

서울 일부 지역 교통수단의 실내 공기질 평가

손종렬* · 최달웅 · 최정숙 · 우완기*

고려대학교 보건과학대학 환경보건학과

*장안대학 환경보건학과

Assesment of Indoor Air Quality within Public Transport Vehicles operating in specified locations throughout Seoul

Jong-Ryeul Sohn* · Dal-Woong Choi · Jung-Sook Choi · Wan-Gi Woo*

Dept. of Environmental Health, College of Health Science, Korea University

**Dept. of Environmental Health, Jang An College*

Abstract

This paper was conducted concerning the degree of indoor air quality in public transport vehicles such as taxicabs, buses and subway trains, as sampled through the active participation of drivers and passengers in Seoul between 13th August 2005 and 2nd November 2005.

The results were summarized as follows:

1. Among the measured substances especially respirable particulate matters (PM_{10}), total bacteria counts (TBC) and carbon dioxide (CO_2) exceeded the standard level of $150 \mu g/m^3$, $800 CFU/m^3$ and $1000ppm$.
2. The concentration of carbon dioxide (CO_2) in taxi recorded $2491ppm$, which is more than the standard amount of $1000ppm$. This level was comparatively higher than all other public transportation methods. Total bacteria counts (TBC) in bus and subway recorded $1082CFU/m^3$ and $1856CFU/m^3$, respectively.
3. The drivers who regularly work long hours showed the higher concern about contamination of the air inside the public transport vehicles and they considered it to be worse than the air outside. In contrast, the general public showed less concern about the air quality inside the public transport vehicles. However, they too acknowledged that the quality of the air inside the public transport vehicles was poor.

*Corresponding author E-mail : sun@korhealth.ac.kr

In regards to the degree of indoor air quality in the public transport vehicles, a counterplan must be implemented urgently to effectively combat the excessive levels of PM₁₀, microorganism and CO₂. We need to gather more conclusive evidence pertaining to other possible contaminants and influencing factors.

Keywords: public transport vehicles, respirable particulate matters (PM₁₀), total bacteria counts (TBC), indoor air, carbon dioxide (CO₂)

I. 서론

현대인들은 하루에 약 80~90% 이상을 주택, 차내, 사무실, 공공건물, 작업장 등의 실내 공간에서 생활을 하는 것으로 미국 EPA에 보고되어 실내 공기 오염의 중요성이 증대되고 있는 실정이다. 또한 실내 공기오염이 대기오염의 영향보다 인체에 미치는 영향이 더 큰 것으로 나타났다. 그 이유는 한정된 공간 속에 오염된 공기에 오랜 시간 노출되면 지속적인 순환으로 오염물질의 농도가 증가되어 인체에 직접적인 피해를 유발할 수 있기 때문이다. 오염물질에는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO₂), 이산화질소(NO₂), 아황산가스(SO₂), 오존(O₃), 폼알데히드(HCHO), 미세 먼지, 중금속, 미생물성 물질, 휘발성 유기화합물, 라돈, 담배연기 등이 있으며, Koenig Pierson(1991)은 SO₂, NO₂, 분진, O₃, 등이 만성호흡기 질환의 증가와 폐 기능 손상에 관한다고 하였다. 현대인들이 실내에서 생활하는 시간이 많아지고 생활수준과 건강의식의 향상으로 실내 공기질에 대한 관심이 높아지고 있다. 나아가 쾌적한 환경과 건강을 더욱 요구할 것으로 예상되어 발암성(석면, 벤젠, 라돈)을 갖는 실내공기 오염물질에까지 관심이 증대되고 있다.

‘다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법’이 시행되고 실내 공기질 관리에 관심을 가지게 되면서 현재 일반주택, 공공건물, 지하상가, 백화점, 보육시설의 등의 공기 오염도에 관한 조사보고와 실내지하상가 종사자들의 호흡기 질환과 관련된 각종 증상의 실태 파악 등의 다양한 실내공간의 조사와 이루어지고 있다. 또한 지하철과 지하역사의 경우에도 공간적 밀폐성의 특수한 상황으로 인하여 공기질에 대한 평가와 저감대책을 위하여 투자와 연구가 진행되고 있다. 그러나 전반적인 교통수단에 대한 실내 공기질 평가에는 아직 미흡한 것이 사실이다. 도로 위의 교통수단의 경우 대기오염의 주원인이며, 그 안에서 장시간 운전하는 운전자에게 오염물이 노출 되어있는 공간이기도 하다. 또한 교통 체증으로 인한 자동차 배기가스는 정상적인 주행 시보다 최고 4배가량 더 많이 배출되어 대기오염으로 인하여 창문을 닫은 채 장시간 운행하는 경우 오염도의 증가 및 흡연으로 인한 실내오염물 축적 등으로 장시간 운전의 경우 피로감이 더욱 증가할 수 있다. 때문에 어떠한 실내 공간보다도 교통수단의 실내 공기오염이 심각할 것으로 예상된다. 특히 운전자의 호흡기 질환이 직업성 질환인가에 대한 논란이 있어 왔다. 몇 가지 역학조사에 의하면 대기오염물질에 의하여 호흡기 질환이 유발되고(이해

숙, 1982 ; Bouhuys, 1992; Krzynowski와 Kauffmann, 1988), 자동차 배기가스에 의해서도 호흡기질환이 유발될 수 있다고 한다(Scheepers와 Bos, 1992).

이에 본 연구는 많은 사람들이 이용하는 교통수단에 실내 공기질의 평가를 위해 서울 일부 지역을 운행하는 택시, 버스, 지하철을 대상으로 오염 물질의 농도를 측정하고 비교하여 전반적인 교통수단의 실내 공기질을 평가해 보았다. 또한 교통수단의 실내 공기질 인식을 알아보려고 택시 운전 기사와 일반인을 대상으로 설문 조사하였다.

II. 실험방법

2.1 시료채취 및 분석

2005년 8월 13일부터 2005년 11월 2일까지 서울 일부지역의 교통수단인 택시, 버스, 지하철을 대상으로 보건복지부의 공중이용시설 위생관리기준에 대한 공정시험법을 바탕으로 물리적 환경요소인 온도, 습도를 측정하였으며, 환경부의 다중이용시설 등의 실내공기질 공정시험법에 준하여 이산화탄소(CO₂), 일산화탄소(CO), 이산화질소(NO₂), 오존(O₃), 폼알데히드(HCHO), 미세먼지(PM₁₀), 총 휘발성 유기화합물(TVOCs), 부유세균(TBC)을 실험하였다.

2.2 설문지 조사

모든 교통수단 종사자를 대상으로 조사하고자 하였으나, 업무상 어려움이 있어 서울 일부지역의 개인택시기사 150명과 택시를 이용하는 일반시민을 대상으로 개인 면담방식

으로 설문지 조사를 실시하여 교통수단의 실내공기에 대한 인식을 알아보려고 하였다.

III. 결과 및 고찰

3.1 측정결과

교통수단의 실내 공기질 측정결과를 Table 1.과 Fig. 1.-Fig. 4.와 같다. 교통수단의 오염물질의 농도를 비교해 보았을 때 택시는 CO₂, NO₂, HCHO, PM₁₀, 버스가 TVOCs, O₃, 지하철이 CO, 부유세균의 항목이 높은 결과를 나타내었다.

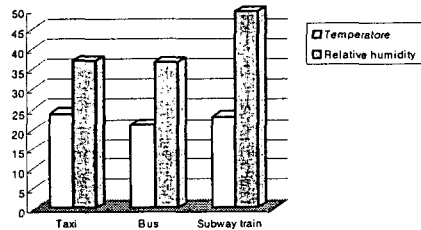


Fig. 1. The concentration of temperature and relative humidity in Public Transport Vehicles

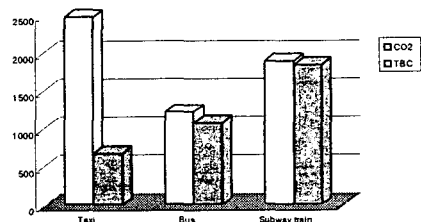


Fig. 2. The concentration of CO₂ and TBC in Public Transport Vehicles

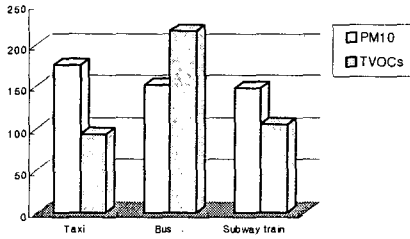


Fig. 3. The concentration of PM₁₀ and TVOCs in Public Transport Vehicles

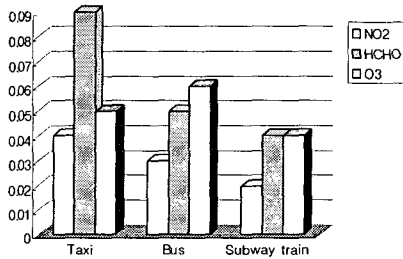


Fig. 4. The concentration of NO₂, HCHO and O₃ in Public Transport Vehicles

3.1.1 온열조건

택시, 버스, 지하철의 온도와 습도의 분포를 조사해 본 결과, 대부분 기준치에 적합하였으며, 습도의 경우 40-70%의 기준치보다 택시와 버스가 각각 37.1%, 36.7%로 다소 낮게 조사되었다.

3.1.2 이산화탄소 (CO₂)

이산화탄소는 주로 실내공기 질 또는 환기상태의 척도로 사용되어 있다. 이산화탄소는 사람의 호흡에 의해 주로 배출되고, 연료의 연소 시 발생하는 물질로서 미국의 경우는 실내 환기조건을 CO₂를 기준으로 2000ppm을 권장하고 있으나 우리나라의 경우는 1000ppm을 기준으로 하고 있다.

Table 1.에서와 같이 택시, 지하철, 버스가 각각 2,491ppm, 1,902ppm, 1,224ppm으로 기준치를 초과하였는데, 이는 택시의 내부가 좁고 문을 닫고 운행하는 경우가 많으며, 버스와 지하철은 많은 사람들이 이용하는 대중교통수단이기 때문에 CO₂의 농도가 높은 결과를 나타냈다.

Table 1. Indoor air quality in public transport vehicles

	Standard	Taxi	Bus	Subway train
Temperature(°C)	17-28	23.8	21.0	23.1
Relative humidity(%)	40-70	37.1	36.7	49.3
CO ₂ (ppm)	1000	2,491	1,224	1,902
CO (ppm)	10	6.3	6.1	6.6
NO ₂ (ppm)	0.05	0.04	0.03	0.02
O ₃ (ppm)	0.06	0.05	0.06	0.04
HCHO (µg/m ³)	120	110	60	45
PM ₁₀ (µg/m ³)	150	176	152	148
TVOCs (µg/m ³)	500	93.8	218.8	105.0
TBC (CFU/m ³)	800	682	1,082	1,856

3.1.3 일산화탄소 (CO)

일부 일산화탄소는 물질의 연소 시 산소가 부족하거나 연소온도가 낮은 상태에서 완전연소가 일어나지 못하여 불완전 연소 생성물로 생성된다. 체내에 산소를 운반하는 혈액 중의 헤모글로빈(Hb)과 결합하여 일산화탄소-헤모글로빈(COHB)을 만들어 혈액의 산소운반능력을 저하시켜 그 농도에 따라 사망에 이를 수 있다. 교통수단 내에 특별한 배출원이 없기 때문에 택시, 버스, 지하철 모두 실내공기오염기준인 10ppm을 초과하지 않았으며, 교통수단의 연소과정으로 인한 대기 중의 공기 오염으로 인하여 대부분 6.1~6.6ppm의 농도치를 나타냈다.

3.1.4 이산화질소 (NO₂)

이산화질소의 측정결과 택시, 버스, 지하철 순으로 각각 0.04, 0.03, 0.02ppm로 기준치인 0.05ppm을 초과하지 않았지만, 택시운전기사의 이산화질소 개인 폭로량에 관한 연구에 의하면 이산화질소 피폭 농도는 일일 평균 0.554ppm으로, 택시운전기사는 항상 저농도 이산화질소에 노출되어 있어, 호흡기질환이 발생할 수 있다고 한다(김윤신, 1991).

3.1.5 오존 (O₃)

오존의 농도가 0.1ppm(100ppb/1시간이상기준)을 넘기면 호흡기에 자극을 준다. 그러나 측정결과 버스가 기준치인 0.06ppm으로 나왔으며, 택시와 지하철의 경우 0.05, 0.04ppm으로 기준치보다는 낮게 측정되었다.

3.1.6 폼알데히드 (HCHO)

폼알데히드는 섬유옷감, 연료의 연소과정,

흡연 등에 의해 발생된다. 인체에 미치는 영향은 독성 정도에 따라 흡입, 흡수, 피부를 통한 경로로 침투되고 이중 흡입에 의한 독성이 가장 강하게 나타나는 것으로 알려져 있다. 1ppm 또는 그 이하에서 눈, 코, 목에 대한 자극 작용을 주며 농도가 높아짐에 따라 두통이나 피로감을 유발하기도 한다. 택시, 버스, 지하철 모두 실내 환경기준 0.1ppm을 초과하지 않았으며, 택시의 경우 0.09ppm의 값으로 다른 교통수단보다 높은 것은 폼알데히드의 발생원인 자동차의 시트(섬유 옷감)나 흡연으로 인한 오염으로 추정해 볼 수 있다.

3.1.7 미세먼지(PM₁₀)

택시와 버스의 측정치는 각각 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, 152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 환경부 기준치 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 모두 넘었으며, 지하철도 148 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치에 가까운 농도 값이 나왔다. 대부분의 교통수단의 경우 미세먼지의 농도가 높음을 알 수 있다. 또한 택시의 경우 외부 유입과 실내 청소의 유무로 인하여 미세먼지의 농도의 차이가 생길 수 있으며, 버스와 지하철의 경우 많은 사람이 이용하는 시간 때에 따라 다를 것이다.

3.1.8 총 휘발성 유기화합물 (TVOCs)

VOC는 연소과정, 세탁소, 의복, 방향제 등에 의해 발생되며 피로감, 두통, 구토, 현기증 등을 유발하기도 한다. 측정된 택시, 버스, 지하철 모두 환경부 권고기준치 500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 을 넘지 않았다.

3.1.9 부유세균(TBC)

부유세균의 환경기준치인 800CFU/ m^3 에 비교해 보면 버스와 지하철은 1082CFU/

m³, 1856CFU/m³으로 기준치를 초과하였다. 택시의 경우에는 682CFU/m³로 우리나라 기준치에는 초과하지 않았지만, 싱가포르와 홍콩의 권고기준인 500CFU/m³에 비교해 보면 초과함을 알 수 있다. 이는 많은 사람들이 이용하는 대중교통수단인 지하철, 버스가 택시보다 부유세균의 농도가 높다는 결과를 나타내었다.

‘다중이용시설 등의 실내 공기질 관리법’에 의하여 유지기준(PM₁₀, CO₂, HCHO, 총부유세균, CO)과 권고기준인 NO₂, TVOCs, 오존(라돈과 석면 제외)을 측정된 결과 버스, 지하철, 택시는 많은 사람들이 이용하는 대중교통수단이니 만큼 기준치의 초과가 가장 큰 부유세균과 미세먼지에 대한 관리가 필요하다. 좁은 차내 부의 시트 청소와 차 내부에서의 금연 등의 환경관리, 지하철 환기시설의 유지 점검 및 관리 등에 신경을 써야한다. 최근에는 지하철의 먼지저감 방안으로 스크린 도어(Screen door)로 승강장의 공기를 터널내의 공기와 차단함으로써 보다 용이한 공기질 관리를 가능하게 하고 있으며, ‘고성능 에어컨리너 설치’사업으로 외부공기 유입량을 저감시키기 위해 추진 중에 있다. 본 연구에서는 단기간 교통수단 실내 공기질에 대해 제시해 본 것이다. 따라서 사람들이 많이 이용에 오염물질의 변화가 예상되는 출퇴근 시간등과 같이 다양한 조건에서의 시료를 통한 교통수단의 오염물질 발생을 알아보고, 장시간 업무하는 운전기사들에 대한 건강 위해성에 대한 연구도 함께 이뤄져야 할 것이다. 또한 포름알데히드나 총 휘발성 유기화합물의 농도가 권고기준을 높게 초과하지는 않았으나 새집 증후군의 원인으로 가장 많은 관심을 가지

는 물질이므로 새 교통수단에 대한 평가도 함께 이뤄져야 할 것으로 사료된다.

3.2 설문지 결과

모든 교통수단을 근거로 설문지를 조사하고자 하였으나 업무상 곤란하여 개인 택시 기사를 대상으로 개별면담방식으로 설문지 조사한 결과는 Fig. 5.-12.와 같다.

3.2.1 택시기사 대상 설문지

택시기사 150명중 43%가 51~61세, 33%가 41~50세이며(Fig. 5), 근무경력은 기사의 67%가 10년 이상으로 응답했다(Fig. 6).

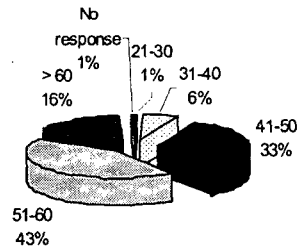


Fig. 5. Age distribution of drivers

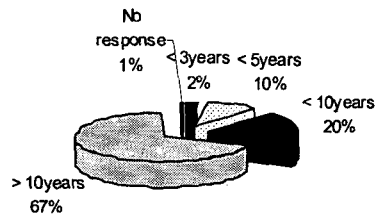


Fig. 6. Length of employment of drivers

근무시간은 74%나 되는 대부분의 기사들이 10~15시간이 하루 업무시간이라고 응답하였으며(Fig. 7), 주 5일 동안 근무한다고 하는 응답자가 55%로 장시간 일을 하는 것으로 조사되었다(Fig. 8).

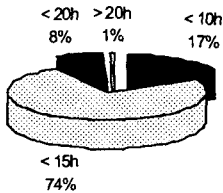


Fig. 7. Working hours of drivers

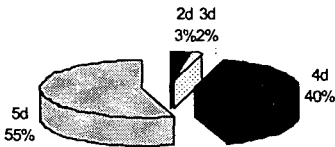


Fig. 8. Working days per week of drivers

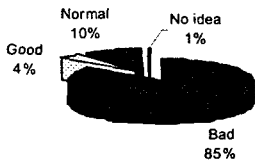


Fig. 9. Driver's opinion for the indoor air quality of vehicles

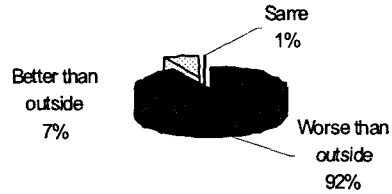


Fig. 10. Comparison of driver's opinion for the indoor and outdoor air quality of vehicles

Fig. 9.에서와 같이 택시기사의 85%가 실내 공기오염이 나쁘다고 응답하였으며, 외부공기와 비교했을 때에도 외부공기보다 나쁘다는 응답자가 92%로 나타났다(Fig. 10).

좁은 차내에서 장시간 업무로 인하여 실내공기오염을 인식하고 있어 이에 대한 대책이 필요하다.

3.2.2 일반인 대상 설문지

280명 중 21~30세가 68%, 31~40세가 16%의 비율을 차지하였다(Fig. 11). 택시내부 공기의 인식도 조사에서는 Fig. 12.에서와 같이 나쁘다가 57%, 보통이다 32%로 조사되었다. 장시간 운전하는 택시기사들 보다는 낮은 비율이었으나 설문지를 통하여 대부분 차의 실내공기가 나쁘다고 인식하고 있었다.

좁은 차 내에서 장시간 일을 하고 있는 택시기사와 이를 이용하는 서울 일부지역의 사람들을 대상으로 설문 조사를 한 결과 교통수단에서의 실내 공기질에 관심을 가지고 있으며, 공기질이 좋지 못하다는 인식을 하고 있었다. 특히 택시기사의 경우에는 장시

간 근무로 인한 결과로 사료된다. 이처럼 교통수단에 따라 업무환경과 오염물질의 종류 및 농도가 다르기 때문에 버스와 지하철의 운전기사들에 대한 조사와 함께 기사들의 전반적인 인식도의 파악이 필요하다.

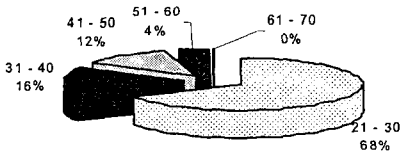


Fig. 11. Age distribution of passengers

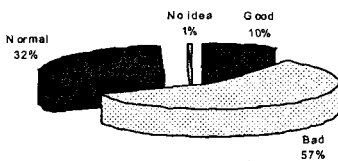


Fig. 12. Passenger's opinion for the indoor air quality of vehicles

(1000ppm)와 PM₁₀(150 μ g/m³)의 농도가 기준치를 초과하고 2491ppm, 176 μ g/m³으로 가장 높게 측정되었다.

3. 버스와 지하철의 경우는 부유세균의 농도가 1082CFU/m³, 1856CFU/m³로 기준치 800CFU/m³을 초과하고 있다.

4. 택시의 경우 폼알데히드 기준치 0.1ppm에 조금 못 미치는 0.09ppm으로 버스와 지하철 중 가장 높게 나왔다.

5. 장시간 좁은 차 내부에서 일하는 택시기사의 경우에는 실내 공기오염에 관해 관심도 많았으며 응답자의 92%가 외부공기보다 나쁘다고 대답하였으며, 일반인의 경우에도 교통수단의 실내공기가 나쁘다는 대답이 57%였다.

본 연구는 사람들이 많이 이용하는 대중교통수단의 오염물질 측정에 국한되었지만 교통수단의 환경수준을 평가 할 수 있었다. 추후 다른 오염 물질의 조사와 더불어 운전기사들의 개인 노출량을 측정하여 인체 위해도를 파악하고 이러한 결과를 토대로 보다 효율적이고 구체적인 연구가 장기적이고 지속적으로 진행되어야 할 것이다.

IV. 결론

2005년 8월 13일부터 2005년 11월 2일에 걸쳐 교통수단 실내 공기를 측정하고, 운전기사와 일반인을 대상으로 교통수단의 실내 공기질에 대한 인식을 조사 하여 평가한 결과는 다음과 같다.

1. 택시, 버스, 지하철의 교통수단 실내 공기질 측정항목에서 CO₂, 미세먼지, 부유세균의 농도가 다른 항목보다 다소 높게 나왔다.
2. 택시의 경우 측정 대상물질 중 CO₂

참고문헌

1. 보건복지부(1990), 공중이용시설 위생관리기준 및 공정시험법
2. 환경부,(2004), 실내공기질공정시험법
3. 임중환, 노재훈, 이경중, 윤명조, 문영환 (1994) 택시 운전기사의 호흡기증상과 폐기능 장애, 대한산업의학회지, 6(1), 137-142
4. 김윤신, 진후만, 홍승철 (1991) 서울시

- 일부 택시기사의 이산화질소 개인 폭로량에 관한 연구, 한국 환경위생학회지, 17(2), 9-16
5. 김임순, 이경중, 노재훈, 문영한 (1989) 서울지역에 있어서 직업운전자의 건강상태가 교통사고에 미치는 영향, 예방의학회지, 22(3):312-22
 6. 김윤신, 윤성원, 허진, 전준민 (1996) 빌딩 사무실의 실내공기질 평가에 관한 조사연구, 환경과산업의학, 5(1), 59-73
 7. 김요섭 (1992) 교통경찰관의 대기오염 노출에 따른 건강영향에 관한 연구, 연세대학교 보건대학원
 8. 백승화, 김종현, 정현준 (2001) 대전지역 지하상가의 실내공기질 평가와 이용자들의 인식도 연구, 한국 환경관리학회, 7(1), 87-105
 9. 백성욱, 홍성희, 김미현, 김동길, 송희봉, 한개희, 도화석, 임종희 (2001) 대구지하철 열차내의 공기질과 이용시민의 체감오염도 평가, 대한 환경공학회, 23(2), 337-378
 10. 이혜숙 (1982) 중학교 학생에서의 대기오염에 의한 호흡기 증상 호소율, 연세대학교 보건대학원
 11. 서울시정개발연구원 (2003) 지하공기오염 저감방안에 관한 연구, 서울특별시 지하철공사
 12. Bouhuys A, Hartogenesis F, Korfage HJH, Byssonosis Prevalence and flex processing, Br J Ind Med, 1963;21:13-9
 13. Burns PB, Swanson GM, the Occupational cancer incidence surveillance study (OCISS):Risk of lung cancer by usual occupation and industry in the Detroit metropolitan area. Am J Ind Med 1991;19(5);655-71
 14. Hendangy W, Seemayer NH. Genotoxicity of particulate emission from gasoline powered engines evaluated by short-term bioassays, Exp Pathol 1989;37(1-4):43-50
 15. Krzynowski M, Kauffmann F. The relation of respiratory symptoms and ventilatory function to moderate occupational exposure in a general population, Int J Epidemiol 1998;17(2);397-406
 16. Scheepers PT, Bos RP, Combustion of diesel fuel from a toxicological prospective, Int arch Occup Environ Health 1992;64(3):163-77
 17. Wynder EL, Hoffmann D, Tobacco and health, NEngl J Med 1979;300;894-903