

소형디젤승합차의 배출가스 검사방법 개선에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on Improvement of Exhaust Gas Testing Method of Light-Duty Diesel Engine

한 영 출*, 나 완 용**, 오 용 석***
Youngchool Han, Wanyong Rha, Yongsuk Oh

ABSTRACT

In recent years, the environmental damage to urban area becomes serious problem due to the exhaust emissions by increasing the number of vehicle. The proportion of diesel vehicle is very high in this country. Exhaust gas emitted from the diesel-powered vehicle is severely affecting to the air quality. In this study, light-duty diesel engine was studied on the improvement of exhaust gas testing method. Therefore the results obtained effective load method among testing method. It is deserve to test of the PM for the environment.

주요기술용어 : LDV(Light Duty Diesel Vehicle : 소형디젤자동차), 무부하검사방법, 질소산화물, 매연

1. 서 론

최근 자동차의 급격한 증가는 교통난을 가중시킬 뿐만 아니라 각종 오염 물질을 배출하여 대기 오염을 악화시키고 있다. 자동차에서 배출되는 오염물질을 저감시키기 위해서는 제작 단계에서부터 제작차 배출가스

허용기준에 적합한 자동차가 생산되도록 철저히 관리해야함은 물론 자동차가 도로에서 운행하는 동안에도 정비점검을 철저히 하여 오염물질의 배출을 최소화하여야 한다.

운행중인 자동차에서 배출되는 오염물질을 저감시키기 위하여 우리 나라에서는 정기검사와 수시검사를 실시하고 있다. 정기검사는 건설교통부 산하 교통안전공단과 지정정비사업자가 차종 및 용도별로 구분하여 일정기간의 검사주기로 실시하고 있으며, 수시검사는 시·도지사가 도로 또는 주차장에

* 회원, 국민대학교 기계자동차공학부

** 회원, 신성대학 기계·자동차계열

*** 회원, 국민대학교 자동차기술연구소

서 임의의 차량을 대상으로 실시하고 있고, 그 배출가스 측정방법으로 휘발유와 LPG 자동차는 정지가동시 CO, HC, 공기 과잉율을 측정하고, 경유자동차는 무부하급가속에 매연 농도를 측정하고 있어서 실제로 운행되는 부하조건에서의 배출가스 심각성은 다소 약하게 느끼고 있는 것이 사실이다. 따라서 본 연구에서는 운행중인 차량을 각 시험법으로 배출가스를 측정하여 그 심각성과 국내의 검사방법의 개선의 필요성을 제시하고자 한다.

2. 연구배경

2.1 운행차 배출가스 검사방법

2.1.1 휘발유 자동차 및 LPG 자동차

2.1.1.1 정지가동시(Idle)시 CO, HC, 공기과잉율(λ) 측정법

우리나라 및 일본에서 사용하고 있는 운행차 배출가스 측정법으로서 수시 및 정기검사시에 정지가동 상태에서 CO, HC 및 공기과잉율(λ)을 측정하고 있다.

2.1.1.2 Speed idle

미국의 일부 주 또는 도시에서 시행하고 있는 운행차 배출가스 시험방법으로서 정지가동(Idle)상태와 2500rpm(Fast Idle)에서 CO, HC를 측정한다.

2.1.1.3 ASM(Acceleration Simulation Mode)시험

미국의 일부 도시와 캐나다 밴쿠버에서 사용하고 있는 ASM 시험방법은 자동차를 무부하 상태의 정지가동시 배출가스를 측정하는 방법보다는 개선된 방법으로 IM240의 Transient용 차대동력계보다 간단한 Steady State용 동력계로 부하 및 차속에 따라 운행차의 배출가스를 측정하는 시험방법으로 ASM 2525와 ASM 5015의 2가지가 있다.

ASM 2525는 도로부하율 25%, 25mile/hr (40km/hr)의 정속상태에서, ASM 5015는 도로부하율 50%, 15mile/hr (24km/hr)의 정속상태에서 CO, HC, NO_x를 측정한다.

이 두가지 시험방법 중 경우에 따라서 한 가지만 사용할 수도 있고, 두가지 모두 사용할 수도 있으며 한 모드당 최대 시험시간은 90초이다. 배출가스 측정은 무부하의 정지가동 상태와는 달리 부하가 걸리기 때문에 NO_x의 선별력이 있고 측정결과는 CVS와 같은 시료채취 장치가 없기 때문에 부피농도(% , ppm) 단위로 나타난다. 분석원리는 CO, HC, NO_x 모두 NDIR법을 사용하고 분석기의 정도 및 측정 범위는 정지가동시의 분석기보다 정밀하다.

2.1.1.4 IM 240 및 RG 240 시험법

IM240 시험방법은 제작차 배출가스 시험방법인 CVS-75시험법과 유사하게 자동차가 실제 도로상에서 주행할 때 정지, 가속, 정속, 감속 등을 반복하는 과정을 대표화한 주행모드로 차대동력계상에서 240초동안 1.959 mile을 주행할 때 배출되는 CO, HC, NO_x를 중량 단위(g/mile)로 측정하며, 실제 오염물질 배출량과 유사하여 오염물질과다 배출차량의 선별 및 정비에 유효한 방법이다. 다만, 차대동력계 및 분석기의 가격이 고가이고 장비의 운전상에 기술이 요한다는 문제점이 있다. IM240 시험에 필요한 검사장비는 무부하상태의 정지가동상태나 일정한 속도(Steady State)로 주행할 때 배출되는 오염물질을 측정하는 방법과는 달리 Transient로 운전할 수 있는 차대 동력계와 CVS-75시험방법과 같은 정용량 시료채취장치(CVS)를 사용하여 배출가스를 채취하며 CO는 NDIR, HC는 FID, NO_x는 CLD로 분석한다.

2.1.2 경유자동차

2.1.2.1 무부하검사방법

무부하검사방법에는 여지반사식과 광투과식이 있다. 여지반사식 매연측정기는 자동차에서 배출되는 매연의 일정량을 매연 측정기의 흡입펌프로 흡입하여 흡입통로의 도중에 일정 통과면적을 가진 여지에 탄소 입자를 오염시킨후 그 오염도를 가지고 매연을 측정하는 방법이다. 광투과식 매연측정기는 자동차에서 배출되는 매연을 배기관으로부터 추출하여 유효광로 길이가 결정된 원통형 검출부내로 매연을 통과시켜 빛의 불투과율을 가지고 매연을 측정하는 방법이다. 우리나라는 여지 반사식 매연측정기를 사용하고 있으나, 선진 외국의 경우 광투과식 매연측정기를 사용하고 있는 추세이다.

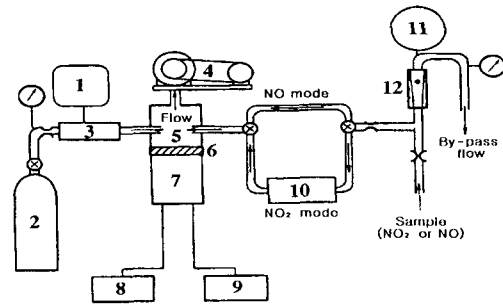
2.1.2.2 부하검사방법

캐나다 Aircare에서 사용하는 경유자동차의 매연측정 방법은 경유자동차를 차대동력계상에서 10hp의 도로부하마력과 50 ± 3 km/hr의 정속주행하면서 30초동안의 매연을 측정하고 그중 안정된 5초동안의 평균값을 측정하도록 하였다.

2.2 NOx 측정법

NOx 측정은 화학발광검출법에 기준으로 하여 일산화질소(NO)와 오존(O₃)의 반응에 의한 이산화질소의 생성과정에 있어서 화학발광을 측정하는 방법이다. Fig. 1은 NOx의 분석기의 구조를 나타낸다.

CNG는 메탄(CH₄)을 주성분으로 하고, 탄소량이 적은 탄화수소계 연료이며 메탄이외에 소량의 에탄(C₂H₆), 프로판(C₃H₈) 및 부탄(C₄H₁₀)등이 함유되어 있다. CNG 연료특징으로는 옥탄가가 비교적 높고(RON : 120~136) 세탄가가 낮아(거의 0 수준) 불꽃점화의 오토사이클의 연소를 행한다.



- | | |
|------------------------|----------------------|
| 1. High voltage supply | 7. Photo multiplier |
| 2. Oxygen | 8. Amplifiers |
| 3. Ozone generator | 9. Power supply |
| 4. Vacuum pump | 10. Converter |
| 5. Reactor | 11. Sample regulator |
| 6. Filter | 12. Flow meter |

Fig. 1 Schematic diagram of NOx analyzer

가스상으로 기관에 흡입되며, 이때 가스의 체적유량은 액상의 가솔린에 비해 증가하므로, 증가한 부분만큼 기관으로 흡입된 공기량은 감소(체적효율의 저하)하고, 타 연료에 비해 연소속도가 느리다. 단위 체적당의 발열량이 가솔린에 비해 약 1/4정도여서 크고 무거운 고압 용기를 사용해야하고 따라서 중량이 무겁게 되고 트렁크 등의 공간 활용이 적으며 성능에 있어 항속 거리가 가솔린에 비해 1/2 이하로 낮은 단점이 있다. 또한 연소속도가 느리고 희박연소에서 연소온도가 저하할 경우 HC는 피스톤의 틈 사이로 영입이 쉬워 팽창행정에서 산화되기 어려우므로 디젤에 비해 미연 HC가 증가하기 쉽다.

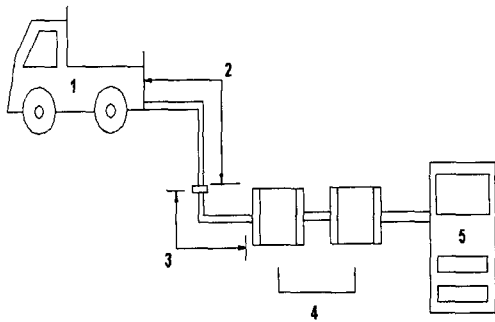
3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

3.1.1 실험기관

본 실험에 사용된 차량은 현행 운행차량 중 무작위로 선정(40대, 1991~1999년식, 주행거리 13,000~260,000)하여 실제검사소에서 측정하여 현재 서울에서 운행중인 차량의 배출가스 심각도를 인지시키고, 측정값

은 평균값을 사용하여 현재 운행중인 소형 디젤차량의 배출가스에 대한 실제성을 높이고자 하였다. 실험은 국내 환경부 고시 측정 방법과 미국 EPA고시 방법 등, 여러 시험모드를 선정하여 실험하였으며, 전체적인 개략도를 Fig. 2 에 나타내었다.



- 1. Testing vehicle
- 2. Sample prove
- 3. Sample horse
- 4. Filter box
- 5. Exhaust gas analyzer

Fig. 2 Schematic diagram of diesel emission measuring apparatus

3.1.2 측정장치

본 연구에 사용된 측정장치로는 동력계 및 배출가스 분석기 등이 있으며, 동력계 및 배출가스 분석기의 제원은 각각 Table 1 과 2에, 그리고 Sampling prove의 실물사진을 Fig. 3에 나타낸다.

Table 1 Specifications of dynamometer

| Items | Specifications |
|------------------|----------------|
| Model no | Mustang MD100 |
| Power absorption | 100hp |
| Maximum speed | 100mph |
| Maximum weight | 2,727kg |
| Roll size | 21.80 cm |

Table 2 Specifications of gas analyzer

| Items | Specifications |
|-----------|--|
| Model | CGA-4200 |
| Display | Digital type, 7segment LED |
| Operating | Temperature : -10~40℃ Humidity : less than 90%RH |
| Power | AC 110/220(50/60Hz) Free Voltage DC 12V Automobile battery power |
| Weight | 12kg |
| Dimension | 326 × 350 × 190 |

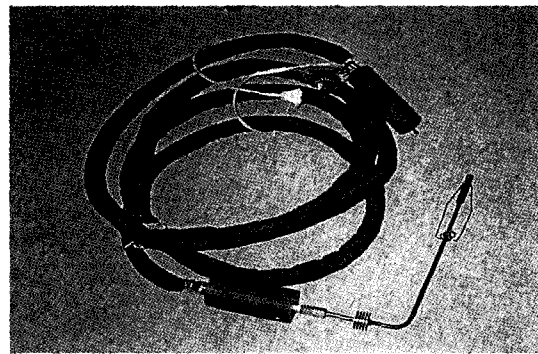


Fig. 3 Photo of sampling prove

3.2 실차실험

A에서 F까지의 다양한 모드별로 배출가스를 측정, 표본 조사하였다. A, B모드는 무부하검사, C, D모드는 가솔린기관의 시험방법인 ASM법, E, F모드는 부하검사로 테스트하였다. 이러한 모드별 검사방법을 Table 3에 나타내었다.

Table 3 Specifications of testing mode

| | |
|---|-------------------|
| A | Idle |
| B | Free acceleration |
| C | ASM 2525 |
| D | ASM 5015 |
| E | 10PS/50km |
| F | 13PS/50km |

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 일산화탄소(CO)

각 모드별 측정결과는 Fig. 4에 나타내었다. 무부하 검사와 부하검사는 유사하게 배출되었으며 ASM법은 무부하검사이보다 45%이상 증가하였다. 이는 부하 및 차속에 따라 측정하여 실질적인 주행상태에서 검사했기 때문이라고 사료된다. 그러나 디젤엔진의 특성상 소량 검출되었고, 각 모드별 큰 차이가 없다.

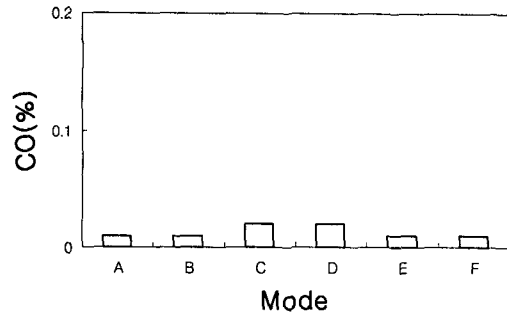


Fig. 4 Test results of CO exhausts from light-duty diesel engine

4.2 탄화수소(HC)

각 모드별 측정결과는 Fig. 5에 나타내었다. 무부하검사와 부하검사이 유사하게 배출되었으며, ASM법은 무부하 검사이보다 100%이상 증가하였다. 그러나 디젤엔진의 특성상 거의 나오지 않으며 각 모드별 큰 차이가 없다.

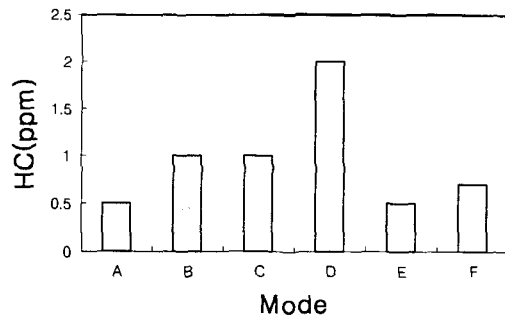


Fig. 5 Test results of HC exhausts from light-duty diesel engine

4.3 질소산화물(NOx)

각 모드별 측정결과는 Fig.6에 나타내었다. 10PS/50km는 무부하 검사방법보다 166.2% 증가하였다. 이는 ASM 검사방법과 유사한 결과를 나타내었다. ASM2525는 무부하검사방법보다 69.5% 증가하였고, ASM5015는 82.5% 증가하였다. 이는 부하로 인해 연소실내의 가스온도 상승에 기인된 것으로 생각되며, 이 결과, 실제차량의 운행상태와 비슷하여 실질적인 NOx측정을 할 수 있었다.

무부하와 부하시에 큰 차이를 보이며 무부하시 기준으로 비교한 모드별 배출가스 증가율 평균은 Table 4에 나타내었다.

실제 차량의 운행상태와 비슷한 조건으로 측정된 부하 검사방법이 NOx 농도가 현저히 높게 배출된다는 것을 알 수 있었다.

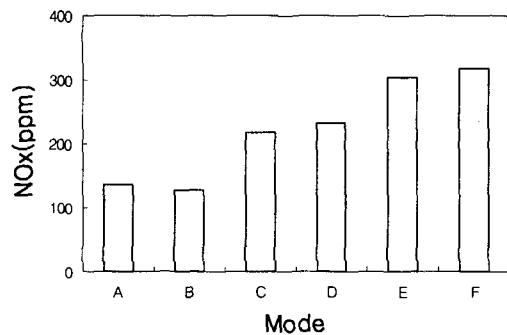


Fig. 6 Test results of NOx exhausts from light-duty diesel engine

Table 4 Average increase rate of testing mode

| Testing mode | Average |
|-----------------------|---------|
| Non-load VS ASM 2525 | 69.5% |
| Non-load VS ASM 5015 | 82.5% |
| Non-load VS 10PS/50km | 166.2% |
| Non-load VS 13PS/50km | 178.0% |

4.4 매연(Smoke)

각 모드별 측정결과는 Fig. 7에 나타내었다. ASM법과 부하검사시에 유사하게 측정되었다. 디젤기관의 스모크 배출특성과 같이 무부하시에 다량 배출되는 것을 알 수 있다. 이는 NOx의 결과에서 보는 바와 같이 상반관계가 성립되고 있음을 재확인할 수 있었다.

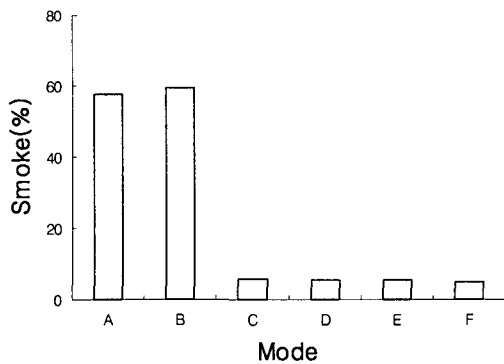


Fig. 7 Test results of Smoke exhausts from light-duty diesel engine

5. 결론

소형디젤승합차의 배출가스성능을 시험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 디젤엔진의 특성상 CO, HC는 거의 나오지 않으며 각 모드별 큰 차이가 없으나, NOx, Smoke는 검사방법에 따라 상이하게 배출되었고 그 상반관계를 재확인 할 수 있

었다.

2) 디젤승합차의 질소산화물은 무부하 검사법, ASM 검사법, 부하검사방법 순으로 증가하는 것을 알 수 있었다.

3) 향후 환경 친화적인 측면에서 운행하는 디젤승합차의 매연뿐만 아니라 질소산화물 측정이 반드시 이루어져야 한다고 사료된다.

후 기

본 논문은 서울중소기업청에서 실시하는 2000년 현장애로사항 기술지도에 따른 결과로서 (주)자스텍과 서울중소기업청 관계자 여러분께 감사를 드리며 본 결과가 도출되기까지 실험에 도와주신 교통안전진흥공단 관계자 여러분에게 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 국립환경연구원, "21세기 자동차 기술과 환경", 1999.
- 2) 한영출, et al., "신편 내연기관", 1997.
- 3) 한영출, et al., "디젤기관의 성능과 배기관 특성에 의한 필터트랩의 열제생에 관한 연구", 한국공작기계학회 제 8권 제 2호, 1999.
- 4) P. L. Heirigs, et al., "Preconditioning Effects on I/M Test Results using IM240 and ASM Procedures", SAE 962091, 1996.
- 5) J. Vattulainen, R. Hernberg, "Experimental Determination of Spontaneous Diesel Flame Emission Spectra in a Large Diesel Engine Operated with Different Diesel Fuel Qualities", SAE 981380, 1998.