

차량 운전자의 공기오염물질 잠재적 노출 및 차량용 공기청정기에 의한 제어

김대원 · 김문현* · 양원호**†

대구가톨릭대학교 환경과학과, *대구대학교 환경공학과, **대구가톨릭대학교 산업보건학과

Potential Exposure to Air Pollutants for Driver and Its Control Using Commercial Air Cleaning Device Inside Vehicle

Dae-Won Kim · Moon-Hyeon Kim* · Won-Ho Yang**†

Department of Environmental Science, Catholic University of Daegu

*Department of Environmental Engineering, Daegu University

**Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu

(Received Oct. 4, 2004/Accepted Nov. 16, 2004)

ABSTRACT

Vehicle occupant exposure to air pollutants has been a subject of concern in recent years because of higher levels of air pollutants inside gasoline or diesel-using vehicle, comparing to the surrounding atmosphere. Contrary to previous studies, fuel of vehicles operated in this study was liquefied petroleum gas (LPG). This study examined the potential exposure and removal efficiency of selected volatile organic compounds (VOCs), nitrogen dioxide (NO₂) and respirable suspended particle (RSP) by commercial air cleaning device inside vehicle under different ventilation conditions. Vehicle concentrations inside of benzene, toluene, m,p-xylene, NO₂ and RSP were lower under the low ventilation condition. This was indicated that outdoor air pollutants could affect the vehicle air quality inside in case metropolitan cities such as Daegu. The urban vehicle concentrations inside of benzene, toluene, m,p-xylene, NO₂ and RSP with air cleaning device were higher than those without air cleaning device. This means that the use of air cleaning device equipped with activated carbon filter, which was used in this study, in the interior of vehicles could be expected to reduce the vehicle occupants exposure to air pollutants effectively. In batch type reactor of laboratory scale, removal efficiencies of air cleaning device used were 97.0%, 95.7%, 94.6% and 85.5% respectively in benzene, toluene, m,p-xylene and NO₂.

Keywords: vehicle, exposure, ventilation, VOCs, NO₂, RSP

I. 서 론

현대사회는 자동차라는 문명의 이기를 이용하면서 편리 및 생활을 영위해 나가고 있다. 자동차는 우리 인간의 이동을 보다 편리하고 신속하게 해줄 뿐만 아니라 실제로 인류문명의 발전을 촉진 및 증가시켰다. 그러나 최근 자동차 이용의 증가는 특히 대도시 대기오염의 문제를 야기시키고 있다.¹⁾ 서울, 부산, 대구 등 한국의 대도시에서 차량에 의한 대기오염의 영향은 70~80%를 차지하며, 이찬형(2003)의 연구에 의하면 대구지역에서

측정된 부유분진 중 유해 중금속인 납(Pb)과 크롬(Cr) 농도는 공단지역보다 차량의 운행이 많은 상업지역이 높았다.²⁾ 대기중 휘발성 유기화합물(VOCs) 농도 상승에 가장 큰 영향을 주는 인자는 '화석연료의 연소'이며, 특히 도심지역은 차량에서 발생하는 공기오염물질은 도로변 근로자 예를 들면 도로 청소원, 교통경찰 등에 건강영향을 야기할 가능성이 높은 것으로 보고되었다.^{3,4)} 특히 어린이의 경우 차량의 배기가스 노출되었을 경우 암발생의 상대위험비(relative risk)가 3.8로 나타났으며, 기관지 계통의 악영향을 일으킬 가능성이 있다.^{5,6)}

Bae 등(2004)의 연구에 의하면 서울시의 도로변의 경우 호흡성분진(RSP) 138.7 µg/m³, 이산화질소(NO₂) 58.1 ppb, 벤젠(benzene) 8 µg/m³, 톨루엔(toluene) 160 µg/m³, 자일렌(m/p-Xylene) 182 µg/m³로 도로변의 공기

†Corresponding author : Department of Occupational Health, Catholic University of Daegu
Tel: 82-53-850-3739, Fax: 82-53-850-3736
E-mail: whyang@cu.ac.kr

질 상태가 상대적으로 높음을 보고하였다.⁷⁾ 대구지역에서 측정된 VOCs의 농도 수준은 benzene 0.3~8.9 ppb, toluene 0.53~117.0 ppb이었고, 출퇴근 시간대에 최고농도를 나타냈으며 동고하저 형태의 계절별 변동양상이 관찰되었다.⁸⁾

일반 대기환경과 비교할 때 차량 실내의 공기오염물질 농도는 실외 대기오염물질 농도보다 높은 것으로 보고되고 있다.⁹⁾ 차량 문이 4개인 세단(sedan) 2대를 이용하여 측정된 VOCs, 일산화탄소(CO)와 NO₂의 차량 실내 농도는 차량 실외보다 높았으며, 그 원인으로 차량의 배기시스템, 엔진 및 카뷰레이터(carburetor), 차량 실내 내장재 때문이었다.¹⁰⁾ 차량 관련 공기오염물질의 건강위해성(health risk) 때문에 최근 자동차 주행시 운전자 및 탑승자의 공기오염물질에 대한 노출(exposure) 및 건강위해성이 관심을 받고 있다.¹¹⁾ 덴마크에서 직업 운전자를 대상으로 연구된 것에 의하면 폐암의 위해성이 증가되며 10년 이상 일했을 때는 교차비(odds ratios)가 3.0인 것으로 나타났다.¹²⁾ 택시 운전자와 대중교통 버스 운전자의 VOCs 개인노출을 실시한 연구에 의하면, 택시 운전자가 버스 운전자에 비하여 상대적으로 높게 노출되었고 이것은 운전자의 위치 즉 높이에 따른 결과이며, 또한 디젤 및 가솔린 이용 차량은 액화석유가스 이용 차량보다 높게 노출되었다.¹³⁾ 미국 보스턴(Boston)에서 실시한 연구에 의하면 차량에 히터(heater)를 사용할 때는 더 높은 차량 실내의 VOCs 농도를 나타내었으며 이것은 히터 사용시 차량 배출가스의 유입 또는 실외 대기오염물질의 유입인 것으로 조사되었다.¹⁴⁾ 따라서, 다른 인구집단에 비해 공기오염물질에 고노출 그룹(high-exposure group)으로 생각할 수 있는 자동차 운전자의 건강위해성을 감소시킬 수 있는 대안으로 공기청정기의 설치, 환기량 감소, 공기질 조절장치(Air Quality System, AQS)의 이용 필요성이 대두되었다.¹⁵⁾

본 연구는 VOCs, NO₂ 및 미세먼지(fine particle)를 대상으로 운전자 및 탑승자의 노출정도를 차량의 환기 상태에 따라 비교하였고, 상업용 공기청정기 사용시 차량 실내 공기오염물질의 정화 수준을 분석하여 차량 외기의 영향 정도, 공기청정기의 이용가능성과 효율을 연구하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상 및 측정

H社의 차량연식(1996년)이 같고 주행거리가 약 100,000~110,000 킬로미터(km)이며 자동변속기인 동일

차종 2대를 하루 6~8시간 동안 최대한 근거리에서 동일하게 대구시 중심가를 중심으로 운전하였다. 두 차량은 모두 액화석유가스(liquefied petroleum gas: LPG)를 연료로 사용했으며, 차량내 AQS는 장착되지 않았다. 총 4일 동안 하루마다 다른 조건 상태에서 대상 공기오염물질인 VOCs(benzene, toluene, m,p-xylene), NO₂ 및 RSP(respirable suspended particle)을 측정하였다. 세부적으로 설명하면, 1일에는 내부순환 모드(mode)에서 한 차량은 창문을 모두 닫고 다른 한 차량은 뒤 좌석 창문을 반정도(창문높이: 20 cm) 개방하였다. 2일에는 두 차량 모두 외부순환으로 창문은 모두 닫고 한 차량만 공기청정기를 작동하도록 하였다. 3일에는 두 차량 모두 내부순환으로 창문은 모두 닫고 한 차량만 공기청정기를 작동하였다. 4일에는 내부순환으로 한 차량은 공기청정기가 없는 상태에서 앞, 뒤 창문을 완전히 개방하고 다른 한 차량은 모든 창문을 닫고 공기청정기를 작동하도록 하였다. 측정기간은 2003년 7월에 수행하였다.

VOCs은 3M OVM 수동식 시료채취기 #3500을 이용하였으며 분석은 2 ml/CS₂로 탈착하여 GC/MS를 이용하여 분석하였다. GC/MS 분석 조건은 초기 온도 31°C에서 2분간 머물도록 하였으며, 100°C까지 분당 5°C씩 승온시키고 1분간 머물도록 하였다. VOCs 농도는 측정시간, GC/MS(HP 6890 Plus, Hewlett Packard, USA)로 정량된 물질의 양(μg), 그리고 계산 상수를 이용하여 계산하였다. 탈착효율은 3M OVM 수동식 시료채취기의 분석가이드에서 제시한 값을 이용하였다.¹⁶⁾ NO₂의 농도측정은 수동식 시료채취기를 이용하였다.¹⁷⁾ 수동식 시료채취기 안에 셀룰로오스 여지의 TEA(triethanolamine) 용액에 NO₂가 흡수되며, sulfanilic acid 5 g, phosphoric acid (85%) 50 ml/과 NEDA(N-(1-Naphtyl) ethylene-diamine dihydrochloride, 98%) 0.05 g을 이용하여 color reagent(azodye-forming) 1 l를 제조하였다. 수동식 시료채취기는 NO₂가 존재하지 않는 반응조(chamber)에서 분해하여 셀룰로오스 여지를 시험관(16×100 mm)에 넣고, color reagent 10.0 ml를 시험관에 주입하였다. 챔버는 실리카겔, 활성탄, purafil filter(과망간산 칼륨, 활성 알루미늄과 활성탄으로 합성된 물질)를 연속으로 연결하여 대기 중 공기를 반응기로 유입시켜 NO₂ 포함한 공기오염물질이 없는 상태에서 분석하였다. NO₂ 농도 계산식에 이용된 물질 전환계수 값은 0.10 cm/sec를 이용하였으며, 정량분석은 spectrophotometer(SHIMADZU UV-1601, Japan)를 이용하여 545 nm 파장에서 측정하였다.¹⁸⁾ RSP의 채취를 위하여 cut-point가 4.0 μm인 알루미늄 사이클론

(Cyclone, Model 225-01-02, SKC, USA)을 이용하였다. 자동유량계를 이용하여 유량을 2.5 l/min으로 조정하였고, 테플론 필터(PTFE filter, 0.45 μm)를 부착하여 사용하였다. 채취한 필터는 시료채취 전·후에 48시간 동안 데시케이터에 보관하여 일정한 습도를 유지되도록 하였고, 10⁻⁶g까지 측정할 수 있는 미량저울(Sartorius, ME 5F, Germany)을 이용하여 중량을 분석하였다. 중량분석시 정전기의 영향을 방지하기 위하여 정전기 제거장치를 이용하였다.¹⁹⁾ 각 측정 기구는 운전자 머리 위부분의 태양광선 차단장치에 고정하여 운전자의 노출을 최대한 반영할 수 있도록 하였다.

2. 공기청정기 효율성 실험

반응장치는 회분식 반응조(batch type)를 Fig. 1과 같이 제작하여 공기오염물질의 기지(known concentration) 농도를 실험 반응조(reactor)에 주입하고 동시에 공기정화장치를 작동시켜 공기오염물질의 제거 효율을 측정하였다. 대상 공기오염물질은 VOCs 중 benzene, toluene, xylene 및 NO₂이었다.

반응 실험조는 아크릴로 제작되었으며 체적은 0.5 m³ 이었고, 미세주사기(micro-syringe)를 이용하여 benzene, toluene, xylene의 농도를 각각 100 ppm으로 계산하여 주사 및 증기화(vaporization) 하였으며, 반응 실험조의 완전혼합을 위하여 유속조정이 가능한 팬(fan) 2개를 설치하였다. 팬은 약 10분 동안 고속으로 작동시키고 그 후에 공기청정기를 작동시켜 농도를 측정하였다. 이산화질소(NO₂)는 질산납(Pb(NO₃)₂)을 이용하여 고온(450°C 이상)에서 분해시켜 발생시켰고, 농도는 100 ppb로 조작하였다.²⁰⁾ 질산납은 고온에서 산화연(2PbO)과 NO₂로 분해(2Pb(NO₃)₂ = 2PbO + 4NO₂ + O₂)되기 때문에 산화연 입자의 비산을 막기 위하여 Glass-wool를 도가니 위부분에 고정하였다. 시간이 지남에 따라 공기오염물질의 감소율을 측정하여 그 효율성을 분석하였다. 또한 매 실험 전에 Smoke Test 기구를 이용하여 반응 실험조가 완전하게 밀폐상태를 유지하도록 하였다. 차량용 공기청정기 제거효율의 기지농도 계산식은 다음과 같으며, 공실험(blank) 실험과 비교 후 효율

을 측정하였다.

$$C = \frac{22.4 \times 10^6 \left(\frac{T}{273K} \right) \left(\frac{760 \text{ mmHg}}{P} \right) \rho V_L}{VM}$$

여기서, C: concentration(ppm), T: absolute temp(K), P: system pressure(mmHg), W: weight(g), V: volume of the system(l), M: molecular weight(g/mol), ρ: density(g/ml), and VL: the liquid volume(ml)

대상 공기오염물질 측정방법은 VOCs(benzene, xylene, toluene) 경우 직독기(RAE-IAQ, Rae Systems, USA)을 이용하였다. 검출 범위는 실내공기질에 적합한 0.01~999 ppm이고 최저검출한계(Limit of Detection)는 0.01 ppm이었다. 이산화질소는 NO/NO_x Analyzer (Thermo Electron Co., Model 14B/E)로 대기 및 실내 공기중의 NO_x 가스 농도 연속 모니터링 대기오염 측정망 구성에 사용되는 측정기구이다. 본 실험에서 온도 및 습도를 실내환경에 준하도록 온도는 20~22°C 범위, 습도는 45~65%가 되도록 조절하였다.

III. 연구결과 및 고찰

차량용 공기청정기는 차내에서 발생하는 각종 먼지, 담배연기, 대기오염물질 등을 제거시켜주는 시스템으로 활성탄(activated carbon) 필터를 내장하였다. 고성능 활성탄 필터의 크기는 226 mm×64 mm×40 mm이며, 필터 내부에 고효율의 활성탄이 혼합되어 있어 저장하여 입자상물질과 가스상물질을 동시에 제거할 수 있도록 구성되어있다. 필터에 의한 압력감소는 23 Pa~40 Pa 정도이며, 유량 500 l/min이었다.

1. 차량 실내의 공기오염물질 농도

1일에 두 차량은 내부순환 모드에 환기량을 변화시킨 상태로, B 차량은 뒤좌석의 창문을 반(20 cm) 정도 개방하였을 때 창문을 닫은 차량 A에 비해서 약 RSP 1.7배, NO₂ 1.1배, benzene 2.1배, toluene 1.4배, m,p-xylene 1.6배를 나타내어 차량운행이 많은 지역에서 창문을 개방하여 환기를 시키는 것은 차량 실내 공기질을 더욱 오염시킬 수 있는 것으로 생각할 수 있다(Table 1). 4일에 실시한 결과에 의하면, A 차량은 창문을 모두 닫고 공기청정기를 작동시켰고(최상조건) B 차량은 모든 창문을 완전히 개방하고 공기청정기를 작동시키지 않았을 때 약 RSP 2.2배, NO₂ 1.3배, benzene 5.3배, toluene 3.5배, m,p-xylene 3.1배를 나타내어 차

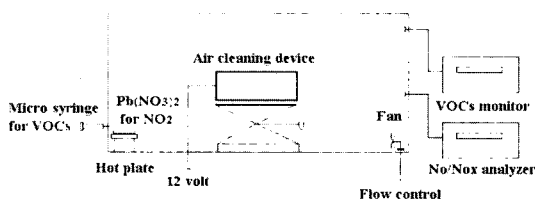


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

량 실외의 대기오염상태가 차량 실내공기질에 중요한 영향 요인임을 나타내었다. 이 결과는 Jo와 Park(1999)은 저환기량 상태에서 차량실내의 benzene 농도가 유의하게 실외보다 높다는 발표와 상반된 모습을 보여주고 있다.²¹⁾ 이것은 차량 사용 연료의 차이 때문일 것으로 생각하며 기술된 또는 디젤 차량과 달리 LPG 차량에서 발생하는 오염물질의 수준이 낮아 그 만큼 차량 실내로 유입되는 정도가 낮아질 수 있기 때문이다.¹⁰⁾ 또한 여름철 높은 외기 환기량은 차량 실내에서의 VOCs 노출을 감소시킬 수 있음을 권고하였지만, 이것은 차량 실외 공기오염 정도가 낮을 때 적절하며 대도시 도로의 대기오염 상태가 높을 경우에는 외기로 환기하는 것이 적절하지 않은 것으로 생각한다.

2일과 3일에는 모두 창문을 닫고 각각 외부순환과 내부순환 모드에서 A 차량은 공기청정기를 작동시켰고 B

차량은 작동시키지 않았다. 외부순환의 경우 차량 실외 대기오염물질의 유입 또는 차량의 배기시스템에서 발생된 오염물질의 투과(penetration) 유입 때문에 RSP를 제외한 모든 공기오염물질에서 B 차량이 A 차량보다 농도가 높았다. 이 결과는 차량용 공기청정기가 효율적으로 공기오염물질을 제어하는 것으로 볼 수 있다. 내부순환의 경우 B 차량/A 차량의 비는 RSP를 제외하고 외부순환 보다 낮았으며 마찬가지로 공기청정기가 효율적으로 작동하고 있음을 보여주고 있다. 3일 RSP의 B 차량/A 차량의 비가 5.05를 나타낸 것은 A 차량에 운전자 1명이었으나, B 차량에는 운전자와 탑승자 2명이 있었기 때문에 사람에게 의한 'personal cloud'가 영향을 주었을 것으로 판단한다.²²⁾

본 실험에서 차량내 공기청정기는 공기오염물질을 효과적으로 제어하여 운전자 및 탑승자에게 노출을 감소

Table 1. Measured VOCs, NO₂ and RSP concentrations inside vehicle according to different ventilation condition and installation of air cleaning device

Vehicle	RSP ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ (ppb)	VOCs (ppb)			Note	
			Benzene	Toluene	m, p-Xylene		
1 day	A	163.9	35.62	4.3	69.6	6.6	<ul style="list-style-type: none"> ■ Internal circulation ■ Driving distance (km) - A: 121.2 / B: 121.5
	B	270.2	39.58	9.1	99.8	10.4	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ventilation - A: window closed - B: rear window half opened
	B/A	1.65	1.11	2.12	1.43	1.58	
2 day	A	89.1	36.17	3.6	25.4	4.6	<ul style="list-style-type: none"> ■ External circulation ■ Driving distance (km) - A: 388.1 / B: 401.4 모든
	B	94.2	39.8	10.5	61.4	13.1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ventilation - A: window closed - B: window closed
	B/A	1.06	1.10	2.91	2.42	2.88	<ul style="list-style-type: none"> ■ Air cleaning device - A: on / B: off
3 day	A	24.9	32.15	3.2	31.5	5.9	<ul style="list-style-type: none"> ■ Internal circulation ■ Driving distance (km) - A: 104.3 / B: 104.8
	B	125.7	33.92	6.2	51.5	11.6	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ventilation - A: window closed - B: window closed
	B/A	5.05	1.06	1.93	1.63	1.96	<ul style="list-style-type: none"> ■ Air cleaning device - A: on / B: off
4 day	A	56.5	34.25	1.8	28.5	3.9	<ul style="list-style-type: none"> ■ Internal circulation ■ Driving distance (km) - A: 141.3 / B: 138.1
	B	123.6	43.87	9.5	98.6	12.1	<ul style="list-style-type: none"> ■ Ventilation - A: window closed - B: window opened
	B/A	2.19	1.28	5.28	3.46	3.10	<ul style="list-style-type: none"> ■ Air cleaning device - A: on / B: off

시킬 수 있는 것으로 나타났다. 특히 차량의 창문을 열었을 때 도로변 대기오염물질이 창문을 통하여 차량 실내를 오염시킬 가능성이 큰 것으로 나타나 그 만큼 대도시 도로에서 대기오염문제가 심각한 것으로 생각할 수 있다. 기존 연구에서 가솔린 또는 디젤 차량의 경우 배기시스템에서 차량 실내의 유입은 차량 실내공기질을 차량 실외의 대기오염보다 더욱 심각하게 할 수 있는 것을 고려하면 청정연료인 LPG의 사용은 대기오염뿐만 아니라 운전자 개인노출을 감소시킬 수 있는 것으로 생각할 수 있다. 또한 차량의 환기감소는 운전자 및 탑승자에 의한 이산화탄소(CO₂)의 증가와 산소(O₂)의 감소를 야기시킬 수 있으므로,²³⁾ 오염된 외부 유입량을 감소하기 위해 환기량을 줄이는 것과 동시에 차량용 저유량 산소공급기 등의 설치는 효과적인 가능성이 있다.

2. 공기청정기 효율실험

본 연구에서 차량용 공기청정기의 공기오염물질 제거 효율을 정량화하기 위해 실험실 수준의 회분식 반응조 제작하여 VOCs 중 benzene, toluene, xylene 대상으로 공기청정기에 의한 감소율을 실험하였다. 공기청정기에 의한 제거율은 각각 5회씩 실험에 의하면 10분 동안 평균적으로 benzene 97.0±3%, toluene 95.7±4%, xylene 94.6±4%를 나타내어 VOCs 제거에 매우 효율적 이었다(Fig. 2). VOCs와 같은 방법으로 실험한 NO₂의 제거율은 5회 실험에 의하면 10분 동안 평균적으로 85.5±5%의 제거율을 나타내어 효과적인 제어 기능을 보였다(Fig. 3). 앞서 차량에서 직접 실험한 결과와 차이를 보이는 것은 차량에 설치된 공기청정기는 뒤 좌석 뒤쪽에 위치하기 때문에 효율성이 감소하기 때문 일 것으로 생각한다.

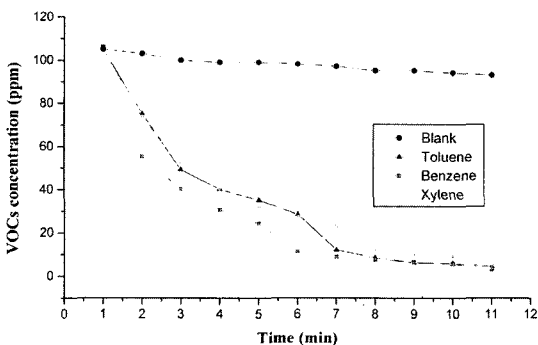


Fig. 2. Removal efficiency of benzene, toluene and xylene by means of air cleaning device.

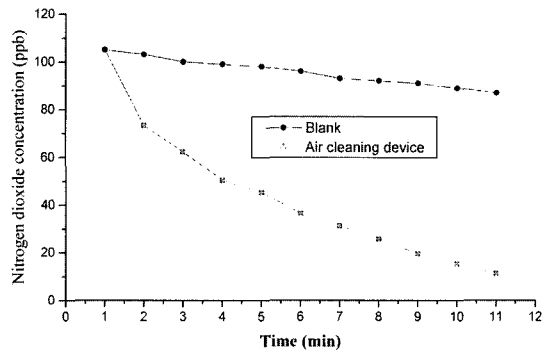


Fig. 3. Removal efficiency of nitrogen dioxide by means of air cleaning device.

IV. 결 론

본 연구는 현대 생활의 필수품이 되고 있는 자동차의 증가, 그에 따른 차량 운전자의 공기오염물질 노출 및 건강영향을 고려할 때 차량 실내공기질의 중요성이 대두되고 있음을 감안하여 운전자의 공기오염물질(VOCs, RSP, NO₂)의 잠재적 노출에 대한 공기청정기의 적용 가능성을 실험하였다. 현재까지 자동차 실내공기질의 개선 및 향상을 위한 대안은 차량용 공기청정기의 설치, 환기량 감소, 공기질 조절장치(AQS)로 보고되고 있다. 그 중 환기량의 감소는 차량 실내의 산소 감소 및 이산화탄소 증가, 공기질 조절 장치는 비용 및 설치 문제 등으로 실제 적용하기 어려운 반면 차량용 공기청정기의 설치는 효과적으로 차량 실내의 공기오염물질을 제어할 수 있는 것으로 나타났다. 이 결과는 차량 실내공기 수준을 개선시켜 운전자 뿐만 아니라 탑승자의 건강위해성을 감소시킬 수 있음을 나타내고 있다. 특히 대도시의 경우 실외 대기오염의 수준이 심각하기 때문에 차량의 창문 개방은 오히려 차량 실내공기질을 더욱 악화시킬 수 있는 것으로 나타났다. 기존 연구와 비교할 때 LPG의 사용은 배기시스템에서 발생하는 공기오염물질이 가솔린이나 디젤에 비해 상대적으로 매우 낮기 때문에 차량 실내 투과 유입의 영향이 적은 것으로 생각할 수 있으며, 또한 대기오염 상태도 감소시킬 수 있기 때문에 사용이 권장된다고 할 수 있다.

참고문헌

1. 이병규, 조성용, 나덕재, 정혁용, 정광륜, 이채복 : 차량 공회전시 배출되는 대기오염물질의 배출 특성. 한국환경과학회지, 8(1), 27-32, 1999.

2. 이찬형 : 대구지역 총 부유분진중 중금속. 한국환경위생학회지, **29**(1), 67-73, 2003.
3. Raaschou-Nielsen, O., Lielsen, M. L. and Gehl, J. : Traffic-related air pollution: Exposure and health effects in Copenhagen street cleaners and cemetery workers. *Archives of Environmental Health*, **50**(3), 207-213, 1995.
4. Atimtay, A. T., Emri, S., Bagci, T. and Demir, A. U. : Urban CO exposure and its health effects on traffic policemen in Ankara. *Environmental Research Section A*, **82**, 222-230, 2000.
5. Feychting, M., Svensson, D. and Ahlbom, A. : Exposure to motor vehicle exhaust and childhood cancer. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, **24**(1), 8-11, 1998.
6. Vliet, P. V., Knape, M. and Hartog, J. D. : Janssen N, Harssema H, Brunekreef B. Motor vehicle exhaust and chronic respiratory symptoms in children living near freeways. *Environmental Research*, **74**, 122-132, 1997.
7. Bae, H., Yang, W. and Chung, M. : Indoor and outdoor concentrations of RSP, NO₂ and selected volatile organic compounds at 32 shoe stalls located near busy roadways in Seoul, Korea. *The Science of Total Environment*, **323**, 99-105, 2004.
8. 백성옥, 김성렬, 김배갑 : 도시 대기 중 휘발성 유기화합물의 농도변동 및 영향인자. 대한환경과학회지, **24**(8), 1391-1404, 2002.
9. Dor, F., Moullec, Y. L. and Festy, B. : Exposure of city residents to carbon monoxide and monocyclic aromatic hydrocarbons during commuting trips in the Paris metropolitan area. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **45**, 104-110, 1995.
10. Chan, C., Ozkaynak, H. and Spengler, J.D. : Sheldon L. Driver exposure to volatile organic compounds, CO, Ozone, and NO₂ under different driving conditions. *Environmental Science Technology*, **25**, 964-972, 1991.
11. Kuo, H., Wei, H., Liu, C., Lo, Y., Wang, W., Lai, J. and Chan, C. : Exposure to volatile organic compounds while commuting in Taichung, Taiwan. *Atmospheric Environment*, **34**, 3331-3336, 2000.
12. Hansen, J., Raaschou-Nielsen, O. and Olsen, J. H. : Increased risk of lung cancer among different types of professional drivers in Denmark. *Journal of Occupational and Environmental Medicine*, **55**, 115-118, 1998.
13. Jo, W. K. and Yu, C. H. : Public bus and taxicab drivers' exposure to aromatic work-time volatile organic compounds. *Environmental Research Section A*, **86**, 66-72, 2001.
14. Chan, C., Spengler, J. D., Ozkaynak, H. and Lefkopoulou, M. : Commuter exposures to VOCs in Boston, Massachusetts. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **41**, 1594-1600, 1991.
15. 조완근, 박건호 : Volatile organic compounds levels inside vehicles using commercial air cleaning devices. 한국환경과학회지, **6**(6), 659-669, 1997.
16. 3M Organic Vapor Monitor Sampling and Analysis Guide, Occupational Health and Safety. Products Division/3M (<http://www.3m.com>)
17. Yanagisawa, Y. and Nishimura, H. : A badge-type personal sampler for measurement of personal exposures to NO₂ and NO in ambient air. *Environment International*, **8**, 235-242, 1982.
18. Lee, K., Yanagisawa, Y., Spengler, J. D. and Billick, I. H. : Wind velocity effects of sampling rate of NO₂ badge. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, **2**, 207-219, 1992.
19. Carlton, A. G. and Teitz, A. : Design of a cost-effective weighing facility for PM_{2.5} quality assurance. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **52**, 506-510, 2002.
20. Nelson, G. O. : Gas mixtures preparation and control. Lewis Publishers, 190-193, 1992.
21. Jo, W.K. and Park, K.H. : Commuter exposure to volatile organic compounds under different driving conditions. *Atmospheric Environment*, **33**, 409-417, 1999.
22. Wallace, L. : Indoor particles: A review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, **46**, 98-126, 1996.
23. 조완근, 박건호 : 공기질 조절장치 작동 승용차 내부의 공기질 평가. 한국환경과학회지, **7**(5), 573-580, 1998.