

시험모드 및 대기온도에 따른 경유자동차의 배출가스 특성에 관한 연구 Studies on the Exhaust Gas Characteristics of the Vehicle Diesel according to the Test Mode and Ambient Temperature

이정천*† · 전철환** · 김기호** · 오상기*** · 박언영****

Jung-Cheon Lee*†, Cheol-Hwan Jeon**, Ki-Ho Kim**, Sang-Gi Oh*** and An-Young Park****

(Received 01 November 2016, Revision received 30 November 2016, Accepted 30 November 2016)

Abstract: Environmental problems are issued throughout all over the world and which are needed the strength management. In case of the diesel cars are also being developing and studying continuously about various after-treatments device such as EGR, LNT, SCR, DPF and DOC etc. which are used for decreasing NO_x and PM. The air temperature goes up to 39°C in summer and goes down to -20°C in winter because of the location. These changing of the temperature can effect to the engine and harmful exhaust gas discharged and it seems to make the increase - decrease different. The result of the evaluate while changing between the test-mode and the air temperature, which expresses that WLTC-mode is 2.2 times and FTP_75 mode is 4.1~6 times increase to the comparison NEDC-mode of the current regulation. The exhaust characteristic of NO_x by the changing temperature increases in the low temperature and 4.3 times in 14°C and 21.3 times in -7°C with maximum when it compares to 23°C. The fuel efficiency of the different weight car and engine with same data is about 5.7 % in maximum

Key Words : Emission, Greenhouse gas, Air temperature

1. 서 론

산업이 발전함에 따라 전 세계적으로 환경오염

에 대한 문제가 대두되고 그에 따른 관리가 강화되고 있다. 차량의 경우 휘발유 자동차는 배출가스 저감을 위해 후처리 장치 개발이 지속적으로

*† 이정천(교신저자) : 한국석유관리원 석유기술연구소

E-mail : ljcheon@kpetro.or.kr Tel : 043-240-7958

**전철환, 김기호 : 한국석유관리원 석유기술연구소

***오상기 : 경기과학기술대학교 자동차과

****박언영 : 충청대학교 항공자동차기계학부

*† Jung-Cheon Lee(corresponding author) : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, 33, Yangcheong 3-gil, Ochang-eup, Cheongwon-gu, Cheongju-si, Chungcheongbuk-do, 363-883, Korea.

E-mail : ljcheon@kpetro.or.kr, Tel : 043-240-7958

**Cheol-Hwan Jeon, Ki-Ho Kim : Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority.

***Sang-Gi Oh : Automotive Engineering, Gyeonggi College of Science & Technology.

****An-Young Park : Faculty of Aerospace, Automobile & Machine Design, Chung Cheong University.

이루어지고 있으며, 삼원촉매를 활용하여 배출가스를 저감하고 있다. 경유 자동차의 경우에도 후처리 장치에 대한 연구 및 개발이 지속적으로 이루어지고 있는데, 특히 경유 자동차에서 가장 문제가 되고 있는 질소산화물과 입자상물질 저감을 위해 EGR, LNT, SCR, DPF 및 DOC 등 다양한 후처리 장치가 사용하고 있다.

국내 경유 자동차의 배출가스 규제는 유럽의 배출가스 인증시험 모드인 NEDC(New European Driving Cycle)모드가 사용되고 있는데, 저속영역과 고속영역의 운전 특성을 반영하여 만들어진 모드이나 실제도로의 다양한 환경조건과는 다소 차이가 있어 지속적으로 문제가 제기되어 왔다. 따라서 유럽에서는 보다 실제도로 운전 환경에 근접한 WLTC(Worldwide harmonized Light duty Driving Emission)를 개발하여 적용 예정에 있으며, 국내에서도 2016년 현재 입법예고중으로 2017년 9월 시행예정에 있다.¹⁾ 또한 국내는 지리적 위치상 여름철에는 39℃까지 온도가 상승하고 겨울철은 -20℃까지 온도가 감소하는 등 대기온도변화가 큼에 따라 대기온도에 많은 영향을 받는 자동차 엔진 및 배출가스 저감 장치의 온도 활성화 측면에 큰 영향을 끼쳐 실질적으로 자동차에서 배출되는 유해 배기가스의 증감이 달라질 수 있을 것으로 보인다. 그러나 대부분의 배출가스 시험법은 온도조건이 20~30℃로 다양한 온도 조건을 반영하지 못하고 있고 배출가스 허용기준 강화 효과가 실제 도로 주행시에도 배출가스 감소로 적용될 수 있는지에 대해서 많은 연구가 국내·외에서 진행되고 있는 실정²⁾이며, 차량이 제작 당시의 대기오염물질 저감 성능을 잘 유지하는 경우라고 할지라도 교통량의 증가 혹은 실도로 주행패턴이 표준 주행패턴과 다른 경우에는 배출 허용기준치 이상의 배출가스가 배출되는 연구결과가 발표되기도 하였다.³⁾ 이와 같이 자동차에서 배출되는 유해 배기가스량은 다소 차이가 있을 수 있다. 따라서 본 연구에서는 다양한 시험모드 및 대기 온도조건이 경유자동차의 배기가스 배출특성에 미치는 영향에 대하여 알아보고자 한다.

2. 시험장치 및 시험방법

2.1 시험차량

본 연구에 사용된 차량은 현재 가장 강화된 규제 수준인 Euro6를 만족하는 경유 차량으로 배출가스 저감 장치인 LNT, EGR 및 CPF를 장착한 차량이다. 그러나 차량 중량이 차량 연비 및 배출가스에 미치는 영향성을 살펴보기 위하여 서로 다른 공차중량 차량을 선정하였으며, 각각의 차량은 A, B로 명명하였다. 차량의 상세 제원은 Table 1에 나타내었다.

Table 1 Specification of test vehicle

	A	B
Engine Type	CRDI VGT	CRDI VGT
Displacement(cc)	2,199	2,199
Max. power (ps/rpm)	202 / 3,800	202 / 3,800
Max. torque (kg·m/rpm)	45 / 1,750~2,750	45 / 1,750~2,750
exhaust emission control type	LNT/CPF	LNT/CPF
Wight (kg)	2,138	1,691
Emission level	Euro 6	Euro 6

2.2 차대동력계 및 배출가스 분석기

Fig. 1과 Table 2는 본 연구에 사용된 차대동력계 시스템에 대한 개략도와 상세제원을 나타낸 것이다. 차대동력계 시스템은 차량 총중량 3.5톤 미만의 소형, 승용 및 화물차에 대하여 배출가스 및 연비를 시험할 수 있도록 형식 승인된 시험 장비로, 자동차가 실제 도로상에서 영향을 받는 주행저항과 관성을 반영하며 정지, 가속, 정속 및 감속 등의 주행 패턴을 모사하여 주는 장비이다. 또한, 차량에서 나오는 배출가스를 분석하기 위하여 HORIBA사의 배출가스 분석기를 사용하였으며, 배출가스 중 CO, THC, NOx, CO₂, CH₄를 분석할 수 있는 장비이다. 배출가스 분석기의 분석원리는 CO 및 CO₂의 경우 비분산적외선분석법(Non-dispersive Infrared)을 사용하였으며, THC분석의 경우에는 수소염 이온화법(Heated Flame Ionization

Detector), NO_x는 화학발광법(Chemiluminescence Detector), CH₄는 GC-FID(Gas chromatography-FID)를 사용하였다. 또한 본 연구는 시험온도변화에 따른 배출가스 영향 분석을 위해서 다양한 환경 조건을 구현해야 함에 따라 다양한 온도조건이 구현 가능한 환경챔버 내에서 실험을 실시하였다. FTP-75 모드와 NEDC 모드는 항온·항습이 유지된 실험실 내에서 시험이 가능하나(항온 25±1℃, 항습 50±5%), Cold FTP-75 모드는 -6.7℃를 유지해야 한다.

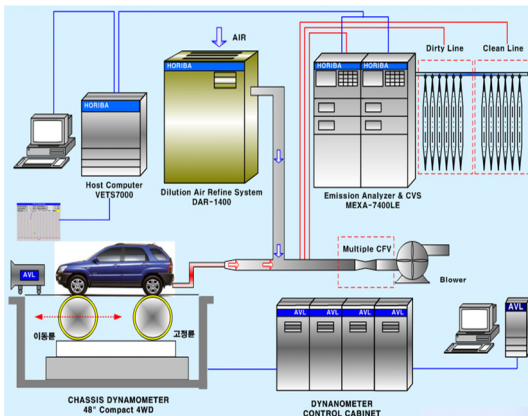


Fig. 1 Schematic view of a chassis dynamometer system

Table 2 Specification of chassis dynamometer

	Specification
Roller	Single Roll 114 cm(45inch)
Inertia weight	453 - 680 kg
Motor	AC Motor
Max speed	200 km/h
Speed error	± 0.01 %
Torque error	± 0.1 %
Distance measurement	Encoder
Blower capacity	63,000
Coast down	1 sec

2.3 시험모드 및 방법

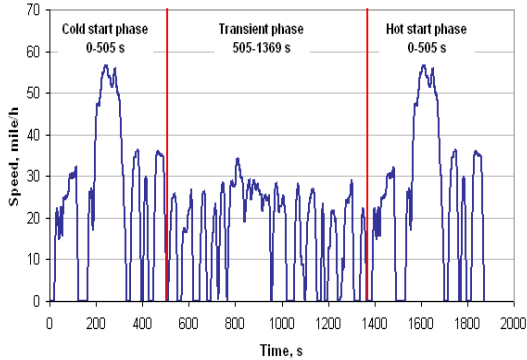
본 연구에 사용된 시험모드는 국내와 유럽의 경유자동차 배출가스 규제시험모드인 NEDC 모드

와 미국의 규제시험모드인 FTP-75 모드 및 국내와 유럽에서 신규로 도입예정인 WLTC 모드를 대상으로 하였으며, 시험온도 조건은 현행 시험법의 온도조건인 23℃와 WLTC 모드에서 권장하는 14℃ 그리고 미국에서 저온시험 조건으로 사용하고 있는 -7℃에서 시험을 진행하였다. 시험과정은 차량의 상태를 안정화시키기 위하여 기존 차량에서 100 km 이상을 주행하는 길들이기를 실시하였다. 차량상태가 안정된 상태라고 판단된 후 차량을 실제도로 상황과 동일한 부하조건을 구현하기 위해 시험모드 진행 전 차대동력계 롤러 위에 차량을 올려놓고 80 km/h의 속력으로 30분 주행 후 Coast-down을 실시하였으며, 라이트와 에어컨을 켜 상태에서 DPF 강제 재생을 실시하고 측정하고자 하는 모드를 1회 주행하는 Preconditioning을 실시하였고, 롤러 위에서 시험용 차량을 130 km/h의 속력으로 주행하면서 LNT 재생이 일어났는지 확인하였으며, LNT 3회 재생 후 차량을 감속하여 정지시켰다. 위 과정 후 차량은 시험설정 온도가 유지되는 환경에서 12시간 이상 정차(Soaking) 시킨 후 시험을 실시하였다. Fig. 2와 Table 3은 각 시험에 사용된 시험모드의 드라이브 스케줄과 상태를 나타낸 것이다. Fig. 2의 (a) FTP-75모드는 시험실에서 차량의 연비를 측정하기 위하여 미국 LA지역 아침 시간의 도로 여건과 운전 상황을 고려하여 1975년에 개발된 주행모드로서 시험시간은 약 41분이 소요되며, 우리나라는 1987년 7월부터 배출가스 및 연비 시험방법의 주행 모드로 사용하고 있으며, (b) NEDC모드는 유럽의 배출가스 및 연비 측정 시험 모드로서 시험실에서 모의로 배출가스를 측정하여 각 phase에 따라 배출가스 농도를 계산

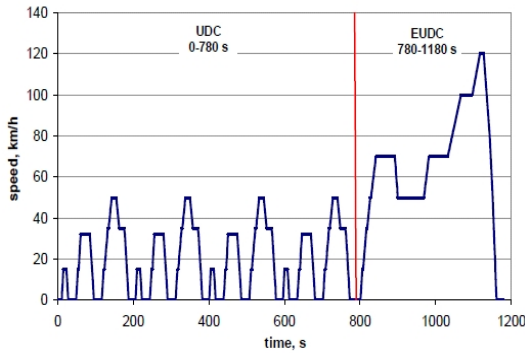
Table 3 Mode driving condition

	FTP-75	NEDC	WLTC
Distance(km)	17.84	11.007	23.26
Ave. speed(km/h)	34.1	40.65	46.3
Max. speed(km/h)	91.2	120	131.6
Mode time(sec)	2477	1180	1800

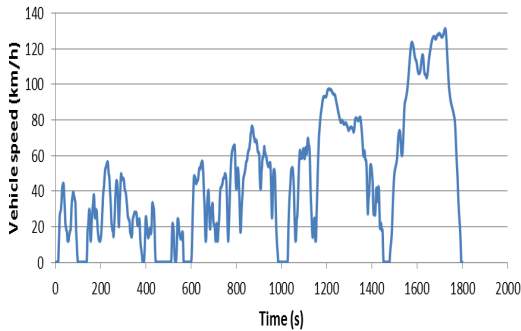
하고 최종적으로 연비를 계산한다. (c) WLTC모드는 차기 유럽의 배출가스 및 연비 측정 시험모드로서 현행 시험모드인 NEDC 시험 모드를 개선하고자 국제연합 유럽경제위원회에서 제안된 시험 모드이다.



a. FTP-75 and Cold FTP test mode driving pattern



b. NEDC test mode driving pattern



c. WLTC test mode driving pattern

Fig. 2 Mode driving pattern

3. 시험결과 및 고찰

3.1 시험모드 및 대기온도에 따른 배출가스 특성

Fig. 3~4는 시험차량 A와 B의 각 시험모드에 따른 배출가스의 결과를 나타낸 것이다. 그림에서 빨간선은 규제치를 나타낸 것이다. 입자상물질의 경우 기존에 연구된 내용으로는 질소산화물과 반비례 관계를 보이거나^{4,5,6)}, CO와 HC는 그림에서 보는바와 같이 NEDC 모드뿐만 아니라 FTP-75 모드와 WLTC 모드에서도 배출가스 규제치에 현저히 못 미치는 적은 양을 배출하고 있기 때문에 각 모드에 따른 배출경향을 언급하는 것은 큰 의미가 없는 것으로 판단된다. NOx의 경우 시험차량 A와 B 모두 NEDC 모드에서는 배출가스 허용기준이

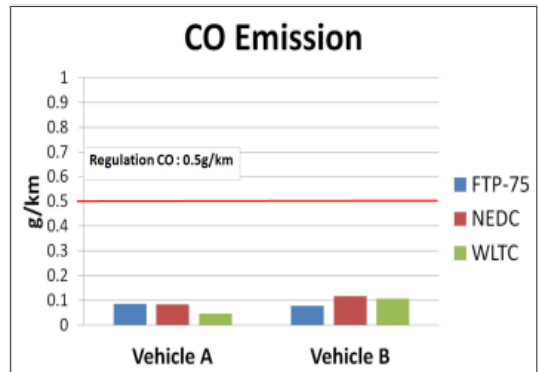


Fig. 3 CO Emission

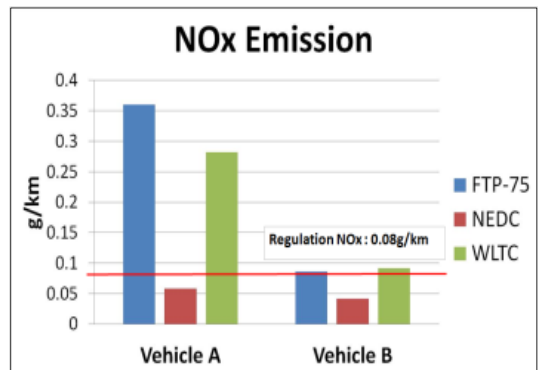


Fig. 4 NOx Emission

내의 값을 나타냈지만, 국내에서 경유자동차의 규제모드로 사용하고 있지 않은 FTP-75 모드에서 A와 B차량 각각 약 6배와 약 4.1배가 증가하였으며, WLTC 모드에서도 약 2배와 약 2.2배로 높은 배출수준을 나타냈다. Table 3에서 언급하였듯이 각 모드의 주행패턴이 상이하기 때문에 이러한 결과가 도출된 것으로 사료되며, 본 결과에 대해 보다 심층적인 분석을 위해서는 시험차량에 장착된 후처리장치와 EGR 장치의 작동특성을 확인하여야 하나, 이러한 항목들은 대부분 자동차 제작사의 보안사항으로 본 연구에서는 확인이 불가능하였다. 다만 두 시험차량 모두 WLTC 모드가 NEDC 모드보다 더 많은 양의 NOx를 배출하는 것으로 확인되었기 때문에 향후 WLTC 모드가 규제 시험모드로 적용된다면 대기질 개선에 긍정적인 결과를 가져올 것으로 판단된다.

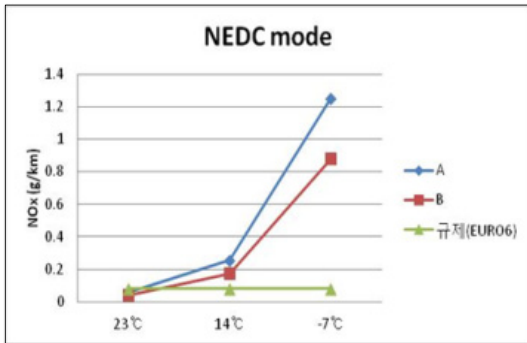


Fig. 5 NEDC NOx Emission

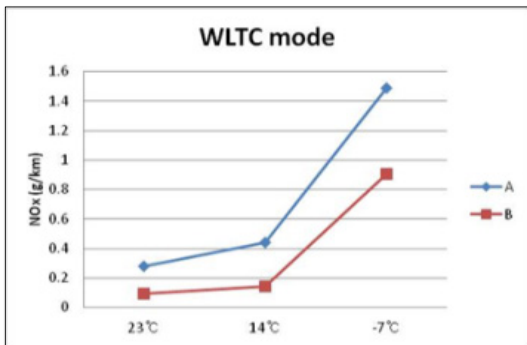


Fig. 6 WLTC NOx Emission

Fig. 5~6은 현행 규제모드인 NEDC 모드와 향후 규제 예정인 WLTC 모드에서 온도조건 변화에 따른 NOx의 배출 경향을 나타낸 그림이다. 현행 경유자동차 배출가스 규제시험방법에서 제시하는 온도조건 23°C 대비 WLTC 모드에서 제안하는 14°C에서 NOx는 각각 약 4.1배와 4.3배 증가하였으며, 겨울철의 최저 온도라고 할 수 있는 -7°C에서는 각각 21.2배와 21.3배 증가하였다. 두 모드에서 온도가 감소할수록 NOx가 증가하는 동일한 경향을 타내고 있으며, 특히 영하의 조건으로 가면서 급격히 증가하여 NOx가 온도에 따른 영향을 많이 받고 있음을 알 수 있다.

이러한 현상은 엔진의 예열과 후처리장치의 활성화가 늦어짐에 따른 영향에서 기인하는 것으로 판단할 수 있겠으나, 보다 면밀한 분석을 위해서는 앞서 언급하였듯이 각 장치의 작동특성을 파악하는 것이 더 중요할 것으로 사료된다. 또한 현행 배출가스 규제 시험모드의 온도조건(20~30°C) 이외의 다양한 온도조건 하에서 유해배출물질의 배출특성을 파악하여 이에 대한 저감 대책 및 법제화에도 관심을 가져야 할 것으로 판단된다.

3.2 연비특성 결과 및 고찰

Fig. 7은 동일엔진을 사용하며 공차중량이 다른 차량 A, B의 연비를 나타낸 것이다. 시험모드는 현행 국내 연비시험 모드인 FTP-75와 유럽의 연비시험 모드인 NEDC모드 및 향후 적용 예정인 WLTC에서 비교하였다. Table 1에서 언급하였듯이 두 대의 시험차량은 동일한 엔진제원을 갖고 있음에도 불구하고 연비는 22~28% 차이를 보이고 있다. 즉 차량의 중량이 연비에 미치는 영향이 매우 크다고 할 수 있다. A, B차량에서 모드 특성에 따른 연비 경향성은 특별히 발견할 수 없었으며 연비차이는 최대 약 5.7%로 나타났다. 다양한 차종을 대상으로 모드별 연비시험을 수행하여 보다 많은 데이터를 확보해야 하겠지만, 본 시험결과로서는 각 모드가 갖는 기본적인 주행패턴 특성이 차량마다 일정하게 적용되지 않는다고 판단할 수 있다.

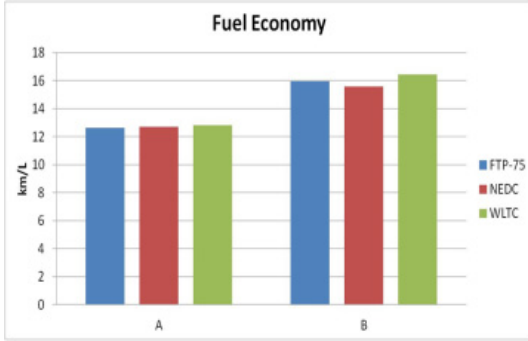


Fig. 7 Fuel Economy

4. 결 론

동일 엔진과 후처리장치를 사용하며 공차중량이 다른 두 차량에 대해 모드 및 온도별 배출가스 특성과 연비특성을 살펴보고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 각 모드에 따른 배출가스 비교 결과, 현행 규제 모드인 NEDC 대비 WLTC 모드는 2~2.2배, FTP-75 모드는 약 4.1~6배 증가한 것을 확인하였다.

2) 온도변화에 따른 질소산화물(NOx) 배출특성은 온도가 낮을수록 증가하는 경향을 보였으며 23℃ 대비 14℃에서 최대 4.3배, -7℃에서는 최대 21.3배 증가함을 확인하였다.

3) 동일한 엔진제원을 갖고 중량이 상이한 차량을 대상으로 측정한 연비차이는 최대 약 5.7%로 차량중량이 연비에 미치는 영향이 크다는 것을 알 수 있었다.

4) 모드특성이 연비에 미치는 영향은 차량마다 상이한 경향성을 갖는다는 것을 알 수 있었다.

5) 현행 배출가스 규제 시험모드의 온도조건 이외의 다양한 온도조건 하에서 유해배출물질의 배출특성을 파악하여 이에 대한 저감 대책 및 법제화에 관심을 가져야 할 것으로 판단된다.

References

1. www.law.go.kr
2. M. H. Lee, S. W Kim, K. H. Kim, C. S. Jung and H. J. Oh, 2012, "A study about fuel economy and exhaust emission characteristics according to the vehicle test mode conditions", KSAE, Annual Conference and Exhibition, pp. 647-652.
3. T. Lee, J. Lee and J. Kim, 2012, "Evaluation of On-Road NOx Emission from a Light Duty Diesel Vehicle using a Portable Emissions Measurement System", KSAE, Vol. 28, No. 1, pp. 94-104.
4. Y. Han, Y. Oh and S. Oh, 2001, "An Experimental Study on Performance and Exhaust Gas in a Heavy-duty Diesel Engine with Cooled-EGR", Transactions of KSAE, Vol. 9, No. 5, pp. 1-8.
5. H. Choi and K. Min, 2008, "The Down-sizing for the Better Fuel Efficiency of HSDI Diesel Engines", Auto Journal, KSAE, Vol. 30, No. 6, pp. 28-33.
6. C. Bae, 1998, "The Effect of EGR on the Combustion in a High Speed Direct-injection Diesel Engine", Proceedings of UK-Korea Joint Seminar on Internal Combustion Engines, KSAE, pp. 173-194.
7. H. J. Gong, I. Goo, H. A. Ko, C. L. Myung, S. S. Park and C. S. Lim, 2012, "Effect of EGR Rate and Injection Timing on the Characteristics of Exhaust Emissions in Light-duty Diesel Engine", KSAE, Vol. 20, No. 3, pp. 7-12.