

## 토지이용도와 기상모델을 이용한 서울기후분석(CAS)지도 개발\*

이채연<sup>1</sup> · 엄정희<sup>2</sup> · 최영진<sup>1</sup> · 김규량<sup>1\*</sup>  
Dieter SCHERER<sup>3</sup> · Ute FEHRENBACH<sup>3</sup> · 김근회<sup>1</sup>

### Development of Climate Analysis Seoul(CAS) Maps Based on Landuse and Meteorological Model\*

Chae-Yeon YI<sup>1</sup> · Jeong-Hee EUM<sup>2</sup> · Young-Jean CHOI<sup>1</sup> · Kyu-Rang KIM<sup>1\*</sup>  
Dieter SCHERER<sup>3</sup> · Ute FEHRENBACH<sup>3</sup> · Geun-Hoi KIM<sup>1</sup>

#### 요 약

도시 및 환경계획에서는 국지적 기후에 미치는 부정적인 영향을 줄이고 긍정적인 영향을 지속시킬 수 있는 계획 도출이 필요하다. 본 연구는 서울의 도시 및 환경계획 수립을 위해 국지 기온과 바람의 흐름을 고려하여 현실적인 기후분석지도의 개발을 목적으로 수행되었다. 서울기후분석(Climatic Analysis Seoul, CAS) 지도는 서울의 도시환경 구조 변화 양상을 적시에 반영하기 위하여 도시기후 분석 및 기후지도 프로세스를 갖춘 전자지도(digital map)이다. 지면의 피복과 기복에 대한 분석자료와 중규모 기상모델인 MetPhoMod의 모의수행 분석결과를 바탕으로 찬공기 생성·이동·정체, 바람흐름, 열적 환경 등을 정량적으로 분석한 결과가 CAS 지도에 담겨있다. 본 연구에서 개발된 CAS를 이용함으로써 도시 개발이 기후에 미치는 영향의 분석 및 평가가 용이하게 되었다. 도시기후분석지도를 통해 도시 및 환경 분야의 계획 과정에서 삶의 질 향상을 위한 기후요소의 활용이 더욱 편리해 질 것으로 기대한다.

주요어 : 도시계획, 환경계획, 도시기후분석, 도시기후평가, CAS

#### ABSTRACT

It is needed to preserve good effects and to prevent bad influences on local climate in urban and environmental planning. This study seeks to develop climate analysis maps

2010년 9월 17일 접수 Received on September 17, 2010 / 2010년 11월 16일 수정 Revised on November 16, 2010 / 2011년 1월 24일 심사완료 Accepted on January 24, 2011

\* 본 연구는 국립기상연구소 주요사업 "신생활산업기상기술개발연구"의 지원으로 수행되었습니다.

1 국립기상연구소 응용기상연구과 National Institute of Meteorological Research, Seoul, Korea

2 한국 환경정책·평가연구원 Korea Environment Institute

3 베를린공대 Technical University of Berlin, Berlin, Germany

\* 연락처 E-mail : krk9@kma.go.kr

to provide realistic information considering local air temperature and wind flows. Quantitative analyses are conducted by CAS for the production, transportation, and stagnation of cold air, wind flow and thermal conditions by incorporating GIS analysis on land cover and elevation and meteorological analysis from MetPhoMod - a mesoscale weather model. The CAS helps The easier analysis and assessment of urban development on local climate. It will contribute to the better life of the people in cities by providing better understanding of the local climate to the urban space planners.

**KEYWORDS :** *Urban Planning, Environmental Planning, Urban Climate Analysis, Urban Climate Evaluation, CAS (Climate Analysis Seoul)*

## 서 론

도시 환경에 대한 관심이 증가하면서 다양한 도시계획과정에서 기후 및 기상정보에 대한 요구가 증가하고 있다. 이는 장래의 토지이용계획과 건설사업의 구체적인 형태를 계획하는 과정에서 도시기후를 고려함으로써, 개발이 지역의 국지기후에 미치는 부정적인 영향을 줄이거나 방지할 수 있을 뿐만 아니라 긍정적인 미기후 영향을 유지하거나 촉진할 수 있기 때문이다. 이러한 도시기후 및 기상에 대한 요구가 증가함에 따라, 도시계획이나 정책입안자가 도시계획이나 정책입안 과정에서 직접적으로 활용할 수 있는 도시기후정보에 대한 요구가 증가하고 있다. 특히 토지이용변화에 따라 도시기후의 변화를 간편하게 파악할 수 있는 도구가 절실한 상황이다.

그러나 아직 우리나라에는 도시 및 환경계획에서의 활용을 목적으로 구축된 도시기후정보가 충분하지 않다. 예를 들어, 도시의 원활한 공기순환을 위한 도시의 공간구조를 제시하고자 할 때, 도시 내부를 대상으로 한 공기순환 분석정보가 충분히 마련되어있지 않은 문제가 발생하였다(엄정희 등, 2008). 최근 들어, 친환경 공간계획을 위해 도시기후를 분석하는 연구가 진행되고 있는데, 김경태 등(2010)은 창원시 전역을 대상으로 친환경적 공간계획을 위해 인공위성영상을 이용해서 도시의 열환경을 분석했고, 송봉근과 박경훈

(2010)은 지형과 토지피복을 이용해 창원시 전역에 대해 생태적 기능을 고려한 찬공기 생성지역을 분석한 바 있다. 또한, 엄정희(2010) 및 변혜선 등(2009)은 각각 용산미군기지과 지축택지개발사업예정지구 등 도시의 일부분에 대해 도시기후 정보를 구축하고 이를 바탕으로 친환경적 계획을 제시하였다. 이러한 도시기후와 관련된 최근의 다양한 연구에도 불구하고, 토지이용변화에 대한 도시기후요소의 변화를 계획가가 손쉽게 분석하고 활용할 수 있는 방법에 대해서는 연구가 부족한 현실이다. 이에 본 연구는 서울의 도시 및 환경계획 수립을 지원하는 한 요소로써 국지기온과 바람의 흐름을 분석하는 프로세스를 개발하여 도시 공간 구조가 기후에 미치는 영향을 전자지도 형태로 제공함을 목적으로 한다. CAS 지도는 도시화 및 도시 활동 및 이에 따른 환경변화에 대하여 (1)기후적 관점에서 바람순환 및 열적 환경에 관련한 정량적 정보 생산, (2)도시기후 분석 및 평가, (3)평가방법 체계화를 통한 도시계획 및 환경계획 활동 지원에 활용되는 도구이다.

도시 전역 또는 일부지역에 대해 동일한 기준으로 개발한 상세 기후분석 및 평가정보가 제공된다면, 서울지역의 토지이용계획 등 도시기본계획에서 뿐만 아니라 도시 관리계획에서 일관성 있는 기후정보를 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한, 이를 통해 도시 및 환경 분야의 계획 과정에서 삶의 질 향상을 위한 기후요소의 활용이 더욱 편리해 질 것으로

기대한다. 본 연구의 분석기술 및 평가 도구의 방법론은 독일의 남부 오버라인 지역 기후 분석(Parlow *et al.*, 2006: REKLISO), 서울(EUM, 2008: CAMPUS) 및 스위스 Zurich 지역을 대상으로 적용되면서 개선된 바 있다.

## 연구 대상지 및 방법

### 1. 연구대상지

서울의 기후분석 소프트웨어인 CAS(Climate Analysis Seoul)의 연구대상 지역은 서울 및 그 주변 수도권을 포함하는 지역으로 선정하였다. 특히, 분석내용에 따라 세단계의 연구범위인

중규모 모델링지역(Model Region, MR), 기본연구지역(Study Region, SR), 상세연구지역(Detail Region, DR)으로 구분하였다(표 1). 중규모 모델링지역은 중규모 기상모델링에 의해 바람장 및 온도장이 분석될 전체 도메인으로 경기도 지역을 포함하는 약 200km×200km 범위이고, 그리드 해상도는 1km이다. 기본연구지역은 도시 미기후 분석을 위한 연구범위로 서울과 그 주변지역을 포함하는 50km×40km 범위, 그리드 해상도는 25m이다. 상세연구지역은 도시계획 수립시에 CAS를 보다 더 잘 활용하기 위한 연구범위로 미기후분석을 위한 4km×2.5km범위의 은평구 뉴타운 개발지역이고, 그리드 해상도는 5m이다(그림 1).

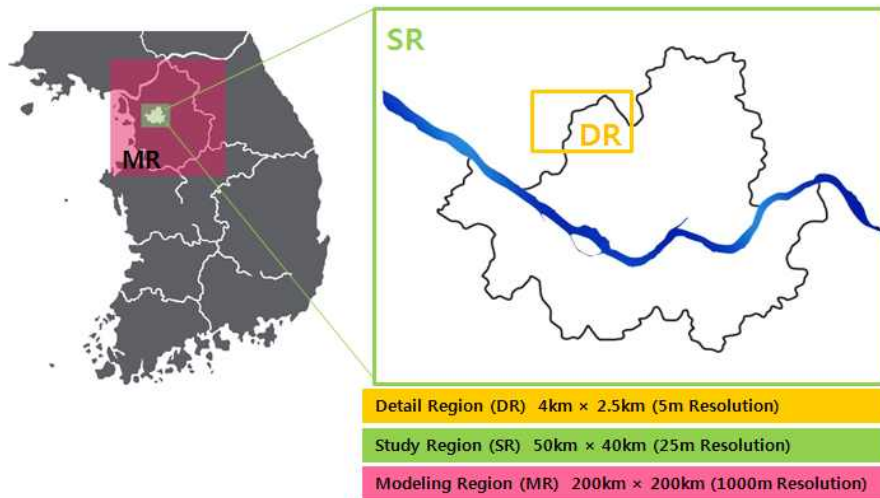


FIGURE 1. Three domain levels in CAS (Climate Analysis Seoul)

TABLE 1. Description of the three domain regions in CAS

Domain	Description	Spatial Resolution
Model Region (MR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>the area using mesoscale model for wind and temperature fields</li> <li>200 km × 200 km</li> </ul>	1 km
Study Region (SR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>the area for microclimate analysis around Seoul</li> <li>50 km × 40 km</li> </ul>	25 m
Detail Region (DR)	<ul style="list-style-type: none"> <li>the area for detailed microclimate analysis around Eunpyeong Newtown development area</li> <li>4 km × 2.5 km</li> </ul>	5 m

## 2. 연구과정

본 연구는 다음과 같은 세단계 과정으로 진행되었다. 1단계는 표고 및 토지피복 등 기본 입력자료로부터 도시기상모의를 위한 Albedo, Topography, Emissivity, Volumetric heat capacity, Thermal diffusivity, Surface temperature, Ground temperature, Roughness length 등 입력자료를 생성하는 과정, 2단계는 MetPhoMod모델을 이용해 기상모의를 하는 과정, 3단계는 그 결과를 통해 주요 도시기후 분석도를 생성하는 과정이다 (그림 2).

## 3. 입력자료 구축

### 1) 토지피복자료

토지피복정보는 도시의 공간구조정보 구축과 중규모 기상모델분석 등 여러 분석과정에 필요한 입력자료이다. 토지이용이 변경되면 공간의 지면피복도 함께 변경되므로 그 지역의 기후조건도 변화한다. 본 연구에서는 환경부에서 제공하는 중규모 토지피복분류(2007년)와 서울시에서 제공하는 도시생태현황도의 토지이용정보(2005년)를 이용하여 기본연구지역(SR)과 상세연구지역(DR)의 토지피복유형(Land Cover Types, LC types)을 구축하였다. 토지피복은 WS(water surfaces), TV(tall vegetation), VS(vegetated surfaces), US(unvegetated surfaces), BS(built-up surfaces)의 5가지 유형으로 분류하였다(표 2).

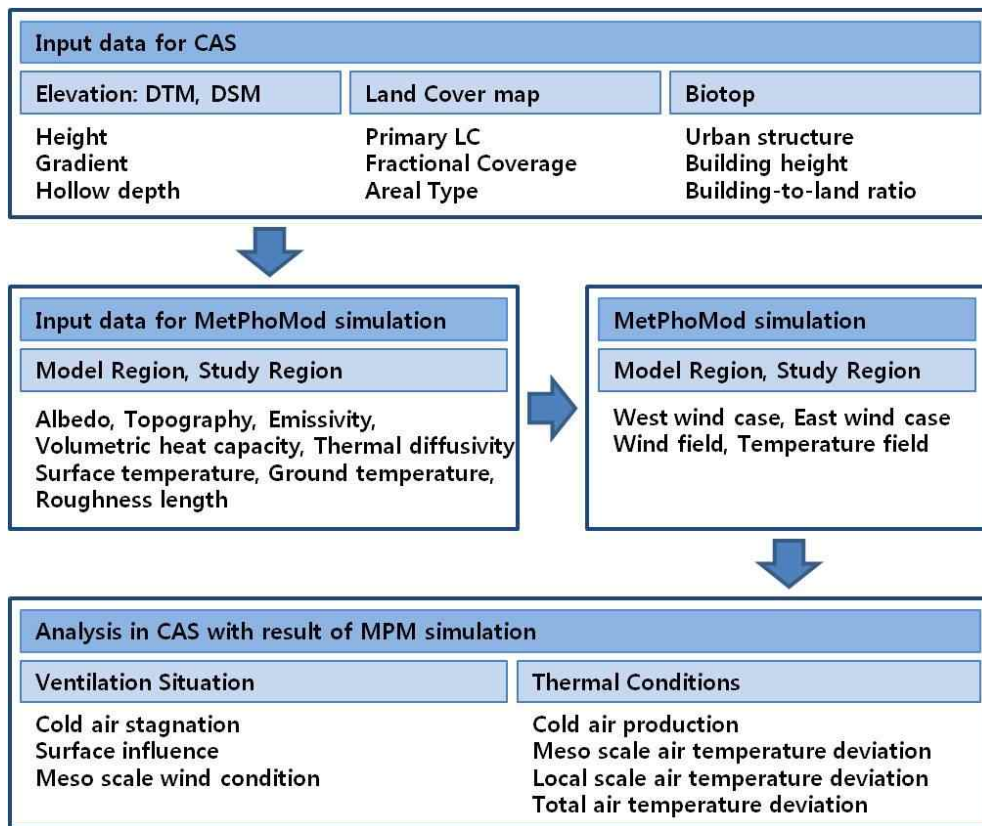


FIGURE 2. Overview of the processes incorporated in CAS

TABLE 2. Primary land cover (LC) types as input data of CAS

Index	Code	LC Types	Remarks
1	WS	Water Surfaces	inland waters and sea surfaces
2	TV	Tall Vegetation	tall vegetation (mainly trees) forming well-defined canopies
3	VS	Vegetated Surfaces	vegetated surfaces (except TV)
4	US	Unvegetated Surfaces	asphalt/concrete surfaces without buildings, bare soils
5	BS	Built-up Surfaces	surfaces containing buildings of any type

## 2) 지형자료

수치표고모델(Digital Elevation Model)은 지형 기록에 따른 바람의 흐름을 분석하기 위한 주요 자료로써, 본 연구에서는 기본연구지역의 수치표고모델을 구축하기 위해 미국 NASA에서 제공하는 SRTM(Shuttle Radar Topography Mission)을, 상세연구지역에 대해서는 국토지리정보원이 제공하는 DEM을 사용하였다. 이러한 지형자료(표 3)를 바탕으로 서울시 수치표면모델(Digital Surface Model)을 구축하였다.

## 3) 지표면 속성자료

도시기후를 분석하기 위해서는 토지피복과 같은 평면적인 지표면의 자료와 더불어 건물 높이와 같은 도시구조를 설명하기 위한 자료 역시 중요하다. 서울의 도시구조를 기후분석에 반영하기 위해서 서울시 도시생태현황도에서 제공하는 다양한 자료(건폐율, 건물층수 등)를 활용하여 5가지 토지피복유형에 대한 지표면 속성자료를 구축하였다. 또한, 이러한 속성자료를 활용하여 albedo, heat capacity 등과 같이 중규모 기상모델링에 활용되는 속

TABLE 3. Input data for Digital Elevation Model and Digital Surface Model used in CAS

Item	Description	Source	Purpose
Land Cover	GIS Data of Seoul, Incheon and surrounding area, 1:25,000 (2007) · Analysis Change of Land Surface · Time-Series Analysis · Spatial Structure Condition	Ministry of Environment	Land Cover Classification (SR, DR)
MODIS	Land Cover Data of Land Cover from Moderate Resolution Imaging Spectrometer, 1km resolution (2004)	NASA	Land Cover Classification (MR)
Biotop	GIS Data of Seoul (2005) · Land Use Condition · Building-to-land ratio · Floor area ratio	Seoul	Land Cover Classification (SR), DSM (SR)
SRTM	DEM for analyzing the flow of wind 90m Resolution (2000)	NASA	DTM, DSM (MR,SR)
DEM	DEM for analyzing the flow of wind 10m Resolution (2002)	National Geographic Information Institute	DTM, DSM (SR,DR)

성값을 산출하였다. 지표면 속성값인 FC는 하나의 분석 픽셀 안에 다섯 가지 Primary LC types이 차지하는 비율을 퍼센트로 나타낸 것으로, 각 LC유형에 대해 계산된다. 한편, 분류된 토지피복정보를 바탕으로 WB(waters), WL(woodlands), VA(vegetated areas), UA(unvegetated areas), LD(low-density built-up areas), MD(medium-density built-up areas), HD(high-density built-up areas)의 7가지 토지공간유형(Areal Types, AT) 자료를 구축하였다. FC는 AT분석 등 토지피복 데이터를 이용하여 MetPhoMod 모델분석과 찬 공기 생성량 산출 등에 사용된다. 이 단위 A의 속성화는 면적비율의 가중치 평균에 의해 이루어진다(식 1). 이때, f<sub>LCi</sub>는 각 셀의 다섯가지(i) LC types이 차지하는 각각의 비율이고 범위는 0~1까지이다. ALC는 표 4에서 표시한 각 Land

Cover의 속성값이다. 표 4의 Land Cover 속성값은 독일에서 수십년간 연구한 문헌을 검토(Scherer *et al.*, 2010)하여 이 논문에서 자체적으로 요약한 것이다.

$$A = \frac{1}{\sum_{i=1}^5 f_{LCi}} \cdot \sum_{i=1}^5 (f_{LCi} \cdot A_{LCi}) \quad (\text{식 1})$$

4) 중규모 기상모델

지역의 도시기후와 열환경을 분석하는데 있어 필요한 중규모의 바람과 온도를 분석하기 위해 CAS는 중규모 기상모형인 MetPhoMod (METeorology and atmospheric PHOtochemistry mesoscale MODe)와 연계하였다. MetPhoMod는 중규모 기상현상 및 대기화학을 계산하기 위해 사용되는 3차원 기상모형으로써(Perego, 1999), 높이에 따른

TABLE 4. Attributes (ALC) of five primary land cover (LC) types for the calculation of the attribute (A) of each grid cell based on the fractional coverage (FC) of the cell

Attributes(A)	Land Cover(LC) types				
	Water Surface (WS)	Tall Vegetation (TV)	Vegetated Surface (VS)	Unvegetated Surface (US)	Built-up Surface (BS)
Cold air production rate m <sup>3</sup> / (m <sup>2</sup> · h)	0	30	15	0	0
Roughness length (m)	0.001	2.000	0.050	0.050	3.728
Zero plane displacement (m)	0.0	14.0	0.0	0.0	28.0
Height of building (m)	0	0	0	0	38
Building-to-land ratio (m <sup>2</sup> · m <sup>-2</sup> )	0.00	0.00	0.00	0.00	0.54
Heat capacity (J · K <sup>-1</sup> · kg <sup>-1</sup> )	4200	1500	1200	900	923
Heat conductivity (J · K <sup>-1</sup> · m <sup>-1</sup> )	84.00	7.20	2.16	1.98	21.05
Albedo	0.07	0.13	0.15	0.18	0.16
Emissivity	0.98	0.95	0.95	0.92	0.92
Density (kg/m <sup>3</sup> )	1000	1200	1800	2200	2169

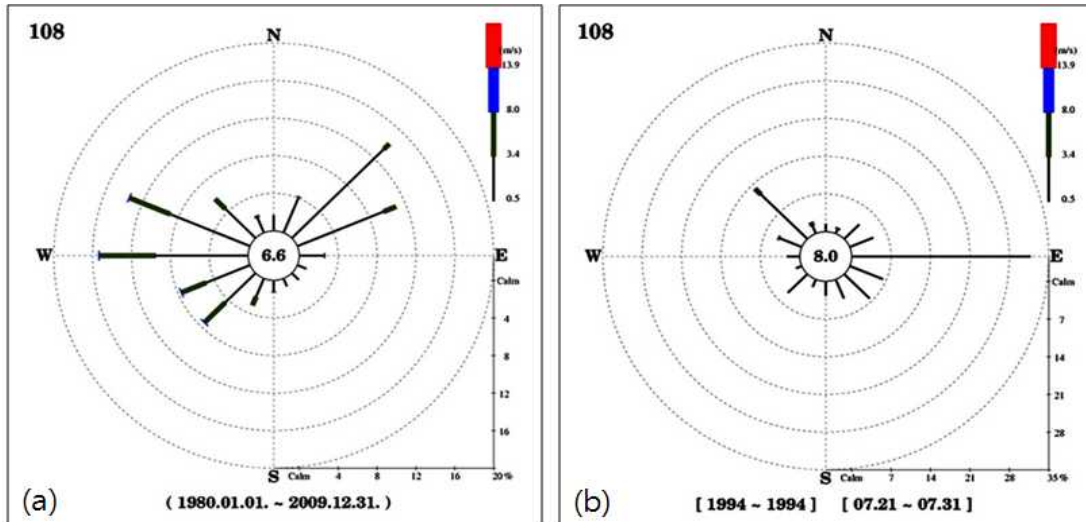


FIGURE 3. (a) Wind rose during January 1980 to December 2009. (b) Wind rose during July 21–31, 1994, when Seoul experienced severe heat waves

수직층을 이용하여 도시의 표면 같은 기록이 심한 지역을 계량화함으로써 도시 내 바람흐름과 기온분포를 안정적으로 계산할 수 있고 물리적으로 해석할 수 있다. CAS에서 구축된 입력자료를 바탕으로 MetPhoMod 모의가 수행되면 그 결과를 바탕으로 CAS의 종합 분석이 수행되는 구조로 되어있다.

본 연구에서는 하지(夏至)인 6월 21일 오전 6시부터 6월 22일 오후 6시까지 36시간동안의 바람과 온도에 대한 수치기상모의를 서풍과 동풍의 사례로 수행하였다. 도시계획 수립시 고려해야하는 기후는 특정한 장소에서 수 십년간의 평균기상 상황으로 매년 순서를 따라 반복되는 대기의 종합상태이다. 따라서 지난 30년간 서울의 주풍향인 서풍의 사례가 선택되었으며(그림 3(a)), 서울의 기상 관측사상 일 최고기온이 38.4℃로 가장 높아 80명 이상의 초과사망자가 발생한 1994년 7월 하순의 주풍향인 동풍 사례를 추가로 선택하였다(그림 3(b)). MetPhoMod의 공간해상도는 MR은 1000m이고, SR은 200m이다.

## CAS 분석결과 및 고찰

### 1. 토지피복 및 토지이용유형

그림 4는 상세연구지역(DR)인 은평구 지역의 토지피복유형(좌)과 토지공간유형(우)을 나타내고 있다. 토지피복유형에 비해 토지공간유형에서는 개발지역(built-up areas)이 자연피복과 인공피복의 혼합정도에 따라 저밀도(LD), 중밀도(MD), 고밀도(HD)로 세분화되어 개발정도를 계량화하고 있음을 알 수 있다.

### 2. 중규모 수치기상모의 결과

CAS가 생산한 MetPhoMod의 8가지 입력자료(albedo, topography, emissivity, volumetric heat capacity, thermal diffusivity, surface temperature, ground temperature, roughness length) 중 알베도를 보면 값의 분포가 0.07~0.18로 도시 내의 건물, 도로, 공원, 강 등의 면적에 따라 구분되어 모델 도메인의 해상도에 맞추어 계산이 되었음을 알 수 있다(그림 5).

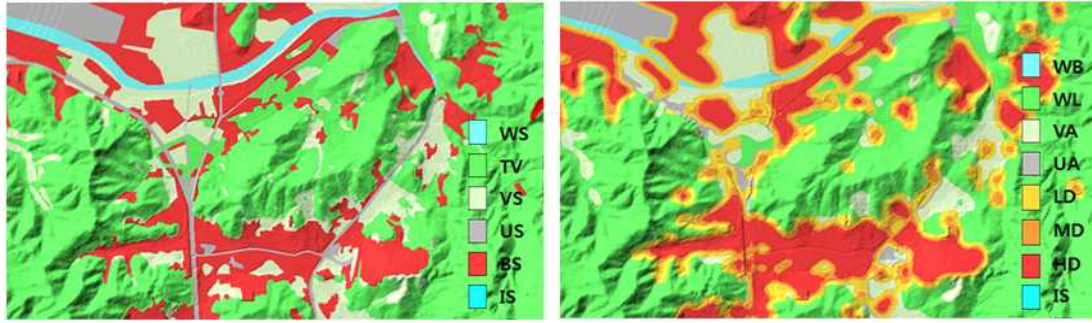


FIGURE 4. Analysis layers of land cover (L: Primary LC types, R: Areal types) in DR

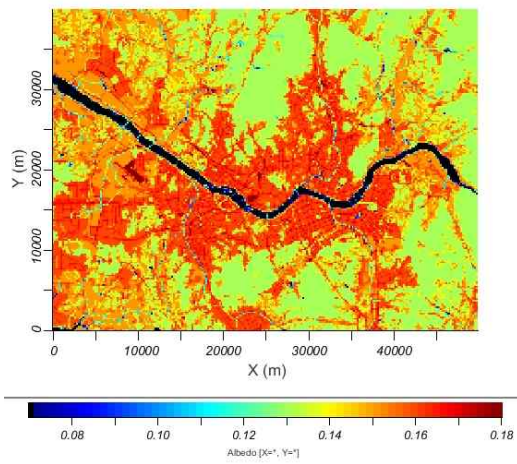


FIGURE 5. Albedo computed in CAS

그림 6.(a)는 MetPhoMod 모의에 의해 서풍이 불어오는 경우 기본연구지역(SR)의 상대 풍속 및 상대기온을 나타낸 것이다. 6월 21일 20:00 ~ 22일 06:00 까지 밤시간동안 모의된 고도 10m에서의 상대풍속을 보면, 서울의 동쪽 지역은 SR 도메인 평균에 비해 180% 이상의 강한 풍속을 가지며, 서쪽 지역은 평균 이하의 풍속을 가지는 것으로 나타났다. 상대기온은 분석지역의 평균 기온에 대한 상대적인 온도를 절대온도(K)로 나타낸 것으로, 서울 지역은 평균에 비해 1K이상 높은 기온을 가지고 있고, 산 정상은 상대적으로 낮은 기온을 가지고 있음을 알 수 있다. 또한 초여름 밤 한강이 상대적으로 2K 높은 온도를 보이고 있다. 그림 6.(b)는 서풍이 불어오는 경우 DR지역의 도메

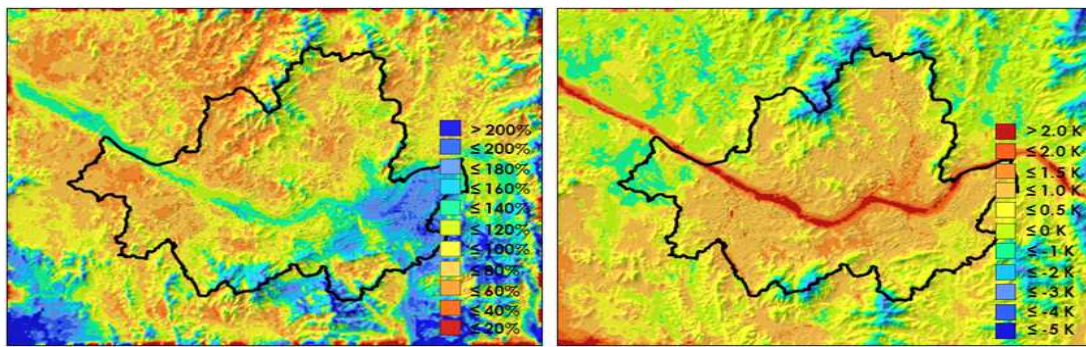


FIGURE 6.(a) Relative wind velocity (left) and temperature deviation (right) was computed based on the spatial mean of the domain by the MetPhoMod simulation for the west wind case in SR during night (20:00–08:00)



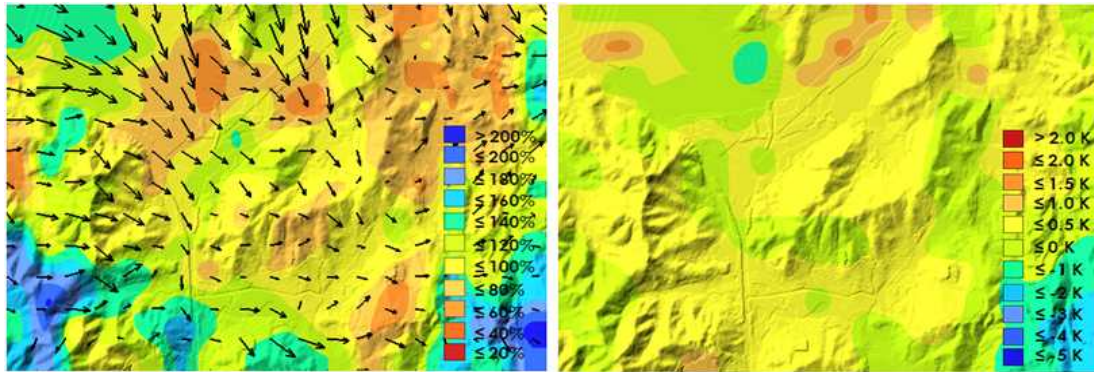


FIGURE 6.(b) Relative wind velocity (left) and temperature deviation (right) was computed based on the spatial mean of the domain by the MetPhoMod simulation for the west wind case in DR during night (20:00–08:00)

인 평균에 대한 상대풍속과 상대기온을 나타낸 것인데, 서울외곽에서 불어오는 바람이 지형에 따라 흐르며 높은 지형 후면에서 풍속이 약해지는 것을 알 수 있다. 상대기온의 경우 지형고도 보다는 토지공간유형에 따라 도시영역에서 더 높은 기온이 나타났다.

### 3. 바람 흐름 분석 결과

#### 1) 찬공기 정체 지역

이동하는 찬 공기는 일반적으로 오염물질이나 열부하를 감소시키는 긍정적인 작용을 하는 반면, 정체하거나 매우 느리게 흐르는 찬 공기는 대기질이나 열역학적 관점에서 부정적인 영향을 준다. 지형 및 건물에 의해 차고 신선한 공기가 정체되는 지역은 서리 및 안개가 발생할 가능성이 높고 대기오염이 심화될 수 있으므로 서리에 민감한 농작물 재배나 주거지를 건설할 경우에 주의가 요구되는 지역이다. 본 연구에서는 서울지역을 대상으로 찬공기 정체

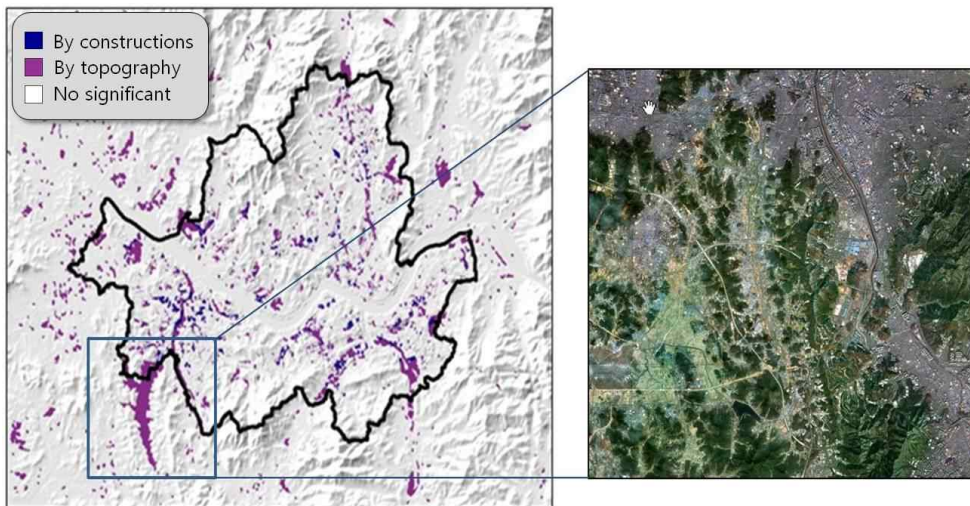


FIGURE 7. Analysis map of cold air stagnation (map source: google)

지역을 정체(정체가 되지 않는 지역(no significant)), 지형에 의해 정체되는 지역(induced by topograph), 지형과 건물에 의해 정체되는 지역(induced by constructions)으로 구분하여 분석하였다(그림 7 및 표 5). 그 결과 지형만에 의해 정체되는 곳보다는, 서울 남서쪽의 외곽지역에서 나타나는 것처럼 하천과 그 하천을 따라 주거지가 형성되어 지형과 건축물에 의해 정체되는 곳이 더 많음을 알 수 있다. 그림 7의 오른쪽 영상을 보면 이러한 하천 주변 주거지에 의한 찬공기 정체지역이 CAS에서 잘 분석되고 있음을 알 수 있다.

TABLE 5. Classes for the cold air stagnation

Intensity Class	Standard
No significant	Hollow depth < 2m, Height of building < 2m
By topography	Hollow depth ≥ 2m, Height of building < 2m
By construction	Height of building ≥ 2m

2) 도시의 지표면 마찰과 열적효과에 따른 난류 분석

지면 근처에서의 바람은 지표면의 마찰에 의해 바람 속도가 줄어드는 등 지형과 도시구조에 의해 영향을 받는다. 특히, 지표면의 토지이용에 따라 지형의 물리적인 영향을 받는 곳이 있는가 하면, 도시의 열적 영향을 받는 곳도 있다. 본 연구에서는 CAS를 이용해서 이러한 지표면의 영향을 지표면의 영향이 적은 지역(weak), 지표면의 물리적인 영향을 받는 지역(mechanically), 지표면의 물리적인 영향 및 개발지에 의한 열적인 영향을 받는 지역(urban)으로 구분하여 분석하였다(그림 8 및 표 6). SR 지역에 대한 분석 결과에 의하면, 건물이 위치해있는 서울의 대부분 지역과 서울의 서쪽 외곽 지역은 바람순환에 대해 물리적·열

적 영향을 모두 받는 지역으로, 북한산 및 관악산 등 산악지역인 서울의 북쪽·동쪽·남쪽은 지표면의 물리적인 영향만을 받는 지역으로 분석되었다. 한강과 농경지가 위치한 서울 서쪽 외곽 지역은 지표 근처 오염물질 확산에 영향을 주는 난류에 대한 지표면의 영향이 낮은 것으로 분석되었다.

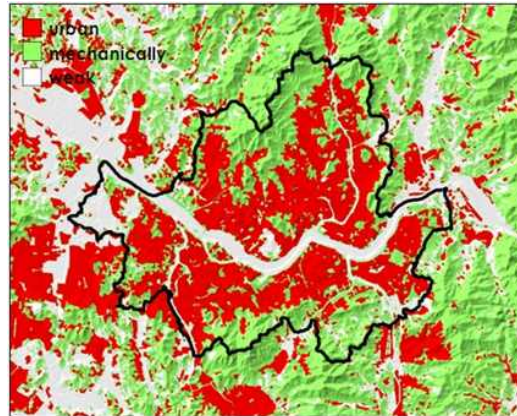


FIGURE 8. Analysis map of surface influence

TABLE 6. Classes for the surface influence

Intensity Class	Standard
Weak	Roughness length ≤ 0.5m Local heating ≤ 1.0K
Mechanically	Roughness length > 0.5m Local heating ≤ 1.0K
Urban	Roughness length > 0.5m Local heating >1.0K

3) 중규모 기상모델을 이용한 바람분석

중규모 기상 모델인 MetPhoMod 모의 결과를 이용해서 지표면 10m에서의 중규모 바람을 분석하였다(그림 9 및 표 7). 본 연구에서는 중규모 바람이 도메인 평균에 비해 상대적으로 약한 지역(weak MW), 보통인 지역(medium MW), 강한 지역(strong MW)의 세단계로 구분하였다. SR 도메인 상대풍속이 80%와

100% 사이의 값이면 medium MW, 평균풍속 100%보다 높은 값이면 strong MW, 80%보다 낮은 값이면 weak MW으로 표현되었다. 한강과 남동쪽 부분 및 한강 하류 부분과 남동쪽 외곽 부분에서 중규모 바람이 강하며, 그 외 대부분 서울 지역에서는 보통의 중규모 바람 특성을 나타내었다. 서울의 남쪽 부분에서는 약한 중규모 바람 특성을 보였다.

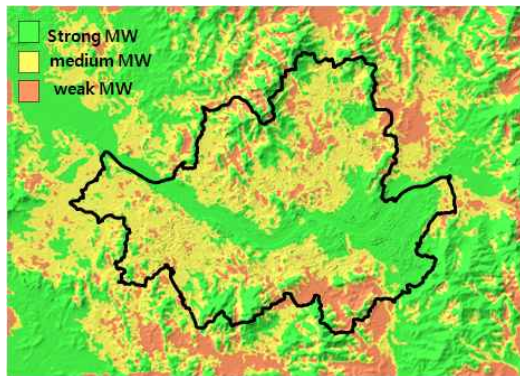


FIGURE 9. Analysis map of meso scale wind conditions

TABLE 7. Classes for the mesoscale wind conditions

Intensity Class	Standard
Weak	Relative velocity $\leq 80\%$
Medium	$80\% < \text{Relative velocity} \leq 100\%$
Strong	Relative velocity $\geq 100\%$

#### 4. 열환경 분석 결과

##### 1) 차고 신선한 공기 생성

지역적으로 발달되는 차고 신선한 공기는 바람이 약하고 대기가 안정된 맑은 날 밤에 지표면에서 복사열이 발산되어 지표냉각이 유도됨에 따라 발생하는 것으로, 이 과정에서 지표면에서의 온도가 상층 공기보다 낮은 상태가 유지되는 것을 일컫는다(Verein Deutscher Ingenieure, 2003). 야간의 지표면 복사과정

에서 발생하는 차고 신선한 공기는 기상학적 현상과 토지이용에 크게 의존한다(엄정희, 2010). 특히, 토지피복 종류에 따라 그 생성량이 달라지는데, 숲 등 수목이 많은 지역이 찬공기를 많이 생성하며, 논과 잔디밭 등 초지에서도 찬공기가 생성된다. 하지만 건물이 있는 개발지역이나 아스팔트 등 인공재료로 포장된 지역에서는 찬공기가 생성되지 않는다. 본 연구에서는 환경부 중규모 토지피복(2000년) 및 서울시 비오톱자료(2005년)로부터 구축한 LC type 중 TV와 VS유형을 이용하여 차고 신선한 공기 생성을 분석하였다. TV와 VS에서 생성되는 시간당 면적당 차고 신선한 공기의 양( $m^3 \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$ )은 다양한 문헌(Mosimann *et al.*, 1999)을 바탕으로 하였다. 그림 10은 대상지역에서 시간당 평방미터당 생성되는 찬공기의 양을 분석한 것이다. 이것은 앞에서 언급한 Fractional coverage(표 4)와 식 1에 의해서 계산된다. 분석 결과, 북한산 및 관악산이 위치한 서울의 북쪽과 남쪽 그리고 동쪽 지역에서 찬공기가 가장 많이 생성되며, 서울의 대부분 지역에서는 찬공기가 거의 생성되지 않는 것으로 나타났다. 서울 도심과 교외지역의 찬공기 생성량 차이는 5~6배 정도 차이가 나는 것으로 정량적으로 분석된다.

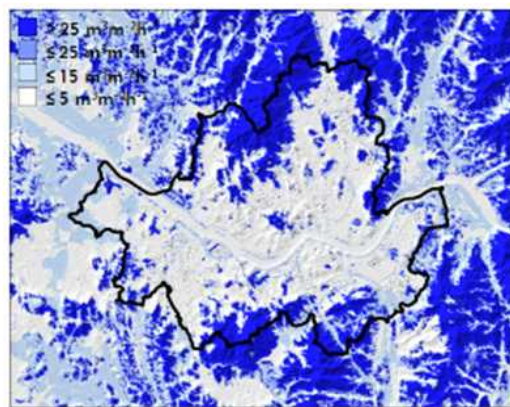


FIGURE 10. Analysis map of cold air production

2) 중규모 기온 분포 및 국지규모 기온분포

MetPhoMod에 의해 분석된 서풍 및 동풍 사례의 결과 중 일몰후인 20시부터 다음날 일출전인 오전 6시까지의 시간 평균과 주풍향에 따른 값을 평균하고 {지표온도의 시간 평균 값 + (지형높이에 따른 기온감율 - 273.15) - 지역평균 값}의 식에 의해 기온 분포지도가 생성된다(그림 11(a)). 이 지도는 모델 도메인 전체 평균에 대한 상대적인 기온을 나타내는데, 한강이 가장 높은 상대기온을 나타내며, 서울지역 대부분이 평균에 비해 높은 기온을 나타낸다. 북한산 및 관악산 등 산악지역에서는 평균보다 낮은 기온을 나타낸다.

분석된 중규모 기온 분포와 함께 CAS를 이용해서 도시의 토지이용에 따른 국지규모 기온 편차의 분포를 분석하였다(그림 11(b)). 건축물의 높이 및 부피에 따른 열용량 정보를 분석하여 계산(식 2)된 결과, SR의 국지규모 기온 편차의 분포를 보면 서울과 서쪽 외곽의 개발 지역은 평균보다 5K 이상 높은 기온이 나타남을 알 수 있다.

$$\text{기온편차} = \frac{0.16 \times \text{건물높이}}{\sqrt{\text{건물이 차지하는 비율}}} \quad (\text{식 } 2)$$

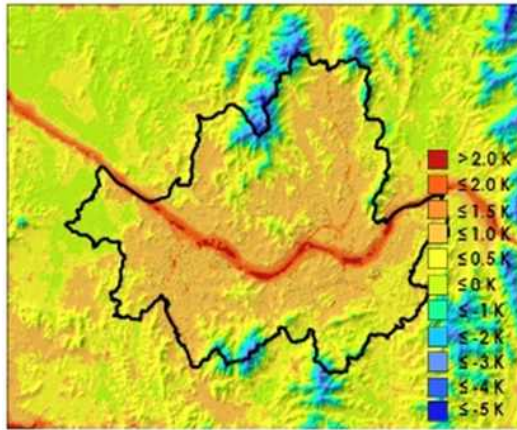


FIGURE 11.(a) Meso-scale air temperature deviation

3) 종합 기온 분포

앞에서 분석된 찬공기 생성, 중규모 및 국지규모 기온분포자료를 이용하여 종합적인 기온 분포를 분석하였다(그림 12). 종합적 기온분포는 다른 열환경 분석자료와 마찬가지로 전체평균에 대한 상대적인 기온을 나타낸다. 분석 결과, 서울 지역에서는 국지규모의 기온분포 영향으로 대부분 개발지역이 주변에 비해서 높은 온도를 나타내며, 산과 농경지가 위치한 서울 외곽지역에서는 평균에 비해서 낮은 온도를 가지고 있음을 알 수 있다. 도심과 외곽의 차가 크기는 10K 이상 차이가 난다. 이 지도를 이용하면 관심지역의 열적부하를 수치적으로 판단할 수 있다. 종합기온 분포도는 식 3에 의해 도출된다.

$$\begin{aligned} DATA = MD(\text{중규모 기온분포}) & \quad (\text{식 } 3) \\ + LD(\text{국지규모 기온분포}) & \\ + (\text{찬 공기 생성률} \times factor) & \end{aligned}$$

여기에서 factor는  $-1/10K$  로서  $10m^3 / (m^2 \cdot h)$ 을 의미한다.

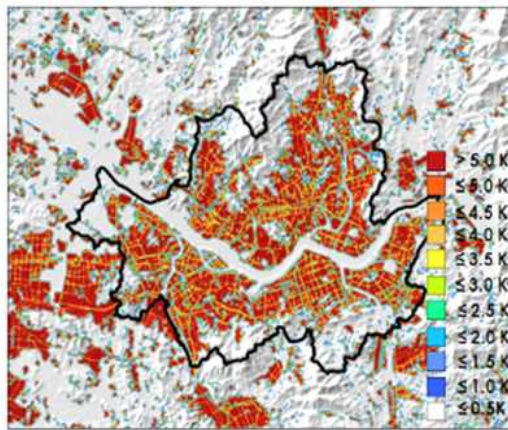


FIGURE 11.(b) Local-scale air temperature deviation

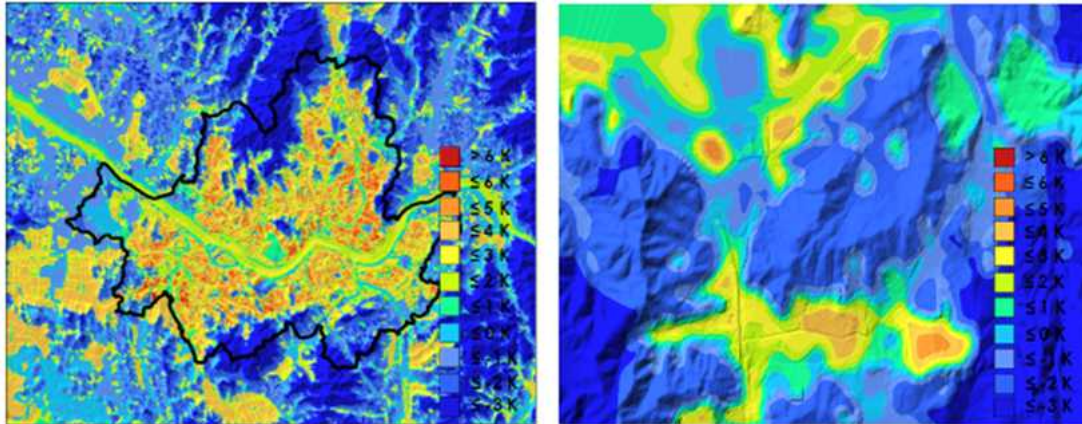


FIGURE 12. Total air temperature deviation of SR (left) and DR (right).

## 결론

본 연구에서는 도시 및 환경계획을 위한 서울지역 기후분석지도를 개발하였다. CAS의 분석대상지, 기본구조 및 입력자료 구축에 대해서 살펴보았고, 도출된 서울 지역의 다양한 기후 특성을 살펴보았다. 특히 MetPhoMod 수치기상 모의 결과는 지형의 피복과 기복에 의한 여름철 야간의 도시열섬<sup>1</sup> 특성을 잘 보여주고 있다. 지형과 토지이용에 따라 도시 기온과 주변 외곽의 기온이 5~6K 정도 차이가 나는 것으로 분석되었다. 또한 여름 밤 한강 주변 풍속은 평균보다 160%이상 강한 것으로 나타나, 도시안에서의 열섬발달을 줄여줄 수 있는 완충역할을 하고 있다는 것을 알 수 있다. 바람흐름 분석결과에서는 오염물질의 정체, 확산되는 지역과 지표면 마찰에 의한 난류발생이 분석되어 도시의 통풍과 환기상태의 분포를 알 수 있다. 열환경 분석결과에서는 찬공기 생성량과 함께 GIS 기반의 국지규모 기온분포와 기상모델 기반의 중규모 기온분포를 알 수 있다. 결과적으로 CAS는 도시기본계획 등에서 활용할 수 있는 서울전역에 대한 바람순환 및 열 환경과 함께 세부 지역을 대상으로 한 지구단위 계획과정에서 활용할 수 있는 고해상도의 기후분석 정보를 제공할 수 있었다.

본 연구는 고해상도 GIS database를 활용하여 지표면에서 발생하는 열에너지정보를 분석하고 대기에서 이루어지는 기상·기후학적 현상을 모의, 분석하여 이질적인 이 두 분석방법을 결합함으로써 기후분석지도를 도출한 새로운 시도라 할 수 있다.

하지만, CAS의 활용성을 더욱 높이기 위해서는 향후 다양한 각도에서의 분석과 평가가 필요하다. 예를 들어, 도시 재개발이나 댐건설 등 토지피복이나 도시구조의 변화가 예상되는 다양한 지역에 대해 CAS를 이용한 도시기후 분석과정을 수행·시험하고, 그 분석결과를 실제 관측자료를 통해 검증하는 과정이 반드시 이루어져야 할 것이다. 또한, 최신의 토지피복 정보를 반영하기 위해서 정밀도와 정확도가 높은 1m 해상도 항공 LiDAR 자료를 기반으로 하여 입력자료를 구축함으로써 도시내 건물 사이의 바람 정체와 흐름을 파악하는 것도 시도될 수 있을 것이다. 앞으로 CAS의 분석결과를 도시계획 업무에 활용하기 위해서는 사용자가 친숙하게 접근할 수 있는 포맷으로 결과물을 제공하는 한편, 사용자의 운용능력을 향상시키는 지원환경이 개발되어야 할 것이다.

실무적 도시계획 및 환경계획 관점에서 CAS가 제공하는 기후분석 정보는 이에 대한 평가와 지속적인 개선이 이루어진다면, 기상분석에

대한 수요가 계속 증가하고 있는 도시계획분야에서 도시기후를 반영하는 유용한 자료로 사용될 것이다, 나아가 기후변화 시나리오와 도시개발계획 시나리오에 따른 도시기후 영향 분석 및 쾌적한 도시를 위한 계획의 방향 제시 등 다양한 연구에 활용될 것으로 기대한다. **KAGIS**

## 주

1) 도시열섬(UHI: Urban Heat Island)현상 : 도시 기온이 주변 외곽 또는 시골지역의 기온보다 더 높은 인공 열섬이 되는 현상. 이런 현상은 도시의 건축물, 돌표면, 아스팔트, 콘크리트 등이 태양열을 흡수해 저장했다가 주변의 공기 중으로 방출하기 때문이다.

## 참고 문헌

김경태, 이우성, 정성관, 박경훈. 2010. 친환경적 공간계획을 위한 도시의 열환경 분석. 한국지리정보학회지 13(1):142-154.

변혜선, 송영배, 한봉호. 2009. 도시녹지와 도시기후를 고려한 토지이용계획 기법. 대한국토·도시계획 학회지 44(4):37-50.

송봉근, 박경훈. 2010. 기후생태적 기능을 고려한 찬공기 생성지역 분석. 한국지리정보학회지 13(1):114-127.

엄정희. 2010. 용산미군기지 지역의 기후정보 구축 및 계획적 활용에 관한 연구. 대한국토·도시계획 학회지 45(1):185-198.

엄정희. Johann Koppel, Dieter Scherer, Ute Fehrenbach. 2008. 공간계획에서 도시 기후정보의 활용 방안. 대한국토·도시계획 학회 정기학술대회 논문집. 733-740쪽.

Eum, J.H. 2008. Integration of climate information into spatial planning in Seoul, South Korea. Dissertation, Technische Universität Berlin.

Mosimann, T., T. Frey, P. Trute. 1999. Schutzgut Klima/Luft in der Landschaftsplanung. Informationsdienst Naturschutz Niedersachsen 19(4):201-276.

Parlow, E., D. Scherer and U. Fehrenbach. 2006. Regionale Klimaanalyse der Region Sudlicher Oberrhein(REKLISO). Abschlussbericht. Sudlicher Oberrhein.

Perego, S. 1999. MetPhoMod, A numerical mesoscale model for simulation of regional photosmog in complex terrain: model description and application during Pollumet 1393(Switzerland). Meteorological and Atmospheric Physics. 70:43-69.

Scherer, D., U. Fehrenbach and E. Parlow. (In press) Klimaanalyse der Stadt Zurich(KLAZ).

Verein Deutscher Ingenieure. 2003. Umweltmeteorologie: Lokale Kaltluft. VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band1b. Düsseldorf: Beuth Verlag.

**KAGIS**