

## ◆ 특 강 8 ◆

### SL8(CT)

### 시화지구 대기환경오염 저감방안에 관한 연구

### Air Quality Study over Sihwa Industrial Area

김영준<sup>1)</sup>, 윤순광<sup>2)</sup>, 허귀석<sup>3)</sup>, 백종진<sup>4)</sup>, 우완기<sup>5)</sup>, 김은식<sup>6)</sup>, 장영기<sup>6)</sup>, 이종범<sup>7)</sup>  
 광주과학기술원 환경공학과<sup>1)</sup>, 서울대학교 대기과학과<sup>2)</sup>, 한국표준과학연구원  
 유기분석실<sup>3)</sup>, 장안전문대학교 환경공업과<sup>4)</sup>, 국민대학교 산림자원학과<sup>5)</sup>, 수원  
 대학교 환경공학과<sup>6)</sup>, 강원대학교 환경학과<sup>7)</sup>

#### I. 서론

공단지역과 배후 주거단지가 인접해 있는 시화지구의 지역특성상 입주 공장과 입주 주민수가 늘어감에 따라 지역 대기환경오염이 문제시되고 있다. 시화지구 환경영향평가 및 도시설계에 따라 대기환경오염 저감을 위한 완충녹지대를 조성 중에 있으나, 입주민들의 대기환경오염저감대책 요구에 따라 현재의 입주여건을 감안하여 오염원 배출 현황 조사, 대기질 측정 및 대기환경오염 모델링 연구를 통한 전체적인 대기질 현황을 파악하고, 대기환경오염 저감방안을 수립하고 시공중인 완충녹지대의 대기환경오염 저감능력 향상을 위한 조성계획을 검토하여, 현재 및 미래의 공장유치계획에 부합되는 적합한 대기질 관리 종합대책을 수립하는 목적으로 1996년 11월부터 1999년 12월까지 시화지구 대기환경오염 저감방안에 관한 연구가 수행중에 있다.

#### II. 연구현황

##### 1. 대기질 측정 및 분석

시화지구(시화공단)에서 배출되는 일반 대기환경기준물질과 특정 대기유해물질(VOCs, 악취물질 및 중금속)을 포함한 대기질 현황을 정량적, 정성적으로 분석하였다. 지난 1997년 2월부터 1998년 2월까지 4차에 걸쳐 시화지역 내 3개 지점에서 자동측정기를 이용한 대기환경기준물질의 측정이 이루어졌으며, 1997년 2월부터 현재까지 주거지역과 공단지구를 포함한 6개 지점을 대상으로 특정 대기유해물질인 VOCs 및 악취물질을 채취, 분석하고 있다. 그리고 2개 지점을 선정하여 부유분진 속의 이온성분 및 중금속에 대한 측정과 분석이 이루어지고 있다. 측정지점 중 서해초등학교와 노동복지회관의 두 곳에서 자동기상측정시스템을 이용하여 기상측정을 병행하였다. 다음 그림 1에 측정위치를, 표 1, 2에 분석결과를 각각 나타내었다.

표 1. 시화지구 대기환경 월평균 기준물질

	SO <sub>2</sub> (ppb)	NO <sub>2</sub> (ppb)	CO (ppm)	O <sub>3</sub> (ppb)	PM <sub>10</sub> (μg/m <sup>3</sup> )
97. 4 월	11.9	28.0	1.5	26.2	94.9
5 월	12.5	20.0	1.1	26.3	66.8
6 월	14.5	24.0	0.8	26.6	86.4
8 월	4.9	16.6	3.2	28.7	48.2
9 월	4.7	13.2	0.7	23.0	50.5
11 월	9.4	41.9	0.6	13.6	88.1
12 월	14.0	34.3	0.1	6.4	86.4
98. 1 월	11.3	27.9	0.1	8.0	60.0
2 월	11.8	36.5	0.1	7.5	63.5

표 2. 시화지구 부유분진 중 중금속성분 월평균 농도

( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	Al	As	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Si
'97 4 월	0.271	-	0.007	0.018	0.191	1.982	0.032	0.056	0.474	-
5 월	0.699	0.014	0.013	-	0.209	2.171	0.101	0.092	0.476	1.236
6 월	0.456	0.006	0.006	-	0.185	1.511	0.073	0.068	0.466	0.873
8 월	0.288	0.002	0.004	0.002	0.023	0.718	0.021	0.081	0.040	0.225
9 월	0.265	0.002	0.002	0.005	0.042	0.664	0.026	0.067	0.144	0.253
11 월	0.365	0.001	0.001	0.003	0.026	0.764	0.028	0.005	0.081	0.279
12 월	0.635	0.004	0.005	0.007	0.142	1.482	0.051	0.040	0.332	0.511
'98 4 월	0.165	0.004	0.002	0.007	0.091	1.319	0.094	0.012	0.175	1.413
6 월	0.116	0.011	0.003	0.005	0.084	0.874	0.307	0.010	0.177	0.749

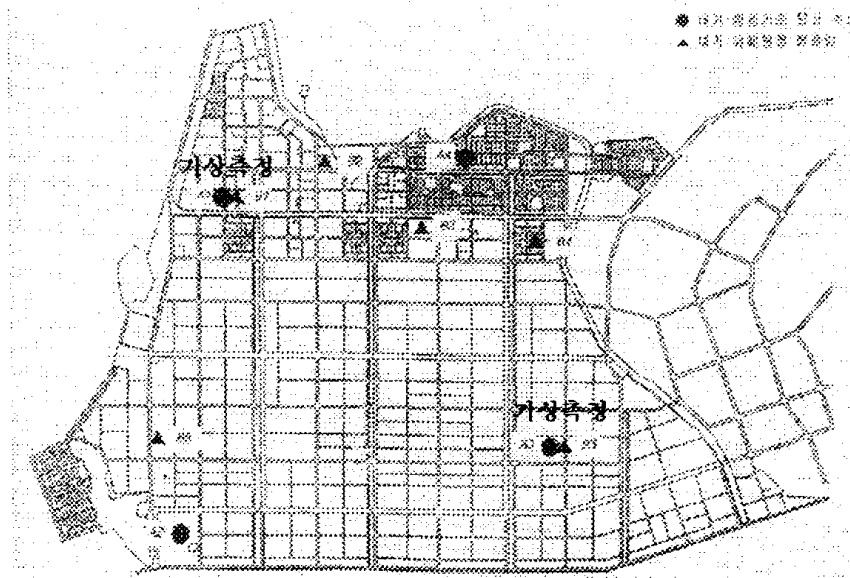


그림 1. 시화지구 내 오염물질 측정지점

대기환경기준물질 중  $\text{PM}_{10}$ 을 제외하고는 환경기준치 이하의 농도를 보이고 있다. 또한 VOCs 및 악취물질에 대한 조사연구 결과, 폐기물 처리업소에서 폐기물 소각이 악취유발물질의 원인이 되며 인근 지역에서 아주 높은 VOC농도가 확인되었고, 악취발생시 대기유해물질(HAP, Hazardous Air Pollutants)중 Chloroform, Benzene, Toluene 등은 타지역보다 월등히 높게 측정되었다. 현재 악취발생 지역에서 채취된 Tedlar bag 시료 중 관능시험법에 의해 강한 취기강도를 갖고 있는 것으로 판단된 시료에 대해  $\text{H}_2\text{S}$  및 유기황화물, 알데히드, 아민, 그리고 VOCs화합물의 분석을 통해 악취물질의 원인규명을 수행중에 있다.

## 2. 완충녹지대 효능 및 모델링 연구

주거지역과 공단지구의 거리가 가까운 시화지구의 지역 특성상 공단지구에서 주거지역으로 넘어오는 여러 가지 대기오염물질이 주거지구로 미치는 영향을 감소시키기 위하여, 공단과 주거지구의 사이에 완충녹지대를 조성중에 있다. 이 때 완충녹지대를 포함한 녹지가 제대로 조성되어 대기환경오염물질이 주는 영향을 최소화하도록 하는 대책을 수립하는데 필요한 자료를 제공하기 위해 완충녹지대 조성 방안 및 효능에 관한 연구가 수행되었다.

시화지구 완충녹지대에 대한 토양조사결과, 상층과 하층의 토양에 있어서 그 입경의 분포가 상당히

다르게 나타나고 있으며, 완충녹지대에 있어서 성토한 뺄흙과 인접한 부분의 산흙은 이미 염분에 의한 오염이 상당히 진행되어 있음을 보여 준다. 이러한 곳에 있어서 토양 내 염분이동의 문제를 해결하기 위한 방안을 다음과 같이 세가지로 제시할 수 있다. 첫째는, 축산부에 염분이 이동하는 매체인 물에 대한 배수시설을 설치하고 성토 후에 차단층이나 차단막을 설치한 후 산흙을 추가성토하는 안, 두번째는 산흙을 두껍게 복토하여 그 복토층이 염분이동에 대한 연구적인 차단층 역할을 하도록 하는 추가복토를 실시하는 안, 그리고 이미 성토한 축산부에 추가복토를 실시한 후 개체 수목의 식재예정지마다 차단층/차단막을 깊게 설치하고 식재하는 안이다.

또한 수목의 대기오염물질의 저감량을 정량화하기 위해 침엽수를 대표하는 곰솔과 활엽수종(팽나무, 느릅나무 등)을 대상으로 하여 나무의 생장시 g당 오염물질의 고정량을 추정하여 대기 중 오염물질이 얼마나 흡수되는지를 양적으로 파악하는 연구를 수행하였다. 대기중의 CO<sub>2</sub>농도를 365ppm, SO<sub>2</sub>농도와 NO<sub>2</sub>농도를 각각 30ppb와 50ppb라고 했을 때, 그 총생산량이 5.7ton·ha<sup>-1</sup>·year<sup>-1</sup>인 곰솔림의 SO<sub>2</sub>흡수량 및 NO<sub>2</sub>흡수량을 추정하는 과정을 제시하고 수목의 총생산량과 그에 기여하는 이산화탄소의 흡수속도와 그 과정에 흡수되는 대기오염물질의 침착속도와 흡수속도를 각 물질의 농도를 고려하여 계산하였다. 그 결과 숲의 나이가 많아짐에 따라서 그 흡수량이 처음에는 증가하다가 다음에는 감소하는 현상을 보였다.

시화 지구 완충 지대의 효능을 살펴보기 위해 언덕 모양의 지형에서 유동장과 그에 따른 오염 물질 분포에 영향을 미칠 수 있는 인자들, 즉, 완충 지대의 높이, 오염원의 높이, 주변 바람의 속도, 그리고 완충 지대 주위의 지형물에 대한 다각적인 2차원 수치 실험을 수행하였다. 일반적으로 입방형 장애물이나 사면 경사가 비교적 급한 언덕 모양의 장애물 후면에서는 공동 영역이 형성되고 소용돌이에 의한 차폐물 효과가 나타나지만 본 실험의 경우는 언덕의 경사가 완만(최대 경사=1/5)하기 때문에 공동 영역이 나타나지 않았으며 차폐물 효과도 발견할 수 없었다. 풍하측에 아파트 단지가 존재하지 않고 완충 지대만 있다고 설정한 상황에서 완충 지대의 높이에 따른 차단 효과를 정량적으로 분석한 결과 오염원의 높이가 20m일때 완충 지대가 없을 때 풍하측에서 나타나는 오염 물질 농도에 비해 완충 지대의 높이가 10 m, 20 m, 30 m일 때 각각 10%, 30%, 40% 정도의 농도 감소 효과가 나타났다. 그리고 오염원 높이에 따른 오염 물질 농도를 분석하여 완충 지대 높이에 따른 차단 효과와 함께 비교하였을 때 오염원 높이와 완충 지대 높이의 차이가 일정할 때에는 오염원의 절대 고도가 낮을 때에 농도 감소 효과를 극대화할 수 있음을 알 수 있었다.

### 3. 배출원 조사연구 및 악취예보 프로그램 연구

시화공단에 위치한 업체에 대하여 제조공정별 유해요인, 화학물질, 사용량 등을 96년과 97년 2차례에 걸쳐 조사하였으며, 업종별 VOCs 배출시설의 운영실태를 파악하고 악취발생에 대한 저감방안을 제시하였다. 시화공업단지의 입주업체수는 1996년을 기준으로하여 1,633개 업체이고 이중 가동중인 업체는 944개 업체이다. 다음 그림 2에 악취 유발물질을 많이 사용하는 공장지점을 나타내었다.

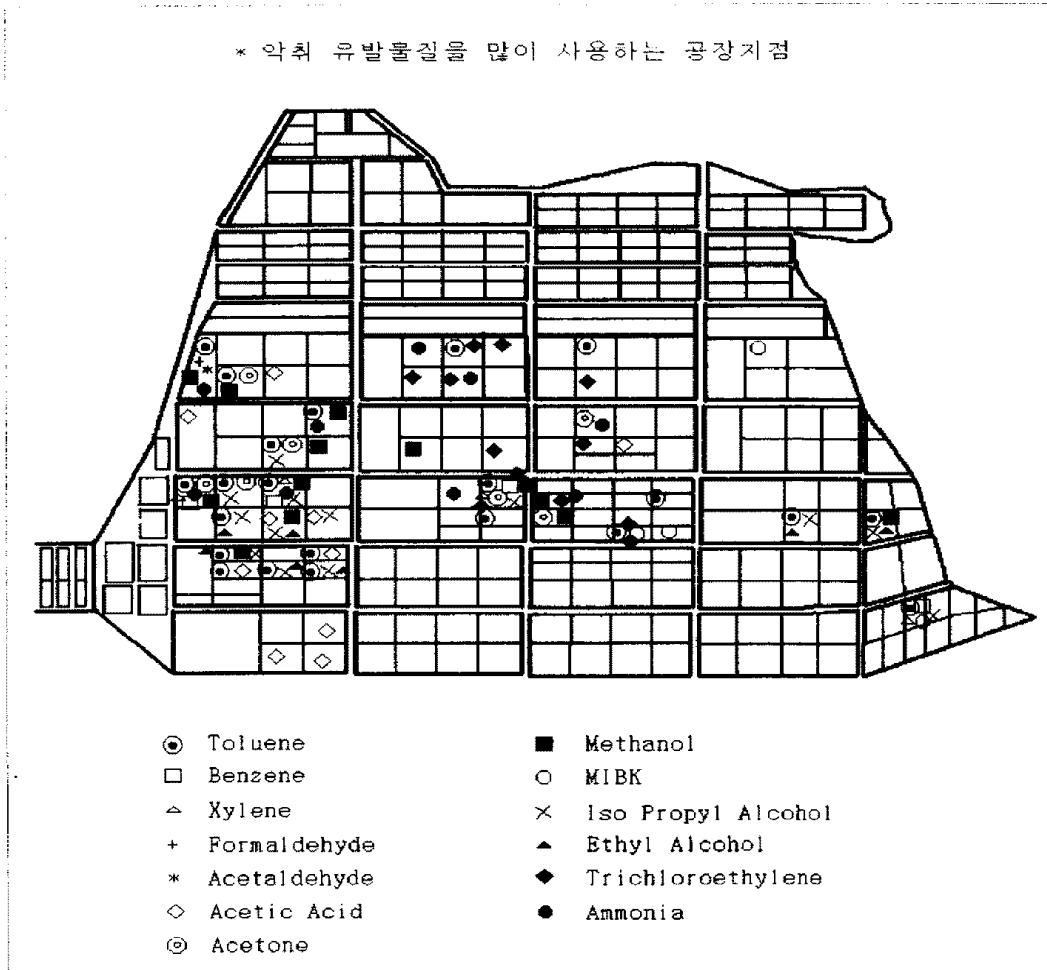


그림 2. 악취 유발물질을 많이 사용하는 공장지점

또한 얻어진 배출원 자료를 악취예보 프로그램의 입력자료로써 악취물질의 확산 모델링 연구에 활용하고 있다. 현재 미국 EPA의 규제모델인 ISCST를 이용하여 시화지구 내의 오염물질의 확산양상을 파악·예측하고 있다. 또한 악취예보프로그램 개발에 앞서, 먼저 악취가 발생한 경우에 대하여 악취발생과 기상조건의 관계를 파악하고 특히 악취발생이 심했던 날들에 대하여 기상조건의 특징을 밝히며, PUFF 및 INPUFF모델을 이용한 모델 시뮬레이션을 수행하여 악취물질의 확산양상을 파악하여 차후 악취예보에 이용할 계획에 있다.

#### 4. 추적자 실험

98년 5월, 시화공단 및 반월공단 일대를 대상으로 오전, 오후 각각 60분간 SF<sub>6</sub>를 대기 중에 확산시킨 후 이를 채취, 분석하였다. 이 추적자 실험결과와 대기확산 모델결과를 비교한 결과, 예측치와의 절대값의 차이는 크지만 분포는 실측치의 경우와 상당히 유사한 결과를 보였다. 앞으로 시화지구 내의 오염물질의 유출입량을 산정하는데 목표를 두고 있다.

### III. 대기환경오염 저감방안 및 대기질 관리대책

현재까지의 연구로 시화지구 대기질 현황이 상당부분 파악되었으며 앞으로 대기환경오염을 저감시키기 위해서 단기 및 중장기 대책을 수립하는 연구가 진행중이다. 우선 시화지구 내에 발생하는 VOCs 및 악취문제로 인해 민원이 발생하고 있으므로 이에 대한 저감계획이 절실히 요구되는 바, VOCs에 대하여

는 VOCs 배출시설 관리현황 파악을 바탕으로 한 시설개선 및 운영개선이 요구되며, 또한 악취 발생상황의 파악 및 악취발생시설 등의 운영개선이 이루어져야 할 것이며, 특히 폐기물 소각업체에 대하여 시설 및 운영관리 측면의 개선이 절실하다고 본다. 단기적인 개선안으로는 악취 배출감시 및 배출시설의 운영을 들 수 있다. 지속적인 악취유발업체의 지도·단속 및 감시와 폐기물 처리업체 등 악취유발업체의 시설 미비점 보완 및 방지시설 개선, 그리고 혼합고 측정 및 풍향·풍속 등 기상조건과 연계한 악취유발업체 조업 운영이 그러한 방법이 될 수 있을 것으로 본다. 이러한 폐기물 처리업체 등 악취유발업체의 방지시설 개선에 따르는 정부의 금융지원 또한 뒷받침되어야 함은 물론이다. 그밖에 폐기물 처리업체 반입물 감사 및 유해물질 소각금지, 일반폐기물 처리용 소형 소각로 가동 중지 등의 방안을 마련하였으며 미세먼지 저감 및 관리 역시 필요하다고 본다. 앞으로는 실시간으로 오염물질을 측정할 자료를 바탕으로 신속적인 조업 및 사전예방적 악취관리 체계수립을 포함한 종합적인 대기질 관리 대책이 세워져야 한다. 한편 대기오염으로 인한 피해에 대해 예방의학적 연구가 이루어져야 할 것으로 생각되는데 이를 위해서 피해에 대한 기초조사를 통해 위해성 평가 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

#### IV. 향후계획

앞으로 실시간 대기유해물질 자동측정시스템(DOAS)을 사용한 원격측정을 통해 대기오염 감시체계 구축 가능성에 대한 연구를 수행할 계획이다. 지속적인 계절별 부유분진 측정 분석을 통해 유해중금속 성분의 특성파악과 오염원별 기여도를 산정하는 연구를 수행할 계획이다. 또한 시화지구의 기상자료와 오염원자료를 토대로 통계적 분석 및 신경망 예측모델을 이용한 악취예보프로그램을 개발·운영하여 VOCs 및 악취물질의 거동을 파악하고, 풍향·풍속 등 기상조건과 연계하여 악취발생조건을 사전에 예측하여 대처방안 수립에 활용할 수 있게 할 계획이다.