

## [연구논문]

## 쾌적한 보행환경 조성을 위한 도로변 미세먼지 저감방안 연구

## A Study on Reducing Roadside PM10 Concentrations for Walkable Streets in Seoul

김 운 수\* · 장 지 희\*\*

## 목 차

- |                            |                         |
|----------------------------|-------------------------|
| I. 머리말                     | IV. 선진외국의 도로변 미세먼지 관리사례 |
| II. 서울시 미세먼지 관리현황          | V. 도로변 미세먼지 관리전략        |
| III. 도로변 미세먼지 발생량 및 오염도 현황 | VI. 맺는말                 |

## ABSTRACT

WoonSoo Kim · Jee - Heui Jang

Citizens are increasingly concerned about the impacts of PM10 pollutants on human health, and the urban environment. This concern is backed up by increasing scientific evidence. In 1997, road transport, one of the major sources of urban air pollution, especially accounted for around 67.2% of PM10 emissions in Seoul. Without dramatic reductions of PM10 emissions from transportation source, the on-going walkable city movement would not be successful. Based on Seoul Government's general PM10 reduction plans, various measures already in place are expected to meet such perspective. However, roadway PM10 abatement plans are not easy to meet PM10 reduction goals, even though there will be significant reductions in PM10 emissions from other sources. With a view to enhancing roadway environment by applying roadways cleaning systems to the targeted PM10 sources, this paper is intended to provide an accessible and factual strategies to effectively reduce PM10 pollutants associated with vehicle use along the roads. It also outlines the Seoul Government's strategic policy framework, including several measures for reducing transport-related PM10 emissions. Finally, roadway cleaning system is introduced to effectively deal with the first-priority target sources of general PM10 emissions in Seoul. It is estimated that, with applying roadways cleaning system to target sources, the reduction efficiency is about 50% for transport-related emissions in 2007. In the future, the practice of combined policy such as roadways cleaning system, more stringent vehicle emission standard, TDM, attachment of dust-control device, fuel reformulation, etc. will dramatically reduce PM10 emissions in Seoul, thereby ensuring walkable city movement.

\* 서울시정개발연구원 도시환경연구부 연구위원

\*\* 서울시정개발연구원 도시환경연구부 연구원

## I. 머리말

최근 들어 시민의 건강을 위협하고, 또한 시정 장애를 유발하는 요인인 미세먼지(PM10)의 인체·환경 위해성에 대한 경각심이 한층 고조되고 있다. 이는 미국·유럽 등 선진외국에서 진행되고 있는 미세먼지 환경기준의 강화와 기본맥락을 같이하고 있다. 그러나 대기오염물질 가운데 가장 기본적인 형태의 오염물질인 미세먼지의 발생원은 도로와 공사장, 연소과정, 그리고 생활주변 등과 같이 매우 다양한 뿐만 아니라 배출패턴도 상이한 특성을 보여, 관리전략 수립의 한계요인으로 작용하고 있다.<sup>1)</sup>

한편 “건강 싶은 도시 만들기”와 같이 정부·시민간 활발한 연대를 통해 보행환경 개선을 위한 다양한 시도가 행해지고 있으나, 도로변 미세먼지 발생요인과 접근방안에 대하여는 실질적인 관리가 이루어지지 않는 사각지대로 남게 되어, 건강 싶은 보행환경의 조성은 그다지 성과를 나타내지 못하고 있다. 이의 근본원인은 도로변 미세먼지 발생원에 관한 정확한 정보의 부족, 그리고 이로 인한 접근체계의 미흡을 들 수 있다.

이에 본 연구의 주된 관심은 도로변 미세먼지 발생의 실제적 저감화를 도모하여 환경위해성의 제어와 함께 쾌적하고 청정한 도로변 보행공간의 조성에 두고자 한다. 즉 환경위해성이 높은 도로변 미세먼지 발생의 저감을 통해 쾌적한 도로변

공간을 조성하고, 한편으로 선진외국의 제반 저감 사례 수집·분석 및 서울시에의 적용을 도모하기 위한 것이다. 한편 본 연구에서는 서울시 도로변 미세먼지 오염현황을 파악하고, 실제 적용·고려 중인 저감방안의 효과를 개략적으로 살펴보기 위한 방법으로 도로변 자동차 배출가스 측정망 자료의 실증분석과 문헌연구를 병행 실시하였다.

## II. 서울시 미세먼지 관리현황

### 1. 미세먼지의 개념 및 인체건강 영향

일반적으로 대기 중에 존재하는 먼지는 공사장과 사업장 연료의 연소과정에서 발생하는 먼지(입자직경이  $10\mu\text{m}$  이상), 자동차의 배출가스 및 이의 연소과정에서 직접 발생하는 미세먼지(PM10)의 두 가지로 분류된다. 전자의 경우, 인체 유입시 코의 섬모나 기도 등에서 걸려져 폐 깊숙이 침투되지 못하는 것이 보통이다.<sup>2)</sup> 그러나 직경  $10\mu\text{m}$  미만인 미세먼지의 경우, 자체로서의 인체피해뿐만 아니라 금속·유기물·산·이산화질소 그리고 기타 다른 오염물질 등과 결합하여 2차 오염물질로 변화한 후 인체흡입시 기관지 또는 폐포부위에 침착하기 쉬운 특징으로 인하여, 미세먼지는 인체의 폐기능을 저하시키고 폐암 발생률을 증가시키는 요인이 된다.<sup>3)</sup>

일례로 미국 151개 대도시의 성인 55만명을 대

1) 서울시 지역내 미세먼지 발생량은 36.9천톤(1997년), 32.6천톤(2002년) 수준으로, 도로차량 운행·공사장·자동차 연료연소·타이어 마모 등이 주된 배출원인 것으로 추정된다(서울시, 2000).

2) 미세먼지(PM10)이란 공기속에 포함되어 있는 오염물질로 직경이  $10\mu\text{m}$ 인 액체 및 고체를 총칭적으로 지칭한다.

3) 대기오염 증가에 기인하여 1983년 우리나라에서 폐암으로 사망한 사람은 2,155명으로 인구 10만명당 5.7명이었으나, 11년후인 1994년에는 8,196명이 사망하여 인구 10만명당 19.1명으로 추정되고 있다. 서울의 경우도 대기오염으로 기관지나 폐 질환으로 인한 사망자수가 늘어나 인구 10만명당 폐암 사망률이 1990년에 11명이었던 것이 1995년에는 14.5명으로 증가한 것으로 보고되고 있다(서울시·서울의제21 추진협의회, 1997).

상으로 조사한 결과에 의하면, 미세먼지 오염수준 순위가 최상위인 도시는 최하위의 도시보다 사망률이 17%나 높은 것으로 분석되고 있다. 미국 캘리포니아주 지역에서는 자동차 미세먼지로 인하여 인구 100만명당 약 1,000명 정도가 매년 암에 걸려 추가 사망하는 것으로 추정되고 있다.<sup>4)</sup> 참고로 미세먼지의 오염수준에 따른 외국의 예방조치 권고사항은 <표 1>과 같다.

<표 1> 미세먼지(PM10) 오염수준에 따른 예방조치

구분	환경기준	예 방 조 치
건강위해 (위험)	500	· 위험수준 : $500\mu\text{g}/\text{m}^3$ · 예방조치 : 모든 실외활동억제 및 실내 채류 또는 옥외활동 최소화
	400	· 경고수준 : $420\mu\text{g}/\text{m}^3$ · 예방조치 : 실외활동 삼가며, 심장·폐질환 기능성이 있는 사람은 실내채류 권고
건강위해 (이주불편)	300	· 건강 위험수준 : $350\mu\text{g}/\text{m}^3$ · 예방조치 : 활발한 실외활동 자제 및 심장·폐·호흡기질환자의 실내채류 권고
	200	
건강위해 (나쁨)	100	· 환경기준 초과 : $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ · 예방조치 : 심장·폐질환, 그리고 호흡기계통 환자의 실외활동 자제
적당	50	· 인체건강상 영향무시
양호	0	· 인체건강상 영향무시

자료 : South Coast Air Quality Management District(1996).

## 2. 서울시 미세먼지 오염현황

### 1) 미세먼지 오염 현황

서울시 지역내 총 27개 측정소 가운데 10개 측정소에서 현재 미세먼지 오염도를 측정하고 있다. 서울시 미세먼지 오염현황의 경우 국내의 연평균 환경기준치인  $80\mu\text{g}/\text{m}^3$ 를 초과하는 측정소는 1995년 5개소, 1996년 3개소로서 다소 개선된 수치를 보이고 있다. 그러나 일평균 기준인  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$  초과하는 측정소는 1995년 9개소에서 1996년 10개

소 모두가 해당되어, 단기기준 위반사례가 점증하여, 시민의 체감오염도가 악화되는 요인이 되고 있다.

특히 서울시의 미세먼지 농도와 세계 주요도시 간 미세먼지 농도를 비교할 때(1995년 대비), 서울시의 연평균 농도인  $78\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1995),  $72\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1996)은 동경  $57\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 로스엔젤레스  $49\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 오타와  $61\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 상당히 높은 수준을 나타내고 있다(환경부, 1996).

### 2) 미세먼지의 성분 및 발생원

서울시 미세먼지 가운데 자동차 배출가스와 연료의 연소과정에서 주로 배출되는 탄소화합물과 황산염, 질산염 등이 많이 포함되어 있다(환경부, 1996). 이를 미국 남부 캘리포니아주 지역의 미세먼지 성분과 비교하여 보면 탄소화합물의 성분이 비교적 많이 포함되어 있음을 알 수 있다(<표 2> 참조).

<표 2> 미세먼지의 성분 비교 (1995년)

구분	탄소화합물	황산염	질산염	기타
서울시	54	15	10	21
남부 캘리포니아	30	9	15	46

자료 : 환경부, 내부자료, 1996.

서울시의 미세먼지 성분 중 탄소화합물은 주로 자동차 배출가스로부터 발생되며, 황산염·질산염 등의 입자상 물질들은 배출된 아황산가스와 이산화질소 등이 물리·화학적으로 변화하여 2차적으로 발생된다. 서울시 미세먼지 발생량의 대부분은 자동차에서 배출되고 있으나, 특히 전체 차량의 5%에 불과한 시내버스·트럭 등의 대형경유차가

4) 경향신문(1996년 12월 23일자 환경기사 참조). 또 다른 지역별 역학조사(Dose-Response Study)에 의하면, 초미립자는 폐의 깊은 곳에 침착되어 미세먼지보다 더욱 해로운 건강상 피해를 유발하는 것으로 미국 환경청이 보고하고 있음.

총 자동차 미세먼지 발생량의 67.5%를 차지하고 있어 그 대책이 시급한 실정이다.

이러한 발생 기여도는 자동차에 의한 서울시 대기오염 기여도와 동일한 맥락을 보이는 것으로서, 결국 미세먼지 저감의 일차적 대상은 도로부문(자동차)이라고 할 수 있다.

### 3. 미세먼지 대기환경수준 및 저감목표

미국의 경우 1987년부터 미세먼지(PM10)의 환경기준을 설정하고, 이의 오염도를 측정하고 있다. 우리 나라의 경우, 1994년에 미세먼지 환경기준을 설정하고 1995년부터 측정·관리하고 있다. 우리 나라 및 외국의 먼지 및 PM10의 오염수준을 비교할 경우, 현재까지는 외국 대도시의 미세먼지 오염수준에 비해 다소 높은 수준임을 알 수 있다(<표 3> 참조). 다만, 서울시 미세먼지 중

<표 3> 국내·외 주요도시별 대기환경 수준비교

오염항목	단위	시 울				뉴욕	통경	부산	북경
		1997	1999	2002	2007				
SO <sub>2</sub>	ppm/년	0.011	0.007	0.005	0.005	0.012	0.007	0.018	0.047
NO <sub>2</sub>	ppm/년	0.032	0.032	0.028	0.022	0.040	0.031	0.028	0.067
CO	ppm/8hr	1.2	1.1	1.0	0.9	6.1		1.0	2.6
PM10 (TSP)	μg/m <sup>3</sup> /24hr	68	66	52	48	51.1	45	68(84)	(371)

주: 측정자료 - 외국 및 부산의 대기질(1997년)과 서울(1997년·1999년), 목표치 - 서울(2002·2007년).

자료: 1) 환경부, 「환경통계연감」, 1998.

2) [http://www.doc.mmu.ac.uk/aric/ace/aq\\_05.html](http://www.doc.mmu.ac.uk/aric/ace/aq_05.html)

3) World Development Report(1998/1999).

4) Hao, J., "Air Pollution and Control Strategy in Beijing", Workshop on Energy-Related Pollution in Urban Areas of the Asia-Pacific Region, East-West Center, 1998.

합저감대책 수립이후 2002년과 2007년의 서울 미세먼지 오염도는 현저하게 저감될 수 있을 것으로 추정된다.<sup>5)</sup>

한편 서울시는 최근 들어 인체건강 위해성의 주요 관심대상인 미세먼지를 저감하기 위하여 도로변, 공사장, 사업장, 생활주변 등 다각적인 발생원별 저감대책을 계획하고 있다. 이러한 서울시 먼지저감 종합대책의 수립은 세계보건기구(WHO)에서 권고한 환경기준치를 근간으로 하고 있으며, 이에 따른 서울시 먼지저감 수립목표는 <표 4>와 같다.

<표 4> 서울시 미세먼지(PM10) 오염도 달성목표

구 분	단위	서울시 환경기준	국가기준	기준년도	1 단계	2 단계
				1997	2002	2007
미세먼지	μg/m <sup>3</sup>	60(년)	80(년)	68	52	48

## III. 도로변 미세먼지 발생량 및 오염도 현황

### 1. 도로변 미세먼지 발생량 추정

먼지 발생원의 발생특징은 규정된 일정한 배출구가 아닌 개방형 배출원에 의해 발생되고 비산한다는 점이다. 특히 도로변에서의 미세먼지 발생은 크게 연료연소에 의한 것과 차량운행에 의한 것으로 대별된다. 전자의 경우 자동차 운행에 따른 연료연소에 의한 발생량을 의미하며, 후자의 경우 자동차 운행에 의한 타이어 마모, 비산먼지

5) 서울시 먼지 오염도의 경우 대기정체로 인하여 봄철 및 겨울철 난방기에 높게 나타나며, 5월~6월경에 대기환경기준을 초과하는 빈도가 상대적으로 높게 나타나고 있다. 이에 서울시에서는 먼지오염의 총체적 저감을 도모하기 위하여 세계보건기구(WHO)의 환경기준 권고치를 근간으로 2000년까지 총먼지 발생량 77천톤(1996년 대비 60% 수준유지), TSP 오염도 60μg/m<sup>3</sup>, 미세먼지 오염도 55μg/m<sup>3</sup> 수준을 목표로 계획수립 및 이의 추진을 도모하고 있다.

발생 등과 같은 2차적인 먼지발생을 의미한다.<sup>6)</sup>

### 1) 자동차 연료연소

차종별 연료연소에 의한 미세먼지 발생량은 단위 주행거리당 배출계수를 적용하지 않고, 도로별 실제 주행상태를 감안하여 속도변화를 고려하는 EU 배출계수를 적용·계산하였다(서울시, 2000).<sup>7)</sup> 그리고 서울시 OD Network 통행량 자료는 1997년 교통량 조사자료를 이용하며, 시간대별 통행량 배정은 서울시정개발연구원에서 개발한 교통혼잡 프로그램인 SECOMM 모델을 이용하여 산출된 결과를 활용하였다.

<표 5> 속도변화를 고려한 EU 배출계수

(단위: g/km)

구분	CC	속도인계	속도에 따른 배출계수
승용차	-	-	0
LPG vehicle <2.5t (LPG차량)	-	-	0
diesel vehicle <2.5t (소형버스)	all	10-130	0.45-0.0086V +0.00058V <sup>2</sup>
urban buses and coaches (대형버스)	Urban Buses	0-50	7.8609V <sup>2</sup> +0.7360
	Coaches	0-120	9.2934V <sup>2</sup> +0.7373
diesel light duty <3.5t (소형트럭/중형버스)	Conventional	10-130	0.0000125V <sup>2</sup> -0.000577V+0.2880
diesel heavy duty vehicle (7.5톤이하 : 중형트럭, 7.5톤이상 : 대형트럭)	Weight<7.5t	0-100	4.5563V <sup>2</sup> +0.7447
	7.5<Weight<16	0-100	9.6037V <sup>2</sup> +0.7259

자료: 서울시(2000).

### 2) 도로에서의 비산먼지 발생량 추정

도로이용에 따른 먼지발생의 일반적 형태는 토사운반 및 건설현장 등에서의 트럭 이용, 토양침식, 도로의 모래살포, 타이어 마모 등에 기인하여

발생된 먼지가 차량이나 바람에 날려 도로에 침적하는 먼지이다. 도로에서의 비산먼지는 차량운행에 의한 타이어의 마모 및 기타 발생요인으로 구분하여 산출하였다.

#### (1) 차량별 타이어 마모

타이어 마모에 의한 비산먼지 발생량은 1991년 국립환경연구원에서 제시한 배출계수와 도로 링크별·차종별 통행량과 주행거리 자료에 근거하여 산출하였다. 타이어 마모에 의해 발생된 먼지 가운데 PM10 분율은 EPA Speciate에 제시된 PM10 분율인 0.44를 적용하였다.

<표 6> 차종별 타이어마모에 의한 비산먼지 배출계수

지종	배출계수
승용차, 택시, 소형버스, 소형트럭	0.118g/km·대
대형버스, 대형트럭	0.23g/km·대

자료: 서울시, 「2000년대 서울시의 대기오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구」, 1996. 12.

#### (2) 도로 차량운행

도시지역내 포장도로에서의 비산먼지의 주요 배출패턴은 차량운행에 따라 도로에 침적된 먼지의 재비산이며, 이는 차량통행량, 바퀴수, 표면 Silt 함량, 도로주행시 차종별 차량 무게, 지표면 수분습도 등에 의해 결정된다. 본 연구에서는 이러한 요인을 고려하여 미국 AP-42(1995)에 수록된 UA EPA의 배출계수를 적용하여 (식1)과 같이 산출하였다.<sup>8)</sup> 즉 도로 차량운행에 의한 비산먼

6) 비산먼지 발생과 확산의 물리적 메카니즘은 첫째, 기계적인 힘에 의하여 먼지발생 대상물질(예: 지표층) 표면의 파쇄에 의한 것과 둘째, 바람이 19km/hr이상의 속도로 나대지와 같은 표면에 불어올 때, 기류의 난류발생으로 인해 표면상 입자물질의 부유 현상으로 나눌 수 있다. 특히 도로변 미세먼지의 2차적 발생의 경우가 이에 해당됨.

7) 현재 국립환경연구원에서 추정한 배출계수는 저속 주행에서 산출된 것으로서, 고속 주행에서는 적용하기에는 곤란함. 이에 우리 나라 자동차 제작기술과 배출허용기준 등을 감안하여, 이에 상응한 EU 배출계수를 적용함.

8) 미국 EPA AP-42에 의하면 도시지역 포장도로의 입자크기에 따른 보정계수 및 도로종류에 따른 평균 Silt 부하량 및 차종별 차량무게 등을 고려하여 배출계수를 제시하고 있음.

지 배출량은 배출계수에 링크별 주행거리를 적용하여 산출하였다.

$$E = k \left( \frac{SL}{2} \right)^{0.65} \times \left( \frac{W}{s} \right)^{1.5} \quad (\text{식1})$$

$$\begin{cases} E = \text{배출계수(g/km)} \\ k = \text{도로표면 먼지 부하량(g/km)} \\ SL = \text{도로표면의 Silt 부하량(0.1g/m}^2\text{)} \\ W = \text{도로주행시 차종별 차량무게(톤)} \end{cases}$$

<표 7> 포장도로에서의 기본배출계수(k)

(단위: g/km)

구 분	TSP	≤15 μm	≤10 μm	≤2.5 μm
기본배출계수, k(g/km)	24	5.5	4.6	1.1

자료: EPA(1999).

<표 8> 포장도로에서의 Silt 부하량(SL)

(단위: g/m<sup>2</sup>)

구 분	교통량>5,000대/일	교통량이 적은 지역
정상조건	0.1	0.4
악 조 건	0.5	3

주: 악조건이란 겨울-폭풍우 후의 상태 및 진흙/흙 이송 지역을 의미함.

이에 도로·교통부문의 미세먼지 발생량의 경우 서울지역 총량의 66.0%(1997년), 77.7%(2000년), 74.0%(2001년)으로 배출비중은 증가후 감소 경향을 보이나, 배출총량은 증가하고 있음을 추정

할 수 있다. 특히 자동차 연료연소에 비해 차량운행과정에서 파생된 미세먼지의 발생량과 비중은 지속적으로 증대되는 경향을 발견할 수 있다(<표 9> 참조).

<표 9> 서울시 도로·교통부문에 의한 미세먼지(PM10) 발생량 추정

(단위: 톤/년)

구 분		1997	2000	2001
서울지역 총발생량		36,919(100.0%)	32,246(100.0%)	34,036(100.0%)
도로·교통	연료연소	3,540	3,858	3,968
	타이어 미모	2,279	2,231	2,193
	차량운행	18,554	18,973	19,015
	소 계	24,373(66.0%)	25,062(77.7%)	25,176(74.0%)

자료: 서울시(2000).

## 2. 도로변 미세먼지 오염도 현황

서울시 지역에 설치된 7곳의 자동차 배출가스 측정망(<그림 1> 참조) 측정자료와 일반 대기오염 자동측정망 측정치를 상호 비교할 경우, 도로변 오존오염 수준은 낮으나 이산화질소, 일산화탄소, 아황산가스는 상대적으로 높은 수준을 나타내고 있다.



구분	측정소명	위 치
1	서울역	용신구 통직동 43
2	청계천	종구 주교동 125
3	통대문	종구 을지로 7가 135-5
4	신사동	강남구 논현동 1
5	신 촌	미포구 노고신동 31-6
6	영등포	영등포구 영등포동 4가 66
7	청량리	통대문구 청량리동 746

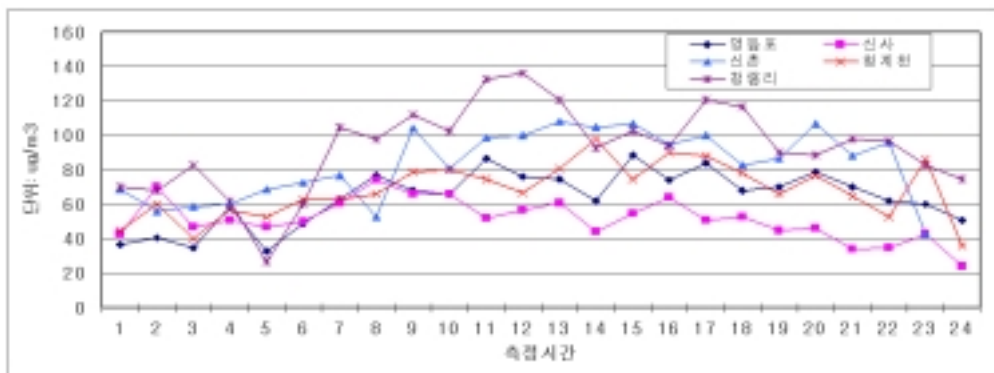
<그림 1> 서울시 자동차 배출가스 측정망 설치현황

특기할 사항은 자동차 유발 이산화질소와 미세먼지 오염항목의 경우 서울시 및 국가환경기준을 초과하는 수준을 보여, 걷고 싶은 도시를 만들기 위해서는 도로변 보행환경 개선이 일차적인 전제

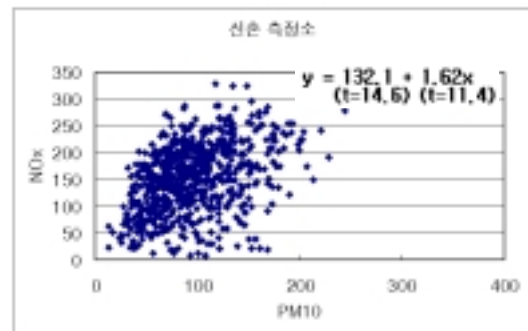
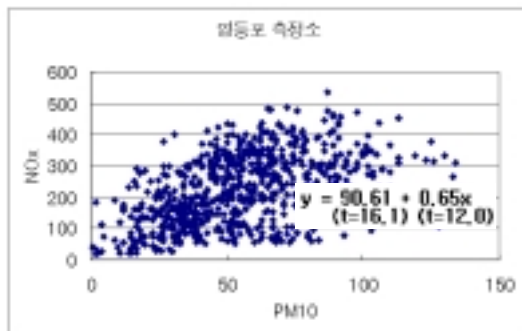
조건이 되어야 함을 알 수 있다. 또한 도로변 미세먼지와 질소산화물 오염농도간 상관분석에 의하면 (<그림 3> 참조), 뚜렷한 (+)의 상관성을 보여 2차 오염물질 형성의 가능성을 시사하게 된다.

<표 10> 오염항목별 도로변 대기오염도 (서울시 도로변 대기오염 측정소)

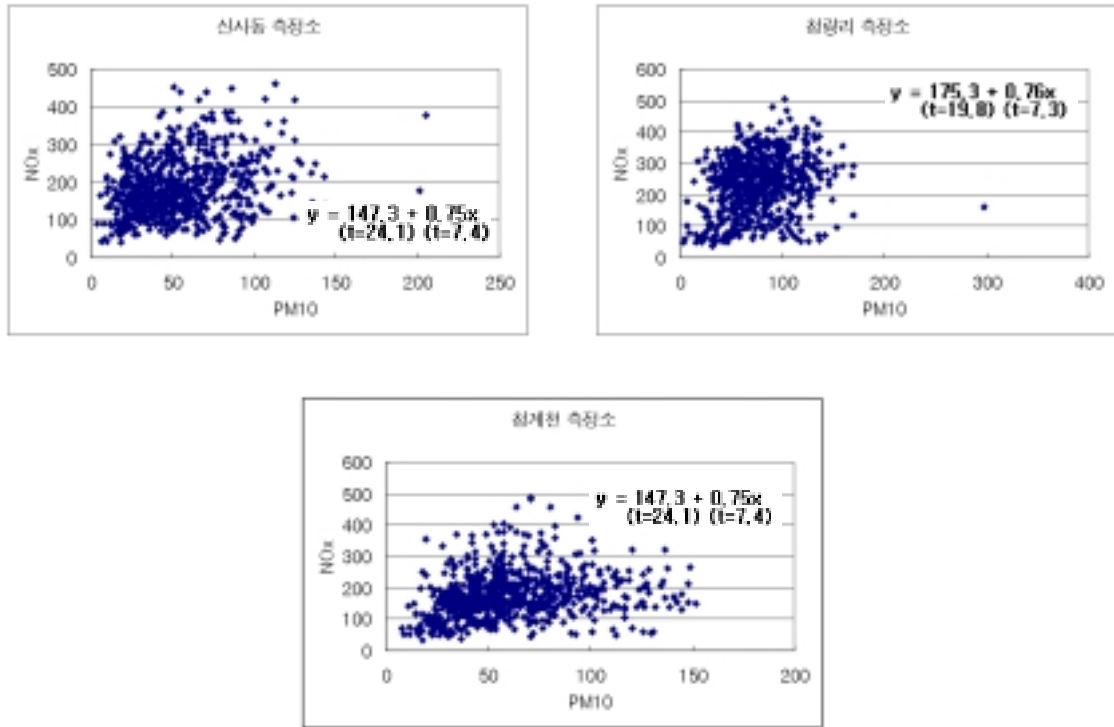
구 분	이황산화가스	먼지(PM10)	오 존	이산화질소	일산화탄소
국가환경기준	0.03ppm/년	80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 년	0.06ppm/8시간	0.05ppm/년	9ppm/년
서울시 기준	0.01	60	0.06	0.04	9
일반대기 평균오염도	0.006	69	0.023	0.037	0.7
도로변 평균오염도	0.008	80	0.017	0.055	1.6
영등포	0.008	44	0.019	0.041	1.3
서울역	0.006	96	0.013	0.018	1.5
청계천	-	106	-	0.061	1.6
청량리	-	89	-	0.071	1.5
신촌	0.010	90	0.020	0.047	1.5
영등포	-	68	-	0.084	1.6
신사동	0.008	66	0.014	0.062	2.0



<그림 2> 측정시간별 도로변 미세먼지 오염도 변화(1999년 6월 1일)



<그림 3> 도로변 미세먼지와 질소산화물 농도간 상관성 분석(1999년)



(<그림 3> 계속) 도로변 미세먼지와 질소산화물 농도간 상관성 분석(1999년)

#### IV. 선진외국의 도로변 미세먼지 관리사례

##### 1. 미국

###### 1) 미세먼지의 인식변화

미세먼지(PM10)의 건강영향에 관한 임상실험 결과, 미세입자는 호흡기 질환을 유발할 뿐만 아니라 다른 심장혈관계통의 질병을 가속시킨다고 경고하고 있다. 이외에도 미세입자는 시계(Visibility)를 저하시키고, 건물 손상 등 재산상의 피해를 초래하는 요인으로도 작용한다. 미국 연방 대기환경기준(NAAQS : National Ambient Air

Quality Standard)에 의하면, 미세먼지의 1차(건강기준) 및 2차(복지기준) 기준치를 1987년에 수정하여 현재 24시간 기준치  $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 연간 기준치  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 설정되어 있다.<sup>9)</sup> 이에 연방대기환경기준을 초과하는 지역은 대기질 미달성지역(Nonattainment Area)으로 지정되어, 일차적으로 지역차원의 대기보전실천계획이 수립·시행되도록 법적으로 규정되어 있다.

또한 최근 미세먼지에 관한 새로운 실험결과([www.eq.state.ut.us/eqamc/pm10.htm](http://www.eq.state.ut.us/eqamc/pm10.htm) 참조)에 따라, 추가적인 PM2.5 기준설정의 필요성이 제기되고 있다. 즉 미국 환경청은 공공의 건강과 환경을

9) 24시간 PM10기준치는 “1-expected-exceedance”의 형태로 나타낸다. 기준치의 달성은 연간 기준치를 초과하는 날의 기대일수(3년 이상의 자료를 평균)가 1보다 적거나 1과 같을 때를 의미함.



보호하기 위한 불가피한 대응방안의 일환으로서, 현재의 1차 미세먼지 기준치를 개정하여,  $15\mu\text{g}/\text{m}^3$  (연간  $\text{PM}_{2.5}$  기준치),  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  (24시간  $\text{PM}_{2.5}$  기준치)로 새롭게 추가하는 것이다.<sup>10)</sup>

## 2) 유타주 및 캘리포니아주의 미세먼지 발생현황 및 저감대책

유타(Utah)주의 경우 대기 역전층이 자주 형성되는 겨울철에 미세먼지에 의한 환경위해성이 매우 높으며, 이러한 미세먼지는 자동차 매연·고체연료의 연소·농업활동·기타 건설활동 등으로부터 생성되고 있다. 특히 자동차 매연으로 인한  $\text{PM}_{10}$ 의 비중은 Salt Lake와 Weber지역의 경우 약 80%를 상회하고, Utah지역은 76%를 나타내고 있다. 이에 미세먼지의 발생을 저감하기 위한 노력의 일환으로 목재를 태우는 것을 금지하고 있으며, 산업지역의 경우 겨울철에 석탄보다는 천연가스를 연소원료로 이용하도록 유도하고, 또한 자동차 매연발생의 감시 및 유지관리 프로그램의 실시를 추진하고 있다.

한편 캘리포니아주 남서부해안 대기질관리구역(SCAQMD: South Coast Air Quality Management District)의 경우 유타주와 유사한 미세먼지 발생원 분포를 보이고 있으나, 도로부문(65%), 자연현상(16%), 건설(13%), 농업활동(5%), 그리고 매립지(1%)의 발생원별 기여도를 보이고 있다. 이와 같은 미세먼지 발생원에서의 먼지저감을 도모하기 위하여 남서부해안 대기질관리구역은 유타주와 유사한 미세먼지저감 대책을 추진하고 있다

(SCAQMD, 1996).

특히 캘리포니아주는 먼지오염에 의한 인체건강 위해성 가능성이 인식되면, 시민에게 이를 주지하기 위해 먼지주의보를 발령하고 있음이 매우 특징적이다.

## 3) 도로먼지 저감대책(Clean Streets Management)

코첼라市 먼지저감 실천계획(CVSIP)에 포함된 먼지발생원 목록에 의하면, 코첼라밸리의 가장 주된 미세먼지 배출원은 도로먼지인 것으로 분석되고 있다. 이에 포장도로에서 발생하는  $\text{PM}_{10}$  배출량을 저감하기 위한 다양한 저감방안(예: 도로청소, 노면 안정화 등)을 추진하고 있다. 또한 코첼라 정부협의회는 먼지저감방안의 원활한 이행을 보조하기 위하여 “청정도로관리 프로그램”의 기금을 조성하고 있다. 그 결과, “육상도로교통효율법”(ISTEA)에 의거하여 설립된 “혼잡교통 관리와 대기질 보전”(CMAQ: Congestion Management and Air Quality) 기금으로 \$6,000,000 이상을 확보하기에 이르렀다.

한편 동 프로그램에 의하여 지역자치정부는 청정도로 관리방안(예: 비포장 노면의 안정화, 바람막이 설치 등)의 이행을 위한 기금을 요청하는 신청서를 코첼라정부위원회에 제출할 수 있다. 특히 코첼라 정부위원회는 “혼잡교통 관리와 대기질 보전” 및 육상도로교통효율법과 관련하여 먼지발생사업의 설계에서 건설까지의 작업단계별 먼지저감 지침을 제시하고 있다(<표 11> 참조).

10) 미국 환경청은 1차  $\text{PM}_{2.5}$  기준치에 대한 두가지 상이한 견해를 대변하는 입장을 취하고 있다. 첫 번째는 “제한” 정책 관점에서  $\text{PM}_{2.5}$  연간 기준치( $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 24시간 기준치( $65\mu\text{g}/\text{m}^3$ )로 규정하는 견해이다. 두 번째는 “고도의 예방” 정책차원에서 연간 기준치( $12\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 24시간 기준치( $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ )의 범위로 제안하는 것이다. 결국 두가지 견해에서 기준치 설정제안의 내용은 조금씩 다를지라도,  $\text{PM}_{2.5}$ 에 관한 새로운 주장이 제기되고 있는 사실을 유의할 필요가 있다.

&lt;표 11&gt; 코첼라벨리의 먼지(PM10) 저감 이행계획(CVSIP)

CVSIP 먼지저감 방안	수행상황
<b>비포장 도로</b> 비포장도로 노면의 화학적 처리 ① 일일 차량이동이 20회 미만인 도로 ② 도로의 최소한 30%를 대상으로 화학적 처리 ③ 시민의 보행가능성이 많은 곳	- 지방자치단체는 먼지저감 대책을 실행하는 조례 채택 : 20- 150 ADT인 비포장도로의 속도제한(15mph)과 150 ADT 이상의 도로에 대한 화학적 인정회나 포장 명시 - 별도로 공공도로를 위한 코첼라벨리시의 화학적 인정회/포장 계획 제시
<b>일차적인 시골길의 먼지 제어</b> ④ 일일 최소한 20회 이상의 차량이동 도로 ⑤ 화학적 인정제외 물 공급	- 먼지제어 조례에 따라 20- 150 ADT의 모든 비포장 도로에 대한 속도제한(15mph)과 150 ADT이상의 도로에 대한 화학적 인정제 또는 포장 명시
<b>비포장된 주차장의 포장</b> ⑥ 최소한 연 3,000회 이상 차량 통행이 있는 곳	- 먼지제어 조례에 따라 8대 이상의 차량주차 공간을 가진 비포장 주차장에 대한 포장 의무화 - 만약 경제적 부담이 되면, 화학적 인정회 권고
모든 비포장도로의 속도제한 : 15mph 규정	- 하루 20회 이하의 차량 이동이 있는 모든 비포장도로의 속도 제한을 15mph로 규정
<b>포장도로</b> 모래제거 프로그램의 입안 ⑦ 홀날림이후 24시간 이내에 포장도로에 쌓인 모래 나 기타 물질의 제거 ⑧ 규칙적인 도로 감사의 병행 실시	- ISTE A 기금을 사용하여 깨끗한 도로관리 프로그램 이행 - 포장도로 노면의 축적된 모래 홀날림을 제거·처리하기 위해 상주하기나 또는 계약된 직업인력의 배치
규칙적인 도로 청소 실시	- PM10 제거에 효과적인 도로 청소장비기 시중에서 구입가능 하며, 기시적인 PM10 제어 방법으로 대두 - CVAG는 지역의 도로 청소 프로그램을 위해 ISTE A 기금을 이용해 PM10 제거에 효과적인 장비구매계획 수립
<b>비포장도로 노면의 배출물 감소</b> ⑨ 화학적 인정제의 이용 ⑩ 교차점의 200피트 이내 ⑪ 주행도로의 25피트 이내	- 현재 포장도로의 Silt 이동을 초래하는 지역을 인정화시키기 위해 ISTE A 기금의 이용
<b>접근도로의 신설과 동시에 계약자 신장에 따른 접근도로의 포장 실시</b> ⑫ 포장방법 : 포장된 도로에서부터 확장 실시 ⑬ 매일 깨끗하게 처리	- Track-out을 최대 50피트로 규정한 District Rule 403 이행 - 계약자 : 조건을 지키기 위해 다양한 방법의 이용 가능

자료 : SCAQMD(1996).

## 2. 영국

### 1) 미세먼지의 인식변화

1960년대 후반이전, 영국은 석탄 연소에 기인한 스모그 현상을 제어하기 위하여, 1956년 대기청정법(Clean Air Act)을 제정·시행하게 되었다. 이의 주된 이유로는 런던 스모그 연구를 통해 스모그의 구성성분이 이산화황과 스모크 먼지입자(smoke particles)이며, 또한 두 가지 오염물질이 석탄 연소로부터 유발되므로 동시관리의 필요성

이 제기되었기 때문이다. 그러나 도시지역의 경우 첫째, 도시 교통량 증대에 따른 대기질 악화, 둘째, 대기오염에 의한 건강피해 인식의 확대 등이 특징적으로 나타나고 있다. 과거와 비교하면, 현재는 자동차가 대기오염의 주된 발생원으로 등장하게 되어, 석탄연소에 의한 이산화황·먼지오염보다는 자동차유발 이산화질소·먼지가 도시지역 환경오염의 주된 요인으로 자리잡고 있다.

영국의 경우, 여타 국가의 경우와 마찬가지로 먼지오염의 인체 건강피해에 관한 우려가 제기되



<그림 4> 자동차 유발 미세먼지에 의한 시정장애 및 미세먼지 형상

고 있음은 물론이다.<sup>11)</sup> 영국 대기오염 조사위원회의 대기오염물질과 사망률간의 상관관계에 대한 연구에 의하면, 1950년대~1970년대에 이루어진 연구의 경우 매연(Black Smoke)·이산화황 증가와 심장·허파질환으로 사망한 사람수간 밀접한 관련성이 있음이 입증되었으며, 8개의 서로 다른 연구 결과에 따르면  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) 증가는 일일사망률을 약 1%정도 증가시킨다는 결론을 도출하였다.

특히 8개 조사연구 가운데 4개 보고서에서 약 45%의 심장질환 사망률을 보이던 것이  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) 증가로 1.4% 증가하고, 5%를 차지했던 허파질환 환자의 사망률은 3.4%가 상승했다고 제시하고 있다.

또한 영국 대기오염 조사위원회는 “1991년 12월 런던의 대기오염 조사연구를 통하여 1일 매연 농도가  $228\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상승하고 시간당 이산화질소 농도가 228ppb까지 높아지자 전체 사망률이

약 10% 상승하며, 폐질환으로 입원하는 환자가 증가한 결과”를 바탕으로 하루  $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (PM10) 농도 증가는 인구 백만인을 가진 도시에서 이틀에 한 명의 환자가 발생한다는 결과를 도출하였다. 이러한 연구결과는 PM10 오염수준과 인체 건강피해간 직접적 상관성이 있음을 증명하고 있다.

이에 영국에서는 24시간 평균 미세먼지 측정치가  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ 일 때를 표준대기수치로 설정하고, 시민의 건강보호 관점에서, 대기환경기준치의 초과농도 수준을 억제하는 노력과 함께 PM10의 평균농도 감소대책을 병행·추진하고 있다.

## 2) 미세먼지 저감대책 보고서

최근 대기분진의 배출원과 농도에 관한 새로운 보고서가 영국 도시대기연구단체(QUARG)에 의해 작성되고 환경부에서 발행되었다. 이의 주된 관심은 종래의 대기분진 관련연구의 평가 및 도

11) 영국 도시대기의 먼지농도는 1950년대 이후로 급격한 감소되어서, 그 당시 평균  $300\mu\text{g}/\text{m}^3$ 이던 먼지 농도가 오늘날은  $30\mu\text{g}/\text{m}^3$  미만을 나타내고 있다. 이러한 먼지입자의 급격한 감소에도 불구하고, 먼지입자가 여전히 건강을 위협하고 있다는 것은 이해하기 어려운 일이나, 먼지로 인한 건강상 피해에 관한 증거는 영국을 비롯한 많은 나라의 대기독성연구에서 새로운 증거들이 계속해서 밝혀지고 있다.

시 대기중의 분진 저감을 위한 대책마련에 있다. 당해 보고서의 의의는 “도시 대기중의 분진 배출원과 농도에 대한 올바른 이해를 통해서만이 대기질 향상을 위한 정책 개발과 실천이 가능하므로, 모든 배출원에서의 분진 배출량을 저감하기 위한 기존의 대책을 재검토하고, 또한 추가 저감방안의 마련이 필요하다”는 것으로 요약할 수 있다. 상기 보고서의 내용을 정리하면 다음과 같다.

① 발생원 분포: 1차 배출원(배출원에서 공기중으로 직접적으로 방출되는 분진)으로는 도로·교통(25%), 건설·채광·채석업·산업활동 등의 비연소과정(24%), 산업활동 연소시설과 연소가 동반되는 과정(17%), 상업·주거지역의 연소(16%), 그리고 공공 전력발전(15%) 등의 순서이다.

② 도시지역 배출원: 도로교통이 주된 배출원으로, 1990년에 배출된 PM10의 86% 정도가 도로·교통부문에 의해 유발된 것이었다. 기타 산업 배출원과 가정의 석탄 연소로 먼지의 농도가 국부적으로 높은 곳도 있으며, 벨패스트시가 이에 해당된다.

③ 계절적 특성: 여름철의 경우 재비산되는 도로먼지가 높은 기여도를 나타내지만, 2차 배출원(황과 질소화합물이 햇빛의 영향으로 생성하는 분진)도 높은 PM10 농도를 유발하는 주된 요인 중의 하나이다. 반면에 겨울철의 높은 PM10 농도를 초래하는 주된 요인은 도로·교통유발 배출가스인 것으로 분석된다.

### 3) 도로변 미세먼지 저감전략

도시지역 미세먼지의 주된 배출원은 도로교통

부문임에 착안하여, 영국에서는 보다 특화된 저감대책의 수립에 착수하고 있다. 이러한 배경에는 도로·교통부문에서 배출되는 분진을 약 ⅔정도 줄이게 되면 영국 대부분의 도시에서 대기환경권장기준치를 만족시키는 수준이 될 것으로 예측되고 있기 때문이다.<sup>12)</sup> 이에 도로변 미세먼지 농도를 저감하기 위한 실천계획을 요약하면 다음과 같다.

① 자료체계의 구축: 자동차 운행과정과 연료연소에서 배출되는 미세먼지의 배출, 도로변 확산패턴, 그리고 여타 오염물질과의 반응을 통한 2차 오염물질 형성 등에 관한 제반정보를 구축하고 있다. 이는 도로변 미세먼지 발생특성을 감안한 저감전략 수립의 기초자료로서 제공되고 있다.

② 장기종합계획의 추진: 도로교통부문에서 배출되는 미세먼지 배출량을 현재와 비교하여 50% 수준의 총량저감 목표를 2010년에 달성하기 위한 장기종합계획을 마련하고 있다. 동 계획의 주된 내용은 운행자동차에 의한 단계별 배출저감 이행촉구와 신규자동차에 대한 보다 엄격한 EC 배출기준 적용이나, 고농도의 미세먼지 오염수준이 예고되는 경우에는 교통수요억제와 분산을 위한 각종 규제·유도정책이 수반되도록 하고 있다.

③ 교통계획과의 연계: 도로·교통부문이 미세먼지의 주된 배출원인 점을 인식하여 미세먼지를 과다 배출하는 경유자동차와 같은 특정 자동차를 대상으로 매연여과장치 기술개발 및 부착유도 등의 기술개발뿐만 아니라, 주행거리(VKT) 감소 및 통행수요 억제와 같은 교통계획을 통해 간접적인

12) 대기환경 권장수치를 충족시키기 위해서는 많은 배출량의 감소가 요구된다. 런던의 1991년 12월의 분진 농도를 기준으로 볼 때, 24시간 PM10 평균농도를  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  이하로 낮추기 위해서는 자동차 배기가스를 약 80% 이상 감소시켜야 함에 따라 2010년까지 배기량의 약 52% 정도 감소계획을 설정하고 있다.

미세먼지 저감전략을 추진하고 있다.

④ 시민의 참여유도: 미세먼지에 의한 인체건강 피해유발 사례와 같은 역학조사 결과를 공개하고, 또한 이를 공론화하여 도로변 미세먼지 오염농도를 저감하기 위한 시정책과 시민간 협력관계 구축을 용이하게 하고 있다.

## V. 도로변 미세먼지 관리전략

### 1. 서울시 먼지저감 종합대책의 추진

서울시 미세먼지의 주요 발생원으로는 자동차, 발전시설, 산업체, 공사장, 대형건물과 아파트 연소보일러 등 매우 다양한 분포를 보이고 있다. 그러나 앞서 분석한 바와 같이 서울지역에서 발생되는 미세먼지의 70% 수준이 도로·교통부문에 의해 유발되고 있음을 감안하면, 시민의 체감오염도를 개선하기 위해서는 자동차 유발 미세먼지의 저감방안 수립이 당면과제로 대두되고 있다.

특히 최근의 「삶의 질」 평가기준이 환경성 추구와 연계되고 있는 추세를 감안하면, 쾌적한 보행환경을 조성하기 위해서도 도로변 미세먼지 저감대책이 우선적으로 수립되어야 한다.

현재 서울시에서 추진중이거나 시행예정인 먼지저감대책은 <표 12>와 같이 요약할 수 있으나, 미세먼지 저감대책별 우선순위 선정과 추진대책의 실효성 제고를 위한 전략적 계획은 다소 미흡한 수준임을 알 수 있다. 예를 들면, <표 9>의 도로·교통부문에 의한 미세먼지 발생요인 가운데 차량운행에 의한 미세먼지의 발생비중이 상대적으로 매우 높음을 감안하면, 이에 적합한 저감대책 수립에 우선순위를 두어야 함을 의미한다.

<표 12> 서울시 먼지저감 종합대책의 주요내용

대 책 별	주 요 내 용
도로 기계화 청소 확대실시	· 진공흡입청소차 139대의 기동률 90%이상 향상 도모 · 진공흡입청소차의 효율적 운행을 위한 브리쉬의 직장사용과 직장 운행속도 준수 (예, 직장운행 속도: 중형 4km/시간, 대형 6km/시간)
가로수 및 도로변 수림대 관리방법 개선	· 가로수 보호판의 도심지역에서 변두리지역까지 확대 설치 · 수림대 조성시 흙을 경계식 성단 5cm이외로 복토하여 토사유출 방지 도모
지하철역 배수를 이용한 도로 클정소	· 기존 지하철 역사 및 상공구간에서 발생하는 지하수의 다목적 활용방안 모색
비포장 도로 관리강화	· 비포장도로 포장률 향상(92.2% → 94.5%) · 나대지와 하천 및 재방죽에 표지판 설치를 통한 차량통행 제한 유도
공사장 먼지발생 방지	· 월1회이상(갈수가 월2회) 지도점검 실시 · 먼지억제시설 설치운영 및 흙먼지발생 여부 확인 · 굴착공사장에 대한 굴착후 토사방지 여부 점검
시민홍보의 지속적 추진	· 포스터, 책자 등 발간·배포 · 대기오염 및 공익광고 전광판을 이용한 지속적 홍보 · TV, 라디오 및 종합유선방송 대담 추진 · 반성회보, 지역신문 게재 및 주민설명회 개최 · 동사무소의 자체방송망 및 아파트관리사무소 적극 활용

자료: 서울시, 내부자료(1997년).


### 2. 도로변 미세먼지 저감 특화전략의 수립

#### 1) 기본방향

비산먼지의 경우 도로·교통부문에 의한 기여도가 가장 높을 뿐만 아니라, 먼지오염에 의한 영향이 직접적으로 도로변 보행인에게 미치기 때문에 도로변 먼지의 청소는 그 만큼 중요한 의미를 가지고 있다. 서울시는 현재 인력(환경미화원)을 동원한 청소방법이 대부분을 차지하고 있으나, 점차 기계화 청소와 같은 효율적인 청소방법을 확대적용하고 있으며, 또한 재비산 방지를 위한 도로설계 등에도 관심을 두고 있다.

특히 자동차 배출 미세먼지, 타이어 마모먼지는 물론 공사장, 비포장 도로, 나대지 등에서 발생하는 비산먼지는 도로에 쌓여서 바람이나 자동차의 통행



<그림 5> 프랑스 파리의 차도·보도간 공간(“”)에 쌓인 먼지를 저감하기 위한 도로변 급수전 활용(왼편)과 보도 청소를 위한 소규모 청소차량 이용(오른쪽)

에 의해 재차 비산하기 때문에 도로 물청소, 도로포장 등의 저감방법이 우선적으로 고려되고 있다.

한편 도로·교통부문에서의 미세먼지 발생을 억제하고, 도로변 오염영향을 저감하기 위한 일반적인 방법으로는 첫째, 보다 엄격한 자동차 배출가스 허용기준 적용, 매연여과장치의 부착 등과 같은 배출원 관리, 둘째, 주행거리 감소와 같은 교통수요관리, 셋째, 연료기준의 강화에 의한 배출비중 저감 등을 들 수 있다. 그러나 도로변 미세먼지의 약 70% 수준은 자동차 운행과정에서 발생하는 것으로 분석되기 때문에, 서울시 미세먼지 저감대책의 우선순위 선정은 도로변 먼지청소 방법을 보다 적극적으로 검토하여야 한다. 이에 향후 서울시 도로변 미세먼지 저감을 위한 기본방향을 도로변 먼지청소 및 이와 관련된 대책을 중심으로 살펴보고자 한다.

## 2) 추진내용

① 도로청소 강화: 물청소차를 현재의 66대에서 연차별 확충계획을 통해 도로 물청소를 강화하며,

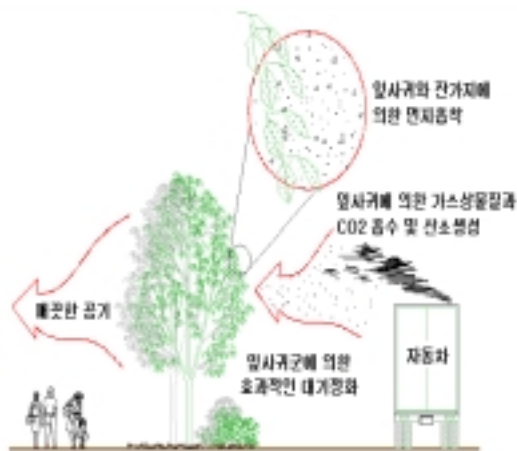
살수량은 현행 2톤/km에서 최소한 2.5톤/km으로 증가하고, 또한 작업거리를 15km/일 이상을 유지하도록 한다. 특히 12m이상 도로의 경우 진공흡입청소차와 물청소차를 투입하여 물청소와 진공청소를 병행 실시하고, 먼지 오염도가 높은 10월~4월 기간동안 중점 가동한다. 그리고 지하철 배수를 이용한 급수전은 주요 거점지점별로 충분히 확보하도록 한다.

② 도로굴착공사 중점관리: 도시가스, 상·하수도 등 다양한 도로굴착공사의 중복시행을 지양하고 동일시기에 실시할 수 있도록 관련 부서와의 사전협의절차를 제도화한다.

③ 도로 중앙분리 녹지대 경계석 설치방법 개선: 토사가 도로에 유실되지 않도록 경계석 상단 기준 5cm 이하로 복토하고, 연후에 잔디식재 등을 통해 표면노출 상태를 최대한 억제한다.

④ 비포장도로의 포장률 제고: 1999년 도로포장률 93.9%를 2007년까지 96% 수준으로 상향조정하여, 도로운행 과정에서의 미세먼지 발생을 억제하도록 한다.

⑤ 도로변 나대지의 녹화: 도시지역의 녹지는 대기오염 정화장치로서의 기능을 수행할 수 있다는 연구결과를 인용하여, 도로변 미세먼지의 발생과 확산에 대처할 수 있도록 도로변 나대지에 나무식재를 고려하도록 한다(<그림 6> 참조). 특히 도로변 수목은 잎사귀와 잔가지에 의한 먼지저감의 효과뿐만 아니라, 자동차 배출 가스상 물질과 이산화탄소를 흡수하여 산소를 생성·방출하여 깨끗한 공기를 제공하는 부가적인 효과를 낼 수 있기 때문이다.



<그림 6> 가로식재에 의한 먼지저감 효과증진

### 3. Roadways Cleaning System의 체계적 도입

Roadways Cleaning System의 체계적 도입은 도로에서 발생하는 먼지의 저감, 그리고 발생후 노면 적치(積置)시 자동차 통행에 의한 재비산 등을 억제함으로써, 도로변 환경개선을 통해 서울하늘의 시정거리 증대와 청정공기 유지를 도모함에

있다. 특히 호흡기 장애 등에 직접적 원인이 되는 미세먼지를 제거하기 위해서는 기본적으로 도로 부문에서 발생하는 미세먼지의 저감대책 수립에 우선순위를 두어야 하며, 자동차 타이어 마모에서 발생하는 미세먼지와 도로운행시 도로상 미세먼지의 발생 메카니즘에 대응하기 위해서는 도로살수와 같은 Roadways Cleaning System이 도입되어야 함을 의미한다.<sup>13)</sup>

이에 향후 서울시 미세먼지 저감대책의 우선순위 선정의 당위성을 판단하기 위하여, 현재 도입·운영되는 도로청소용 살수차량(진공흡입 기능포함)의 활용에 의한 미세먼지 저감효과를 다음과 같은 원칙하에 추정하도록 한다.

첫째, 도로살수 청소차량 운행에 따른 도로상 비산먼지 삭감률은 일반적으로 90% 수준이며, 도로표면의 미세먼지 배출계수가  $0.1\text{g}/\text{m}^2$ (도로표면의 Silt 부하량)에서  $0.01\text{g}/\text{m}^2$ 으로 전환됨을 가정한다.

둘째, 도로청소차량에 의해 제거되는 미세먼지의 저감대상은 타이어 마모와 도로상 차륜에 의해 이차적으로 발생하는 미세먼지를 중심으로 분석하도록 한다.

셋째, 현재 살수청소차량 장비의 기본적인 가동능력(1일 청소가능 능력: 약 20km)을 고려하면 서울시 총 도로연장 7,737km(1997년 기준)의 경우 총 387대의 살수차량이 매일 활용되어야 하고, 2002년의 도로연장 7,987km와 2007년의 도로연장 8,237km의 경우에는 각각 400대, 412대의 살수 청소차량이 필요함을 의미한다. 이 경우 1999년 현재 서울시가 보유하고 있는 살수 청소차량 66대

13) Roadways Cleaning System의 도입은 서울시 도로운행 과정에서 배출되는 미세먼지의 비중이 약 70% 내외를 차지하고 있음을 감안하여 첫째, 도로 물청소와 진공청소를 병행 추진할 수 있는 청소장비의 가동, 둘째, 청소용수 공급을 위한 주요 거점별 급수전의 확보, 셋째, 보·차도 공간에 쌓이는 먼지를 일정 시간 간격으로 물청소할 수 있는 도로변 급수전 활용(<그림 5> 참조) 등이 전제되어야 할 것임.



<표 13> 도로살수차량 도입 · 운행에 의한 미세먼지 저감효과

(단위:톤/년)

구분	2000년	2001년	2002년	2003년	2004년	2005년	2006년	2007년
살수차량 대	86 (20)	126 (40)	165 (39)	185 (20)	205 (20)	225 (20)	245 (20)	265 (20)
도로연장 km	7,887	7,937	7,987	8,037	8,087	8,137	8,187	8,237
저감효율 % (년)	21.5	31.3	40.8	45.4	50.0	54.5	59.0	63.5
저감량 PM10 (톤/년)	4,559	6,638	8,743	9,753	10,744	11,666	12,631	13,630
투자비 백만원	1,000	1,600	1,800	800	800	800	800	800

주: ( ) 안의 수치는 신규구입 살수차량을 의미하며, 저감효율 산정시 살수차량 운행은 최대 300일/년 기준을 적용하여, (총배출량)\*(살수차량 총처리능력/총연장)\*(300/365) 산정 공식에 의해 저감효과를 산출함.

에서 2002년 165대, 2007년 265대 살수 청소차량을 증대하도록 한다.

도로변 미세먼지 저감 특화전략의 수립의 일환으로 고려될 수 있는 Roadways Cleaning System 도입에 의한 미세먼지 저감효율은 2000년 도로·교통부문에서의 발생량 25,062톤의 약 20% 수준인 것으로 분석되고 있다. 또한 2007년까지 연차별 청소장비 확충계획에 따르면, 최대 50% 정도 저감할 수 있는 것으로 추정되어, 도로변 환경개선의 주된 기능을 담당할 수 있게 됨을 시사하게 된다.

이와 같은 Roadways Cleaning System은 여타 자동차 배출허용기준 강화, 매연여과장치 부착, 교통수요관리, 그리고 연료품질 개선 등과 연계되면, 향후 서울시 도로변 미세먼지 관리에의 전환점이 될 수 있을 것이다.

## VI. 맺는말

최근 들어 시민의 건강을 위협하고, 또한 시정

장애를 유발하는 요인인 미세먼지의 인체·환경 위해성에 대한 경각심이 한층 고조되고 있으며, 한편으론 “걷고 싶은 도시 만들기”와 같이 정부·시민간 활발한 연대를 통해 보행환경 개선을 위한 다양한 시도가 행해지고 있다. 그러나 도로변 미세먼지 발생요인과 접근방안에 대해서는 실질적인 관리가 이루어지지 않는 사각지대로 남게 되어, 걷고 싶은 보행환경의 조성은 그다지 성과를 나타내지 못하고 있다.

이에 본 연구는 도로변 미세먼지 발생의 실제적 저감화를 도모하여 환경위해성의 제어와 함께 쾌적하고 청정한 도로변 보행공간 마련의 일환으로 추진되었으며, 연구결과는 다음과 같이 요약할 수 있다.

첫째, 현재 서울시는 미세먼지를 저감하기 위해 도로변, 공사장, 사업장, 그리고 생활주변 등 다각적인 발생원별 저감대책을 계획하고 있으나, 도로변 미세먼지 발생에 관한 실제적 먼지저감대책의 추진은 다소 미약한 것으로 분석되었다. 이에 미세먼지 발생원별 정확한 정보체계 구축을 통해 발생원별 저감대책의 실효성을 확보할 수 있는 체계적인 접근이 필요한 것으로 판단된다.

둘째, 자동차 연료연소 및 도로이용에 따른 도로변 미세먼지의 발생량을 추정한 결과, 특히 자동차 연료연소에 비해 차량운행과정에서 파생된 미세먼지의 발생기여도가 높게 나타나, 향후 도로변 미세먼지 저감을 위한 특화전략이 필요하다. 다만, 도로변 미세먼지 발생량 추정의 정확성을 한층 제고하기 위한 과학적인 배출계수의 산정작업이 추가되어야 할 것이다.

셋째, 자동차 유발 이산화질소와 미세먼지 오염 항목은 서울시 및 국가환경기준을 초과하는 수준



을 보일 뿐만 아니라, 질소산화물과 미세먼지간 뚜렷한 (+)의 상관성을 보여 2차 오염물질 형성 가능성이 있기 때문에 걷고 싶은 도시를 만들기 위해서는 도로변 보행환경 개선이 전제조건이 되어야 한다.

넷째, 도로에서 발생하는 먼지의 저감, 그리고 발생후 노면 적치(積置)시 자동차 통행에 의한 재비산 등을 억제함으로써, 도로변 환경개선을 통해 서울하늘의 시정거리 증대와 청정공기 유지를 도모하기 위해서는 기본적으로 Roadways Cleaning System의 체계적 도입이 필요하다. 특히 도로변 미세먼지 저감 특화전략 수립의 일환으로 고려될 수 있는 Roadways Cleaning System 도입에 따른 미세먼지 저감효율은 2007년까지 연차별 청소장비 확충계획에 의하면, 최대 50% 정도 저감할 수 있는 것으로 추정되어, 도로변 환경개선의 주된 기능을 담당할 수 있을 것으로 판단된다. 그리고 Roadways Cleaning System은 여타 자동차 배출허용기준 강화, 매연여과장치 부착, 교통수요관리, 그리고 연료품질 개선 등과 연계되면, 향후 서울시 도로변 미세먼지 관리에의 전환점이 될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

김운수 외(1996), 「서울시 경유자동차 배출가스 저감정책수립에 관한 연구」, 서울시정개발연구원  
나진균·장남익 외(1992), 「도시별 먼지 총발생량 및 오염원별 기여도 조사연구」, 국립환경연구원  
서울시(2000), 「서울시 대기환경개선 실천계획」  
\_\_\_\_\_(1996b), 「2000년대 서울시의 대기오염물질 배출량 예측 및 관리방안 연구」  
이민희·신찬기 외(1989), 「도시지역 대기질 개선에 관한 연구(I)」, 국립환경연구원

한화진(1997), 대기중 미세먼지 피해와 저감방향, 「환경포럼」, 한국환경기술개발원, 4(11)  
\_\_\_\_\_(1996a), 「자동차공해관리 업무편람」  
\_\_\_\_\_(1996b), 「환경백서」  
Desert Research Institute, *Effectiveness Demonstration of Fugitive Dust Control Methods for Public Unpaved Roads and Unpaved Shoulders on Paved Roads*, DRI Document No. 685-5200.1F1, 1996. 12  
Kinsey, J.S. and Cowherd, Jr. C., Control of Fugitive and Hazardous Dusts, *Pollution and Technology Review*, No. 192, 1990  
South Coast Air Quality Management District, *Coachella Valley PM10 Attainment Redesignation Request And Maintenance Plan*, 1996. 12  
UNEP, *Urban Air Pollution in Megacities of the World*, 1992  
<http://www.eq.state.ut.us/eqamc/pm10.htm>  
<http://www.nrdc.org/faqs/aibrefaq.html>  
<http://www.ccc.nottingham.ac.uk/~evzakn/pm10.htm>  
<http://www.env.gov.bc.ca/epd/epdpa/ar/fpwtatht.html>  
<http://www.env.gov.bc.ca/epd/epdpa/ar/heoipifb.html>  
<http://sunl.bham.ac.uk/c.m.tarpey/news495/pm10.htm>  
<http://www.ccc.nottingham.ac.uk/~evzakn/doenote.htm>  
<http://www.netlabs.net/hp/tmain/pmfact.htm>