

대구지역의 국지적 대기순환풍의 환기경로에 관한 수치모의 실험

구 현 숙 · 김 해 동 · 강 성 대*
계명대학교 환경학부 · *일본프린티어연구소
(2003년 10월 24일 접수; 2004년 4월 7일 채택)

Numerical Simulation Experiment on the Wind Ventilation Lane of the Local Circulation Winds in Daegu

Hyun-Suk Koo, Hae-Dong Kim and Sung-Dae Kang*

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

*Frontier Research System for Global Change JAMSTEC Yokohama Institute, Yokohama 236-001, Japan

(Manuscript received 24 October, 2003; accepted 7 April, 2004)

In urban area, thermal pollution associated with heat island phenomena is generally regarded to make urban life uncomfortable. To overcome this urban thermal pollution problem, urban planning with consideration of urban climate, represented by the concept of urban ventilation lane, is widely practiced in many countries.

In this study, the prevailing wind ventilation lane of a local winds in Daegu during the warm climate season was investigated by using surface wind data and RAMS(Reasonal Atmospheric Model System) simulation. The domain of interest is the vicinity of Daegu metropolitan city(about 900 km^2) and its horizontal scale is about 30km. The simulations were conducted under the synoptic condition of late spring with the weak gradient wind and mostly clear sky. From the numerical simulations, the following two major conclusions were obtained: (1)The major wind passages of the local circulation wind generated by radiative cooling over the mountains(Mt. Palgong and Mt. Ap) are found. The winds blow down along the valley axis over the eastern part of the Daegu area as a gravity flow during nighttime. (2)After that time, the winds blow toward the western part of Daegu through the city center. As the result, the higher temperature region appears over the western part of Daegu metropolitan area.

Key Words : Wind ventilation lane, Local circulation, RAMS, Radiative cooling, Gravity flow

1. 서 론

인간활동에 수반된 도시지역의 승온화현상을 지칭하는 도시열섬현상에 대한 현황과과과 대응책마련을 위한 활동이 1980년대 이후로 중요한 환경문제로 부각되고 있다¹⁾. 도시의 열섬현상은 하계에 도시주민에게 높은 불편감을 유발하여 생활의 질을 낮출 뿐만 아니라, 도시의 고온화는 다양한 질병을 유발하고 사망률을 높이는 것으로 알려져 있다^{2~4)}. 이러한 도시열섬은 다음과 같은 도시화과정을 통하여 유발되는 것으로 알려져 있다^{5~7)}.

수증기 증발과정을 통하여 주변의 온도를 낮출 수 있는 자연상태의 나대지나 녹지 등이 수증기를 포함하지 아니하여, 지면의 열을 증발잠열로 소모할 수 없는 아스팔트나 콘크리트로 포장되어 가는 것에서 가장 큰 원인을 찾을 수 있다. 이러한 포장제는 자연상태의 지면보다 태양광선에 대한 반사율이 작아 낮 동안에 지면에 도달하는 태양복사에너지를 열에너지로 더욱 많이 전환시킬 수 있으며, 지중으로의 열전달율과 비열이 커서 다량의 에너지를 함유할 수 있다. 이렇게 저장된 열에너지를 야간에 대기 중으로 방출하여 하계의 야간에 열대야현상을 유발하기도 한다. 도시지역에서는 도심부를 중심으로 자연상태의 나대지와 녹지대가 감소해가고 있다. 최근 대도시에서는 공원과 거리가로수의 정비가 이루어지

Corresponding Author : Hae-Dong Kim, Faculty of Environmental Studies, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone : +82-53-580-5930
E-mail : khd@kmu.ac.kr

고 있기는 하지만, 도시화의 진척에 수반하여 생산 녹지 등이 크게 감소하고 있는 실정이다. 도로용지와 공공시설, 상업용 건물과 대규모 고층주거단지의 등장으로 도시의 포장화는 나날이 증가하고 있다. 또, 도시의 녹지공간으로 간주되는 도심공원에 있어서도 불투수성 콘크리트로 포장되는 비율이 많아 숲의 양과 투수성 나대지가 차지하는 비중이 적은 경우가 많다⁸⁾. 열섬현상 방지를 위한 도시공원의 조성에 있어서는 숲의 양을 충분히 고려할 필요가 있다⁹⁾.

도시열섬화를 촉진하는 또 하나의 원인으로는 인공열의 방출을 생각할 수 있다. 인공열의 주요 배출원으로는 냉난방과 자동차운행으로 배출되는 열이 큰 부분을 차지하는 것으로 알려져 있다¹⁰⁻¹³⁾. 에너지 소비의 경년변동을 살펴보면, 가정부문과 자동차운송부문의 비중이 높아지고 있다는 것을 알 수 있다¹⁴⁾. 또, 계절별로 살펴보면 여름철 냉방에 소비되는 비중이 현저하게 증가하고 있다.

도시내의 다양한 열적 조건에 따라서 형성된 지표면온도는 하층공기의 이동에 영향을 미쳐 다양한 도시환경문제를 유발하기도 한다. 도시열섬화는 교외풍을 도심으로 수렴시키고, 도심으로 수렴된 공기는 상승하면서 도시형 강수를 유발하기도 하고 도심의 상공에 거대한 먼지층(dust dome)을 형성하기도 하는 것으로 알려져 있다. 이러한 효과로, 도심에는 대기오염물질이 체류하기 쉬운 약풍역이 형성되어 도시의 대기질을 악화시키는 것으로 알려져 있다. 또, 교외에서 안정된 공기로 방출된 대기오염물질이 도시열섬효과 등으로 공기층이 불안정한 도시지역으로 유입되면서 연기침강(fumigation)을 일으켜 도시지역의 대기오염을 가중시키는 경우도 나타난다¹⁴⁾.

이와 같이 도시열섬화는 도심의 온도를 증가시키고, 대기질을 악화시켜 도시인들의 체감쾌적도를 현저히 낮추고 건강을 악화시킨다. 이러한 도시환경의 문제를 도시계획의 단계에서 저감시킬 수 있는 방안의 하나가, 독일을 대표로 하는 유럽대륙에서 시작되었고 최근 아시아의 여러 도시에서도 적용되기 시작한 도시계획을 위한 기후해석, 즉 도시의 바람의 길 조성연구이다⁹⁾.

중규모의 바람이 약하고 쾌청한 기상조건 하에서 국지적 토지이용도나 지형조건에 차이로 국지풍순환이 생성될 수 있다. 연중 바람이 약한 독일을 포함한 유럽대륙에서는 이러한 국지풍을 이용하여 도시의 대기오염물질에 대한 환기조건을 개선하고, 청정한 냉기류를 이용하여 도심의 기온을 낮추어 도시의 환경쾌적성을 향상시키려는 노력이 자리잡고 있다. 이러한 냉기류가 지나가는 길을 바람의 길이라고 하며, 냉기류의 흐름과 저온의 성질을 보전하기 위하여 바람이 지나가는 길에는 도시녹지를 조성

하고 고층건물의 건립을 억제하려는 노력이 도시계획에 반영되고 있다⁹⁾.

1990년대 이후에는 일본을 포함한 아시아의 여러 도시에서도 산풍이나 해풍을 이용하여 도시의 기후환경을 개선하려는 구체적인 움직임이 도시계획에 반영되고 있다. 한편, 우리나라에서는 서울, 대구 등지에서 환경친화성 도시 만들기 바람의 길 개념을 반영하여야 한다는 문제제기가 있었지만^{15,16)}, 그것은 외국의 사례에 비추어 우리나라에도 도입이 필요하다는 당위론적인 수준에 그치고 있었다고 할 수 있을 것이다. 서울과 경기도 용인을 대상으로 수행된 기존의 바람의 길 연구에서는, 바람의 수평분포를 미국 EPA에서 제공하는 UAM모형의 일부인 DWM(Diagnostic Wind Model)이나 지표면의 열복사과정을 모의할 수 없는 독일 쾰른대학 기상연구소에서 개발된 WiTrak(Windfield-, Transport und Klimatologie Program)을 이용하여 진단적으로 추정하는 수준에 머물러 있었다. 즉, 국지적으로 생성되는 바람장을 평가하고 그것의 활용가능성을 정량적으로 제시한 연구는 없었다.

또, 환경친화적 도시계획에 도시기후특성을 고려하기 위해서는 기후해석도가 제작되어야 한다. 이를 위해서는 소지역별로 풍향과 풍속을 평가하여야 하는데, 우리나라의 도시에는 자동기상관측망의 설치가 부족하여 이것을 제작하기도 어려운 실정에 있다.

바람의 길을 도시개발계획도에 반영시키고 있는 독일의 내륙공업도시(예, 슈투트가르트, 프라이부르크)들은 일반풍이 매우 약하여 도시에 인접한 야외의 산지에서 야간 복사냉각으로 형성되는 청정한 냉기류를 도심으로 끌어들이어 도심의 온도를 낮추고, 나아가서 이들 바람을 이용하여 도심의 대기오염확산효과를 증대시킴으로써 대기질을 개선하려는 노력을 도시개발계획에 반영하는 것으로 알려져 있다⁹⁾. 그러나 일본(예, 후나바시, 나고야)과 중국(예, 상하이), 태국(예, 방콕) 등의 아시아의 대도시들은 대부분 해안가에 위치하여 독일의 내륙도시에 비하여 여름철 평균풍속이 훨씬 큰 것으로 알려져 있다⁹⁾. 이러한 경우에는, 바람의 길을 이용한 대기질 개선의 필요성은 현저히 낮아진다. 다만, 해풍이나 산지에서 형성된 청정한 냉기류를 이용한 도심의 기온저감효과는 높은 것으로 알려져 있다⁹⁾.

우리나라의 대표적인 내륙분지형 도시로 알려져 있는 대구의 경우에는, 하계에 해풍을 이용한 일최고기온의 저감노력은 불가능하다. 다만, 대구의 남과 북에 병풍처럼 위치하고 있는 앞산과 팔공산에서 야간에 지면복사냉각과정으로 적지 않은 산풍이 형성될 것으로 추정된다. 이러한 산풍은 야간에 대규모 계곡을 따라서 저지대로 유출될 것인데, 이를

활용하면 하계 야간 열대야현상을 억제하고 아울러 도심에서 배출된 대기오염물질을 교외로 운반하여 대기질을 개선하는 효과를 유도할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 상용의 지역규모 대기순환모형인 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System)를 이용하여, 일반풍이 매우 작고 쾌청하여 국지풍의 형성이 용이한 날을 대상으로 하여 대구의 앞산과 팔공산에서 형성되는 산풍의 규모와 그것의 이동경로를 평가하였다. 나아가서 대구지역에 동서로 설치된 자동기상관측망에서 측정된 바람자료와 수치모의 실험결과를 비교검증하였다. 이 연구를 통하여, 먼저 대구지역에서 바람의 길 조성가능성을 제시하고자 한다. 이어서 바람의 길로서 확보되어야 할 중요 지역을 제시하고, 산지에서 생성되는 냉기류의 양을 평가하여 대구의 도시개발계획에 있어서 바람의 길 보전을 반영하였을 시에 기대되는 경제성 평가의 기초자료를 제공하고자 한다.

2. 자료 및 방법

2.1. 사례일 선정

국지적으로 생성되는 청정한 냉기류를 도심으로 유입시켜 도시의 기온을 낮추어 도시의 환경정책성을 개선할 필요성은 하계에 일평균풍속이 약하고 쾌청한 날에 보다 높게 제기된다. 이러한 날을 선정하기 위하여, 2003년 난후기(5월~10월)를 대상으로

선정작업을 하였다. 먼저 일본기상협회에서 발간한 지상일기도를 분석하여 종관기상상태가 동서고압대형인 날을 선정하였다. 그리고 이 중에서 대구지방 기상대에서 관측한 일조시간이 10시간을 초과하여 쾌청 조건을 만족하는 날인 2003년 5월 10~12일을 사례일로 선정하였다. 이 날은 우리나라가 동서고압대에 덮여있어 기압의 공간구배가 작아 종관풍이 약하고 일조시간이 충분하여 국지순환이 잘 발달할 수 있는 조건을 만족하고 있다(Fig. 1).

2.2. 수치실험모형과 기상자료의 분석

이 연구에서 사용한 수치모형은 상용의 지역규모의 대기순환모형인 RAMS(Regional Atmospheric Modeling System)이다. 이 모형은 Pielke 등¹⁷⁾에 의해 개발되었는데, 모형의 개요를 Table 1에 제시하였다. 또 RAMS의 방정식체계는 정우식 등¹⁸⁾에 자세히 소개되어 있으므로 여기에서는 자세한 소개를 생략하였다.

수치실험은, NCEP/NCAR (National Center for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research) 재분석자료의 매 6시간 값을 초기조건으로 하여 총 60시간에 걸쳐서 수치적분을 수행하여 대구지역의 국지적 대기순환상을 분석하였으며, 수치모의의 결과는 대구지역에 설치되어 있는 9개의 자동기상관측망(Fig. 2)의 바람관측자료와 비교하였다. 자동기상관측 기기가 설치된 장소는 대

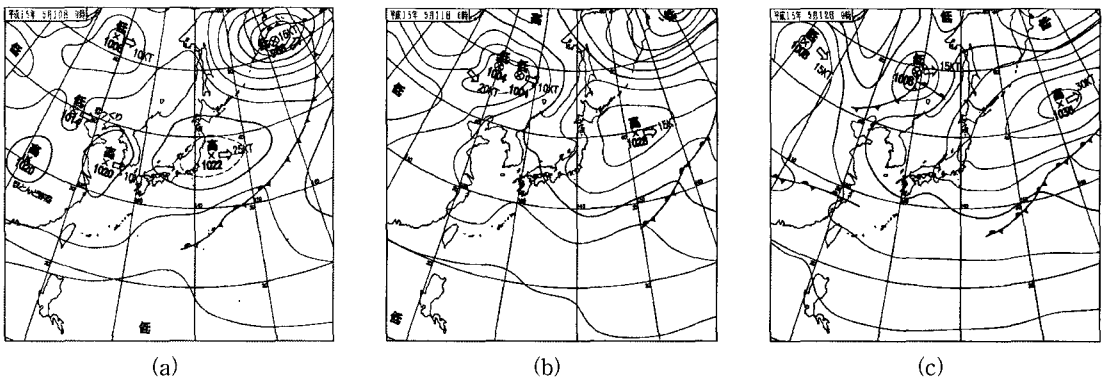


Fig. 1. Synoptic weather charts at 0900LST on (a)10, (b)11 and (c)12 May 2003.

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 ¹⁹⁾)
Vertical coordinate	Terrain-following system(Gal-Chen and Somerville ²⁰⁾)
Map Projection	Polar-Stereo graphic projection
Advection	Leapfrog-type schemes and forward-upstream scheme(Tremback ²¹⁾)
Turbulent Kinetic Energy parameterization	Mellor and Yamada level 2.5 scheme ²²⁾ Deardorff scheme ²³⁾
Surface layer fluxes	Louis ²⁴⁾

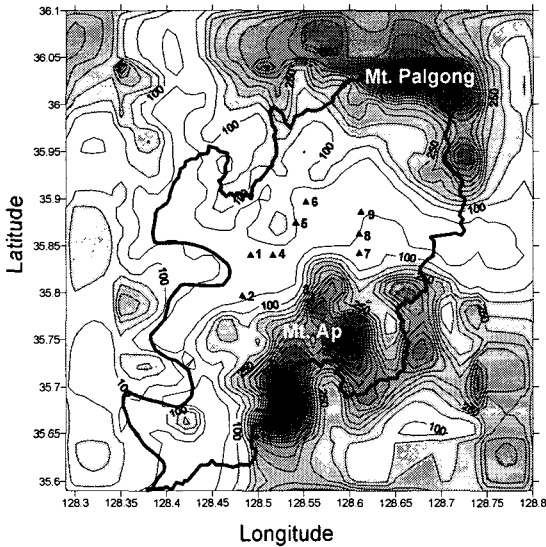


Fig. 2. Location of wind observing sites in Daegu. The thick solid-line shows boundary of Daegu. The numbers are index of sites: 1. Keimyung, 2. Hwawon, 3. Dowon, 4. Gamsam, 5. Seogu, 6. Pyungri, 7. Namgu, 8. Sadebugo, 9. Daegu Weather Station.

구 시내에 위치한 중고등학교의 옥상(고도는 지상에서 15미터 내외)인데, 사방이 수십 킬로미터 이상 오픈되어 있어서 인공구조물이나 지형장애물에 의한 바람장의 왜곡이 발생하지 않는 좋은 조건에 있다.

2.3. 계산영역과 경계조건

수치모의의 대상영역(Fig. 2)은 대구의 중심인 북위35.8도, 동경128.6도를 계산영역의 중심으로 하여, 수평격자수를 52×52, 수평격자간격을 1km, 연직격자수를 30, 연직격자간격을 30m~1,200m(최하층간격은 30m이고 1.2배씩 증가하여 1,200m까지 증가), 시간적분간격은 30초로 설정하여 계산을 수행하였다. 측면경계조건은 복사경계조건²⁵⁾을 사용하였다. 상층경계조건은 상층으로 진행하는 내부 중력파를 효과적으로 흡수할 수 있도록 하기 위하여 중력파 복사조건²⁶⁾을 사용하였다. 한편, 수치모형 내의 해수면은도는 2003년 5월의 월평균해수면은도자료²⁷⁾를 사용하였다.

3. 결과

3.1. 수치실험의 결과

지상(z*)15m 고도에서의 수평바람장을 Fig. 3에 나타내었다. 수치모의는 2003년 5월 10일 0900LST부터 5월 12일 2100LST까지 총 60시간 수행되었으나, 대구지역의 낮과 야간의 국지풍순환을 명확히

볼 수 있는 5월 11일 0900LST이후부터 18시간 동안에 얻어진 자료를 6시간 간격으로 제시하였다.

일출 이후인 0900LST(Fig. 3(a))에는 저지대에서 산지로 바람이 부는 곡풍이 형성되고, 대구의 남서방향의 교외에 위치한 현풍지역에서는 여전히 대구 시내에서 교외로의 유출이 존재하나 바람자체는 약함을 확인할 수 있다. Fig. 3(b)에서 낮 동안에 발달하는 국지순환의 특성을 볼 수가 있다. 대구의 동쪽 교외지역으로부터 유입되는 기류는 대구의 북쪽에 위치한 팔공산의 팔거천(A)과 앞산의 신천(B)을 따라 가창골(신천에서 남쪽으로 형성되어 있는 계곡)로 곡풍의 형태로 유출되고 있는 것을 확인할 수 있다. 대구의 서쪽지역에서는 낙동강과 경작지로 이루어진 교외지역인 현풍지역에서 대구 최대의 산업단지(성서산업단지)인 달서구 지역으로 교외풍이 유입되는데, 유입된 기류는 앞산자락인 청량산 일대에 발달한 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. 2100LST(Fig. 3(c))에는 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 이언천(E)을 따라서도 산풍이 유출되는 것을 확인할 수 있다.

12일 0300LST(Fig. 3(d))에 산풍의 저지대로의 유출과 평지에서의 이동과정을 가장 명확히 볼 수 있었다. 경산의 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 이언천을 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. 이를 모식적으로 나타내면 Fig. 4와 같다. 경산의 남천은 대구지역에 포함되지 않기 때문에 이 모식도에는 표기하지 않았다.

주로 대구의 동쪽지역에 위치한 앞산과 팔공산의 계곡을 따라서 도심이 위치한 평지로 유입되는 청정한 냉기류인 산풍효과에 의한 도시의 기온저감효과를 알아보기 위하여, Fig. 5에 수치모의실험으로 얻은 5월 11일 1500LST(산풍의 효과가 없는 경우)와 12일 0300LST(산풍 유입효과가 있는 경우)의 지

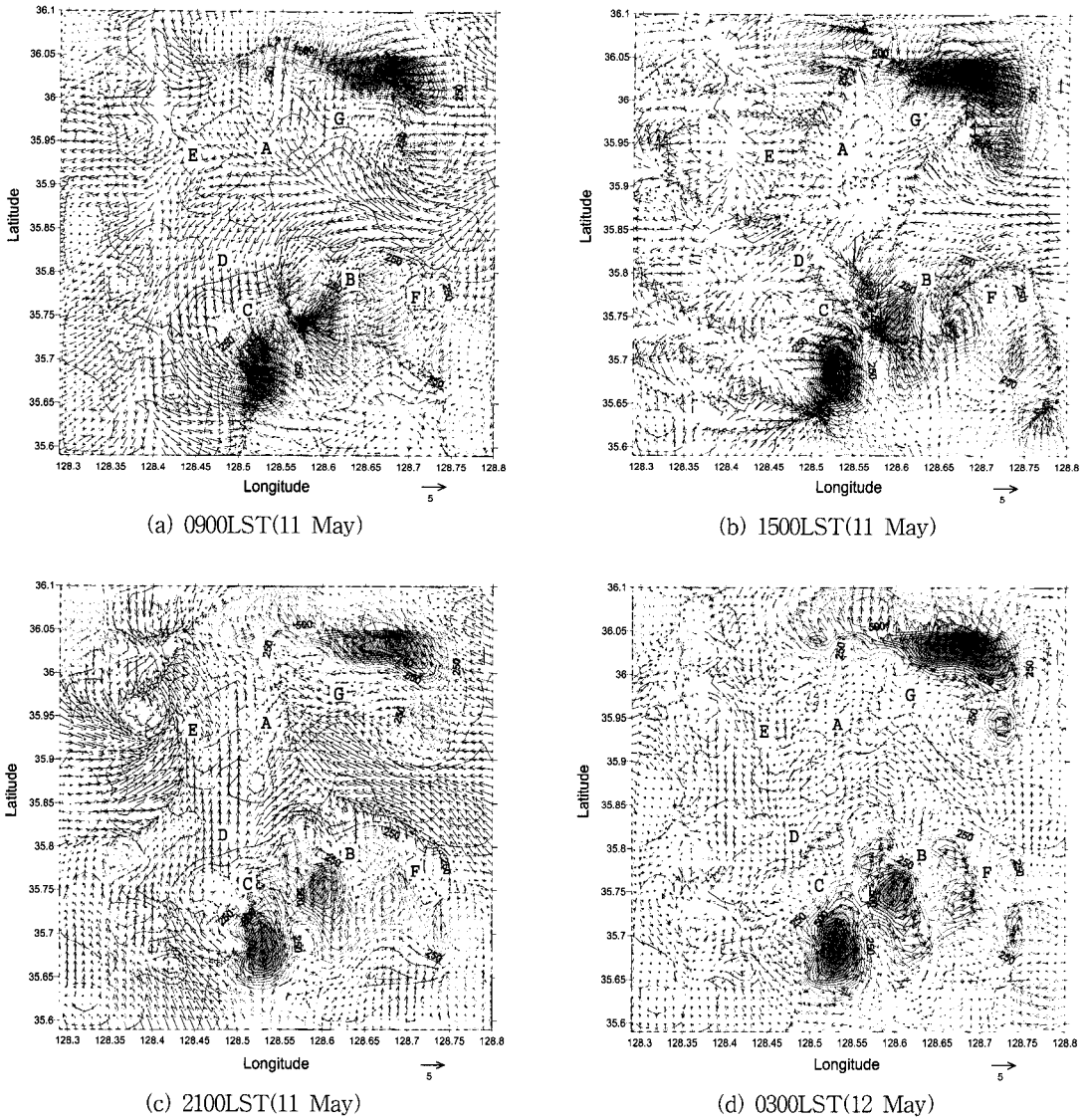


Fig. 3. Distributions of simulated wind field(unit: m/s) on (a) 0900LST, (b) 1500LST, (c) 2100LST and (d) 0300LST 11-12 May, respectively. A-F indicate major points related to wind ventilation lane.

상 15미터 고도에서의 기온분포를 나타내었다. 신천을 따라서 산풍이 유출되는 지점(A)과 대구의 서쪽에 위치한 성서산업단지 주변지점(B)간의 기온차이를 비교하여 보면, 산풍의 유출이 없는 1500LST에는 두 지점간의 기온차이가 3℃이고, 산풍의 유출이 있는 0300LST에는 두 지점간에 기온차이가 6℃에 이르고 있음을 알 수 있다. 이번에 수행된 수치모형에는 도시에서 배출된 인공열의 효과는 포함되어 있지 않지만, 단지 토지이용도와 지형효과에 따른 복사·열역학과정이 고려되고 있기 때문에 Fig. 5에서 확인된 두 지점간의 기온의 차이에는 토지이용도

차이와 인공열 배출량의 차이에 따른 주·야간간의 기온변동효과도 포함되어 있어, 1500LST와 0300LST 사이에 확인된 두 지점간의 기온차이가 전부 산풍에 의한 기온저감효과에 의한 것으로 볼 수는 없지만, 두 지역간의 토지이용도가 모두 아스팔트 혹은 콘크리트 구조물이며 인공열의 배출량이 많은 도심 지역이 아니라는 점을 고려한다면, 상당 부분이 산풍에 의한 기온저감효과에 의한 것으로 판단하여도 무방할 것이다.

산풍의 유출량을 정량적으로 평가하기 위하여, 수치모의실험으로 얻어진 수평바람분포를 Fig. 6에 고

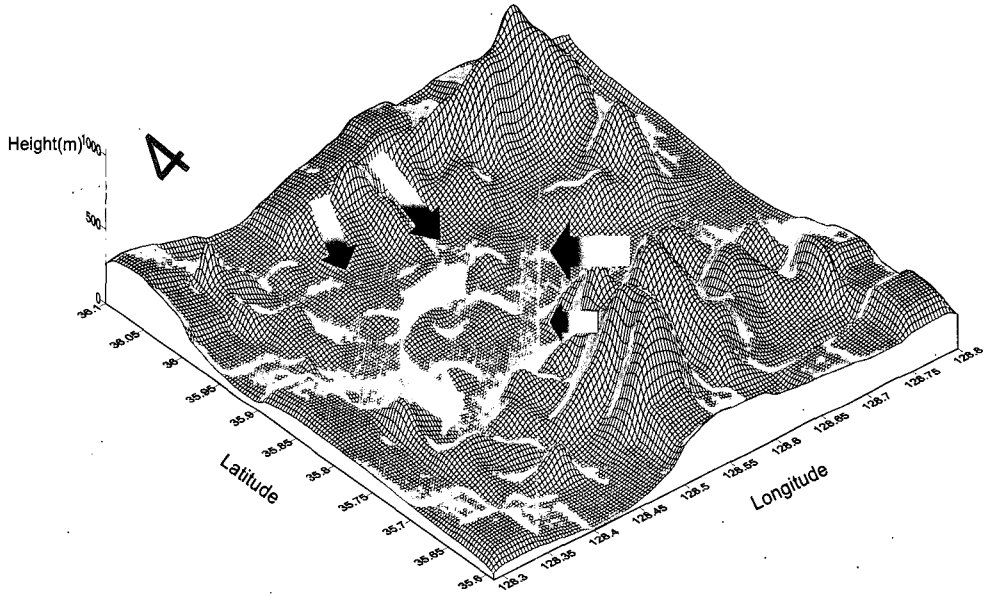


Fig. 4. Schematic representation of the local circulation during nighttime in Daegu.

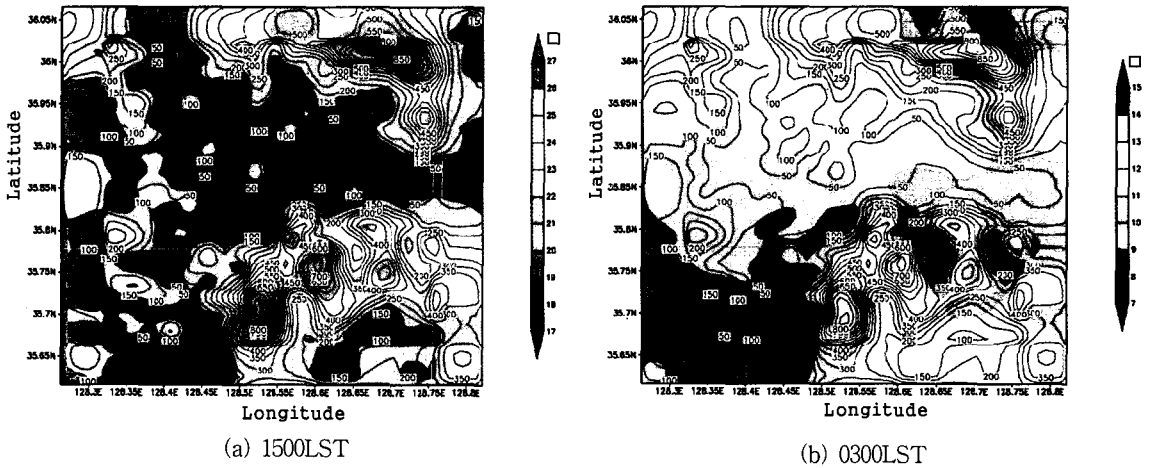


Fig. 5. Distributions of simulated temperature field at 15m height on (a) 1500LST 11 May and (b) 0300LST 12 May, respectively.

도별로 나타내었다. 평지까지 유출이 이루어지는 산풍의 고도는 대체로 120m 내외로 평가되었다. 이보다 고층에서는 산지에서 저지대로 유출되는 산풍이 현저하게 약화되고, 그 규모도 대단히 작으므로 평가되었다. 이를 이용하여 산풍이 유출되는 주요 계곡의 평지상에서, 산풍의 유출량을 산정하여, 이를 Table 2에 제시하였다. 유출량의 산정은 수치모의된 고도별 평균풍속에 공기의 밀도와 층의 깊이를 곱하여 단위면적당의 냉기류에 대한 질량속을 구한 후에, 냉기류가 흘러가는 수평 폭을 곱하는 방

식으로 수행되었다. 냉기류가 하층에 한정되고 있기 때문에, 공기의 밀도는 1기압하에서 해수면상의 공기밀도(1.27 kg/m^3)를 사용하였다.

3.2. 수치실험 결과의 검증

수치모의실험에서 얻어진 수평바람장의 타당성을 검증하기 위하여 Fig. 7에 대구지역에 설치된 9개 지점의 자동기상관측망에서 관측된 바람자료를 나타내었다. 5월 11일 1500LST(Fig. 7(a))의 바람자료를 살펴보면, 대체로 저지대에서 산지로 부는 곡풍

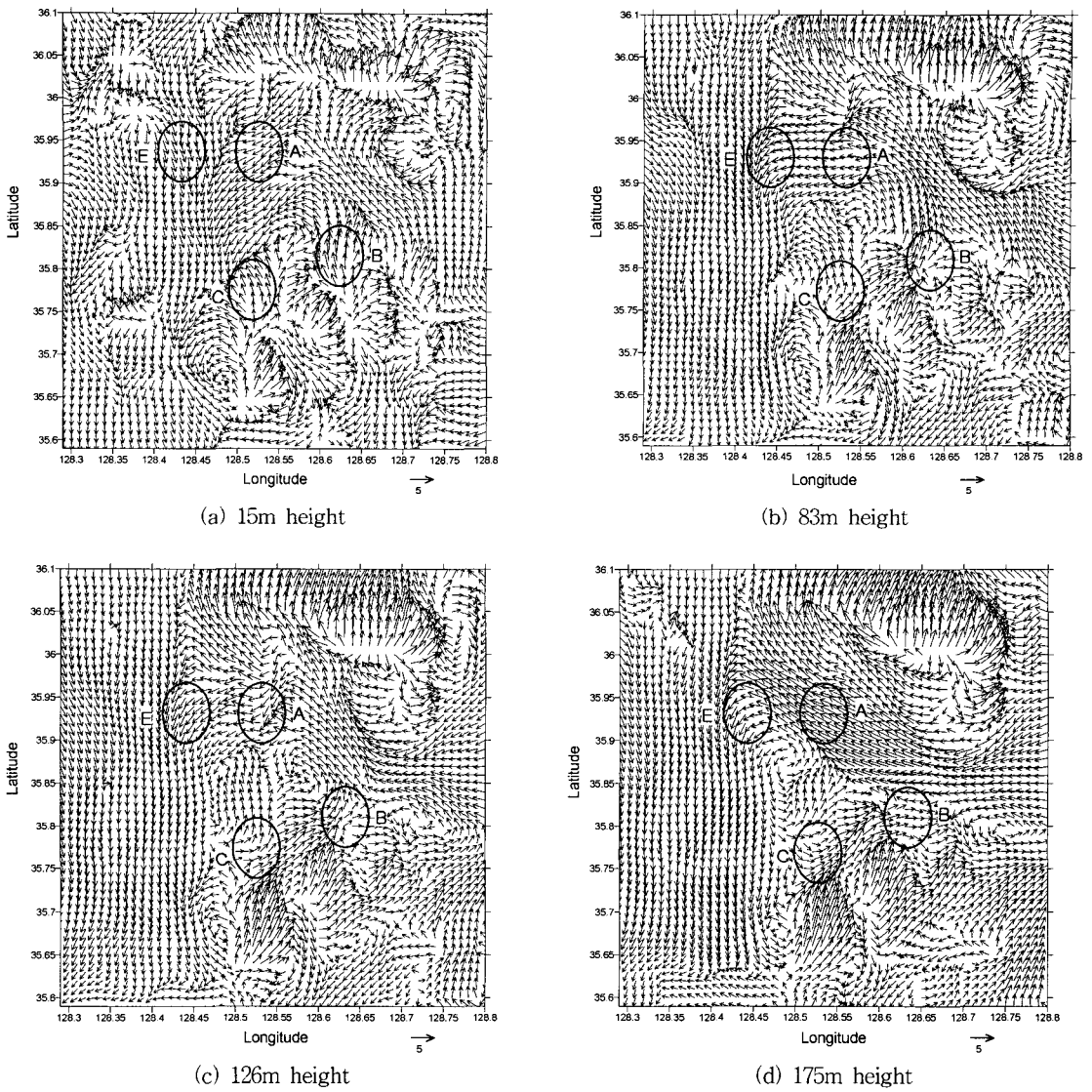


Fig. 6. Horizontal distributions of simulated wind field(unit: m/s) at (a) 15m, (b) 83m, (c) 126m, (d) 175m height during mountainous wind time(0300LST 12 May 2003).

Table 2. The estimated total amount of mountainous wind outflow at the each major wind passage axis(unit: ton/sec)

Height(m)	Sincheon wind speed(m/s)	Dowon-chi wind speed(m/s)	Palgeo-cheon wind speed(m/s)	Ion-cheon wind speed(m/s)
15	3.8	2.1	1.4	1.1
46	3.7	2.0	1.3	1.0
83	3.4	1.8	1.0	1.0
126	2.5	0.6	0.8	0.6
width	about 6km	about 7km	about 7km	about 6km
Total amount of outflow(ton/s)	3,100	1,700	1,300	900

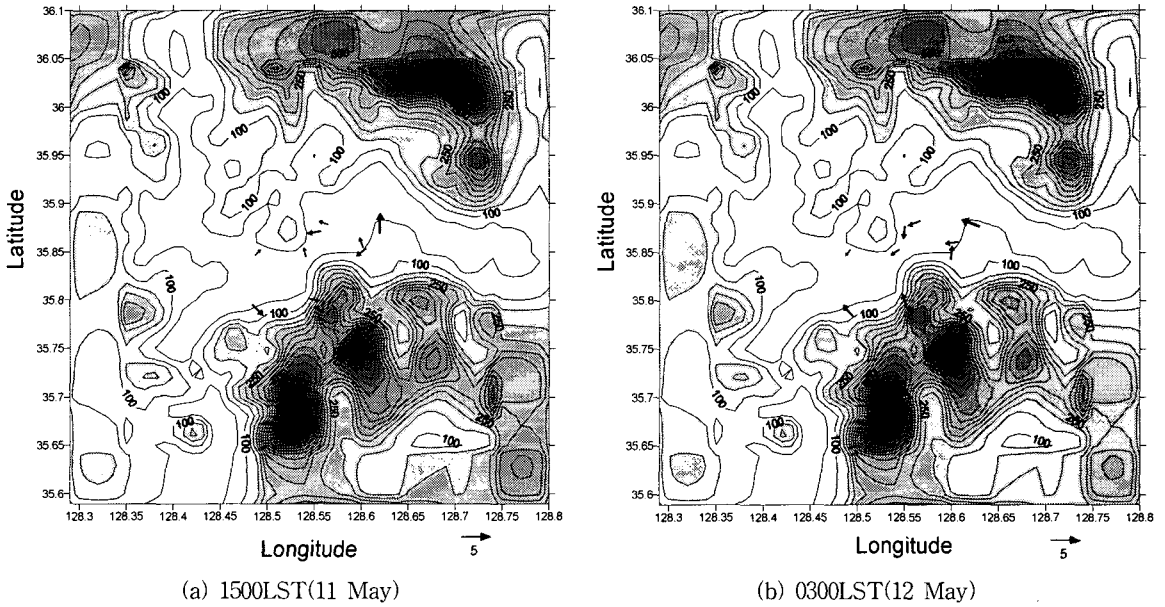


Fig. 7. Distributions of observed wind field(unit: m/s) on (a) 1500LST 11 May and (b) 0300LST 12 May, respectively.

의 풍향을 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 한편, 5월 12일 0300LST의 자동기상관측망의 바람자료 (Fig. 7(b))는 산지에서 평지로 향하는 산풍과 대구의 고지대인 동쪽에서 저지대인 서쪽으로 향하는 바람이 관측되었음을 알 수 있다. 이로부터 수치모의 실험에서 얻은 국지바람장이 관측결과와 일치하고 있는 것으로 평가된다.

수치실험결과가 기온변화를 제대로 모의하고 있는지를 검증하기 위하여 Fig. 8에 수치실험이 이루어진 2003년 5월 11일 0900LST에서 12일 0800LST에 걸쳐서 자동기상관측망에서 얻어진 자료와 수치실험으로 얻은 자료를 비교하여 나타내었다. 비교결과를 살펴보면 전반적인 일변화 경향을 잘 나타내고 있는 것을 볼 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.

4. 결 론

이 연구에서는 지표면의 열복사과정을 모의할 수 있어 국지풍의 생성과 그것의 순환을 평가할 수 있는 지역규모 대기순환장모형(RAMS)을 이용하여, 종관풍이 매우 약하고 쾌청하여 국지풍의 생성이 타월할 것으로 예상되는 2003년 5월 10~12일을 대상으로 대구지역의 국지순환풍을 수치모의하였다. 그 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 낮에 대구지역에서는 동쪽으로는 포항과 경산지방에서 유입되는 교외풍의 영향을 받고, 서쪽으로는 현풍지역으로부터 교외풍이 유입되는 것을 확인할 수 있었다. 대구의 동쪽에서는 교외에서 유입된 기류가 팔공산의 동화천, 팔거천 및 앞산의 신천을 따라서, 서쪽에서는 현풍지역에서 유입된 기류가 앞산의 도원지계곡 등을 따라서 곡풍의 형태로 유출되었다. 따라서 교외풍의 영향이 대구의 도심에까지는 거의 도달하지 않는 것으로 평가되었다.

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 이연천을 따라서 산풍이 저지대로 유입되었다. 대구의 동쪽에서 저지대로 유입된 산풍은 대구의 중심을 지나 저지대인 서쪽지역으로 이동하였다. 이 때 서쪽에서 도원지계곡과 이연천에서 유입된 냉기류와 합류하여 현풍지역으로 빠져나가는 것으로 평가된다(Fig. 6).

셋째, 대구지역에서는 가창골~신천을 따라서 가장 많은 청정한 냉기류가 산풍의 형태로 저지대로 유입되고 있는 것으로 평가되었다. 이곳에서 산풍이 유출되는 폭은 약 6km에 이르고, 고도는 약 120m에 이르렀고, 풍속은 3.8m/s(고도 15m 상공)에서 2.5m/s(고도 126m 상공)로 추정되었다. 120m 이상의 고도에서는 산풍이 저지대로 유출되는 영역이 산지근처

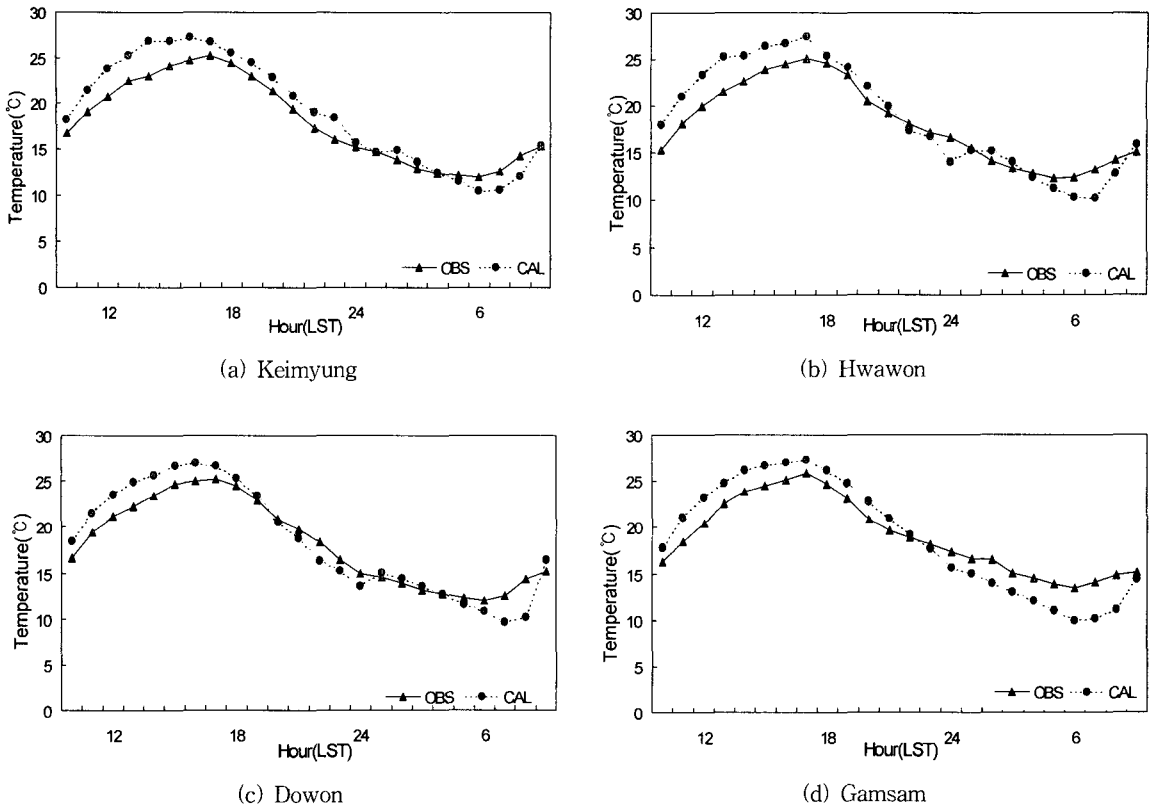


Fig. 8. Simulated and observed temperature at (a) Keimyung, (b) Hwawon, (c) Down and (d) Gamsam, 11-12 May.

로 제한되었다. 이러한 자료를 근거로 추정한 산풍의 유출량은 12일 03시에 약 3,100톤/초에 이르는 것으로 추정되었다.

넷째, 대구의 남쪽과 북쪽에 위치한 앞산과 팔공산에서 형성된 청정한 냉기류는 이들 산지에서 발원하여 대구도심을 흘러 금호강으로 유출되는 도시하천을 따라서 흐르는 사실을 확인할 수 있었다. 따라서 대구에서 바람의 길을 활용하여 도시의 열오염 현상을 저감하고 대기오염의 교외확산능력을 강화하는 환경친화적 도시개발을 추진하기 위해서는 이러한 기류특성을 적극 고려한 도시계획이 요구된다. 특히, 대구지역에서 산풍의 최대 유출지역으로 평가되는 가창골~신천~금호강 유역에 초고층 인공구조물 설립이 자제되어야 할 것이다.

이러한 청정한 냉기류의 흐름을 고려할 경우에, 이들 하천의 상류지역에 주거지역이 건설되고 하류지역에 오염유발 시설이 자리잡는 것이 바람직할 것이다. 아울러 이들 냉기류의 저온성을 보존하기 위하여, 바람의 길을 따라서 도시녹지대를 조성하고 도시하천의 복개를 억제하는 정책적 배려가 요구된다.

이러한 국지풍 규모를 관측적으로 확인하는 연구

와, 이들 냉기류에 의한 대기오염물질의 교외로의 확산효과와 국지풍의 수렴확산과정에서 유발되는 도시형강수의 문제는 후속 연구에서 다룰 계획이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호 R01-2002-000-00020-0)의 지원금으로 수행되었습니다. 재정지원을 해 주신 한국과학재단 및 기타 관계자 여러분에게 감사사를 드립니다.

참고 문헌

- 1) Yamashita, S., 1995, Heat Island and amenity, Study group for climate impact and application Newsletter, 11, 66-73(in Japanese).
- 2) Landsberg, H. E., 1979, Atmospheric changes in a growing community(the Columbia, Maryland experience), Urban Ecology, 4, 53-81.
- 3) Landsberg, H. E., 1981, The urban climate, Academic Press, Newyork, 275pp.
- 4) 西岡秀三, 原澤英夫, 1998, 自然·人への影響豫測 地球温暖化と日本, 古今書院, 256pp.

- 5) 김해동, 이송옥, 구현숙, 2003, 대규모 주택단지 내의 인공구조물에 의한 승온화효과에 관한 연구, 한국환경과학회지, 12(7), 705-713.
- 6) 水越允治, 山下脩二, 1993, 氣候學入門, 古今書院, 144pp.
- 7) 近藤純正, 1993, 水環境の氣象學-地表面の水收支-熱收支-, 朝倉書店, 345pp.
- 8) 久保幸夫, 1999, Heat Island의計測制御 system 中間報告書, 科學技術振興事業團戰略的 基礎研究, 272pp.
- 9) 一之瀬俊明, 1999, 獨逸のKlimaanalyse-都市計劃のための氣候解釋-, 天氣, 46, 709-715.
- 10) 안지숙, 김해동, 홍정혜, 2002, 대구지역 인공열의 시공간적 분포 추정에 관한 연구, 한국환경과학회지, 11(10), 1045-1054.
- 11) Kawamura, T., 1986, Urban atmospheric environment, Atmospheric environment series 3, Tokyo University Press, 185pp(in Japanese).
- 12) Saito, T., 1996, Modeling and simulation of the Tokyo urban heat island, Atmos. Environ., 30, 3431-3442.
- 13) 一之瀬俊明, 1997, Energy 消費と都市氣候の關わり, 日本 Energy 學會誌, 76, 767-774.
- 14) 박종길 역, 2000, 알기쉬운 대기오염학, 동화기술, 568pp.
- 15) 엄정희, 2000, 도시녹지계획을 위한 바람통로 활용방안 연구-용인시를 대상으로-, 서울대학교 환경대학원 석사논문, 93pp.
- 16) 서울시정개발연구원, 2000, 서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구, 275pp.
- 17) Pielke, R. A., W. R. Cotton, R. L. Walko, C. J. Tremback, W. A. Lyons, L. D. Grasso, M. E. Nicholls, M. D. Moran, D. A. Wesley, T. J. Lee and J. H. Copeland, 1992, A comprehensive meteorological modeling system-RAMS, Meteor. Atmos. Phys., 49, 69-91.
- 18) 정우식, 이화운, 김현구, 2003, 포항지역 겨울철 남서계열 탁월풍 현상에 관한 분석 및 수치모의, 지구과학회지, 24(6), 533-548.
- 19) Mesinger, F. and A. Arakawa, 1976, Numerical methods used in atmospheric models, GARP Publ. Ser., 17, 1-64.
- 20) Gal-Chen, T. and R. C. J. Somerville, 1975, On the use of a coordinate transformation for the solution of the Navier-stokes equations, J. Comput. Phys., 17, 209-228.
- 21) Tremback, C. J., J. Powell, W. R. Cotton and R. A. Pielke, 1987, The forward in time upstream advection scheme: Extension to higher orders, Mon. Wea.Rev., 115, 540-555.
- 22) Mellor, G. L. and T. Yamada, 1982, Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems, Rev. Geophys. Space Phys., 20, 851-875.
- 23) Deardorff, J. W. and E. W. Petterson, 1980, The boundary-layer growth equation with Reynolds averaging, J. Atmos. Sci., 37, 1405-1409.
- 24) Louis, J. F., 1979, A parametric model of vertical eddy fluxes in the atmosphere, Bound. Layer Meteor., 17, 187-202.
- 25) Orlanski, I., 1976, A simple boundary condition for unbounded hyperbolic flows, J. of Computational Physics, 21, 251-269.
- 26) Klemp, J. B. and W. B. Wilhelmson, 1978, The simulation of three-dimensional convective storm dynamics, J. of Atmospheric Sciences, 35, 1070-1096.
- 27) Reynolds, R. W. and T. M. Smith, 1994, Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation, J. Climate, 7, 929-948.