

## 대구지역의 국지순환풍의 환기경로 및 대기오염수송에 관한 수치모의

구현숙 · 김해동\*

계명대학교 환경학부, 704-701 대구광역시 달서구 신당동 1000

### Numerical Simulation on the Wind Ventilation Lane and Air Pollutants Transport due to Local Circulation Winds in Daegu Districts

Hyun-Suk Koo and Hae-Dong Kim\*

Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

**Abstract:** Recently, urban planning with consideration of urban climate, represented by the concept of urban ventilation lane is widely practiced in many countries. The concept of urban ventilation lane is mainly aimed to improve the thermal comfort within urban area in summer season. It has also the aim to reduce the urban air pollution by natural cold air drainage flows which are to be intensified by a suitable alignment of buildings as well as use zonings based on scientific reasons. In this study, the prevailing wind ventilation lane of a local wind circulation and around Daegu for a typical summer days was investigated by using a numerical simulation. The transport of air pollutants by the local circulation winds was also investigated by using the numerical simulation model, the RAMS (Reasonal Atmospheric Model System). The domain of interest is the vicinity of Daegu metropolitan city (about 900 km<sup>2</sup>). The horizontal scale of the area is about 30 km. The simulations were conducted under a late spring synoptic condition with weak gradient wind and almost clear sky. From the numerical experiment, the following three conclusions were obtained: (1) The major wind passages of the local circulation wind generated by radiative cooling over the representative mountains of Daegu (Mt. Palgong and Mt. Ap) were found. The winds blow down along the valley axis over the eastern part of Daegu as a gravity flow during nighttime. (2) At the flatland, the winds blow toward the western part of Daegu through the city center. (3) As the results, the air pollutants were transported toward the western part of Daegu by the winds during nighttime.

**Keywords:** urban climate, urban ventilation lane, summer season, gradient wind, gravity flow

**요약:** 최근 도시기후를 고려한 도시계획이 많은 나라에서 실용화되고 있다. 도시기후의 고려는 주로 도시의 바람 길 조성이라는 개념으로 구체화되고 있다. 도시의 바람 길 조성은 주로 하계에 도시지역의 열적 쾌적성을 개선하는 것을 목표로 한다. 아울러, 과학적 조사에 근거하여 도시의 단지계획을 합리적으로 함으로써 청정한 냉기류의 도심유입을 원활히 하여 도심의 대기오염을 저감하고자 하는 것도 목적으로 한다. 이 연구에서는, 수치실험을 통하여 전형적인 난후기일을 대상으로 대구지역의 국지순환풍이 지나가는 바람의 길을 조사하였다. 그리고 이 바람에 의한 대기오염의 수송도 조사하였다. 수치실험에 사용한 모형은 RAMS(지역규모 대기모델)이다. 수치실험의 관심지역은 대구광역시 일대(약 900 km<sup>2</sup>)이다. 수평규모는 약 30 km이다. 수치실험은 일반풍이 약하고 쾌정한 일기조건을 갖는 늦봄의 기상조건 하에서 수행되었다. 수치실험의 결과 다음과 같은 3가지 결과를 얻었다: (1) 대구의 대표적 산지인 팔공산과 앞산에서 야간에 산정에서 복사냉각으로 생성된 국지풍이 지나가는 길을 발견할 수 있었다. 그 바람은 대구의 동쪽 지역에서 중력류의 형태로 계곡을 따라서 흘러내렸다. (2) 평지에서는, 그 바람이 대구의 중심지를 지나 서쪽으로 흘러갔다. (3) 그 결과로, 대기오염물질은 야간에 국지풍에 의해 서쪽지역으로 수송되어졌다.

**주요어:** 도시기후, 도시의 바람 길, 난후기, 경도풍, 중력류

\*Corresponding author: khd@kmu.ac.kr

Tel: 82-53-580-5930

Fax: 82-53-580-5385

## 서론

최근 도시지역의 과도한 인간활동은 그 지역의 기후환경을 현저히 변화시키고 있다. 이것의 대표적인 현상으로, 도시열섬화 현상을 들 수 있다. 열섬화 현상이란, 인공폐열의 증가, 아스팔트와 콘크리트와 같은 인공구조물의 증가 및 자연공간의 상실로 인하여 유발되는 도시지역의 고온화현상을 지칭한다(Lansberg, 1981, S. Yamashita, 1995). 이러한 도시고온화는 도시인의 환경쾌적성을 저하시키고 여름철 냉방에너지 증가에 따른 에너지소비를 촉진하여 이산화탄소 배출을 증가시키는 등의 환경문제를 유발한다. 이러한 인식 하에 전 세계 여러 나라에서 이를 억제할 수 있는 환경친화적 도시계획과 새로운 생활양식의 도입을 추구하고 있다(T. Ichinose, 2002).

한편, 우리나라에서는 대기질과 열환경을 보전하기 위해서 도시계획의 단계에서 환경친화성을 반영시켜야 한다는 인식이 아직은 매우 희박한 실정에 있다. 그렇지만, 우리나라에 있어서도 최근에 여름철 도시고온화에 따른 지역주민들과 언론의 관심이 높아지고 있으며, 서울시(2000)와 대구(2003)시 등의 지방자치단체에서도 장기적 도시개발계획에 도시고온화를 완화할 수 있는 방안을 반영시키고자 하는 노력을 보이고 있다.

도시주변의 산지에서 형성되는 청정한 냉기류를 도심으로 유입시켜 도시승온화를 억제시키고, 도시환기 기능을 높여서 도심의 대기질을 개선시키고자 하는 시도는 1990년대 초에 독일의 슈투트가르트에서 시작되었다. 이 계획은 슈투트가르트 지역에 대한 청정공기 계획(clean air plan)으로도 잘 알려져 있다(Luftreinhalteplan Grossraum Stuttgart, 1991). 이 계획은 과학적 평가에 근거하여 도시내의 토지이용도와 구조물 배치를 조절함으로써, 주변 야산에서 형성된 청정한 냉기류를 도심으로 유입시켜 대기오염을 저감시키는 것을 주요 목적으로 하였다. 아울러 도시지역 내의 열적인 쾌적성을 향상시키는 것을 부가적인 목표로 설정하고 있다(T. Ichinose, 1998). 이 계획에 따르면, 도심의 빌딩은 5층 이내로 제한되어지고 빌딩간의 공간은 3미터 이상을 유지하도록 의무 지워져 있다. 또 이들 냉기류가 지나가는 주요 통로(바람의 길)에는 폭 100미터 이상의 공원길 혹은 소공원이 배치되어 있다(T. Ichinose, 1998).

한편, 일본에서는 최근에 후나바시와 나고야 등에

서 도시계획의 작성에 바람의 길을 도입하기 시작하였다. 그러나, 이들 도시는 연안지역에 위치하고 있기 때문에 독일이 도시주변의 야산에서 형성된 산풍을 이용하여 야간에 도심의 고온을 낮추려는 것과는 달리, 일본에서는 주간에 해풍을 도심으로 유입시켜 하계 낮기온을 낮추고 도시의 환기기능을 향상시켜 대기질을 개선하는 것을 목표로 하고 있다(일본 환경성, 2001). 이와 유사한 시도를 태국의 방콕과 중국의 상하이에서도 찾아볼 수 있다(T. Ichinose, 1999).

우리나라에서는 오성남 등(2000)이 서울 지역의 지형 및 토지 이용도에 따른 3차원 바람장 산출에 관한 연구를 포함하여 관련 연구가 수 차례 수행되었다. 엄정희(2000)는 용인시를 대상으로 도시녹지계획을 위한 바람통로 활용방안을 연구하였다. 서울시(2000)에서는 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법을 서울의 권역별 바람통로 확보를 위한 도시계획적 운용방안을 제시하였다. 대구시에서는 구현숙(2003)이 RAMS모델을 이용하여, 대구지역의 지형과 지표조건을 고려한 하계의 전형적인 산곡풍의 바람통로 및 산지에서 형성되는 주요 냉기류를 정량적으로 평가하여 제시하였다.

본 연구에서는 대구지역을 대상으로 도시계획의 단계에서 대기오염을 저감시키고 도시의 열적 쾌적성을 향상시킬 수 있는 하나의 방법으로서 바람통로를 활용할 수 있는 방안에 대한 적용 가능성을 평가해보고자 한다. 이를 위해서 일반풍이 약하여 국지풍의 역할이 중요하게 되는 사례일에 대해서 국지풍의 흐름 경로를 찾아내고, 국지풍에 의한 대기오염물질의 수송과정을 살펴보고자 한다. 이를 통하여 대구지역의 기존의 토지이용도와 산업시설 및 주거단지 배치의 타당성을 평가해 볼 수 있을 것이다. 향후 대구의 장기개발 계획에 바람의 통로를 고려한 단지배치가 이루어진다면 바람직한 사전예방차원의 환경오염 예방책이 될 수 있을 것이며, 나아가서 환경친화적이고 지속가능한 도시성장을 이룰 수 있는 대안이 될 수 있을 것이다.

## 자료 및 방법

### 사례일 선정

국지적으로 생성되는 냉기류를 이용하여 도시의 기온을 낮추고, 대기오염의 확산을 개선할 필요성은 하계에 일평균풍속이 약하고 쾌청한 날에 높다. 이러한

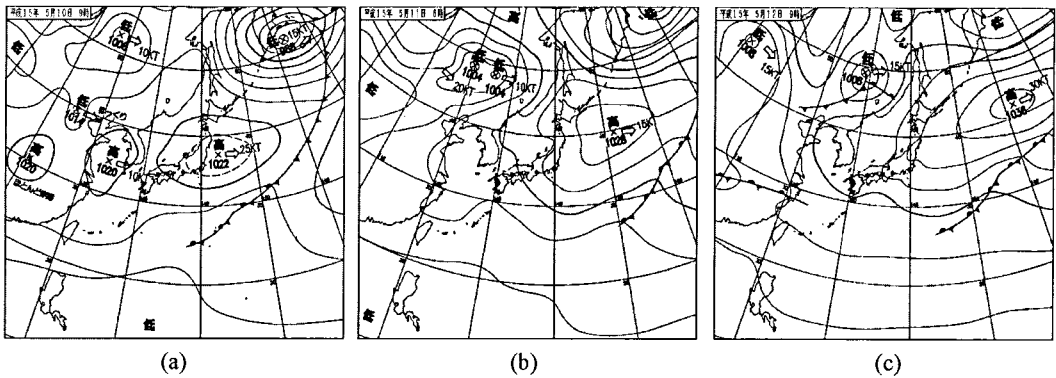


Fig. 1. Synoptic weather charts at 09LST on (a) 10, (b) 11 and (c) 12 May 2003.

날을 선정하기 위하여, 2003년 난후기(5~10월)를 대상으로 선정작업을 하였다. 먼저 일본기상협회에서 발간한 지상일기도를 분석하여 중관기상상태가 동서고압대형인 날을 선정하였다. 그리고 이 중에서 대구 지방기상대에서 관측한 일조시간이 10시간 이상으로 길어 쾌청조건을 만족하는 2003년 5월 10~12일을 사례일로 선정하였다(Fig. 1). 이 날은 우리나라가 동서고압대에 덮여 있어 기압의 공간구배가 작아 일반 풍이 약하고 일조시간이 충분하여 국지순환이 잘 발달할 수 있는 조건을 만족한다.

**수치실험모형**

본 연구에서 사용된 수치모형은 상용의 지역규모의 대기순환모형인 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System)이다. 이 모형은 Pielke 등(1992)에 의해 개발되었는데, 모형의 개요를 Table 1에 제시하였다.

기상조건에 대한 초기조건자료는 NCEP/NCAR(National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 재분석자료의 매 6시간 값을 사용하였다. 이로부터 총 60시간에 걸쳐서 수치적분을 수행하여 대구지역의 국지적 대기순환장을 분석하였으며, 수치모의의 결과는 대구지역에

설치되어 있는 9개의 자동기상관측망(Fig. 2)의 바람 관측자료와 비교하였다.

**계산영역과 경계조건**

수치모의 대상영역(Fig. 3)은 중심 좌표를 북위 35.8°, 동경 128.6°로 하여 성긴 격자의 경우 격자간격을 5 km로 하여 동서방향 210 km, 남북방향 210 km로 두어 각각 42개의 격자점으로 나타냈으며, 연직 격자는 총 30층으로 구성하였다. 이는 대상지역인 대구지역 뿐만 아니라 주변 연안지역인 포항과 동해안이 포함되어 있어 주변지역의 지형 및 지리적 영향을 자세히 살펴볼 수 있는 범위이다. 상세격자영역은 격자간격을 1 km로 하여 동서방향과 남북방향을 모두 52 km로 두었으며 연직격자는 성긴격자와 같이 30층으로 두었다. 이는 대구지역 국지풍 형성이 고려되어지는 팔공산 및 비슬산(앞산)을 모두 포함하고 있으며, 바람의 유출이 예상되는 현풍지역도 포함되어 있다. 시간적분간격은 30초로 설정하였다. 측면경계조건은 복사경계조건(Orlanski, 1976)을 사용하였다. 상층경계조건은 상층으로 전파되는 내부중력파를 효과적으로 흡수할 수 있도록 하기 위하여 중력파복사조건(Klemp 등, 1978)을 사용하였다. 한편 수치모형

Table 1. Basic features of the numerical simulation model

Basic equations	Non-hydrostatic Reynolds-averaged primitive equation
Grid structure	Standard C grid(Mesinger and Arakawa, 1976)
Vertical coordinate	Terrain-following system(Gal-Chen and Somerville, 1975))
Map Projection	Polar-Stereo graphic projection
Advection	Leapfrog-type schemes and forward-upstream scheme(Tremback, 1987)
Turbulent Kinetic Energy parameterization	Mellor and Yamada(1982) level 2.5 scheme Deardorff(1980) scheme
Surface layer fluxes	Louis(1979)

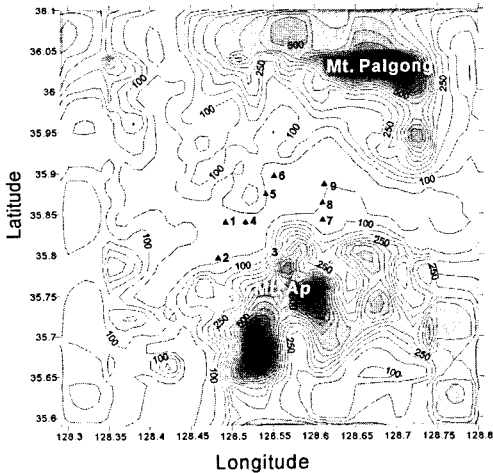


Fig. 2. Location of wind observing sites in Daegu. The numbers are index of sites: 1. Keimyung, 2. Hwawon, 3. Downon, 4. Gamsam, 5. Seogu, 6. Pyungri, 7. Namgu, 8. Sadebugo, 9. Daegu Weather Station.

내에 포함되는 해양의 해수면온도는 전 세계 5월의 월평균해수면온도 평년치(Reynolds 등, 1994)를 사용하였다.

## 결 과

### 바람장 분석

Fig. 4는  $z^*$ (지상고도) = 15 m 고도에서의 수평바람장을 나타낸 것이다. 수치모의는 2003년 5월 10일 오전 9시부터 5월 12일 21시까지 총 60시간 수행되었으나, 대구지역의 낮과 야간의 국지순환을 이해 하기에 편리한 5월 11일 09시 이후부터 18시간 동안에 얻어진 자료를 6시간 간격으로 제시하였다.

일출 이후인 Fig. 4의 09LST에는 저지대에서 산지로 바람이 부는 곡풍이 형성되고, 현풍(玄風)지역쪽으로는 여전히 대구시내에서 교외로의 유출이 존재하나 교외풍의 형성이 시작되고 있음도 확인할 수 있다. 15LST에서 낮 동안에 발달하는 국지순환의 특성을 볼 수가 있다. 대구의 동쪽 해안지역으로부터 유입되는 기류는 팔공산의 팔거천(A)과 앞산의 신천(B)을 따라 가창골로 곡풍의 형태로 유출되고 있는 것을 확인할 수 있다.

대구의 서쪽지역에서는 낙동강과 경작지로 이루어진 교외지역인 현풍지역에서 대구 최대의 산업단지(성서산업단지)인 달서구지역으로 교외풍이 유입되는

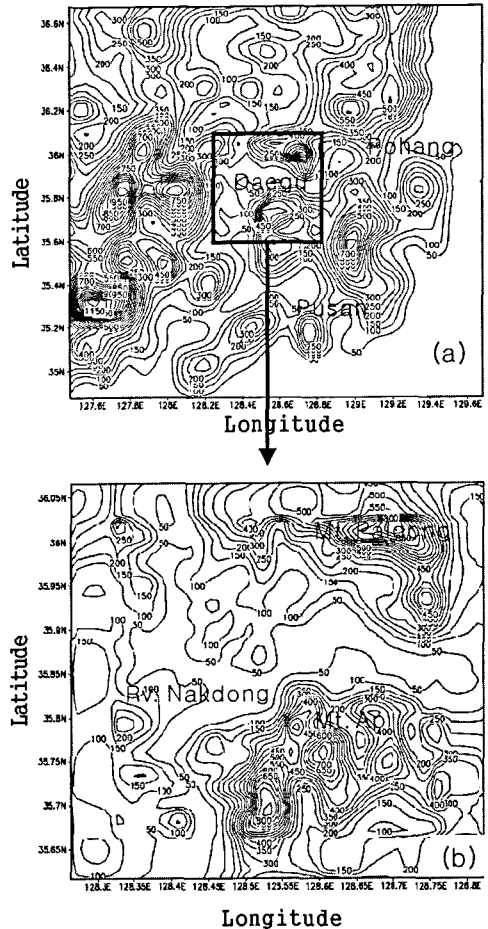
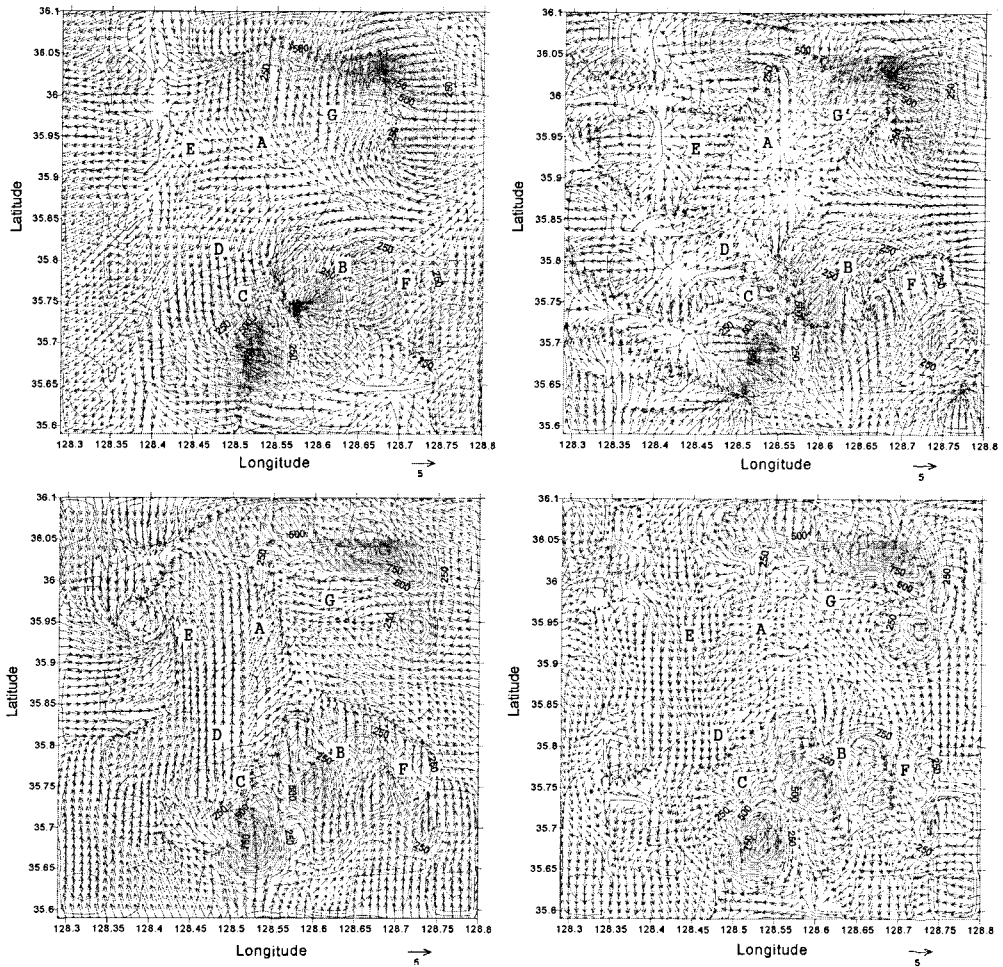


Fig. 3. Calculation region of domain (a) coarse grid (GRID I) (b) fine grid (GRID II), respectively.

데, 유입된 기류는 앞산자락인 청량산 일대의 도원지(C) 등의 계곡을 따라서 곡풍의 형태로 유출되고 있다. 아울러 성서산업단지(D)에서는 주변에 위치한 산지로 계곡풍의 형태로 지상풍이 유출되어 발산역이 형성되는 것을 볼 수가 있다. 따라서 교외풍의 영향이 대구의 도심에까지는 거의 도달하지 않는 것으로 평가되었다.

21LST에는 앞산에 위치한 거대 계곡인 신천과 팔공산의 팔거천을 따라서 산풍이 저지대로 유출되는 모습을 볼 수 있고, 이보다는 계곡의 규모가 작은 청량산에 위치한 도원지계곡과 팔공산의 서쪽에 위치한 이연천(E)을 따라서도 산풍이 유출되는 것을 확인할 수 있다.

12일 03LST에 산풍의 저지대로의 유출과 평지에서서의 이동과정을 가장 명확히 볼 수 있었다. 경산의



**Fig. 4.** Distributions of simulated wind field (unit: m/s) on GRID II. A-F indicate major points related to wind ventilation lane. (a) 09LST (11 May) (b) 15LST (11 May) (c) 21LST (11 May) (d) 03LST (12 May).

남천계곡(F)을 따라서 저지대로 유출된 산풍과 신천을 따라서 유출된 산풍이 일부는 팔공산의 동화천(G)방향으로 흘러가고, 나머지는 대구의 저지대인 서쪽 지역으로 이동해가는 것을 확인할 수 있다. 그리고 팔공산의 팔거천과 이연천을 따라서 저지대로 유출되는 산풍도 앞산에서 유출된 산풍과 합류하여 대구의 서쪽지역으로 이동하여 결국 대구의 남서방향의 교외지역인 현풍지역으로 유출되고 있다. 아울러, 도원지에서 유출된 산풍도 대구의 동쪽에서 이동해온 국지풍과 합류하여 현풍지역으로 유출되어가는 것이 모의되었다.

**수치모의 결과의 검증**

수치모의실험에서 얻어진 수평바람장의 타당성을

검증하기 위하여 Fig. 5에 대구지역에 설치된 9개 지점의 자동기상관측망(Fig. 2)에서 관측된 바람자료를 나타내었다. 관측결과를 살펴보면 15LST의 바람자료는, 대체로 저지대에서 산지로 부는 곡풍의 풍향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 03LST의 자동기상관측망의 바람자료는 산지에서 평지로 향하는 산풍과 대구의 고지대인 동쪽에서 저지대인 서쪽으로 향하는 바람이 관측되었음을 알 수 있다. 이로부터 수치모의실험에서 얻은 국지바람장이 관측결과와 일치하고 있는 것으로 평가된다.

수치모의실험에서 얻어진 기온의 타당성을 검증하기 위해서 Fig. 6에 2003년 5월 11일 09LST~2003년 5월 12일 08LST동안의 기온을 비교하였다.

비교지점은 대구지역 9개의 자동기상관측망(Fig. 2)

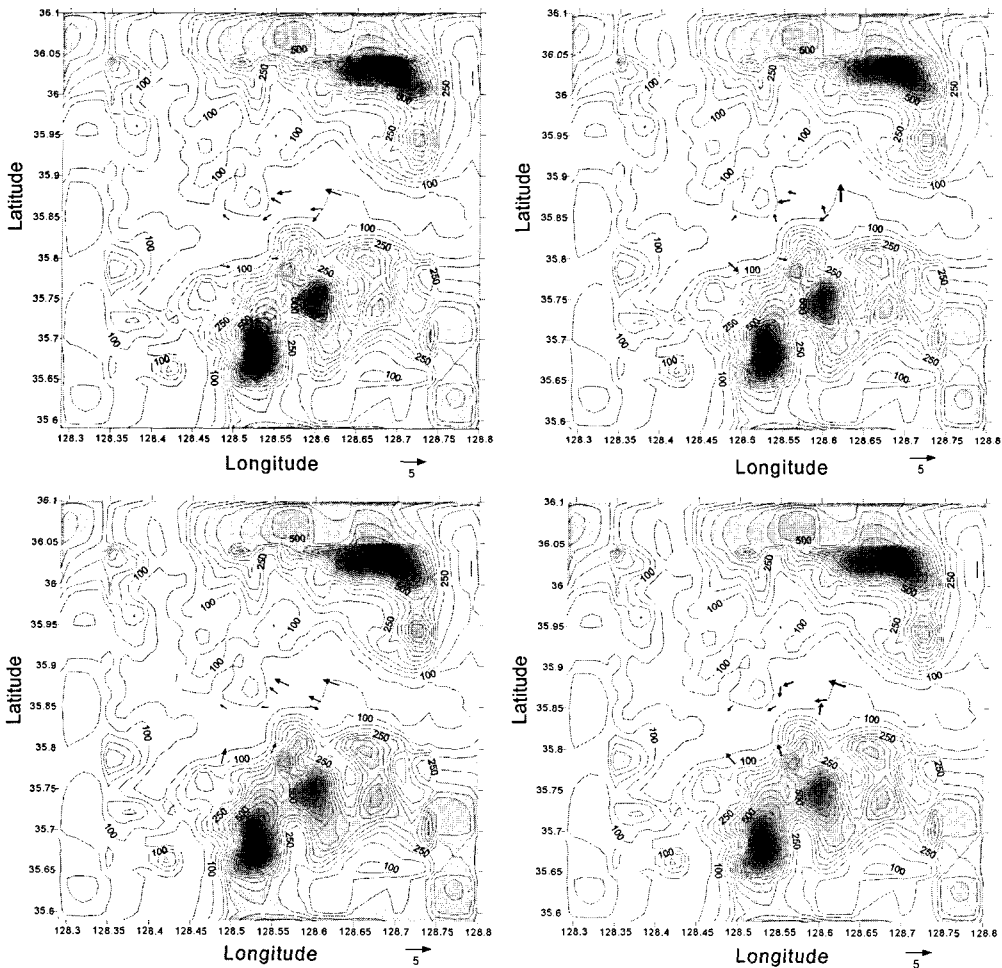


Fig. 5. Distributions of observed wind field (unit: m/s). (a) 09LST (11/May) (b) 15LST (11/May) (c) 21LST (11/May) (d) 03LST (12/May).

으로서, 수치실험에서 각 자동기상관측망이 위치한 격자지점의 값과 자동기상관측망의 값에 대해서 비교를 실시하였다. 비교결과를 살펴보면 전반적인 일 변화경향을 잘 나타내고 있는 것을 알 수 있었다.

수치모의 결과가 관측치보다 주간에는 다소 높게 야간에는 다소 낮게 나타났는데, 이는 수치모의에서 인공열을 고려하고 있지 않아 나타난 것으로 사료되며, 전반적으로 수치모의 결과와 일치하고 있는 것으로 나타났다.

### 대기오염물질의 수송효과

국지풍 순환에 의한 오염물질의 수송효과를 확인해 보기 위해 Fig. 7과 같이 인위적인 대기오염물질 배출원을 가정하였다.

인위적 배출원 A는 대구최대의 공업단지인 성서공단이며, 지점 B는 앞에서 살펴본 바람장 수치모의 결과에서 산풍의 유입이 강하게 나타났던 신천부근의 수성지점이다. 지점 A는 오염물질이 가장 많이 배출되는 성서공단지역이며, 지점 B는 비교적 대구의 동쪽에 위치하고 있어 산풍의 이동경로와 더불어 오염물질의 축적과 이동경로를 파악하는 것에 의미가 있다고 사료되어 두지점을 인위배출원으로 정하였다.

오염원의 배출은 계산결과가 안정되는 24시간 이후에 지점 A, B에서 연속적으로 오염물질이 배출된다고 가정하였고, 모델 내부에서는 기본변수에 스칼라를 추가하는 형태로 계산하였으며, 초기치는 100 mg/kg-air · s로 가정하였다.

전체적으로 오염물질의 확산은 풍향에 크게 영향을

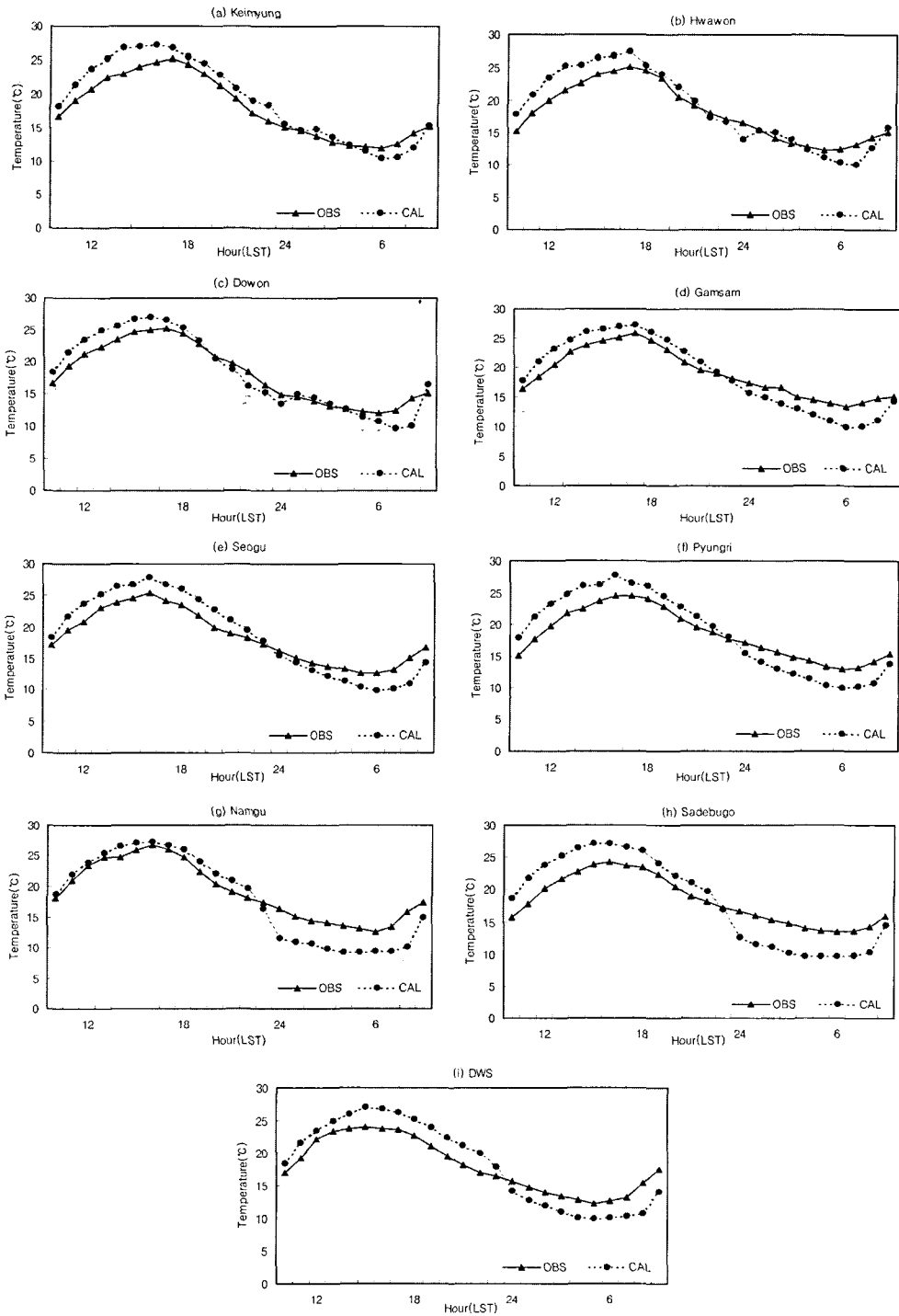


Fig. 6. Comparison of the temperature between observation and calculation.

받았다. Fig. 8과 같이 일출이후에 09LST에서는 곡  
풍의 영향으로 산지로 오염물질의 확산이 일어나고

있는 것을 볼 수 있었으며, 15LST에 곡풍의 영향을  
확실히 확인 할 수 있었다. 일몰 후 21LST에서는 낮

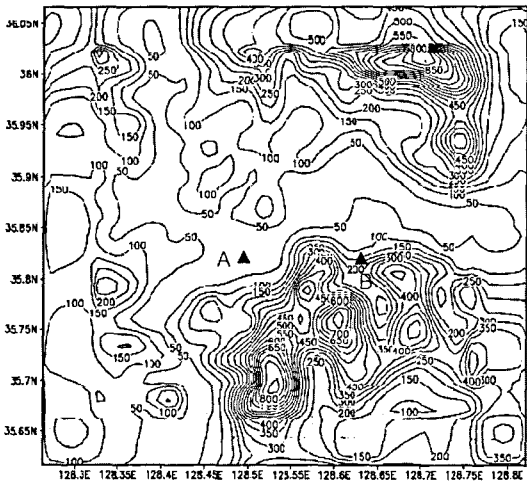


Fig. 7. Location of pollutant source. A and B indicate Seongseo and Suseong, respectively.

동안 산사면으로 향했던 오염물질이 지표면으로 내려 오고 있는 것을 볼 수 있었으며, 지점 B에서의 수송 방향이 시내와 주거지가 위치한 북쪽으로 옮겨가는 것을 볼 수 있었다. 지점 A에서도 오염물질이 주거 지역과 대규모 아파트 밀집지역인 북서쪽으로 수송되고 있는 것을 볼 수 있었다. 또 새벽시간대인 03LST에서는 오염물질이 비교적 고지대인 동쪽에서 저지대인 서쪽으로 이동하는 것을 볼 수 있었으며, 이는 바람의 이동방향과 일치하는 것을 알 수 있었다. 이동되어온 오염물질이 서쪽으로 이동하여 낙동강 주변지역인 현풍 쪽으로 흘러 들어가는 것을 확인 할 수 있었다. 대기질의 악화는 국지풍의 역할이 중요해지는 기상조건인, 바람이 약하고 쾌청한 날의 야간에 발생한다는 점을 고려한다면, 대구의 경우에는 대기 오염원은 가급적 서쪽의 저지대에 배치되고 주거단지

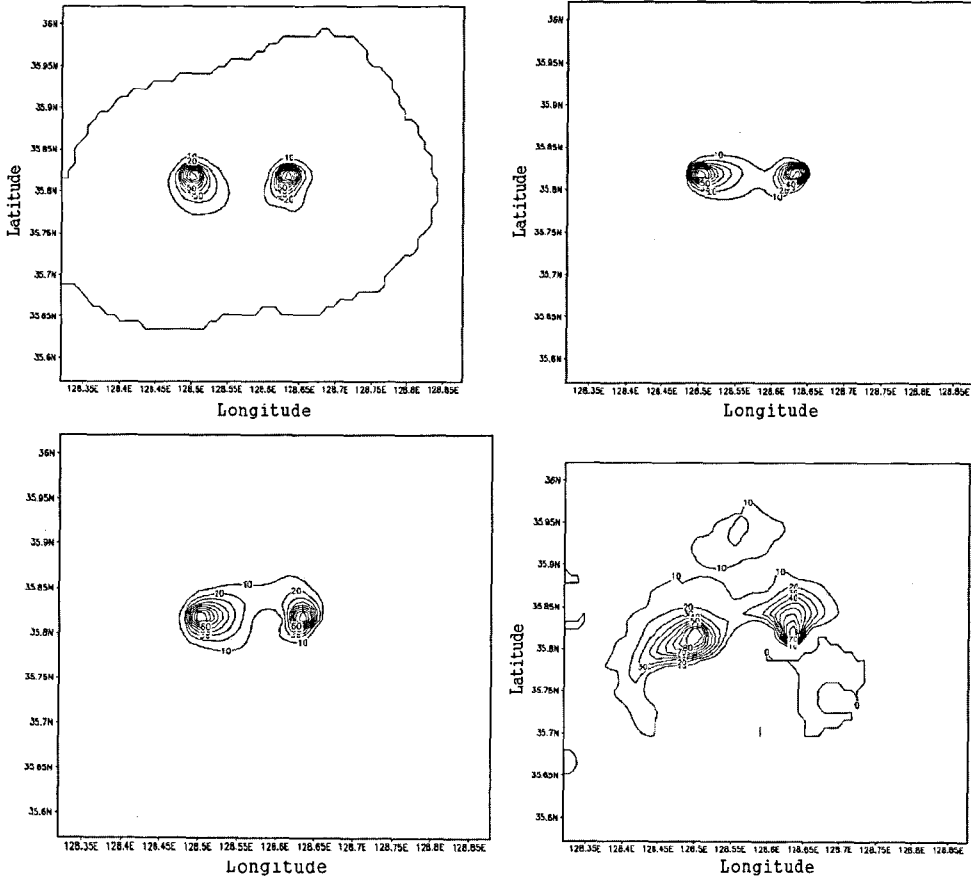


Fig. 8. Distributions of pollutant concentration. (a) 09LST (11/May) (b) 15LST (11/May) (c) 21LST (11/May) (d) 03LST (12/May).



는 동쪽의 고지대에 위치함이 타당하다는 사실을 알 수 있었다.

## 결 론

이 연구에서는 지표면의 열복사과정을 모의할 수 있어 국지풍의 생성과 그것의 순환을 평가할 수 있는 국지 대기모델(RAMS, Regional Atmospheric Modeling System)을 이용하여, 일반풍이 매우 약하고 쾌청하여 국지풍의 생성이 탁월할 것으로 예상되는 2003년 5월 10~12일의 기상조건을 대상으로 하여 대구지역의 국지순환풍이 지나는 바람의 길을 수치모의 하였다. 아울러, 대기질이 악화되는 전형적인 기상조건에 해당하는 이러한 종관장 하에서 국지풍에 의한 대기오염의 도시 내 수송과정을 조사하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 낮에 대구지역에서는 동쪽으로는 포항과 경산지방에서 유입되는 교외풍의 영향을 받고, 서쪽으로는 현풍지역으로부터 교외풍이 유입되는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 야간에 대구지역에서는 동쪽지역인 앞산의 가창골~신천, 팔공산의 팔거천을 따라서 산풍이 저지대로 유출됨이 평가되었다. 또 경산지역의 남천을 따라서도 앞산에서 산풍이 저지대로 유출되어 대구로 유입되는 것으로 모의되었다. 서쪽 지역에서는 앞산의 도원지계곡과 팔공산의 이언천을 따라서 산풍이 저지대로 유입되었다. 대구의 동쪽에서 저지대로 유입된 산풍은 대구의 중심을 지나 저지대인 서쪽지역으로 이동하였다. 이 때 서쪽에서 도원지계곡과 이언천에서 유입된 냉기류와 합류하여 현풍지역으로 빠져나가는 것으로 평가된다.

셋째, 일반풍이 약하고 쾌청하여 국지풍의 출현이 용이한 경우에는 야간에 형성되는 산풍의 영향으로, 대구지역내에서 상대적으로 배출원의 역할이 강한 서쪽지역의 오염물질이 동쪽으로 유입되는 것을 억제하고 있다.

도시화로 인한 도시의 열오염과 대기질의 악화는 도시인의 삶의 질을 위협하고 있다. 아울러 하계 도시승온화로 인한 에너지소비 증가는 기후변화협약체제 하에서 에너지절약 정책에 대한 심각한 장애물로 부각하고 있다. 따라서 선진 외국에서는 하계도시기온을 낮추기 위한 다양한 정책적 대안을 찾고 있다. 이 중에서 가장 대표적인 것이 도시주변에서 형성된 청정한 냉기류가 도심을 원활하게 순환할 수 있는

길(바람의 길)을 확보하려는 노력이다. 아직 우리나라에서는 이 문제에 관한 외국의 사례를 조사하고, 도입의 가능성을 논의하는 수준에 머물러 있는 단계에 있다.

향후 우리나라 도시에 바람의 길 조성으로 대표되는, 도시기후환경을 고려한 환경친화적 도시계획을 구현하기 위해서는 지역별로 관측과 수치실험이 병행된 이론적 연구가 활발히 수행되어야 할 것이다. 도시의 기후환경을 보전하기 위해서는 승온화 및 대기질악화를 유발하는 발생원의 억제가 중요하지만, 도시계획의 단계에서 바람의 길 조성과 같은 자연정화능력을 극대화하는 기법을 고려한 것이 이상적이다.

## 감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 재정지원으로 수행되었기에 관련자 여러분께 감사 드립니다.

## 참고 문헌

- 구현숙, 2003, 중규모 대기순환계를 고려한 대구지역 오염물질 농도의 수치모의에 관한 연구. 계명대학교 석사학위논문, 68 p.
- 서울시, 2000, 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구. 275 p.
- 엄정희, 2000, 도시녹지계획을 위한 바람통로 활용방안 연구: 용인시를 대상으로. 서울대학교 환경대학원 석사학위논문, 93 p.
- 오성남, 임영권, 윤원태, 전영신, 2000, 서울지역의 지형 및 토지 이용도에 따른 3차원 바람 장 산출에 관한 연구. 한국기상학회지, 36 (2), 229-244.
- 日本環境省 Heat Island 對策手法調査檢討委員會, 2001, 平成 12年度 Heat Island 對策手法 に関する調査檢討報告書. 230 p.
- Deardorff, J.W. and Pettersen, E.W., 1980, The boundary-layer growth equation with Reynolds averaging. *Journal Atmospheric Sciences*, 37, 1405-1409.
- Gal-chen, T. and Somerville, R.C.J., 1975, On the use of a coordinate transformation for the solution of the Navier-Stokes equation. *Journal of Computational Physics*, 17, 209-228.
- Ichinose, T., Urano, A., Shimodozono, K., and Hanaki, K., 1998, Impact analysis of three dimensional replacement of urban activity on urban thermal environment, "Klimaanalyse fuer die Stadtplanung". Report of RCUSS, Kobe University, 279-285.
- Ichinose, T., 1999, The climate analysis of Germany - Cli-

- mate analysis for urban plan -. Tenki, 46, 709-715.
- Ichinose, T., 2002, Counteractions for Urban Heat Island in Regional Autonomies: Activities in Councils of MoE. Japan. Journal of Atmospheric Environment, 37, A71-A83.
- Klemp, J.B. and Wilhelmson, R.B., 1978, The simulation of three-dimensional convective storm dynamics. Journal of Atmospheric Sciences, 35, 1070-1096.
- Landsberg, H.E., 1981, The urban climate. Academic Press, Newyork, 275 p.
- Louis, J.F., 1979, A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere. Boundary-Layer Meteorology, 17, 187-202.
- Mellor, G.L. and Yamada, T., 1982, Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Reviews of Geophysics and Space Physics, 20, 851-875.
- Mesinger, F. and Arakawa, A., 1976, Numerical method used in atmospheric models. GARP Publication Series, No. 14, WMO/ICSU joint Organizing Committee, 64.
- Ministerium fuer Umwelt, Baden-Wuerttemberg, 1991, Luftreinhalteplan Grossraum Stuttgart 1991, Teli 1-Emission, Immisionen, Wirkungen, 226 p.
- Orlanski, I., 1976, A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows. Journal of Computational Physics, 21, 251-269.
- Pielke, R.A., Cotton, W.R., Walko, R.L., Tremback, C.J., Lyons, W.A., Grasso, L.D., Nicholls, M.E., Moran, M.D., Wesley, D.A., Lee, T.J., and Copeland, J.H., 1992, A comprehensive meteorological modeling system-RAMS. Meteorological and Atmospheric physics, 49, 69-91.
- Reynolds, R.W. and Smith, T.M., 1994, Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. Journal of Climate, 7, 929-948.
- Tremback, C.J., Powell, J., Cotton, W.R., and Pielke, R.A., 1987, The forward in time upstream advection scheme; Extension to higher orders. Monthly Weather Review, 115, 540-555.
- Yamashita, S., 1995, Heat island and amenity. Study group for climate impact and application newsletter, 11, 66-73.

---

2004년 2월 24일 원고 접수  
 2004년 6월 3일 수정원고 접수  
 2004년 6월 21일 원고 채택