

[報 文]

대도시 자동차 배출가스의 발암위해 관리 방안

김 강 석

한국환경정책·평가연구원

Management of Cancer Risk Caused by Motor Vehicle in a Large City

Kang Seok Kim

Korea Environment Institute(KEI)

ABSTRACT

Motor vehicle exhaust is the major cause to the air contamination in Seoul. It includes many toxic chemicals to human health such as aldehyde, PAHs, benzene, xylene, toluene, benzo[a]pyrene, nickel, arsenic and cadmium in gasoline exhaust and formaldehyde, PAHs, 1,3-butadiene, benzene and particulate matter in diesel exhaust. Some chemicals out of them are classified as a human carcinogen. Many large diesel vehicles such as buses and trucks are driven frequently in Seoul so that the air in Seoul is seriously contaminated by diesel exhaust, especially particulate matter. The amounts of particulate matter from large diesel vehicles may be estimated to be more than 50% of small dust in Seoul. The particles of particulate matter are coated with many toxic chemicals and some of these are considered as a human carcinogen. The cancer risk has to be throughly managed because the population density of Seoul is very high. Government should list hazardous air pollutants in Seoul, assess the exposure of people to toxic pollutants, especially carcinogens and manage human health risk.

서 론

인간 건강에 가장 큰 영향을 미치고 있는 환경 요인 중의 하나는 유해물질의 대기오염으로 인식되고 있다. 오염된 공기는 특별한 여과 장치없이 직접적으로 인간 호흡기에 흡입되고, 이에 존재하는 유해물질이 폐는 물론 각종 인체 기관으로 운반되어 질병을 일으키기 때문이다. 이러한 질병으로는 기관지염, 천식 등의 일반적인 호흡기 질병으로부터 심각

한 경우 돌연변이 및 암에 이르기까지 그 종류가 매우 다양하다.

따라서, 각 국가는 대기오염물질로부터 국민의 건강을 보호하기 위한 나름대로의 정책을 수립하고 이를 시행하고 있다. 우리나라의 경우에도 정부는 대기환경보전법을 제정하여 아황산가스(SO₂), 먼지(TSP, PM-10은 95년 1월부터), 오존(O₃), 일산화탄소(CO), 질소산화물(NO_x) 등에 대한 환경기준을 정하고 대기 중 농도를 측정해왔다.¹⁾ 또한, 독성이 강한 유해대기오염물질을 특정대기유해물질

로 분류하여 지정하고 미흡하나마 관리하고 있다. 그러나, 정부의 이러한 대기오염 개선을 위한 여러 가지 전략 수립과 발전적인 방향으로의 노력에도 불구하고 본질적으로 매우 중요한 부분이 간과되고 있다.

이는 다름 아닌 대도시 지역에서의 자동차 배출가스로 인한 국민의 건강 위해 문제이다. 우리나라의 경우 인구의 대다수가 도시 지역에 밀집되어 있고 좁은 도로에 많은 자동차가 운행하고 있으므로 배기가스에 의한 유해물질의 대기오염은 쉽게 예측할 수 있다.

자동차 배출가스에는 수많은 유해물질이 포함되어 있는데 그 중에서도 경유차량에서 배출되는 미세한 입자상 물질과 휘발유 차량에서 배출되는 벤젠, 1,3-부타디엔, 벤조[a]피렌 등이 대표적인 암유발 물질로 알려지고 있다.

그러나, 정부의 대응은 소수의 대기 환경기준물질에 대한 농도 측정에 머무른 대도시 거주자의 자동차 배출가스 유해물질에 대한 주민 노출 정도와 암발생 영향 등 중요한 건강 위해에 대해서는 대책 마련이 미흡한 실정이다.

따라서, 본 고에서는 자동차 배출가스 유해물질의 대기오염으로 인한 암유발 위해를 고찰하고, 대도시 주민의 경유차량 배출물질에 의한 암유발 위해의 대응 방향을 논하고자 한다.

본 론

1. 자동차 배출가스에 포함된 유해물질

국내에서 사용 중인 자동차 주연료는 휘발유와 경유로서 자동차 운행시 배출되는 유해물질의 종류는

표 1. 휘발유 차량 배출가스 중의 유해물질

물질 범주	물 질
Aldehyde	Formaldehyde and other aldehyde
Particulate	
Polycyclic organic matter(POM)	PAHs
Dioxins	2,3,7,8-TCDD
Asbestos	
Gasoline vapors	Benzene, Xylene, Toluene
VOCs	Benzene, 1,3-butadiene, Benzo[a]pyrene, Formaldehyde, Ethylene
Heavy metals	Beryllium, Nickel, Arsenic, Cadmium, Manganese

자료: Patrick, 1994

표 2. 경유차량 배출가스 중의 유해물질

가스상 물질	입자상 물질
Acetaldehyde, PAHs, Formaldehyde, Alkanes, Alkenes, 1,3 butadiene, Benzene	미세입자, 탄화수소(CO), Arsenic, Benzene, Nickel

자료: Section 39655 of CA's Health and Safety Code

매우 다양하다. 휘발유 차량의 경우 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx)이 주요 배출물질이나 탄화수소(Hydrocarbon) 중에 미량이지만 유해성이 더 큰 다음의 물질이 배출된다.²⁾

경유차량에서는 주로 질소산화물(NOx)과 입자상 물질(Particulate matter)이 배출되나 미량의 유해성이 큰 다음의 물질도 배출된다.

경유차량 배출물질 중의 입자상 물질은 입자 직경이 대부분 0.1-0.25 μm 로³⁾⁻⁵⁾ 75% 이상이 입자지름 1 μm 이하로 알려져 있다.⁶⁾ 이들은 호흡기 속으로 잘 흡입되며 배출물질 중의 탄화수소와 중금속의 운반체로서 돌연변이와 암을 유발하는 것으로 알려져 있다. 또한, 경유차량 배출물질 중 Arsenic, Benzene, Nickel 등도 암을 유발하는 것으로 알려져 있다.⁷⁾

2. 자동차 배출가스 중의 유해물질과 발암성

선진국의 경우 과학적인 최선의 기술을 동원하여 유해물질이 암을 유발할 가능성에 대한 수치를 추산하고 이 수치를 바탕으로 건강 위해를 관리하려고 노력하고 있다.

휘발유 차량 배출가스에는 발암성 유해물질이 많이 포함되어 있는데 주요 물질의 정량적 발암 위해

표 3. 휘발유 차량 배출가스중 유해물질의 암 발생 위해

유해대기오염물질	발암 확인 등급	단위발암위해도($\mu\text{g}/\text{m}^3$) ⁻¹ (!)	천만명당 암발생 위해
Acetaldehyde	B2(유력발암물질)	2.2×10^{-6}	22명
Benzene	A (발암물질)	3×10^{-5}	300명
1,3-Butadiene	B2(유력발암물질)	3×10^{-4}	3,000명
Formaldehyde	B1(유력발암물질)	1.3×10^{-5}	130명
Arsenic 화합물	A (발암물질)	4.3×10^{-3}	43,000명
Cadmium 화합물	B1(유력발암물질)	3×10^{-4}	3,000명
Nickel 화합물	A (발암물질)	4.8×10^{-4}	4,800명

!: 단위발암위해도는 IRIS 자료, 단위발암위해도는 용적 1m³ 당 물질 1 μg 존재하는 경우의 암발생 위해를 의미

표 4. 미국의 자동차 배출물질에 의한 암발생 위해

자동차 배출물질	미국 암발생 빈도/연		
	1986	1995	2005
Diesel particulate	178 ~ 860	106 ~ 662	104 ~ 518
Formaldehyde	46 ~ 86	24 ~ 43	27 ~ 30
Benzene	100 ~ 155	60 ~ 107	67 ~ 114
Gasoline vapors	17 ~ 68	24 ~ 95	30 ~ 119
1,3-butadiene	236 ~ 269	139 ~ 172	144 ~ 171
Acetaldehyde	2	1	1
Gasoline particulate	1 ~ 176	1 ~ 156	1 ~ 146
Asbestos	5 ~ 33	0	0
Cadmium	<1	<1	<1
Ethylene bromide	1	<1	<1
Total	586 ~ 1650	355 ~ 1236	374 ~ 1099

자료: Patrick, 1994

는 다음과 같다.⁸⁾

한편, 1990년 미국 EPA의 자료를 분석한 바에 의하면 유해대기오염물질에 의한 발암 위험은 자동차 배출물질에 의한 것이 약 55%를 차지하고 있으며, 자동차 배출물질 중에서도 불완전 연소 배출물질과 1,3-Butadiene이 발암성이 큰 것으로 나타났다.²⁾

위의 자료에서 자동차 배출물질 중 경유차량에서 배출되는 입자상 물질과 1,3-butadiene, 벤젠 등 유기화합물이 암유발의 주된 원인으로 작용하는 것을 알 수 있다.

미국의 경우 캘리포니아주가 규정한 독성대기오염물질(TACs)에는 arsenic, benzene, cadmium, dioxins dibenzofurans, formaldehyde, nickele 등 다수의 경유차량 배출물질이 포함되어 있으며(Health and Safety Code Section 39660), 연방 정부 EPA에서 규정한 유해대기오염물질(HAPs)에

도 다수가 포함되어 있다.

경유차량의 배출물질 중 발암성 물질로는 가스상 물질로서 benzene, ethylenedibromide, formaldehyde, 1-3-butadiene, 등이 존재하며, 입자상 물질에는 적어도 16개 이상의 탄화수소가 부착되어 있는 것으로 나타났다. 이들중 dibenz[a,h]anthracene, benz[a]anthracene, benzo[a]pyrene, 은 경유차량 배출입자에 부착되어 암을 유발하는 것으로 알려지고 있다.⁹⁾

1989년 IARC(International Agency for Research on Cancer)는 경유차량 배출물질을 Group 2A 즉, 유력한 발암물질로 규정하였으며, 미국 EPA도 경유차량 배출물질을 B-1 범주(유력한 발암물질)로 분류하였다.

이러한 결과를 종합할 때 경유차량의 배출물질이 인체에 암을 유발한다는 것은 거의 확실한 사실로 받아들일 수 있으며 폐암의 유발물질로 가장 유력하

표 5. 서울의 미세먼지 오염도

연도	월평균($\mu\text{g}/\text{m}^3$)												연평균 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
'95	73	97	85	77	75	65	66	59	77	83	91	78	78
'96	69	85	72	63	90	82	50	56	67	69	65	94	72
'97	84	79	82	85	53	76	63	48	44	60	75	68	68

자료: 환경부, 1997

다.

미국 OEHHA (Office of Environmental Health Hazard Assessment)는 경유차량 배출물질중 입자상물질에 의한 개인의 암발생 위험을 3×10^{-4} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹ 정도로 추정하고 있다. 이 경우 개인의 일생 동안의 암발생 위해란 경유차량 배출물질을 체중 70 kg의 건강한 성인이 일생(약 70년)동안 단위 농도($1 \mu\text{g}/\text{m}^3$)로 흡입할때 다른 요인은 제거하고 이것만으로 암이 발생할 수 있는 위해의 정도를 의미한다. 즉, 경유차량의 입자상 배출물질의 대기오염 농도가 지속적으로 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이며 인구 10만명인 집단이 평생동안 이 농도에 노출될 경우 30명이 경유차량의 입자상 배출물질 만의 흡입에 의하여 추가로 암에 걸릴 수 있다는 의미이다.

국내의 경우에도 서울과 같은 대도시 지역에서 경유차량의 운행이 불가피한데 특히, 버스와 대형트럭은 유해한 입자상물질을 다량으로 배출할 것으로 예측되므로 돌연변이와 암 발생등 거주자의 건강위해가 우려된다.

경유차량 배출물질의 인체 영향을 예측하기 위하여 '95년부터 '97년 까지 서울의 미세먼지 오염농도를 살펴보면 다음과 같다(표 5). 대기 중 존재하는 미세먼지는 입자의 직경이 $10 \mu\text{m}$ 이하로서 경유차량에서 배출되는 유해한 입자상물질을 포함하고 있다.

표 5에서 '95년 이후 '97년 까지의 3년간 미세먼지의 연평균 오염도는 감소한 것으로 나타나고 있다. 그러나, 현재로서는 미세먼지의 뚜렷한 감소 경향을 속단하기는 어렵다. 단지 향후 IMF의 영향으로 인한 차량운행 감소와 운행속도 향상에 따라 미세먼지 발생이 줄어들 것이라는 판단은 가능하지만 미세먼지의 주요 발생원인 경유차량의 운행을 현저하게 감소시키거나 매연 여과장치를 부착하여 매연량을 감소시키지 않는 한 유해한 미세먼지의 감소

표 6. 서울 지역 경유차량 배출물질에 따른 암발생 예측 (인구 1,000만명, 96년 연평균 오염도 기준)

평균 먼지 오염중 경유차량에 기여 비율에 따른 입자상 물질 농도 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	서울 거주 주민의 초과 발암위해 예측(명)
10%(7.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	21,600
20%(14.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	43,200
30%(21.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64,800
40%(28.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	86,400
50%(36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	108,000
60%(43.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	129,600
70%(50.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	151,200
80%(57.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	172,800
90%(64.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	194,400

주: '96년 서울 지역의 연평균 먼지오염도는 $72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 개인의 암발생 위해는 OEHHA 제안값인 3×10^{-4} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)⁻¹ 을 사용.

효과는 기대하기 어려울 것이다.

현재 서울의 경우 미세먼지 오염중 경유차량이 배출하는 입자상물질에 관한 정확한 측정 사례는 없다. 그러나, 환경부가 96년 6월 25일 제시한 미세먼지 관리대책 자료에 의하면 서울의 경우 미세먼지 발생원은 자동차가 83% 이상을 차지하고 있으며, 대형경유차량이 자동차 미세먼지 발생원의 63.3%를 차지하는 것으로 나타났다. 따라서, 이 자료를 토대로 하면 경유차량에서 발생되는 미세먼지는 총 미세먼지 농도의 50% 이상을 상회하는 것이 된다.

'96년 서울의 평균 미세먼지 농도를 근거로 하여 미세먼지 중 경유차량 배출 비율을 가정하고 평생 서울 거주 주민의 암발생 위험을 추산하면 표 6과 같다.

만일 미세먼지 오염농도 중의 경유차량 배출물질의 기여율을 이러한 논거에 따라 50%로 가정한다면, 표 6에서 보듯이 평생 서울 거주 주민 1,000만명 중 108,000명이 기타의 다양한 암발생 요인의

영향 이외에, 경유차량 배출물질의 대기오염 만으로 추가로 암에 걸릴 수 있는 위해 수준으로 평가할 수 있다. 이는 10만명당 한명(천만명에 100명) 정도로 암발생 위해를 관리하고자 하는 일반적 환경위해 관리 목표를 감안할 때 상당히 높은 위해 수준이라고 할 수 있다.

결 론

서울 등 대도시 지역의 대기오염원은 주로 자동차 배출가스로 볼 수 있으며 다수 인구의 자동차 배출가스에 대한 노출 가능성이 예견된다. 그러나, 국내의 경우 국민과 중앙정부 및 지자체는 소수의 대기질 기준항목의 농도 측정에만 관심이 있을뿐 자동차 배출가스에 함유된 무수한 유해물질에 의한 인체 피해에 대해서는 인식과 대응이 매우 부족한 실정이다. 특히, 인구가 밀집된 서울 등 대도시의 대기 중에는 돌연변이와 암을 유발할 수 있는 자동차 배출물질이 상당한 수준으로 오염되었을 것이므로 이를 중심으로 명확하게 오염 현황이 파악되고 대책이 마련되어야 한다.

자동차 배출가스 중에서도 대형 경유차량에서 배출되는 입자상 배출물질은 미세먼지 오염의 주요 원인이며 인체에 대한 발암위해가 매우 높으므로 철저하게 오염 현황과 건강 피해 가능성을 파악해야 한다.

따라서, 서울과 수도권 등 대도시 대기중의 차량에서 배출되는 주요 유해물질의 농도는 상시 측정되어야 하고 발암 위해성 평가도 시급히 이루어져야 한다. 이를 위해서는 정부의 다음과 같은 조치가 요구된다.

첫째, 자동차 배출가스 중의 유해물질 특히, 발암성 물질인 Benzene, 1,3-Butadiene, Formaldehyde, Benzo[a]pyrene, Arsenic, Nickel, 버스 및 트럭 중의 입자상물질 등을 "대기 발암위해 측정항목"으로 지정해야 한다.

둘째, "대기 발암위해 측정항목"에 대한 거주지역에서의 농도를 상시 측정하여 국민 노출 정도를 파악할 수 있는 체계를 수립하고 측정기술을 서둘러 도입·개발해야 한다.

셋째, 측정된 결과를 바탕으로 발암 위해를 추산

하고 이를 공표함으로써 자동차 운행 자제와 관련하여 국민의 협조를 구해야 한다.

넷째, 추산된 발암 위해성을 기초로 하여 자동차 운행 규제계획 및 자동차 배출물질 중 발암물질에 대한 국민 노출 저감계획을 수립해야 한다.

다섯째, 경유차량의 매연 단속을 강화하고 매연여과장치의 부착을 서둘러 유해한 입자상물질의 배출을 저감시켜야 한다.

참 고 문 헌

1. 대기환경보전법, 환경부
2. Patrick, Toxic Air Pollution Handbook (1994)
3. Groblicki, P.J. and C.R. Begeman. Particle size variation in diesel car exhaust. SAE Technical Paper No. 790421, SAE Trans (1979)
4. Dolan, D.F., Kittelson, D.B. and D.Y.H. Pui. Diesel Exhaust Particle Size Distribution Measurement Techniques. SAE Technical Paper No. 800187, SAE Trans (1980).
5. National Research Council. Diesel Cars: Benefits, Risks, and Public Policy. Diesel Impacts Study Committee, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C., pp.142 (1982).
6. Pierson, W.R., Gorce, R.A., Jr., Szkarlat, A.C., Brachaczek, W.W., Japar, S.M., Lee, F.S., Zweidinger, R.B. and L.D. Claxton. Mutagenicity and chemical characteristics of carbonaceous particulate matter from vehicles on the road. *Environ. Sci. Technol.*, **17**, 31-44 (1983).
7. IARC, Letter from Dr. L.K. Shuker, International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, Lyon, France, to Dr. K. Hooper, California Department of Health Services, Berkeley, CA. IARC reference number CI/75/2-S4(87) (1987).
8. IRIS (1995).
9. International Agency for Research on Cancer. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Diesel and Gasoline Engine Exhausts and Some Nitroarenes, *Monographs* **46**, pp.41-57 (1989).