

## 도심지역 녹지의 국지적 대기환경영향에 관한 연구

주현수<sup>†</sup> · 김석철<sup>\*</sup>

한국환경정책평가연구원  
122-706 서울 은평구 불광 1동 613-2  
\*볼트환경  
137-060 서울 서초구 방배동 877-7  
(2009년 3월 10일 접수, 2009년 4월 6일 채택)

## Impacts of Urban Green Spaces on Air Quality

Hyun Soo Joo<sup>†</sup> and Seogcheol Kim<sup>\*</sup>

Korea Environment Institute, 290 Jinheungno, Eunpyung-gu, Seoul 122-706, Korea

\*BOOLT Simulation, 887-7, Bangbae-dong, Seocho-gu, Seoul 137-060, Korea

(Received 10 March 2009; accepted 6 April 2009)

### 요 약

본 연구는 도심녹지의 대기질 영향을 정량적으로 해석하기 위해 수행되었다. 도시의 「근린공원 녹지」가 가스상 오염물질인 「질소산화물」과 「황산화물」에 미치는 영향을 분석하였으며, 이를 위해 녹지의 대기환경영향평가 모델링시스템이 개발되었다. 모델링은 서울 도시의 대표적 근린공원이라 할 수 있는 종로구의 파고다 공원 인근지역을 대상으로 수행되었다. 모델링 결과, 도시 근린공원의 수목은 자체적으로 오염물질을 흡수 제거하여 대기질을 개선시키는 기능이 크다고는 볼 수 없지만, 상대적으로 친환경적인 토지이용형태(배출원이 거의 없고, 해당지역 및 주변지역에서 원활한 기류소통 촉진)를 유지함으로써 대기환경 악화를 억제하는 효과는 탁월한 것으로 나타났다. 대기오염이 심한 도시지역에서의 대기정책은 오염원 추가건설 제어를 위한 녹지보호정책을 우선적으로 고려해야 할 것으로 판단된다.

**Abstract** – This study was to find out the quantitative relation between urban treed area(neighborhood parks) and the atmosphere environment in real condition, focusing the gas-phase non-reacting air pollutants(SOx and NOx) decreasing function of trees in urban area. It also developed a quantitative analysis method for evaluation of the atmosphere influence in the type of treed areas. We set up the Pagoda Park in Seoul and its neighbourhood as a modelling area to analyse air quality impacts by urban neighbourhood park trees. From the modelling result of the Pagoda Park case study, it is concluded that urban neighbourhood park has an important meaning to suppress construction of emission sources which drive the urban polluted air quality worse, even though park's trees have relatively small air purifying function. Especially in the urban area severely contaminated by air pollutants, the first considered air quality management policy is conservation of green spaces in neighborhood park.

Key words: Green Space, Air Quality, Air Pollution Policy, Model, Impact Assessment

### 1. 서 론

수목은 광합성과 같은 대사과정을 통해 대기의 오염물질을 흡수/정화할 뿐만 아니라 기공에서 인체에 유익한 물질들을 배출하기도 하고, 도시의 미기상에 영향을 미쳐 열을 식히고 대기오염 물질의 분산에도 일조한다. 또한 회색으로 뒤덮인 도시에서 녹지의 푸른 빛은 심미적 효과와 함께 사람들에게 심리적 안정감을 느끼게 하며 지표면을 뒤덮은 수목은 다양한 침식력으로부터 지표를 보호하는

역할을 하기도 한다. 이처럼 수목은 다양한 분야에서 인류에게 많은 혜택을 제공하고 있으나, 이러한 수목의 기능을 종합적으로 분석하는 것은 현실적으로 많은 어려움이 따르게 되며, 본 연구에서는 수목의 대기질 영향과 관련된 일부 기능에 대하여 살펴보고자 하였다.

그동안 식물체 혹은 녹지의 대기환경영향과 관련된 기초연구 [2-5]는 많이 수행되었으며, 이들 연구들은 오염농도가 균등하게 잘 설정된 조건하에서 특정 식물체가 흡입하는 오염물질량을 분석하거나 흡입속도를 결정하는 각종 인자들을 실험적 또는 이론적으로 분석하는 작업에 초점이 맞추어져 있었다. 이러한 기존의 연구는 실험의 용이성을 높이기 위해 인위적으로 조절된 대기조건하에서

<sup>†</sup>To whom correspondence should be addressed.

E-mail: hsjo@kei.re.kr

<sup>\*</sup>이 논문은 서울대학교 최창균 교수님의 정년을 기념하여 투고되었습니다.

수목의 단위(단위체적 등)별 저감효과를 파악하거나 도시 가로수 등과 같이 제한된 녹지유형을 대상으로 하는 단편적 성격의 연구가 대부분으로, 실제 환경조건하에서 녹지의 대기환경영향을 모델링을 통하여 정량적으로 분석한 연구는 많이 수행되지 않았다.

대기질과 관련하여 녹지의 역할이 중요하다는 인식은 일반화되어 있으나 구체적으로 녹지의 종합적 대기환경영향이 어느 정도인지 정량적으로 평가하는 작업은 극히 일부에서 수행된 바 있으며 오염물질 정화효과와 관련하여 상반된 결과가 나오기도 했다. 전미경 등[6]의 연구에서는 도시주변의 녹지가 도시권에서 배출된 오염물질 전부를 흡수하는 것으로 추정된 반면, 김석철 등[7]의 연구에서는 길이 3 km 그린벨트의 황산화물 및 질소산화물 저감효과가 오염물질 배출량의 1% 미만에 불과한 것으로 추정된 바 있다. 여기서 김석철 등[7]은 녹지의 대기환경영향 정도를 분석하기 위해 가우시안 확산모델을 이용하여 도시외곽녹지의 대기정화능력을 계량적으로 평가하였다.

수목이 인간에게 해아릴 수 없을 정도의 많은 다양한 혜택을 제공하고 있음은 명확한 사실이다. 그러나 앞에서 언급한 바와 같이 수목의 오염물질 흡수능력 또는 수목에 의한 기류변화 등이 실제로 도시의 국지적 대기환경에 어느 정도의 영향을 미치는지에 대한 부분은 아직 논란의 여지가 있는 것도 사실이다. 이러한 도심녹지의 대기환경 개선효과를 정량적으로 평가하기 위해서는 수목의 흡수작용과 도시미기상 현상 그리고 오염 확산 과정을 동시에 고려한 모델링기법이 필요하다.

녹지의 일반적인 대기정화기능에 대해서는 많은 연구가 수행된 바 있지만, 도시지역에서 특히 소규모 녹지의 대기환경개선 효과에 관해서는 연구사례가 많지 않다. 그것은 소규모 녹지의 경우 수목의 오염물질흡수에 의한 대기환경개선효과가 상대적으로 크지 않을 것으로 추정되고 있고<sup>1)</sup>, 또한 도시환경과 관련된 세밀한 규모의 현상을 분석하기 위한 모델링기법이 완전히 확립되지 못했기 때문인 것으로 판단된다. 도시지역에서 녹지가 대기환경에 미치는 영향에 대한 연구사례를 살펴보면 특정한 오염물질의 농도를 낮추고, 하절기의 기온을 낮추어 온도에 민감한 2차 오염물질의 생성을 억제하고 도시내 에너지 사용량을 감소시킴으로써 1차 오염물질의 배출량을 감소하는 등 전반적으로 대기환경을 개선하는 것으로 나타나 있다.

그러나 수목이 도시대기환경에 미치는 영향은 경우에 따라 미미하거나 오히려 부정적일 수도 있다는 연구결과도 주목할 만한 점이다. 녹지는 공기흐름을 방해하여 국지적으로 오염물질을 정체시킬 수도 있다. 녹지에 의한 정화작용이 기류정체에 따른 오염농도 상승에 미치지 못할 경우, 녹지로 인해 인접지역의 대기환경이 더욱 열악하게 바뀔 가능성도 배제할 수 없다.

본 연구의 주제는 「도심 근린공원에 식재된 수목의 대기질(황산화물 및 질소산화물) 영향」으로, 최근 대기환경의 주관심사가 되고 있는 도심지역을 연구의 공간적 범위로 설정하였으며, 대기오염물질 중 가스상 오염물질인 황산화물 및 질소산화물에 초점이 맞추어져 있다. 본 연구결과를 토대로 향후 좀 더 광역적인 지역을 대상으로, 오존 등과 같은 다양한 오염물질의 대기영향이 분석될 수 있을 것으로 판단된다. 근린공원은 도심에 설치되는 도시공원의 대

표적인 한 유형으로 실제의 환경에서 이러한 규모의 녹지가 대기환경에 어느 정도의 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요할 것으로 판단하였다.

## 2. 수목대기정화 예측모델

도심지역의 오염확산 현상에 대한 기존연구는 복잡다단한 현상을 해석하기 위해 다양한 접근법을 모색하고 있다. 기존 연구는 개략적으로 (1) 실측자료를 이용한 방법[8, 9], (2) 전체적 건물분포특성을 이용한 방법[10, 11], 그리고 (3) 전산유체역학(CFD) 모델[12, 13]을 이용한 방법으로 구분할 수 있으며, 본 연구에서는 CFD 모델을 이용하였다. 최근에 많은 연구가 진행되고 있는 CFD 모델은 전반적인 건물특성 대신, 대상영역에 위치한 다양한 건물영향을 개별적으로 고려하여 확산과정을 해석할 수 있는 방법으로, 상대적으로 모호하고 부정확한 전체적 건물특성 등의 모델파라미터에 의존하지 않고 유체의 운동법칙과 같은 보다 근본적이고 확실한 전제로부터 확산과정을 모델링한다. 도심녹지의 대기정화기능을 모델링하기 위해서는 해당지역에서 충분히 상세한 규모로 오염확산 모델링을 수행할 수 있는 기반이 필요한데, 이러한 측면에서 CFD 모델은 타 연구방법에 비하여 많은 장점을 갖고 있다.

CFD 모델링을 위한 수치모델 방정식은 유동방정식과 농도방정식에 대해 유한차분법(FDM)을 적용하여 구성했다. 공간에 대해서는 2차 정확도의 차분오차를 지니도록 구성하였으며, 시간에 대해서는 3차 정확도의 Runge-Kutta 기법을 적용했다. 직교좌표계에서 표고차가 크고 복잡한 지형모형을 효과적으로 모델링하기 위해서 가상경계기법을, 그리고 격자크기 이하의 난류성분을 모델링하기 위해서 LES(Large Eddy Simulation) 모델을 적용하였다.

LES 모델을 사용한 2차 정확도의 코드로 경계조건이 명확한 유동장을 해석할 때 모델링 오차는 약 20% 정도 되는 것으로 알려져 있다. 수치모델의 정확도를 차분식의 정확도를 기준으로 단순 평가하는 것은 무리가 있기는 하나, 본 연구에서 적용한 코드의 경우 일반적인 2차 정확도 LES 코드에 버금가거나 그 이상의 모델링 정확도를 나타내는 것으로 판단된다. 본 연구에서 적용된 LES VBM CFD 모델코드의 기본 알고리즘에 대한 예측 정확도를 다양한 선행연구 사례를 토대로 실측자료와 비교, 검토해 보면 복잡한 지형에 대해서도 모델과 실험결과가 전반적으로 일치하고 있음을 알 수 있다[1]. 본 연구에서 사용된 수목대기정화 모델은 주현수 등 [1]에 자세히 나와 있다.

## 3. 도시 근린공원 녹지의 대기영향

### 3-1. 모델분석 대상지역

도시 근린공원 규모의 녹지가 도시의 대기환경에 미치는 영향을 분석하기 위하여 서울시 종로구에 위치한 파고다 공원 인근지역을 모델링 대상지역으로 설정했다. 대상영역은 동서방향으로 882 m이고 남북방향으로 554 m이다. 모델링 영역에서 현재 파고다 공원이 있는 위치에 대해서는 전체 면적에 녹지가 식재된 것으로, 즉 파고다공원의 녹지율을 100%로 가정하였으며, 녹지면적은 동서로 100 m, 남북으로 150 m인 장방형이다.

파고다 공원 이외의 나머지 영역에 대해서는 건물배치와 도로를 실제 상황대로 고려하였다. Fig. 1은 모델대상영역의 2차원 및 3차

<sup>1)</sup>수목의 오염물질 흡수량에 비하여 대류확산에 의한 오염물질 이동량이 상대적으로 많음을 의미

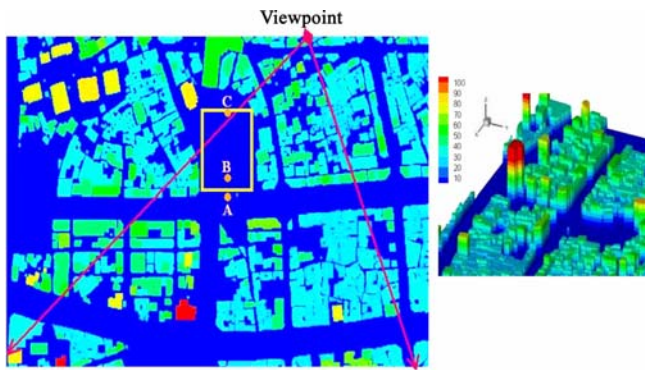


Fig. 1. Modeling domain of this study(around Pagoda-Park in metropolitan Seoul).

원 건물배치도이며, 3차원 건물 및 공원 배치도의 조망점은 2차원 배치도에 표시하였다. 가상적인 모델녹지를 조성한 곳이 Fig. 1 중 상당부의 직사각형 구역으로, A, B, C 지점은 풍속과 오염농도를 분석한 곳에 해당한다. Fig. 1의 중앙에서 좌우로 관통하는 도로가 종로이며 실제 지형에서는 동서방향에 해당한다. 하단에서 굽은 모양으로 좌우를 통과하는 도로는 북원이전의 청계천, 곧 북개된 하천의 지상도로 부분이다.

### 3-2. 모델해석 조건

모델에서 녹지는 지면에서 인접한 공기를 흡수 혹은 배출하도록 구성함으로써 수목의 전체적인 오염정화 기능만을 근사적으로 고려하였으며, 개별 수목이 기류에 미치는 영향은 무시하였다. 모델의 가상 녹지는 일정한 면적(동서방향으로 100 m, 남북방향으로 10 m인 장방형 영역 15개)의 오염흡수 혹은 청정공기 배출 기능을 지니는 요소를 혼합 배치하였다. 각 녹지요소에서는 지면에 직각방향으로 유속( $V_d$ )을 부여하였는데, 유속의 크기는 녹지의 대기오염물질 제거속도인 침적속도에 해당한다. 본 연구에서는  $V_d$ 의 값을 0 m/sec, 0.02 m/sec, 0.08 m/sec로 각각 적용해서 그 영향을 분석하였다.  $V_d=0$  m/sec인 경우는 녹지의 오염제거능력이 없는 경우로 대기오염물질의 흡수가 전혀 없는 지표면과 동일한 조건이다.

$V_d$ 의 크기는 녹지와 오염물질의 종류, 미기상조건 등에 따라 다르며 상당히 넓은 범위의 값을 지니는데, 문헌조사결과를 살펴

보면 본 연구의 대상물질인  $SO_x$  및  $NO_x$ 의 경우,  $V_d$ 가 약 0.002~0.026 m/sec의 범위에 있는 것으로 파악되었다. 이러한 기존 연구결과와 비교할 때  $V_d=0.08$  m/sec는 성장환경이 좋지 못한 도시에 조성된 녹지의 침적속도로는 지나치게 높은 수치일 것으로 판단되지만, 본 연구에서는 오염제거 능력이 극대화된 상태에서의 효과를 살펴보기 위해  $V_d=0.08$  m/sec일 때의 대기영향결과도 분석하였다.

모델경계에서의 풍속은 연직방향으로 먹급수 분포를 적용하였다.

$$V(z) = V_0(z/z_0)^n \quad (1)$$

여기서  $V(z)$ 는 고도  $z$ (m)에서의 풍속(m/sec)이며,  $V_0=1$  m/sec,  $z_0=10$  m,  $n=0.15$ 가 적용되었다. 먹급수 풍속조건을 적용한 모델경계는 Fig. 1의 모델영역 하단부이며, 실제 지형조건에서는 남풍에 해당된다. 모델링은 이러한 남풍조건에서 종로를 지나는 차량에 의해 배출된 다량의 오염물질이 녹지영역을 통과하여 북쪽으로 이류 확산되는 경우를 고려하였다. 북쪽 경계에서는 풍속 및 압력에 대해서 개방경계조건(open boundary condition)을, 그리고 동쪽, 서쪽 및 상층경계면에서는 미끄럼경계조건(slip boundary condition)을 적용했다. 오염배출에 대해서는 녹지와 건물을 제외한 도로면에서 단위 면적당 동일량이 배출되는 것으로 가정하였다. 그 결과 도로의 면적에 비례하여 즉 차선이 많을수록 오염물질이 많이 배출되는데, 이는 교통량이 도로 폭에 정비례하여 많다는 가정을 적용한 것에 해당된다. 실제로는 각 경우마다 더 복잡한 분포를 지닐 것으로 판단된다. 오염농도의 절대치는 본 해석 결과에 영향을 미치지 않으므로, 오염농도는 최대값이 1이 되도록 무차원화 하였다.

근린공원과 같이 일정한 면적을 차지하는 도시녹지는 직접적인 대기정화기능 외에도 공원이 조성된 면적에 대해서는 주변 도시조건에 대해서 대기오염배출량이 현저하게 낮음으로써 주변 대기질을 향상시키는 간접적 효과를 유발한다. 이러한 간접적 효과를 평가하기 위해, 해당 녹지지역에 주변지역과 유사한 형태로 건물과 도로가 개발된 경우를 비교 분석했다. Fig. 2는 근린공원 녹지가 주변지역과 유사한 형태로 개발된 경우의 모델지형이다. 녹지가 존치된 경우와 녹지지역이 개발되어 없어진 가상적인 경우에 대해서 기류와 오염농도의 변화를 비교함으로써, 근린공원의 토지이용형태에 따른 대기질 영향을 분석하였다. 모델링 영역을 앞의 경우보다 축소하고 모델의 격자간격, 곧 모델의 공간해상도는 2.5 m로

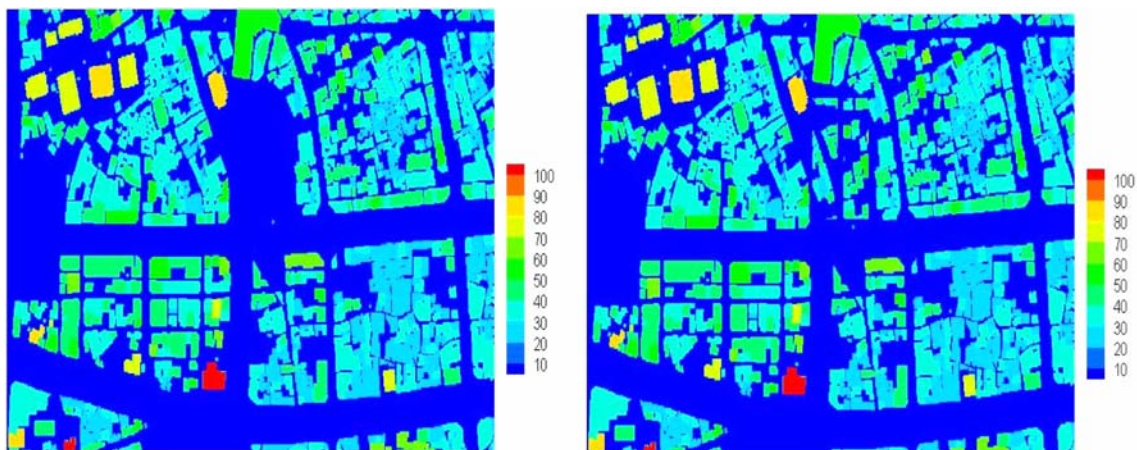


Fig. 2. Two model building layouts: with park area(left) and without park area(right).

설정하여, 주요 도로와 건물의 형상을 보다 자세하게 묘사할 수 있도록 하였다.

### 3.3. 대기영향의 평가

#### 3-3-1. 도시 근린공원 녹지의 침적속도( $V_d$ ) 변화에 따른 대기질 영향

녹지의 오염흡수속도(침적속도)에 따른 연직 평균농도 및 평균 풍속 분포의 변화를 비교하여 Fig. 3과 4에 제시하였으며, 각 그림의 상, 중, 하단부 그래프는 각각 근린공원 녹지 직전(Fig. 1의 풍

상도로 A지점)과 전반(Fig. 1의 풍상녹지 B지점) 그리고 끝(Fig. 1의 풍하녹지 C지점) 지점에서의 평균농도 또는 평균풍속을 나타낸다. 한편 Fig. 3과 4에는 점선 및 기호  $\odot$ 로 표시된 해당 지점에서의 농도 및 풍속에 대한 시간별 변화량(fluctuation)도 나타나 있는데, 전반적으로 0.1 이하의 안정된 값을 보여주고 있다.

Fig. 3은  $V_d=0.02$  m/sec인 경우를 흡수속도가 0인 경우(녹지의 오염물질 흡수능력이 전혀 없는 지면)와 비교하여 도시한 것이며, Fig. 4는  $V_d=0.08$  m/sec로 오염물질 흡수속도가 매우 높은 녹지에

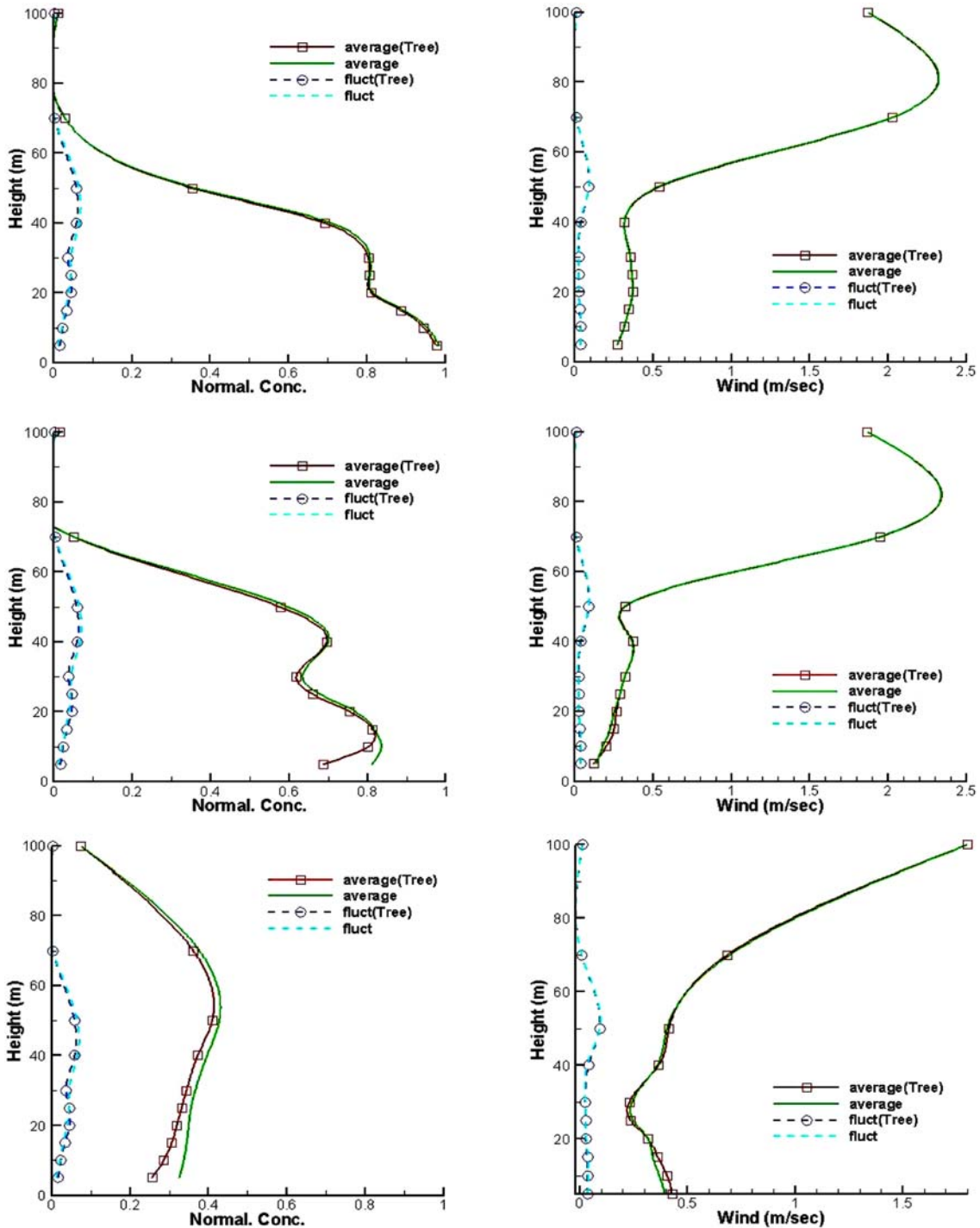


Fig. 3. Vertical profiles of time averaged concentrations (left) and wind speed (right): the cases with  $V_d=0.0$  m/sec (solid line without captions) are compared with those with  $V_d=0.02$  m/sec. The upper, middle, and lower figures correspond respectively to the Site A, Site B and Site C in Fig. 1.

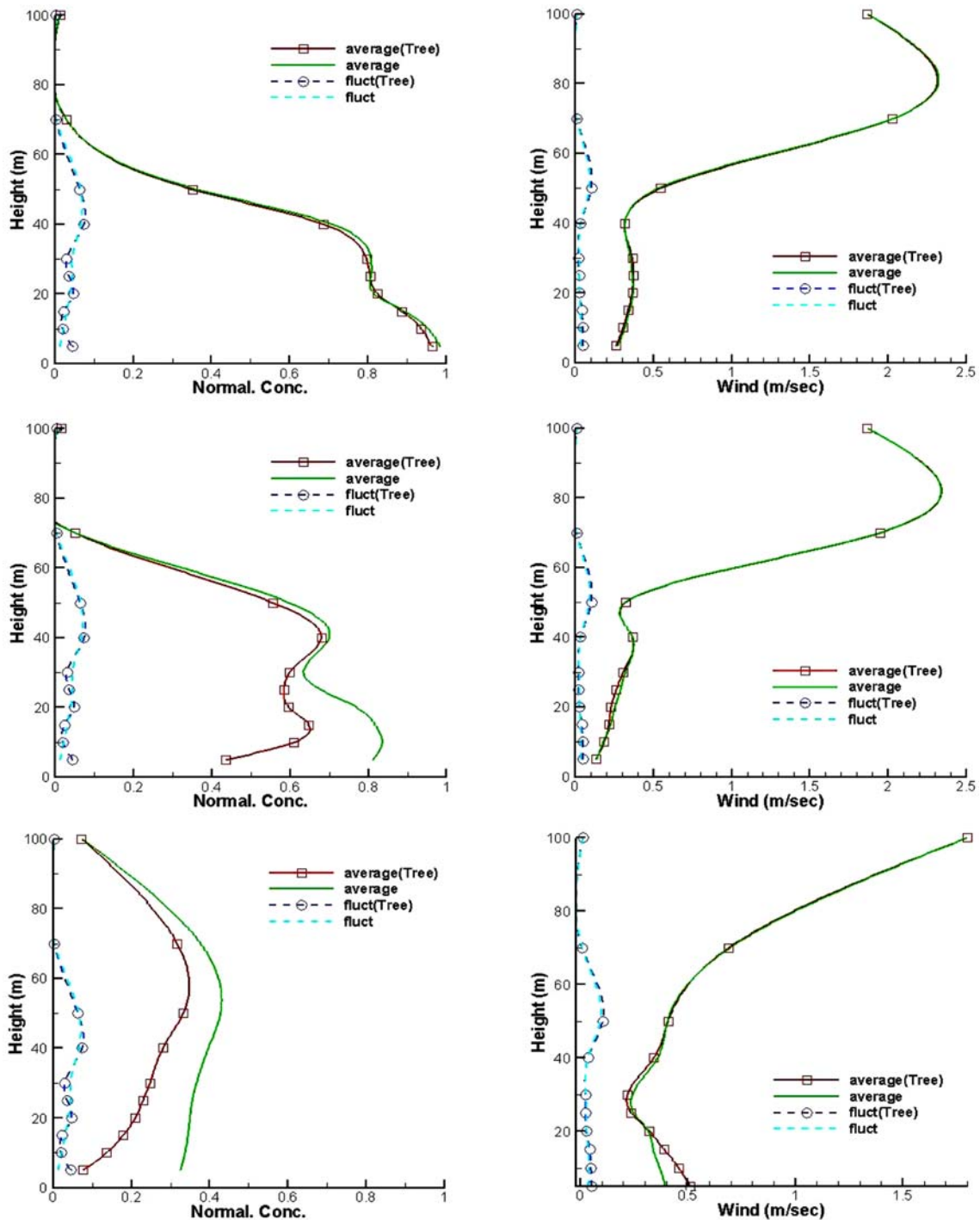


Fig. 4. Vertical profiles of time averaged concentrations (left) and wind speed (right): the cases with  $V_d=0.0$  m/sec (solid line without captions) are compared with those with  $V_d=0.08$  m/sec. The upper, middle, and lower figures correspond respectively to the Site A, Site B and Site C in Fig. 1.

대한 모델결과를 동일한 방법으로 나타낸 것이다. Table 1은 지상 고도 10 m에서의 평균농도를 비교한 것으로, 괄호 안의 숫자는 녹지로 인한 농도감소 백분율을 흡수속도( $V_d$ )가 0인 경우, 즉 녹지가 존재하지 않을 경우와 비교하여 표시한 것이다.

녹지의 오염흡수속도는 초목의 종류, 성장조건, 식재밀도 등에 따라 매우 다양하게 변화하기 때문에 일정한 값을 지정하기 어려우며 실제로 이러한 모든 현상을 고려하기 위해서는 모델이 상당히 복잡하게 된다.

본 연구에서는 먼저 근린공원(과고다공원) 규모의 녹지가 대기 질에 실제로 영향을 미칠 수 있는  $V_d$ 의 범위를 알아보기 위해,  $V_d$ 가 일정하다는 가정하에 0.02 m/sec와 0.08 m/sec를 적용해 보았다. 지상 고도 10 m에서의 평균농도를 비교한 Table 1에 의하면,  $V_d=0.08$  m/sec 일 경우, 풍상녹지 B 및 풍하녹지 C 지점에서 탁월한 대기개선효과가 나타남을 알 수 있다. 그러나  $V_d=0.08$  m/sec는 실제의 수목계에서는 현실적으로 관찰되기 힘든 값이다.  $V_d$ 가 0.02 m/sec로 낮아질 경우, 수목의 대기개선효과는 감소하며, A 및 B 지점에서는

**Table 1. Average concentrations at 10 m above the ground in the park area**

deposition velocity ( $V_d$ ) site	0.0 m/sec	0.02 m/sec	0.08 m/sec
Site A upwind of the road	0.95296	0.94513(-1%)	0.93624(-2%)
Site B upwind of the park	0.83544	0.80192(-4%)	0.60903(-27%)
Site C downwind of the park	0.33718	0.28586(-15%)	0.13641(-60%)

Note: parenthesized values represent percentage ratio of the concentration reduction to that with zero deposition velocity

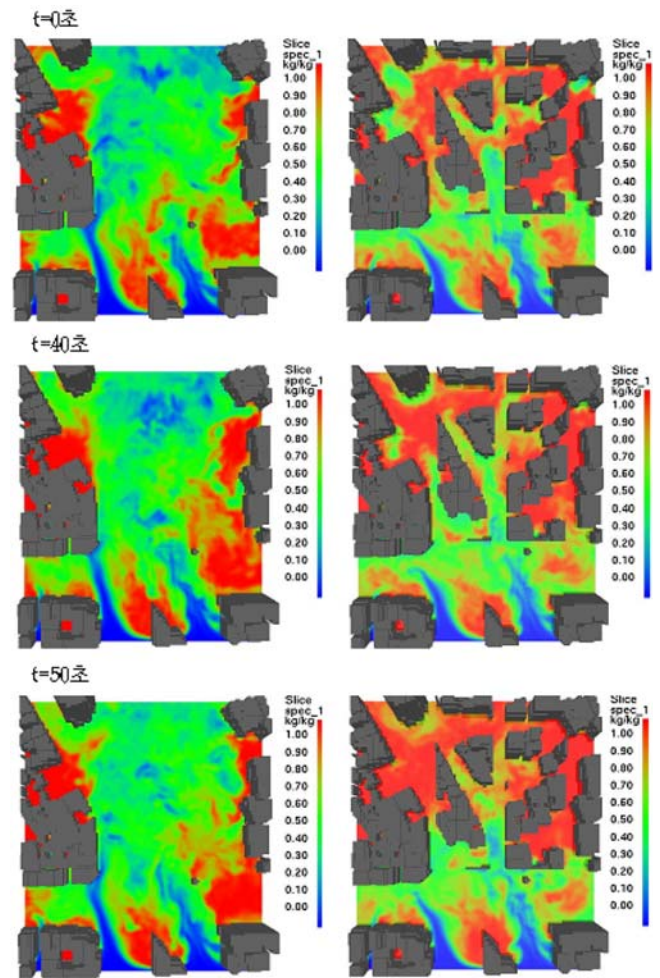
미미한 효과가, 풍하녹지 C 지점에서는 약 15%의 대기개선효과가 나타난다. 0.02 m/sec는 기존문헌에 제시된 수목의 침적속도중 최대값 범위에 해당되며, 실제 수목계가 이러한 높은 침적속도를 형성하더라도 장기간 지속적으로 유지되는 것은 사실상 불가능하다. 따라서 이러한 침적속도( $V_d=0.02$  또는  $0.08$  m/sec)에 기초한 모델결과는 수목의 대기정화기능을 상당부분 과대하게 평가한 것으로 볼 수 있으며, 수목의 직접적인 오염흡수에 따른 도심지역의 대기질 개선효과는 도시 근린공원 수준의 면적에서는 미미한 것으로 판단된다. 즉, 근린공원 규모의 녹지가 대기오염물질을 흡수함으로써 미치는 대기질 영향은 오염물질의 대류확산에 따른 것보다 상대적으로 중요도가 낮음을 알 수 있다. 이러한 연구결과는 가스상 오염물질(질소산화물 및 황산화물)만을 대상으로 도출된 것으로서 도시 근린공원의 녹지가 결코 대기오염물질 제거 측면에서 기능을 수행하지 않는다는 것을 의미하는 것은 아니다. 질소산화물 및 황산화물 이외의 다른 오염물질들, 예를 들면 오존과 같이 온도 등의 미기상조건에 더욱 민감하게 반응하는 물질들은 또 다른 형태의 메커니즘을 보일 수 있을 것이다.

### 3-3-2. 도시 근린공원(녹지)의 개발에 따른 영향

근린공원 크기의 녹지가 흡수 제거하는 오염물질의 양은 작지만, 근린공원이 개발되어 인접 지역과 유사한 형태로 토지이용 형태가 변경된 경우에는 근린공원 및 주변지역의 오염농도는 증가하게 된다. 이 경우는 근린공원 녹지가 지녔던 오염흡수능력이 모두 사라졌다는 것뿐만 아니라 도로차량 등의 오염물질 배출원이 추가됨으로써 오염확산조건을 변화하게 한다는 것을 의미한다.

본 연구에서는 파고다 공원 지역을 대상으로 이러한 상황을 가정하여 실제 대기오염도가 어느 정도 증가하는지를 분석해 보았으며, 근린공원 녹지가 개발된 경우, 즉 근린공원 자리에 주변지역과 유사한 형태로 건물과 도로가 건설된 경우를 가정하여 모델링을 수행하였다. 인접 지역과 유사한 토지이용형태를 구현하기 위해서, 파고다 공원 위치에 종로 1가 인근의 건물 및 도로지형을 복사, 적용하였다. 여기서는 해당 지역에서의 세밀한 모델결과를 파악하기 위해 Fig. 1보다 작은 모델영역(Fig. 5참조)을 선택하였고, 따라서 앞의 모델 조건과는 모델영역, 해상도, 지형, 오염물질배출량 등에서 차이가 있다.

Fig. 5는 수평고도 10 m에서 순간농도분포를 표시하는 컬러맵으로, 근린공원이 있는 경우와 근린공원이 인접지역과 유사한 토지이용형태로 전환된 경우를 비교, 제시하였다. Fig. 5에 표시한 동일 순간의 농도분포를 비교해 보면, 근린공원(사례지역의 파고다 공원)이 있던 자리에 도로와 건물이 위치함에 따라 근린공원 자리 및 인접지역의 대기오염도가 크게 증가하는 것으로 나타난다. 공원이 있던 중심 위치의 농도( $t=50$ 초)를 비교하면, 공원녹지가 있을 때 농도범위가 대략 0.4~0.5 정도인데 반해 공원녹지가 없어진 이



**Fig. 5. Instantaneous concentration fields at 10 m above the ground with park area (left), where  $V_d=0.02$  m/sec and without park area (right).**

후에 농도범위는 전반적으로 0.9~1.0 정도로 증가한다. 즉, 공원이 있던 지역에서 오염농도는 공원이 없어짐에 따라 거의 2배 정도 증가하는 것으로 나타났다.

Fig. 6은 근린공원의 개발에 따른 오염도의 변화를 보여주고 있으며, Fig. 3-4와 마찬가지로 근린공원의 3개 지점(Fig. 1의 A, B, C 지점)에서의 평균농도와 평균풍속의 연직분포를 나타낸다. 여기서 실선은 평균 농도 또는 풍속을, 점선은 시간별 변동량(fluctuation)을 나타내며, 기호( $\square$ ,  $\circ$ )와 함께 표시된 실선 또는 점선은 근린공원의 녹지가 존치된 경우를, 그리고 기호가 표시되지 않은 실선 또는 점선은 근린공원이 개발되었을 때를 나타낸다. 풍하방향으로 공원 경계에 인접한 C 지점의 경우(Fig. 6 하단부 그래프), 공원녹지가 존치할 경우 오염농도가 0.35 정도이나, 근린공원이 개발됨에 따라 오염농도가 급격하게 증가하여 최고치인 1에 다다르게 된다.

결국, 도시 근린공원 규모의 수목은 대기질에 많은 영향을 미칠 정도로 오염물질을 흡수할 수 있는 기능은 작지만, 상대적으로 친환경적인 토지이용형태(배출원이 거의 없고, 해당지역 및 주변지역에서 원활한 기류소통을 촉진)로 인해 대기환경 악화를 억제하는 효과는 탁월하다 할 수 있을 것이며, 따라서 대기오염이 심한 도시지역에서의 오염원 추가건설 제어를 위한 녹지보호정책은 우선적으로 고려되어야 할 대기정책 사안이 되어야 할 것이다.

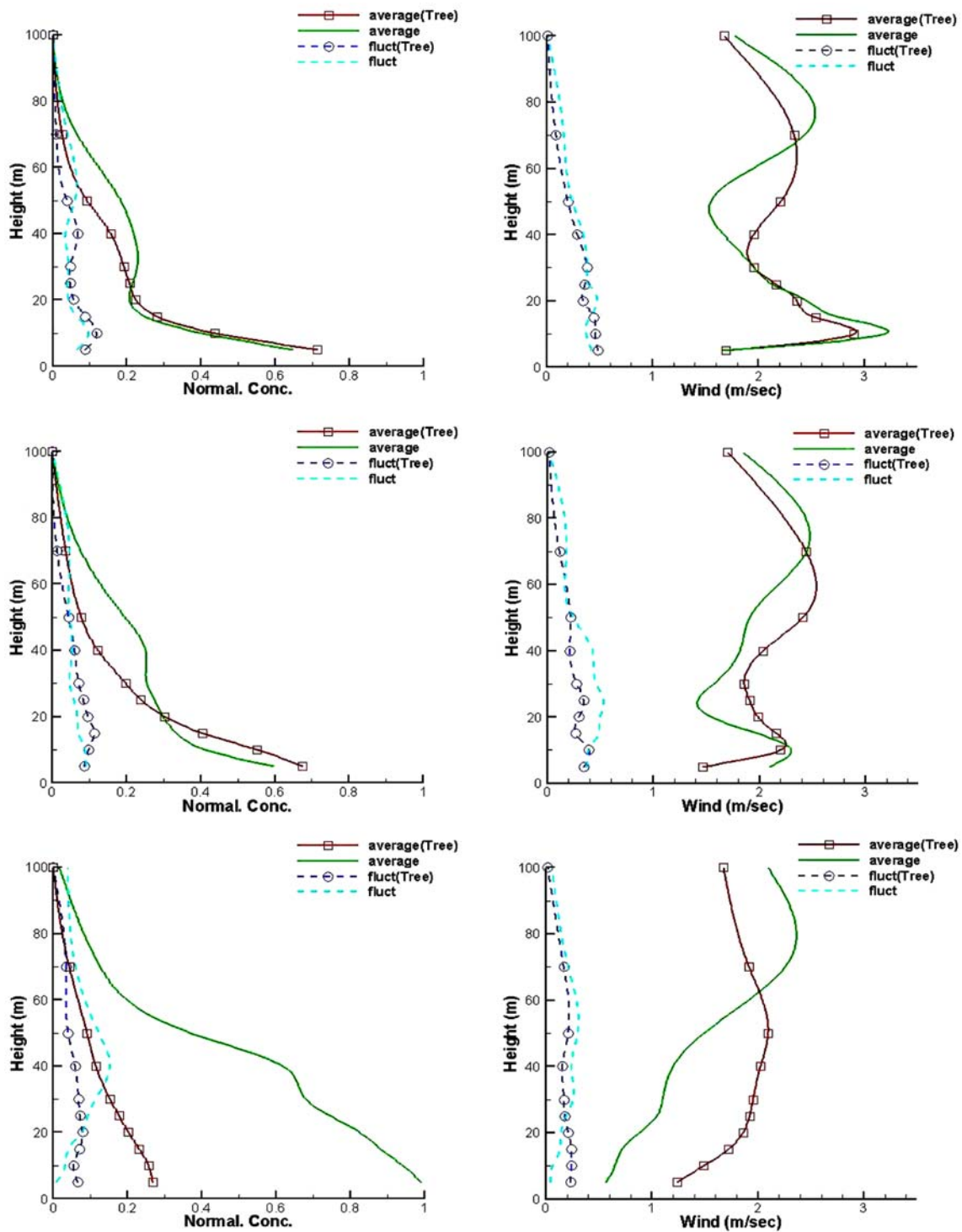


Fig. 6. Vertical profiles of time averaged wind speed (left) and concentration (right): the cases with park area where  $V_d=0.02$  m/sec (solid line with rectangles) are compared with those without the park area. The upper, middle and lower figures correspond respectively to the Site A, Site B and Site C in Fig. 1.

#### 4. 결 론

본 연구는 녹지(수목)의 다양한 기능중 대기질 분야에서의 환경 영향을 분석하기 위해 수행되었으며, 특히 도시지역에서의 녹지가 가스상 오염물질(질소 및 황 산화물)의 농도분포에 어떠한 영향을 미치는지에 초점을 맞추었다. 도심지역에서의 대표적인 녹지 형태

중 하나가 근린공원내 녹지라 할 수 있으며, 이러한 형태의 녹지가 도시의 국지적 대기질 환경에 미치는 영향을 해석하기 위해 CFD 모델시스템을 개발, 적용하였다.

도시 근린공원 녹지가 주변지역 대기질에 미치는 영향을 분석하기 위하여, 서울시 종로구 파고다 공원 일대 전역(100 m×150 m)을 녹지로 가정, 모델링 대상지역으로 설정한 후, 모델영역 상에서 각

중 건물과 주요 도로를 실제 상황과 동일하게 배치, 적용하였다. 도시 근린공원 녹지의 대기질(질소산화물 및 황산화물) 환경영향에 대한 모델링 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 근린공원 규모의 녹지에 의해 제거되는 가스상 오염물질의량은 실제 조사된 문헌상의 오염물질 흡수속도를 고려할 때, 대류에 의한 오염물질 이동량에 비해 상대적으로 작은 수준이며, 따라서 기공 등을 통하여 가스상 오염물질을 흡수제거하는 직접적인 오염정화능력에 의해 도시의 대기질이 영향을 받는 정도는 미미하다 할 수 있다. 녹지에 의한 직접적인 오염제거 기능이 비중을 차지하기 위해서는 상대적으로 매우 넓은 녹지면적이 필요할 것이나 일반적으로 도시에서 대규모 녹지공간을 확보, 설치하는 일은 어려운 일이다.

(2) 도시 근린공원 규모의 녹지가 오염물질을 흡수 제거하는 기능은 대류확산에 의한 대기질 영향보다 작지만, 상대적으로 친환경적인 토지이용형태를 유지함으로 인해 대기환경 악화를 억제하는 효과는 탁월하다 할 수 있다. 서울시 종로구 파고다 공원을 사례지역으로 분석한 결과, 파고다 공원을 인접 지역과 유사하게 개발할 경우, 공원이 있었던 지역의 오염농도는 약 2배 증가하는 것으로 나타났다. 따라서 대기오염이 심한 도시지역에서의 오염원 추가건설 제어를 위한 녹지보호정책은 대기정책에서 우선적으로 고려되어야 할 필요가 있을 것이다.

이상의 연구결과는 수치모델에만 의존하여 도출된 것으로 향후 실측자료에 의한 보완이 필요할 것으로 보인다. 수치모델을 구성하는 요소 가운데 기류해석 알고리즘은 풍동실험 및 선행결과와 비교를 통해 자세히 검증된 것에 반해, 비교자료의 부재로 인해 수목에 대한 수치해석모델의 타당성은 본 연구에서 확인할 수 없었다. 여기에 대해서는 향후 보다 심층적인 연구가 필요할 것이다.

## 감 사

본 논문은 한국환경정책평가연구원의 2005년도 기본연구[1]로 수행된 연구결과를 기초로 작성되었습니다.

## 참고문헌

1. Joo, H. S., Kim, S., Choi, S. and Bae, S., "Impacts of Green Spaces on Air Quality," Korea Environment Institute(2005).
2. Jun, Y., McBride, J., Zhou, J. and Sun, J., "The Urban Forest in Beijing and Its Role in Air Pollution Reduction," *Urban Forestry & Urban Greening*, **3**, 65-78(2005).
3. Shuji, F., Cha, H., Kagi, N., Miyamura, H. and Kim, Y. S., "Effects on Air Pollutant Removal by Plant Absorption and Adsorption," *Building and Environment*, **40**, 105-112(2005).
4. McPherson, E. G. and Simpson, J. R., "Reducing Air Pollution Through Urban Forestry," California Forest Pest Council(1999).
5. Nowak, D. J., "The Effects of Urban Trees on Air Quality," USDA Forest Services(1995).
6. Jeon, M., Seong, H., Chang, Y., Hong, M., Cho, S., Cho, K., Lee, S. and Park, J., "GyeongGi's Implementation Plan 21 Century: Air Quality," GyeongGi-Do(1999).
7. Kim, S. and Lee, C., "Study of Environmental Impacts on Green-Belt Area(2): Air Quality," The Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(1999).
8. Weirunga, J., "Representative Roughness Parameters for Homogeneous Terrain," *Boundary-layer Meteorology*, **63**, 323-363(1993).
9. Bottema, M., "Urban Roughness Modelling in Relation to Pollutant Dispersal," *Atmospheric Environment*, **31**, 3059-3075(1997).
10. Macdonald, R. W., "Modelling the Mean Velocity Profile in the Urban Canopy Layer," *Boundary-layer Meteorology*, **97**, 25-45(2000).
11. Allwine, K. J., Shinn, J. H., Streit, G. E., Lawson, K. L. and Brown, M., "A Multiscale Field Study of Dispersion Through an Urban Environment," *Bulletin of the American Meteorological Society*, **83**(4), 521-536(2002).
12. Hanna, S.R. and Britter, R. E., "Wind Flow and Vapor Cloud Dispersion at Industrial and Urban Sites," Center for chemical process safety of the American Institute of chemical engineers(2002).
13. Pollen, J., Boris, J. P., Young, T., Patnaik, G. and Iselin, J., "A Comparison of Contaminant Plume Statistics from a Gaussian Puff and Urban CFD Model for Two Large Cities," *Atmospheric Environment*, **39**, 1049-1068(2005).