

<학술논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2014.38.8.657>

ISSN 1226-4881(Print)
2288-5234(Online)

PEMS 적용에 따른 상용차 배출가스 특성

엄명도* · 박준홍* · 백두성**†

* 국립환경과학원 교통환경연구소, ** 대진대학교 컴퓨터응용기계설계공학과

Study of Emission Characteristics of Commercial Vehicles Using PEMS

Myungdo Eom*, Junhong Park* and Doosung Baik**†

* Transportation Emission Research Center, National Institute of Environmental Research

** Dept. of Computer-aided Mechanical Design Engineering, Daejin Univ.

(Received September 10, 2013 ; Revised April 1, 2014 ; Accepted June 1, 2014)

Key Words: PEMS(Portable Emission Measurement System, 이동식 배출가스 측정장비), NEDC(New European Driving Cycle), ISG (Idle-Stop and Go), WHTC(Worldwide Harmonized Transient Cycle)

초록: 차량에 탑재하여 운행 중 배출가스를 측정할 수 있는 이동식 배출가스 장비(PEMS)를 활용한 결합확인검사 방법을 미국은 2007년부터 시행하였고, 유럽은 2013년 EURO6부터 도입할 계획을 수립했다. 따라서 한국도 국내의 대형차 배출가스 관리의 중요성을 고려할 때 PEMS를 활용한 실 도로 주행 특성을 반영한 측정 방법의 도입이 필요한 시점이다. PEM의 다양한 활용 방안을 위하여 도로유형, 매연저감장치 및 공회전제한장치 그리고 에어컨 작동에 따른 배출가스 평가를 수행하였다. 본 연구는 PEMS를 활용한 상용차 결합확인 검사 방법을 분석하여 국내 실정에 적합한 대형차 결합확인 검사제도 시행에 필요한 기초자료를 마련하고자 한다.

Abstract: Since 2007, the defect confirmation test for vehicles using PEMS has been enforced in USA. This test can measure emissions from on-street vehicles using a device mounted on a car. Europe has confirmed its plan for introducing this test from EURO6, 2013. Thus, the Korean government is also under pressure to adopt this method that reflects the real-world driving conditions using PEMS, considering the emission controls for domestic heavy-duty vehicles. To provide various utilizations of the PEM, this emission test has been developed in accordance with the type of driving road, DPF, ISG, and air conditioner. This research aims to provide the fundamental materials for implementing defect confirmation tests for commercial vehicles, which are appropriate for domestic emission control situations, after studying the defect confirmation test methods for heavy-duty vehicles using PEMS.

1. 서론

차량 총중량 3.5톤 이상의 대형자동차는 국내의 경우 큰 배기량의 엔진을 장착하고, 주로 승객 및 화물 운송용으로 활용되어 주행거리도 많지만 등록대수는 전체 자동차의 5% 수준이며, 배출량은 2007년 기준으로 전체 자동차 배출량 중 NO_x 71%, PM 58%를 점유한다. 따라서 대형차

부문의 배출가스 관리 대책 개선은 적용 대상의 수는 적지만, 자동차 오염물질에 상당한 영향을 줄 수 있다.

자동차 배출가스 결합확인 검사는 배출가스 보증기간 이내에서 운행 중인 자동차에 대해 제작차 배출허용기준 준수 여부를 확인하는 제도이므로 제 작차 배출 허용기준 강화 정책 효과의 실효성을 확보해 줄 수 있는 제도이다. 대형차는 동일 엔진으로 다양한 차종에 적용되는 특성상 전 세계적으로 동일한 엔진 동력계를 이용한 배

† Corresponding Author, dsbaik@daejin.ac.kr

© 2014 The Korean Society of Mechanical Engineers

출가스 인증 시험을 적용하고 있다. 그러나 대형차 결함확인을 위해서 해외의 대형차 결함확인 검사 제도가 비교적 최근에서야 마련되었기 때문에 그동안 국내 대형차는 결함확인 검사를 시행하지 못하였다.

미국과 유럽은 차량에 탑재하여 운행 중 배출가스를 측정할 수 있는 이동식 배출가스 장비(PEMS)를 활용한 결함확인검사 방법을 미국은 2007년부터 시행하였고, 유럽은 2013년 EURO6부터 도입할 계획을 확정했다. 따라서 국내의 대형차 배출가스 관리의 중요성을 고려할 때 PEMS를 활용한 결함확인 검사 제도의 도입이 필요함 시점이다.

PEMS를 이용한 결함확인검사 제도는 기존의 정해진 시험모드를 주행하여 배출 허용기준과 비교하는 배출가스 인증시험 방법과 달리 자동차가 임의의 도로를 주행하는 경우에 배출되는 오염물질을 규제 대상으로 한다.

PEMS를 이용한 실 도로 기반의 측정방법이 배출가스 관리 제도로 도입된 배경을 살펴보면, 인증 시험 방법의 실 도로 주행 특성을 반영하는데 한계로 인해서 실제 도로 주행 조건에서의 배출가스가 인증시험서의 배출가스 결과와 상당한 차이가 나타나는 사례가 많았다. 예를 들면, 소형차용으로 개발된 NEDC 모드의 경우에는 낮은 가속도의 주행패턴이 주로 반영되었고 WHTC 중속 엔진회전수를 주로 반영해서 실 도로에서 배출되는 배출가스를 반영하는데 어려움이 있었다.^(1,2) 다음의 경우는 3대의 가솔린과 경유 자동차에 각각PEMS를 장착하여 도로 특성에 따른 가스상의 배출가스(CO, THC, NO_x)와 미세먼지를 Number(#/km)와 Mass(g/km)로 분리해서 측정했다.⁽³⁾ 6대의 다른 PEMS를 이용하여 실 도로 주행에서의 배출가스측정이 이루어졌으며 각각의 PM-PEMS에 대한 평가를 수행했다.⁽⁴⁾ 소형차에서 배출되는 질소산화물을 PEMS를 이용하여 실 도로에서 측정한 값과 모드상에서 측정된 값을 비교한 결과에 있어서 특히 질소 산화물 배출가스에서는 상당한 차이가 있음을 보였다.^(5,6) 5대의 대형엔진과 다른 DPF를 장착하여 PEMS의 특성을 평가하고자 했다.⁽⁷⁾ 새시동력계를 이용한 배출가스 시험에서는 실 도로 상태와 차량의 주행 패턴을 반영하는데 한계를 나타냈다.^(8,9)

Table 1 Specification of test vehicles

차명	포터II
배기량(연식)	2497cc(2005)
연료(분사방식)	경유(Common rail)
총중량	2,955kg
배출허용기준	2002년7월 기준
주요 배출가스 관련부품	DOC, EGR

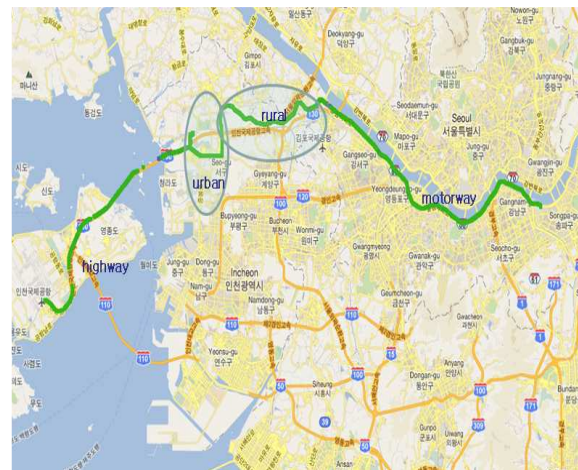


Fig. 1 Driving routes (routel: urban-rural-motorway)

따라서 특정 주행모드가 아닌 실차에서 발생 가능한 모든 조행 조건을 반영할 수 있는 제도적인 규제가 필요하다. 본 연구는 자동차배출가스 관리 차원에서 PEMS을 활용 타당성을 검토하기 위해서 도로유형에 따른 자동차 배출가스 특성, 매연저감장치(DPF) 및 공회전제한장치(ISG) 실 도로 평가, 에어컨 작동에 따른 배출가스를 평가하여 향후 제작 차 배출허용기준을 강화하는데 실효성을 더욱 제고할 수 있는 정책을 마련하는데 기초 자료로 활용하고자 한다.

2. 시험내용 및 방법

2.1 시험 차량

실 도로 주행 시험에 활용한 시험 차량의 제원은 Table 1에 나타내었다. 시험 차량은 탑차 형태로 개조되었고 평가에 활용한 DPF는 수도권 대기환경개선에 관련된 인증을 받은 소형복합 DPF

Table 2 Record of road driving tests

일자	시험조건			주행경로
	Air-con	DPF	ISG	
2011.7.20	on	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.7.22	on	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.8.9	on	x	x	과학원-검암역-수송도로
2011.8.10	on	x	x	과학원-검암역-수송도로
2011.8.11	on	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.8.26	on	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.9.19	off	O	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.9.20	off	O	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.9.30	off	O	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.10.7	off	O	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.10.12	off	O	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.10.20	off	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.10.28	off	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.10.31	off	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.11.2	off	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.11.4	off	x	x	과학원-검암역-수송도로-올림픽도로
2011.11.17	off	x	x	과학원-인천공항-올림픽도로
2011.11.22	off	x	O	과학원-검암역
2011.11.23	off	x	O	과학원-검암역

Table 3 Comparison of PEMS with emission certification equipment

장비	배출가스 인증용 장비		PEMS
	차대동력계	엔진동력계	
배기가스 샘플링	회석가스 (CVS)	회석가스 또는 Raw 가스	Raw 가스
배기가스 유량측정	회석유량 (회석비 계산)	회석유량 또는 연료유량+흡기 유량	배기가스 유량 직접 측정
배기가스 분석	Bag	Bag 또는 Modal	Modal
농도 측정	탄화수소	FID	FID
	일산화탄소 이산화탄소	NDIR	NDIR
	질소산화물	CLD	CLD

를 이용했고 공회전 제한 장치 또한 대기환경보전법에 따라 택배 트럭으로 인증을 받은 장치를 적용했다.

주행경로는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 국립환경과학원을 출발하여 도심, 교외, 차량 전용 도로, 그리고 고속도로의 특성을 반영할 수 있도록 인천공항고속도로 경로를 이 나타낼 수 있는 경로를 선정했다. 공회전 제한장치의 평가 시에는 도심경로만을 평가에 활용했다. Table 2는 실제로 시험이력을 나타내었다.

2.2 시험장치

2.2.1 이동식 배출가스 측정장비(PEMS)

이동식 배출가스 측정장비(PEMS, Portable Measurement System, Horiba OBS-2200)을 차량에 탑재하여 차량의 주행 중 배출가스를 실시간으로 측정하여 중량단위(g/s)로 산출할 수 있는 장치로 배기가스 샘플링, 배기가스 유량계, 농도 측정부, 전원공급장치(배터리), 분석용 가스, 기타 주변장치로 구성되었다. Table 3 에는 배출가스 인증시의 차대동력계, 엔진동력계 시험방법과 PEMS 시험방법의 특성을 비교하였다.

2.3 시험방법

PEMS의 가장 큰 장점은 도로를 실제로 주행하면서 속도, 가속도 등 주행특성과 배출가스를 동시에 측정할 수 있다는 점이다. 자동차 배출

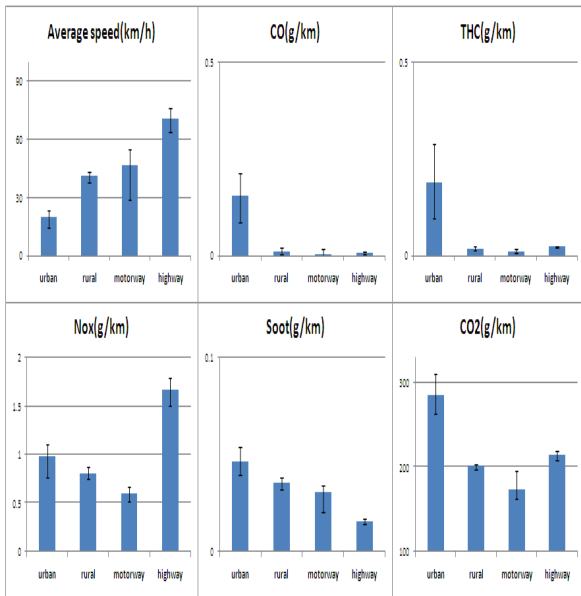


Fig. 2 Emission characteristics for different types of roads

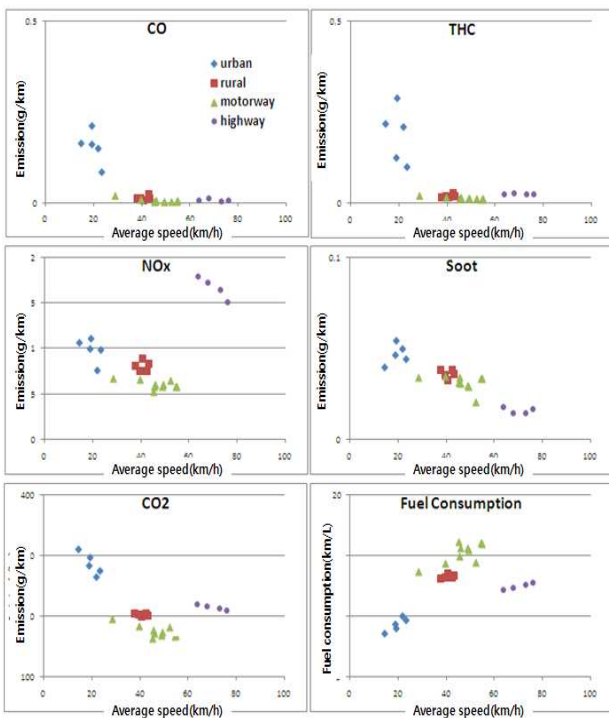


Fig. 3 Emission as a function of average speed for different types of roads

가스에 영향을 줄 수 있는 요소는 매우 다양하므로 데이터의 산포는 있지만, 적정한 구간을 선정하고 평균을 구하고자 실험을 진행했다. 주행경로를 도심(과학원-공촌사거리-독정사거리, 9km), 교외(수송도로, 12km), 전용도로(올림픽도로, 30km) 구간으로 구분하고 고속도로 주행 시 틀게

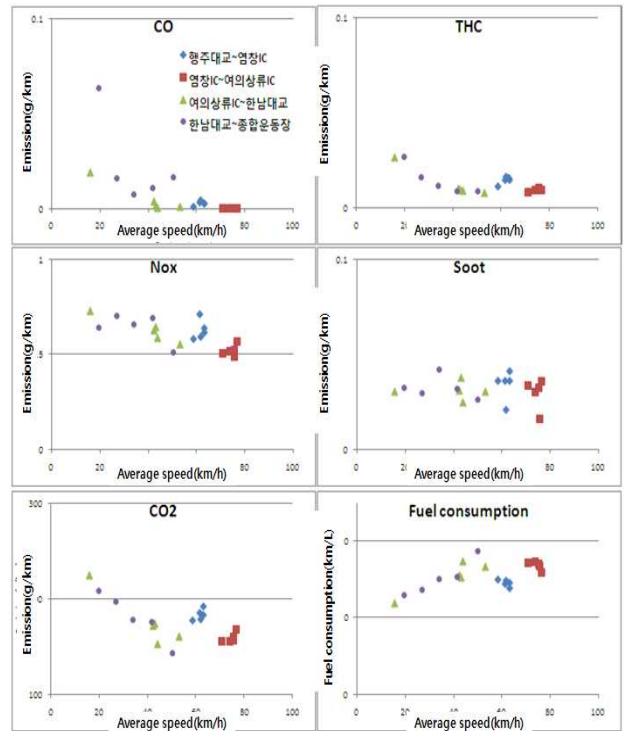


Fig. 4 Emission as a function of average speed for Olympic road - Seoul Sports Complex

이트 진출입을 기준으로 구분하여 배출가스 특성을 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 도로유형에 따른 실 도로 배출가스 특성

Fig. 2는 도로유형에 따른 단위 주행거리 당 배출가스 특성을 나타내는데 CO와 THC는 도심 주행 조건에서 가장 높게 나타났다. 이는 잦은 주정차 특성으로 인하여 배기가스 온도가 상대적으로 낮아서 산화촉매의 저감 효율이 낮기 때문으로 판단된다. NOx는 고속도로에서 가장 높게 나타났고 Soot는 대체로 평균 속도가 높은 도로에서 낮아졌는데, CO₂는 전용도로에서 가장 낮았고, 고속도로에서는 다소 증가하였다.

Fig. 3은 구간의 평균속도에 따른 실 도로 배출가스 특성을 나타내었다. CO, THC는 저속 주행구간에서 배출가스가 높게 나타났고, NOx는 평균 속도 60km/h 까지는 감소하는 추세이지만, 속도가 더 증가하면 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다. CO₂도 평균속도 60km/h 까지는 감소하는 추세이지만, 더 높은 속도에서는 증가하는 경향을 보였다. 평균속도 40km/h 내외의 교외와 전용도로

구간에서는 평균속도가 유사함에도 불구하고 전용도로 구간에서 NO_x 와 CO₂는 낮게 나타났다. 이는 속도 이외의 인자의 영향에 의해서 비롯되는데 주행패턴 분석에서 전용도로의 평균 가속도가 교외보다 낮게 나타난 것과 교외구간의 신호로 인한 대기 시간과 관련이 있을 것으로 사료된다.

Fig. 4는 올림픽도로의 행주 대교에서 종합운동장까지 4개의 구간으로 나누어서 주행 특성과 배출가스 특성을 비교하였다. 시험 기간 중 행주 대교- 여의도 상류 IC까지는 정체가 거의 없었는데 평균속도는 염창IC-여의상류 IC 구간이 더 높게 나타났다. 여의 상류 IC-종합운동장 구간은 도로정체에 따라 평균속도가 변하고, 배출량 변화도 함께 나타났다. 가장 뚜렷한 변화를 볼 수 있었던 구간인 한남대교-종합운동장 구간의 CO₂ 배출특성을 보면, 평균속도가 20km/h에서 50km/h으로 높아지면 CO₂ 배출은 207.1g/km에서 142.3g/km 로 약 45%가 적게 배출되는 것으로 나타났다. 이러한 조사 결과는 특정 도로 구간의 정체도 개선에 따른 CO₂ 저감 기대 효과를 실제로 확인할 수 있다는 점에서 의미가 있을 것으로 판단된다.

3.2 DPF의 실 도로 배출가스 저감특성

소형복합 DPF를 시험차량에 장착하여 실 도로 주행 시의 배출가스 감소 특성을 조사하여 Fig. 5에 나타내었다. 장착된 DPF는 인증 시험시 CVS-75 주행모드로 PM 98%, THC 42%, CO 62.8%의 저감 효율을 나타내었다. 실 도로에서 Soot의 저감 효율은 평균 91.8% 수준이었고, 도심, 교외, 전용도로 구간에서 유사하게 나타났다. 인증시험과 시험차량 및 배출가스 수준이 다르고, 실 도로에서는 Soot 만을 측정된 결과이므로 직접적인 비교는 어렵지만, DPF 인증기준이 PM 80% 이상임을 고려한다면 실 도로에서도 입자상 물질은 인증기준 이상의 감소 효율이 나타나는 것으로 판단된다. 평균적으로 THC는 81.5%, CO는 49.8%의 저감 효과를 나타내었는데 도심구간에서는 높았고, 전용도로에서는 낮게 나타났다. 이는 차량에 산화촉매가 부착되어 배기가스 온도가 높은 구간에서는 THC, CO의 산화효율이 높기 때문인 것으로 사료된다. NO_x는 전 구간에서 대체로 증가했는데 기존의 EGR 장치의 이상에서 연유 된다고 판단되며 조만간에 질소산화물의 저감 장치의 도입이 시급히 이루어져야 할 것으로

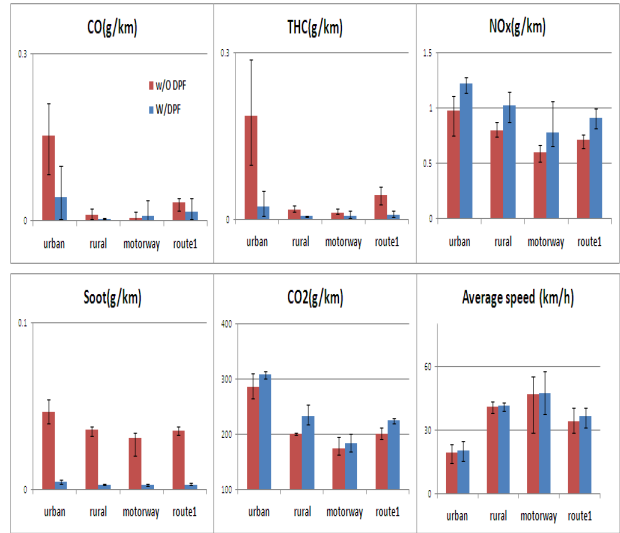


Fig. 5 Emission reduction effect of DPF

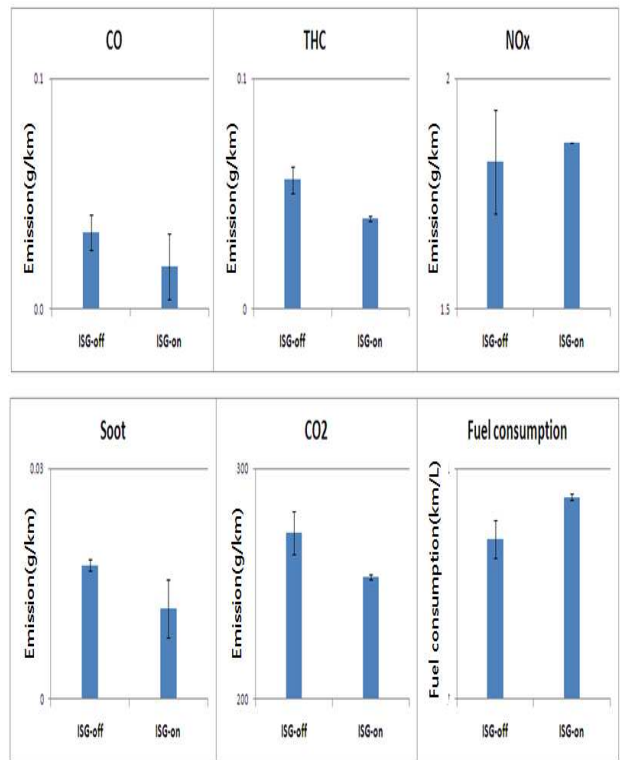


Fig. 6 Emission reduction effect of idle-stop and go

판단된다.

3.3 공회전 제한장치의 실 도로 배출가스 저감 특성

공회전 제한장치의 실 도로 배출가스 저감 특성은 도심 주행 패턴에서만 실시되었다. 공회전 제한장치의 특성상 차량의 주정차가 빈번한 조건에서 주로 동작하여 CO₂의 저감 효과를 기대할

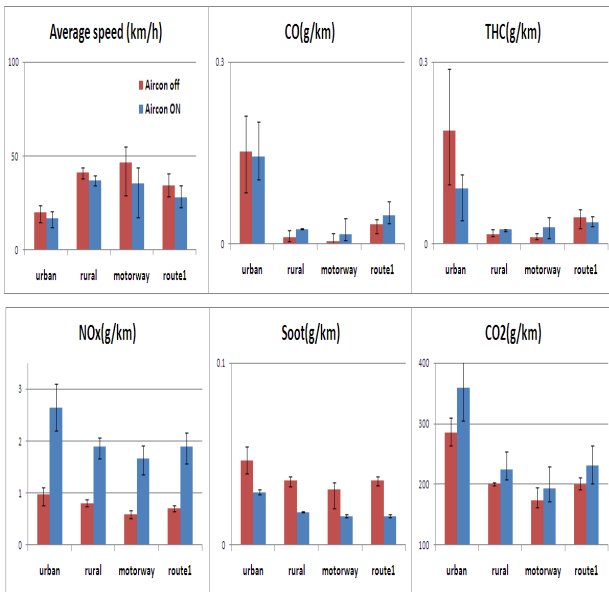


Fig. 7 Emission reduction effect of idle-stop and go for different types of roads (route1: urban-rural-motorway)

수 있기 때문이다. 이를 반영하여 환경부에서는 공회전제한장치의 적용차종을 시내버스, 택시, 택시로 한정하고 있다. 동일 주행 경로에서 공회전제한장치 on-off를 번갈아 2회 시행하였고, 그때의 배출가스 평균값을 Fig. 6에 나타내었다. 공회전제한장치 동작 시에 약 8.4%의 연료소모가 감소되었고, CO₂는 7.7% 저감되었다. 공회전시 엔진 정지효과는 배출가스 측면에서도 나타났는데 평균적으로 CO 0.015g/km, THC 0.017g/km가 감소되었다. 엔진 정지 시에는 배기가스 온도 감소에 따른 산화 촉매 효율에 저하가 우려되었으나, 실제로 큰 문제가 없는 것으로 판단된다. NO_x의 변화는 거의 없었으며 Soot는 0.006g/km가 감소되었다.

3.4 에어컨 가동에 따른 배출가스 변화

자동차의 에어컨 가동 시에는 에어컨 압축기와 블로워 등을 구동하기 위하여 추가적인 에너지가 소모되고, 엔진의 운전영역이 변경됨에 따라 배출가스에도 영향을 줄 수 있다. 여름철 에어컨 작동시의 배출가스 변화를 조사한 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 시험차량의 에어컨은 수동으로 제어되는데 가동단수는 2단으로 동일하게 설정하고 운전하였다. 에어컨 가동시 약 14.2%의 연료가 추가로 소모되었고 CO₂는 평균 15.3%가 증가

하였다. 도심주행조건에서 CO₂ 증가율이 25.9%로 가장 높았고 교외와 전용도로에서도 유사한 증가율을 보였다. CO와 THC에는 큰 변화가 없는 것으로 판단되지만, 에어컨 가동시는 EGR을 적용하지않은 상태에서 NO_x는 평균 165%으로 모든 도로 주행구간에서 크게 증가했다.

4. 결 론

대형차의 실 도로 배출가스 허용 기준 강화의 실효성을 높이기 위하여 이동식 배출가스 측정장비(PEMS)를 이용해서 실 도로 배출가스 평가는 도로유형, DPF, 공회전 제한장치, 에어컨 가동에 따라서 주행 시험이 실시되었으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 소형 화물자동차의 실제 도로 주행 중 배출가스를 측정한 결과, CO, THC, Soot는 대체로 배출 허용 기준이었으나, NO_x는 고속 운전 조건에서 배출 허용기준의 1.5~2.5배 수준으로 과다 배출되었다. 고속운전조건에서 NO_x 저감 장치인 EGR의 작동 이상에서 비롯되었다고 판단된다. 또한, SCR 장치가 시급히 도입되어야 할 것으로 판단된다.

(2) 도로 유형에 따른 단위 주행거리 당 배출가스 특성을 분석한 결과 CO, THC은 도심 운행 조건에서, NO_x는 고속도로 주행조건에서 배출량이 가장 높았다. Soot 는 평균속도가 높아짐에 따라 감소하였고, CO₂는 60km/h까지는 평균속도가 증가함에 따라서 감소하지만, 그 이상에서는 증가하는 특성을 나타내었다. 올림픽도로의 한남대교-중합운동장 구간으로 한정하여 데이터를 분석한 결과 평균속도가 20km/h에서 50km/h로 증가하면 약 45%의 CO₂ 배출량이 감소하는 것을 실측으로 확인하였다. 이와 같이 PEMS는 도로 유형과 특정구간의 주행 특성에 따른 자동차의 배출량의 영향을 분석하는데 활용될 수 있다.

(3) PEMS를 이용하여 소형경유화물자동차의 입자상물질 저감장치 (DPF) 및 공회전제한장치 (ISG) 부착시 실 도로 배출가스 저감 특성을 평가한 결과, DPF 장착으로 약 90%의 Soot, ISG 동작으로 약 7.7%의 CO₂ 감소 효과를 확인하였다. 또한 에어컨 가동 시에는 약 14.2%의 연료가 추가로 소모되고 CO₂는 15.3% 증가했으며 EGR 동작 중단으로 NO_x는 165%가 증가하였다.

이와 같이 PEMS는 실제 도로에서 배출가스 저감 장치 효과를 평가하는데 활용될 수 있다.

참고문헌 (References)

- (1) Dilara, P., Kousoulidou, M., Fontaras, G., Ntziachristos, L., Bonnel, P. and Samaras, Z., 2013, "Use of Portable Emissions Measurement System for the Development and Valiable of Passenger Car Emission Factors," *Atmospheric Environment*, 64, pp. 239~338.
- (2) Huang, C., Lou, D., Hu, Z., Feng, Q., Chen, Y., Chen, C., Tan, P. and Yao, D., 2013, "A PEMS Study of the Emissions of Gaseous Pollutants and Ultrafine Particles from Gasoline and Diesel-fueled Vehicles," *Atmospheric Environment*, 77, pp. 703~710.
- (3) Khan, M., Johnson, K., Durbin, T., Jung H., Cocker III, D., Bishnu, D. and Giannelli, R., 2012, "Characterization of PM-PEMS for in-use Measurements Conducted During Validation Testing for the PM-PEMS Measurement Allowance Program," *Atmospheric Environment*, 55, pp. 311~318.
- (4) Lee, T., Lee, J. and Kim, J., 2012, "Evaluation of On-Road NOx Emission From a Light Duty Diesel Vehicle Using A Portable Emissions Measurement System," *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 28, No. 1, pp. 94~104.
- (5) Mamakos, A., Bonnel, P., Perujo, A. and Carriero, M., 2013, "Assessment of Portable Emission Measurement Systems (PEMS) for Heavy-Duty Diesel Engines with Respect to Particulate Matter," *Atmospheric Environment*, 57, pp. 54~70.
- (6) Mridul G. and Gregory J., 2001, "Measurement of In-use, On-board Emissions From Heavy-duty Diesel Vehicles: Mobile Emissions Measurement System," *SAE* 2001-01-3643.
- (7) Palmgren, F., Hansen, A. B., Berkowicz, R. and Skov, H., 2001, "Benzene Emission from the Actual Car Fleet in Relation to Petrol Composition in Denmark," *Atmospheric Environment*, 35, pp. 35~42.
- (8) Weiss, M., Bonnel, P., Hummel, R., Provenza, A. and Manfredi, U., 2011, "On-road Emissions of Light-Duty Vehicles in Europe," *Environmental Science & Technology*, 45, pp. 8575~8581.
- (9) Weiss, M., Bonnel, P., Provenza, A., Lambrecht, U., Alessandrini, S., Carriero, M., Colombo, R., Forni, F., Lanappe, G. and Lijour, P., 2012, "Will Euro 6 Reduce the NOx Emissions for New Diesel Dars?- Insights from on-road tests with Portable Emissions Measurement Systems (PEMS)," *Atmospheric Environment*, 62, pp. 657~665.