

주행모드별 경유 중형화물자동차의 온실가스 배출 특성 연구

홍희경 · 정택호 · 정성운 · 김선문 · 서석준 · 김인구 · 이상은 · 이승환 · 김정화 · 홍유덕 · 문선희[†]

국립환경과학원 교통환경연구소

A Study on the Emission Characteristics of Greenhouse Gas from Diesel Medium Duty Trucks According to Driving Modes

HEEKYOUNG HONG, TAEKHO CHUNG, SUNGWOON JUNG, SUNMOON KIM, SEOKJUN SEO, INGU KIM, SANGEUN LEE, SEOUNGHWAN LEE, JOUNGHWAN KIM, YOUDEOG HONG, SUNHEE MUN[†]

Transportation pollution Research Center, National Institute of Environmental Research, 42 Hwangyoung-ro, Seo-gu, Incheon 22689, Korea

[†]Corresponding author :
hong4590@korea.kr

Received 2 October, 2018
Revised 19 February, 2019
Accepted 28 February, 2019

Abstract >> This study was investigate the characteristics of GHGs (CO₂, CH₄, and N₂O) emissions of diesel medium duty trucks according to their various driving modes. GHGs emissions decreased as vehicle speed increased, and emissions increased after 64.7 km/h. The 4.5 ton trucks show higher values of CO₂, CH₄, N₂O, 35%, 25%, and 57%, respectively, comparing of the 2.5 ton trucks. Also, CO₂ emissions under WHVC mode were 20% lower than those under the NEDC mode. In the case of cold start condition, CO₂ emissions were 12-13% higher than those for hot start condition. In the future, the result of present study will provide basic data to set up GHGs emission standards for medium and heavy duty vehicles.

Key words : Greenhouse gas(온실가스), Diesel medium duty trucks(경유 중형화물자동차), Driving mode(주행모드), CO₂(이산화탄소)

1. 서론

우리나라는 2030년 온실가스 배출량을 배출전망치(business as usual, BAU) 대비 37% 감축목표를 발표하였다(2015)¹⁾. 수송부문의 목표감축률은 24.6%로 전체 배출원 중 가장 높게 설정되었다. 환경부 소속 온실가스종합정보센터에서 발표한 우리나라의 2015년 온실가스 총 배출량은 690.2 백만 톤으로 에너지부문이 차지하는 비율은 87.1%이며, 이 중 수송부문이 차

지하는 비율은 16%이다²⁾.

자동차에서 배출되는 온실가스는 CO₂, CH₄, N₂O 등이 있으며 이 중 CO₂가 90% 이상 차지한다. 연료의 연소에 의하여 배출되는 CO₂는 연료소비율과 밀접한 관계가 있고, CH₄는 연료조성비와 관계가 있으며 자동차 엔진의 불완전연소에 의하여 생성되고 촉매장치에서 미처리된 메탄이 대기에 배출된다³⁾. N₂O는 공기와 연료 중의 질소성분이 연소하여 발생하는 Fuel NO 또는 Prompt NO의 중간 생성물질로서 고온연소

시에는 N₂O에서 NO로 전환된다고 알려져 있다⁴⁾. Kim 등⁵⁾의 연구 결과에 따르면 경유 소형화물 자동차의 온실가스 배출량은 차속모드인 NIER 모드로 시험한 결과 차속이 증가할수록 감소 경향을 나타내었으며, 각국의 온실가스 배출량 측정모드를 적용한 결과 유럽에서 적용하고 있는 NEDC 모드에서 가장 높은 경향을 보였다. 또한 Jeon 등⁶⁾, Lyu 등⁷⁾, Quiros 등⁸⁾에 의해서도 자동차에서 배출되는 온실가스에 대한 다양한 연구들이 이루어지고 있다.

우리나라는 환경부 고시 제2017-225호 「자동차 평균에너지소비효율기준 온실가스 배출허용기준 및 기준의 적용 관리 등에 관한 고시」에 따라 승용자동차 및 승합자동차로서 승차인원이 15인승 이하이고 총 중량이 3.5톤 미만인 자동차에 한하여 배출규제를 적용하고 있으나, 소형자동차에 비하여 배기량과 중량이 크고 1일 주행거리가 길어 차량대수가 적음에도 불구하고 전체 자동차 온실가스의 약 30%를 차지하는 대형자동차의 경우 규제가 이루어지고 있지 않다⁹⁾.

이에 본 연구에서는 Euro 5 경유 중형화물자동차를 대상으로 주행모드별 온실가스 배출 특성을 연구하였으며 향후 중·대형자동차 온실가스 기준설정을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 시험차량

본 연구에서는 국토교통부의 국내 자동차등록대수 자료를 이용하여 차종별 점유율을 고려하여 자동차 관리법에 따라 최대적재량 1톤 초과 5톤 미만인 Euro 5 기준의 2.5톤 3대, 4.5톤 2대의 차량을 선정, 화물적재 중량 50%를 반영하여 각 2회씩 시험하였다. 시험 차량의 제원은 Table 1에 나타내었다.

2.2 시험모드

경유 중형화물자동차의 배출 특성을 분석하기 위하여 적용한 시험모드는 국립환경과학원에서 국내 운행 조건을 반영하여 개발한 차속모드인 National

Table 1. Specification of test vehicles

Specification	Vehicle type	
	A	B
Displacement (cc)	3,933	5,899
Driving distance (km)	37,133-130,447	47,825-98,952
Gross Vehicle Weight (kg)	5,905-6,085	10,080-10,120
Max. loading capacity	2.5 ton	4.5 ton
After treatment system	EGR+pDPF	EGR+pDPF
Emission standards	Euro 5	Euro 5
Fleet	3	2

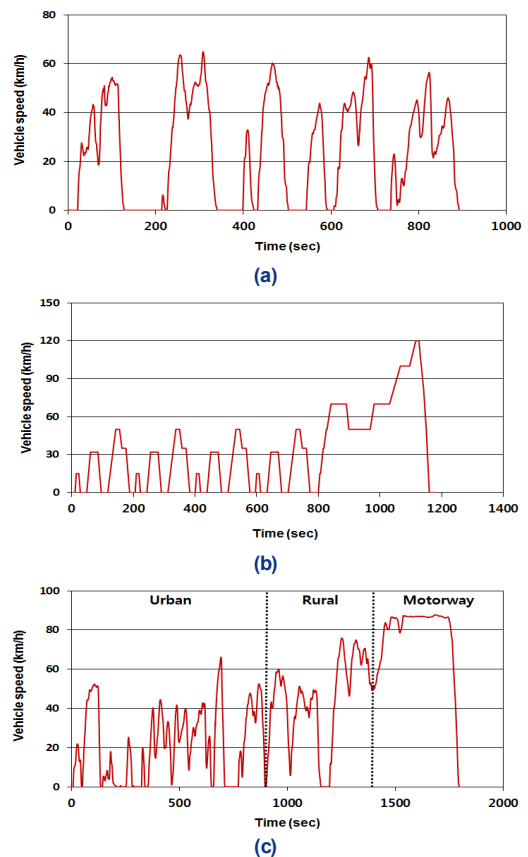


Fig. 1. Driving test modes: (a) NIER 7, (b) NEDC, (c) WHVC

Institute of Environmental Research (NIER) 모드로 본 연구에 사용된 평균 차속은 4.7, 10.4, 23.5, 45.0, 64.7, 80.5, 94.8 km/h의 7개 모드이다. 또한 경유자동차의 규제시험모드인 New European Driving Cycle (NEDC) 모드와 중·대형 트럭의 국제 표준화 모드인

Table 2. Specification of each driving modes

Test mode	Driving distance (km)	Average speed (km/h)	Maximum speed (km/h)	Driving time (sec)
NIER 1	1.19	4.7	29.4	908
NIER 3	2.70	10.4	48.4	937
NIER 7	5.82	23.5	64.8	891
NIER 10	11.94	45.0	79.8	955
NIER 12	16.08	64.7	85.4	866
NIER 13	18.35	80.5	93.6	782
NIER 14	22.17	94.8	109.5	801
NEDC	10.92	33.4	120.0	1,180
WHVC	20.06	40.2	87.8	1,800

Worldwide Harmonized Vehicle Chassis dynamometer test (WHVC) 모드를 적용하여 분석하였다. NEDC 모드는 시내 주행모드와 고속도로 주행모드가 연속으로 구성된 모드이며, WHVC 모드는 실도로 운행 특성을 반영하여 도시(urban), 교외(rural), 고속도로(motorway)를 구성하여 만든 모드이다. 시험모드의 자세한 제원은 Fig. 1과 Table 2에 나타내었다.

2.3 시험장치

차대동력계는 가속, 감속, 정속, 정지 등의 실제 도로 주행을 모사하여 주행할 수 있도록 자동차에 부하를 주는 장치이며 차대동력계 배출가스 측정장치는 Fig. 2와 같이 차대동력계, 보조운전장치, 희석터널, 입자상물질측정장치, 정용량시료채취장치, 배기가스분석기로 구성되어있다. 보조운전장치는 운전자가 자동차로 도로에서 주행하는 상태로 운전할 수 있도록 화면에 운행상태를 표시해주는 장치이며, 희석터널은 고온에 의한 입자상물질의 변화를 배제시키고 대기 조건으로 제어하기 위하여 시료채취 온도가 52°C 이내로 유지되도록 외부공기와 배기가스를 희석시키는 역할을 한다. Fig. 3에 시험모습을 나타내었다.

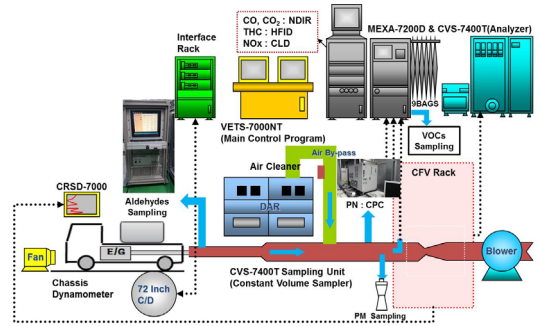


Fig. 2. Schematic diagram for vehicle exhaust emission test system



Fig. 3. Overview of chassis dynamometer

2.4 시험 방법

시험차량이 차대동력계의 롤러 위에서 각 시험모드를 주행할 때 배기관으로부터 배출되는 가스를 정용량시료채취장치(constant volume sampler, CVS)에서 일정량의 공기로 희석한 후 대형 시료채취백에 채취된 배출가스를 분석기로 분석하였다. CO₂는 비분산적외선분석법(nondispersive infraed, NDIR), CH₄는 열식불꽃이온화검출기법(heated flame ionization detector, HFID)을 이용하였으며 배출량은 주행거리당 중량단위(g/km)로 환산하여 산정하였다.

N₂O는 차량시험을 하는 동안 대형 시료채취백에 포집된 배출가스를 5 L 테들러백(tedlar bag)에 시료 채취하였으며 자동차 배출오염물질 외 희석공기도 동시에 포집하였다. 시료는 pulsed discharge helium ionization detector (PDHID)가 부착된 gas chromatography를 이용하여 분석하였으며 Tables 3-5에 분석장비의 제

Table 3. Specifications of chassis dynamometer

Items	Specification
Model	AVL Chassis dynamometer 48" compact
Maximum force	10,096 N
Maximum calibration force	8,000 N
Maximum speed	200 km/h
Total inertia range	454-5,443 kg
Roller diameter	1,219.2 mm

Table 4. Specifications of exhaust gas analyzer

Pollutant	Measuring method	Measuring conc. range
CO ₂	NDIR	1, 2, 3, 6%
CH ₄	HFID	10, 20, 50, 500 ppm

Table 5. Analysis conditions of GC

Activity	Analysis conditions	
GC	Model	Varian GC 450
	Detector	PDHID
	Column	CP-PoraPLOT Q (50 m × 0.32 mm × 10 μm)
	Column temp.	50°C
	Injector temp.	100°C
	Detector temp.	250°C
	Sample flow	100 mL/min

원과 분석 조건을 나타내었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 차속별 온실가스 배출 특성

Fig. 4는 차속별 온실가스 배출 특성을 나타낸 그림이다. 평균 차속이 증가할수록 CO₂, CH₄, N₂O 배출량은 감소하였고 일정차속(64.7 km/h) 이후에는 배출이 다소 증가하였다. 공회전 및 감속이 많은 저속 구간에서는 연료의 미연소로 인하여 주행거리 당 연료 소비량이 증가하여 CO₂가 많이 배출되었고, 차속이 증가하면서 연료의 완전연소 가능성이 커져 CO₂ 배출량이 감소한 것으로 판단된다. CH₄는 저속주행시 낮은

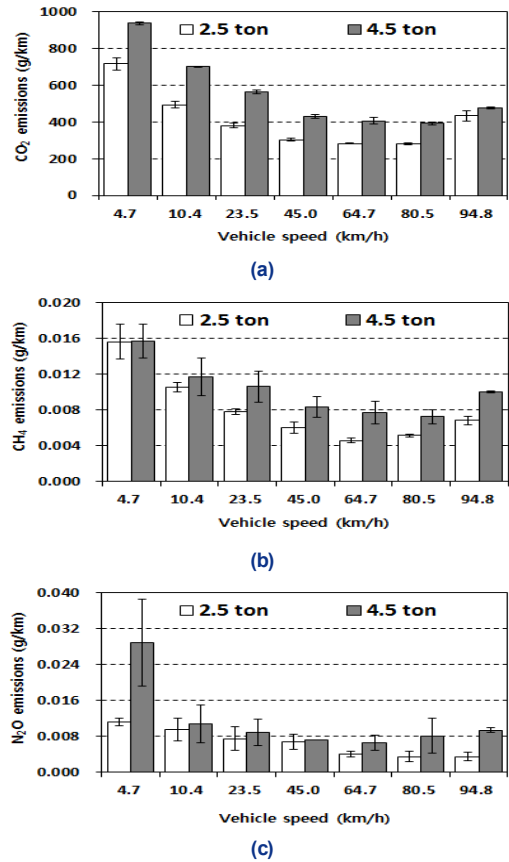
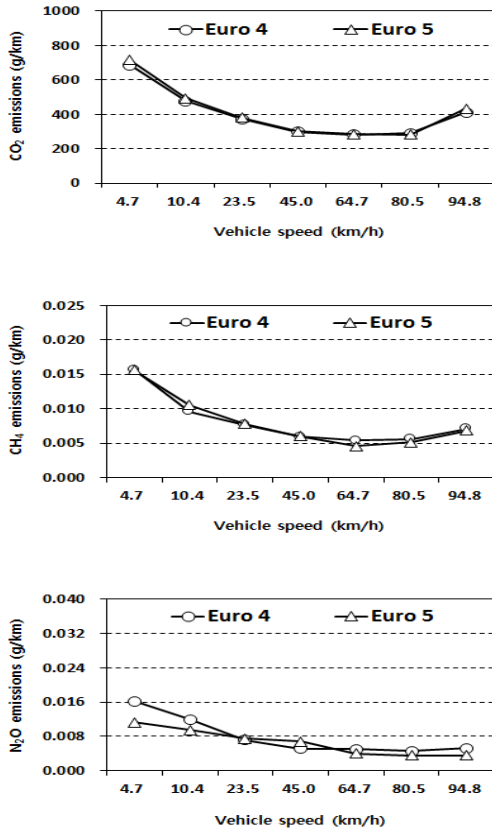
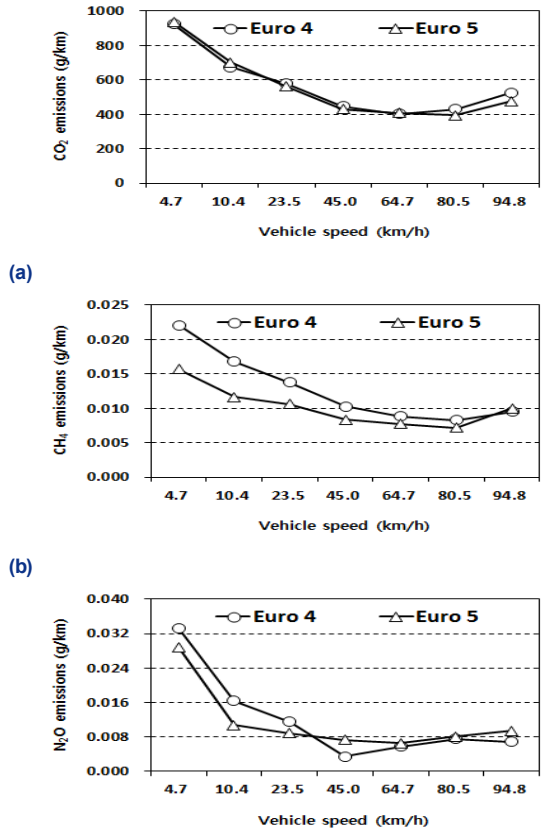


Fig. 4. Emission characteristics of GHGs according to vehicle speeds. (a) CO₂, (b) CH₄, (c) N₂O

공연비로 인하여 산소부족으로 연소효율이 낮아지고 불완전연소가 생성되면서 배출량이 많아지고⁶⁾ 고속에서는 연소실 온도가 상승하면서 촉매가 활성화되어 CH₄ 배출량이 감소한 것으로 판단된다. N₂O는 당량비와 실린더온도에 의하여 크게 영향을 받으며¹⁰⁾ NOx의 불완전환원에 의하여 생성된다. 고속에서 증가하는 N₂O는 엔진의 고온에 따른 thermal NOx에 의한 것으로 사료된다. NOx는 대부분이 thermal NOx에 기인하는데 이것은 주로 연소온도 및 연소영역에서 산소의 농도가 높을 때, 고온영역에서 연소가스의 체류시간이 길 때 많이 발생한다고 알려져 있다¹¹⁾. 차량중량이 증가하면 도로 마찰력 등에 의하여 엔진에 가해지는 부하량이 증가함에 따라 연료소비량이 많아진다. 이에 따라 2.5톤 대비 4.5톤 차량에서 CO₂ 35%, CH₄ 25%,



2.5 ton vehicle



(a)

(b)

(c)

4.5 ton vehicle

Fig. 5. Comparison of GHGs emissions according to emission standards. (a) CO₂, (b) CH₄, (c) N₂O

N₂O 57% 배출량이 증가하는 것을 확인하였다.

Fig. 5는 기존 Euro 4 경유 중형화물자동차의 측정 자료¹²⁾를 일부 활용하여 자동차 규제물질 배출허용 기준 강화에 따른 온실가스 배출 특성을 나타낸 그림이다. Euro 4 대비 Euro 5 차량은 물질별 차이를 보이며 배출량이 감소하였으나 감소폭이 크지 않고 CH₄과 N₂O는 배출수준이 낮아 배출허용기준 강화가 온실가스 배출 저감에 미치는 영향은 크지 않다고 보여진다.

3.2 주행모드 및 시동 조건에 따른 CO₂ 배출 특성

Fig. 6에 경유자동차 규제모드와 국제표준화 주행모드의 CO₂ 결과를 나타내었다. 모드 전반적으로 차량 중량이 증가함에 따라 CO₂ 배출량은 약 47-48% 증가

함을 확인하였으며, 이는 차량중량에 따른 연료소비율의 증가에 따른 것으로 판단된다. 2.5톤 및 4.5톤 차량은 NEDC 모드 대비 WHVC 모드에서 약 20% 낮게 배출되었다. 이는 NEDC 모드와 WHVC 모드의 평균 속도가 각각 33.4 km/h, 40.2 km/h로 약 1.2배 차이로 인한 결과로 판단되며, WHVC 모드의 높은 평균 속도는 내연기관 효율의 증가를 나타내기 때문에¹³⁾ 이러한 영향이 CO₂ 배출에도 영향을 미친 것으로 보여진다.

시동 조건에 따른 CO₂ 변화 수준을 확인하기 위하여 시험차량을 일정한 온도/시간(25±5°C, over 12-36 hours) 동안 충분히 안정화 후 도심지역의 평균 차속을 고려하여 NIER 7 모드를 적용하여 시험하였으며 Fig. 7에 열간 및 냉간시동 조건에서의 CO₂ 결과를 나타내었다. 그 결과, 냉간시동시 약 12-13% 배출량

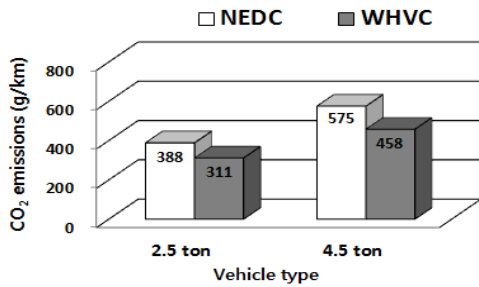


Fig. 6. Characteristics of CO₂ emissions under NEDC and WHVC modes

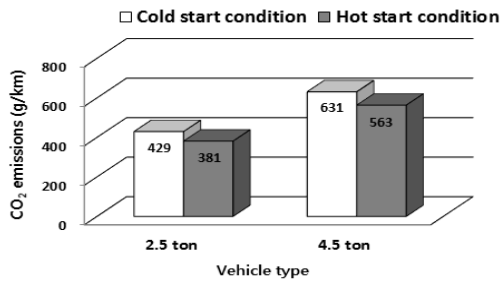
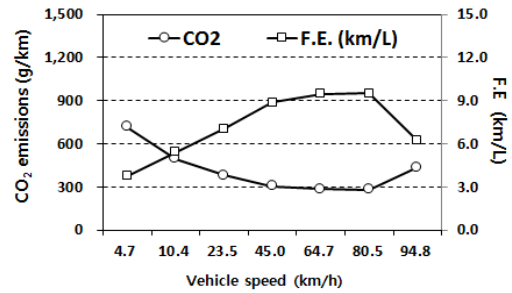
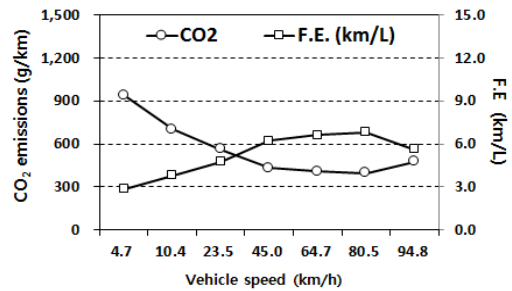


Fig. 7. Characteristics of CO₂ emissions for cold and hot start conditions



(a)



(b)

Fig. 8. CO₂ emissions and fuel efficiency according to vehicle speeds. (a) 2.5 ton vehicle, (b) 4.5 ton vehicle

이 증가하였다. 자동차는 냉간시동시 연소실의 낮은 분위 온도 및 배출가스저감장치의 촉매활성화온도(light-off temperature) 미도달 등의 이유로 인하여 연소효율 저하와 배출가스의 과다배출현상이 발생한다. 이러한 현상을 개선하기 위하여 자동차 제작사에서는 냉간시동 초기에 비교적 기존 연료분사량 수준보다 높게 설정하여 연소와 배출가스 개선에 유리한 온도 조건을 확보하고 있으며, 이와 같은 이유로 인하여 CO₂ 배출량이 증가한 것으로 판단된다.

3.3 CO₂와 연비

Fig. 8에 CO₂ 배출량과 연비를 비교하여 나타내었다. 자동차에서 배출되는 CO₂는 차량의 연비와 반비례하는 등 연료소비와 밀접한 상관관계를 가지며 연비가 좋을수록 CO₂ 배출량은 감소하는 경향을 나타냈다. 2.5톤 차량의 CO₂는 716 g/km (4.7 km/h)에서 282 g/km (80.5 km/h)로 61% 감소하는 반면 연비는 2.5배 향상되었으며, 4.5톤 차량의 CO₂는 939 g/km (4.7 km/h)

에서 395 g/km (80.5 km/h)로 58% 감소하는 반면 연비는 2.4배 향상되었다. 두 차량 모두 94.8 km/h에서는 다시 CO₂ 배출이 증가하고 연비는 낮아졌다. 전체 속도 구간 중 64.7-80.5 km/h 구간이 CO₂ 배출과 연비의 효율이 가장 높은 주행속도 구간으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 경유 중형화물자동차를 대상으로 다양한 주행모드를 사용하여 각 모드에 대한 온실가스 배출 특성을 분석하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 차속별 온실가스 배출 특성 결과 평균 차속이 증가할수록 CO₂, CH₄, N₂O 배출량은 감소하였고 일정 차속(64.7 km/h) 이후에는 배출량이 다소 증가하였다.
- 2) 주행모드에 따른 CO₂ 배출 특성 결과 NEDC 모드 대비 WHVC 모드에서 약 20% 낮게 배출되었다.
- 3) 열간 및 냉간시동 조건에 따른 CO₂ 배출 특성 결과 냉간시동시 약 12-13% 배출량 증가를 확인하

였다.

4) CO₂와 연비를 비교한 결과 차속이 4.7 km/h에서 80.5 km/h로 증가하는 동안 두 차량은 CO₂의 감소와 연비의 증가가 뚜렷하게 나타났으며, 94.8 km/h에서는 다시 CO₂ 배출이 증가하고 연비는 낮아졌다.

후 기

본 논문은 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행하였다(2013 자동차 온실가스 및 대기오염물질 통합관리 시스템구축 VI).

References

1. Ministry of Environment, "Korea's greenhouse gas reduction target is set at 37% in preparation for BAU(851 million tons) in 2030", Ministry of Environment, Korea, 2015. Retrieved from <http://www.me.go.kr/home/web/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=title&searchValue=2030%EB%85%84&menuId=286&orgCd=&boardId=534080&boardMasterId=1&boardCategoryId=39&decorator=>.
2. Greenhouse Gas Inventory and Research Center, "National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea", Greenhouse Gas Inventory and Research Center, Korea, 2017. Retrieved from <http://www.gir.go.kr/home/board/read.do?pagerOffset=0&maxPageItems=10&maxIndexPages=10&searchKey=&searchValue=&menuId=36&boardId=41&boardMasterId=2&boardCategoryId=>.
3. D. M. Lee, "A Study on the Characteristics of Air Pollutant and Greenhouse Gas Emissions from Diesel and CNG Urban Buses in Korea", Inha University Graduate School of Engineering, Korea, 2010. Retrieved from http://dcollection.inha.ac.kr/public_resource/pdf/000000004809_20190221131206.pdf.
4. J. A. Miller and C. T. Bowman, "Mechanism and modeling of nitrogen chemistry in combustion", *Process in Energy and Combustion Science*, Vol. 15, No. 4, 1989, pp. 287-338, doi: [https://doi.org/10.1016/0360-1285\(89\)90017-8](https://doi.org/10.1016/0360-1285(89)90017-8).
5. J. Y. Kim, C. Seo, J. Son, J. Park, T. Moon, S. Lee, and J. Kim, "A Study of Greenhouse Gas Emission rates from LDTs according to emission Certification Modes and Real-World Vehicle Driving Cycles in Korea", *Climate Change Research*, Vol. 3, No. 4, 2012, pp. 235-243. Retrieved from http://kscrc.re.kr/journal/journal_download.php?art_id=115.
6. M. S. Jeon, J. H. Ryu, Y. S. Lyu, J. C. Kim, C. S. Lim, D. W. Kim, S. W. Jeong, and S. Y. Cho, "A Study on Characteristics of Methane Emission from Gasoline Passenger Cars", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol. 21, No. 6, 2005, pp. 649-655. Retrieved from <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200511722569708.page>.
7. Y. S. Lyu, J. H. Ryu, S. W. Jung, M. S. Jeon, D. W. Kim, M. D. Eom, and J. C. Kim, "A Study on the Characteristics of Carbon Dioxide Emissions from Gasoline Passenger Cars", *Transactions of KSAE*, Vol. 15, No. 2, 2007, pp. 58-64. Retrieved from <http://www.koreascience.or.kr/article/JAKO200714364029768.page>.
8. D. C. Quiros, J. Smith, A. Thiruvengadam, T. Huai, and S. Hu, "Greenhouse gas emissions from heavy-duty natural gas, hybrid, and conventional diesel on-road trucks during freight transport", *Atmospheric Environment*, Vol. 168, 2017, pp. 36-45, doi: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2017.08.066>.
9. NIER, "The study on the development of measurement method about greenhouse gas of heavy duty vehicle", NIER, Korea, 2011. Retrieved from <http://ecolibrary.me.go.kr/nier/search/DetailView.ax?sid=15&cid=5511361>.
10. J. Ko, J. Son, C. L. Myung, and S. Park, "Comparative study on low ambient temperature regulated/unregulated emissions characteristics of idling light-duty diesel vehicles at cold start and hot restart", *Fuel*, Vol. 233, 2018, pp. 620-631, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.05.144>.
11. B. H. Lee, D. I. Seol, Y. J. Chang, and C. H. Jeon, "A numerical study on internal combustion characteristics of diesel engine", *Korean Society of Automotive Engineers*, Korea, 2007, pp. 118-124. Retrieved from <http://www.dbpia.co.kr/Journal/ArticleDetail/NODE00982364>.
12. NIER, "Establishment of GHGs & Air Pollutants Integrated Management System for transportation Sector(VI)", NIER, Korea, 2013. Retrieved from <http://ecolibrary.me.go.kr/nier/search/DetailView.ax?sid=15&cid=5577543>.
13. S. J. Kwon, J. P. Cha, D. M. Seo, W. Kang, Y. H. Seo, and S. W. Park, "Experimental measurement of energy consumption efficiency of Medium-Heavy duty vehicle and Impact of fuel consumption by each of driving modes", *Korean Society of Automotive Engineers*, Korea, 2013, pp. 828-831. Retrieved from <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02174828>.