

## PC1) 국지기후모델(WiTraK)을 이용한 서울시 바람장 및 확산장 수치실험

### Numerical Experiment of Wind and Diffusion Field in Seoul using WiTraK

박기준 · 부경은 · 오성남  
기상연구소 응용기상연구소

#### I. 서론

산업화나 도시화에 따른 인위적인 토지 이용의 변경은 최근들어 더욱 빈번하고 광범위하게 나타나고 있는 실정이다. 이러한 토지 이용의 변경은 도시계획이나 건축, 공단의 조성, 녹지 변경등의 형태로 나타나고 있으며 이는 국지 기후나 환경을 변화시키는 결과를 가져오기도 한다. 미세 국지 기후의 변화는 지구규모의 기후변화와는 다른 양상을 띠고 발달되며 또한 시·공간적인 변화가 빠르고 인간에게 미치는 영향은 매우 직접적이다. 이에 따라 미세 국지 기후의 변화와 그 영향은 도시 환경 문제와 관련하여 기상학자들의 관심사로 부각되게 되었다.

국지기후에서는 대상 지역의 지형이나 토지 이용도에 따라 기상장의 변화가 다르게 나타나며, 언덕이나 산이 분포한 지역에서 특히 중요하다. 과거의 연구들 중에 Sherman(1978)은 복잡한 지형이 존재하는 영역에서의 진단적 발달산 3차원 바람장을 격자간격 5km에 대하여 모사하였고 Segal(1988) 등은 지형에 의해 유도되는 국지 규모의 순환이 식생분포를 고려했을 때 더 약화됨을 보였다. 국내에서는 이승우와 이동규(1998), 박영연과 이태영(1990), 김병곤(1993)등이 지형효과에 따른 바람장 산출에 대한 연구를 수 도권이나 한반도에 적용하여 수행하였다.

그러나 기존의 많은 연구들에서는 모델의 분해능이 수 km에 이르렀기때문에, 국지 규모 순환을 상세히 밝히는 데에는 부족함이 있었다. 특히, 도시 지역에 분포한 산이나 언덕에 의해 바람이 변형되는 세밀한 부분을 다루기엔 한계가 있었다. 따라서, 본 연구에서는 도시 지역의 국지 순환과 오염 물질 확산 과정등의 묘사에 필요한 3차원 바람장을 수백 m의 해상도로 모의할 수 있도록 시도하였으며, 서울 지역을 대상으로 적용하였다. 더불어 최근 도시화가 급속하게 이루어짐에 따라 토지 이용도 및 대기 안정도등에 의한 바람의 변형도 살펴보고자 하였다. 본 연구 결과는 도시 지역내의 바람 순환 구조를 상세히 살펴볼 수 있으며, 그에 따른 풍향 풍속 및 수렴, 발산 구조 등을 파악할 수 있게 한다. 따라서 오염 물질 확산을 가정했을 때 오염도가 높을 우려가 있는 지역에 대한 판단 및 토의도 가능하리라 기대된다. 한편, 본 연구 결과의 끝부분에 실제 지형, 토지 안정도 및 기상 조건에 따라 모의된 바람장을 자동기상관측 자료와 비교함으로써 그 결과를 검증하여 보았다.

#### II. 연구방법

본 연구에 사용한 수치 모형은 3차원 바람장을 진단적으로 모의하는 것으로서 독일 쾰른대학 기상학 연구소로부터 도입하여 우리 실정에 맞게 재개선한 것이다. 먼저, 서울 지역을 대상으로 한 바람장 모의는 WiTraK (Wind field, Transport and Climate Program)이라는 모형을 사용하였다.

WiTraK 모형은 모의 대상 영역내의 질량 보존을 가정하고 지형, 토지 이용도 및 대기 안정도를 고려하여 3차원 바람장을 모의하는 수치 모형이다.

서울 지역의 지형 자료는 수평 격자 3"×3"의 MDA(미국) 위경도 지형 고도 자료를 사용하였으며 서울의 도심 지역을 비롯하여 서울의 전역이 포함되어 있다.

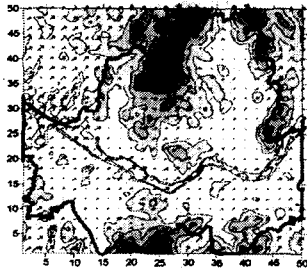
토지 이용도는 지면 거칠기에 관한 값으로써 나타났다. 먼저 서울 지역의 토지 이용도를 초지(논, 밭), 교외(변두리, 저개발지역), 숲(산, 고궁), 물(강, 하천), 그리고 도심지역의 5개로 구분하였고, 각각의 등급에는 고유의 지면 거칠기값을 주었다(Kershgens et al., 1994). 모의 영역내의 각 격자점에 주어진 지면 거칠기값은 격자점 주변 600×600m 영역내의 토지 이용도들을 조사하여 각 토지 이용도들이 그 영역내에 차지한 비중만큼의 가중치를 지면 거칠기값에 곱해 평균적으로 구했다.

### III. 결과 및 고찰

실험에 앞서 모델 영역내에 지면 온도 및 연직 온도 경도, 경계층 및 지표층 높이, 경계층에서의 풍속 및 풍향, 고층 바람 관측값에 관한 초기 기상 정보를 주었다. 정확한 초기 관측 자료는 모델을 보다 현실에 가깝게 모사하는데 필수적이다. 본 연구에서는 97년 4월 12일 21시를 사례시기로 선정하였다. 이날 일기는 중부지방에 걸쳐 남서풍계열의 동일한 바람이 불었으며 풍속은 3.5~5m/s로서 비교적 강하였다.

또한 북부나 남부 지방과는 달리 중부지방은 운량이 없는 맑은 날씨였다.

a) 10m above the ground (neutral)  
→ 2 msec



b) 10m above the ground (stable)  
→ 2 msec



Fig. 1. Simulated horizontal wind field at 10m level over the ground a) in neutral case, b) in stable case at 12UTC 12 April 1997.

서울 지역의 지형 및 토지 이용도 효과를 모두 적용하여 사례 시기(97년 4월 12일)의 바람장을 모의하였다. 지상으로부터 10m 높이에서의 바람장은 그림1(a)와 같이 나타났다. 산악 지역을 통과하는 바람은 산정상에서 강화되는 모습을 보였고 한강이나 변두리 지역과 같이 지면 거칠기가 작고 상대적으로 개발 정도가 약한 지역에서의 바람도 다른 지역보다 강하였다. 반면 풍속이 약한 지역은 주로 서울 경계내의 도심 지역에 분포하고 있어 도시화로 인한 바람의 변화를 파악할 수 있었다.

산악 지역은 풍향의 변화에도 큰 영향을 미쳤는데 북한산과 만난 바람은 북쪽과 동쪽으로 갈라져 산을 돌아불었으며 일부는 산을 타고 상승하였다. 관악산에서는 산 북쪽을 따라 서풍계열로 들어가는 모습을 볼 수 있으며 남산 및 서울의 동쪽 경계에 위치한 낮은 산에서도 풍향의 변형을 볼 수 있었다.

지형에 따른 풍향의 변형 정도는 대기 안정도와도 관련이 있었다. 그림1(b)는 1(a) 결과에 비해 대기가 안정했을때의 바람장을 모의한 결과이다. 대기가 안정해졌을때에는 지형에 따른 풍향의 변형 정도가 더욱 두드러졌다. 특히 남산과 서울 동쪽 경계의 산과 같이 낮거나 완만한 경사의 지형을 만났을때에도 바람은 경사면을 우회하여 돌아가려하는 경향이 강하였다. 한 예로 서울 북서쪽 교외지역에서는 북한산 아래의 완만한 경사면의 영향을 받으면서 남풍의 바람이 불었다. 이는 대기가 중립상태일때(그림1(a)) 풍향이 남서풍계열로서 변하지 않았던 점과 비교하면 큰 차이라 할 수 있다. 한편, 산지를 만났을 때 산에 부딪힌 바람의 일부가 다시 역방향으로 불어 동풍계열로 불게 되는 모습도 볼 수 있었는데 도봉, 상계, 은평 지역이 대표적 지역으로 모의되었다. 한편, 온도의 양의 연직 경도가 커지고 경계층 높이와 산정상의 간격이 작아지면서 산 정상을 통과하는 바람의 세기도 중립일때보다 강해졌다.

한편, 온도의 양의 연직 경도가 커지고 경계층 높이와 산정상의 간격이 작아지면서 산 정상을 통과하는 바람의 세기도 중립일때보다 강해졌다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 국가지정연구실 사업의 하나인 "한반도 기후변화 감시 기술 개발"연구과제에서 수행된 내용임.

### 참고 문헌

김병곤, 1993: 지상 관측자료를 이용한 3차원 바람장의 추정. 서울대학교 대학원 석사학위논문, 64pp.  
 박영연, 이태영, 1990: 서울에서의 겨울철 바람장에 관한 수치적 연구. *한국기상학회지*, 26(4), 247-261.  
 이승우, 이동규, 1998: 수도권 지역에서 지표 및 지형 효과에 따른 국지규모 대기 순환의 수치 실험. *한국기상학회지*, 34(1), 1-19.  
 Kershgens, M., W. Brueher, F. Steffany, 1994 : WiTraK, Windfeld-, Transport- und Klimatologie Programm, Institut fuer Geophysik und Meteorologie der Universität zu Köln.  
 Segal, M., R. Avissar, M. C. McCumber, R. A. Pielke, 1988 : Evaluation of vegetation effects on the generation and modification of mesoscale circulations., *J. Atmos. Sci.*, 45, 2268-2292.  
 Sherman, C. A., 1978 : A mass-consistent model for wind fields over complex terrain. *J. Appl. Meteor.*, 17, 312-319.