 연비 시험 및 결과 분석
- 통계자료 및 시험을 통한 국내 · 외 유통연료에 대한 물성분포도 획득
- 시험 연료에 적합한 규격 물성 및 시험설비, 환경 조건 등에 관한 검토
- CNG차량에 대한 연비시험 방법 및 절차 마련
- 유종에 따라 적절한 연비계산식 검토 및 도출

나. 전기동력자동차(EV, HEV, PHEV)의 연비 측정절차 개선(안)

(1) 배경

현재 국내의 EV차 연료소비율 측정절차는 일충전 주행거리 측정시간이 12~24시간 이상 소요되며, PHEV의 CD/CS 시험은 기술적으로 명확하지 않은 부분이 있는 등 개선의 여지가 많이 남아있음. EV, HEV, PHEV에 대해 외국의 다양한 절차 등에서 효율적인 분석과 국내 현실에 적합한 측정방법들을 최신 EV, HEV, PHEV 특성에 맞춘 개발이 필요함.

(2) 연구범위

(가) EV 연료소비율 측정 절차 개선방법 연구

- EV 차량의 국내/외 시험 방법의 상호 연관성, 재현성 및 장단점 분석
- 최신 EV 기술 및 국내 현실을 반영한 EV 측정절차 개선 방안 마련 (측정시간 단축, 주행모드 등)

(나) PHEV 연료소비율 측정 절차 개선방법 연구

- 직렬/병렬 및 마일드/스트롱 타입의 PHEV 국내 시험절차 비교
- 실제 차종 별 CD/CS 구간 연비측정절차 비교를 통한 시험기간 단축 방안 마련
- CD 구간 엔진작동시의 연료소비율 계산 및 CD/CS 통합연비 산출 방안 제시

(다) HEV 연료소비율 측정 절차 개선방법 연구

- HEV의 에너지저장장치 충전오차에 따른 연비 영향도 및 연비평가 개선방안 연구

다. 배기가스 후처리장치 신기술 탑재 자동차의 연비 평가기술 개발(안)

(1) 배경

점차 엄격해지는 배기가스 규제에 따른 후처리장치(DPF, LNT, SCR 등)의 보편화에 따라 부정확한 연비 표기에 따른 소비자의 불만이 증가함. 상당부분 진행된 DPF 연구에 반해, 실차 조건에서의 연비 영향에 대한 분석은 부족함. 배기가스 측면의 LNT, SCR 관련 연구에 비해, 연비 측면에서의 영향도 분석 역시 미비한 상황임.

(2) 연구범위

(가) 배기가스 후처리장치 연비 영향 분석시스템 개발

- OBD를 활용한 후처리장비상태 모니터링 시스템 개발
- 후처리장치 재생 시 엔진작동점 및 연료소비율 변화 분석시스템 개발

(나) 배기가스 후처리장치에 따른 연비 영향 분석

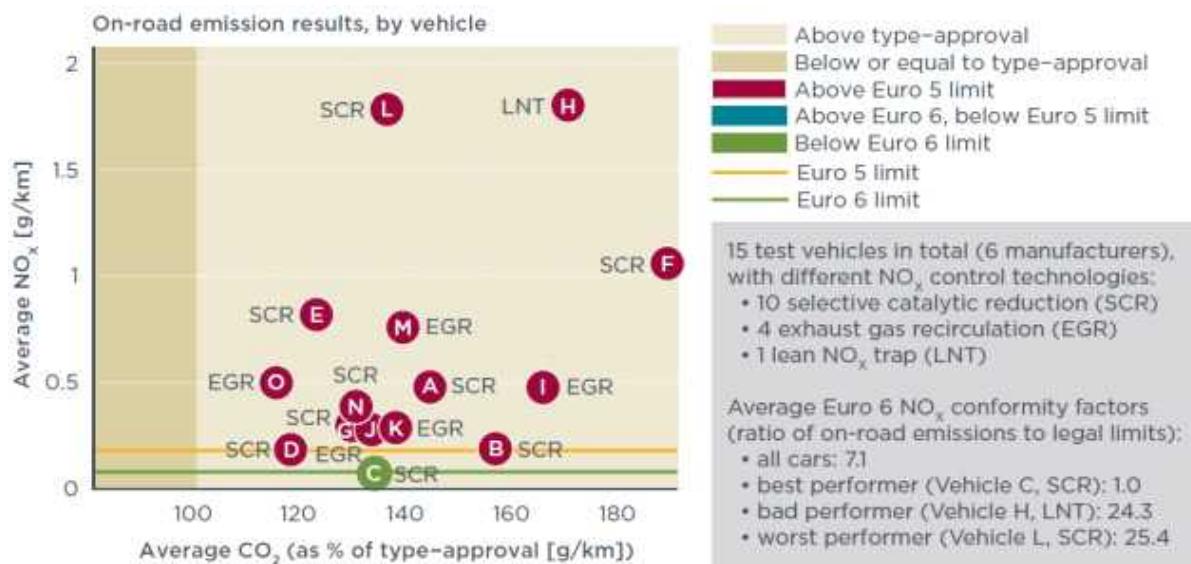
- 외부조건에 따른 DPF, LNT 재생주기 파악 및 재생 시 연비 분석
- 동일 배기가스 조건에서 SCR 적용에 의한 연비 분석
- 실도로 주행을 통한 실연비 영향도 평가
- EURO-6 대응 차량에 대한 분석 데이터 축적

(다) 배기가스 후처리장치 탑재 차량의 연비 보정 및 측정방법 개발

라. 실도로 연비 평가 방법 및 모드 연비와의 상관관계 연구

(1) 배경

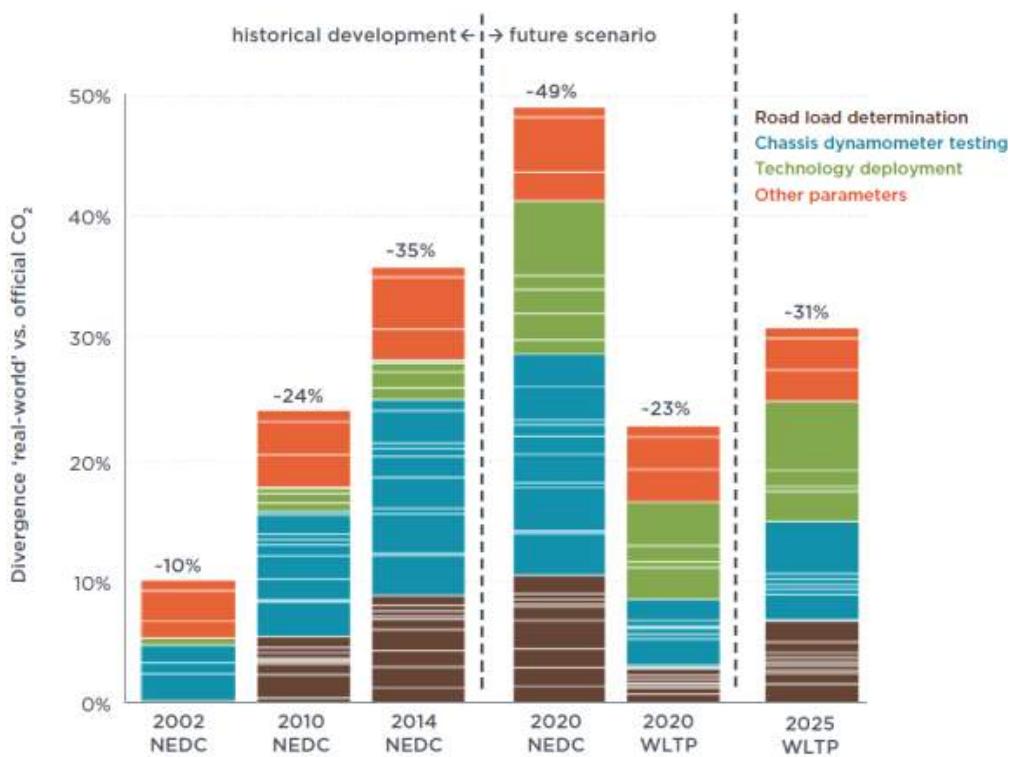
인증 연비 및 실 연비 사이에 괴리감이 커지는 문제가 발생해왔음. 연비 유연성 항목 및 주행 모드에 따라 다양한 수준의 연비 차이가 예상됨. WLTP에선 올해 monitoring 사업을 시작으로 Particle Number 규제에 RDE를 반영함에 따라, 실도로 연비 측정 및 규제에 대한 당위성도 증가하고 있는 실정임.²³⁾²⁴⁾



[그림 207] EU, 미국 제조사 디젤 차량의 실도로 NOX 및 CO₂ 배출 결과

23) Franco, V., Sanchez, F.P., German, J., Mock, P., (2014). Real-world Exhaust Emissions from Modern Diesel Cars

24) Tietge, U., Zacharof, N., Mock, P., Franco, V., German, J., Bandivadekar, A., Ligterink, N., Lambrecht, U. (2015). From laboratory to road: A 2015 update.



[그림 208] 실 연비와 모드 연비 값 차이에 대한 연비 유연성 항목의 영향도 비교

(2) 연구 범위

(가) 실도로 연비 측정 방법 및 조건 확립

- 실도로 연비 측정 대표 주행 구간 및 운행 패턴 정립
- 실험 차종, 기상 상태, 배터리 SOC 및 후처리장치 등 기타 실험 조건 확립

(나) 국내 인증 연비와 실도로 연비 간 상관성 분석

(다) 연비 유연성 항목에 대한 영향도 분석

마. 기타 개선사항

- (1) 다양한 차종의 연비 상관성 시험 수행 및 연비 상관성 평가 기준 보완
 - (2) 연비와 배기ガ스 규제 모드가 다른 경우에 대한 장기 연구
 - (3) 연비 실험 대상 차량 기준 마련
 - (4) 차량용 타이어가 연비에 미치는 영향
 - (5) 동력계 슬립 여부 및 슬립 방지 적재에 따른 연비 영향도 분석
 - (6) Off-cycle 연비 신기술의 연비 영향도 평가 방법 연구
 - (7) Dual Fuel 연소 차량의 연비 측정 방법 개발
 - (8) 회생제동차량의 전/후륜 주행 저항 분배율 측정 방법 개발
- ※ 연비 공동고시 개정(안) 및 신규과제 기술수요조사서 별도 첨부

3. 연비 공동고시 개정(안)

가. 개정 이유

시험 자동차의 초기 배터리 잔존용량과 운전자의 모드 추종성에 대한 기준이 미확립된 상태이기 때문에, 사후관리 시험을 진행함에 있어 주행저항 오차에 대한 명확한 기준 확립과 길들이기

모드를 보완·신설하여 현행제도 운영상 일부 미비점을 보완하기 위함임. 또한 기관 별 시험 결과 차이를 줄이고, 신뢰성 있는 결과를 확보하고자 연비 상관성시험 기준을 신설하고자 함.

나. 주요 내용

(1) 주행시험 시 주행모드 추종성 방법 신설(안 별표 1)

- [별표 1] 4-2 ④ 모드 추종성을 다음과 같이 한다.

운전자는 가능한 지정된 속도를 추정하도록 노력해야 하며, 지나치게 부드럽거나 가혹한 운전은 피해야 한다.

(2) 자동차 배터리 잔존용량 기준 신설(안 별표 7)

- [별표 7] 11.을 다음과 같이 한다.

시험자동차의 배터리의 잔존용량(State of Charge)의 경우 예비 주행 전 제조사에서 권장하는 잔존용량으로 설정한다. 단, 권장 잔존용량에 대해서는 문서화 하여 제출 시 허용한다.

(3) 자동차 주행저항 허용오차 산정식 신설(안 별표 11)

- 제5장 제12조②를 다음과 같이 한다.

제1항에 따라 측정한 시험기관 실측 주행저항 값과 제작사 제시 주행저항 값의 오차가 15% 이내일 경우에는 제작사가 제시한 주행저항 값을 인정하며, 오차는 연비모드를 고려한 에너지의 차이를 말한다. 에너지 산정은 [별표 11]과 같으며, 이 오차를 벗어나는 경우에는 시험기관 실측 주행저항 값을 사용한다.

- [별표 11] 1. 자동차 주행저항 허용오차 판정 방법과 2. 에너지 산정 방법을 다음과 같이 한다.

① 자동차 주행저항 허용오차 판정 방법

주행저항 허용오차(15% 이내) 만족 여부는 각 연비 모드(FTP-75, HWFET)를 고려한 에너지 차이로 판정

② 에너지 산정 방법

각 연비모드를 고려한 주행저항 계수의 상수를 이용하며, 주행저항 계수의 자리수는 f_0 / f_1 / f_2 에 대해 각각 소수점 이하 3째 / 5째 / 7째 자리까지 표시한 값을 사용하며, 최종 계산된 에너지 값은 소수점 첫째자리까지 표시하여 허용오차를 계산.

* 연비모드는 “공동고시” 참조 및 “차속 < 15km/h” = 0으로 처리함

[표 78] 주행저항 모드별 계수

구분	N 단위			lbf 단위			관련기준	비고
	A_{f0}	B_{f1}	C_{f2}	A_{f0}	B_{f1}	C_{f2}		
FTP-75 (3bag)	17.4	945.0	58910.7	77.4	2612.0	101124.9	공동고시	내연기관 차량
FTP-75 (4bag)	23.4	1175.4	68057.1	104.1	3246.3	116885.9		하이브리드 차량
HWFET	16.5	1338.0	110662.3	73.4	3698.2	190059.0		공통

(4) 자동차 길들이기 모드 신설(안 별표 12)

- 제5장 제15조(시험자동차 길들이기)를 다음과 같이 한다.

시험자동차는 길들이기 시험모드는 “C-모드”에 따라서 운전하며, 상세 운전계획은 [별표 12]와 같다.

- [별표 12]를 다음과 같이 한다.

① 운전계획을 제외한 일반사항은 [별표 7]과 동일하다.

② 사후관리 차량의 길들이기 시험모드는 “C-모드”에 따라서 운전하며, 각 구간에서의 속도구성 및 운전요령은 아래 표와 같다.

NO	주행구간 (km)	순항속도 (km)	주행거리 (km)	가속방법	운전방법	횟수/HST
1	0~100	60kph	100km	일반가속	정속주행	—
2	100~300	↑	200km	↑	BRAKE 0.3g→0kph	1회/1회전
3	300~500	80kph	↑	↑	정속주행	—
4	500~700	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→0kph	1회/1회전
5	700~800	100kph	100km	W.O.T	정속주행	—
6	800~1000	↑	200km	↑	BRAKE 0.3g→50kph	1회/1회전
7	1000~1100	110kph	↑	↑	정속주행	—
8	1100~1200	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→60kph	1회/1회전
9	1200~1300	130kph	↑	↑	정속주행	—
10	1300~1400	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→80kph	1회/1회전
11	1400~1500	145kph	↑	↑	정속주행	—
12	1500~1600	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
13	1600~1700	130kph	↑	↑	정속주행	—
14	1700~1800	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→80kph	1회/1회전
15	1800~1900	145kph	↑	↑	정속주행	—
16	1900~2000	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
17	2000~2100	↑	↑	↑	정속주행	—
18	2100~2200	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
19	2200~2300	↑	↑	↑	정속주행	—
20	2300~2400	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
21	2400~2500	↑	↑	↑	정속주행	—
22	2500~2600	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
23	2600~2700	↑	↑	↑	정속주행	—
24	2700~2800	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전
25	2800~2900	↑	↑	↑	정속주행	—
26	2900~3000	↑	↑	↑	BRAKE 0.3g→110kph	1회/1회전



	A	B	C	D	E	F	G	H	
정속 구간	주행구간 (km)	0~100	300~500	700~800	1000~1100	1200~1300	1400~1500	1600~1700	1800~1900
	속도 (km/h)	60	80	100	110	130	145	130	145
가감속 구간	주행구간 (km)	100~300	500~700	800~1000	1100~1200	1300~1400	1500~1600	1700~1800	1900~2000
	감속 최종 속도 (km/h)	0	0	50	60	80	110	80	110
	가속 방법	완가속	↔	↔	급가속	↔	↔	↔	↔

1. A~H 구간은 각각 정속과 가감속 구간으로 구성되며 일반 내연기관 차량은 2000km 이후 H구간 반복
(단, 하이브리드 차량은 3,000km 이후 A구간부터 반복 실시)

2. 정속 구간 : 주행구간 동안 규정된 속도 유지

3. 가감속 구간 : 가감속 구간은 정속구간 규정속도로 주행 중, 고속 주회로 트랙 1회전당 1회씩의 감속 및 재가속을 실시
- 감속시는 일반적인 완감속
- 가속시는 상기 표에 표시된 대로 초기는 일반적인 완가속, 이후 구간에서는 엑셀페달 50% 이상의 급가속 주행

[그림 209] 길들이기 모드 “C-모드” 운전계획(안)

* 3,000km 이후는 2,000km 이후 모드를 반복 실시

(5) 연비 상관성시험 기준 신설(안 별표 13)

(가) 제2장 측정방법 제12조(자동차 상관성 시험방법)를 다음과 같이 한다.

- ① 각 시험기관은 시험 전 상호 협의하여, 가능한 모든 시험조건을 동일하게 진행한다.
- ② 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 측정을 위한 시험조건 및 산정방법은 [별표 9] 및 [별표 10]에 따른다. 단 [별표 13]에 명시된 항목에 관해서는 [별표 13]의 시험조건을 따른다.
- ③ 자동차의 에너지소비효율 측정방법, 온실가스 배출량 측정방법 및 연료소비율 측정방법은 제2장 제4조(자동차 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율 측정방법)의 각 호에 따라 진행한다.
- ④ 연비 상관성시험 판정 방법은 [별표 13]에 따른다.

(나) [별표 13] ‘자동차 연비 상관성 시험방법’은 다음과 같이 한다.

① 시험실 조건

시험실 온도 설정은 25°C 로 설정하며, 허용 오차는 시험 전 $\pm 2^{\circ}\text{C}$, 시험 중에는 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 로 한다.

② 측정 장비

시험자동차가 설치되지 않은 상태에서, 차대동력계의 기계적 마찰을 안정화하기 위하여 80km/h로 30분간 주행하여 충분히 예열한다.

③ 주행 계획

HWFET 모드 3회를 반복한 후, FTP-75 1회 주행한다.

④ 시험용 자동차 및 측정

- 시험자동차의 사전 주행(길들이기) 거리는 [별표 1]의 조건을 만족하거나 그 이상 거리를 주행한 차량에 대해서 시험을 실시하여야 한다.

- 시험자동차의 배터리의 잔존용량(State of Charge)의 경우 연비에 영향을 최소화하는 조건으로 시험을 진행한다. 단 차종의 특성을 고려하여 시험 전 각 시험기관이 서로 상호 협의하고, 시험방법을 반드시 통일한다.

- 예비주행 후 5분 이내에 자동차를 동력계에서 분리한 후 주차실(Soaking room)로 옮겨 주차 한다. 주차시간은 휘발유 및 가스자동차는 12~24시간이고, 경유자동차는 12시간 이상이다.

- 속도 허용범위는 [별표 1]의 허용범위와 동일하나, 속도 추종의 경우 지정된 속도의 $\pm 1\text{km/h}$ 이내로 주행하여야 하며, 전체 주행기간의 95% 이상이 이 조건을 만족해야 한다. 또한 운전자는 가능한 지정된 속도를 추종하도록 노력해야 하며, 지나치게 부드럽거나 가혹한 운전은 피해야 한다.

- 통계분석을 통해 속도 추종성을 검증하며, 이를 위해 각 시험기관은 속도 데이터를 측정 및 제출해야 한다.

⑤ 상관성 판정 방법

FTP-75의 경우 통계기법 중 표준점수의 Z 점수(basic z-score)를 활용하고, HWFET의 경우 각 기관이 시행한 3회의 시험결과에 대해 변동계수(Coefficient of Variation, CV)분석을 시행한다. CV 값이 3% 미만인 경우, 각 기관이 시행한 3회의 시험결과를 평균내어 1개의 시험 값으로 도출한다.

$$\text{Coefficient of Variation (CV)} = \frac{\text{표준편차}}{\text{평균}}$$

각 시험기관 별 1개의 데이터, 총 6개의 HWFET 데이터에 대하여 ISO-13528을 기반으로 Z-score 를 적용한다. 단, 6개 데이터의 최대/최소값 차이는 5% 이내이어야 한다. Z-Score는 다음과 같이 정의한다.

$$Z-Score = \frac{\text{결과값} - \text{평균}}{\text{표준편차}}$$

위의 값이 ± 2 이내인 경우에는 상관성을 인정하며, ± 3 을 이상인 경우 재시험을 실시한다.

⑥ 기타

그 외 사항은 FTP-75 모드와 HWFET의 방법 및 절차에 따른다.

(6) 부칙

제1조(시행일) 이 고시는 2016년 00월 00일부터 시행한다.

위 공동고시 개정(안)은 과제 시작 후 여러 차례 협의체 회의를 거쳐 제시된 부분임. 2016년 4월 15일 국내 제작사를 대상으로 길들이기 표준모드의 경우 주요 인자별 특성 분석 결과와 길들이기 시의 효과를 검토하기 위한 Vehicle loss 시험데이터의 통계 분석 결과를 협의체 회의에서 설명하여 본 보고서에 최종 제시된 ‘C-모드’로 공동고시 개정(안)에 반영도록 하였음. 또한 주행저항 허용오차 판정기준도 연비 시험모드별 주행저항 계수에 대한 고정 상수를 사용하여 주행저항 허용오차를 판정하는 것에 동의 하였으며, 주행저항 통합프로그램을 사용하여 측정 및 판정하는 것에도 약 6~12개월 정도 모니터링기간을 거쳐 2017년도 12월까지 각 제작사들이 배포 받아 사용하는 것에 동의하였음. 2015년 12월 8일 연비상관성 시험 방법 및 판정기준에 대해 논의하였고, 2016년 7월 29일 연비상관성 시험 결과에 대해 시험기관간 상관성 확인 및 판정기준 관련 타당성에 대해 논의함. 이를 기반으로 공동고시 개정(안)에 상관성시험 관련 내용을 반영함.

제 5 절 사회경제적 파급효과 분석

1. 사회후생 증대 효과분석

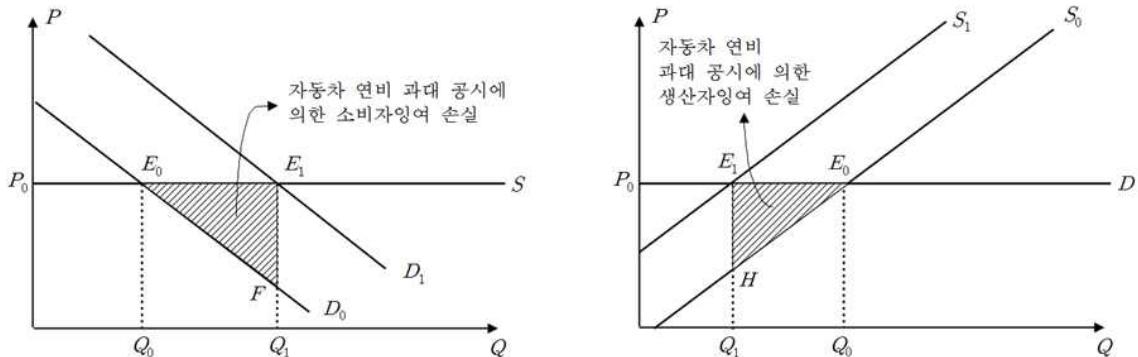
가. 자동차 연비 과대 공시에 따른 소비자잉여와 생산자잉여의 감소

- (1) 자동차 연비가 실제보다 과장되어 알려지는 경우 일종의 위임의 오류(error of commission)에 의해 소비자잉여는 감소됨.
- (2) 자동차 연비 수준이 잘못되어 올바른 수준보다 과장되거나 과소하게 알려지는 경우 자동차 생산량이 최적 수준과 달라짐에 따라 생산자 잉여가 감소될 것임.
- (3) 자동차연비의 과대 공시는 소비자가 자동차 특정소비량에 대해 기꺼이 지불하고자 하는 유보가격(reservation price)을 상승시키는 기능을 함. 자동차연비의 과대 공시에 의한 소비자가 자동차 유보가격의 상승 규모를 추정하기 위해서는 연비 상승이 유보가격에 미치는 경로를 파악하여야 될 것임. 연비(FE)의 상승은 자동차 수요량(Q)을 증가시킴. 자동차 수요량이 자동차 유보가격(P)에 미치는 영향은 자동차 역수요함수(inverse demand function)에 의해 결정될 것임.²⁵⁾ 따라서 다음과 같은 식으로 정리될 수 있음.

25) 역수요함수는 수요함수 $Q = f(P)$ 의 역함수로서 $P = f^{-1}(Q)$ 로 표시함.

$$\frac{dP}{dFE} = -\frac{\frac{dQ}{dFE}}{\frac{dQ}{dP}} \quad (1)$$

자동차연비의 과대 공시에 의해 소비자의 자동차에 대한 유보가격을 상승시키고 시장생산량을 증가시킴. 자동차연비가 제대로 공시되는 경우에 비하여 [그림 210]의 우측 그림의 삼각형 FE_0E_1 크기만큼 사회후생이 감소될 것임. 이는 반대로 자동차연비의 과대 공시가 올바르게 공시되는 경우 삼각형 FE_0E_1 크기만큼 사회후생이 증가될 것을 의미함.



[그림 210] 자동차 연비 과대 공시에 의한 소비자잉여손실 및 생산자잉여 손실

삼각형 FE_0E_1 크기(W)는 다음과 같이 측정될 수 있음.

$$W = \frac{1}{2} T^2 \frac{Q}{P} \left(\frac{\epsilon_D \epsilon_S}{\epsilon_D + \epsilon_S} \right) \quad (2)$$

단 여기서 ϵ_D = 자동차 수요의 가격탄력성

ϵ_S = 자동차 공급의 가격탄력성

P = 자동차 시장균형가격

Q = 자동차 시장균형 생산량.

중요한 것은 T 인데 이는 자동차연비의 과대 공시에 의한 유보가격의 상승분을 나타내는데 다음과 같은 식으로 표현할 수 있음.

$$T = dP = \epsilon_D \times \frac{1}{\epsilon_{FE}^Q} \times \frac{dFE}{FE} \times P \quad (3)$$

식 (3)을 정리하면 다음과 같이 자동차 유보가격의 연비에 대한 탄력성(ϵ_{FE}^P)은 위의 식 (3)으로 표현될 수 있음.

최종적으로 식 (3)을 식 (2)에 대입한 후 정리하면 다음과 같은 식 (4)로 사회후생 손실이 표현됨.

$$W = \frac{1}{2} (\epsilon_D \times \frac{1}{\epsilon_{FE}^Q} \times \frac{dFE}{FE})^2 (P \times Q) \left(\frac{\epsilon_D \cdot \epsilon_S}{\epsilon_D + \epsilon_S} \right) \quad (4)$$

나. 자동차연비 과대 공시와 과소 공시를 올바른 수준으로 시정하는 경우 사회후생 증가규모

(1) 자동차연비 과대 공시에 의한 사회후생 손실규모 추정

자동차연비의 과대 공시에 의한 사회후생 손실규모 추정을 위한 인자의 입력 값은 다음과 같이 추정됨.

-국내 자동차시장 판매액($P \times Q$)은 다음과 같은 절차에 의하여 적용함.(기준연도는 2013년임.)

-국내자동차시장판매액 = 자동차산출합계 + 수입 + 가격전환계 - 수출.

-단 여기서 자동차 산출 합계 = 185,508,736 백만원

-수입 = 12,436,266 백만원

-가격전환계 = 12,436,266 백만원

-수출 = 81,607,549 백만원

-결국 국내자동차시장판매액은 116,337,453 백만원이 됨.

기타 값은 다음과 같이 적용함.

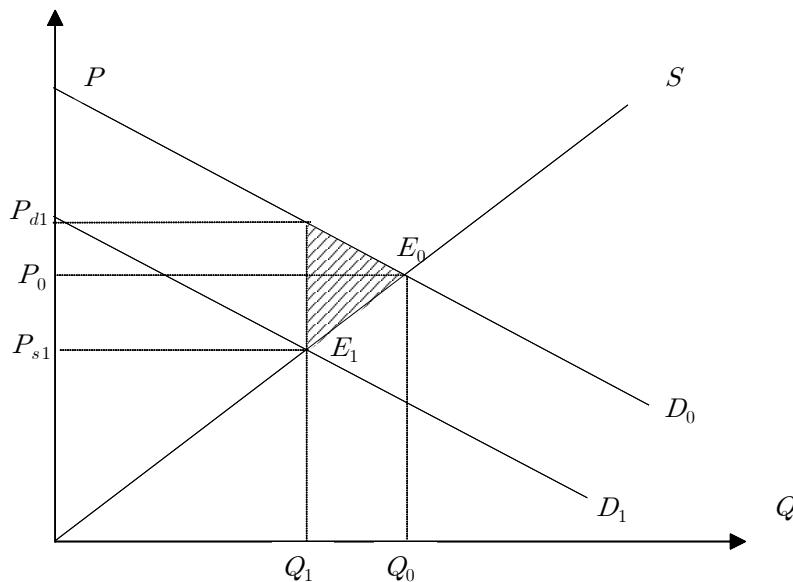
자동차수요의 가격탄력성(ϵ_P^Q)은 모든 차종의 평균인 -1.15를 적용함. 자동차수요의 연비탄력성(ϵ_{FE}^Q)은 0.67을 적용함. 자동차공급의 가격탄력성은 무한대로 가정함. 연비의 과대 공시 비율은 5%를 가정함. 즉 올바른 연비수준의 5%를 과장하여 공시하였다고 가정함. 자동차공급의 가격탄력성(ϵ_S)이 무한대인 경우 로피탈의 법칙을 적용하여 자동차연비의 과대 공시에 의한 사회후생 손실규모는 다음과 같은 식 (5)로 정리됨.

$$W = \frac{1}{2} (\epsilon_D \times \frac{1}{\epsilon_{FE}^Q} \times \frac{dFE}{FE})^2 (P \times Q) (\epsilon_D) \quad (5)$$

최종적으로 자동차연비의 과대 공시에 의한 사회후생 손실규모 추정규모는 566억 원으로 추정됨. 따라서 자동차연비를 올바르게 공시하는 경우 사회후생은 556억 원만큼 증가하는 것으로 추정됨.

(2) 자동차연비 과소 공시에 의한 사회후생 손실규모 추정

① 자동차연비의 과소 공시는 소비자가 자동차 특별소비량에 대해 기꺼이 지불하고자 하는 유보가격을 낮추는 역할을 함. 그에 따라 수요곡선은 [그림 211]에서와 같이 아래로 평행이동하게 될 것임.



[그림 211] 자동차연비 과소 공시에 의한 소비자의 자동차 유보가격 변화와 사회후생 손실

자동차연비의 과소 공시에 의한 소비자가 자동차 유보가격의 인하 규모를 추정하기 위해서는 연비 상승이 유보가격에 미치는 경로를 파악하여야 되는데 다음과 같음.

- 연비(FE)의 하락은 자동차 수요량(Q)을 감소시킴.
- 자동차 수요량의 감소는 자동차 유보가격(P)을 높이게 될 것인데 그 규모는 자동차 역수요함수에 의해 결정될 것임.
- 따라서 위 식 (1)과 같이 정리될 수 있는데, 단지 방향성은 다름.
- 자동차연비의 과소 공시 역시 과대 공시와 유사한 방법으로 사회후생 손실 규모를 추정할 수 있을 것임.

② 자동차연비 과소 공시에 의한 사회후생 손실 규모 추정

자동차연비의 과소 공시에 의해 시장균형 생산량은 Q_0 에서 Q_1 으로 감소함.

따라서 자동차연비가 제대로 공시되는 경우에 비하여 [그림 210]의 삼각형 AE_0E_1 크기만큼 사회후생이 감소될 것임. 이는 반대로 자동차연비의 과소 공시가 올바르게 공시되는 경우 삼각형 AE_0E_1 크기만큼 사회후생이 증가될 것을 의미함.

삼각형 AE_0E_1 크기(W)는 위의 식 (15)와 같이 측정될 수 있음.

중요한 것은 T 인데 이는 자동차연비의 과소 공시에 의한 유보가격의 인하분을 나타내는데 위의 식 (2)과 같은 식으로 표현할 수 있음.

자동차연비의 과소 공시에 의한 사회후생 손실규모 추정을 위한 인자의 입력 값은 다음과 같이 추정됨. (기준연도는 2013년임.)

- 국내자동차시장판매액($P \times Q$)은 116,337,453 백만원을 적용함.
- 자동차수요의 가격탄력성(ϵ_P^Q)은 모든 차종의 평균인 -1.15를 적용함.
- 자동차수요의 연비탄력성(ϵ_{FE}^Q)은 0.67을 적용함.
- 자동차공급의 가격탄력성은 무한대로 가정함.
- 연비의 과소 공시 비율은 5%를 가정함. 즉 올바른 연비수준의 5%를 과소하여 공시하였다

고 가정함.

최종적으로 자동차연비의 과소 공시에 의한 사회후생 손실규모 추정규모는 556억으로 추정됨. 따라서 자동차연비를 올바르게 공시하는 경우 사회후생은 556억 원만큼 증가하는 것으로 추정됨. 결론적으로 자동차연비의 5% 과소 공시에 의한 사회후생 손실규모 추정규모는 자동차연비의 5% 과대 공시에 의한 사회후생 손실규모와 동일한 것으로 밝혀졌음.

(3) 자동차연비의 과대·과소 공시를 올바른 수준으로 시정하는 경우 사회후생 증가규모는 다음과 같음.

[표 79] 자동차연비 과대·과소 공시 시정에 의한 사회후생 증가규모

	과대·과소 공시비율			
	5%	10%	15%	20%
사회후생증가규모	566억 원	2,264억 원	5.094억 원	9,056억 원

(4) 자동차 연비를 올바른 방법으로 측정하여 소비자에게 정확한 정보를 전달하는 경우, 연비의 과대·과소 공시에 의한 자원배분의 왜곡에 따른 사회후생 손실을 모두 만회할 수 있는데 본 연구의 분석결과 사회후생 증가규모가 상당한 수준에 이르는 것으로 드러남.

2. 경제적 증대 효과분석

가. 제작사 측면

- (1) 자동차 연비 개선은 에너지 효율을 향상시키기 위한 관련 기술개발의 필요충분조건으로, 자동차 연비의 공시를 통해 자동차산업의 연비개선에 대한 노력을 경주하게끔 유인하고 관련 기술 개발을 촉진하는 효과가 발생함.
- (2) 브랜드 가치가 어느 정도 상승할 것인가를 정량적으로 추정하는 것은 쉽지 않지만 자동차연비에 대한 적정 공시제도의 확립을 통해 글로벌 시장에서 우리나라 자동차에 대한 인식과 신뢰도를 제고시키고, 이는 궁극적으로 우리나라 자동차 전체의 브랜드 가치 상승으로 이어질 수 있음.

나. 소비자 측면

- (1) 연료비 지출 감소에 따른 후생이 증가함

다. 정부 측면

- (1) 원유 수입 감소에 따른 국제수지 개선

3. 환경개선 편익 증가 효과분석

가. 환경개선 편익 증가

- (1) 전제 : 정확한 연비 측정 및 고시에 따라 이전까지 과장된 연비를 사실로 알고 자동차 운전을 하던 운전자들의 주행시간 및 주행거리가 감소하게 됨
- (2) 영향 경로 : 연료소비가 감소함에 따라 대기오염 및 온실가스(GHG) 배출 역시 감소하고, 이를 통해 대기오염 피해 및 GHG 피해가 감소함.

(3) 분석 절차 : 에너지원 별 연료 소비량(에너지통계연보) 감소 규모를 1%, 3%, 5% 등 시나리오를 설정하고, 수송용 에너지를 휘발유, 경유, LPG로 분류한 뒤 연료소비 감소에 따른 환경 피해비용의 감소를 편익으로 추정

나. 환경개선편익 추정 방법

(1) 우리나라 수송용 에너지원별 소비량

우리나라 수송용 에너지원별 소비량은 [표 80]에 정리된 바와 같음.

[표 80] 2014년 수송용 에너지원별 소비량

에너지원	소비량	환산단위	환산량	단위
휘발유	71,178천 배럴	1배럴=158.99 l	11,316,590	k l
경유	112,090천 배럴	1배럴=158.99 l	17,821,189	k l
부탄 (LPG)	40,888천 배럴	1배럴=158.99 l	6,500,783	k l

우리나라 수송용 에너지원별 단위 소비량(리터) 당 대기오염물질 배출량은 다음과 같음.

[표 81] 수송용 에너지원별 소비량(리터) 당 대기오염물질 배출량

(단위 : (kg/리터))

에너지원	NOx	SOx	PM ₁₀	PM _{2.5}	VOC	NH ₃
휘발유	0.0023	0.0000	-	-	0.0033	0.0008
경유	0.0164	0.0000	-	0.0007	0.0012	0.0000
부탄 (LPG)	0.0014	0.0000	-	0.0000	0.0000	0.0001

(2) [표 82]에는 에너지원별 연료소비 감소량 추정치가 정리되어 있음.

[표 82] 에너지원별 연료소비 감소량 (단위: kL)

	연료소비 감소량		
	휘발유	경유	LPG
2015	21,834.7	40,307.2	7,711.8
2016	64,514.5	125,090.0	21,231.4
2017	148,893.5	299,521.4	46,280.4
2018	316,682.5	654,009.5	94,332.5
2019	651,305.2	1,369,436.5	188,360.9
2020	1,319,610.9	2,807,637.1	374,335.3
2021	2,655,300.1	5,692,355.4	744,215.4
2022	5,325,775.1	11,471,159.4	1,481,938.1

(3) [표 83]에는 대기오염물질 배출 감소량 추정치가 정리되어 있음.

[표 83] 대기오염물질 배출 감소량 추정 결과: 2015-2022 (단위: kg)

	휘발유			경유			LPG	
	NO_X	VOC	NH_3	NH_3	$PM_{2.5}$	VOC	NO_X	NH_3
2015	50,220	72,054	17,467	661,038	28,215	48,369	10,797	771
2016	148,383	212,898	51,612	2,051,476	87,563	150,108	29,724	2,123
2017	342,455	491,349	119,115	4,912,151	209,665	359,426	64,793	4,628
2018	728,370	1,045,052	253,346	10,725,756	457,807	784,811	132,066	9,433
2019	1,498,002	2,149,307	521,044	22,458,758	958,606	1,643,324	263,705	18,836
2020	3,035,105	4,354,716	1,055,689	46,045,248	1,965,346	3,369,164	524,069	37,434
2021	6,107,190	8,762,490	2,124,240	93,354,629	3,984,649	6,830,827	1,041,902	74,422
2022	12,249,283	17,575,058	4,260,620	188,127,014	8,029,812	13,765,391	2,074,713	148,194

(4) 연비 증가에 의한 중기 환경피해비용 개선효과

[표 85]에는 대기오염물질 배출 감소에 따른 환경피해비용 절감액 추정치가 정리되어 있음.

[표 84] 대기오염물질 배출감소에 의한 환경피해비용 절감액 (단위: 억원)

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
휘발유	NO_X	19	57	132	281	578	1,171	2,355	4,724
	VOC	8	21	48	103	212	430	866	1,736
	NH_3	17	51	118	250	515	1,043	2,098	4,209
경유	NO_X	255	791	1,894	4,136	8,662	17,759	36,006	72,558
	$PM_{2.5}$	68	210	503	1,098	2,300	4,715	9,558	19,262
	VOC	5	15	36	78	162	333	675	1,360
LPG	NO_X	4	11	25	51	101	202	402	800
	NH_3	1	3	5	9	19	37	73	147

[표 85]에는 기준대기오염물질과 CO_2 배출감소 편익 추정치가 요약되어 있음.

[표 85] 기준대기오염물질과 CO_2 배출 감소 편익: 2015-2022 (단위: 억원)

		2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
휘발유	기준대기오염물질	44	129	298	634	1,305	2,644	5,319	10,669
	CO_2	45	133	306	651	1,339	2,712	5,457	10,946
	소계	89	262	604	1,285	2,644	5,356	10,776	21,615
경유	기준대기오염물질	327	1,016	2,433	5,313	11,124	22,807	46,239	93,181
	CO_2	112	349	835	1,822	3,816	7,823	15,861	31,963
	소계	440	1,365	3,268	7,135	14,940	30,630	62,100	125,144
LPG	기준대기오염물질	5	14	30	60	120	239	475	947
	CO_2	10	27	59	121	242	481	956	1,904
	소계	15	41	89	181	362	720	1,431	2,851
합 계		543	1,667	3,961	8,602	17,945	36,705	74,309	149,609

다. 신형 판매차 연비 증가에 따른 환경개선 편의 증가규모는 다음과 같음.

[표 86] 신형 판매차 연비 증가에 따른 환경개선 편의 증가규모

	연도			
	2015년	2016년	2017년	2022년
환경개선편의 추정액	543억 원	1,677억 원	3,961억 원	14조 9,609억 원

제4장. 목표 달성도 및 관련 분야 기여도

제 1 절 목표 달성도

구분	핵심성과 (level1)	단위성과 (level2)	최종 성과점검기준					해당 기관	예산 (백만원)	양적 성과목표	달성 도
			질적 성과지표	목표 치	측정방법	검증방법	기준치				
1세부	A 자동차 길들이기 표준모드(안) 개발	A-1 자동차 길들이기 표준모드(안) 개발	① 길들이기 주요인자별 효과분석을 통한 길들이기 표준모드(안) 개발	1건	목표 누적 주행거리($6,500\text{km} \pm 1,000\text{km}$)에서 길들이기 시험모드별 효과 분석 수행	협의체 개최 및 의견수렴 공동고시 개정(안)	4	교통안전공단	90	논문발표 1건 협의체 개최1건 공동고시 개정(안) 1건	100%
			① 단계별 절차 내부지침 도출	1건	주행저항 측정절차를 최소 4단계 이상으로 구분하여 표준절차(안) 제시	협의체 개최 및 의견수렴 공동고시 개정(안)	4	교통안전공단	40	논문발표 3건 공동고시 개정(안) 1건	100%
	B 자동차 주행저항 표준 측정 방법(안)	B-1 주행저항 허용오차 산정방법 개발 및 허용오차 판정기준(안) 도출	① 주행저항 허용오차 산정방법 개발	1건	주행저항 편차 계산방법 최소 3가지 이상 도출	협의체 개최 및 의견수렴 국제 공인회의 발표	4	고려대	10	협의체 개최1건 국제공인회의 발표 2건	100%
			② 주행저항 판정기준(안) 도출	1건	도출된 최소 3가지 이상의 주행저항 산정방법(안) 가운데 연비 시험모드를 고려한 최적의 주행저항 허용오차 판정기준(안) 도출	국제 공인회의 발표	4	교통안전공단	20	국제공인회의 발표 2건	100%
	C 주행저항 측정 결과 통합 프로그램	C-1 주행저항 측정 결과 통합 프로그램 개발	① 결과 처리 프로그램 개발	1건	공동고시(안) 변경 사항 적용, 주행저항 정확한 분석을 위한 실시간 수치해석 연산 구현 등 최소 3가지 이상 항목이 포함되도록 소어 프트웨어 개발	주행저항 통합 프로그램 소프트웨어 개발	2	교통안전공단	100	S/W 1건	100%
	D 연비 상관성시험 방법 및 판정기준(안)	D-1 상관성 판정방법 도출 및 상관성시험 판정기준(안) 도출	① 연비 상관성 판정방법 개발	1건	상관성 판정 방법(안) 최소 3가지 이상 도출	협의체 개최 및 의견수렴	5	고려대 자부연 석관원 교통안전공단	450	논문발표 2건 협의체 개최 1건 공동고시 개정(안) 1건	100%
	E 자동차 연비 공동고시 개정(안) 및 연비 제도 개선(안)	E-1 자동차 연비 공동고시 개정(안)	① 공동고시 개정(안) 도출	1건	본 연구 과제를 통해 도출된 항목 중 공동고시 개정(안) 3건 이상 제안	공동고시 개정(안)	5	교통안전공단	20	정책제안 2건	100%
계							20		780	논문발표 4건 협의체 개최3건 국제공인회의 발표 2건 S/W 1건 공동고시 개정(안) 3건 정책제안 2건	100%

제 2 절 관련 분야 기여도

본 연구 사업을 통하여 길들이기 및 주행정향에 대한 표준을 마련하고, 시험조건(냉각방식, 시험실 온도, 운전모드 추종성, 온도조건 등)변화에 따른 영향 분석 및 시험기간관 상관성 시험을 수행함. 이를 통하여 연비 공동고시 시험방법의 개선 및 관련 시험법 개정에 활용 가능하며, 국내 자동차 연료소비율 시험기관의 편차 개선 및 객관성을 확보하여 최근 발생한 자동차연비에 대한 사회적인 관심 및 불신 증가 해소를 기대해 볼 수 있으며, 자동차의 에너지소비효율, 온실가스 배출량 및 연료소비율에 대하여 보다 정확한 시험방법을 도출하여, 차량의 정확한 연비 측정과 관련 기술의 균형개발 및 해외시장 진출에 기여할 수 있음.

제5장. 연구개발성과의 활용계획

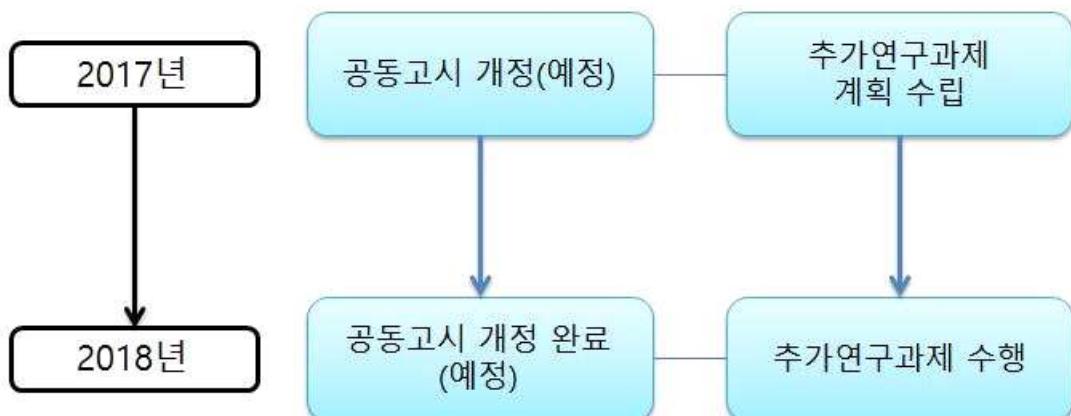
자동차 연비 시험방법의 체계적인 정립과 표준 시험방법 개발 및 자동차 부문 연료소비율 시험시스템 개발을 수행하여 자동차 연비에 대한 사회적 관심 증대에 부응하도록 신뢰성 확보를 위한 국내 연비 기준 및 평정방법에 대한 타당성 근거 및 기초자료를 제공할 수 있음.

본 과제 연구결과를 바탕으로 2017년 12월 까지 각 부처간 협의를 진행하여 2018년 12월 전에 공동고시의 미비점을 사전에 보완하여 공동고시 개정을 완료하여 신뢰성 있는 정부 정책이 시행될 수 있도록 자동차 연비 공동고시 기준 개정에 활용할 수 있음. 소비자 보호를 위해 자동차 제작사가 정확하고 신뢰성 있는 연비 정보의 제공을 유도할 수 있도록 객관적이고 신뢰성 있는 연비 사후관리 기반을 마련할 수 있음. 연비 제도 개선 연구를 통해 국내 연비 관리제도의 발전방향 제시와 자동차 산업 경쟁력 강화를 위한 기초 자료로 활용 가능함.

또한 공동고시 개정 및 상관성 시험방법 재정에 절차에 발맞추어 국·내외 제작사에게 주요연구결과를 문서 또는 연비관련 담당자 간담회에 특별 세션을 통하여 알리고 각 연구결과의 의의를 설명하여 제작사의 오해를 최소화하고 현장에서 시험오차 개선을 위한 노력이 이루어질 수 있도록 계획 중임.

안전기준 국제화연구용역과 협업하여 국제소형차시험방법(WLTP) 국제회의에 참여하여 연구결과를 국제 표준 제·개정에 반영할 수 있도록 계획 중임.

또한 2017년도에는 이번 과제 범위가 아니었던 부분(전기차, HEV, PHEV 등)들에 대한 추가적인 연구 과제 계획을 수립하여 2018년 12월까지는 추가연구과제를 시작할 수 있도록 계획을 수립 중에 있음.



[그림 212] 성과검증 관련 향후 연구계획 Time Table

제6장. 연구 과정에서 수집한 해외 과학기술 정보

제 1 절 미국의 기술정보

1. 미국의 SAE J2951 분석

미국의 자동차공학회(SAE, Society of Automotive Engineers)는 2011년 11월경에 J2951 “SURFACE VEHICLE RECOMMENDED PRACTICE” 표준을 발행하였고, 이 문서는 실제 차량 속도와 차대동력계 주행 속도 사이의 주행추종성을 정량적으로 분석할 수 있는 절차를 확립함.²⁶⁾

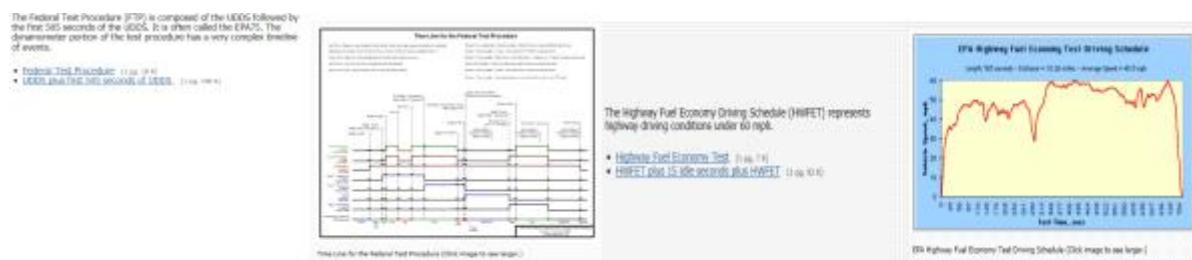
주행추종성 분석방법에서는 크게 에너지 경제성 평가(EER, Energy Economy Rating), 절대 속도 변화 평가(ASCR, Absolute Speed Change Rating), 제곱 평균 속도 오류분석(RMSSE, 제곱 평균 속도 오류), 관성일 평가(IWR, Inertial Work Ratio)로 정의함.

$$EER = \left[1 - \frac{\frac{ER}{100} + 1}{\frac{ER}{100} + 1} \right] \times 100 \quad (\text{식 } 1) \qquad ASCR = \frac{ASC_D - ASC_T}{ASC_T} \times 100 \quad (\text{식 } 2)$$

$$RMSSE = 2.237 \times \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (V_{Di} - V_T)^2}{N}} \quad (\text{식 } 3) \qquad IWR = \frac{\sum_{i=1}^N [W_{I-T}]^+}{CE_T} \quad (\text{식 } 4)$$

식 1에서 ER 은 에너지 사용량을 의미함. 식 2에서 ASC_D 와 ASC_T 은 절대 가속도의 적분값의 근사치를 의미함. 식 3에서 V_{Di} 와 V_T 는 각각 추진속도와 목표속도를 의미함. 식 4에서 CE_T 는 목표속도의 주기 에너지를, W_{I-T} 는 추진 및 목표 관성일의 증분값을 의미함.

미국의 EPA(Environmental Protection Agency)에서는 10Hz 기준의 FTP-75 및 HWFET 주행모드 프로파일을 제공하며, 이를 토대로 SAE J2951 주행추종성 분석을 수행함. (해당 인터넷 주소 : <https://www.epa.gov/vehicle-and-fuel-emissions-testing/dynamometer-drive-schedules>)



[그림 213] EPA의 10Hz 주행 프로파일 제공자료

2. 승용자동차 연비 또는 온실가스 배출기준

가. 미국(연방정부 및 캘리포니아주)

EPA와 NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration)은 2017~2025 light-duty 차량을 대상으로 National Program을 강화하기로 결정함(프로그램의 강화를 통해 온실가스 저감, 연료 성능 향상이 기대되기 때문). EPA는 온실가스 배출 규제를 Clean Air Act에 근거하여 도입, NHTSA는 CAFE (Corporate Average

26) No.3 SAE J2951 Driving Energy Validation

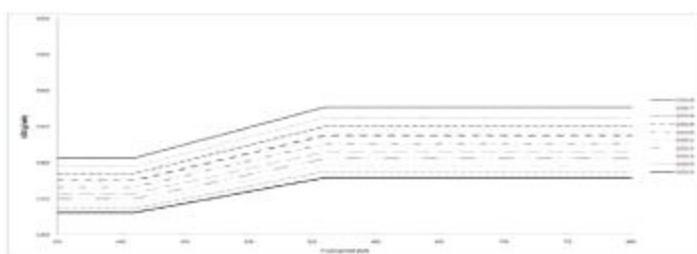
Fuel Economy) 규제를 Energy Policy and Conservation Act 근거 하에 설정함.

EPA의 온실가스 규제는 MY 2017~2025의 PC (Passenger Car), light-duty truck 및 medium-duty passenger vehicle을 대상으로 적용됨. 온실가스 규제 적용 및 온실가스 저감이 오직 연료의 성능 향상에 의존한다면 2025년 average industry fleet-wide 기준 163 grams/mile (1갤런 당 54.5 mpg (miles per gallon)에 상응하는 수치)이 기대됨(Light-duty vehicle은 현재 U.S. 교통과 연관된 석유 사용량 및 GHG 배출량의 60 % 수준을 차지하고 있기 때문에 light-duty vehicle을 중점으로 규제가 강화된 것임). EPA가 도입한 light truck과 차량에 대한 fleet-wide 평균 CO₂ 배출량 규제 수준은 CO₂ 배출량의 footprint curve를 기준으로 하고 있으며 이에 따라, 각 차량에 대해 차량 고유의 CO₂ footprint curve (일반적으로 차량의 크기와 일정한 관계를 가짐)를 근거하여 이에 상응하는 수준의 CO₂ 배출량 규제 수준이 결정됨. 일반적으로, 더 높은 수준의 CO₂ footprint curve를 가지는 차량에 대해 더 높은 수준에 해당하는 CO₂ 배출규제치가 적용됨에 따라, 각 차량제조업자는 생산되는 차량을 고려한 고유의 fleet-wide 규제치를 적용받음. 추가적으로, EPA의 GHG 프로그램은 차량제조업자의 강화된 규제 충족을 위해 다양한 제도(Credit program 및 규제 적용 유예 등)를 도입한 상태임.

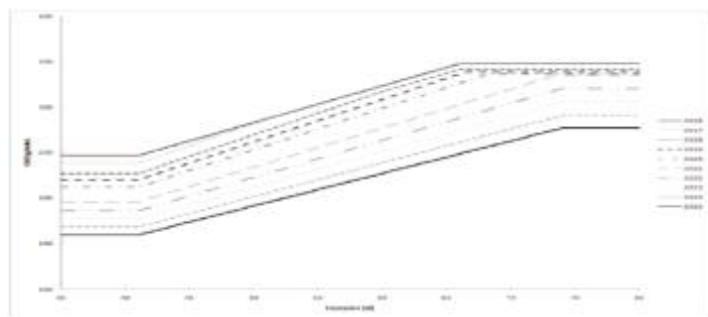
	Table 1 - Projected Fleet-Wide Emissions Compliance Targets under the Footprint-Based CO ₂ Standards (g/mi) and Corresponding Fuel Economy (mpg)										
	2016 base	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	
Passenger Cars (g/mi)	225	212	202	191	182	172	164	157	150	143	
Light Trucks (g/mi)	298	295	285	277	269	249	237	225	214	203	
Combined Cars & Trucks (g/mi)	250	243	232	222	213	199	190	180	171	163	
Combined Cars & Trucks (mpg)	35.5	36.6	38.3	40.0	41.7	44.7	46.8	49.4	52.0	54.5	

[그림 214] 연도별 Fleet-wide 기준 CO₂ 예상 배출수준

MY 2017-2025 기준으로 차량의 CO₂ 배출 수준에 대한 규제가 강화됨에 따라 2017년 및 2025년 기준 각각 212 및 143 grams per mile, truck에 대한 295 및 203 grams per mile, 평균 light vehicle(car 및 truck) 243 및 163 grams per mile로 감소될 것으로 예상되며, 163 grams per mile은 해당 연료의 성능 향상만을 고려한다면 54.5 miles per gallon에 상응하는 수치임.



[그림 215] 연도별 light duty 차량의 CO₂ 배출량 곡선

[그림 216] 연도별 light duty truck의 CO₂ 배출량 곡선

위 [그림 215]는 연도별 실제 CO₂ footprint 경향을 나타내며 CO₂ 의 footprint 곡선을 고려한 CO₂ 의 평균 배출 수준은 MY 2016-2025 기간 동안 각 해당 연도별 5%에 해당하는 수준으로 감소될 것으로 예상됨.

[그림 216]은 light-duty truck에 대한 연도별 실제 CO₂ footprint 경향을 나타내며 CO₂ 의 footprint 곡선 및 light-duty truck의 CO₂ 배출량 저감을 위한 기술수준을 고려한 CO₂ 의 평균 배출 수준은 light-duty 차량과 달리 MY 2017~2021 기간 동안 각 해당 연도별 3.5 %, MY 2022~2025 기간 동안 각 해당연도별 5% 수준으로 감소될 것으로 예상됨.

2009년부터 2016년까지 온실가스 배출규제는 자동차 제작사가 판매하는 모든 차량을 대상으로 기업평균 값을 규제하였으나 2017년부터 2025년까지는 차량 중량 카테고리별 배출허용기준을 신설하였으며 Footprint(차량의 윤거(좌우 타이어의 거리) × 축거(전후 타이어의 거리)) 개념을 적용하여 같은 카테고리 안에서 세부적 기준을 신설할 예정임.

FLEET AVERAGE GREENHOUSE GAS EXHAUST MASS EMISSION REQUIREMENTS FOR PASSENGER CAR, LIGHT-DUTY TRUCK, AND MEDIUM-DUTY PASSENGER VEHICLE WEIGHT CLASSES ¹ (4,000 mile Durability Vehicle Basis)			
Model Year	Fleet Average Greenhouse Gas Emissions (grams per mile CO ₂ -equivalent)		
	LDTs & LDVs 0-3,250 lbs LWV	LDTs 3,251 lbs. LwV - 8,500 lbs. GVW; MDPVs	
2009	323	439	
2010	301	420	
2011	267	390	
2012	233	361	
2013	227	355	
2014	222	350	
2015	213	341	
2015+	205	332	

[그림 217] 2009년부터
2016년까지 온실가스 배출기준

Model Year	CO ₂ Target Value (grams/mile)	Model Year	CO ₂ Target Value (grams/mile)
2017	195.0	2017	263.0
2018	185.0	2018	250.0
2019	175.0	2019	238.0
2020	166.0	2020	226.0
2021	157.0	2021	215.0
2022	150.0	2022	205.0
2023	143.0	2023	196.0
2025	137.0	2025	188.0
2025 and subsequent	131.0	2025 and subsequent	179.0

<Footprint 41ft2 이하>

<Footprint 56ft2 초과>

[그림 218] 2017년부터 2025년 이후까지 온실가스 배출기준(PCs)

- Footprint 41ft2초과 및 56ft2이하 차량은 다음과 같은 수식으로 배출기준을 정함

$$\text{Target gCO}_2/\text{mile} = [a \times f] + b$$

Where: f is the vehicle footprint and coefficients a and b are selected from the following table for the applicable model year.

Model year	a	b
2017	4.53	8.9
2018	4.39	8.5
2019	4.17	4.2
2020	4.01	1.9
2021	3.84	-0.4
2022	3.69	-1.1
2023	3.54	-1.8
2024	3.4	-2.5
2025 and subsequent	3.26	-3.2

[그림 219] Footprint 41ft2초과 및 56ft2이하 차량의 배출기준 산출식

또한, 2017년부터는 주요 온실가스인 N2O와 CH4 배출량을 하며 해당차종의 N2O는 FTP-75 결과값 기준 0.010g/mi(PC, LDT, MDT)을 초과하지 않아야 하고 CH4는 0.030g/mi을 초과하지 않아야 함.

N2O 및 CH4 통합규제는 FTP-75와 HWFET mode의 결과값을 통합하여 기업평균 N2O는 298까지 CH4는 25까지 허용됨. 제작사는 상기 두 가지 방법 중 하나를 선택하여 해당 기준에 부합해야 함.

제 2 절 UNECE

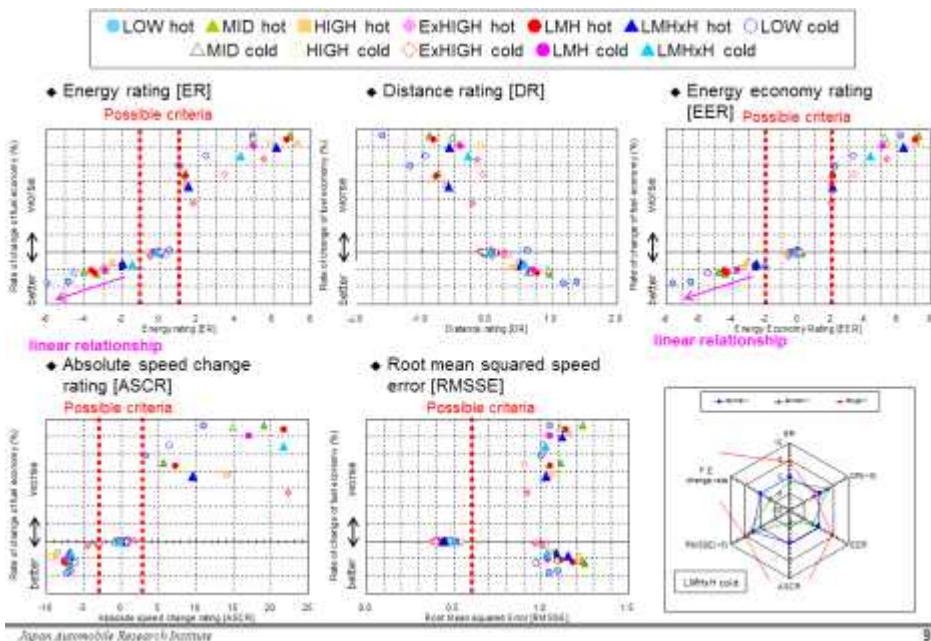
1. 주행추종성 분석자료

UNECE의 환경오염과 에너지 그룹(GRPE, Working Party on Pollution and Energy)에서 다양한 차량을 통한 주행추종성 분석을 수행하였고, 현재의 NEDC 주행모드를 대체할 WLTP 주행모드 개발에 사용하고 있음.²⁷⁾ 차량이 목표 속도를 따를 때 ER, DR, EER, ASGR, 그리고 RMSSE는 0에 가깝게 됨. 부드럽거나 거친 주행에서는 상기의 인덱스 값이 높거나 낮은 값을 나타내는데, 이러한 방법을 통하여 차량시험 중 부적절한 구동을 검출할 가능성을 나타낼 수 있음.

27) WLTP-06-16e - OIL#41 Drive trace index by Japan

Possible Indexes	brief description	applicability	(Ref) EPA requires
ER	is defined as the percent difference between the total driven and target cycle energy	NG	
DR	is defined as the percent difference between the total driven and scheduled distance	NG	
EER	is defined as the percentage difference between the distance per unit cycle energy for the driven and target traces	NG	✓
ASCR	is defined as the percentage difference between the ASC for the driven and target traces	OK	✓
IWR	is defined as the percentage difference between the inertial work for the driven and target traces	OK	✓
RMSSE	provides the driver's performance in meeting the schedule speed trace throughout the test cycle in terms of the Root Mean Squared Speed Error	OK	

[그림 220] UNECE 주행추종성 분석 적용성 검토자료



[그림 221] 차량분석에 사용된 주행추종성 결과자료(예시)

2. 유럽연합의 승용자동차 연비 또는 온실가스 배출기준

2009년 4월 23일에 발간된 EC Directive 443/2009는 Light Duty 차량의 CO₂ 감축을 위한 목표를 수립하고 있음. 2012년에는 120g/km를 목표로 2015년 까지 다음 표와 같은 목표를 수립하였고 순수 자동차 기술에 의한 감축 목표는 130g/km이며 대체연료 또는 타 기술에 의한 감축량이 10g/km에 해당함.

위 문서에서는 목표의 달성을 위하여 보완대책이 필요함을 강조하고 있으며, CO₂ 의무 규제 사항은 Fleet 평균 기준으로 하고, 기업간의 연합을 허용함. 제작사의 Fleet으로부터 120g/km 차량이 각 당해연도의 목표치(%)를 달성하도록 정하고 있으며, CO₂ 규제를 성취하지 못한 기업은 특정 패널티를 부여하도록 하였고 혁신적인 기술과 대체연료사용을 촉진토록하고 있으며 2020년 목표로 비용-효율적인 면을 고려하여 95g/km를 목표로 함.

[표 87] 제작사가 판매하는 승용차 및 화물차의 SET 의무 비율

year	% of manufacturer's car fleet which has to meet the target	
	승용차	화물차
2012	65%	-
2013	75%	-
2014	80%	70%
2015	100% (as of 2015)	75%
2016	-	80%
2017	-	100% (as of 2017)

각 승용차 차량의 SET는 다음의 식에 따라서 계산됨.

$$SET = 130 + a(M - M_0) [gCO_2 / km]$$

여기서, 2012-2015: $a=0.0457$; M =제작사의 자동차 fleet의 평균중량[kg]; $M_0=1,327\text{kg}$

2016이후 : $a=0.0457$; M =제작사의 자동차 fleet의 평균중량[kg]; $M_0=미정$

각 화물차 차량의 SET는 다음의 식에 따라서 계산됨.

$$SET = 175 + a(M - M_0) [gCO_2 / km]$$

여기서, M = 자동차의 중량(kg), $M_0=1706.0\text{kg}(2014-2017)$

$M_0=1,392.4\text{미정}(2018년 이후)$

만약 SET에서 정한 목표 CO_2 를 준수하지 못하면 다음과 같은 계산식에 의하여 패널티를 부여함.

매우 낮은 CO_2 를 배출하는 소형상용차는 추가적인 혜택을 줄 수 있고 50g/km이하의 차량은 다음과 같이 차량의 대수를 적용하여 산출할 수 있음.

[표 88] 화물차의 Super-Credits 적용 계획

Year	2014	2015	2016	2017	2018
Each new LCV with specific CO_2 emissions of $<50\text{g/km}$ will be counted as	3.5	3.5	2.5	1.5	1
Light commercial vehicles					

Super Credit 계획의 지속을 위하여 50g/km 이하의 CO_2 차량의 최고 한계를 제작사당 25,000으로 정함.

[표 89] EU의 연도별 SET 적용 소형화물차 평균 목표

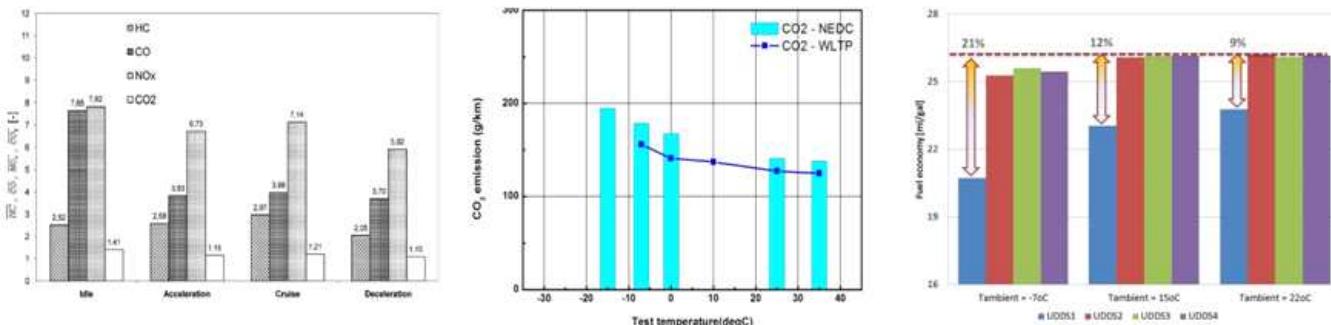
EU fleet average target for LCV(vans) Target Year 2014	Phase-In Scheme[%]				Long Term Target for year 2020
	2014	2015	2016	2017	
175g/km(CO ₂)	70	75	80	100	147g/km(CO ₂)

제작사나 공급사에 의한 적용에 따라 CO₂ 저감을 위한 혁신적인 기술의 사용이 권장됨. 이러한 혁신적 기술의 총 기여도에 따라 제작사의 SET에서 7g/km(CO₂)를 감하여 줄 수 있음.

2. 세부 시험조건 관련 국내외 문헌자료 조사결과

가. 시험온도에 의한 영향

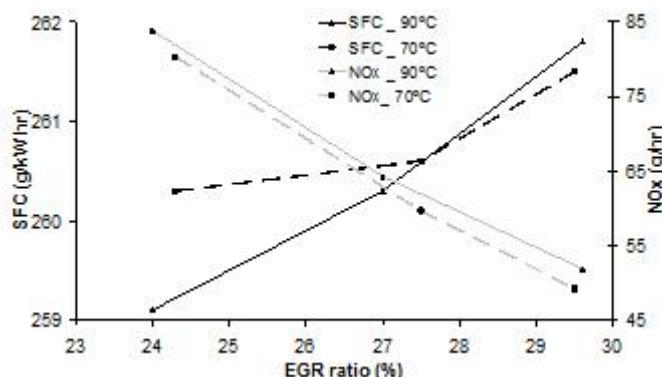
- P Bielaczyc et al.(2011)은 25°C 대비 -7 °C 대기온에서 NEDC모드 영역별 CO₂ 가 1.10~1.41배 배출된다 고 발표하였으며, 미국 에너지부(DOE, 2013) 역시 22 °C 대비 15, -7 °C 대기온에서 UDDS 냉간시동 주행에 서 3%, 12%의 연비가 악화됨을 발표함.



[그림 222] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화

나. 냉각방식에 의한 영향

Pang HH at al.(2004)은 EGR ratio 가 높을수록 연료소모량이 증가한다고 발표하였으며, 미국 에너지부 (DOE, 2013)는 EGR Cooler 퇴적물 생성(유로 및 열교환 방해)에 따라 연소효율 1~2% 감소한다고 발표하였음. 냉각수 온도에 따라 냉각팬 가동률 변화되는 것으로 조사됨.



[그림 223] 시험온도에 따른 연비 및 이산화탄소 배출변화

제7장. 연구개발성과의 보안등급

- 해당 사항 없음

제8장. 국가과학기술종합정보시스템에 등록한 연구시설·장비 현황

구입 기관	연구시설/ 연구장비명	규격 (모델명)	수량	구입 연월일	구입 가격 (천원)	구입처	비고 (설치 장소)	NTIS장비 등록번호
교통 안전 공단	시험용 자동차 (그랜저 디젤)	GRANDEUR HG diesel 22 Modern	1	' 15.03.19	33,251,910	현대 자동차	경기도 화성시 송산면 삼존로 200 교통안전공단 자동차안전연구원 배기시험실 1층	NFEC-2016-03-208327
	시험용 자동차 (그랜저 하이브리드)	GRANDEUR HG hybrid Premium	1	' 15.03.12	34,266,580			NFEC-2016-03-208328
	시험용 자동차 (그랜저 가솔린)	GRANDEUR HG gasoline 24 Modern	1	' 15.03.12	30,922,760			NFEC-2016-03-208340

제9장. 연구개발과제 수행에 따른 연구실 등의 안전 조치 이행 실적

- 해당 사항 없음

제10장. 연구개발과제의 대표적 연구 실적

번호	구분 (논문/ 특허/ 기타)	논문명/특허명/기타	소속 기관명	역 할	논문 게재지/ 특허 등록 국가	영향력 지수	논문 게재일 /특허 등록일	사사 여부	특기 사항
1	논문	자동차 길들이기 거리가 기계적 저항에 미치는 영향에 관한 연구	자동차 안전 연구원	주관	한국자동차 공학회 학술대회	-	2016.05.20. (발표)	단독	-
2	논문	Study on the Criteria for the Determination of the Road Load Correlation for Automobiles and an Analysis of Key Factors	자동차 안전 연구원	주관	energies	-	2016.07.25 (energies-131940)	단독	SCI
3	논문	배터리 충전상태가 경유 자동차 에너지소비효율에 미치는 영향 연구	한국 석유 관리원	공동	한국자동차 공학회 논문집	0.3	2016.07 (논문번호 120160040)	단독	-
4	논문	가솔린 차량의 시험조건 변화에 따른 연비 영향도 분석	자동차 부품 연구원	공동	한국자동차 공학회 학술대회	-	2015.11.18	단독	-
5	국제회의 발표	Status of Road Load Tolerance Regulation and Evaluation Criteria in KOREA	자동차 안전 연구원	주관	10차 국제전문가 그룹 기술 회의 (스웨덴)	-	2015.04	-	-
6	국제회의 발표	Study on Evaluation Criteria of Road Load Tolerance in Korea	자동차 안전 연구원	주관	12차 국제전문가 그룹 기술 회의 (일본)	-	2015.09	-	-
7	S/W 저작권 등록	주행저항 측정결과 통합 프로그램	자동차 안전 연구원	주관	대한민국	-	2016.06.03	-	-

제11장. 참고 문헌

1. 최선모 외(교통안전공단), ‘승용차 연료절약 기법 개발’, 2007, 산업부.
2. 김기호 외(한국석유관리원), ‘자동차 경제운전 에너지절감 효과분석 연구’, 2012, 한국에너지공단.
3. 일본 에코드라이빙 보급연락회 교육교재
4. Owner related fuel economy improvements, Oak ridge national laboratory, 2001
5. WLTP Trace Index Task Force(TF), “Study on Applicability of Driving Index(defined in SAE J2951) to WLTC”, 2014.
6. WLTP Trace Index Task Force(TF), ‘Progress report “Speed Trace Violations / Drive Trace Index”, 2015.
7. Ford(C. Hosier and P. Rowland), “Driving Trace Index”, WLTP Trace Index Task Force(TF), 2014.
8. 엄명도(국립환경과학원), ‘저탄소 배출을 위한 에코드라이브 운동’, KSAE Auto Journal 2009.06.
9. D. Kim, J. Lee, M. Choi, K. Kim, S. Kim and S. Lee, “A Development of Next Generation Alternator Management System”, KSAE Annual Conference Proceedings, pp.584–589, 2012.
10. J. Lee, H. Ohn, J. Choi, S. Kim and B. Min, “Fuel Economy Improvement on Development of Effective Exhaust Gas Heat Recovery System for a Hybrid Electric Vehicle”, KSAE Annual Conference Proceedings, 2011.
11. Bielaczyc, P., Szczotka, A. and Woodburn, J., ‘The effect of a low ambient temperature on the cold-start emissions and fuel consumption of passenger cars’, 2011, P I Mech Eng D-J Aut 225, D9, 1253–1624.
12. 이민호 외(한국석유관리원), ‘환경챔버를 활용한 유종별 차량 온실가스 및 대기오염물질 배출특성 평가(II)’, 2014, 오토오일위원회.
13. Vehicle systems simulation and testing, US DOE, 2013, Vehicle technology office.
14. Pang HH, Brace CJ, Akehurst S, Potential of a Controllable Engine Cooling System to Reduce NOx Emissions in Diesel Engines, 2004, SAE International.
15. Michael J. Lance, C. Scott Sluder, Matt K. Ferber, John M.E. Storey and Hassina Bilheux, ‘Materials Issues Associated with EGR Systems’, 2013, Oak Ridge National Laboratory
16. Supporting Analysis regarding Test procedure Flexibilities and Technology Deployment for Review of the Light Duty Vehicle CO₂ Regulations – TNO, 2012
17. Explaining road transport emissions – EEA, 2016
18. The Impact of Official Versus Real-world Road Loads on CO₂ Emissions and Fuel Consumption of European Passenger Cars – ICCT, 2016
19. Road Load Measurement Using Onboard Anemometry and Coastdown Techniques – SAE, 2008
20. Road Load Measurement and Dynamometer Simulation Using Coastdown Techniques – SAE, 2010
21. J. Lee and J. Ryu, ‘Reserch for RVC Validation Method’, 2011, KSAE Annual Conference Proceedings, pp.1667–1670.
22. Franco, V., Sanchez, F.P., German, J., Mock, P., (2014). Real-world Exhaust Emissions from Modern Diesel Cars
23. Tietge, U., Zacharof, N., Mock, P., Franco, V., German, J., Bandivadekar, A., Ligterink, N., Lambrecht, U. (2015). From laboratory to road: A 2015 update.

24. No.3 SAE J2951 Driving Energy Validation
25. WLTP-06-16e - OIL#41 Drive trace index by Japan
26. Exhaust Emissions from European Market-Available Passenger Cars Evaluated on Various Drive Cycles - SAE Paper, 2013
27. Determination and Use of Vehicle Road-Load Force and Dynamometer Settings - US EPA, 2015
28. Testing of particulate emissions from positive ignition vehicles with direct fuel injection system - TUV, 2013
29. Road load determination of passenger cars -TNO, 2012
30. Experimental Studies in Ground Vehicle Coastdown Testing -ASEE, 2012
31. Quality parameters estimation - FICCI QUALITY FORUM , 2013
32. Proposal for Adoption “Speed Trace Violations / Drive Trace Index” - WLTP Trace Index Task Force, 2015

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

주 의

1. 이 최종보고서는 국토교통부에서 시행한 교통물류연구사업의 연구보고서입니다.
2. 이 최종보고서 내용을 발표하는 때에는 반드시 국토교통부에서 시행한 사업의 연구개발성과임을 밝혀야 합니다.
3. 국가과학기술 기밀 유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 안 됩니다.

I S B N 9 7 8 - 8 9 - 9 6 5 7 3 3 - 4 - 0