

# 배출가스 4등급 경유차를 대상으로 한 중장기 미세먼지 저감조치의 비용편익 분석

한진석

한국환경연구원 대기환경연구실

## Cost-Benefit Analysis on Long-Term Particulate Matter Reduction Plan for On-Road Diesel Vehicles of Emission Level 4

Jin-Seok Hahn

Division of Atmospheric Environment, Korea Environment Institute

**요약** 본 연구에서는 2024년 이후 저감사업 추진의 타당성 검토를 위하여 자동차 배출가스 4등급 경유차를 대상으로 조기폐차 및 저공해조치에 대한 비용편익 분석을 수행하였다. 이를 위하여 현행 배출가스 저감사업인 DPF, 조기폐차, PM·NOX 저감장치에 대한 차종별 비용편익 분석을 수행하였다. 비용편익 분석 결과 차량 총중량 3.5톤 미만의 경우 대부분의 차종에서 경제성을 확보하였으며, 경제성은 조기폐차, DPF 순으로 높게 나타났다. 또한 차량 총중량 3.5톤 이상의 경우 조기폐차 중 특수차를 제외한 모든 차종에서 경제성을 확보하였으며, 사업별 경제성 순위는 차종별로 상이하게 나타났다. 해당 결과를 토대로 차량 총중량 3.5톤 미만의 경우는 친환경차 모델이 존재하는 승용차는 조기폐차 위주로 사업을 추진하되, 아직 친환경차 모델이 적은 RV, 소형 화물차는 저감장치 부착 사업의 병행을 검토해 볼 필요가 있다. 또한 차량 총중량 3.5톤 이상의 경우 2022년~2024년에 친환경차 모델 출시가 예상되나, 단기간 내 친환경차 시장이 형성되기는 어려울 것으로 판단되기 때문에 조기폐차 보다는 저감장치 부착(DPF, PMNOX 저감장치) 위주로 사업을 추진해야 할 필요가 있다.

**Abstract** This study aims to review the feasibility of particulate matter reduction plans starting 2024, such as the early-scraping and retrofitting programs for diesel vehicles of emission level 4. The result of the cost-benefit analysis suggests that a cost-benefit ratio was ensured in most vehicle types with a gross weight of lesser than 3.5 tons. The cost-benefit ratio was found to be the highest for early scrapping, followed by installing a diesel particulate filter (DPF). Furthermore, the cost-benefit ratio was ensured for all vehicle types with a gross weight of 3.5 tons or higher, except for the case of early scrapping of special vehicles. It was also found that the ratio for each project differed according to the vehicle type. The analysis results indicated that for vehicles with a gross weight of lesser than 3.5 tons, the project should be implemented with a focus on early scrapping of passenger car models, which have eco-friendly alternatives available. However, for RVs and small trucks with fewer eco-friendly models, the project must consider conducting a retrofitting program at the same time. Finally, for vehicles with a gross weight of more than 3.5 tons, the project should promote the installation of emission reduction devices (such as DPF, PM, and NOX Reduction System) rather than early scrapping, which has eco-friendly alternatives unavailable.

**Keywords** : Retrofit Program, Cost-Benefit Analysis, Emission Level, Gross Weight, Particulate Matter

본 논문은 한국환경연구원의 2021년도 자율연구사업 「운행차 미세먼지 저감을 위한 중장기 정책 방향 연구」의 지원으로 수행되었음.

\*Corresponding Author : Jin-Seok Hahn(Korea Environment Institute)

email: jshahn@kei.re.kr

Received July 27, 2021

Revised September 8, 2021

Accepted November 5, 2021

Published November 30, 2021

## 1. 서론

국내 운행차 배출가스 관리 정책은 「대기환경보전법」에 따른 운행차 배출허용기준, 「대기관리권역의 대기환경개선에 관한 특별법(이하 대기관리권역법)」 등에 따른 특정경유차 배출허용기준, 운행차 배출가스 저감사업 등이 있다. 특히 경유차는 미세먼지 배출 비중이 높아[1] 수시점검 및 정기검사 배출허용기준, 정밀검사 배출허용기준, 특정경유자동차 배출허용기준으로 세분화하여 관리 중이다. 이에 대기관리권역 내 운행 경유차는 정밀검사 또는 특정경유자동차 배출허용기준을 만족해야 한다.

운행차 배출가스 저감사업은 2020년 4월부터 「대기관리권역법」이 시행됨에 따라 폐지된 「수도권 대기환경개선에 관한 특별법(이하 수도권대기법)」을 근거로 2004년부터 수도권을 대상으로 추진됐으며, 현재는 전국 17개 시도에서 사업을 추진하고 있다. 특히 최근에는 수도권 LEZ, 서울시 한양도성 녹색교통지역, 고농도 미세먼지 비상저감조치 등의 차량 운행제한 제도와 연계되어 운행제한 단속에 따른 조기폐차 및 저공해조치 물량이 증가하는 추세이다.

2020년 기준 자동차 등록대수는 24,365,979대이며, 이 중 신규 등록대수는 약 8% 수준인 1,922,370대이다 [2]. 최근 2050년 탄소중립을 위한 수송부문 방안으로 친환경차 대중화, 저탄소 운송 연료 사용 확대, 해운·항공·철도 선진화 등이 검토되고 있으며, 온실가스 감축 비중은 친환경차 대중화가 대부분을 차지한다[3]. 친환경차 전환은 수송부문의 온실가스뿐 아니라 미세먼지 문제도 해결 가능한 방안이나, 제작차에 국한된다는 점에서 단기간 내 달성하기에는 한계가 있다.

이러한 측면에서 수송부문 미세먼지 저감을 위해서는 운행차 관리가 중요하다. 국내 운행차 배출허용기준은 국외 기준 대비 높은 수준이며[4], 대기관리권역은 정밀검사 및 특정경유자동차 배출허용기준으로 강하게 관리하고 있다는 점에서 기준 자체의 강화는 쉽지 않다. 반면 운행차 배출가스 저감사업은 운행 경유차를 대상으로 배출허용기준에 맞지 않는 차량을 해당 기준에 적합하게 유지되도록 관리한다는 점에서 수송부문 미세먼지 저감에 이바지하는 바가 크다고 할 수 있다.

현행 저감사업의 주요 대상은 자동차 배출가스 5등급 차량이며, 해당 차량의 조기폐차 및 저공해조치는 2024년까지 완료될 예정이다[5]. 그러나 제작차 중심의 친환경차 전환으로는 단기간 내 수송부문의 미세먼지 저감에 한계가 있다는 점에서 저감사업의 추진은 중장기적 관점

에서 검토되어야 할 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 2024년 이후 저감사업 추진의 타당성 검토를 위하여 자동차 배출가스 4등급 경유차를 대상으로 조기폐차 및 저공해조치에 따른 비용편익 분석을 수행하며, 해당 결과를 토대로 중장기 저감사업 추진을 위한 정책적 시사점을 제시하고자 한다.

## 2. 선행연구

운행차 배출가스 저감사업 관련 국내 선행연구는 다음과 같다. Choi et al.[6]은 비용편익 분석을 토대로 환경지역의 운영전략을 평가하였으며, 평가 결과 노후 경유차의 DPF 부착, 조기폐차 사업이 효율적인 것으로 제시하였다. Kim et al.[7]은 노후 경유차의 조기폐차 사업에 대한 비용-편익 분석을 수행하였으며, Kim et al.[8]은 도로변 측정망 자료를 이용하여 저감사업의 효과를 검토하였으며, 저감사업에 대한 비용-편익 분석은 수행하지 않았다.

Kim and Choi[9]는 비용편익 분석을 수행하여 경기도 운행차 배출가스 저감사업의 효과를 검토하였으며, Park and Hong[10]은 실물옵션 모형을 추정하여 수도권 운행차 배출가스 저감사업의 효과를 분석하였다. Won[11]은 자동차 배출가스 저감에 따른 경제적 가치를 자동차 연료의 속성에 대한 지불의사액으로 추정하였으며, Kim and Kang[12]은 비용편익 분석을 토대로 노후 경유차의 조기폐차 보조금 지원 제도의 성과를 검토하였다.

Lee et al.[13]은 교통수요모형과 대기준의사결정기법을 이용하여 자동차 배출저감 정책을 평가하였으며, 평가 결과 노후 경유차 조기폐차 정책이 가장 효과적인 것으로 제시하였다. Keel et al.[14]은 Euro 4 기준 경유차의 NOX 배출 특성을 분석하고, 해당 차량을 조기폐차할 경우 예상되는 NOX 저감 수준을 검토하였다.

국외 선행연구의 경우 Wang[15]은 자동차에서 배출되는 대기오염물질 저감 시 효과를 비용화하였으며, Stevens et al.[16]은 멕시코 시티를 대상으로 노후 경유차의 미세먼지 저감 장치 부착에 대한 비용편익 분석을 수행하였다. Schrooten et al.[17]은 벨기에 플랜더스에 등록된 자동차를 대상으로 2010년까지 미세먼지 배출량을 추정한 후 미세먼지 저감 장치 부착에 따른 효과를 비용편익 분석을 통하여 검토하였다.

Gao and Stasko[18]는 경유차 배출가스 저감사업에

대한 비용 최소화 방안을 제시하였으며, Millstein and Harley[19]는 중대형 경유차의 배출가스 저감사업 효과를 농도기준으로 검토하였다. Chae[20]는 서울시 자동차 오염물질 저감 정책을 대상으로 공편익 분석을 수행하여 대기오염물질과 온실가스 저감에 따른 공편익을 검토하였다. Kholod and Evans[21]는 러시아를 대상으로 경유차의 연료를 천연가스로 전환할 때 배출량 기준으로 블랙카본의 감소 효과를 평가하였으며, Kozina et al.[22]은 배출허용기준 강화에 따라 경유차에 적용이 가능한 배출가스 저감 기술을 제시하였다.

선행연구 검토 결과 자동차 배출가스 저감의 효과를 비용편익으로 판단하는 사례가 많은 것으로 검토되었으며, 분석 지표는 편익/비용 비율(B/C: Benefit Cost Ratio)과 순현재가치(NPV: Net Present Value)가 주로 사용되었다. 이에 본 연구에서 저감사업 추진의 타당성 검토를 위한 비용편익 분석은 무리가 없는 것으로 판단된다. 또한 본 연구는 비용편익 분석 시 향후 저감사업 대상이 될 수 있는 차량을 대상으로 한다는 점에서 선행 연구와 차별성을 가지며, 비용편익 분석을 위한 편익 및 비용항목 추정 등으로 학술적 기여도가 있는 것으로 판단된다.

### 3. 운행차 배출가스 저감사업

배출가스 저감사업은 「대기환경보전법」, 「대기관리권역법」에 따라 특정경유차를 해당 차량의 배출허용기준에 맞게 유지되도록 배출가스 저감장치를 부착하거나 저공해엔진으로 개조 또는 교체, 또는 조기폐차를 추진하는 사업이다. 2004년부터 수도권에서 추진되었으며, 수도권을 제외한 5대 광역시는 2006년부터, 나머지 지역은 2017년부터 추진되고 있다. 초기 저감사업은 저감장치(DPF, p-DPF, DOC) 부착 및 저공해엔진(LPG) 개조, 조기폐차 사업으로 추진되었으며, 최근에는 조기폐차 비중이 높아지고 사업 대상이 건설기계까지 확대되었다 [23]. 2004년부터 저감사업에 소요된 정부 보조금과 저감사업 물량은 Table 1과 같으며, 지역별 저감사업 유형별 시행시기와 사업 물량은 각각 Table 2와 Table 3과 같다. Table 3은 2004년부터 추진된 저감사업 물량의 누적치이다.

Table 1. Summary of Retrofit Program

Year	Government Spending (One million won)	Number of Vehicles
2004	9,291	3,068
2005	94,767	47,803
2006	186,416	127,611
2007	226,852	152,366
2008	178,955	113,396
2009	128,231	90,273
2010	132,545	87,505
2011	123,881	82,250
2012	96,085	73,270
2013	81,214	67,927
2014	64,199	54,675
2015	69,282	60,470
2016	67,032	58,040
2017	61,168	42,664
2018	172,284	138,361
2019	697,113	519,137
2020	609,804	408,191
Total	2,999,120	2,127,007

Table 2. Type of Retrofit Program

Type	Metropolitan Area	Non-Metropolitan Area
Particle Filter	since 2004	since 2006
	p-DPF(2006~2020), DOC(2004~2010)	
Engine Modification	since 2004	since 2006
Early Scrapping	since 2005	since 2009
DPF+SCR	since 2015	since 2017

Table 3. Number of Vehicles in Type of Retrofit Program

Type	Nationwide	Metropolitan Area	Non-Metropolitan Area
Particle Filter	696,924	639,565	57,359
Engine Modification	228,478	215,451	13,027
Early Scrapping	1,137,617	846,300	291,317
DPF+SCR	8,770	5,298	3,472
Total	2,071,789	1,706,614	365,175

## 4. 비용편익 분석

### 4.1 분석 지표

앞서 언급한 바와 같이 2024년 이후 자동차 배출가스 4등급 경유차의 저감사업 추진 타당성을 검토하기 위하여 비용편익 분석을 수행하였다. 비용편익 분석의 지표는 대체로 B/C가 주로 활용되며, 해당 지표는 장애에 발생될 비용과 편익을 현재가치로 환산하여 편익의 현재가치를 비용의 현재가치로 나눈 값이다. 일반적으로 B/C≥1 이면 경제성이 있다고 판단한다. 본 연구에서도 B/C를 이용하여 경제성을 판단하며, B/C를 구하는 수식은 Eq. (1)과 같다.

$$B/C = \frac{\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (1)$$

Where,  $B_t$  denotes benefit at  $t$  point,  $C_t$  denotes Cost at  $t$  point,  $r$  denotes discount rate,  $n$  denotes analysis period

B/C를 산정하기 위해서는 배출가스 저감에 따른 편익과 비용, 할인율 등의 기초자료가 필요하다. 본 연구에서는 편익의 경우 국가미세먼지정보센터에서 제시하는 2017년 기준 대기오염물질 배출량을 이용하여 추정하였으며, 비용은 2021년 기준 운행차 배출가스 저감사업 보조금업무처리지침에 제시된 사업별 지원금액을 이용하였다. 분석의 기준년도는 2020년으로 설정하였으며, 이에 따라 할인율은 한국은행에서 제시하는 2020년 기준 3년 국고채 금리인 0.988%를 적용하였다. 또한 비용편익은 저감사업별 차종별로 검토하였으며, 이에 따라 저감사업은 2021년에 추진 중인 사업 유형을, 차종은 2017년 기준 대기오염물질 배출량에서 제시하는 차종을 적용하였다. 2021년 기준 차량 총증량에 따른 저감사업 유형은 Table 4와 같으며, LPG 엔진개조 사업은 물량이 미비하여 제외하였다. 차량 총증량에 따른 차종은 Table 5와 같다.

Table 4. Type of Retrofit Program in 2021

Type	Gross Vehicle Weight	
	< 3.5ton	≥ 3.5ton
DPF	○	○
Early Scrapping	○	○
DPF+SCR	×	○

Table 5. Classification of Diesel Vehicles

Gross Vehicle Weight	Classification
< 3.5ton	Passenger Car
	RV
	Small Van
	Small Truck
≥ 3.5ton	Medium Van
	Large Van
	BUS
	Medium Truck
	Large Truck
	Special Car

### 4.2 편익 산정

편익 항목은 배출가스 4등급 차량의 저감사업 시행 후 해당 차량의 오염물질 배출에 따른 사회적 비용 절감 효과와 저감장치 잔존가치를 고려하였다. 사회적 비용 절감 효과를 추정하기 위하여 우선 대상 차량 중 일부는 제2종 배출가스저감장치(p-DPF)가 이미 부착되어 있으나, 차량 보유기간이 최대 15년 수준의 노후 차량이고 저감장치에 대한 별도의 클리닝 체계도 마련되어 있지 않기 때문에 저감장치의 저감효율은 유지되지 않는 것으로 가정하였다.

또한 저감사업이 추진되면 배출가스 4등급 차량 중에서도 가장 노후화된 차량을 우선 사업 대상으로 고려할 것으로 예상하여 본 연구에서는 배출가스 4등급 차량 중 가장 노후된 차량의 대당 배출량을 사회적 비용 절감 효과 추정에 활용하였다. 그러나 조기폐차의 경우 폐차 후 신차 또는 중고차를 구매하는 행태가 반영되어야 하므로, 해당 사업의 효과 분석을 위한 대당 배출량은 2017년 기준 대기오염물질 배출량 자료에서 고려하는 가장 최신 차량인 2017년 차량의 대당 배출량에서 배출가스 4등급 차량 중 가장 노후화된 차량의 대당 배출량을 뺀 값을 고려하였다. 또한 버스는 「여객자동차 운수사업법」에 따라 차령이 정해져 있으므로 조기폐차 대상에서 제외하였다.

마지막으로 앞서 언급한 바와 같이 배출가스 5등급 차량의 저공해조치가 2024년까지 완료될 예정이므로[5], 본 연구에서는 배출가스 4등급 차량의 저감사업은 2025년에 시행될 것으로 가정하였다. 이에 본 연구에서 활용한 배출량 자료의 차종별 대당 배출량에 열화계수를 반영하여 2025년까지 차량의 운행시간 및 주행거리 증가에 따른 대기오염물질의 추가 배출을 고려하였다. 열화계수를 반영한 차종별 대당 배출량 추정 결과는 Table 6과

같으며, 팔호가 없는 수치는 저감사업 대상 차량의 해당 배출량을, 팔호가 있는 수치는 조기폐차 대상 차량의 해당 배출량 추정 결과이다.

Table 6. Emission estimation of per vehicle by class, kg/year

Classification	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC
Passenger Car	0.643 (0.610)	40.513 (25.676)	1.344 (-0.059)	0.386 (0.182)
RV	1.070 (1.042)	40.406 (27.682)	5.493 (4.290)	0.508 (0.333)
Small Van	0.811 (0.657)	21.294 (11.303)	1.752 (1.513)	0.253 (0.109)
Small Truck	1.285 (1.010)	40.49 3(19.512)	2.953 (2.495)	0.389 (0.139)
Medium Van	1.113 (1.092)	87.130 (82.814)	14.540 (1.799)	2.946 (2.690)
Large Van	1.871 (1.770)	151.786 (147.507)	33.535 (19.461)	5.447 (4.919)
Bus	7.560	751.653	181.689	26.170
Medium Truck	1.748 (1.722)	106.440 (100.857)	23.940 (7.840)	4.734 (4.403)
Large Truck	14.271 (14.044)	429.677 (419.707)	109.413 (70.186)	29.694 (28.697)
Special Car	2.651 (2.627)	90.784 (86.969)	36.233 (23.761)	7.157 (6.931)

저감장치에 대한 오염물질별 저감효율은 Table 7과 같으며, 오염물질 배출에 따른 사회적 비용 절감 효과 추정 결과는 Table 9~Table 11과 같다. 해당 효과는 앞서 추정된 차종별 해당 배출량에 저감장치 저감효율을 적용하여 해당 배출 저감량을 산정한 후 오염물질별 단위당 피해비용을 곱하여 추정하였다. 해당 피해비용은 선행연구[24]에서 제시한 비용에 소비자물가지수를 반영하여 2020년 기준으로 계상하여 활용하였으며, 계상한 결과는 Table 8과 같다.

Table 7. Removal Efficiency by Retrofit, %

Type	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC
DPF	85	-	90	88
Early Scrapping	100	100	100	100
DPF+SCR	85	80	90	88

Table 8. Result of Social Cost of Air Pollutants considering Consumer Price Index, won/kg

Base Year	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC
2015 [24]	451.284	45.972	27.720	2.825
2020	475.744	48.463	29.221	2.978

Table 9. Result of Benefit for Reduction of Polluting Emissions by Retrofit Program(DPF), won/year

Classification	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC
Passenger Car	259,878	-	35,351	1,012
RV	432,745	-	144,472	1,331
Small Van	327,828	-	46,071	663
Small Truck	519,750	-	77,652	1,018
Medium Van	450,260	-	382,378	7,720
Large Van	756,477	-	881,947	14,275
Bus	3,056,982	-	4,778,271	68,585
Medium Truck	707,024	-	629,610	12,405
Large Truck	5,770,845	-	2,877,489	77,820
Special Car	1,072,132	-	952,909	18,755

Table 10. Result of Benefit for Reduction of Polluting Emissions by Retrofit Program(Early Scrapping), won/year

Classification	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC
Passenger Car	290,218	1,244,325	-1,718	542
RV	495,741	1,341,567	125,351	991
Small Van	312,475	547,751	44,200	324
Small Truck	480,561	945,595	72,909	415
Medium Van	519,277	4,013,390	52,569	8,011
Large Van	841,929	7,148,573	568,669	14,649
Medium Truck	819,181	4,887,807	229,089	13,112
Large Truck	6,681,419	20,340,119	2,050,936	85,462
Special Car	1,249,947	4,214,727	694,333	20,642

Table 11. Result of Benefit for Reduction of Polluting Emissions by Retrofit Program(DPF+SCR), won/year

Classification	PM <sub>2.5</sub>	NO <sub>x</sub>	CO	VOC
Medium Van	450,260	3,378,020	382,378	7,720
Large Van	756,477	5,884,742	881,947	14,275
Bus	3,056,982	29,141,674	4,778,271	68,585
Medium Truck	707,024	4,126,695	629,610	12,405
Large Truck	5,770,845	16,658,617	2,877,489	77,820
Special Car	1,072,132	3,519,709	952,909	18,755

### 4.3 비용 산정

저감사업에 대한 비용은 2021년 기준 사업별 보조금 수준(장치가격, 유지관리비, 성능검사 수수료)과[23] 동일한 것으로 가정하였으며, 조기폐차 지원 금액은 2020년 기준 차종별 평균 지원 금액을 고려하였다. 차종별 저감사업 비용은 Table 12와 같다.

Table 12. Result of Cost for Reduction of Polluting Emissions by Retrofit Program, thousand won

Classification	Present Value		
	Benefit	Cost	B/C
Passenger Car	2,956	1,623	-
RV	2,956	2,044	-
Small Van	2,956	2,002	-
Small Truck	3,026	1,397	-
Medium Van	4,809	9,510	15,704
Large Van	6,358	22,614	15,704
Bus	6,358	-	15,704
Medium Truck	4,809	6,303	15,704
Large Truck	6,358	11,517	15,704
Special Car	6,358	22,422	15,704

#### 4.4 분석 결과

저감사업의 경제적 타당성은 B/C를 기준으로 판단하였으며, 저감장치 부착(DPF, DPF+SCR)으로 인한 오염물질 절감편익은 5년 동안 지속되는 것으로, 조기폐차로 인한 오염물질 절감편익은 3년 동안 지속되는 것으로 가정하였다. 분석 기준연도는 2020년이며, 편익과 비용 모두 할인율을 적용하여 2020년 시점으로 할인하였다. 또한 분석 시 세금 등의 이전지출 비용은 순수한 경제적 비용으로 고려하지 않기 때문에 본 연구에서도 비용은 부가가치세를 제외한 금액으로 적용하였다.

비용편익 분석 결과는 Table 13~Table 15와 같다. 차량 총중량 3.5톤 미만의 경우 대부분의 차종에서 경제적 타당성을 확보하는 것으로 나타났다. 경제성은 조기폐차, DPF 순으로 높게 나타났으며, 승용차와 소형 승합차는 DPF에서 경제성을 확보하지 못하였다.

Table 13. Result of Economic Analysis(DPF), thousand won

Classification	Present Value		
	Benefit	Cost	B/C
Passenger Car	1,453	2,418	0.60
RV	2,837	2,418	1.17
Small Van	1,837	2,418	0.76
Small Truck	2,934	2,418	1.18
Medium Van	4,120	3,656	1.13
Large Van	8,103	4,721	1.72
Bus	38,753	4,721	8.21
Medium Truck	6,614	3,656	1.81
Large Truck	42,785	4,721	9.06
Special Car	10,021	4,721	2.12

Table 14. Result of Economic Analysis(Early Scrapping), thousand won

Classification	Present Value		B/C
	Benefit	Cost	
Passenger Car	4,555	1,475	3.09
RV	5,834	1,858	3.14
Small Van	2,688	1,820	1.48
Small Truck	4,455	1,270	3.51
Medium Van	13,645	8,646	1.58
Large Van	25,471	20,558	1.24
Medium Truck	17,674	5,730	3.08
Large Truck	86,621	10,470	8.27
Special Car	18,358	20,383	0.90

Table 15. Result of Economic Analysis(DPF+SCR), thousand won

Classification	Present Value		B/C
	Benefit	Cost	
Medium Van	20,683	13,370	1.55
Large Van	36,957	13,370	2.76
Bus	181,639	13,370	13.59
Medium Truck	26,848	13,370	2.01
Large Truck	124,465	13,370	9.31
Special Car	27,279	13,370	2.04

차량 총중량 3.5톤 이상의 경우는 조기폐차 중 특수차를 제외한 모든 차종에서 경제적 타당성을 확보하는 것으로 나타났다. 특히 중형 승합차는 조기폐차, PM·NOX 저감장치, DPF 순으로, 대형 승합차 및 화물차는 PM·NOX 저감장치, DPF, 조기폐차 순으로, 버스는 PM·NOX 저감장치, DPF 순으로, 특수차는 DPF, PM·NOX 저감장치 순으로 경제성이 높게 나타나 차종별 오염물질 배출 특성에 따른 저감사업 추진이 필요한 것으로 판단된다.

## 5. 결론 및 시사점

국내 미세먼지 농도는 배출량 감소 추세에도 불구하고 정체되거나 오히려 증가하는 경향을 보이며, 인체 위해성이 큰 초미세먼지의 경우 아직 연평균 대기환경기준보다 높아 지속적인 배출량 저감 정책이 필요하다. 수송부문 배출가스는 제작차 및 운행차 배출허용기준을 토대로 관리되고 있으며, 운행차 배출가스 저감사업은 배출가스 보

증기간이 지난 차량에 대해서 운행차 배출허용기준에 적합하게 유지되도록 관리하는 사업이기 때문에 친환경차 시장이 안정적으로 형성되는 시점까지는 사업 지속에 대한 검토가 필요하다.

본 연구에서는 중장기 운행차 미세먼지 저감 방안으로 자동차 배출가스 4등급 차량에 대한 배출가스 저감사업의 추진 타당성을 검토하였다. 이를 위하여 현행 배출가스 저감사업인 DPF, 조기폐차, PM·NOX 저감장치에 대한 차종별 비용편익 분석을 수행하였다. 비용편익 분석 결과 차량 총중량 3.5톤 미만의 경우 대부분의 차종에서 경제성을 확보하였으며, 경제성은 조기폐차, DPF 순으로 높게 나타났다. 또한 차량 총중량 3.5톤 이상의 경우 조기폐차 중 특수차를 제외한 모든 차종에서 경제성을 확보하였으며, 사업별 경제성 순위는 차종별로 상이하게 나타났다.

해당 결과를 토대로 차량 총중량 3.5톤 미만의 경우는 친환경차 모델이 존재하는 승용차는 조기폐차 위주로 사업을 추진하되, 아직 친환경차 모델이 적은 RV, 소형 화물차는 저감장치 부착 사업의 병행을 검토해 볼 필요가 있다. 또한 차량 총중량 3.5톤 이상의 경우 2022년~2024년에 친환경차 모델 출시가 예상되나, 단기간 내 친환경차 시장이 형성되기는 어려울 것으로 판단된다. 또한 친환경차가 출시되더라도 차량가격 등의 진입장벽이 높을 것으로 예상되기 때문에 해당 차종은 신차 전환보다는 운행차 관리에 초점을 맞출 필요가 있으며, 저감사업 중에서는 저감장치 부착 위주로 관리해야 할 필요가 있다.

본 연구에서 검토한 저감사업은 현재 시점의 사업을 토대로 검토한 것이기 때문에 장래 저감사업을 모사하기에는 한계가 있다. 이러한 한계를 개선하기 위해서는 신규 저감기술의 동향을 파악하고, 적용 가능한 기술에 대해서는 지속적인 사업 타당성을 검토해야 할 필요가 있다. 또한 본 연구에서는 배출가스 4등급 차량 중 경유차만을 고려하였으나, 배출가스 4등급 차량 중 약 20%를 차지하는 휘발유 및 가스차에 대한 저감사업 발굴과 사업의 타당성도 검토가 필요한 것으로 판단된다.

## References

- [1] National Particulate Matter Information Center, "2018 National Air Pollutants Emission", 2021.
- [2] Ministry of Land, Infrastructure, and Transport, "2020 Automotive Registration Data Statistics", 2021.
- [3] The Government of the Republic of Korea, "Korea 2050 Carbon Neutral Strategy", 2020.
- [4] J. S. Hahn, S. M. Lee, Y. M. Chung, M. C. Park, S. H. Kim, Research on the Reduction of PM and GHG from Ground Freight Transportation, Korea Environment Institute, Korea.
- [5] Ministries, "Korean New Deal Comprehensive Plan", 2020.
- [6] K. C. Choi, K. J. Lee, S. C. Ahn, K. W. Shin, "An Evaluation and Management Strategy of Environmental Zone for Improving Air Quality in the Seoul Metropolitan Area", *KSCE Journal of Civil Engineering D*, Vol.29, No.7D, pp.693-702, 2009.
- [7] W. S. Kim, J. H. Jang, J. Y. Jeong, "A Study on Implementing Accelerated Retirement of Excessive Polluting Old-Vehicles in Seoul", *Seoul Studies*, Vol.1, No.1, pp.19-36, 2000.  
<http://www.dbpia.co.kr/journal/articleDetail?nodeId=NODE02004678>
- [8] C. H. Kim, H. Y. Jo, S. W. Lee, C. S. Oh, "Evaluation of Emission Reduction Program for In-use Diesel Vehicles Using PM<sub>10</sub> Concentrations of Road-side and Background Monitoring Network", *Journal of the Environmental Sciences*, Vol.20, No.12, pp.1585-1598, 2011.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5322/JES.2011.20.12.1585>
- [9] D. Y. Kim, M. A. Choi, "Evaluation and Improvement of Diesel Retrofit Program in Gyeonggi-do", *Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol.28, No.2, pp.203-210, 2012.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.5572/KOSAE.2012.28.2.203>
- [10] H. J. Park, J. H. Hong, "The Effect of Pollution Reduction Program for Used Diesel Vehicles in Seoul Metropolitan Area: A Real Option Analysis", *Environmental and Resource Economic Review*, Vol.23, No.3, pp.435-451, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15266/KEREA.2014.23.3.435>
- [11] D. H. Won, "The Economic Value of Reduction Pollutants from Automobile", *Journal of Environmental Policy and Administration*, Vol.22, No.4, pp.195-212, 2014.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.15301/jepa.2014.22.4.195>
- [12] J. W. Kim, K. K. Kang, "Evaluation and Improvement of a Subsidy Policy in Early Scrapping of Old Diesel Vehicles", *Journal of environmental Policy*, Vol.14, No.2, pp.73-99, 2015.
- [13] K. J. Lee, K. H. Park, S. W. Shim, K. C. Kim, "Evaluation of Mobile Emissions Reduction Strategies Using Travel Demand Model and Analytic Hierarchy Process", *Journal of the Korean Society of Civil Engineers*, Vol.35, No.5, pp.1123-1133, 2015.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.12652/Ksce.2015.35.5.1123>
- [14] J. H. Keel, Y. S. Lim, H. J. Kim, H. G. Roh, B. S. Yun, S. G. Lee, T. W. Lee, J. S. Kim, K. H. Choi, "Evaluation of Accelerated Retirement Program for In-use Diesel

Vehicles based on their NO<sub>x</sub> Emission Characteristics”, *JOURNAL OF ILASS-KOREA*, Vol.22, No.3, pp.122-128, 2017.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15435/JILASSKR.2017.22.3.122>

- [15] M. Q. Wang, “Examining cost effectiveness of mobile source emission control measures”, *Transport Policy*, Vol.11, No.2, pp.155-169, 2004.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2003.10.003>
- [16] G. Stevens, A. Wilson, J. K. Hammitt, “A Benefit-Cost Analysis of Retrofitting Diesel Vehicles with Particulate Filters in the Mexico City Metropolitan Area”, *Risk Analysis*, Vol.25, No.4, pp.883-899, 2005.  
DOI: <https://doi.org/10.1111/i.1539-6924.2005.00650.x>
- [17] L. Schrooten, I. D. Vlioger, F. Lefebvre, R. Torfs, “Costs and benefits of an enhanced reduction policy of particulate matter exhaust emissions from road traffic in Flanders”, *Atmospheric Environment*, Vol.40, No.5, pp.904-912, 2006.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.10.013>
- [18] H. O. Gao, T. H. Stasko, “Cost-minimizing retrofit/replacement strategies for diesel emissions reduction”, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Vol.14, No.2, pp.111-119, 2009.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trd.2008.11.006>
- [19] D. E. Millstein, R. A. Harley, “Effects of Retrofitting Emission Control Systems on In-Use Heavy Diesel Vehicles”, *Environmental Science & Technology*, Vol.44, No.13, pp.5042-5048, 2019.  
DOI: <https://doi.org/10.1021/es1006669>
- [20] Y. R. Chae, “Co-benefit analysis of an air quality management plan and greenhouse gas reduction strategies in the Seoul metropolitan area”, *Environmental Science & Policy*, Vol.13, No.3, pp.205-216, 2010.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.01.003>
- [21] N. Kholod, M. Evans, “Reducing black carbon emissions from diesel vehicles in Russia: An assessment and policy recommendations”, *Environmental Science & Policy*, Vol.56, pp.1-8, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2015.10.017>
- [22] A. Kozina, G. Radica, S. Nižetić, “Analysis of methods towards reduction of harmful pollutants from diesel engines”, *Journal of Cleaner Production*, Vol.262, 121105, 2020.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121105>
- [23] Ministry of Environment, “Guidelines for the In-use Vehicle Emission Reduction Program Subsidy”, (2004 ~2020).
- [24] Ministry of Environment, “A Study on the Social Cost Revaluation of Air Pollutants”, 2015.

한 진 석(Jin-Seok Hahn)

[정회원]



- 2010년 8월 : 서울대학교 건설환경공학부(교통공학박사)
- 2011년 4월 ~ 2014년 5월 : 한국교통연구원 박사후연구원
- 2014년 6월 ~ 현재 : 한국환경연구원 연구위원

<관심분야>

지속가능교통