

시화공단 완충녹지대의 대기오염물질 저감 효과 분석

송영배

성균관대학교 건축조경토목공학부

Effect of Green Buffer Zone in Reducing Gaseous Air Pollutants in the Shihwa Industrial Area

Song, Young-Bae

School of Architecture, Landscape Architecture and Civil Engineering,
Sung Kyun Kwan University, Korea

ABSTRACT

The effects of a green buffer zone to protect a residential area from air pollution from industrial facilities and traffic was examined by analyzing the case of a green buffer zone in the Shihwa industrial complex. The green buffer zone is 175 m wide. The intent was to assess the dispersion patterns of atmospheric air pollutants and the reduction in concentration around the green buffer zone. To measure atmospheric sulfur dioxide(SO₂) and nitrogen dioxide(NO₂) concentration, badge-type passive samplers were used and set up at 76 locations in order to measure the concentration of air pollutants with respect to the spatial dispersion.

The weighted mean values of SO₂ and NO₂ concentration were 3~57 ppb and 18~62 ppb and the differences among the green buffer zone, the industrial area and the residential areas were 0.7~1.1 ppb. Mean values of atmospheric concentrations of NO₂ were similar in industrial and, residential areas and the green buffer zone. Results of the study show that the effect of the green buffer zone on reducing the dispersion of air pollutants was very low. This study also recommends that micro-climate, i.e., wind direction should be considered as a factor for planning and design of green buffer zones.

Key Words: Air Pollution, Green Planning, Planting Design, Shihwa District, Passive Sampler

1. 서론

완충녹지란 택지, 산업단지 등의 개발시 매연, 소음,

진동과 악취 등의 공해와 각종 재해를 방지하고, 도시내의 이질적인 토지이용 분리, 녹지체계 연결, 경관을 조성하여 도시의 쾌적한 환경을 유지 및 조성할 목적으로

설치된다(윤국병, 1977; 박은영과 유병립, 2004). 특히 공업지역과 주거지역 사이에 설치되는 완충녹지는 도시 내 패취 형태의 소규모 공원녹지나 도로변의 선형 녹지에 비해 단일녹지의 평면적 및 체적 규모가 크다. 따라서 고층·고밀도로 개발된 도시에 대규모의 녹지기후톱이 조성됨으로써 기후생태적 자정작용(송영배, 2003)과 대기위생학적 기능(송영배, 2002)을 향상시킬 수 있는 가능성을 제공한다.

완충녹지에 의한 대기오염물질의 저감 기능은 수목의 흡착, 흡수, 침강, 확산 기능에 근거한다(안영희, 2001). 흡착(吸着)효과에 대한 연구는 매우 드물며, 대부분 흡수 효과와 함께 수행되었다. 흡수에 의한 대기 정화 효과를 정확하게 분석하기 위해서는 입관구조에 대한 파악이 중요하다. 주영특 등(1995)은 잣나무를 대상으로 흉고 직경과 변재부 면적을 이용하여 엽면적 산출을 위한 추정식을 유도하였다. 연구 결과 흉고 직경보다는 흉고부의 변재부 면적을 이용할 경우, 보다 정확한 엽면적을 산출할 수 있음을 제시하였다. 김우룡과 안현철(1980)은 공업단지내의 도시림에 의한 아황산가스 공해 방지에 관한 연구를 수행하였다. 조현길과 조동하(1998)는 활엽수의 일부 수종을 대상으로 흉고 직경과 총엽면적의 회귀식을 유도하여 연간 CO₂의 흡수량을 산정하였고, 동일한 방식으로 기타 수종을 대상으로 수종별 직경생장률과 생체량 방정식을 적용하여 탄소 흡수량을 산정하였다. 또한 침엽수의 일부 수종을 대상으로 흉고 직경과 CO₂ 교환율을 측정하여 SO₂ 및 NO₂의 연간 흡수량을 산정하였다(조현길과 안태원, 2001). 이와 같이 국내에서는 흉고 직경과 물질 생산 추정식에 관한 연구가 일부 수행되어 왔지만 엽면적과의 상관관계에 의한 대기오염물질의 저감 기능에 관한 연구는 아직 미진한 실정이다.

김석철(2000)은 수목과 녹지에 의한 대기오염물질의 침강(沈降)효과 분석을 위해 오염물질의 대기 중 확산 이론에 근거한 모델을 제시하였는데, 이때 침착속도는 식물의 종류와 엽면적, 기공개도, 기상조건 등의 인자에 민감하게 의존한다는 사실을 밝혔다. 따라서 흡착, 침강, 확산 등을 통해 대기오염 물질을 최대한 저감시키기 위해서는 풍역학적인 흐름을 고려할 필요가 있다. 박은영과 유병립(2004)은 소음 저감과 토지 이용 분리

를 위한 완충녹지의 설정 기준을 제시하였으나, 대기오염 저감을 위한 기준 설정은 과제로 남아 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상지

시화 지구는 임해 시화공단과 시화 신도시(주거지역)로 구분되어 있으며(그림 1 참조), 공단에서 발생한 대기오염물질이 주거지역으로 확산되는 것을 방지하기 위해 완충녹지대가 조성되어 있다. 시화공단의 완충녹지대는 폭 175m, 길이 3.5km, 지상으로부터 약 10m 정도 성토되어 조성되었으며, 시화공단과 주거지역까지의 거리는 완충녹지대를 경계로 약 200m이며, 공장시설로부터 주거지역까지의 실질적인 거리는 약 450m이다.

완충녹지대의 주요 수종은 측산 상부와 중부에는 곰솔이며, 측산 하부와 평지부에는 리기다소나무, 모감주나무 등이다(한국수자원공사, 2000). 식재밀도는 측산부의 경우 2.25~3.24m²의 면적에 1주가 식재되어 있으며, 측산 하부와 평지부에는 회화나무, 팽나무 등과 싸리나무 등의 관목이 혼합 밀식되어 있다. 현장 조사 결과 완충녹지대 측산 상부의 곰솔의 최대 수고는 약 2~3m 내외로서 지반과 수고를 합하여 주변지역보다 약 13m 높게 조성되어 있다. 2000년도 식재 당시 5년 후 곰솔의 예상 성장수고는 6m이었으며(한국수자원공사, 2000), 따라서 수목의 성장수고가 3~4m 정도 과대 예

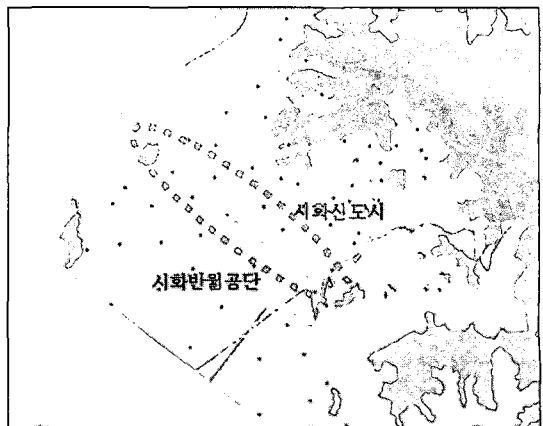


그림 1. 연구대상지(시흥시 시화지구내 완충녹지대)

측되었다.

2. 분석개요

녹지의 대기오염물질 저감 효과 분석은 대부분 수목에 의한 대기오염물질 흡수량 산정에 중점을 두고 있다. 그러나 수목의 흉고 직경에 근거한 대기오염물질 흡수량을 바탕으로 완충녹지대 전체에 대한 저감 추정량을 제시하기에는 수종, 수고, 엽면적, 대기오염물질의 확산 속도, 빛의 세기와 바람의 속도, 온도 등 다양한 환경요인이 변수로 작용하기 때문에 완충녹지대의 대기오염물질 저감 효과와 저감량 추정시 오류가 발생할 개연성이 크다. 또한 완충녹지대의 설치에 따른 대기오염 저감 효과는 풍하측 지역에 발생하기 때문에 기상조건 중에서 풍향 및 풍속을 면밀히 고려할 필요가 있다.

1) 측정항목 및 분석방법

완충녹지에 의한 가스상 오염물질의 저감 효과는 가스상 오염물질이 식물조직 내부로 들어가 소멸되는 효과와 바람에 의해 농도가 희석되는 확산 효과로 구분한다(안영희, 2001). 본 연구에서는 공단에서 발생한 가스상 오염물질이 기류의 흐름과 더불어 완충녹지대를 통과하면서 농도가 희석되는 확산 효과의 검증에 중점을 두었다.

오염물질의 공간 분포를 규명하기 위해서는 대상지역에 다수의 측정점을 설정하여 실측을 하거나 또는 대기오염 확산 모델링 방법이 활용된다. 본 연구에서는 가스상 물질인 NO_2 와 SO_2 의 공간 확산 분포를 조사하기 위해 완충녹지대 및 주변지역에 76개의 실측점을 설정하고 패시브 샘플러를 설치하여 동시에 측정하였다(그림 1 및 2 참조). 실측된 오염도 자료는 ArcGIS Ver. 8.3(ESRI, 2002)가 제공하는 Kriging Interpolation 기법을 이용하여 공간 확산분포를 분석하였다.

2) 패시브 샘플러에 의한 가스상 오염물질(NO_2 , SO_2) 측정방법

패시브 샘플러를 이용한 대기오염도 측정은 대기오염물질의 공간 확산 분포를 분석하기 위해 매우 유용한 방법으로 활용되고 있다(Bernard *et al.*, 1997; Yamada,

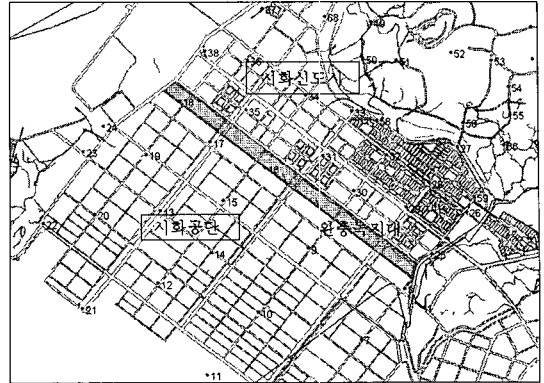


그림 2. 패시브 샘플러 설치 지점

1999; 박정호 등, 2000; 김선태 등, 2001; Varshney and Singh, 2003). 측정원리는 분자 확산 현상을 이용하는 것으로서 오염물질이 분자 확산에 의해 흡수액이 묻어 있는 흡착제에 포집되도록 하는 것이다(김선태 등, 2001; 엔버스, 2005). 본 연구에 사용된 패시브 샘플러의 측정치는 측정지점에서의 월평균 농도를 나타내며, 대기 중의 공기를 강제로 흡입하여 측정하는 액티브 샘플링 방식의 측정치에 비해 $\pm 15\%$ 의 오차 범위를 갖는다(엔버스, 2005).

3) 설치지점 및 측정기간

연구 대상지에서 아황산가스(SO_2)의 주요 발생원은 석탄과 증유를 사용하는 공업시설과 열병합 발전시설이며, 배출량은 산업이 49%, 난방 20%, 발전 18% 등이다. 아황산가스의 대기중 평균 체류시간은 1~4일 정도이다. 이산화질소(NO_2)의 주요 발생원은 석탄과 증유를 사용하는 산업시설과 자동차의 배기가스이다. 배출량은 자동차가 약 49%, 산업 및 발전이 각각 25%, 17%로 나타나 있다. 대기 중에서의 체류시간은 약 2~5일 정도이다(Baumbach, 1992; 장영기, 2004).

연구 대상지의 토지이용은 공업단지, 녹지대 및 주거지역으로 크게 구분되며, 공업단지에서는 증유와 석탄의 사용에 따른 아황산가스와 이산화질소의 오염도가 높은 것으로 조사되었으며, 이에 비해 주거지역의 주요 오염원은 자동차 배기가스에 의한 이산화질소이며, 난방은 도시가스와 열병합 발전에 의해 이루어지기 때문에 오염 기여도가 매우 낮은 것으로 조사되었다(장영기, 2004; 김정근과 송영배, 2006).

연구 대상지의 오염도 측정은 그림 2와 같이 완충녹지대를 중심으로 공업지역, 주거지역, 녹지지역에 76개의 패시브 샘플러를 설치하였다. 그림 2는 연구 대상지인 완충녹지대를 중심으로 약 6km×5km로 확대하였으며, 36개의 측정지점이 제시되어 있다(그림 2 참조).

III. 연구결과 및 고찰

1. 바람분석과 대기오염물질 확산경향

패시브 샘플러를 이용하여 대기오염도를 측정한 2004년 10월의 기상관측자료(풍향 및 풍속) 분석 결과 시화공단과 시화지구의 주 풍향은 서풍이 강하게 부는 가운데 북북서풍이 약하지만 지속적으로 부는 것으로 나타났으며, 따라서 연구 대상지에서 대기오염물질 확산분포의 주 요인으로 작용하는 것으로 분석되었다(그림 3 참조).

또한 연구 대상지에는 2개의 지점에서 대기오염도를 자동으로 측정하는 환경부 대기오염 자동 측정망이 있으며, 2004년도 9월부터 11월까지 이산화질소와 아황산가스의 월평균 오염도는 표 1과 같다. 각 패시브 샘플러는 2004년 10월 5일부터 11월 4일까지 30일 동안 대기 중에 노출시켜 월평균 농도를 측정하였다. 각 지점별 측정 결과는 표 2와 같다.

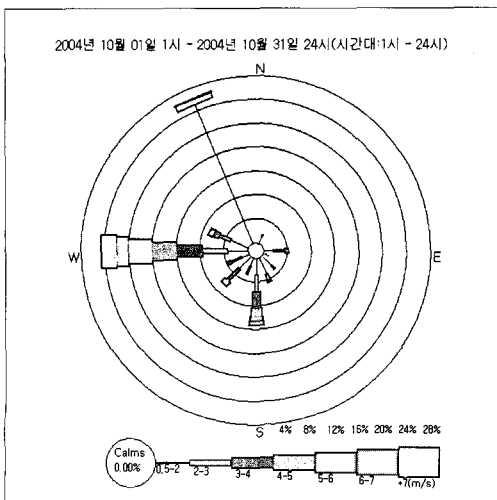


그림 3. 바람장미도(10월)

표 1. 연구대상지의 월평균 대기오염도(단위: ppb)

위치	월별	9월	10월	11월	평균	비고
		시화공단	SO ₂	10		
	NO ₂	36	46	49	43.7	
정왕동	SO ₂	7	5	7	6.3	주거지역
	NO ₂	34	41	45	40.0	

자료: 환경부, 2004

2. 완충녹지대의 SO₂ 오염도 및 공간확산 분포

완충녹지대 지역의 SO₂의 확산분포는 그림 4와 같이 대기오염물질의 주요 발생지인 공단지역에서 주거지역인 시화 신도시 방향(북동)으로 확산되는 것으로 나타났다. SO₂의 확산농도는 시화공단(9~15ppb) 및 반월공단(15~57ppb)에서 완충녹지대 방향으로 확산되면서 완충녹지의 남서측(공단지역)에서는 7~9ppb이며, 북서측(시화신도시)에서는 6~8ppb를 나타냈다. 따라서 완충녹지대를 중심으로 오염도는 유사하거나 약 1.0ppb 미만의 차이가 있는 것으로 분석되었다.

세부 지역별로는 완충녹지대를 따라 해안과 인접한 북서측 지역(공단 및 주거지역)에서 SO₂ 오염물질 확산방향으로 8~9ppb의 공간범위는 340~425m, 7~8ppb의 공간범위는 150~400m, 6~7ppb의 공간범위는 170~600m에 이르는 것으로 분석되었다. 이와는 달리 완충녹지대를 따라 남동쪽으로 이동하면서 SO₂ 오염도 8~9ppb의 공간범위는 280~600m, 7~8ppb의 공간범위는 400~800m, 6~7ppb의 공간범위는 200~1,500m로 SO₂의 오염물질 확산범위가 북서측에 비해 크게 확대되는 것으로 분석되었다.

1) 시화지구 북서부 지역(A-A')

SO₂의 대기중 오염도 9.5ppb에서 6.5ppb에 이르기까지 1ppb씩 감소되는 평균거리의 각각 380m, 275m, 385m로 나타났다. 특히 완충녹지대에서는 7~8ppb의 오염도 분포를 보이고 있는데, 이는 완충녹지의 남서측에서 유입된 8~9ppb의 SO₂가 완충녹지 및 주거지역까지 크게 저감되지 않은 상태로 확산되며, 완충녹지대 풍하측 약 170m의 주거지역에서부터 1ppb 저감되는

표 2. 측정지점별 오염도, 오염원 및 주변토지이용 현황

번호	오염도(ppb)		완충녹지로부터 직선거리(m)	주변토지이용	주요 오염원
	SO ₂	NO ₂			
1	10.8	32.2	280	공업지역	공업시설, 교통
7	23	37.2	1,088	"	"
8	9.7	28.2	285	"	"
9	8.7	50.7	592	"	"
10	17.5	42.3	1,627	"	"
11	19.7	30.1	2,666	"	"
12	14.7	35.6	2,098	"	"
13	13.3	38.4	1,327	"	"
14	14.2	46.4	1,373	"	"
15	11.6	33.5	738	"	"
16	6.8	30.8	0	완충녹지	없음
17	9.6	31.0	276	공업지역	공업시설, 교통
18	8.5	40.9	0	완충녹지	없음
19	11.1	50.5	909	공업지역	공업시설, 교통
20	10.9	53.1	1,889	"	"
21	9.1	22.7	2,954	"	"
22	10.8	39.4	2,329	"	"
23	12.3	26.5	1,329	"	"
24	8.5	21.7	945	"	"
25	7.8	34.8	264	주거지역	난방, 취사, 교통
26	5.8	39.8	1,001	"	"
27	5.0	28.4	1,613	"	"
28	6.2	39.1	1,041	"	"
29	8.2	42.3	584	"	"
30	8.6	49.3	341	"	"
31	7.2	50.8	474	"	"
32	6.1	39.5	969	"	"
33	6.8	32.9	1,157	"	"
34	7.4	42.7	949	"	"
35	7.0	31.7	319	"	"
36	5.4	43.5	887	"	"
37	3.5	42.9	1,521	"	"
38	5.7	61.8	622	"	"
57	6.7	31.1	1,493	"	"
58	8.1	42.6	1,262	"	"
59	6.9	40.9	1,214	"	"

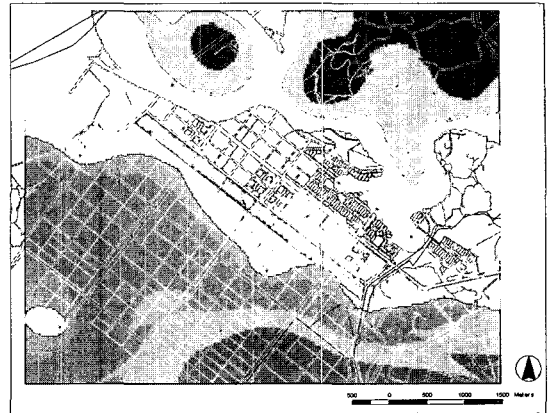


그림 4. SO₂ 확산분포도(ppb)

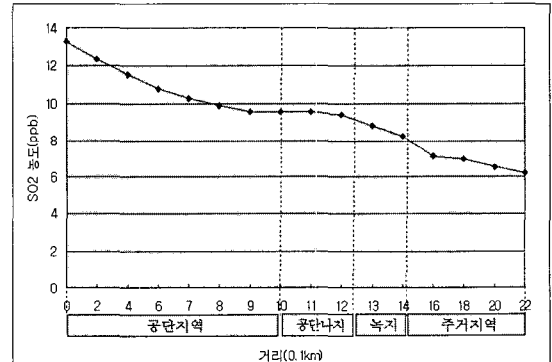
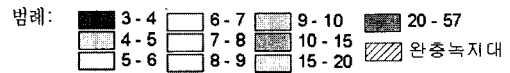


그림 5. SO₂ 오염도 저감 프로파일(A-A')

것으로 나타났다. 따라서 평지보다 10m 이상 성토되었고, 측산 상부에 약 2~3m 내외의 교목이 식재된 완충녹지대 전·후 지역의 SO₂ 평균 농도차는 약 1.1ppb로서 큰 차이가 발생하지 않았으며, 확산거리 대비 완충녹지대의 대기오염물질 저감 효과가 주변 지역에 비해 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다(그림 4, 5 참조).

2) 시화지구 남동부 지역(B-B')

SO₂의 최고농도는 반월공단에서 57ppb로서 대기질 환경기준치인 20ppb를 크게 초과하는 것으로 측정되었다. 확산 경향은 초기에는 북쪽으로 확산되다가 완충녹지대에 이르러서는 북동쪽으로 확산되는 것으로 나타났다. 확산 분포는 SO₂ 15~30ppb의 공간범위는 783~

1,000m, 9~15ppb는 320~715m, 8~9ppb는 175~680m, 7~8ppb는 400~770m, 6~7ppb는 155~500m로 나타났다(그림 6 참조). 이 지역은 북서부 지역과는 달리 반월공단에서 발생한 SO₂가 북동쪽으로 확산되면서 이에 의한 영향이 완충녹지대를 넘어 풍하측으로 시화 신도시의 약 500m지점까지 미치는 것으로 분석되었다. 완충녹지대 전·후 지역의 SO₂ 평균 농도차는 0.7ppb로서 확산거리 대비 완충녹지의 오염물질 차단 및 저감효과가 거의 나타나지 않은 것으로 분석되었다.

위의 분석 결과로 미루어 볼 때, 남동부지역은 북서부 지역과는 달리 대기오염도 7~8ppb의 확산범위가 시화 신도시 주거지역에까지 크게 분포하고 있다. 이 같은 현상은 대상지에 지배적인 풍향이 서풍과 북서풍인 점을 감안하여 바람장 모델링을 수행한 결과 시화지구의 남동부 지역에서는 북서풍이 약화되는 것으로 나타났으며(서만철과 송영배, 2004), 따라서 서쪽에서 유입되는 SO₂ 오염물질이 해풍(서풍)의 지속적 영향으로 완충녹지대를 넘어 풍하측인 주거지역으로 확산되는 것으로 분석되었다. 또한 완충녹지지역으로 유입된 SO₂는 시화 지구의 바람이 약하거나 무풍일 경우 완충녹지대와 고층의 아파트단지 사이에 정체되는 것으로 분석되었다. 이와는 달리 완충녹지대의 북서부 지역은 해안과 인접해 있어 바람의 유입이 원활하고, 따라서 완충녹지대와 주거지역 사이에 대기오염물질의 확산이 비교적 용이하게 이루어지는 것으로 판단된다.

시화공단의 완충녹지대 조성 당시 예측한 오염물질 저감도는 완충녹지대를 경계로 풍하측(주거지역) 100m에서의 농도는 풍상측보다 약 69% 감소하고, 풍하측 300m 지점에서는 97% 감소하는 것으로 제시되었다(한국수자원공사, 2000). 따라서 위의 예측치는 본 연구 결과와 큰 차이가 있는 것으로 분석되었다.

그림 7은 SO₂ 공간 확산분포와 건물(공장 및 주거용 아파트) 배치도로서 주거단지 구조나 배치 유형에 따른 SO₂ 공간분포의 전형적인 특성은 파악할 수 없다.

3. 완충녹지대의 NO₂ 오염도 및 공간확산 분포

NO₂ 공간확산 분포는 그림 8과 같다. 공장시설로부터 지속적으로 발생하는 SO₂와는 달리 NO₂는 주로 점적

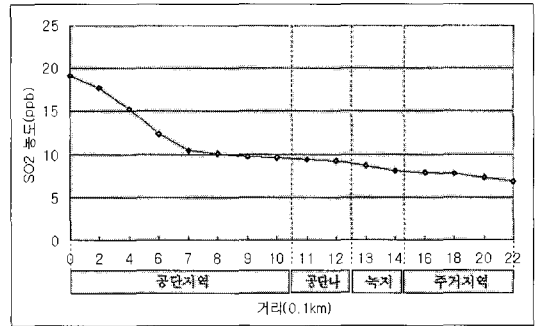


그림 6. SO₂ 오염도 저감 프로필(B-B')

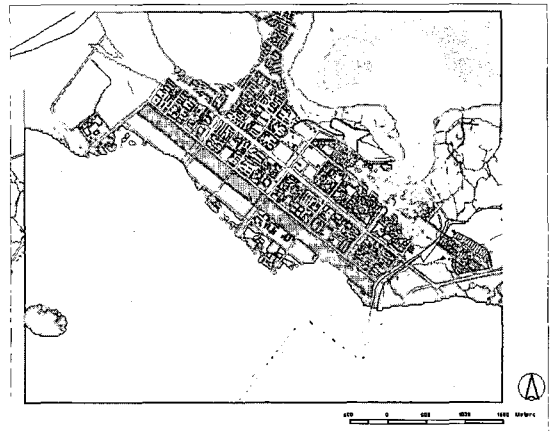


그림 7. SO₂ 공간분포와 건물 배치도

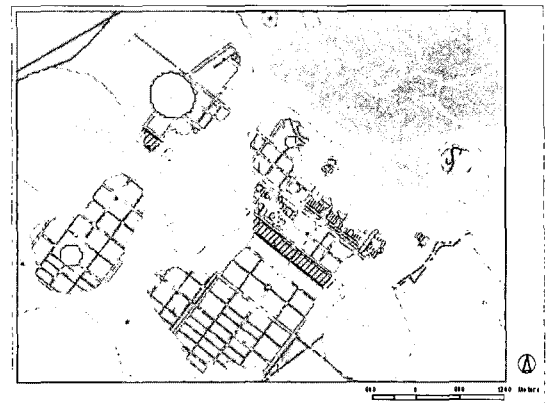
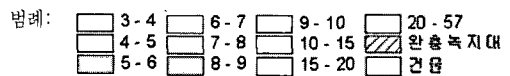
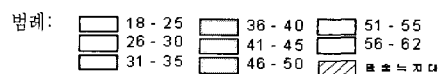


그림 8. NO₂ 확산 분포도



및 국지적으로 발생하는 것으로 나타났다. 공간분포 특성은 주요 발생지인 도로변을 중심으로 풍향에 큰 영향을 받지 않고, 비교적 균질하게 사방으로 확산되는 것으로 나타났다. 따라서 대기오염물질의 등농도 확산면적이 넓지 않은 것으로 분석되었다. 위의 분석결과로부터 완충녹지에 의한 NO₂의 저감 효과는 SO₂와 유사하게 낮은 것으로 판단된다.

IV. 결론

완충녹지대 지역에서의 오염물질별 저감 경향과 확산 분포에 대한 분석 결과는 다음과 같다.

1. SO₂의 확산 분포는 공단지역이 주요 오염원으로 면적 형태를 띄며, 확산 경향은 해풍(서풍)의 영향을 받아 완충녹지대를 중심으로 서에서 동쪽으로 또는 남서에서 북동쪽으로 확산되는 현상을 보임으로써 풍향과 매우 유사하게 진행된다. 이와 달리 NO₂의 확산 분포는 차량 통행이 많은 도로 및 교차로를 중심으로 점적 국지적 형태를 나타내며, 완충녹지대에 의한 저감 현상이나 바람에 의한 확산 경향이 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 분석되었다.
2. 완충녹지대에 의한 SO₂의 저감 효과는 해안과 인접한 북서부 지역과 도시의 중심부에 위치한 남동부 지역에서 각기 다른 확산 분포와 저감 효과를 나타내었다. 북서부 완충녹지대 전·후 지역의 SO₂ 평균 농도차는 약 1.1ppb로서 큰 차이가 발생하지 않았으며, SO₂ 확산거리 대비 완충녹지대의 대기오염물질 저감 효과는 평지와 비교하였을 때 큰 차이가 없는 것으로 분석되었다. 남동부 지역은 반월공단에서 발생한 SO₂가 북동쪽으로 확산되면서 이에 의한 영향이 완충녹지대를 넘어 시화신도시 일부지역까지 미치는 것으로 분석되었다. 또한 완충녹지대 전·후 지역의 SO₂ 농도차는 0.7ppb로서 확산거리 대비 완충녹지대의 오염물질 저감 효과가 거의 나타나지 않는 분석되었다. 따라서 시화공단의 완충녹지대 조성 당시 대기확산 모델링을 통해 예측한 오염물질 저감도(한국수자원공사, 2000)와 실제 측정치를 비교하였을 때, 과대 평가 되었다고 판단된다.

3. 완충녹지대에 의한 NO₂ 저감 효과 역시 뚜렷하게 나타나지 않는 것으로 분석되었다. NO₂ 등 농도 오염분포는 도로를 중심으로 비교적 균질하게 사방으로 확산되다가 반경 250m 내외의 거리에서 저감되는 것으로 분석되었다. 이는 오염물질이 주로 차량에 의해 점적 및 국지적으로 발생하며, 발생시간이 제한되어 있기 때문인 것으로 분석되었다.
4. 지형과 바람에 의한 대기오염물질의 정체현상이 완충녹지대의 남동부 일부 주거지역에서 발생하는 것으로 나타났다. 시화공단의 완충녹지대를 넘어 시화 신도시 주거지역으로 유입된 SO₂는 시화지구의 바람이 약하거나 무풍일 경우 완충녹지대와 아파트단지 사이에 정체되는 것으로 판단된다. 이 같은 현상은 해안과 인접한 북서부 지역과 비교되는데, 해풍 및 북서계절풍의 유입이 원활한 북서부 지역에서는 완충녹지대와 주거지역 사이에 대기오염물질의 해소가 비교적 원활한 것으로 분석되었다.

인용문헌

1. 김석철(2000) 녹지의 대기정화효과 분석을 위한 해석적 대기 확산모델의 유도. 한국대기환경학회지 16(5): 539-544.
2. 김선태, 김성근, 김학민, 정의석(2001) Passive Sampler를 활용한 공단지역의 대기질 평가. 대전대학교 환경학연구소 5: 67-81.
3. 김우룡, 안현철(1980) 도시립조성에 의한 한국공업단지내의 공해방지에 관한 연구. 진주농전대 논문집 18: 67-78.
4. 김성근, 송영배(2006) 시화지구의 대기오염도 및 시화공단의 영향도 조사. 시흥환경기술개발센터 연구보고서.
5. 박은영, 유병림(2004) 환경친화적 완충녹지의 기준설정. 한국조경학회지 32(2): 25-35.
6. 박정호, 전기일, 서정민(2000) Passive Sampler를 이용한 진주시 NO₂ 농도분포. 진주대학교 농업기술연구소 13: 215-219.
7. 서만철, 송영배(2004) 시화지구의 대기오염도 및 시화공단의 영향도 조사. 시흥환경기술개발센터 연구보고서.
8. 송영배(2002) 신도시 개발이 도시열섬 형성에 미치는 영향-분당신도시와 판교지역을 중심으로-. 한국조경학회지 30(4): 37-46.
9. 송영배(2003) 바람통로 계획을 위한 기후생태적 우선지역 분석 및 설정방법-성남판교지역을 중심으로-. 한국조경학회지 31(3): 58-73.
10. 안영희(2001) 녹지환경학. 서울: 태림문화사.
11. 엔버스(2005) 패시브 샘플러 측정장치 제품안내서.
12. 윤국병(1977) 조정배식학. 서울: 일조각.
13. 장영기(2004) 반월 및 시화공단 주변지역 대기 환경용량 평가. 시흥환경기술개발센터 연구보고서.
14. 조현길, 조동하(1998) 도시 주요조경수종의 연간 CO₂ 흡수. 한국조경학회지 26(2): 38-53.
15. 조현길, 안태원(2001) 도시 침엽수에 의한 연간 CO₂ 흡수 및

- 대기정화-소나무와 잣나무를 대상으로-, 한국환경생태학회지 15(2): 118-124.
16. 주영특, 김홍률, 김영채(1995) 잣나무림의 변재부면적을 이용한 엽면적 추정에 관한 연구. 경희대학교 식량자원개발연구소 연구논문집 16: 29-40.
 17. 한국수자원공사(2000) 시화지구 대기환경오염 저감방안 수립 연구.
 18. Baumbach, G. (1992) Luftreinhaltung, Berlin: Springer Verlag.
 19. Bernard, N., C. Astre, B. Vuillot, M. Saintot, and M. Gerber(1997) Measurement of background urban nitrogen dioxide pollution levels with passive samplers in Montpellier, France, Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology 7(2): 165-178.
 20. Varshney, C. and A. Singh(2003) Passive Samplers for NO_x Monitoring: A Critical Review. Environmentalist KEW, 23(2): 127-136.
 21. Yamada, E.(1999) Simple Analysis of Atmospheric NO₂, SO₂, and O₃ in Mountains by Using Passive samplers, Environmental Science & Technology 33(23): 4141-4145.

원 고 접 수: 2005년 7월 19일
 최종수정본 접수: 2006년 2월 1일
 4 인 의 명 심 사 필