

# 배출가스 저감장치(DPF) 부착에 따른 사회적 편익 추정

최성규\* · 김용달\* · 김호경\* · 배진민\*\*

## Estimating Social Benefits According to Exhaust Gas Reduction Devices (DPF)

Soungkyu Choi\*, Yongdal Kim\*, Hogyong Kim\*, Jinmin Bae\*\*

*Key Words* : Exhaust gas reduction devices(배출가스 저감장치), Diesel particulate filter(미립자 필터), Emission test(배출가스 검사), Particulate matter(입자상물질), Social benefit(사회적 편익)

### ABSTRACT

The People have a bad perception about diesel vehicle because of serious air pollution, increase fine dust and global vehicle company's diesel gate. Starting the project in 2005, Ministry of Environment has been supporting that is exhaust gas reduction devices (DPF) on diesel vehicles in the metropolitan area. During the period of 2017.01.01 to 2017.12.31, 10,030 diesel vehicles installed exhaust gas reduction devices (DPF). Among them, 9,921 diesel vehicles that they have sufficient data for analysis were analyzed amount of particulate matter reduction before and after exhaust gas reduction devices (DPF) was installed. Opacity smoke meter measures the concentration of particulate matter. So concentration of particulate matter was converted into a mass unit, and then calculated the total amount of reduced particulate matter. It was estimated that social benefits is costs required to remove it from the total amount of particulate matter.

### 1. 서론

최근 다양한 요인으로 맑은 하늘을 보는 것이 쉽지 않다. 그 요인으로 지목된 것 중 하나가 노후경유자동차이다. 환경부에서 노후경유자동차를 관리하여 대기질을 개선하고자 2005년부터 운행차 배출가스 저감사업을 시작하였고, 이 사업은 지금도 지속 운영되고 있다. 현재 환경부 운행차 배출가스 저감사업은 크게 조기폐차지원, 배출가스 저감장치 부착지원, 저공해엔진 개조지원으로 나누어 볼 수 있다. 사업에서 지원되는 배출가스 저감장치인 DPF는 경유자동차에서 발생하는 입자상물질(PM<sub>10</sub>) 저감 성능이 우수하여 현재 출시되는 모든 경유자동차에 부착

되고 있다. 국립환경과학원의 자료에 따르면, 배출가스 저감장치 지원 사업이 시작된 2005년 도로이동오염원이 배출한 입자상물질(PM<sub>10</sub>)의 양은 25,312ton으로 전체 발생량 중 약 38%를 차지하는 가장 주된 요인이었다. 하지만, 2014년 자동차 등록 대수는 늘어났음에도 도로이동오염원이 배출한 입자상물질(PM<sub>10</sub>)의 양은 10,019ton으로 줄어들었으며, 이는 전체 발생량 중 약 10%만을 차지하는 오염원에 해당된다.<sup>(1)</sup>

2018년 4월 1일 기준 국내에 등록되어 있는 노후경유 자동차는 총 643,436대로 확인되었으며, 이중 저공해엔진 개조 또는 배출가스 저감장치를 부착한 노후경유 자동차는 103,816대 이다.<sup>(2)</sup> 즉, 노후경유자동차 중 환경부의 배출가스 저감사업이 진행된 지난 13년간 이 사업에 동참한 경유자동차의 비율은 불과 16% 밖에 되지 않는다는 것이다. 하지만, 앞서 언급한 국립환경과학원의 자료에서 나타난 입자상물질(PM<sub>10</sub>)의 발생량은 확연한 감

\* 한국교통안전공단 검사기준처

\*\* 한국교통안전공단 검사전략실

E-mail : soungkyu15@kotsa.or.kr

소 효과를 나타내고 있고, 도로이동오염원이 차지하는 비율 또한 눈에 띄게 개선되고 있다.

이에 본 연구에서는 노후경유자동차를 대상으로 배출가스 저감장치 부착을 통해 어느 정도의 입자상물질 저감효과를 얻어 내었는지를 확인하고 이를 통해 발생된 사회적 편익을 도출하는데 그 목적이 있다.

## 2. 측정대상 및 측정방법

### 2.1. 측정대상

전국에 등록되어 있는 경유자동차 중 2017년 1년간 DPF를 부착하였고, 현재 종합검사 시행대상 지역에 등록이 되어 있는 경유자동차를 기준으로 추적조사 하였다. 현재 환경부에서 지원하는 배출가스 저감장치는 제1종 배출가스 저감장치(DPF)와 제2종 배출가스 저감장치(p-DPF) 두 종류이며, 표본으로 추출된 경유자동차는 이 두 장치 중 어느 하나를 부착한 자동차에 해당한다. 이 표본에 해당되는 경유자동차는 10,030대 이며, 그 분포는 Table 1과 같다.<sup>(2)</sup>

Table 1 Reporting on exhaust gas reduction devices installed (The number of vehicles, 2017)

Type 1 exhaust gas reduction devices	9,577
Type 2 exhaust gas reduction devices	453
Total	10,030

### 2.2. 측정방법

운행차 배출가스 검사는 부하검사와 무부하검사로 나

Table 2 Enforcement rule of the clean air conservation act

Fuel	Emission test	Types of motor vehicle
Diesel	KD-147	1) Passenger vehicles 2) Not more than medium duty motor vehicles for passengers and freight·Freight·Special motor vehicles
	Lug-Down3	1) Heavy duty motor vehicles for passengers and freight·Freight·Special motor vehicles 2) Tuning normal type to special purpose type medium duty Freight·Special motor vehicles

\* Types of motor vehicle by the following Enforcement rule of the motor vehicle management act

누어져 있다. 경유자동차의 부하검사는 한국형 경유 147(KD147) 검사와 엔진회전수 제어방식(Lug- Down3 모드) 두 가지로 나누어져 있으며, 적용차종에 따른 부하검사 방법은 Table 2와 같다.<sup>(3)</sup> 표본 대상이 되는 경유자동차는 대기환경보전법 시행규칙의 차종에 따른 부하검사 방법으로 입자상물질의 농도를 측정하였다. 부하검사방법은 대기환경보전법 시행규칙 별표26에 따른 검사방법을 준용하였다.

#### 2.2.1. 한국형 경유 147(KD147) 검사방법<sup>(3)</sup>

(가) 측정대상 자동차의 상태가 정상으로 확인되면 차대동력계에서 엔진정격출력의 40% 부하에서 50±6.2km/h의 차량속도로 40초간 주행하면서 예열한 다음 환경부장관이 정한 주행주기와 도로부하마력에 따라 총 147초 동안 0km/h(엔진 공회전 상태)에서 최고 83.5 km/h까지 적절한 변속기어를 선택하면서 주행한다.

(나) 매연측정값은 최고측정치를 중심으로 매 1초 동안 전후 0.25초마다 측정된 5개의 1초 동안 산술평균값(A)을 측정값으로 한다. 다만, 1초 동안 산술평균값이 매연허용기준을 초과할 경우에는 다음과 같이 매연측정값을 산출한다.

- ① 매연 배출허용기준이 30% 이상인 경우: 최고측정치의 3초 전과 3초 후의 7초 동안의 산술평균값을 구하여 7초 동안의 산술평균값(B)이 20%를 초과하면 1초 동안 산술평균값(A)을 측정값으로 하고, 20% 이하이면 7초 동안의 산술평균값(B)을 측정값으로 한다.
- ② 매연 배출허용기준이 25% 이하인 경우: 최고측정치의 3초 전과 3초 후의 7초 동안의 산술평균값을 구하여 7초 동안의 산술평균값(B)이 10%를 초과하면 1초 동안의 산술평균값(A)을 측정값으로 하고, 10% 이하이면 7초 동안의 산술평균값(B)을 측정값으로 한다.
- ③ 산술평균값(A, B)이 매연 배출허용기준을 초과하면 부적합으로 판정하고, 초과하지 않으면 적합으로 판정한다.

(다) 매연농도는 소수점 이하는 버리고 1% 단위로 산출한다.

#### 2.2.2. 엔진회전수 제어방식(Lug- Down3 모드)<sup>(3)</sup>

(가) 측정대상 자동차의 상태가 정상으로 확인되면 차대

## 배출가스 저감장치(DPF) 부착에 따른 사회적 편익 추정

동력계에서 엔진정격출력의 40% 부하에서 50±6.2 km/h의 차량속도로 40초간 주행하면서 예열한다.

(나) 자동차의 예열이 끝나면 즉시 차대동력계에서 가속 페달을 최대로 밟은 상태에서 자동차 속도가 가능한 70km/h에 근접하도록 하되 100km/h를 초과하지 아니하는 변속기어를 선정하여 부하검사방법에 따라 검사모드를 시작한다.

(자동변속기는 오버드라이브를 사용하여서는 아니 된다) 다만, 최고속도제한장치가 부착된 화물자동차의 경우에는 엔진정격회전수에서 차속이 85km/h를 초과하지 않는 변속기어를 선정하여 검사모드를 시작한다.

(다) 검사모드는 가속페달을 최대로 밟은 상태에서 최대출력의 엔진정격회전수에서 1모드, 엔진정격회전수의 90%에서 2모드, 엔진정격회전수의 80%에서 3모드로 형성하여 각 검사모드에서 모드시작 5초 경과 이후 모드가 안정되면 엔진회전수, 최대출력 및 매연 측정을 시작하여 10초 동안 측정된 결과를 산술평균한 값을 최종측정치로 한다.

(라) 엔진회전수 및 최대출력은 소수점 첫째자리에서 반올림하여 각각 10rpm, 1ps단위로, 매연농도는 소수점 이하는 버리고 1%단위로 산출한 값을 최종측정치로 한다.

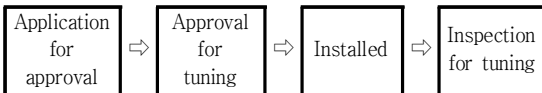
### 2.3. 분석방법

#### 2.3.1. 농도 - 질량 환산기준

경유자동차에 배출가스 저감장치를 부착하고자 하는 경우 자동차관리법 제34조에 따른 튜닝승인을 받아야 하며 그 절차는 Table 3과 같다.

Table 3의 절차 중 튜닝검사서 배출가스 정밀검사를 시행하게 되며, 이때 발생된 입자상물질 농도가 허용기준 이내일 경우 튜닝절차가 완료된다. 이 절차에 따라 배출가스 저감장치를 부착하는 경유자동차는 한국교통안전공단 자동차검사소에서 튜닝검사를 받게 된다. 이 부분에 초점을 두어 배출가스 저감장치 부착 직전 검사서 측정된 입자상물질의 농도와 튜닝검사 당시의 입자상물

Table 3 Procedure for exhaust gas reduction devices installed



질의 농도를 비교하여 배출가스 저감장치 부착으로 인한 입자상물질의 저감 정도를 확인하였다. 이때, 측정되는 입자상물질의 단위는 농도(%)로 사회적 편익 추정을 위해 질량(kg) 단위로 환산이 필요하다. 본 연구에 사용된 환산 산식은 국립환경과학원에서 연구를 통해 도출된 식 (1), (2), (3)을 이용하였다.<sup>(4)</sup>

$$Soot_j = \left[ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n ER_{i,j} \right] \times \frac{EVF_j}{60} \times \frac{n}{Dist} \quad (1)$$

$$ER_{i,j} = 0.0126Smk_{i,j}^2 + 2.665Smk_{i,j} + 3.03 \quad (2)$$

$$EVF_j = 0.4229Disp_j^2 - 1.022Disp_j + 1.59 \quad (3)$$

Soot<sub>j</sub> [mg/km] = Estimated soot emission of Vehicle<sub>j</sub>  
 n [s] = Time spent under KD-147 test cycle (i.e., 147)

ER<sub>i,j</sub> [mg/m<sup>3</sup>] = Instantaneous soot concentrations of Vehicle<sub>j</sub> at time<sub>i</sub> Estimated using Eq. (2)

EVF<sub>j</sub> [m<sup>3</sup>/min] = Cycle averaged exhaust volume flow rates of Vehicle<sub>j</sub> Estimated using Eq. (3)

Dist [km] = Distance driven under KD-147 test cycle (i.e., 2.16)

Smk<sub>i,j</sub> [%] = Measured smoke opacity of Vehicle<sub>j</sub> at time<sub>i</sub>

Disp<sub>j</sub> [L] = Engine displacement of Vehicle<sub>j</sub>

#### 2.3.2. 사회적 비용기준

입자상물질의 사회적 비용은 EC(Holland & Watkiss 2002)에서 산정한 무게당 비용에 통계청에서 공고한 연간 소비자물가상승률을 고려하여 2017년 기준으로 환산한 결과는 Table 4와 같다.<sup>(5-6)</sup>

Table 4 Social costs per unit weight of particulate matter

Air pollutant	EC(Holland & Watkiss)
Particulate matter (PM <sub>10</sub> )	Population of at least 1million 391,654won/kg
↓	
Air pollutant	Inflation rate
Particulate matter (PM <sub>10</sub> )	Population of at least 1million 425,693won/kg

### 3. 분석결과

#### 3.1. 표본자동차의 입자상물질 배출량 데이터

최초 표본으로 선정된 10,030대의 경유자동차 중 최초등록일과 튜닝검사일, 튜닝검사에서 기록된 주행거리 값이 모두 확인되는 표본을 2차적으로 분류하여 연구의 최종 표본으로 선정하였으며 그 대상은 9,921대로 나타났다. 표본 경유자동차의 입자상물질 배출 질량(mg/km)을 식 (1), (2), (3)을 통하여 구할 수 있었다. 이때, 적용한 분석 조건은 아래와 같다.

- (가) Lug Down3 모드의 입자상물질의 농도는 1모드, 2모드, 3모드 농도의 평균값으로 계산한다.
  - (나) Lug Down3 모드에서 입자상물질이 측정되는 30초 동안 70km/h로 계속 주행했다는 가정 하에 Dist 값을 산출한다.
  - (다) Lug Down3 모드에서 측정된 입자상물질의 농도를 질량으로 환산한 식은 식 (1), (2), (3)에 준용하여 계산한다.
  - (라) 배출가스 검사를 진행하는 시간 동안 발생하는 입자상물질의 농도를 시간별로 추출하여 식 (2)에 대입하여야 하지만 현재 추출할 수 있는 입자상물질 농도는 최종판정 수치 하나로 배출가스 검사를 진행하는 시간동안 표본 자동차의 배출가스 농도는 최종판정 수치로 계속 발생 되었다는 가정 조건하에 계산한다.
  - (마) 표본 자동차의 연평균 주행거리는 튜닝검사일과 최초등록일을 비교한 후 튜닝검사에서 기록된 주행거리를 통해 일평균 주행거리를 계산 하고 일평균 주행거리에 365일을 곱한 값으로 계산한다.
  - (바) 식 (1)을 통하여 표본 자동차의 입자상물질 배출 질량(mg/km)을 구하고 여기에 연평균 주행거리를 곱하여 연평균 배출량을 계산한다.
- 분석 조건으로 계산된 최종 표본 자동차의 저감장

치 부착 전/후 연평균 입자상물질 배출량은 Table 5와 같다.

#### 3.2. 편익추정결과

최종 편익 추정계산은 배출가스 저감장치 부착에 따른 입자상물질의 저감 총량과 연간 소비자물가 상승률이 반영된 2017년 기준 입자상물질 단위 무게당 사회적 비용을 곱하여 확인하였다. 그 결과 발생한 편익은 31,820,551,750 원으로 나타났다.

### 4. 결 론

2017년에 배출가스 저감장치를 부착한 10,030대의 경유자동차 중 분석에 필요한 충분한 데이터가 갖춰진 9,921대를 추적조사 해본 결과 배출가스 저감장치 부착만으로 입자상물질의 배출량을 64.75ton 저감할 수 있었으며, 저감율은 82.78%에 달했다. 또한 저감된 입자상물질의 배출량으로 본 사회적 편익은 약 320억원으로 나타났으며, 여기서 계산된 편익은 일회성 편익이 아닌 경유자동차가 폐차를 통해 더 이상 운행되지 않을 때까지 매년 발생할 수 있는 편익임을 고려해 본다면 배출가스 저감장치를 통해 얻을 수 있는 편익은 분석을 통해 얻어낸 편익보다 상당히 클 것으로 예상된다.

본 연구는 배출가스 저감장치를 부착하기 전/후의 정밀검사 데이터 값을 비교하여 입자상물질의 저감량을 확인하였다. 현재 배출가스 저감장치를 부착한 경유자동차는 배출가스 저감장치의 성능유지확인 검사기준 및 검사방법 등에 관한 규정에 따라 배출가스 저감장치 부착 후 2달 전/후 15일 이내에 성능유지확인검사를 수검하도록 하고 있으며, 성능유지확인검사에서도 문제가 없다면 3년간 배출가스 정밀검사를 면제해 주는 제도를 시행하고 있다. 이 면제 기간이 종료된 후 배출가스 저감장치의 성능이 어느 정도 유지가 되고 어떻게 관리가 되고 있는지 추가적인 추적 연구가 필요할 것으로 사료된다.

Table 5 Average annual emissions of before & after exhaust gas reduction devices installed (2017)

Before installed	78.21ton
After installed	13.46ton
Reduction amount	64.75ton

\* Round down to three places of decimals

### 참고문헌

- (1) 국립환경과학원 국가 대기오염물질 배출량 서비스, “부분별 배출량”, 2005~2014.
- (2) Vehicle Inspection Management System 통계 자료.

배출가스 저감장치(DPF) 부착에 따른 사회적 편익 추정

- (3) 법제처, 대기환경보전법 시행규칙 [별표26].
- (4) 교통환경연구소, 2013, “운행경유차 매연 농도 검사결과와 배출질량 환산 기법 연구”, pp. 14~16.
- (5) 한국환경정책·평가원, 2011, “수도권 운행경유차 배출가스 저감사업 중간평가 연구”, pp. 71.
- (6) Mike Holland, Paul Watkiss, 2002, “BeTa Version E1.02a Benefits Table database: estimates of the marginal external coast of air pollution in Europe”, netcen.