

경유차량 배출물질의 노출과 폐기능의 상관성 연구 Diesel Exhaust Particle Exposure and its Pulmonary Function Effects

이용진 · 김다혜 · 김수환 · 김정수¹⁾ · 신동천²⁾ · 임영욱*
연세대학교 의과대학 환경공해연구소, ¹⁾국립환경과학원 교통환경연구소,
²⁾연세대학교 의과대학 예방의학교실
(2016년 7월 6일 접수, 2016년 8월 12일 수정, 2016년 8월 29일 채택)

Yong-Jin Lee, Da-Hye Kim, Soo-Hwan Kim, Jeong-Soo Kim¹⁾,
Dong-Chun Shin²⁾ and Young-Wook Lim*

The Institute for Environmental Research, Yonsei University College of Medicine

¹⁾*Transportation Pollution Research Center, National Institute of Environmental Research*

²⁾*Department of Preventive Medicine, Yonsei University College of Medicine*

(Received 6 July 2016, revised 12 August 2016, accepted 29 August 2016)

Abstract

Traffic-related air pollutants and particulates from diesel exhaust cause for increasing respiratory health problem. Recent epidemiologic studies have reported adverse effects of urban air pollution on various aspects of respiratory health. Bus or truck terminal workers have high probability of exposure to diesel exhaust particle than general office worker. This study was designed to evaluate the relationship between pulmonary function of people who working at the high-density area of diesel vehicles and pulmonary function of people who working at general office in Seoul. So, this study explored the effects on people with exposure to diesel traffic or exposure to diesel traffic, through the pulmonary function test (PFT). There were significant difference in Forced Vital Capacity (FVC) and Forced Expiratory Volume in 1 second (FEV₁) between high-exposure group and control. High-exposure to diesel particle were increased risk of reduction in pulmonary function in this study. These results provide the necessity additional research that manage people who working at the high-density area of diesel vehicles.

Key words : Diesel, Diesel vehicle, Health effects, PM₁₀, PM_{2.5}, Pulmonary function test

1. 서 론

오늘날 자동차에 의한 도시의 대기오염은 우리나라 뿐만 아니라 전 세계의 대도시가 직면하고 있는 가장

시급하게 해결해야 할 문제점 중 하나로 여겨지고 있다. 19세기 이후 산업혁명과 더불어 크게 발전한 교통수단은 인간의 삶을 윤택하게 만들고 인류에게 많은 혜택을 제공했지만, 그 피해 또한 적지 않았다. 차량에서 발생하는 다양한 대기오염물질들은 대기의 온도를 변화시키거나 시정을 악화시킬 뿐 아니라, 사람의 호

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)2-2228-1898, E-mail : envlim@yuhs.ac

흡기 건강에도 악영향을 미치는 것으로 알려져 있다 (Andersen *et al.*, 2010). 경유 엔진으로부터 1차적으로 발생하는 미세입자는 원소탄소(Elemental carbon), 유기탄소(Organic carbon), 황, 질산염 및 각종 유기화합물을 포함하고 있을 뿐만 아니라, 더 작은 황산, 탄화수소 및 황 입자를 포함하고 있다. 이러한 경유 엔진 배출물질은 대기 중에 존재하는 각종 화합물과 상호작용하여 2차 오염물질을 생성하며(Jacqueline, 2003), 교통 관련 오염원에서 발생하는 대기 중 미세먼지의 90% 가량은 경유 엔진으로부터 기원하는 것으로 알려져 있다(Kleeman *et al.*, 2000). 경유 차량으로부터 발생하는 미세먼지는 주로 직경 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 크기가 작은 먼지들로 구성되어 있으며 입경이 작은 미세먼지들은 폐의 깊은 곳과 하기도 호흡기까지 도달하여 폐포 손상을 야기할 수 있다(Daigle *et al.*, 2003). 미세먼지로 인한 건강 장애는 호흡기 계통의 침투율과 입자의 독성에 의해 결정되며 이때 호흡기계 침투율은 입자의 크기와 밀접한 관련성을 지닌다. 특히 직경 $2.5\mu\text{m}$ 이하의 초미세먼지는 매우 작은 입경으로 인해 상기도에서 인체 자체의 방어기전에 의해 걸러지지 않고 폐 속 깊숙이 폐포까지 침착될 확률이 높고, 체내 체류시간도 몇 주에서 몇 년이 소요될 수 있다. 또한 초미세먼지는 매우 작은 크기로 단위 면적당 수가 매우 많아 인체에 순간적으로 많은 수의 입자가 유입되고, 이로 인해 인체 부하량이 급증할 수 있다. 이러한 인체의 과부하에 의해 정상적인 폐포의 대식세포에 의한 자정작용이 효과적으로 이루어지지 못하고, 유입된 입자의 일부가 상피세포를 통과하여 내부 조직까지 영향을 미칠 수 있으며, 최근에는 경유차량에서 배출되는 대기오염물질에 노출이 되는 것이 천식 환자들의 폐기능을 현저히 감소시킨다는 연구 결과가 보고된 바 있다(McCreanor, 2007; Sydbom *et al.*, 2001).

폐기능의 측정 결과는 병 이환 및 생존과 유의한 상관관계를 보이며, 임상적으로 폐질환이 의심되는 환자의 진단뿐만 아니라 치료효과 판정에 유용한 검사일 뿐만 아니라, 환경오염에 의한 호흡기 장애를 평가하는 역학연구에서도 널리 이용하는 방법 중 하나이다. 본 연구에서는 교통 오염물질에 노출이 되는 집단을 그렇지 않은 집단과 비교하여 집단 간의 폐기능 차이와 폐기능 저하 위험도를 확인해보고자 하였다.

본 연구에서는 고속버스 터미널 및 화물트럭 터미널

과 같이 경유 엔진 차량 밀집도가 높은 곳의 대기 중 미세먼지 농도를 측정하여 도시 지역과의 농도 차이를 확인하여 경유 차량 배출물질 고노출 지역의 근무자와 일반 사무실 근무자의 폐기능의 차이를 분석하고 폐기능에 영향을 주는 요인을 파악하고, 이에 대한 폐기능 저하의 상관성을 확인하고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 연구 대상 선정

본 연구에서 ‘고노출군’은 서울 강남구에 위치한 C 고속버스 터미널 실외 근무자(차량기사, 검표원, 실외 매점 근무자 등) 30명과 서울 양천구에 위치한 S 트럭 터미널 근무자 20명을 대상으로 하였다. ‘대조군 A’는 서울 서대문구에 위치한 S 회사의 사무직 근무자(운수 업체 행정직원, 안내요원 등) 30명을 대상으로 하였으며, 각 집단의 연구 대상자에게서 설문조사 및 폐기능 검사를 실시하였다. 대한민국 평균치와의 비교 분석을 위한 ‘대조군 B’는 국민건강영양조사 제4기 2차년도(2008) 원시자료를 이용하여 선정하였다. 폐기능 측정을 수행한 사람 총 3,274명 중에서 서울시에 거주하며 고노출군과 성별 및 연령이 동일하며 고노출군의 키와 체중의 범위가 같은 184명의 데이터를 추출하여 고노출군과 비교하였다. 대상자에 대한 임상시험에 대하여 임상시험심사위원회(IRB)의 심의를 득하여 진행하였다.

2.2 미세먼지 농도 측정

각각의 지점별로 PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ 의 미세먼지는 저용량 공기포집기(mini-volume portable air sampler, Airmetrics Co., US)에 PM_{10} 흡입구(PM_{10} inlet) 및 $\text{PM}_{2.5}$ 흡입구($\text{PM}_{2.5}$ inlet)를 장착하여 5L/min의 유량으로 시료를 포집하였고, 지상으로부터 약 170 cm 높이의 지점에 흡입구를 위치하여 6시간 이상 측정하였다. 시료 포집 여지는 미량원소성분 분석에 가장 적합한 재질로 알려진 cellulose ester membrane filter(pore size $1.0\mu\text{m}$)를 사용하였다. 시료 채취 전에 105°C 에서 약 2시간 동안 건조시켜 페트리 디쉬에 넣어 테플론 테이프를 감아 밀봉 후 실리카겔이 담긴 진공건조기(Vacuumdesiccator)에서 보관하였다. 측정이 끝난 후 진공 건조기 내에

Table 1. Explanation of spirometry parameters.

Index	Explanation	Unit	Normal %
FVC	Forced Vital Capacity: the volume of gas expired from TLC, with expiration performed as rapidly and completely as possible	L	> 80%
FEV ₁	Forced Expiratory Volume in 1 second: the volume of gas which is exhaled in a given time interval 1 during the execution of a forced vital capacity	L	> 80%
FEV ₁ /FVC (%)	FEV ₁ /FVC ratio: the FEV ₁ expressed as a percentage of the FVC	%	> 70%

서 24시간 이상으로 충분히 항량 시킨 후, 감도 0.01 mg의 화학저울(chemical balance, Precisa Co., US)로 칭량하였다. 국민건강영양조사 참여자인 대조군 B의 경우 서울시 측정망자료를 활용하여 분석하였다.

2.3 개인별 특성 조사

고노출군과 대조군 A의 개인별 특성에 대해서는 설문 조사를 통해 성별, 키, 체중, 연령, 흡연 여부, 음주 여부 등에 대한 개인 신상에 대한 정보와 직장 근무 부서, 근무 년수에 대해서 조사하였다. 두 집단 모두 동일한 설문지를 이용하여 설문 조사를 실시하였으며, 추가적으로 질병력, 가족력 및 호흡기 증상에 대해서도 응답하게 하였다. 대조군 B의 개인별 특성에 대해서는 국민건강영양조사 제4기 2차년도(2008) 원시자료의 설문조사 항목 중 본 연구의 설문지 항목과 일치하는 내용을 추출하여 연구에 이용하였다.

2.4 폐기능 검사

폐기능 검사는 폐활량 측정법(Spirometry)을 사용하였다. 폐활량 측정에 사용된 기기는 고노출군은 Micro-medical 사의 MicroLab ML3500 printer spirometer를 이용하였고, 대조군 A 및 대조군 B는 Sensormedics 사의 digital spirometer 1022모델을 이용하였다. 고노출군의 폐기능 측정은 각 터미널의 사무실에서 이루어졌고 대조군 A의 폐기능 측정은 연구진 실험실에서 이루어졌다. 측정에 앞서 피검자에게 검사방법을 충분히 설명하고 피검자의 협조 정도에 따라 본 측정 전에 미리 연습을 시키고 난 후 검사를 실시하였다. 폐기능 검사시 피검자들의 연령과 성별에 신장에 대한 자료를 입력한 후, 안정된 상태에서 피검자는 앉은 자세에서 최대한 흡기한 후에 손으로 코를 막게하고 마우스피스 를 입에 물게 한 다음 코와 마우스피스에서 공기가 새

지 않도록 주의하면서 다음의 방법 각각에 대하여 3회 이상 실시하여 측정된 검사 값의 차이가 5% 이내의 것 들 중에서 가장 호기가 잘 된 폐활량 곡선을 선택하였다.

본 연구에서는 폐기능 검사 측정치 중에서 환기 장 애의 정도를 가장 예민하게 반영하는 변수로 FVC(총 폐활량), FEV₁(1초간 노력성 호기량), FEV₁/FVC 비율 을 선택하였으며, FVC(L) 및 FEV₁(L)은 피검자의 연 령과 성별, 키, 체중을 고려한 예측치(predicted value) 에 대한 실측치의 비율(%)을 통계 분석에 사용하였다. 각 수치에 대한 정상 진단 기준은 대한 결핵 및 호흡기 학회 진료 지침을 참고하였다. 각 변수에 대한 설명은 “표 1”과 같다.

2.5 통계 분석 방법

모든 항목에 대하여 기술통계량을 살펴보고, 각각의 집단별로 연령, 교육수준, 흡연여부, 음주여부에 대한 폐기능의 차이를 알아보았다. 고노출군과 대조군 A 및 대조군 B의 폐기능 차이가 있는지를 파악하기 위하여 일원배치분산분석(ANOVA)을 실시하였다. 경유 차량 밀집지역에서 근무하는 ‘고노출군’은 근무 기간과 폐 기능의 상관성을 알아보기 위하여 단순 회귀분석을 실 시하였다. 또한, 고노출군을 기준으로 한 대조군 A, B 의 폐기능의 변화에 대해 알아보기 위해서 집단 변수 를 가변수(dummy variable)화 하여 회귀분석을 실 시하였다. 집단 구분 이외의 다른 독립변수에 대해서 보 정하지 않은 회귀 모형과 일일 흡연량에 대해서만 보 정한 회귀 모형, 연령, 성별, 키, 체중, 일일 흡연량을 포 함한 모든 독립변수에 대해서 보정한 회귀 모형의 총 3가지 회귀 모형으로 나누어서 분석하였다. 경유차량 배출물질의 노출 유무에 따른 폐기능 저하 위험도를 알아보기 위한 교차비(Odds ratio) 산출에는 로지스틱

Table 2. Baseline characteristics of the study participants.

Characteristics		High-exposure group (%)	Control A (%)	Control B (%)
Sex	Male	40 (80.0)	25 (83.3)	150 (81.5)
	Female	10 (20.0)	5 (16.7)	34 (18.5)
Age	Mean \pm SD*	46.0 \pm 8.6	36.7 \pm 8.1	45.0 \pm 8.3
	Range	27~60	27~54	27~60
Height (cm)	Mean \pm SD	169.9 \pm 6.7	171.7 \pm 7.6	168.7 \pm 6.2
	Range	156~183	154~184	156~183
Weight (kg)	Mean \pm SD	71.78 \pm 12.84	70.93 \pm 12.81	69.93 \pm 9.47
	Range	50~128	44~95	50~97
Education level	Middle school	4 (8.0)	0 (0.0)	28 (15.2)
	High school	31 (62.0)	1 (3.3)	77 (41.8)
	College/University	15 (30.0)	29 (96.7)	79 (42.9)
Smoking status	Never smoker	13 (26.0)	13 (43.3)	50 (27.2)
	Former smoker	17 (34.0)	6 (20.0)	66 (35.9)
	Current smoker	20 (40.0)	11 (36.7)	68 (37.0)
Alcohol consumption	Less than 1 time per month	11 (22.0)	5 (16.7)	52 (28.3)
	More than 1 time per month	39 (78.0)	25 (83.3)	132 (71.7)
Employment period (month)	Mean \pm SD	154.90 \pm 119.36	92.17 \pm 88.89	—
	Range	2~444	1~336	—

*S.D: standard deviation

회귀분석을 사용하였다. 모든 통계분석은 통계분석 프로그램인 SPSS 18.0 버전을 사용하였다.

3. 연구 결과

3.1 연구 대상자의 일반적 특성

전체 연구 대상자는 총 264명으로 고노출군이 50명, 대조군 A가 30명, 대조군 B가 184명이며, 이 중 여성의 비율은 각각 20%, 16.7%, 18.5%였다. 고노출군의 일반적인 특성으로 연령, 성별, 키, 체중, 자택 내 애완동물 유무, 교육 정도, 흡연 여부, 음주 여부 등 개인 신상에 대한 정보와 현재 직장의 총 근무 기간과 근무 부서 및 담당 업무에 대해 설문지를 이용하여 조사하였다. 대조군 A에 대해서도 동일한 설문지를 사용하여 설문 조사를 실시하였고, 대조군 B에 대해서는 국민건강영양조사 제4기 2차년도(2008) 원시자료의 설문조사 항목 중 본 설문지 항목과 일치하는 내용을 추출하여 비교하였다. 전체 연구 대상자의 연령은 27세에서 60세까지의 범위였으며, 고노출군은 46.04 \pm 8.61세, 대조군 A는 36.67 \pm 8.06세, 대조군 B는 45.03 \pm 8.30세로

조사되었다. 고노출군의 키는 169.94 \pm 6.69 cm, 체중은 71.78 \pm 12.84 kg이었으며, 대조군 A는 각각 171.73 \pm 7.62 cm, 70.93 \pm 12.81 kg, 대조군 B는 각각 168.68 \pm 6.23 cm, 69.93 \pm 9.47 kg으로 조사되었다. 교육수준은 고노출군은 고졸이 31명(62.0%)으로 가장 많았고, 대조군 A와 B는 대졸 이상이 각각 29명(96.7%), 79명(42.9%)으로 가장 많았다. 흡연 여부는 고노출군의 '현재 흡연하는 경우'는 20명(40.0%)이었고, 대조군 A는 11명(36.7%), 대조군 B는 68명(37.0%)으로 조사되었다. '과거에 흡연하였으나 금연한 경우'는 고노출군이 17명(34%), 대조군 A는 6명(20.0%), 대조군 B는 66명(35.9%), '전혀 흡연하지 않는 경우'는 고노출군 13명(26.0%), 대조군 A 13명(43.3%), 대조군 B 50명(27.2%)으로 조사되었다. 음주 횟수는 '한달에 1회 미만'인 경우가 고노출군은 11명(22.0%), 대조군 A는 5명(16.7%), 대조군 B는 52명(28.3%)으로 각각 조사되었다. 직장에서의 근무 기간은 경우 차량 밀집 지역에서 근무하는 고노출군의 경우 최소 2개월에서 최대 444개월로 평균 154.9개월이었으며, 일반 사무직 근무자인 대조군 A의 경우는 최소 1개월에서 최대 336개월로 평균 92.17개월로 조사되었다.

Table 3. Concentration of PM₁₀ (µg/m³).

	Site	N	Mean ± SD*	Min~Max
High-exposure group	5	45	191.89 ± 33.11	164.6~243.9
Control A	14	111	45.87 ± 16.76	26.05~88.12

*S.D: standard deviation

Table 4. Concentration of PM_{2.5} (µg/m³).

	N	Mean ± SD*	Min~Max
High-exposure group	5	60.82 ± 17.40	47.03~89.55
Control A	14	27.68 ± 5.49	16.99~34.81

*S.D: standard deviation

3.2 미세먼지의 농도

3.2.1 PM₁₀의 농도 비교

고노출군과 대조군 A의 근무 공간 100m 이내의 지점에서 각각 PM₁₀의 농도를 측정된 결과, 고노출군의 경우 191.89 ± 33.11 µg/m³의 높은 농도를 보였고, 대조군 A는 평균 45.87 ± 16.76 µg/m³의 농도를 보였다. 대조군 A의 환경 중 미세먼지 농도는 고노출군 근무지역 주변 환경의 농도와 비교하였을 때, 약 4배가량 높은 것을 알 수 있었다.

3.2.2 PM_{2.5}의 농도 비교

고노출군과 대조군 A의 PM_{2.5}의 농도를 측정된 결과, 고노출군의 경우 60.82 ± 17.40 µg/m³의 높은 농도를 보였고, 대조군 A는 평균 27.68 ± 5.49 µg/m³의 농도를 보였다. 대조군 A의 환경 중 미세먼지 농도는 고노출군 근무지역 주변 환경의 농도와 비교하였을 때, 약 3배가량 높은 것을 알 수 있었다(표 4, 그림 1).

3.3 폐기능

3.3.1 개인 특성에 따른 폐기능 차이

개인 특성에 따른 폐기능 측정값의 차이를 살펴보기 위하여 연령, 교육수준, 흡연여부, 음주여부에 대한 변수들을 분석하고, 고노출군 및 대조군 각각의 연구 대상자들의 성별, 연령, 키를 고려하여 측정된 폐기능 예측값에 대한 실측값의 백분율을 나타내었다.

3.3.1.1 고노출군의 개인 특성에 따른 폐기능 차이

고노출군의 경우 연령에 따른 FVC(%) 및 FEV₁(%)의 차이는 없었으나, FEV₁/FVC(%)은 연령이 증가함

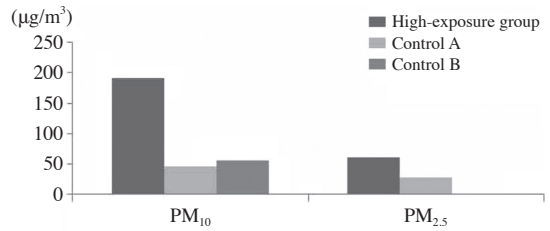


Fig. 1. Concentration of PM₁₀ and PM_{2.5}.

에 따라 통계적으로 유의하게 감소하는 결과를 보였다. 교육수준이 높아짐에 따라 FVC(%)와 FEV₁(%)가 모두 감소하는 결과를 보였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. 그러나 흡연 여부에 대해서 ‘현재 흡연하는 경우’와 ‘과거에 흡연하였으나 금연한 경우’, ‘흡연경험이 없는 경우’로 집단을 구분하여 비교하여 보았을 때, 흡연하는 경우 통계적으로 유의하게 FVC(%)와 FEV₁(%)가 저하된 것을 알 수 있었다. 음주여부에 대해서는 ‘정기적으로 음주하는 경우’와 ‘음주하지 않는 경우’로 집단을 구분하여 비교해본 결과, 음주를 하는 경우에 폐기능 예측치의 평균이 약간 감소하는 결과를 보였으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다(표 5).

3.3.1.2 대조군 A의 개인 특성에 따른 폐기능 차이

대조군 A는 연령에 따른 폐기능의 차이는 나타나지 않았다. 교육수준에 대해서는 교육 수준이 높을수록 폐기능 지표들의 수치가 높게 나타났으나 통계적으로 유의한 결과는 아니었다. 흡연여부에 대해서는 ‘현재 흡연하는 경우’와 ‘과거에 흡연하였으나 금연한 경우’, ‘흡연경험이 없는 경우’로 집단을 구분하여 비교하여 보았으나 흡연에 따른 뚜렷한 차이를 보이지는 않았으며, 음주여부에 대해서는 음주를 하는 사람일수록 폐기능 지표의 수치가 더 낮게 나타났으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(표 6).

3.3.1.3 대조군 B의 개인 특성에 따른 폐기능 차이

대조군 B는 연령이 증가함에 따라 FVC(%) 및 FEV₁/FVC(%)가 감소하는 것으로 나타났으며, 교육수준이 높아짐에 따라 FEV₁/FVC(%)가 증가하는 경향을 보였다. 대조군도 고노출군과 마찬가지로 ‘현재 흡연하는 경우’와 ‘과거에 흡연하였으나 금연한 경우’, ‘흡연경험이 없는 경우’로 집단을 구분하여 비교하여 보았으나 흡연에 따른 뚜렷한 차이를 보이지는 않았

Table 5. Mean percent in spirometry parameters of high-exposure group.

Variable		N	FVC pred [†] (%)	FEV ₁ pred (%)	FEV ₁ /FVC (%)
Age	≤ 39	11	79.27 ± 9.97	81.27 ± 7.84	86.73 ± 5.52
	40~49	17	86.24 ± 11.48	85.24 ± 14.54	82.41 ± 10.74
	≥ 50	22	84.27 ± 16.85	80.68 ± 12.84	79.00 ± 6.30
	p-value		0.430	0.512	0.038*
Education level	Middle school	4	85.25 ± 4.50	84.25 ± 7.76	81.25 ± 6.75
	High school	31	84.03 ± 15.72	82.35 ± 13.72	81.65 ± 8.48
	College/University	15	83.07 ± 11.68	81.87 ± 11.43	82.47 ± 8.98
	p-value		0.956	0.946	0.944
Smoking status	Never smoker	13	92.85 ± 16.49	87.31 ± 11.19	81.00 ± 10.04
	Former smoker	17	84.35 ± 9.79	85.06 ± 10.59	82.53 ± 5.58
	Current smoker	20	77.55 ± 12.03	76.85 ± 13.23	81.85 ± 9.47
	p-value		0.006**	0.032*	0.888
Alcohol consumption	Less than 1 time per month	11	84.18 ± 11.39	86.18 ± 12.40	85.36 ± 5.22
	More than 1 time per month	39	83.74 ± 14.60	81.28 ± 12.49	80.87 ± 8.86
	p-value		0.927	0.256	0.117

*: p < 0.05, **: p < 0.01, †pred: predicted value

Table 6. Mean percent in spirometers of control A group.

Variable		N	FVC pred [†] (%)	FEV ₁ pred (%)	FEV ₁ /FVC (%)
Age	≤ 39	18	88.17 ± 12.28	92.06 ± 16.21	82.39 ± 9.17
	40~49	10	98.90 ± 8.02	108.70 ± 7.80	84.30 ± 3.89
	≥ 50	2	94.50 ± 14.85	105.50 ± 19.09	82.00 ± 2.83
	p-value		0.065	0.170	0.804
Education level	High school	1	87.0	86.0	78.0
	College/University	29	92.34 ± 12.08	98.93 ± 15.93	83.17 ± 7.50
	p-value		0.667	0.431	0.503
Smoking status	Never smoker	13	92.23 ± 14.57	97.85 ± 16.26	83.46 ± 5.92
	Former smoker	6	96.50 ± 9.71	105.00 ± 10.75	84.17 ± 1.94
	Current smoker	11	89.73 ± 9.58	95.73 ± 17.80	81.82 ± 10.65
	p-value		0.550	0.520	0.800
Alcohol consumption	Less than 1 time per month	5	93.40 ± 5.50	104.00 ± 8.69	85.40 ± 5.27
	More than 1 time per month	25	91.92 ± 12.88	97.40 ± 16.81	82.52 ± 7.78
	p-value		0.805	0.404	0.438

†pred: predicted value

다. 음주여부에 대해서는 ‘정기적으로 음주하는 경우’와 ‘음주하지 않는 경우’로 집단을 구분하여 비교해 본 결과, 정기적으로 음주하는 경우가 폐기능이 더 높게 나타났지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(표 7).

3.3.2 고노출군과 대조군의 폐기능 비교

3.3.2.1 고노출군과 대조군 A의 폐기능 비교

각각의 측정 결과를 이용하여 고노출군과 대조군 A의 폐기능을 비교한 결과, 고노출군과 대조군 A 사이

에 FVC(L), FVC(%)와 FEV₁(L), FEV₁(%) 값에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. FVC(%) 평균은 고노출군이 83.84%, 대조군 A가 92.17%, FEV₁(%)는 고노출군이 82.36%, 대조군 A가 98.50%로 대조군 A에 비해 고노출군의 폐기능 측정치가 더 낮게 나타났다. 전체 폐활량 중 첫 1초간 내쉬 수 있는 폐활량에 대한 비율인 FEV₁/FVC(%) 값 역시 대조군 A에 비해 고노출군이 더 낮게 나타났지만 통계적으로 유의한 차이는 없었다(그림 2, 표 8).

Table 7. Mean percent on spirometry parameters of control B group.

Variable		N	FVC pred [†] (%)	FEV ₁ pred (%)	FEV ₁ /FVC (%)
Age	≤39	48	93.88 ± 10.77	91.44 ± 10.29	81.77 ± 5.56
	40~49	78	91.10 ± 11.06	87.30 ± 13.58	78.74 ± 7.96
	≥50	58	87.76 ± 12.30	86.26 ± 14.60	76.38 ± 8.32
	p-value		0.023*	0.108	0.002**
Education level	Middle school	28	91.19 ± 12.85	85.81 ± 15.68	74.79 ± 8.16
	High school	77	91.08 ± 11.40	88.05 ± 11.91	78.74 ± 7.33
	College/University	79	90.32 ± 11.39	88.85 ± 13.64	80.25 ± 7.63
	p-value		0.899	0.584	0.005**
Smoking status	Never smoker	50	90.47 ± 13.51	86.86 ± 15.46	79.02 ± 8.81
	Former smoker	66	90.40 ± 9.84	89.27 ± 12.32	78.79 ± 7.68
	Current smoker	68	91.34 ± 11.73	87.75 ± 12.44	78.62 ± 7.11
	p-value		0.877	0.608	0.962
Alcohol consumption	Less than 1 time per month	52	89.54 ± 11.30	86.41 ± 13.39	78.06 ± 7.35
	More than 1 time per month	132	91.25 ± 11.68	88.70 ± 13.19	79.08 ± 7.93
	p-value		0.368	0.293	0.425

*: p < 0.05, **: p < 0.01, †pred: predicted value

Table 8. Difference of pulmonary function between high exposure and control A group.

	FVC (L)		FVC (%Pred [†])		FEV ₁ (L)		FEV ₁ (%Pred)		FEV ₁ /FVC (%)	
	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A
N	50	30	50	30	50	30	50	30	50	30
Mean	3.14	4.34	83.84	92.17	2.79	3.60	82.36	98.50	81.86	83.00
S.D [‡]	0.60	0.81	13.85	11.91	0.55	0.70	12.51	15.83	8.36	7.43
S.E [§]	0.08	0.15	1.96	2.17	0.08	0.13	1.77	2.89	1.19	1.36
p-value	<0.001**		0.008**		<0.001**		<0.001**		0.540	

** : p < 0.01, †pred: predicted value, ‡S.D: standard deviation, §S.E: Standard error

3.3.2.2 고노출군과 대조군 B의 폐기능 비교

각각의 측정 결과를 이용하여 고노출군과 대조군의 폐기능을 비교한 결과, 대조군 B에 비해 고노출군의 폐기능을 비교한 결과, 대조군 B에 비해 고노출군의 FVC (L), FVC (%)와 FEV₁ (L), FEV₁ (%) 값이 통계적으로 유의한 차이를 보였다. FVC (%) 평균은 고노출군이 83.84%, 대조군 B가 90.77%, FEV₁ (%)는 고노출군이 82.36%, 대조군 B가 88.05%로 대조군 A에 비해 고노출군의 폐기능 측정치가 더 낮게 나타났다. 전체 폐활량 중 첫 1초간 내릴 수 있는 폐활량에 대한 비율인 FEV₁/FVC (%) 값은 대조군 B에 비해 고노출군이 약간 더 높게 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다(그림 3, 표 9).

3.3.2.3 고노출군과 대조군 A, B의 폐기능 비교

고노출군과 대조군 A, B 세 집단의 차이를 비교해 본

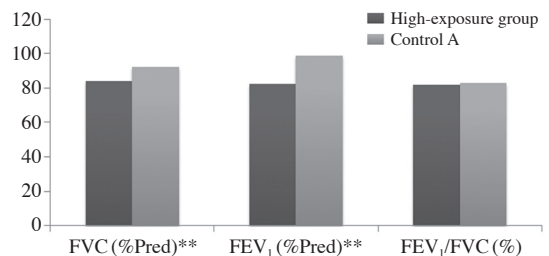


Fig. 2. Difference of pulmonary function between high exposure and control A group.

결과, FVC (L), FVC (%), FEV₁ (L), FEV₁ (%), FEV₁/FVC (%) 다섯 지표 모두에서 통계적으로 유의한 차이를 보였다. FVC (%) 평균은 고노출군이 83.84%, 대조군 A가 92.17%, 대조군 B가 90.77%로 대조군 A가

Table 9. Difference of pulmonary function between high exposure and control B group.

	FVC(L)		FVC(%Pred [†])		FEV ₁ (L)		FEV ₁ (%Pred)		FEV ₁ /FVC(%)	
	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A	High-exposure group	Control A
N	50	184	50	184	50	184	50	184	50	184
Mean	3.41	4.13	83.84	90.77	2.79	3.26	82.36	88.05	81.86	78.79
S.D [‡]	0.60	0.77	13.85	11.57	0.55	0.69	12.519	13.25	8.36	7.77
S.E [§]	0.08	0.06	1.96	0.856	0.08	0.05	1.77	0.98	1.18	0.57
p-value	< 0.001**		< 0.001**		< 0.001**		0.007**		0.015*	

*: p<0.05, **: p<0.01, †pred: predicted value, ‡S.D: standard deviation, §S.E: Standard error

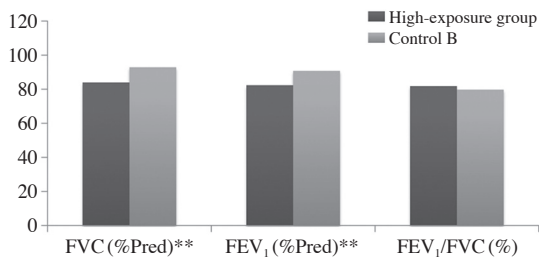


Fig. 3. Difference of pulmonary function between high exposure and control B group.

장 높게 나타났고, FEV₁(%)는 고노출군이 82.36%, 대조군 A가 98.50% 대조군 B가 88.05%로 역시 대조군 A가 가장 높게 나타났다. FVC(%) 및 FEV₁(%)는 대조군 A, B에 비해 고노출군이 통계적으로 유의하게 더 낮은 결과를 나타냈고, FEV₁/FVC(%)는 고노출군이 대조군 A에 비해서는 낮게, 대조군 B에 비해서는 약간 높은 결과를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다(그림 4).

3.3.3 집단 구분과 폐기능의 상관성 분석

3.3.3.1 집단의 구분에 따른 FVC(%)의 변화

고노출군, 대조군 A, 대조군 B를 가변수(dummy variable)화 하여 대조군 A와 B를 각각 기준으로 한 고노출군의 FVC(%) 변화에 대해 알아보고, 폐기능에 영향을 줄 수 있는 변수들에 대해 보정한 후와의 차이를 살펴보았다. 연령, 성별, 키, 체중, 일일 흡연량에 대해 보정 전 결과의 대조군 A에 대한 고노출군의 회귀계수(β) 값이 -8.33, 대조군 B에 대한 고노출군의 회귀계수(β) 값이 -6.93으로 나타나 대조군 A와 B보다 고노출군의 FVC(%)가 낮음을 알 수 있었다. 일일 흡연

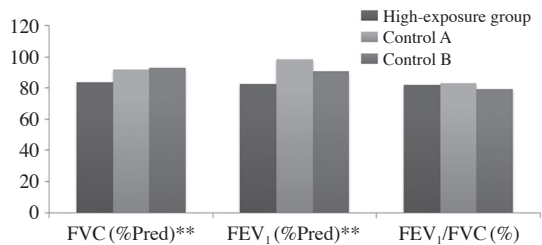


Fig. 4. Difference of pulmonary function among high exposure, control A, B group.

량에 대해서만 보정한 후의 결과의 회귀계수(β) 값은 대조군 A에 대해 -7.84, 대조군 B에 대해 -6.81로 나타났으며, 연령, 성별, 키, 체중, 일일 흡연량에 대해 모두 보정한 후 결과의 회귀계수(β) 값은 대조군 A에 대해 -11.92, 대조군 B에 대해 -6.39로 역시 음의 값을 가졌다. 각각의 변수를 보정함에 따라 회귀식의 설명력이 높아지는 것을 알 수 있었다(표 10).

3.3.3.2 집단의 구분에 따른 FEV₁(%)의 변화

고노출군, 대조군 A, 대조군 B를 가변수(dummy variable)화 하여 대조군 A와 B를 각각 기준으로 한 고노출군의 FEV₁(%) 변화에 대해 알아보고, 폐기능에 영향을 줄 수 있는 변수들에 대해 보정한 후와의 차이를 살펴보았다. 연령, 성별, 키, 체중, 일일 흡연량에 대해 보정 전 결과의 대조군 A에 대한 고노출군의 회귀계수(β) 값이 -16.14, 대조군 B에 대한 고노출군의 회귀계수(β) 값이 -5.70으로 나타나 대조군 A와 B보다 고노출군의 FEV₁(%)이 낮음을 알 수 있었다. 일일 흡연량에 대해서만 보정한 후의 결과의 회귀계수(β) 값은 대조군 A에 대해 -15.69, 대조군 B에 대해 -5.52로 나타났으며, 연령, 성별, 키, 체중, 일일 흡연량에 대

Table 10. Result of multiple linear regression between group and FVC (%).

Group	Unadjusted model			Adjusted model I [‡]			Adjusted model II [§]		
	β^{\dagger}	95% CI [†]	p-value	β	95% CI	p-value	β^{\dagger}	95% CI	p-value
Control A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
High-exposure group	-8.33	-14.38 to -2.28	0.008**	-7.84	-13.92 to -1.76	0.012*	-11.92	-18.71 to -5.14	0.001**
R-square	0.088			0.106			0.227		
F	7.504 (P=0.008)			4.582 (P=0.013)			3.575 (P=0.004)		
Control B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
High-exposure group	-6.93	-10.73 to -3.13	<0.001**	-6.81	-2.96 to -10.66	0.001**	-6.39	-10.18 to -2.61	0.001**
R-square	0.053			0.053			0.136		
F	12.929 (P<0.001)			6.523 (P=0.002)			5.978 (p<0.001)		

*: p<0.05, **: p<0.01, [†] β : regression coefficient, [†]CI: confidence interval, [‡]Adjusted for mean number of cigarettes/day, [§]Adjusted for age, gender, height, weight, mean number of cigarettes/day

Table 11. Result of multiple linear regression between group and FEV₁ (%).

Group	Unadjusted model			Adjusted model I [‡]			Adjusted model II [§]		
	β^{\dagger}	95% CI [†]	p-value	β	95% CI	p-value	β^{\dagger}	95% CI	p-value
Control A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
High-exposure group	-16.14	-22.50 to -9.78	<0.001**	-15.69	-22.09 to -9.28	<0.001**	-19.79	-27.21 to -12.37	0.001**
R-square	0.246			0.258			0.309		
F	25.502 (P<0.001)			13.414 (P<0.001)			5.452 (P<0.001)		
Control B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
High-exposure group	-5.70	-9.81 to -1.58	0.007**	-5.52	-9.69 to -1.35	0.010*	-4.63	-8.85 to -0.41	0.032*
R-square	0.031			0.032			0.065		
F	7.435 (P=0.007)			3.857 (P=0.022)			2.615 (P=0.018)		

*: p<0.05, **: p<0.01, [†] β : regression coefficient, [†]CI: confidence interval, [‡]Adjusted for mean number of cigarettes/day, [§]Adjusted for age, gender, height, weight, mean number of cigarettes/day

해 모두 보정한 후 결과의 회귀계수(β) 값은 대조군 A에 대해 -19.79, 대조군 B에 대해 -4.63으로 역시 음의 값을 가졌다. 각각의 변수를 보정함에 따라 회귀식의 설명력이 높아지는 것을 알 수 있었다(표 11).

3.3.3.3 집단의 구분에 따른 FEV₁/FVC (%)의 변화

고노출군, 대조군 A, 대조군 B를 가변수(dummy variable)화 하여 대조군 A와 B를 각각 기준으로 한 고

노출군의 FEV₁/FVC (%) 변화에 대해 알아보고, 폐기능에 영향을 줄 수 있는 변수들에 대해 보정한 후와의 차이를 살펴보았다. 연령, 성별, 키, 체중, 일일 흡연량에 대해 보정 전 결과의 대조군 A에 대한 고노출군의 회귀계수(β) 값이 -1.14, 대조군 B에 대한 고노출군의 회귀계수(β) 값이 3.07로 대조군 A보다 고노출군의 FEV₁/FVC (%)이 낮고, 대조군 B보다는 높음을 알 수 있었다. 하지만 통계적 유의성은 보이지 않았다. 일일

Table 12. Result of multiple linear regression between group and FEV₁/FVC (%).

Group	Unadjusted model			Adjusted model I [§]			Adjusted model II [¶]		
	β^{\ddagger}	95% CI [†]	p-value	β	95% CI	p-value	β^{\ddagger}	95% CI	p-value
Control A	-	-	-	-	-	-	-	-	-
High-exposure group	-1.14	-4.83 to 2.55	0.540	-0.95	-4.68 to 2.78	0.612	0.49	-3.89 to 4.86	0.825
R-square	0.005			0.013			0.057		
F	0.378 (P=0.540)			0.501 (P=0.608)			0.742 (P=0.617)		
Control B	-	-	-	-	-	-	-	-	-
High-exposure group	3.07	0.59 to 5.53	0.015*	3.08	0.56 to 5.59	0.017*	4.04	1.58 to 6.49	0.001**
R-square	0.025			0.025			0.123		
F	5.952 (P=0.015)			2.963 (P=0.054)			5.289 (P<0.001)		

*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$, β : regression coefficient, \dagger CI: confidence interval, \S Adjusted for mean number of cigarettes/day, \P Adjusted for age, gender, height, weight, mean number of cigarettes/day

흡연량에 대해서만 보정한 후의 결과의 회귀계수(β) 값은 대조군 A에 대해 -0.95, 대조군 B에 대해 3.08로 나타났으며, 연령, 성별, 키, 체중, 일일 흡연량에 대해 모두 보정한 후 결과의 회귀계수(β) 값은 대조군 A에 대해 0.49, 대조군 B에 대해 4.04로 나타났다. 각각의 변수를 보정함에 따라 회귀식의 설명력이 높아지는 것을 알 수 있었다.

4. 고 찰

자동차에서 발생하는 대기오염물질은 인체의 건강에 심각한 영향을 미친다. 그 중에서도 특히 경유 엔진 차량에서 배출되는 미세먼지는 더욱 그 관련성이 큰 것으로 알려져 있다(Sheesley *et al.*, 2009; Hall and Dickens, 2000). 많은 역학연구에서 대기 중 미세먼지와 호흡기 건강영향의 관련성에 대해 언급하고 있으며(Moon *et al.*, 2009; Kim *et al.*, 2006), 대기 중 미세먼지에 장기간 노출되는 것이 폐기능 저하에 영향을 줄 수 있다는 선행 연구결과가 있다(Rosenlund, 2009; Rundell *et al.*, 2008). 이를 토대로 본 연구에서는 경유 차량 배출물질에 노출될 가능성이 높은 고속버스 터미널 및 화물트럭 터미널 근무자들과 일반 사무직 근로자들의 폐기능 검사와 각 근무지 주변의 환경 농도 측

정을 수행하여 경유 차량 배출물질에 고농도로 노출되는 것이 고속버스 터미널 및 화물트럭 터미널 근무자들의 폐기능 저하에 영향을 미치는지 알아보았다. 또한 고노출군의 폐기능과 대한민국 평균치와의 비교를 위하여 국민건강영양조사(2008) 자료를 활용하여 대조군을 추가적으로 선정, 비교함으로써, 연구의 신뢰도를 높이고자 하였다. 측정된 근무지 주변 환경의 미세먼지 농도는 PM-10의 경우 고노출군 근무 지역이 $191.89 \pm 33.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조군 A 근무 지역이 $45.87 \pm 16.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 두집단 간 차이를 보였다. PM-2.5의 경우 고노출군의 근무 지역이 $60.82 \pm 17.40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 대조군 A 근무 지역이 $27.68 \pm 5.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 고노출군의 주변 환경의 PM 농도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 이러한 환경노출평가의 결과는 측정시기와 간격에 따라 크게 차이가 나타날 수 있으나 본 연구에서는 주요 활동시간에 집중하여 보수적 수준의 노출수준을 고려하였으며, 추후 시간적 공간적 불확실성을 고려할 필요가 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서 사용된 폐활량 측정 방법은 폐기능 검사 중 가장 많이 사용되는 방법으로 피검자가 시간에 따라 들어 마시고 내쉬는 공기량과 기류속(flow)을 측정하는 검사로서 혈압을 측정하는 것과 같이 일반 건강 진단을 위한 검사 중 하나이다. 고노출군과 대조군 A의 폐기능을 비교한 결과 FVC(%), FEV₁(%), FEV₁/FVC(%) 세 항목 모두에서

대조군 A에 비해 고노출군의 폐기능이 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다($p < 0.01$). 고노출군과 대조군 B의 폐기능을 비교한 결과 FVC(%), FEV₁(%)는 대조군 B에 비해 고노출군의 폐기능이 통계적으로 유의하게 낮게 나타났다($p < 0.01$). FEV₁/FVC(%)는 고노출군이 대조군 B에 비해 약간 높게 나타났으나, 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p < 0.062$). 고노출군의 근무 기간에 따른 폐기능의 관련성을 단순회귀분석을 통해 알아본 결과, 근무 개월 수에 따라 FVC(%), FEV₁(%), FEV₁/FVC(%)에 대한 회귀계수(β) 값이 음수로 나타났지만, 통계적으로 유의한 결과는 아니었다. 대조군 A와 B를 기준으로 하여 고노출군의 폐기능 변화를 알아보기 위해 다중회귀분석을 실시한 결과, 대조군 A 및 B와 비교하여 고노출군의 폐기능이 낮아지는 것을 알 수 있었다. 흡연량, 성별, 연령, 키, 몸무게를 보정한 경우 회귀식의 설명력이 높아지고 회귀계수(β)의 절대값이 조금씩 작아지는 경향을 보였는데, 이는 보정된 독립변수들의 영향을 받아서인 것으로 생각된다. 그러나 대조군 A에 대한 고노출군의 FVC(%) 변화에 대한 회귀계수(β) 값이 보정 전보다 보정 후가 오히려 크게 나타나는 결과를 보였는데, 이는 보정된 독립변수들이 FVC(%)에 영향을 주지 않기 때문인 것으로 판단된다. 고노출군의 폐기능 저하 위험에 대한 교차비를 로지스틱 회귀분석을 통해 알아본 결과, 경유 차량 배출물질에 노출되지 않는 집단에 비하여 노출되는 집단의 FVC(%) 저하 위험이 2.23배(95% CI: 1.09~4.54), FEV₁(%) 저하 위험이 2.19배(95% CI: 1.11~4.31) 높은 결과를 보였으며, FEV₁/FVC(%)는 0.49배(95% CI: 0.13~1.85)로 나타났으나 이는 통계적으로 유의한 결과는 아니었다. 이러한 경유차량 미세먼지와 폐기능의 상관성을 판단하는데 있어 본 연구에서는 지역샘플을 사용하고 대상자의 샘플사이즈가 작아 전체적인 설명력이 많이 낮은 것으로 나타났으며 이는 추후 연구에서 보완되어야 할 것으로 판단된다.

본 연구에서 몇가지 제한점이 있다. 폐기능에 영향을 줄 수 있는 요인 중 하나인 흡연 기간과 금연자의 지난 흡연량에 대한 변수를 통제하지 못하였다. 하지만 연구 대상자의 일반적 특성 분석 결과 고노출군과 대조군의 흡연 비율이 대체적으로 비슷하게 구성되어 있었고, 회귀분석 시 ‘현재 흡연하는 경우’에 일일 흡연량에 대한 값을 사용함으로써 제한점을 보완하고자 하였다.

또한, 대기 환경 농도 비교를 위한 PM 농도 측정 값의 데이터 수가 너무 적고($n=5$), 고노출군 및 대조군 A의 측정 방법은 중량 분석법으로 동일하지만, 대조군 B의 측정 방법이 베타선 흡수법으로 다르다. 중량 분석법은 시료채취 전후 항온 항습과정을 거친 후 질량을 측정하지만 베타선 흡수법에서는 이런 과정을 거치지 않고 여과지 위에 쌓이는 입자의 질량을 직접 측정하기 때문에 먼지가 흡수하는 수분에 의한 측정오차가 발생할 수 있다. 아울러, 개인별 폐기능에 대한 노출자료를 개인노출평가를 통해 평가하지 못하고 해석하여 이에 대한 직접적 인과관계를 규명하지 못하였다.

고노출군과 대조군 A의 환경농도 측정 및 폐기능 측정은 2011년 9월부터 12월 사이에 수행되었지만, 대조군 B의 경우 2008년에 수행된 국민건강영양조사 자료를 사용하였다. 그러나 본 연구에서 사용된 국민건강영양조사 자료가 현재 이용 가능한 폐기능 측정 자료 중 가장 최신자료이고, 우리나라의 전 국민을 모집단으로 하여 체계적으로 표본을 추출하여 대표성 및 신뢰성을 확보하고 있으므로 selection bias를 최소화할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

감사의 글

본 연구는 오토오일위원회(한국자동차환경협회)의 “자동차에 의한 주요 대기오염물질노출인구를 고려한 위해성 평가 연구” 사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

References

- Andersen, Z.J., M. Hvidberg, S.S. Jensen, M. Ketzel, S. Loft, M. Sørensen, A. Tjønneland, K. Overvad, and O. Raaschou-Nielsen (2010) Chronic Obstructive Pulmonary Disease and Long-Term Exposure to Traffic-Related Air Pollution: A Cohort Study, *American Journal of Respiratory Critical Care Medicine*, 183(4), 455-461.
- Daigle, C.C., D.C. Chalupa, and F.R. Gibb (2003) Ultrafine particle deposition in humans during rest and exercise, *Inhalation Toxicology*, 15, 539-552.

- Hall, D.E. and C.J. Dickens (2000) Measurement of the numbers of emitted gasoline particles: genuine or artefact? Society of Automotive Engineers. paper No 2000-01-2957.
- Jacqueline, S. (2003) The public health impact of particulate matter. Sierra Club of Canada.
- Kim, S.H., J.W. Kim, J.E. Kim, B.C. Sohn, J.H. Kim, C.H. Lee, S.H. Jang, and C.K. Lee (2006). Pulmonary Function and Respiratory Symptoms of Municipal Fire Officers in Busan, Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine, 18(2), 103-111.
- Kleeman, M.J., J.J. Schauer, and G.R. Cass (2000) Size and composition distribution of fine particulate matter emitted from motor vehicles, Environmental Science and Technology, 34, 1132-1142.
- McCreanor, J., P. Cullinan, M.J. Nieuwenhuijsen, J. Stewart-Evans, E. Malliarou, L. Jarup, R. Harrington, M. Svartengren, I. Han, P. Ohman-Strickland, K.F. Chung, and J. Zhang (2007) Respiratory Effects of Exposure to Diesel Traffic in Persons with Asthma, The New England Journal of Medicine, 357, 2348-2358.
- Moon, J.Y., S.Y. Kim, K.S. Park, H. Kim, C.W. Kang, H.S. Park, S.H. Cho, and Y.C. Hong (2009). The Effects of Particulate Matter on Respiratory Function of Schoolchildren in Jeju: A Panel Study, Korean Journal of Occupational and Environmental Medicine, 21(3), 218-224.
- Rosenlund, M. (2009) Traffic-related air pollution in relation to respiratory symptoms, allergic sensitisation and lung function in schoolchildren, Thorax, 64, 573-580.
- Rundell, K.W., J.B. Slee, R. Caviston, and A.M. Hollenbach (2008) Decreased lung function after inhalation of ultrafine and fine particulate matter during exercise is related to decreased total nitrate in exhaled breath condensate, Inhalation Toxicology, 20, 1-9.
- Sheesley, R.J., J.J. Schauer, E. Garshick, F. Laden, T.J. Smith, A.P. Blicharz, and J.T. Deminter (2009) Tracking personal exposure to particulate diesel exhaust in a diesel freight terminal using organic tracer analysis, Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology, 19(2), 172-186.
- Sydbom, A., S. Blomberg, N. Parnia, N. Stenfors, T. Sandstrom, and S.E. Dahlen (2001) Health effects of diesel exhaust emissions, European Respiratory Journal, 17, 733-746.