

강화되는 자동차 배기 관련 및 대응 방법

박 심 수 교수 · 고려대학교 기계공학과

날로 강화되고 있는 자동차 배기 관련 법규는 미국, 유럽 등 자동차 선진국에서 환경보호를 앞세운 환경 당국의 대기환경 개선이라는 논리에 밀려 아주 엄격한 기준이 적용되고 있으며 우리나라에서도 2002년부터는 저공해 자동차 (Low Emission Vehicle) 배기 규제를 더욱 강화하여 자동차업계의 부담이 더욱 커지게 되었다.

여기서는 미국을 중심으로 한 배기 관련 법규와 국내의 배기 법규의 방향을 알아보고, 배기 법규에 대응하기 위한 자동차 완성차 업체 및 부품업체의 연구소에서 관심을 가지고 연구 개발해야 할 내용을 다루어 보기로 한다.

1. 배기 관련 법규

■ 미국의 일반 배출기준

〈표 1〉 승용차 · LDT(GVW 1.7 Ton 이하) California LEV 배출가스기준

규제항목(g/mile) (5만 mile 기준)	현행	TLEV	LEV	ULEV	*SULEV
NMOG	0.250	0.125	0.075	0.04	0.01
NOx	0.4	0.4	0.2	0.2	0.02
CO	3.4	3.4	3.4	1.7	1.0
PM(Diesel)	0.08	0.08	0.08	0.04	-
HCHO(Methanol)	0.015	0.015	0.015	0.008	0.004

* 120,000 mile 기준

■ EURO-III, EURO-IV

배기 규제를 2000년 미국 수준으로 강화한 유럽의 배기 규제 법규이다.

〈표 2〉 유럽의 배출가스 규제 기준

규제항목(g/mile)	Euro-II	Euro-III	Euro-IV
HC + NOx	0.05(0.70)	- (0.56)	- (0.3)
HC	-	0.20(-)	0.1(-)
NOx	-	0.15(0.50)	0.08(0.25)
CO	2.20(1.00)	2.30(0.64)	1.0
PM(Diesel)	(0.08)	(0.05)	(0.025)
적용시점	96. 1. 1.	2000. 1. 1.	2005. 1. 1.
비고	미국 0.25/TLEV 중간수준	미국 LEV와 비슷한 수준	미국 ULEV와 비슷한 수준

* () 안은 Diesel 규제

* Euro-III 규제에서는 HC+NOx 규제를 HC, NOx로 분리 규제함

〈표 3〉 국내의 휘발유 승용차 배기규제 기준 (8만 km)

규제항목(g/km)	2000년 기준	LEV
NMHC	0.16(0.19)	0.047(0.056)
NOx	0.25(0.37)	0.12(0.19)
CO	2.11(2.61)	2.11(2.61)
HCHO(Methanol)		0.009(0.011)

* ()안은 160,000 km 기준

■ 국내의 일반 배기가스

현재의 계획으로는 2002년부터 자발적으로 휘발유 승용차 1차종에 대하여 미국의 LEV 규제에 해당하는 규제를 국내에도 적용하기 시작하여 2006년부터는 모든 휘발유승용차에 대하여 엄격한 규제를 적용할 예정이고 이후의 규제 또한 더욱 강화될 것으로 보여진다.

■ SFTP(Supplemental Federal Test Procedure)

미국에서 배기 시험 mode에 차량주행의 실제 조건을 반영하기 위하여 기존의 FTP-75 mode에 에어컨을 작동한 상태의 mode, 급가속 및 고속주행 mode를 추가한 시험 mode이다. 엔진의 배기량이 작은 자동차의 경우에는 엔진의 회전수 및 부하가 증가하여 연소실의 온도가 상승하게 되므로 NOx의 배출 증가를 가져오게 되므로 NOx 저감을 위한 대책을 세워야 한다.

- 적용 MY(Model Year) : 2001MY 25%, 2002MY 50%, 2003MY 85%,

2004MY 100%

■ NLEV(National Low Emission Vehicle)

FED(미 연방, Federal) 지역의 일부 주에서 CAL(California) LEV 법규의 채택이 증가함에 따라 FED 전 지역에서 동일한 LEV Program을 시행하려는 규정이다.

- 북동부 13개 주 : 99MY, 기타 FED 지역 : 01MY

■ CAP2000(Compliance Assurance Program 2000)

지금까지는 업체가 자발적으로 적용하는 내구 aging mode를 사용하여 배기 관련 내구 보증기간의 배기 규제값을 신차 인증시에 EPA에 보고하여 추후 In-use 시험시 참고자료로 활용하였으나, EPA의 인증업무를 간소화하여 효율화하고 In-use를 강화하기 위하여 각 자동차제작사가 내구 Program을 개발하여 In-use에 대한 Verification Test 및 In-use Confirmatory Test(확인시험)를 실시하는 법규이다. 국내에도 조만간 적용되

리라 예측된다.

■ 가솔린 엔진의 OBD

1. OBD-I (1988년~1993년)

대기오염을 일으키는 원인 중 상당 부분이 배출가스의 질화합물의 결합과 관련된 부품의 문제로 밝혀짐에 따라 1988년부터 OBD-I 법규(전기적인 short 등을 확인)가 적용되었고 1994년부터는 배기가스와 관련되는 모든 부품의 결합이 있을 때 Dash Board에 자기진단 장치로써 MIL(Malfunction Indicator Light) 점등이 커지게 되는 OBD-II 법규(촉매, 인젝터, 흡기, 증발가스계, 인료공급계 등 monitoring)가 적용되었고, 일부 부품에 대해서는 더욱 강화된 규제를 적용하기 위하여 MIL monitoring 영역에 대한 규정을 엄격히 적용하는 강화 OBD-II 법규를 채택하게 되었다.

- Full range misfire monitoring
98MY 50%, 00MY 75%, 01MY 90%, 02MY 100%

- 0.02" Leakage detection (Evaporative emission)
00MY 50%, 01MY 75%, 02MY 100%

- 촉매 threshold 변경 : 1.75 x standard emission
98MY 20%, 99MY 40%, 00MY 60%, 01MY 80%, 02MY 100%

국내에도 조만간 휘발유 승용차의 배기법규 강화와 함께 "한국형 OBD"가 도입될 전망이다.

이러한 배기가스 배출을 줄이기 위하여 미국은 1990년 이후의 자동차에 발생하는 증발가스를 규제 (HC 0.2g/gallon) 하는 법규이다.

98MY 40%, 99MY 80%, 00MY 100%

이상에서 열거한 배출가스 관련 법규는 아주 많은 법규 중에 일부에 지나지 않고 중요한 사항만 열거한 것이고, 더욱 관심이 있는 분들은 미국의 자세한 배기 관련 법규는 <http://www.arb.ca.gov> 와 <http://www.epa.gov>를 유럽의 법규는 <http://europa.eu.int/eur-lex>를 참조하기 바란다.

2. 저공해 자동차 관련 기술

각국의 배기가스 규제를 만족하는 저공해 자동차를 개발하기 위한 기술은 수년 전부터 엔진 본체 개선, 연료의 무화(霧化), 연료계의 정밀제어 및 배기 후처리 등의 방법으로 주로 HC(탄화수소화합물)의 저감에 목적을 두고 각 자동차업체 및 관련 연구기관에서 연구 개발해 오고 있다. 엔진의 특성 및 제어장치가 엔진마다 다르고 후처리 관련 촉매도 제조업체마다 귀금속의 함유량, 온도 특성, 정화효율 등이 다르기 때문에 적용되는 엔진, 제어장치 및 후처리 장치가 한 시스템으로 고려되어 고유의 기술이 적용된 모델로서 개발이 되어야 한다.

여기서는 개별적인 기술들을 소개하고 이 기술들이 어떻게 적용되는지에 대한 설명을 간단히 하기로 한다.

(1) 엔진 본체의 배기 저감

■ Crevice 체적의 저감

HC의 발생에 중요한 역할을 하는 Crevice Volume을 작게 하기 위하여 Piston 및 Piston Top Land Height를 재 설계하는 방향으로 연구 개발이 진행되고 있다. 그러나 Top Land Height의 저감에 의한 Piston 내구성이 악화될 염려가 있으므로 재질의 변경 등을 검토할 필요가 있다.

■ 엔진 오일(윤활유) 소비 저감

연소실 내의 엔진 오일이 Henry의 법칙에 따라 연소실내의 압력 상승 시 HC를 Trap한 후 압력 강하 시 미연소 상태로 배출시키고 오일 속에 함유된 S(황) 및 P(인) 등의 성분이 촉매를 Poison(피독) 시켜 성능을 악화시키게 하므로 엔진 오일 소비를 감소시킬 필요가 있다. 각 연구기관의 노력 내용으로는 Tight한 간극 설정, 실린더 및 피스톤의 표면가공 개선, 피스톤 링 설계 및 재질 개선 그리고 배기 밸브 스템실 개선 등이 있다.

■ 전자식 배출가스 재순환

(Electronic Exhaust Gas Recirculation)

전자식으로 연료제어를 하기 전에 과거 (1980년대)에는

EGR을 사용하는 주목적이 엔진의 부분부하 영역에서 연소실의 연소온도를 낮추어 NOx 생성을 저감시키는 것이었는데, 최근의 LEV 및 ULEV에서는 고 부하 영역에서도 필요성이 있고 공기 연료비의 더욱 정밀한 제어가 요구되므로 EEGR을 필요로 하게 되었다.

배기 측정방법의 변경으로 SFTP를 적용(고속주행 및 에어컨 작동)할 때 연소실의 온도가 상승하여 EEGR을 적용하는 예도 나타나고 있다. 또, GDI(가솔린 직접분사)엔진의 Lean NOx를 저감하기 위해서 EEGR의 사용이 추진되어 일부 GDI엔진에는 모두 EEGR을 적용하여 NOx 배출을 저감시키고 있다.

■ 탄화수소화합물 흡장

(Hydrocarbon Adsorber System)

HC 저감을 위한 방법으로 냉간 운전시 특히 촉매 활성화 전에 HC를 Trap한후 촉매가 활성화 되면 HC를 방출하는 시스템이다. CCC(Close Coupled Catalytic Converter) 적용이 어려운 시스템에서 LEV 또는 ULEV 대응 시스템으로 적용이 고려되고 있으며 일부 ULEV 차량에 적용하고 있다.

■ 균일한 흡·배기계(Uniform Breathing System)

연료계 제어가 아무리 정밀해도 엔진으로 유입되는 공기 및

배기되는 연소가스의 유동분포가 흡·배기관 내에서 균일해야 HC저감을 위한 공기연료비 제어가 효과를 나타낼 수 있다. 많은 자동차 제작사가 소홀히 하거나 쉬운 부분으로 CFD 해석 및 유동측정으로 균일한 유동분포를 얻을 수 있으리라 사료된다.

■ 냉각수 전자제어(Electronic Coolant Control)

노킹특성 및 연비특성을 향상시키기 위해 흡기 선행냉각이나 실린더블록의 분리 냉각식으로 하기도 하지만, 촉매의 활성화 온도(Light Off Temperature)를 올리는 데에 필요한 시간의 단축을 위해서 시동초기에 실린더 헤드의 냉각수온도가 올라갈 때까지 써모스타트의 개폐를 전자식으로 제어하여 연료무화 및 연소조건을 개선하는 방법이다.

■ 연소실 유동 개선 (Gas Flow Improvement)

연소실내의 유동을 개선하여 연소속도를 향상시키고 및 연소효율을 상승시켜 HC의 발생을 저감시키는 방법이다.

(2) 연료 무화 및 연료공급 개선

■ 순차적인 다중 연료분사 (Sequential Multi-Point Fuel Injection)

각 실린더에 순차적으로 연료를 분사하여 엔진의 Warm-Up 중 Wall Wetting 및 Fuel Pudding을 감소할 수 있는 연료분사 방법으로 현재는 거의 모

든 회사가 사용하고 있으나 제어의 Logic 및 제어전략이 얼마나 효율적인가가 문제이다.

■ 공기 보조 연료분사 (Air-Assisted Fuel Injector)

최적의 연소특성 및 유해 배기가스 감소를 위해서는 이론공연비의 유지 및 균질한 공기연료 혼합가스가 필요한데, 특히 냉간시동 및 Warm-Up 기간에서는 저속구간에서의 연료무화의 개선으로 공회전 성능 및 연비를 개선할 수 있고 Wall Wetting을 감소시키는 데에 기여할 수 있다.

■ 다공 연료분사 (Multi Hole Injection)

Multi Valve 엔진의 경우 흡기포트 내의 Dividing Wall에 연료가 분사될 때에 생기는 Wall Wetting을 방지하기 위하여 여러 개의 구멍이 나있는 연료분사기를 사용하는 방법이며 이미 많은 연료분사장치 회사가 적용하고 있는 방법이다.

■ 흡기계 개선 (Improved Induction Systems)

VIS(Variable Intake System), VVT(Variable Valve Timing) 및 큰 Swirl 비와 큰 난류강도를 낼 수 있는 Intake Charge Speed 등의 기술이 사용되고 있다. 냉간시동 및 저속 운전 조건에서, 희박한 공연비 조건 하에서도 충분한 Swirl 및 난류강도를 발생시키

면, 학원기관에서도 연구되고 있으며 유해 배출가스 배출의 저감시킬 수 있으므로 접한 중장형차 추세이다. 일부의 TLEV과 고배출 LEV 및 ULEV에서 사용될 수 있다.

(3) 연동 제어 제어

■ 광역 산소센서 (Wide Area Oxygen Sensor)

삼원촉매의 정화효율을 높게 유지하기 위해서는 공연비의 Stoichiometric의 공연비를 (1%) 이내로 제어할 필요가 있고, Steady State 이하에 운전 시 과도한 급격한 공연비 변화로 촉매에 나쁜 영향을 주므로 유익을 위하여 "공역 산소센서"를 이용한 제어가 필요하다. 두 번째는 공역 산소센서를 Monitoring하고 공연비를 모니터링하여 정확한 연료비가 유입되도록 한다. 공역 산소센서의 위치를 보면, 산소센서의 과도한 연료공급을 Aging(노화)이 덜 하기 때문이다. 한편 OBD-II의 촉매 Monitoring으로도 "2중 산소센서"를 사용한다.

■ 광역 산소센서

Wide Area Oxygen Sensor

기존의 산소센서는 공연비의 Rich/Lean 만 판정하여 연료계의 feedback 제어에 이용되었으나, 광역 산소센서는 정확한 공연비의 제어(Stoichiometric

주위의 Tighter Band)를 위해 석 또는 냉간시동 경우의 Lean Operation으로 촉매 활성화를 촉진할 경우에 유용하게 사용할 수 있다.

특히 센서출력의 선형성 때문에 희박한 공연비를 유지시킬 수 있어 희박연소엔진(GDI 엔진 포함)에는 필수적으로 사용된다.

■ 냉간시동시 희박연소 (Cold Start Lean Burn)

냉간시동 상태의 HC 저감을 목적으로 희박연소를 시키면 연료량이 상대적으로 작아 촉매활성화 이전의 유해 배기가스를 저감시킬 수 있다.

■ 실린더 별 공연비 제어 (Individual Cylinder Air Fuel Ratio Control)

강화되는 배기규제 중 특히 ULEV 규제 대응에는 "실린더 별 공연비 제어"를 적용할 수 있는 Soft Ware Algorithm을 2중 산소센서와 같이 사용하여 좁은 제어영역의 공연비 제어를 할 필요가 있다.

배출가스의 Modeling 및 실린더 별 공연비의 예측 Soft Ware를 사용하기 위하여 광역 산소센서 및 성능이 우수한 ECU가 필요하다. 실린더 별 공연비 제어로 가공 공차, 연료분사장치의 마모 등에 의한 공연비 편차를 제거할 수 있는 이점도 있어 향후 많이 사용될 전망이다.

■ 적응 연료 제어(Adaptive Fuel Control System)

과도 운전(과도 운전성, 성능 및 유해 배기가스의 제어를 위해서는 공연비 변동이 작아야 하고, 부품의 마모 및 여러 대기 조건 등에 적용하기 위하여 "적응 연료 제어"를 사용해야 한다. Steady-State 조건 외에 급격한 쓰로틀 개도의 변경, 증발가스 계의 작동(Purge), 과도 운전조건에서의 순간적인 희박 공연비 등으로 Hesitation, 운전성 악화 및 NOx 증가를 야기시킬 수가 있는데 이런 현상들을 개선하기 위해서는 연료계 및 공기량의 정확한 모델링으로 "적응 연료 과도 제어"를 사용하면 효과적이다.

■ 전자식 쓰로틀 제어(Electronic Throttle Control System)

운전자가 가속 페달을 밟으면 공기량 증가의 초기 지연만큼 연료공급을 지연시키게 되므로, 공기량 측정 및 연료량의 시간지연(Time Delay)을 제거하기 위한 방법으로 가속 페달에 위치센서를 장착하여 공기량 및 연료량의 동기화를 이루어 운전성 향상을 도모하고 정확한 연료제어를 이룰 수 있다. "Drive By Wire"라고도 한다.

■ 증발 연료 제어 (Canister Purge Control)

실린더 별 공연비 제어와 적응 연료 제어에 필수적인 제어 방법으로 보다 정밀한 제어를 위하여

이상유동(Two Phase Flow)의 해석 및 Canister의 최적화가 필요하다.

(4) 후처리 성능 개선

■ 촉매 위치 변경

촉매의 활성화 특성을 향상시키기 위하여 배기 매니폴드에서 가까운 위치에 촉매를 위치시켜 빠른 시간 내에 촉매의 온도를 올려주기 위한 방법으로 MCC(Manifold Catalytic Converter), CCC(Close Coupled Catalytic Converter) 및 WCC(Warm Up Catalyst) 등이 사용되고 있다.

UCC(Underbody Catalytic Converter)에 비하여 고온의 배기가스에 노출되므로 촉매의 용해(melting)를 방지하기 위하여 특히 고온 내구성이 요구된다. 주로 Pd를 위주로 하여 담체에 Washcoat하는 방법을 개선하기도 한 촉매 또는 Tri-Metal(Pd-Pt-Rh)(Engelhard의 상품 개발명)이 사용된다. 과거에는 EHC(Electrically Heated Catalyst)를 EPA 및 CARB 등에서 권장하였으나 Light Duty Vehicle의 경우에 EHC 없이 LEV에 사용할 수 있다.

■ 배기 파이프의 열전달 최적화 (Heat-Optimized Exhaust Pipe)

촉매의 활성화 특성 향상 및 배기 소음을 감소시키기 위하여 얇은 두께(Thin-Wall) 배기 파이프 및 배기 매니폴드가 사용되고 있으며 향후 사용이 확대될

전망이다.

■엔진의 최적 매핑

(Engine Calibration & Mapping Technique)

촉매의 온도를 빨리 상승시켜 활성화시키기 위하여 점화지각(Ignition Retard), 냉간 공회전속도 최적화(Cold Idling Speed Optimization) 및 냉간 시동시 회박 공연비 설정 등의 방법을 사용하고 있다. CARB에서 모든 ULEV 및 LEV를 위해 EHC를 사용하기를 권장했으나 현재 ULEV도 EHC 없이도 가능한 것으로 판명되었고 이미 최적 매핑방법을 양산에 적용하고 있다.

■배출가스 누설방지 배기계 (Leak-Free Exhaust System)

공기의 누설은 저속의 운전조건에서 NOx 배출을 증가시키게 되므로 배출 규제가 강화됨에 따라 “배출가스 누설방지 배기계”를 추구하게 되었고 자동차업체에서 적용하고 있는 방법으로는 배기 매니폴드/배출 파이프 간섭 개선, 배출 매니폴드 플랜지와 촉매 사이에 삽입된 부식 방지 커플링 사용, 촉매의 용접방법 개선, 부식이 없는 강재의 사용 등의 방법을 사용하고 있다.

■전기 전열식 촉매

(Electrically-Heated Catalyst)

UCC를 사용할 수밖에 없는 차량에서, 즉 배기량이 큰 차량 또는 엔진 부품들이 Tight하게

Packing 되어있는 경우 ULEV 대응을 하기 위하여 사용하는 방법이다. EHC, 배기가스 버너, 에너지 저장방법 중 EHC가 상품성, 가격 측면 및 적용성에 가장 주목을 받고 있다. 초기의 EHC는 발전기의 용량 상승 및 배터리의 다른 전기계통과의 분리 등이 고려되었으나, EHC 설계 개선으로 발전기에서 직접 또는 배터리와 분리 또는 조합되는 방법을 사용하여 Power를 사용이 가능하게 되었다. 현재 대부분의 ULEV는 EHC 없이 대응이 가능하다.

■전기식 공기분사

(Electric Air Injection)

ULEV용으로 사용을 고려하여 냉간시동후 회박운전 또는 이론공연비운전에서의 운전성 개선을 고려한 것이다. 냉간시 운전성 개선을 위한 농후한 공연비의 혼합기에 의해 생성된 미연 HC 및 CO를 “전기식(2차) 공기분사”를 사용하여 공기를 촉매 앞에 분사하여 즉 촉매 앞의 분위기를 이론공연비 분위기를 조성하여 유해 배기가스를 저감시키기 위한 방법이다. 효율, 가격, 신뢰성 및 필요 없을 때 전원을 꺼 둘 수 있는 이점 때문에 “엔진 구동력을 이용하는 방법”에서 “전기를 이용하는 방법”으로 변화해 가는 추세이다.

■촉매 전면의 균일한 유동분포 (Uniform Flow into Catalyst)

촉매로 들어가는 유동분포가

균일하여 균일하게 반응이 일어나야 좋은 촉매의 성능을 기대할 수 있다. 보통 요구되는 0.9 이상이면 아주 좋은 편이다. 균일한 흡·배기계를 만드는 것도 중요하지만 많은 자동차 제작사가 소홀히 하기 쉬운 부분으로 CFD 해석 및 유동측정으로 균일한 유동분포를 얻을 수 있으리라 사료된다.

이상의 기술들을 개별적으로 또는 다른 기술들과 조합하여 종합적으로 적용하여 배기 관련 연구 신뢰성 및 경제성 등을 극대화해서 양산에 적용되어야 한다.

▲ULEV 대응을 위한 UCC

ULEV 대응을 위해 UCC는 Accord 모델에 적용한 UCC 기술은 다음과 같다.

- ▶ VTEC을 이용한 냉간시동시 안정적인 회박연소
- ▶ 냉간우선시 큰 흡입량 확보를 위한 회박연소로 cold HC를 저감
- ▶ 촉매의 빠른 활성화
- ▶ CCC, 최적화된 PM(Precious Metal) 사용으로 빠른 촉매 활성화 달성
- ▶ 고정도의 연료제어(실린더별 공연비 제어, self tuning feedback 제어)
- ▶ 높은 촉매효율 및 과도기의 저항성을 확보

(박심수 교수:spark@kuccnx.korea.ac.kr)