

PA4) 일부지역 영업용 차량의 실내공기질에 관한연구

김대원*, 이부용, 양원호¹, 김영희¹

대구가톨릭대학교 환경과학과, ¹대구가톨릭대학교 산업보건학과

1. 서 론

현대사회는 자동차라는 문명의 이기를 이용하면서 편리 및 생활의 영위해 나가고 있다. 자동차는 우리 인간의 이동을 보다 편리하고 신속하게 해줄 뿐만 아니라 실제로 인류문명의 발전을 촉진 및 증가 시켰다. 그러나 최근 자동차 이용의 증가는 대도시 대기오염의 문제를 야기 시키고 있다.¹⁾ 일반 대기환경과 비교 할 때 자동차 실내의 휘발성 유기화합물(volatile organic compounds, VOCs), 이산화질소(nitrogen dioxide, NO₂), 미세입자(fine particle), 다이옥신(dioxin), 다환방향족 탄화수소(polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH) 등의 공기오염물질의 농도가 높을 가능성이 있고, 이들 공기오염물질의 건강위해성(health risk) 때문에 최근 자동차 주행시 운전자 및 탑승자의 공기오염물질에 대한 노출(exposure) 및 건강위해성이 관심을 높아지고 있다.^{2),3)} 차량 이용과 관련한 공기오염물질 노출에 대한 국내·외 연구들에서 휘발유 사용과 관련이 없는 일상 활동에 비해 출·퇴근시 차량내에서 상승된 노출이 되고, 이로 인한 건강 위해도가 증가된다고 한다. 또한 차량 운전시 배출되는 공기오염물질로 인해 도로에서의 공기오염물질 농도는 일반 대기보다 높아지고, 이렇게 오염된 도로상의 공기가 차량내로 침투하기 때문에 차량내의 공기오염물질 농도가 증가된다. Chan 등은 미국의 노스캐롤라이나에서 차량과 관련된 실험을 실시하였는데, 도심과 간선, 그리고 교외의 세 개 노선을 승용차로 운행하면서 차량내의 오염도를 알아본 결과 차량의 이동이 잦은 도심이 가장 높은 농도를 나타내었고, 차량의 왕래가 적은 교외지역이 가장 낮은 농도를 나타내었다.^{4),5)} 그리고 Dor 등은 파리에서 교통수단에 따른 노출 정도를 비교하였는데, 자가용 운전자, 버스와 전철을 이용하는 대중교통 이용자, 도보 통근자들을 대상으로 VOCs의 농도를 알아보았다. 그 결과 휘발유 차량인 자가용에서의 농도가 가장 높았고, 다음으로 도로상으로 걸어서 출퇴근하는 사람, 대중교통수단의 순으로 나타났다.²⁾ 따라서 차량탑승과 관련된 대표적인 오염물질인 VOCs, NO₂, PM은 차량을 이용하는 운전자 및 탑승자들에게 높은 농도로 노출될 수 있음을 가정할 수 있다.

본 연구는 자동차 실내공기질(IAQ)의 중요성을 감안할 때 대부분의 운전자 또는 탑승자들은 자동차 실내환경 공간에서 활동을 하기 때문에 자동차 실내공기질의 개선 및 향상을 위하여, 차량관련 대표 공기오염물질인 휘발성 유기화합물(VOCs), 이산화질소(NO₂) 및 미세먼지(fine particle)를 측정하여 인체에 미치는 영향을 분석함으로써 자동차 실내공기질 평가 및 개선방안을 제안하는 것이다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 및 측정

부산 S 운수 영업용 차량 10대를 섭외하여 하루 24시간 동안 부산 전역을 평소 영업하는 방식으로 운행하면서 측정 대상물질들을 측정하였다. NO₂와 VOCs 24시간동안 측정하였으며, RSP는 10시간동안 측정하였다. 영업용차량은 하루 2교대 업무로 영업용차량 운전자의 개인노출평가를 위하여 RSP 측정시간은 10시간으로 하였다. 차량당 총 3일 동안 매일 동일한 조건 상태에서 손님이 많은 요일과 적은 요일을 선택하여 동일한 조건 상태에서 대상 공기오염물질인 VOCs, NO₂, 호흡성먼지(RSP)의 차량 실내농도를 측정하였다. 세부적으로 설명하면, 일주일동안 가장 손님이 적은 날 손님이 많은 날을 선택하여 측정하였으며, 모든 차량은 차량의 기사가 평소와 똑같이 운행하는 조건에서 하였다.

VOCs는 3M OVM(3M, USA) 수동식 시료채취기 #3500을 이용하였으며 분석은 2 ml CS₂로 탈착하여 GC/MS를 이용하여 분석할 것이다. VOCs 탈착효율은 3M OVM 수동식 시료채취기의 분석가이드에서 제시한 값을 이용한다.⁶⁾ NO₂의 농도측정은 수동식 시료채취기(Japan)를 이용하였다.⁷⁾ 정량분석은 photospectrometer (SHIMADZU UV-1601)를 이용하여 545 nm 파장에서 측정하였다.⁸⁾ RSP의 채취를 위하여 cut-point가 4.0 μm인 알루미늄 사이클론(Cyclone, SKC, USA)을 이용하였다. 채취는 테플론 필터(PTFE filter, 0.45 μm)를 부착하여 사용하였다. 채취한 필터는 시료채취 전·후에 48시간 동안 데시케이터에 보관하여 일정한 습도를 유지되도록 하였고, 10⁻⁶ g까지 측정할 수 있는 미량저울(ME 5-F, Sartorius)을 이용하여 중량을 분석하였다. 중량분석시 정전기의 영향을 방지하기 위하여 정전기 제거장치를 사용하였다.⁹⁾ 각 측정 기구는 운전자 머리 위부분의 태양광선 차단장치에 고정하여 운전자의 노출을 최대한 반영할 수 있도록 하였다.

3. 연구결과 및 고찰

본 실험에서 영업용차량실내 운전자 및 승객들이 대기오염물질의 노출정도를 평가하기 위하여 차량 실내공기질을 조사하고 대기오염물질이 영업용 차량실내의 영향 정도를 파악하였다.

3.1. 호흡성분진(RSP)

호흡성분진(RSP)은 측정은 영업용차량 운전자가 평소 운행하는 조건에서 측정하였고, 측정에 사용된 차량은 영업용 차량 10대를 이용하여 측정하였다. 측정기간은 2005년 2월 24일에서 28일 3일 동안 측정했으며, 측정기간중 대기중의 미세먼지(PM10)의 농도 값은 자동관측소 자료 부곡동, 연산동, 온천동의 자료를 참고하였다. PM10 농도는 측정기간 중 대기오염도가 가장 높은 날은 2월 28일로 최대값 100.91 μg/m³으로 1년 평균 대기기준치보다 44% 높게 나왔다. 같은 날 RSP와 비교하면 4호 차량의 실내농도가 142.22 μg/m³로 대기환경기준 1년 평균 기준치보다 103% 높게 나타났다. 평균값을 보면 측정기간 중 2월 26일 75.52 μg/m³로 기준치보다 7.9% 높게 나타났다. 측정기간 중 자동관측소 평균 농도 값은 57.14, 34.36, 57.11 μg/m³ 관측되었으며, RSP의 평균 농도 값은 51.13, 75.52, 50.83 μg/m³ 측

정되었다(표 1). 평균 농도 값을 보면 2월 26일을 제외하고는 차량의 실내보다 대기의 오염도가 높은 것으로 나타났다. 이는 계절적인 영향으로 운행 중 차량창문을 열지 않고 차량의 환기모드를 외부환기 모드가 아닌 내부환기 모드로 운영을 하여 외부의 오염물질 유입이 적은 것으로 생각된다. 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. 그리고 측정 기간 중 2월 24, 28일 보다 26일에 PM10의 농도($34.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 보다 RSP의 농도($75.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$)가 높게 나온 것은 손님이 많은 주말이라 사람에 의한 'personal cloud'가 영향을 주었을 것으로 생각한다.¹⁰⁾

표 1. 영업용차량의 RSP 측정결과

NO	DATE RSP($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		
	02/24	02/26	02/28
MAX	84.00	122.22	142.22
MIN	24.00	44.44	13.33
MEDIAN	49.33	60.00	41.11
AVG	51.13	75.52	50.83

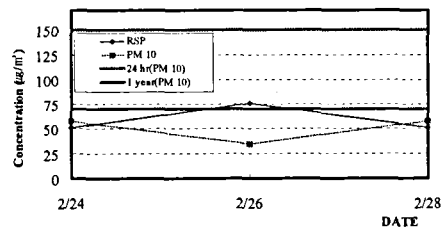


그림 1. 측정기간중 PM10과 RSP 농도비교

그림 1은 측정기간 중 자동측정소의 PM10과 영업용차량의 호흡성분진과 농도를 비교한 그래프이다. 그림에서 보듯이 측정기간 동안 평일(24, 28일)에는 대기의 오염농도가 차량의 RSP보다 높으며, PM10의 농도가 RSP보다 24일 11.8%, 28일 12.35% 오염농도가 높으며, 휴일(26일)에는 영업용차량의 실내가 자동대기관측소의 오염농도보다 119.8% 높게 나왔다. 이는 손님이 적은 평일보다 손님이 많은 휴일에 대한 특성으로 생각되며, 손님들에 의한 'personal cloud' 영향으로 생각한다.¹⁰⁾

3.2. 이산화질소(NO_2)

이산화질소(NO_2) 측정은 영업용차량 운전자가 평소 운행하는 조건에서 측정하였고, 측정에 사용된 차량은 영업용 차량 10대를 이용하여 측정하였다. 측정기간은 2005년 2월 24일에서 28일 3일 동안 측정했으며, 측정기간동안 대기중의 이산화질소(NO_2) 농도 값은 자동관측소 자료 부곡동, 연산동, 온천동의 자료를 참고하였다. 그림 2는 측정 기간 중 영업용 차량 측정값과 대기자동관측소 평균농도값을 비교 나타냈었다. 측정 기간 중 대기자동관측소의 평균농도값을 보면 2월 24일 34.50 ppb, 26일 27.50 ppb, 28일 39.50 ppb로 나타났으며, 영업용차량 실내측정 오염농도평균값은 24일 15.76 ppb, 26일 20.78 ppb, 28일 13.19 ppb를 나타내었다. 측정 기간 중 영업용차량실내공기 오염도가 대기오염도 보다 낮으며, 이는 계절적인 영향과 차량 사용 연료의 차이 때문일 것으로 생각하며 가솔린 또는 디젤 차량과 달리 LPG(liquefied petroleum gas) 차량에서 발생하는 오염물질의 농도가 낮아 그 만큼 차량 실내로 유입되는 정도가 낮아질 수 있기 때문이다.⁴⁾

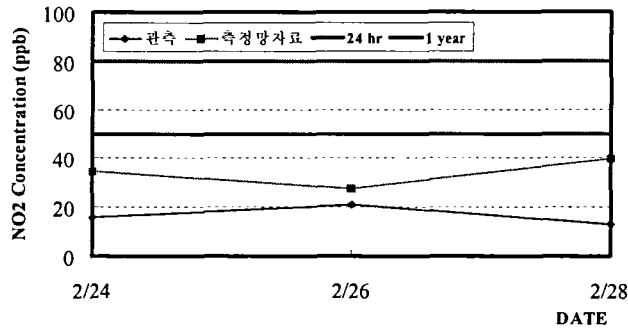


그림 2. 측정기간 중 차량측정값과 자동관측소 평균 농도값 비교

그리고 측정기간 중 대기자동관측소와 영업용차량 오염농도는 26일(토) 오염농도가 대기 자동관측소의 오염농도값 27.50 ppb, 영업용차량 오염농도값 20.78 ppb로 대기자동관측소 오염농도값 보다 낮게 나왔다. 이것은 휴일의 영향이라고 생각된다. 주 5일 근무로 26일(토)이 연휴기간 때문에 도심지역의 차량의 감소로 대기오염도가 낮으며, 영업용차량의 경우 연휴와 관계없이 도심지역을 운행하기 때문에 차량에 의한 오염도가 높은 것으로 생각한다.

표 3 은 자동관측소 NO₂ 농도 값을 정리 하였다. 표 3에서 이산화질소(NO₂) 년평균 기준치인 50 ppb를 초과하는 날은 2월24일, 2월 28일 양일간 이었다. 이는 평일출퇴근 차량과 관계로 생각되며, 측정 기간 중 오염도가 낮은 2월 26일은 주말인관계로 차량이 시외로 많이 빠져 나갔기 때문이라고 생각된다. 표 4는 측정 기간 중 영업용차량별 이산화질소(NO₂) 농도 값을 나타내었다. 차량별 오염농도범위를 살펴보면 24일 9.48~21.40 ppb, 26일 13.62~30.38 ppb, 28일 8.63~17.87 ppb 나타내었다.

표 4. 영업용 차량의 이산화질소(NO₂)측정결과

NO	NO ₂ (ppb)		
	02/24	02/26	02/28
MAX	21.40	30.38	17.87
MIN	9.48	13.62	8.63
MEDIAN	15.92	19.82	12.89
AVG	15.76	20.78	13.19

참 고 문 헌

- 이병규, 조성웅, 나덕재, 정혁용, 정광륜, 이채복, 1999, 차량 공회전시 배출되는 대기오염물질의 배출 특성. 한국환경과학회지, 8(1), pp. 27-32.
- Dor, F., Moullec, Y. L. and Festy, B., 1995, 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, pp. 104-110.
- Kuo, H., Wei, H., Liu, C., Lo, Y., Wang, W., Lai, J. and Chan, C., 2000, Exposure to volatile organic compounds while commuting in Taichung, Taiwan. *Atmospheric Environment*, 34, pp. 3331-3336.
- Chan, C., Ozkaynak, H. and Spengler, J. D., 1991, Sheldon L. Driver exposure to volatile organic compounds, CO, Ozone, and NO₂ under different driving conditions, *Environmental Science Technology*, 25, pp. 964-972.
- Chan, C, Spengler, J. D., Ozkaynak, H. and Lefko poulou, M., 1991, Commuter exposures to VOCs in boston, Massachusetts. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 41, pp. 1594-1600.
- 3M Organic Vapor Monitor Sampling and Analysis Guide, Occupational Health and Safety. Products Division/3M, (<http://www.3m.com>).
- Yanagisawa, Y. and Nishmura, H., 1982, A badge-type personal sampler for measurement of personal exposures to NO₂ and NO in ambient air. *Environment International*, 8, pp. 235-242.
- Lee, K., Yanagisawa, Y., Spengler, J. D. and Billick, I. H., 1992, Wind velocity effects of sampling rate of NO₂ badge. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 2, pp. 207-219.
- Carlton, A. G. and Teitz, A., 2002, Design of a costeffective weighing facility for PM_{2.5} quality assurance. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 52, pp. 506-510.
- Wallace, L., 1996, Indoor particles: A review. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 46, pp. 98-126.