

노후 운행경유차의 NO_x 배출특성분석 및 조기폐차대책을 통한 삭감 방안 검토

길지훈* · 임윤성* · 김형준* · 노현구** · 윤보섭* · 이상은* · 이태우*[†] · 김정수* · 최광호***

Evaluation of Accelerated Retirement Program for In-use Diesel Vehicles based on their NO_x Emission Characteristics

Jihoon Keel, Yunsung Lim, Hyungjun Kim, Hyungu Roh, Boseop Yun,
Sangeun Lee, Taewoo Lee, Jeongsoo Kim and Kwangho Choi

Key Words: In-Use Diesel Vehicles(운행경유차), Accelerated Retirement program(조기폐차제도), NO_x(질소산화물), Real Driving Emission(실도로 배출)

Abstract

Currently, the proportion of diesel vehicles in all automobile has grown significantly over the past few years. Air pollutant also grew up and became a social problem. In particular, the issue of NO_x emissions caused by NO_x high emission in real driving has become a global issue. Despite the fact that the regulatory and reduction project of the new vehicle is actively carried out, there are no existence regulations of In-use diesel vehicle's NO_x emission. Therefore, the emission characteristics of the in-use diesel vehicles were investigated to seek ways to reduce NO_x emissions in this study. The test targets were used in 237 close inspection of exhaust gases and model year varied from 1996 to 2011. However, the classification of emissions by emission standards differed considerably from NO_x emissions. This means that the selection method for early retirement targets should be converted from model year to amount of emissions. If the current early retirement program was applied to the existing system, pre-Euro 3 was 22.530 g/km and Euro 4 was 21.810 g/km to NO_x reduction. However, when the vehicle was changed to high emission target vehicle, NO_x reduction increase maximum 84.705 kg/yr. According to the study results, an effective reduction in NO_x emissions can be achieved if an earlier target in expanded to Euro 4 vehicles.

1. 서 론

경제협력개발기구(OECD)는 한국의 미래 조기사망자 증가의 주요원인 중 하나로 교통분야의 질소산화물

(Received: 18 Apr 2017, Received in revised form: 18 May 2017, Accepted: 15 Jun 2017)

*국립환경과학원 교통환경연구소

**인덕대학교 기계자동차과

***남서울대학교 교양과정부

[†]책임저자, 회원, 국립환경과학원 교통환경연구소

E-mail : taewoolee@korea.kr

TEL : (032)560-7606 FAX : (032)561-7013

(NO_x)을 예측하였다⁽¹⁾. 국내 NO_x 배출량은 2013년 기준으로 약 109만톤이 발생된 것으로 조사되었으며, 이중 도로 이동오염원이 약 33만톤으로 30.7%를 차지하고 있는 것으로 나타났다⁽²⁾. 특히 전체 자동차 대수의 약 40%를 차지하고 있는 경유자동차의 NO_x의 배출량에 대한 관리 정책이 중요하다⁽³⁾.

해외 경유자동차의 대기오염물질에 대한 관리는 제작자동차의 배출허용기준 강화, 노후자동차의 배출가스 저감대책 시행, I/M(Inspection and maintenance) program 운영, 조기폐차 등 다양한 저감대책을 시행하고 있다. 그 중 운행경유차에 대해서는 영국, 일본 독일등에

서 저감장치 부착, 경유버스의 엔진 개조, LEZ(Low Emission Zone)운영 등을 시행하고 있다⁽⁴⁾.

국내 경유자동차의 대기오염물질 관리는 제작자동차와 운행자동차의 두 단계로 구분하여 이루어진다. 제작자동차 즉, 신차에 대한 핵심관리 수단은 배출허용기준 만족여부 평가에 기초한 배출가스 인증이다. 우리나라의 소형 경유차 배출허용기준은 2000년대 초반까지 고유기준인 k96, k00을 적용하였고, 2002년 이후 단계적으로 강화된 기준인 Euro 3~6를 적용하였다⁽⁵⁾.

또한 RDE(Real Driving Emission) 규제가 2017년 9월부터 Euro 6 차량을 대상으로 시행될 예정이다. RDE는 실도로 주행시 배출되는 NOx 배출량을 직접 측정하여, 실험실 허용기준인 0.08 g/km의 2.1배인 0.168 g/km 이하로 배출되는 것을 확인한다. 실도로 측정을 통한 NOx 관리의 필요성은 2015년 발생한 소위 '디젤게이트'에서 소형경유차 NOx 과다배출이 확인된 이후 급격히 대두된 바 있다. 미국 EPA는 폭스바겐 그룹의 일부 경유차량에서 엔진 배출가스를 재순환시켜 NOx를 저감하는 EGR (Exhaust Gas Recirculation) 장치의 작동설정이 변경되어 실제 도로주행 시의 NOx 배출량이 실험실 내의 배출가스 인증시험결과보다 많이 배출된다는 것을 지적하였다⁽⁶⁾. 유럽 및 국내에서도 유사한 과다 배출현상을 확인하였으며^(7,8), 실도로 주행시 주행경로, Air Conditioner 가동 유무, 외부온도 등의 조건이 NOx 배출량 증가의 주요 요인으로 확인된 바 있다⁽⁹⁻¹¹⁾.

운행자동차 단계에서의 대기오염물질 관리는 정밀검사 및 저감사업을 통해 이루어지고 있다. 정밀검사는 차량등록 이후 일정 차령이 경과된 차량을 대상으로 교통안전공단 또는 지정 검사소에서 매년 배출농도를 검사하는 제도이다. 이는 경유차 매년 관리에는 효과적이나, NOx를 검사하지 않고 있기 때문에 최근의 NOx 과다배출 문제에 대응하기는 어려운 측면이 있었다. 이를 극복하기 위해 환경부는 향후 Euro 6 소형경유차를 대상으로 NOx 정밀검사를 시행하기 위해 법령정비 및 측정기 개발 등을 추진 중에 있다.

대표적인 운행경유차 배출가스 저감사업으로는 배출가스 저감장치 부착사업, 저공해 엔진개조, 조기폐차제도 등을 들 수 있다. 저감장치 부착사업은 DPF(Diesel Particulate Filter) 등 매연을 저감하는 저감장치를 운행 중인 차량에 부착하는 사업이다. NOx 저감을 위해서는 DPF 외에도 선택적 촉매저감장치(SCR, Selective Catalytic Reduction)등을 추가로 부착해야 하기 때문에, DPF와 SCR을 함께 부착하는 PM-NOx 동시저감장치 등도

부착이 확대되고 있다. 다만 이 동시저감장치는 대형차량용만 개발되어 있는 상황으로, 노후 소형경유차에 부착할 수 있는 장치는 아직 충분히 상용화 되어 있지 않다⁽¹²⁾.

엔진개조 사업은 노후 경유차의 엔진을 LPG엔진으로 개조하는 사업이다. 연료 전환에 의해 NOx 배출량은 저감되지만, LPG 가격의 상승 등의 원인으로 점차 개조물량이 줄고 있는 실정이다⁽¹³⁾.

조기폐차 제도는 노후 경유차를 폐차하여 오염물질을 저감시키는 제도로서, 대기관리권역(서울특별시, 인천광역시, 경기도 28개시)에 2년이상 등록된, 최종소유차 소유기간이 6개월 이상인 2005년식(Euro 3 이전) 경유자동차 등을 대상으로 한다. 조기폐차는 오염물질 배출이 많은 노후차를 퇴출시키고 그 대신 최신 배출허용기준에 대응하여 제작된 신차를 도입하는 것인 바, NOx를 포함한 여러 오염물질 배출량 삭감에 효과적인 것으로 알려져 있다⁽¹⁴⁻¹⁶⁾.

소형 운행경유차의 NOx 관리 체계를 대상 자동차에 적용된 배출허용기준별로 나누어 요약하자면, 비교적 노후정도가 심한 Euro 3 차량은 조기폐차를 통해, 그리고 최신식의 Euro 6 차량은 RDE 제도(제작차)와 정밀검사 NOx 검사(운행차)를 통해 관리되게 된다. 반면 Euro 4와 Euro 5 운행경유차는 뚜렷한 NOx 관리 대안이 마련되어 있지 않다. 하지만 소형 경유차의 NOx 배출량이 배출허용기준 강화에 따라 그다지 많이 개선되지 않고 있음이 지적되는 등, Euro 3 이전 및 이후 차량이 서로 거의 유사한 정도의 NOx를 배출하는 것으로 알려져 있다^(6,17). 이를 감안할 때, 현재 관리대책에서는 빠져있으나 노후화가 상대적으로 많이 진행된 Euro 4 경유소형차에 대한 NOx 배출량 관리가 요구되는 상황이라 할 수 있다.

이번 연구는 노후 운행경유차의 NOx 배출특성을 분석하고, 이 결과를 근거로 하여 조기폐차사업을 Euro 4 차량으로 확대 적용하였을 경우의 타당성에 대해 검토하는 것을 목표로 진행되었다. 대표성있는 결과를 얻기 위해 이전의 선행연구⁽⁵⁾ 대비 약 10배 많은 차량 실험결과를 확보하여 NOx 배출특성을 분석하였다.

2. 실험 내용 및 방법

2.1 실험 차량

실험차량은 1.5~2.9L의 배기량과 1996년식부터 2011

Table 1 Test vehicle specification and age

Emission Regulation	Vehicle Number	Displacement (L)	Vehicle Weight (ton)	Vehicle Age (Year)
k96	13	2.2~2.9	1.5~1.9	16~20
k00	52	1.9~2.9	1.4~2.9	10~16
Euro3	59	1.9~2.9	1.5~3.5	5~10
Euro4	113	1.6~2.9	1.1~2.7	8~12

년식의 범위를 갖는 소형 운행경유차이다. Table 1에 실험차량의 제원을 요약하였다. 총 237대 중 본 연구에서 측정된 차량은 210대이며, 이전 선행연구에서 측정된 27대의 결과를 포함하여 함께 분석하였다⁶⁾. Euro 4 차량과 Euro 3 이전 차량의 대수는 각각 113대와 124대로 서로 유사한 수준으로 설정하였다.

2.2 자동차 오염물질 배출량 측정

운행경유차 NOx 측정은 검사소의 정밀검사 매연검사과 함께 진행하였다. 검사는 KD-147 주행모드에서 실시하였다. 이는 평균차속이 53.0 km/h, 총 주행거리 2.16 km인 운행차 검사용 표준 모드로서, 비교적 짧은 주행거리임에도 국내 차량 주행 패턴을 비교적 잘 반영하고 있다고 알려져 있다⁶⁾. NOx 측정은 이동식 배출가스 측정장비(Ecostar, Sensors Inc.)를 이용하였다. 흔히 PEMS (Portable Emission Measurement System)로 불리는 이 장비는 인증시험용 표준 분석장비와 정량적으로 유사한 측정 결과를 보이는 것으로 알려져 있다⁹⁾. PEMS장비는 배기가스 분석기, 유량계, 배기가스 샘플링 장치, Zero/Span Gas, 전원 공급장치, 제어 및 데이터 분석장치 등으로 구성된다. 배출가스는 1Hz단위로 측정된다. PEMS 배출가스 의 농도를 질량으로 환산하기 위해 필요한 배출가스 부피유량은 피토티브식 유량계를 이용한다. 측정된 데이터는 OBD(On Board Diagnostic) 데이

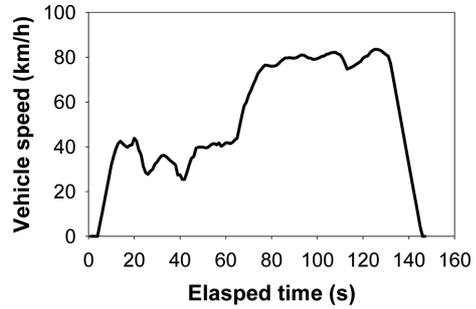


Fig. 1 In-use diesel vehicle emission test: mode KD-147

터와 동기화를 통해 생성된 g/s단위의 배출량으로 전환 및 저장된다. 이 데이터와 차속 데이터를 이용하여 g/km 단위의 데이터로 계산된다.

본 연구의 핵심 목적은 NOx 배출특성 분석인 바, 기타 오염물질은 측정하지 않았다. 운행차 검사항목인 매연은 검사결과를 취합하여 참고자료로 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 경유자동차의 NOx 및 CO2 배출특성

차량의 배출특성을 확인하기 위해 우선 연식별 NOx 배출량을 관찰하였다. 정밀검사 조건하에서 PEMS를 이

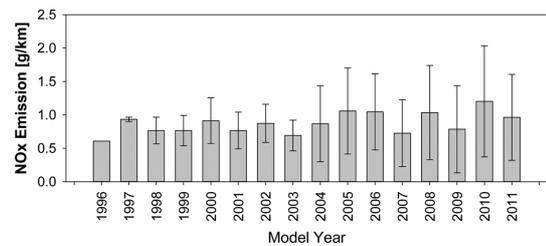


Fig. 2 Average emission rates of NOx that is categorized by model year

Table 2 PEMS analyzer specification

Pollutant	Measuring principal	Range
CO ₂	Non-dispersive infrared (NDIR)	0 ~ 20 Vol.%
CO	Non-dispersive infrared (NDIR)	0 ~ 8 Vol.%
THC	Flame ionization detection (FID)	0 ~ 40,000 ppmC
NOx	Non Dispersive Ultra Violet (NDUV)	0 ~ 2,500 ppm
Exhaust Flow	Pitot flow meter	0 ~ 22 m ³ /min

용하여 측정된 NOx의 배출량을 Fig. 2와 같이 연식별로 나타내었다. 연식별 구분 이유는 운행경유차의 저감사업이 연식별 구분에 의해 진행 되고 있기 때문에 현재의 분류체계에 따른 NOx의 배출특성을 살펴보기 위함이다.

대상 차량 전체의 평균 NOx 배출량은 0.907 g/km였다. 연식별로 구분한 NOx 배출량은 뚜렷한 증가 또는 감소의 경향없이, 평균값 근처에서 어느 정도 유사한 값을 보이고 있다. 다만 최근 연식일수록 NOx 배출량의 산포가 커지는 경향을 보인다. 이러한 경향은 Euro 3기준이 적용되기 시작한 2000년 이후 배출량의 산포가 커지고, 특히 Euro 4 기준이 적용되기 시작한 2005년 이후 그 산포가 커졌다. 이는 기준강화에 따라 NOx를 저감하기 위한 새로운 기술(EGR, LNT, SCR)등이 적용되었으나 운행경유차의 NOx는 규제항목이 아니기 때문에

일부 운행경유차의 NOx 저감 부품들이 유지 관리가 잘 이루어지지 않고 있기 때문으로 사료된다.

Fig. 3의(a)는 동일한 배출허용기준을 적용받아 생산된 차량 그룹의 NOx의 배출특성이다. 평균값 비교만으로는 Euro 3 차량그룹이 가장 높은 결과를 보이고 있으나, 편차 수준을 함께 감안 한다면 배출허용기준 강화에 따라 큰 변화를 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

Fig. 3의(b)에서는 CO₂ 배출량을 비교하였고, Euro 4 그룹에서 다소 감소하고 있음을 확인하였다. 다만 CO₂ 배출량은 차량 배기량의 영향을 많이 받기 때문에 이 결과를 배출허용기준 강화에 따른 효과로 보기는 어렵다. 이에 단위 CO₂ 배출량 당 NOx 배출량을 도시하여 배출허용기준 강화에 따른 NOx와 CO₂의 상대적인 수준을 비교하였으며, 그 결과 배출허용기준 강화에 따라 일관적으로 상승하는 결과를 확인할 수 있었다. CO₂ 배출량이 연료소비량을 대표하는 결과임을 감안할 때, 이는 배출허용기준 강화에 따른 NOx 배출량 개선보다는 연비 개선이 좀 더 두드러지게 나타나고 있음을 드러내는 결과이며, 자동차 제작사의 연구개발 노력이 자동차의 친환경성보다는 고효율·저연비에 좀 더 집중되고 있음을 간접적으로 알 수 있게 해 주는 결과라 할 수 있다.

NOx와 함께 측정된 정밀검사 매연측정 결과는 K96~Euro 4 각각에 대해 평균 7.3, 4.6, 3.8, 3.0%로 측정되어, 허용기준 강화에 따라 감소 경향을 보임을 확인하였다.

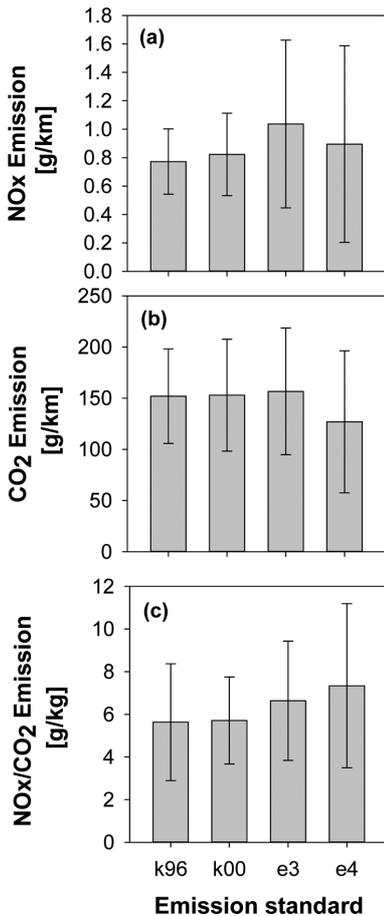


Fig. 3 Comparison of NOx, CO₂ and NOx/CO₂ emissions based on emission standards

3.2 Euro 3 이전 및 Euro 4 차량군의 NOx 배출량 분포 특성

앞에서 운행경유차의 NOx 배출특성이 배출허용기준 별로 뚜렷한 증감경향을 보이지 않고 있음을 확인하였다. 이와 같은 배출특성이 내포하는 의미를 운행차 NOx 저감대책 수립의 관점에서 해석해본다면, 저감대책 대상차량을 배출허용기준에 따라 구분하는 것이 NOx 감축 측면에서는 큰 의미를 갖지 않을 수도 있음을 의미한다고 할 수 있다. 조기폐차를 예로 든다면, 현재 Euro 3 차량에 국한되어 있는 대상차량을 Euro 4 차량까지 확대하는 것도 NOx 저감 측면에서는 충분한 효과를 얻을 수 있음을 의미한다.

Fig. 4에 Euro 3 이전 차량그룹과 Euro 4 차량 그룹의 NOx 배출량 분포를 누적분포도 형태로 표현하였다. X축은 NOx 배출량, Y축은 누적분포대수를 전체 대수로 무차원화한 결과이다. Euro 3 이전 차량과 Euro 4 차량의 NOx 배출량 분포는 전체적으로 유사한 경향을 보인다. 상위 24% (하위 76%) 지점에서 두 분포가 서로 교

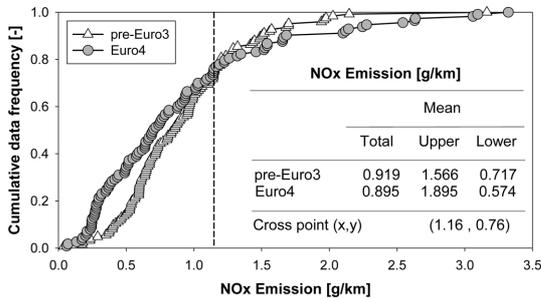


Fig. 4 Comparison of NOx Cumulative data frequency based on emission standard

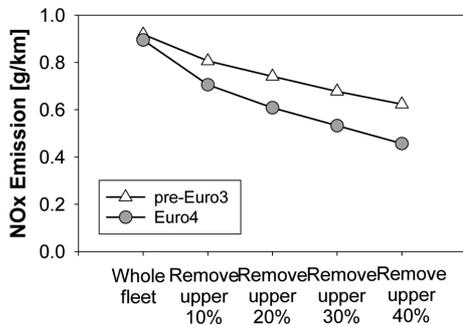


Fig. 5 Comparison of Reduction NOx emissions to remove from high emission vehicles (From left to right, remove upper 0% to 40%)

차하고 있는데, 이는 상위 24%에 포함된 차량들의 배출량은 Euro 4 차량그룹의 경우가 오히려 더 많음을 의미하는 결과이다. 실제로 누적분포 하위 76%의 Euro 3 이전 차량의 NOx 배출량은 0.717 g/km로 Euro 4 차량의 0.574 g/km보다 24.8% 많았으나, 상위 24%는 Euro 4 차량이 1.894 g/km로 1.566 g/km인 Euro 3 이전 차량보다 17.3% 많았다. 이 결과를 통해 Euro 4 차량 중 NOx 과다 배출차량을 퇴출시킬 경우 Euro 3 이전 차량 대비 동등 이상의 NOx 삭감효과를 얻을 수 있음을 예상할 수 있다.

Fig. 5는 Euro 3 이전 차량그룹과 Euro 4 차량그룹 각각에서 NOx를 많이 배출하는 차량부터 제거한 경우 나머지 차량의 평균 NOx 배출량이다. Euro 3 이전 차량그룹의 평균 배출량은 0.919 g/km이고 Euro 4 차량그룹의 평균 배출량은 0.895 g/km이다. Euro 3 이전 차량은 배출량 상위 차량을 제거함에 따라 차량그룹의 배출량이 0.806~0.623 g/km 범위에서 개선되었으며, Euro 4 차량그룹은 0.705~0.457 g/km의 배출량을 보여, 그 효과가 좀 더 크게 나타났다. NOx 배출량이 가장 많은 상위

10%의 차량을 퇴출하는 경우의 NOx 삭감량은 Euro 4 차량그룹이 0.189 g/km로 Euro 3 이전 차량그룹의 삭감량인 0.113 g/km 보다 67.3% 많은 결과를 보였다.

3.3 조기폐차를 통한 삭감 타당성 분석

앞장에서 배출량이 많은 차량을 퇴출시킴으로써 차량그룹의 NOx 배출수준을 개선시킬 수 있음을 확인하였고, 이 효과는 Euro 3 이전 차량그룹 및 Euro 4 차량그룹에서 모두 얻을 수 있음을 파악하였다. 이를 조기폐차 제도와 연계하여 고려해 보면, 대상차량을 연식별, 배출허용기준별로 선정하는 것 보다는 배출량에 근거하여 선정 하는 것이 더욱 효과적임을 의미한다고 할 수 있다. 현재까지는 운행경유차의 NOx 배출량을 측정할 수 있는 시설 인프라가 전무한 상황이었기 때문에 연식별 조기폐차 기준을 사용하는 것이 불가피 하였으나, 향후 운행차 정밀검사용 NOx 측정시스템이 확충되면 조기폐차 대상 선정시 배출량 정도를 확인할 수 있는 체계를 갖출 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구에서의 측정결과를 기초로 판단한다면, 조기폐차를 통해 얻을 수 있는 Euro 3 이전 차량그룹의 대당 NOx 삭감량은 다음 식 (1)을 이용하여 계산할 수 있다.

$$RE = (E_{veh} - E_{Euro6}) \times V \times 1000^{-1} \quad (1)$$

where,

- RE : Reducted Emission (kg/yr)
- E_{veh} : Vehicle Emission (g/km)
- E_{Euro6} : RDE Emission Standard in Euro6 vehicle (g/km)
- V : Vehicle average mileage (km/yr)

식 (1)을 이용하여 계산을 하면 (0.919-0.168) g/km × 30,000 km/yr × 1000⁻¹ kg/g = 22.530 kg/yr

여기서 0.919는 본 연구에서 확인한 Euro 3 이전 차량그룹의 평균 NOx 배출량이고, 0.168은 Euro 6 차량의 RDE 허용기준이다. 0.168을 빼준 이유는 조기폐차를 통해 노후 경유차를 폐차한 후 동급의 신차를 구매하는 상황을 감안하기 위함이다. 소형차의 연간 주행거리는 3만 km로 가정하였다.

같은 방법을 Euro 4 차량그룹까지 확대할 경우 배출 삭감량은 21.810 kg/yr으로 Euro 3 이전 대비 효과가 적다. 하지만 이는 과다배출량 순으로 계산된 값이 아니다. 배출수준을 감안하여 조기폐차 대상을 선별하는 경우에는 그 효과가 달라지게 된다.

Table 3은 위에서 이용된 계산방식을 배출량 구분에 따라 배출량이 많은 순서대로 순차적으로 Euro 4 차량

Table 3 Each emission BIN to Average NOx emission and NOx reduction of vehicle

Regulation	Average Emission		NOx Reduction (kg/yr)
	Category	NOx (g/km)	
Pre Euro3	Whole fleet	0.919	22.530
Euro4	Whole fleet	0.895	21.810
	3.0 g/km and higher NOx	2.991	84.705
	2.5~3.0 g/km NOx	2.435	68.003
	2.0~2.5 g/km NOx	2.009	55.219
	1.5~2.0 g/km NOx	1.429	37.843

그룹에 확대적용했을 때의 NOx 삭감량을 계산한 값이다. 제도 시행의 편의성을 감안하여 배출량 구분은 NOx 배출량 분포를 0.5 g/km 단위로 구분하여 그룹화하였다. 산출결과, 배출량을 근거로 조기폐차 대상을 선별하고, 배출량이 많은 순서대로 조기폐차시킨 경우, Euro 3 이전 차량그룹의 NOx 삭감량 22.530 g/km 대비 약 3.8~1.7배까지 많은 삭감량을 보이고 있다. 이는 Euro 4 차량그룹을 조기폐차 대상에서 획일적으로 제외하는 대신, NOx 배출량이 많은 차량부터 조기폐차 대상에 포함시킴으로서 높은 NOx 삭감효과를 거둘 수 있음을 의미하는 결과이다.

3.4 연구의 한계점 및 향후 계획

본 연구는 NOx 배출특성을 위주로 조기폐차 정책의 효과성을 분석하였다. 조기폐차 제도 수립을 위해서는 폐차보조금 산정 및 PM 배출량 등의 검토가 함께 필요하며, 이는 본 연구의 범위를 넘어서는 연구영역으로 판단되어 별도로 다루지 않았다⁽¹⁸⁾. 향후 경제, 사회학적인 연구와의 학제간 융화를 통해 좀 더 심도깊은 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구는 현재 조기폐차 대상에서 누락되어 있는 Euro 4 차량의 NOx 배출특성을 분석하고, 폐차 대상으로 편입시킬 경우 예상되는 NOx 삭감 수준 및 효율적인 제도 수립 방안에 대해 검토하였다.

(1) 소형 운행경유차의 NOx 배출량은 연식별 및 배출허용기준별로 큰 차이를 보이지 않고 비교적 유사한 배출량을 보였다.

(2) 현재 조기폐차 적용대상인 Euro 3 이전 차량그룹과 대상이 아닌 Euro 4 차량그룹의 NOx 배출량 분포 역시 서로 큰 차이를 보이지 않았으며, 누적 분포 상위 24%까지는 Euro 4 그룹의 평균 배출량이 오히려 Euro 3 이전 차량그룹의 평균배출량보다 높았다. 이는 Euro 4 차량 중 과다 배출차량을 퇴출시킨 경우에는 Euro3 이전 차량의 조기폐차 대비 동등 이상의 NOx 저감효과를 얻을 수 있음을 의미한다.

(3) 현행 조기폐차 제도하에서의 Euro 3 이전 차량그룹의 NOx 삭감량은 대당 22.530 kg/yr으로 예측되었다. 이를 Euro 4 차량그룹에 동일하게 확대 적용하였을 때 기대되는 대당 삭감량은 21.810 kg/yr 이었다. 그러나 조기폐차 대상을 과다 배출차량 순서대로 순차 적용한 경우에는 그 기대값이 최대 84.705 kg/yr 까지 증가하였다. 즉, NOx 저감을 위한 조기폐차제도의 대상 선정방식을 배출량 순서로 바꿔 Euro 4 차량그룹 중 과다 배출차량을 조기폐차 대상으로 포함한다면 좀 더 효과적인 NOx 삭감이 가능할 것으로 기대된다.

참고문헌

- (1) OECD (Organization for Economic Cooperation and Development) "OECD Statistic", 2017, <http://stats.oecd.org>
- (2) NIER (National Institute of Environmental Research) "National Air Pollutants Emission", NIER-GP2015-240, 2015.
- (3) MOLIT (Ministry of Land Infrastructure and Transport) "MOLIT Statistics System", 2017, <http://stats.molit.go.kr>.
- (4) W. Kim, "A study on the policy options considering life cycle management fo PM-NOx emissions of diesel vehicles in Seoul", Report of The Seoul Institute, Vol. 140, 2013, pp. 1-22.
- (5) T. Lee, H. Park, J. Park, S. Jeon, J. Kim and K. Choi, "Control measures for air pollutant emissions from In-use light-duty diesel vehicle regarding their emission control technologies", J. KOSAE, Vol. 30, No. 4, 2014, pp. 327-338.
- (6) A. Bandivadekar, J. German and P. Mock, "Policy solutions to reduce vehicle exhaust emissions under real-world driving conditions", Report prepared for ICCT

- (The International Council on Clean Transportation), 2015.
- (7) B. Degraeuwe and M. Weiss, "Does the New European Driving Cycle (NEDC) really fail to capture the NOx emissions of diesel cars in Europe?", *Environment Pollution*, Vol. 222, 2017, pp. 234-241.
- (8) T. Lee, J. Park, S. Kwon, J. Lee and J. Kim, "Variability in operation-based NOx emission factors with different test routes, and its effects on the real-driving emissions of light diesel vehicles", *Science of the Total Environment*, Vol. 461-462, 2013, pp. 377-385.
- (9) S. Kwon, Y. Park, J. Park, J. Kim, K. Choi and J. Cha, "Characteristics of on-road NOx emissions from Euro 6 light-duty diesel vehicles using a portable emissions measurement system", *Science of the Total Environment*, Vol. 576, 2017, pp. 70-77.
- (10) J. Park, J. Lee, S. Kim, J. Kim and K. Ahn, "A Study on the Emission Characteristics of Korean Light-duty Vehicles in Real-road Driving Conditions", *Transaction of KSAE*, Vol. 21, No. 6, 2013, pp. 123-134.
- (11) J. Keel, T. Lee, S. Lee, S. Jung, B. Yun, J. Kim and K. Choi, "Air Pollutant Emission Characteristics of a Light Duty Diesel Vehicle Affected by Road Infrastructure Improvement and Traffic flow Changes", *Journal of ILASS-KR*, Vol 21, No. 4, 2016, pp. 214-222.
- (12) H. Gao, and T. Stasko, "Cost-minimizing retrofit/replacement strategies for diesel emissions reduction", *Transportation Research Part D*, Vol. 14, 2009, pp. 111-119.
- (13) Seoul Metropolitan Government, "Report on the progress of emission reduction project", Seoul Metropolitan Government Document-23684, D0000028416197, 2016.
- (14) J. Dill, "Estimating emissions reductions from accelerated vehicle retirement program", *Transportation Research Part D*, Vol. 9, 2004, pp. 87-106.
- (15) B. Canis, J. Grimmett, M. Platzer and B. Yacobucci, "Accelerated vehicle retirement programs in Japan and South Korea : background for congress", CRS(Congressional Research Service), October 26, 2010.
- (16) W. Antweiler and S. Gulati, "Scrapping for clean air: Emissions savings from the BC SCRAP-IT program", *Journal of Environmental Economics and management*, Vol. 71, 2015, pp. 198-214.
- (17) D. Carslaw, S. Beevers, J. Tate, E. Westmoreland and M. Williams, "Recent evidence concerning higher NOx emissions from passenger cars and light duty vehicles", *Atmospheric Environment*, Vol. 45, 2011, pp. 7053-7063.
- (18) J. Kim and K. Kang, "Evaluation and Improvement of a Subsidy policy on early scrapping of old diesel vehicles", *Korea Environment Institute*, Vol. 14, No. 2, 2015, pp. 73-99.