

서울 건물정보 자료를 활용한 UM 기반의 도시캐노피 모델 입력자료 구축 및 평가

김도형* · 홍선옥 · 변재영 · 박향숙 · 하종철
국립기상과학원 응용기상연구과

(접수일: 2019년 7월 12일, 수정일: 2019년 8월 29일, 게재확정일: 2019년 9월 24일)

Development and Evaluation of Urban Canopy Model Based on Unified Model Input Data Using Urban Building Information Data in Seoul

Do-Hyoung Kim*, Seon-Ok Hong, Jae-Yong Byon, HyangSuk Park, and Jong-Chul Ha

Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Sciences, Jeju, Korea

(Manuscript received 12 July 2019; revised 29 August 2019; accepted 24 September 2019)

Abstract The purpose of this study is to build urban canopy model (Met Office Reading Urban Surface Exchange Scheme, MORUSES) based to Unified Model (UM) by using urban building information data in Seoul, and then to compare the improving urban canopy model simulation result with that of Seoul Automatic Weather Station (AWS) observation site data. UM-MORUSES is based on building information database in London, we performed a sensitivity experiment of UM-MORUSES model using urban building information database in Seoul. Geographic Information System (GIS) analysis of 1.5 km resolution Seoul building data is applied instead of London building information data. Frontal-area index and planar-area index of Seoul are used to calculate building height. The height of the highest building in Seoul is 40m, showing high in Yeoido-gu, Gangnam-gu and Jamsil-gu areas. The street aspect ratio is high in Gangnam-gu, and the repetition rate of buildings is lower in Eunpyeong-gu and Gangbuk-gu. UM-MORUSES model is improved to consider the building geometry parameter in Seoul. It is noticed that the Root Mean Square Error (RMSE) of wind speed is decreases from 0.8 to 0.6 m s⁻¹ by 25 number AWS in Seoul. The surface air temperature forecast tends to underestimate in pre-improvement model, while it is improved at night time by UM-MORUSES model. This study shows that the post-improvement UM-MORUSES model can provide detailed Seoul building information data and accurate surface air temperature and wind speed in urban region.

Key words: MORUSES, building height, planar-area index, frontal-area index

1. 서 론

지난 65년동안 전 세계적으로 도시화는 급격히 진행되었다. 현재 전세계 인구의 13%가 인구 1000만명 이상인 메가시티에 거주하며, 2030년까지 메가시티의

숫자는 41개로 증가할 것으로 예측된다(Liang et al., 2018). 도시는 주거시설, 산업시설, 도심 녹지와 같이 교외 지역과는 다른 복잡한 지표 특성을 가지고 있다. 도시의 복잡한 지표이용도는 국지적인 도시 기후에 직간접적으로 영향을 미치며, 도시열섬과 같은 도시 기후 특성에 의해 기상 재해는 더욱 증가한다(Li and Bou-Zeid, 2013). 또한 도시 내 건물로 인해 태양복사 흡수와 열 저장력, 증발률이 변함에 따라 공기의 흐름, 기온, 지면온도, 거칠기 길이, 증발산 등 상당한 변화가 일어난다. 이러한 도시의 특성을 분석하기 위해 기

*Corresponding Author: Do-Hyoung Kim, Applied Meteorology Research Division, National Institute of Meteorological Sciences, Korea Meteorological Administration, 33, Seohobuk-ro, Seogwipo-si, Jeju-do 63568, Korea.
Phone : +82-64-780-6769, Fax: +82-64-738-6515
E-mail: kdhsnic@korea.kr

존의 종관 관측 자료보다 고해상도의 관측망과 빌딩, 인공열, 바람길과 같이 도시만의 인위적인 요인을 고려할 수 있는 모델 분석이 필요하다. 그러나 현재의 가장 조밀한 관측 자료는 기상청의 AWS 관측망으로 서울에서 대략 5 km 정도의 공간해상도를 가진다. 따라서 도시 기상의 특성을 분석하기 위해서는 1 km 격자 내외의 상세한 자료가 필요하기 때문에 수치모델에 의한 보다 상세한 도시기상 정보의 제공이 요구된다.

도시 특성을 반영할 수 있는 수치모델 중의 하나는 중규모 수치모델에 결합되어 있는 도시캐노피모델(Urban Canopy Model, UCM)이다. 중규모 수치모델에 결합된 UCM은 도시 지면의 특성을 반영하여 도시의 복잡한 물리과정을 구현 할 수 있다. 또한 도시 구조를 도로와 양쪽 건물이 존재하는 협곡의 형태로 고려하며, 이와 관련된 많은 연구들이 수행되고 있다(Masson, 2000; Kusaka et al., 2001; Lee and Park, 2008; Oleson et al., 2008; Byon et al., 2010; Porson et al., 2010; Chen et al., 2011; Varquez et al., 2015). Masson (2000)과 Kusaka et al. (2001)은 도시 협곡에서 태양 방위각의 일변화를 포함하여 복사 현상이 고려된다. 협곡 내에서 그림자 효과 및 복사 재반사를 계산하여 빌딩의 옥상, 벽면 도로에 대한 표면온도, 각종 플럭스(현열, 잠열, 운동량), 기온 및 바람의 연직 프로파일을 추정하고 검증하였다. Byon et al. (2010)은 중규모 수치모델인 WRF (Weather Research Forecasting)와 결합된 단일 층 도시캐노피모델을 이용하여 지면 피복 정보 개선시 기온 모의가 향상되는 결과를 보였다. Varquez et al. (2015)는 고밀도 건물자료를 이용하여 도쿄지역의 건물 높이, 거칠기 길이, 영면 변위를 계산하였다. 또한 WRF 모델에 적용하여 해륙풍 CASS에 대한 민감도 실험을 진행하였다. 현재 기상청의 국지예보모델(Local Data Assimilation and Prediction System, LDAPS)은 영국 기상청에서 개발된 Unified Model (UM)에 기반으로 UCM 과정이 포함되어 있지 않다. 하지만 UM 10.1 버전에서는 사용자의 필요에 따라 영국 레딩 대학에서 개발된 MORUSES (Met Office Reading Urban Surface Exchange Scheme)가 옵션으로 사용 가능하다. Bohnenstengel et al. (2011)에서는 런던의 건물 정보(건물 높이, 평면적지수, 앞면적지수)를 MORUSES 모델에 적용하여 기온에 대한 관측자료와 비교검증을 진행하였다. 런던 관측자료와 온도 비교 했을 때, 1~2 K 이내로 나타났으며 런던 도심에 온도가 최대 5 K로 증가하였다. 특히, 야간 시간 때에 기온 모의가 개선되었다.

도시캐노피모델은 도시 건물, 인공열, 열전도도와 같이 도시의 특성에 대한 반영이 가능하다. 모델 예측의 정확도 향상을 위해서는 모의 영역의 도시에 대한 정확한 도시정보 입력이 필요하다. 현재 국립기상

과학원 응용기상연구과에 구축된 UM-MORUSES 모델의 도시정보는 런던을 기준으로 한 건물정보로 여러 도시 매개변수가 계산된다. 따라서 본 연구에서는 우리나라 도시정보 입력을 위하여 서울의 건물 정보를 UM-MORUSES 모델에 입력하는 체계를 구축하고 지상 기온 및 풍속을 대상으로 개선 전과 후에 대한 UM-MORUSES 모델을 평가하고자 한다.

2. 연구 방법

2.1 모델 개요

본 실험에 사용된 수치모델은 UM 10.1 버전이며, 수평과 연직 격자체계는 각각 Arakawa C-grid와 Charney-Philips 체계를 사용한다(Davies et al., 2005). 수평해상도는 1.5 km이고, 연직층은 70개이다. 지표에 가까운 수평 연직층의 간격이 조밀하고 연직 1 km 이하에서는 16개 층이 존재한다. UM에 사용되는 물리모수화과정은 미세물리과정(Large-Scale Precipitation), 경계층물리과정(Boundary-Layer Mixing), 복사물리과정(Spectral Band Radiation), 지면물리과정(JULES Land-Surface Scheme), 중력파항력과중력(Gravity Wave Drag Due to Orography)이 있다(Edwards and Slingo, 1996; Wilson and Ballard, 1999; Lock et al., 2000; Webster et al., 2003; Best et al. 2011). 차분방식은 유한차분법(Finite Difference), 시간적분 방법은 반암시 라그랑지방법(Semi-Implicit Semi-Lagrangian)을 사용하였다. UM의 초기장과 경계자료는 전구예보모델(Global Data Assimilation and Prediction System, GDAPS) 자료를 사용하였다.

UM과 결합된 JULES (Joint U.K. Land Environment Simulator) 지면모델은 UM의 지면에너지교환과정을 모의한다. JULES는 한 격자 내의 총 9가지 피복을 표현할 수 있는 모자이크 기법을 활용하여, 각각의 격자마다 토지피복(Surface Type)을 활엽수(Broad Leaf Trees), 침엽수(Needle Leaf Trees), C3 초지(C3 Grass), C4 초지(C4 Grass), 관목(Shrubs)의 5가지 식생 지표와 도시(Urban), 내륙수(Inland Water), 나지(Bare Soil), 내륙빙(Land Ice)의 4가지 비식생 지표로 분류하여 나타낸다. 현재 기상청 현업으로 운영하고 있는 JULES 지면모델의 도시 모수화 방법은 Best Scheme으로 도시의 지표를 단순한 판(Slab)으로 기본적인 형태를 나타내며, 도시 특성의 매개변수를 상수로 적용한다(Best et al., 2011). 그러나 MORUSES는 도시를 협곡과 지붕 두가지 타일로 세분화 하고 도시의 방출률, 알베도, 열용량, 거칠기 길이를 직접적으로 계산하여 적용한다. MORUSES는 도시지역을 길고 평행한 건물과 건물사이의 도로 협곡으로 이루어진 2차원 구조가 반복적으로 구성되는 형태로서, 기존 UM에서 3가지의

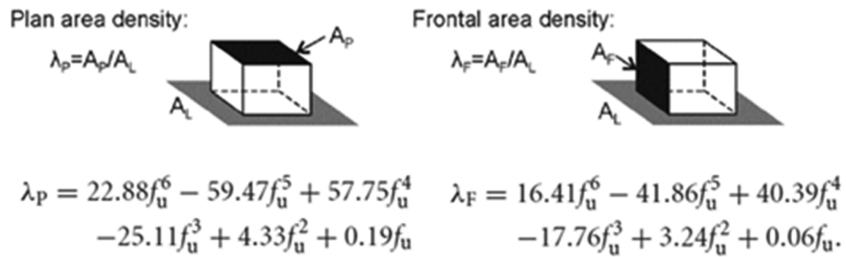


Fig. 1. Schematics and an empirical fitting function for London and of plan area density and frontal area density (Bohnenstengel et al., 2011).

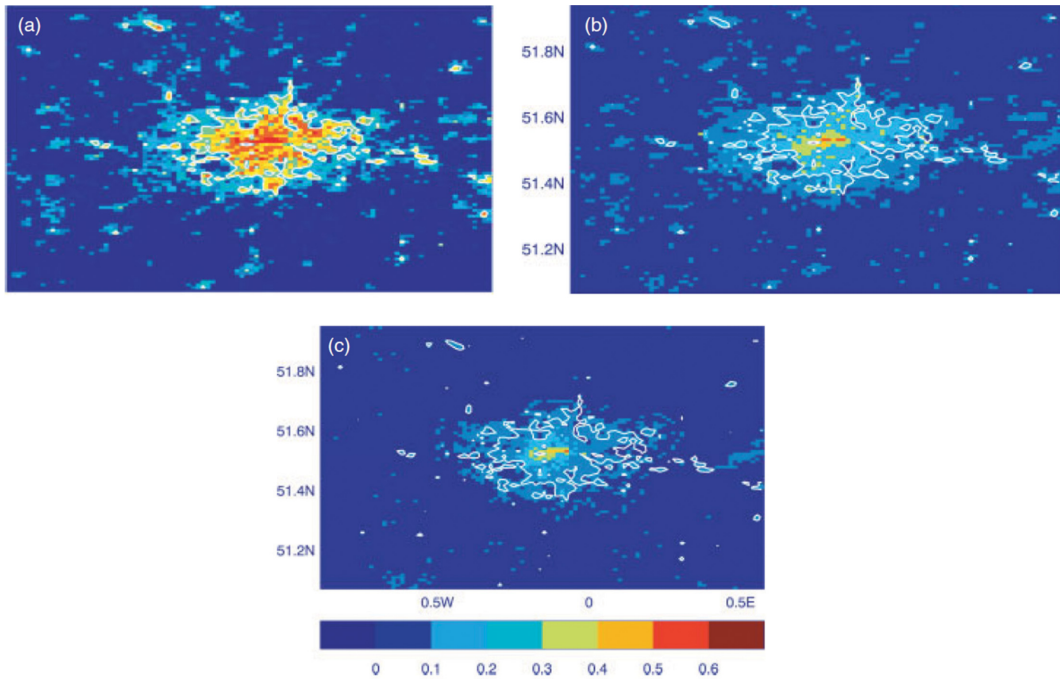


Fig. 2. The urban input parameters for the 1 km model domain: (a) urban land-use fraction, (b) planar-area index and (c) frontal-area index for 270° wind direction. The white line indicates urban fractions of 0.5 and higher (Bohnenstengel et al., 2011).

도시형태변수(Urban morphological parameters)인 건물 높이(Average building height, H), 협곡의 외관비(Street canyon aspect ratio, H/W), 그리고 건물의 반복비(Roof-canyon fraction, W/R)가 기초자료(Ancillary data)로 추가된다. 여기서 2차원 도로 협곡의 변수들은 건물의 높이(H)와 도로의 폭(W), 건물과 도로 폭의 합(R)을 나타내며, 건물 외관비와 반복비는 건물의 평면적지수(λ_p)와 앞면적지수(λ_f)의 함수로 다음과 같이 계산된다(Porson et al., 2010).

$$\frac{W}{R} = 1 - \lambda_p \tag{1}$$

$$\frac{H}{W} = \frac{\pi}{2} \lambda_f \frac{R}{W} \tag{2}$$

Figure 1과 같이 건물을 포함하고 있는 필지(A_i), 건물 평면적(A_p), 건물 옆면적(A_f)을 이용하여 필지와 평면적 비율을 평면적지수(λ_p), 필지와 앞면적과 비율을 앞면적 지수(λ_f)로 정의한다. Porson et al. (2010)에서는 MORUSES모델의 전체 도메인에 도시형태변수를 상수로 적용 하였으나, 이후 Bohnstengel et al. (2011)이 런던 지역을 대상으로 한 평면적지수(λ_p), 앞면적지수(λ_f), 건물높이(H)와 해당 격자 내 도시지표의 비율(f_u , urban land-use fraction)간의 경험식을 제

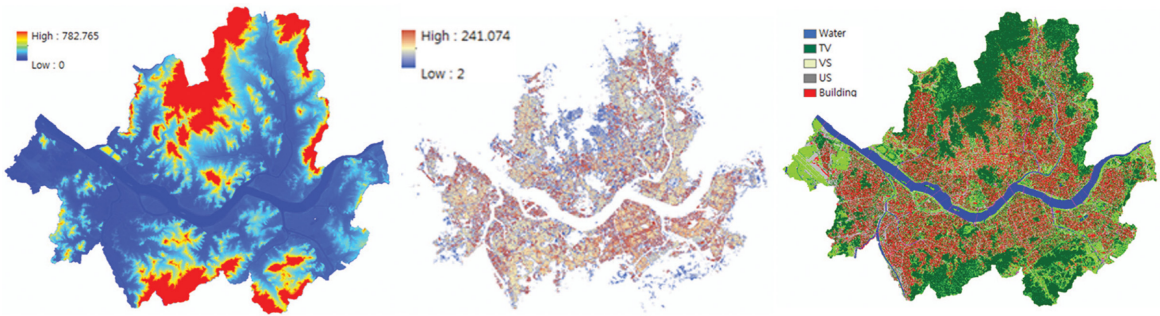


Fig. 3. The 5 m resolution of DEM (Digital Elevation Model), DBM (Digital Building Model) and LC (land Cover) data in area of Seoul (NIMR, 2014).

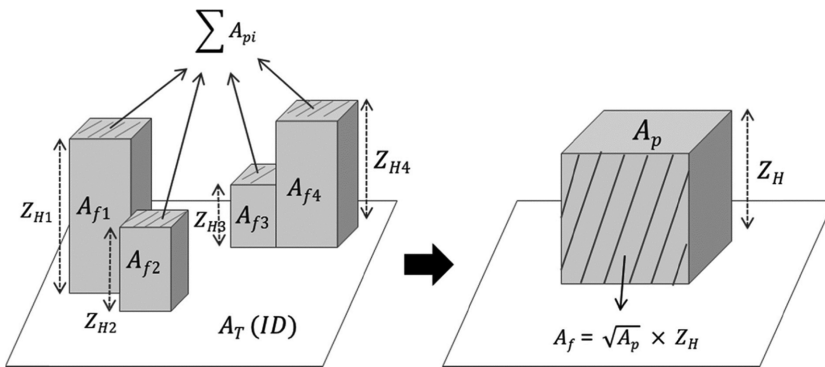


Fig. 4. Schematic description of one building block in lot area by transforming irregular building group into one rectangular building (Yi et al., 2015).

시하였고 그 식은 다음과 같다.

$$\lambda_p = 22.88f_u^6 - 59.47f_u^5 + 57.75f_u^4 - 25.11f_u^3 + 4.33f_u^2 + 0.19f_u \quad (3)$$

$$\lambda_f = 16.41f_u^6 - 41.86f_u^5 + 40.39f_u^4 - 17.76f_u^3 + 3.24f_u^2 + 0.06f_u \quad (4)$$

$$H = 167.41f_u^5 - 337.85f_u^4 + 247.81f_u^3 - 76.37f_u^2 + 11.48f_u + 4.48 \quad (5)$$

런던 지역을 대상으로 한 경험식은 런던의 3D 모델(Virtual London Model)의 독립된 건물 정보를 활용하여 직접 계산된 도시형태변수와 JULES에 사용되는 토지피복정보 중 도시지표비율을 이용하였다. Figure 2는 런던의 도시지표비율, 평면적지수, 앞면적지수에 대한 공간분포를 나타낸다. 런던 중심의 도시지표비율이 높고 외곽으로 갈수록 낮게 나타나는 형태가 나타난다. 평면적지수(λ_p)와 앞면적지수(λ_f)도 같은 분포를 나타내며, 평면적 지수의 경우에는 런던 중심부에 최고 약 0.6까지 나타나고 있다.

2.2 서울 건물정보 구축

통합모델 기반의 도시캐노피모델(UM-MORUSES)에서는 런던지역의 건물정보를 이용하여 도시형태변수가 계산된다. 기존에 구축되어 있는 건물정보를 서울지역의 건물정보로 바꿔 적용하기 위해 지리정보시스템(Geographic Information System, GIS)을 이용하였다. 여기서 사용된 GIS 자료는 국립기상과학원에서 구축된 도시기후분석용 고해상도 도시건물 및 지면자료를 사용하였다(NIMR, 2014). 이 자료는 항공 LiDAR 자료를 이용하여 5 m 수평해상도의 DEM (Digital Elevation Model), DBM (Digital Building Model), LC (Land Cover) 자료를 2014년도에 생산하고 구축하였다(Fig. 3). 건물 자료와 토지피복자료를 이용하여 건물의 평면적지수(λ_p)와 앞면적지수(λ_f), 평균높이(H)를 산출하였다. DBM은 건물과 지형을 포함하고 있기 때문에 레이어 자료에서 DEM에 있는 지형 자료를 제외함으로써, 순수한 건물자료만 추출하였다. 또한 건물을 포함하고 있는 필지(A_T)를 계산하기 위해 LC에서 빌딩과 도로자료만 추출하였다.

서울지역에 대한 건물의 평면적지수(λ_p)와 앞면적지

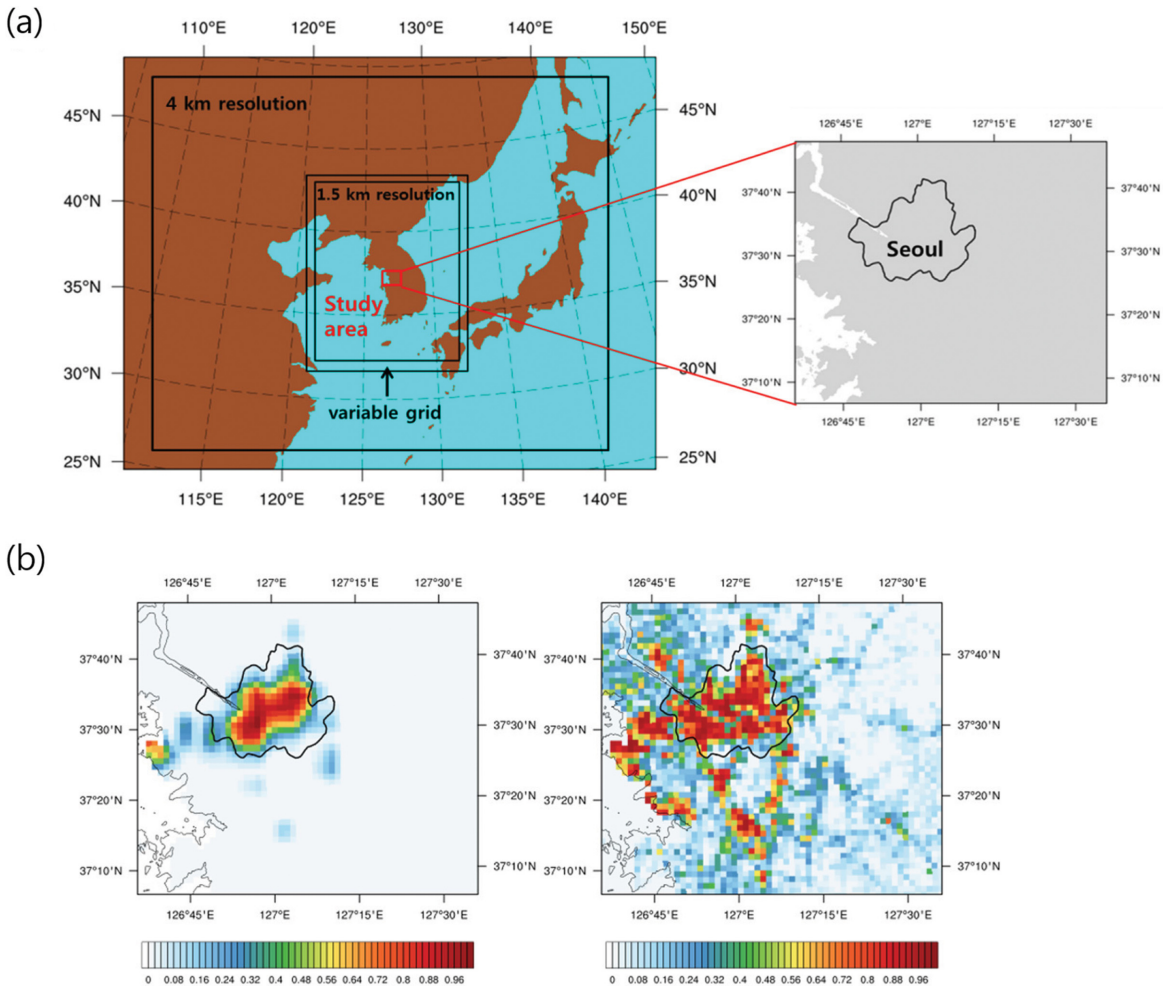


Fig. 5. (a) UM-MORUSES model domain, and (b) the urban fraction value change using EGIS Land cover data.

수(λ_p)을 계산하기 위해 Yi et al. (2015)에서 제안한 산출 방법을 사용하였다. Figure 4와 같이 각 필지(A_T)에 포함되어 있는 건물의 형태를 단일 건물로 가정한다. 필지(A_T)는 LC 자료 중에 건물과 도로를 포함한 격자 형태로 구성하였다. 각 격자의 모든 건물들의 평면적을 합하여 A_p 를 산출하였다. 앞면적은 A_p 를 이용하여 한 변의 길이와 건물들의 평균 높이(H)의 곱으로 앞면적을 계산하여 A_f 를 산출하였다. 필지에 대한 평면적과 앞면적의 비율로 식(6)과 (7)와 같이 평면적지수(λ_p)와 앞면적지수(λ_f)를 산출하였다. 또한 산출과정에서 필지(A_T) 내에 건물의 격자수가 5% 미만일 경우 필지와 건물 포인트를 제외하였다.

$$\lambda_p = A_p / A_T \quad (6)$$

$$\lambda_f = (\sqrt{A_p} \times Z_H) / A_T \quad (7)$$

서울지역의 5 m 해상도에서 가공된 건물의 평면적지수(λ_p)와 앞면적지수(λ_f), 건물 높이(H) 자료를 500 m 해상도의 격자(Raster) 자료로 변환해서 2차원 서울 건물정보 데이터베이스를 구축하였다.

2.3 실험 설계

UM-MORUSES 모델에 서울 도시정보를 가공하여 서울에 대한 도시형태변수를 적용하고 도시형태변수의 변화에 따른 민감도 실험을 진행하였다. 실험 영역은 한반도 영역으로 LDAPS와 동일하다(Fig. 5a). UM-MORUSES 모델에 사용되는 토지피복 자료는 Hong et al. (2018)이 사용한 방법으로 적용하였다. UM에서 적용된 토지피복자료는 IGBP (International Geosphere-Biosphere Programme)이며, 1993년에 제작되어 전지구 영역에 대해 1 km 해상도를 가진다. IGBP

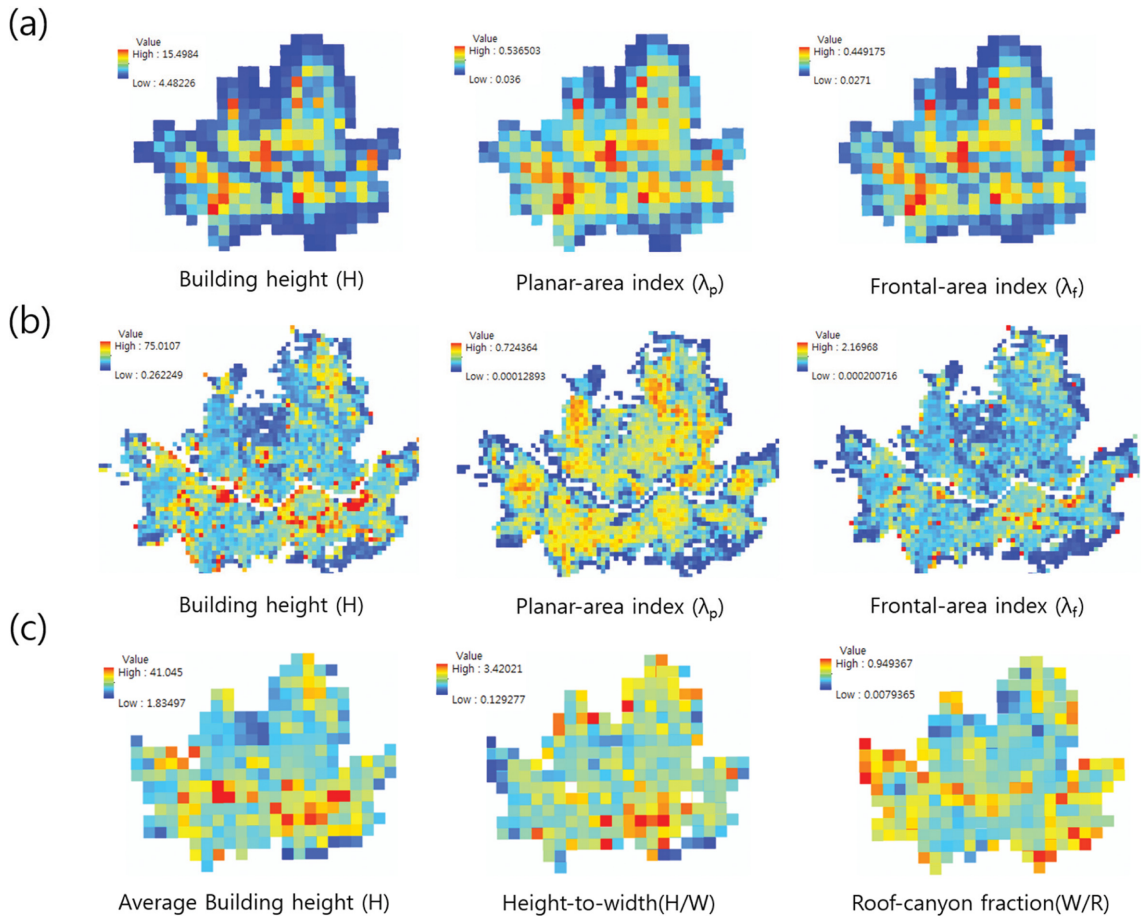


Fig. 6. The spatial distribution shows urban geometric variables (a) an empirical fitting function London and (b) the building information data in area of Seoul. (c) The input data of UM-MORUSES for average building height, height-to-width and roof-canyon fraction in area of Seoul.

는 한반도의 대부분을 사바나(savanna)로 분류하고 급격히 변화된 도시피복을 제대로 반영 하지 못하고 있다. 따라서 우리나라 환경부에서 제공하는 EGIS (Environmental Geographic Information Service) 자료로 변경된 토지피복자료를 사용하였다. EGIS 토지피복자료에 의해 수정된 서울의 도시지표비율은 Fig. 5b에 나타낸다.

UM-MORUSES 모델의 도시형태변수에 변화에 따른 비교실험을 위해서 기본적으로 사용중인 런던 경험식을 표준실험(CTL)과 2차원 서울 건물정보 데이터베이스를 적용한 실험(EXP)으로 구성하였다. 실험기간은 UM-MORUSES 모델에서 건물정보 변화가 기상 기온에 미치는 효과를 보기 위해 강수가 없고 운량과 풍속이 낮은 2017년 6월 18일부터 24일까지 선정하였다. 서울의 첫 폭염 사례로 2017년 6월 18일

0000 UTC 시부터 25일 1200 UTC까지 수치모의를 수행하였다. 관측자료와 비교분석을 위해 서울 25개 AWS 지점에 대한 기상 기온 및 풍속 자료를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 모델입력자료 비교분석

Figure 6a는 표준실험(CTL)에 적용된 도시형태변수에 대한 서울지역 공간 분포이다. 런던 경험식을 적용한 서울의 건물 높이는 최고 15m로 서울시청 주변 종로구, 구로 및 동작구가 높게 분포되어 있다. 평면적지수(λ_p)와 앞면적지수(λ_f)는 각각 최고 값이 약 0.5, 0.4으로 나타난다. 도시지표비율에 따른 런던 경험식을 사용하였기 때문에 도시 형태변수들의 공간

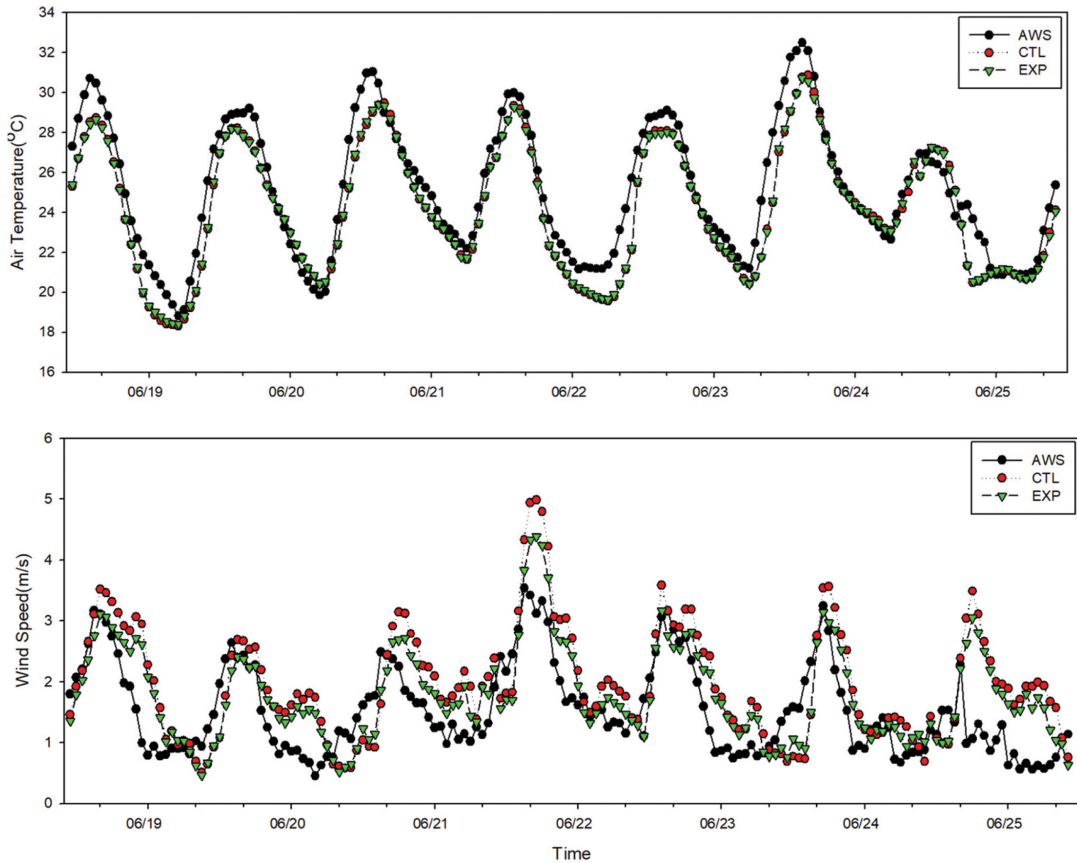


Fig. 7. Time series of temperature (upper) and wind speed (lower) at averaged 25 number AWS sites from 18 to 24 June, 2017 (black: AWS, red: CTL, green: EXP).

분포 패턴이 비슷하게 나타난다.

Figure 6b는 2차원 서울 건물정보로 구축한 서울지역 도시형태변수 공간분포이다. 런던 경험식과 달리 건물 높이의 공간 분포는 여의도, 강남, 잠실지역의 높은 공간 분포 값을 보이며 최고 약 75 m의 높이를 보이고 있다. 건물높이뿐만 아니라 평면적지수(λ_p)와 앞면적지수(λ_f)도 Fig. 6a 보다 높은 값을 나타냈다. 평면적지수(λ_p)는 건물 밀집도가 높은 은평구와 강북구가 높게 나타났으며, 토지피복도 자료에서 도로가 포함되었기 때문에 김포공항 주변도 높게 나타났다. 앞면적지수(λ_f)는 강남과 잠실쪽에 높게 나타났다.

Figure 6c는 EXP에 적용된 서울 도시형태변수의 공간분포이다. 500 m 해상도의 서울 건물정보 도시형태변수 자료를 1.5 km 해상도의 건물 평균높이(H), 건물 외관비(H/W), 건물 반복비(W/R)로 변환하였다. 서울지역 평균 최고 높이는 약 40m로 앞선 500 m 해상도의 건물높이 공간분포와 마찬가지로 여의도, 강남구, 잠실에서 높게 나타났다. 건물 외관비는 강남구와

서초구가 높게 분포한다. 건물 반복비는 은평구와 강북구가 낮게 분포한다. 건물 평면적 지수가 높은 은평구와 강북구는 건물높이가 낮고 조밀한 특성을 나타낸다.

3.2 모델 평가

CTL과 EXP실험에 대한 서울 25개 AWS 지점의 평균 기온과 풍속을 비교 검증하였다. Figure 7는 평균 기온과 풍속에 대해 시계열을 나타낸다. 기온의 경우, 전체적으로 관측 기온보다는 두 실험 모두 과소모의 하는 패턴이 나타난다. 특히 낮 시간 최고 기온에 대한 과소모의가 뚜렷하게 나타나며, 6월 19일과 6월 22일 새벽시간에 모델이 크게 과소모의 했다. 정확성을 정량적으로 평가하기 위해 CTL과 EXP 실험의 평균제곱근오차(Root Mean Square Error, RMSE)를 계산하였다. RMSE는 CTL 실험이 1.36°C, EXP 실험이 1.32°C이다. 건물입력자료 변화에 대한 RMSE가 뚜렷하게 큰 차이를 보이지 않고 있다. 풍속의 경우에는

20170618_018UTC

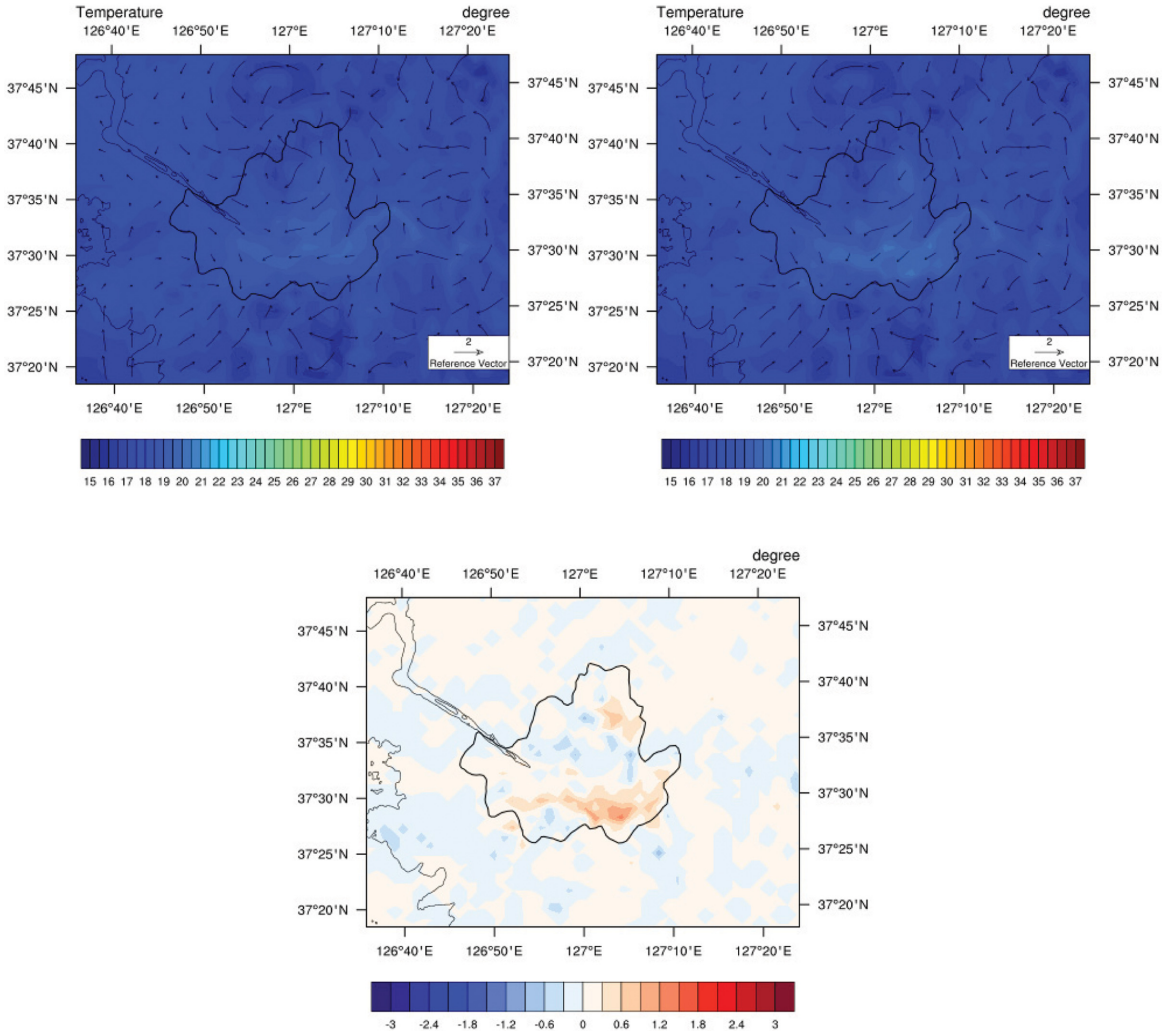


Fig. 8. The spatial distribution of air temperature over Seoul for difference of building information before and after the improvement at 1800 UTC on 18 July 2016.

전체적으로 관측 풍속보다 두 실험 모두 과대모의 하는 경향이 나타났다. RMSE는 각각 0.8 m s^{-1} 와 0.6 m s^{-1} 로 평균 풍속은 서울 도시정보로 인해 풍속 모의 정확도가 향상되었다. 런던 경험식보다 서울의 건물 높이가 높게 적용되었기 때문에 거칠기 길이가 증가하고 이에 따라 RMSE가 감소한 것으로 판단된다.

서울 지역의 건물입력자료 차이에 따른 지상 기온과 바람의 공간분포를 Fig. 8에서 나타낸다. 왼쪽 상단은 CTL 실험, 오른쪽 상단은 EXP 실험, 아래 그림은 두 실험에 기온의 차이를 나타낸다. CTL과 EXP의 입력자료 간에 차이가 큰 강남구의 경우에는 CTL

보다 EXP의 건물 높이가 약 25 m 증가하였고 앞면 적지수가 약 0.4, 노원구 지역의 평면적 지수는 약 0.3으로 증가하였다. 2017년 6월 18일 1800 UTC 기간에서 강남구 지역에서는 CTL은 풍향은 서풍으로 모의되었지만 EXP에서는 남서풍으로 변화하였다. 지상 기온은 강남구 지역과 노원구 지역에서 약 0.8°C 정도 CTL 보다 EXP의 기온이 상승하였다. 또한 강남구 지역에는 최고 약 1.2°C 로 야간에 기온이 증가하였다. 공간분포에서 기온변화가 큰 강남구 지역의 특성을 분석하기 위해서 강남지점과 송파지점에 대해 비교 검증하였다.

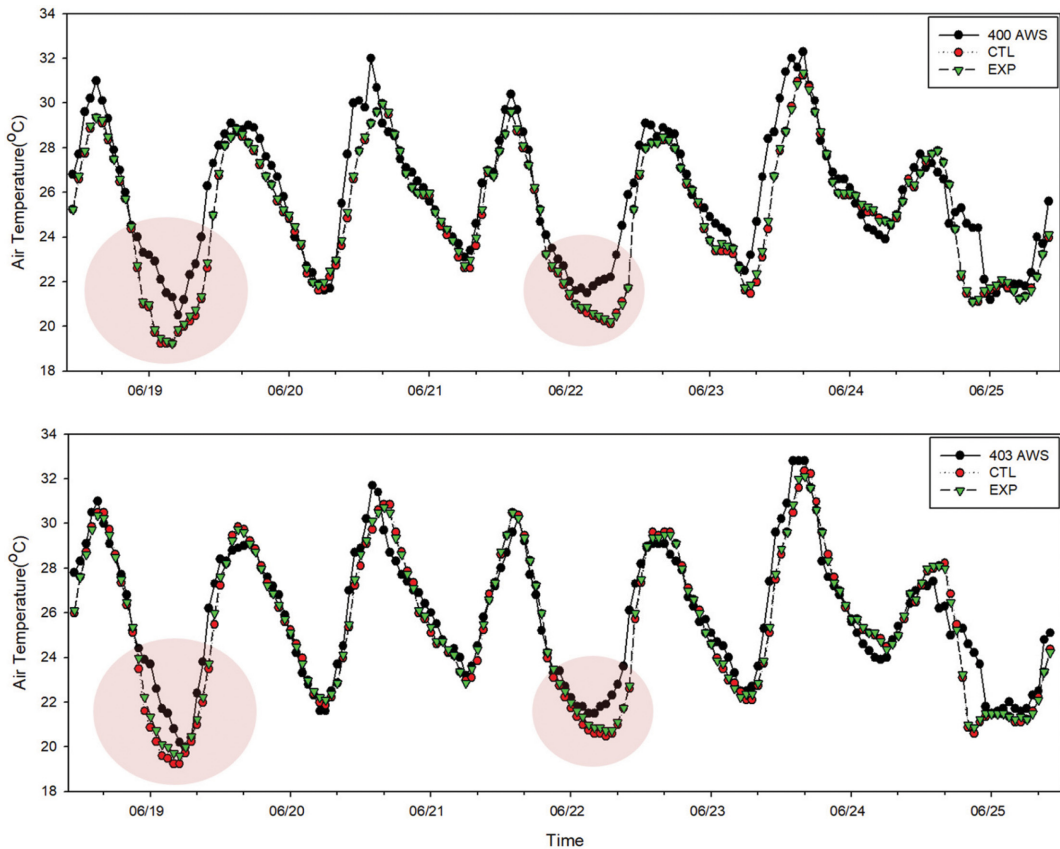


Fig. 9. Time series of temperature at 400 (upper) and 403 (lower) AWS sites from 18 to 24 June, 2017 (black: AWS, red: CTL, green: EXP).

Figure 9는 AWS 강남지점(400)과 송파지점(403)의 관측 기온에 대한 CTL과 EXP 실험 결과를 비교 분석하였다. 2017년 6월 19일, 6월 22일 새벽 시간에 EXP 실험이 기온 모의정확도가 향상된 것을 볼 수 있다. Porson et al. (2010)에서 건물 외관비가 커질수록 방출율이 증가하는 연구 결과에 따라 서울 도시형태변수로 적용하면서 CTL 실험보다 건물 높이가 높아졌기 때문에 강남과 송파 지점이 방출율이 증가하였다. 또한 건물 높이가 높아짐에 따라 야간에 복사 에너지가 빠져 나가지 못해 열용량이 증가되어 개선 전 수치모델 결과보다 야간에 온도가 상승한 것으로 판단된다.

Figure 10는 AWS 강남지점(400)과, 송파지점(403)의 관측 풍속에 대한 CTL과 EXP 실험 결과를 비교 분석하였다. 송파 지점의 풍속 RMSE는 각각 CTL 실험은 1.12 m s^{-1} , EXP 실험은 0.84 m s^{-1} 로 평균 풍속 분석보다 더 뚜렷하게 EXP 실험의 풍속 모의정확도가 향상된 것을 확인하였다. 그러나 강남 지점의 Bias

는 CTL이 0.51 m s^{-1} , EXP가 -0.56 m s^{-1} 로 EXP 실험이 과소모의하는 경향이 나타났다. 강남지점의 경우 도시형태변수의 지수가 너무 크게 적용되었기 때문에 거칠기 길이가 증가하여 풍속이 과소 모의한 것으로 판단된다.

4. 요약 및 결론

본 연구에서 사용된 UM 기반의 도시캐노피 모델은 영국 기상청 및 레딩 대학에서 개발된 MORUSES 모델이다. UM-MORUSES 모델에서는 도시건물이나 인공열과 같은 도시정보의 반영이 가능하다. 또한 모델에 입력 자료인 도시형태변수를 이용하여 도시의 방출률, 알베도, 열용량, 거칠기 길이를 직접적으로 계산이 가능하다. 현재 사용하고 UM-MORUSES 모델의 도시정보는 영국의 런던 기준으로 개발되어 적용되고 있다. 따라서 본 연구의 모델 영역 대상인 서울의 건물 정보를 UM-MORUSES 모델에 반영하였다.

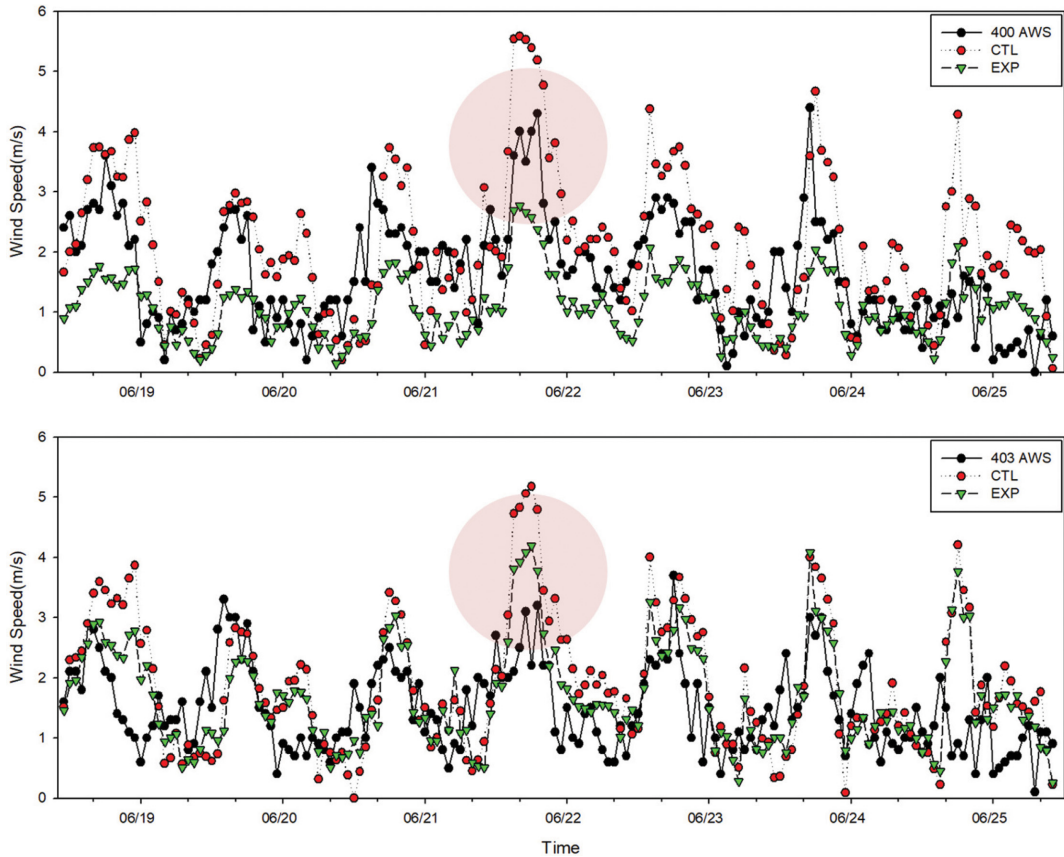


Fig. 10. Time series of wind speed at 400 (upper) and 403 (lower) AWS sites from 18 to 24 June, 2017 (black: AWS, red: CTL, green: EXP).

서울의 건물 정보를 이용하여 도시형태변수를 산출 및 모델에 적용함으로써 도시형태변수에 따른 민감도 실험을 진행하였다. 런던 경험식을 적용한 도시형태변수의 서울지역 공간 분포와 서울도시정보를 이용한 도시형태변수와 비교했을 때, 최고 건물 높이가 각각 약 15 m, 40 m로 차이가 나타났다. 개선 후 건물 높이는 여의도 및 강남구, 잠실 지역이 높은 분포를 나타낸다. 건물 외관비는 강남구가 높게, 건물 반복비는 은평구와 강북구가 낮게 나타난다. 서울 25개 AWS 지점의 지상 기온과 풍속에 대하여 서울 도시 정보로 입력자료가 개선된 UM-MORUSES 모델에 대한 검증을 실시하였다. 전체 지점에서 지상 기온과 풍속을 검증했을 때, 입력자료가 개선된 UM-MORUSES 모델의 모의정확도가 뚜렷하게 향상되지 않았다. 하지만 두 실험의 입력자료간의 차이가 큰 지점인 강남과 서초지역에 대한 검증했을 때, 개선된 것을 확인할 수 있었다. 특히, 지상 기온에 대해 과소모의 하였지만 CTL 실험보다 새벽 시간에 모의정확도가 향상되었다.

또한 풍속의 경우, CTL 실험이 풍속을 크게 과대 모의하였지만 EXP 실험은 도시형태변수 변화로 거칠기 길이가 증가되었기 때문에 풍속 모의정확도가 향상되었다.

본 연구에서는 서울 건물정보를 활용한 UM-MORUSES 모델을 이용하여 서울지역의 지상 기온과 풍속 검증에 대한 기초 결과를 제시하였다. 도시지역 내 상세한 기온 및 바람 같은 기상 특성을 파악하기 위해서는 고해상도의 도시 캐노피모델과 도시모수화 방법이 필요하다. UM-MORUSES 모델은 기온을 과소모의한다. UM-MORUSES 모델에서는 1990년대 제작된 월별 기후 통계 값으로 인공열자료가 사용된다. 향후 UM-MORUSES 모델에 인공열 입력자료에 대한 개선연구를 진행하고자 한다.

감사의 글

이 연구는 기상청 국립기상과학원 『생명·산업기상

기술개발』(1365003004)의 지원으로 수행되었습니다.

REFERENCES

- Best, M. J., and Coauthors, 2011: The Joint UK Land Environment Simulator (JULES), model description - Part I: Energy and water fluxes. *Geosci. Model Dev.*, **4**, 677-699, doi:10.5194/gmd-4-677-2011.
- Bohnstengel, S. I., S. Evans, P. A. Clark, and S. E. Belcher, 2011: Simulations of the London urban heat island. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **137**, 1625-1640, doi:10.1002/qj.855.
- Byon, J. Y., Y. J. Choi, and B. G. Seo, 2010: Evaluation of urban weather forecast using WRF-UCM (Urban Canopy Model) over Seoul. *Atmosphere.*, **20**, 13-26 (in Korean with English abstract).
- Chen, F., and Coauthors, 2011: The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. *Int. J. Climatol.*, **31**, 273-288, doi:10.1002/joc.2158.
- Davies, T., M. J. P. Cullen, A. J. Malcolm, M. H. Mawson, A. Staniforth, A. A. White, and N. Wood, 2005: A new dynamical core for the Met Office's global and regional modelling of the atmosphere. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **131**, 1759-1782.
- Edwards, J. M., and A. Slingo, 1996: Studies with a flexible new radiation code. I: Choosing a configuration for a large-scale model. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **122**, 689-719.
- Hong, S. H., J. Y. Byon, H. S. Park, Y. G. Lee, B. J. Kim, and J. C. Ha, 2018: Sensitivity analysis of near surface air temperature to land cover change and urban parameterization scheme using unified model. *Atmosphere.*, **28**, 427-441 (in Korean with English abstract).
- Kusaka, H., H. Kondo, Y. Kikegawa, and F. Kimura, 2001: A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models. *Bound.-Layer Meteorol.*, **101**, 329-358.
- Lee, S.-H., and S.-U. Park., 2008: A vegetated urban canopy model for meteorological and environmental modelling. *Bound.-Layer Meteorol.*, **126**, 73-102.
- Li, D., and E. Bou-Zeid, 2013: Synergistic interactions between urban heat islands and heat waves: The impact in cities is larger than the sum of its parts. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **52**, 2051-2064.
- Liang, X., and Coauthors, 2018: SURF: Understanding and predicting urban convection and haze. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **99**, 1391-1413, doi:10.1175/BAMS-D-16-0178.1.
- Lock, A. P., A. R. Brown, M. R. Bush, G. M. Martin, and R. N. B. Smith, 2000: A new boundary layer mixing scheme. Part I: Scheme description and single-column model tests. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3187-3199.
- Masson, V., 2000: A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models, *Bound.-Layer Meteorol.*, **94**, 357-397.
- NIMR, 2014: Integrated Weather Services for Urban and Rural Area(III) - Development of Prediction Model for Urban and Rural Area(III). National Institute of Meteorological Research 11-1360000-0011310-10, 146-160 pp (in Korean).
- Oleson, K. W., G. B. Bonan, J. Feddema, and M. Vertenstein, 2008: An urban parameterization for a global climate model. Part II: Sensitivity to input parameters and the simulated urban heat island in offline simulations. *J. Appl. Meteorol.*, **47**, 1061-1076.
- Porson, A., P. A. Clark, I. N. Harman, M. J. Best, and S. E. Belcher, 2010: Implementation of a new urban energy budget scheme in the MetUM. Part I: Description and idealized simulations. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **136**, 1514-1529, doi:10.1002/qj.668.
- Varquez, A. C. G., M. Nakayoshi, and M. Kanda, 2015: The effects of highly detailed urban roughness parameters on a sea-breeze numerical simulation. *Bound.-Layer Meteorol.*, **154**, 449-469, doi:10.1007/s10546-014-9985-4.
- Webster, S., A. R. Brown, D. R. Cameron, and C. P. Jones, 2003: Improvements to the representation of orography in the Met Office Unified Model. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **129**, 1989-2010.
- Wilson, D. R., and S. P. Ballard, 1999: A microphysically based precipitation scheme for the UK Meteorological Office Unified Model. *Q. J. R. Meteorol. Soc.*, **125**, 1607-1636.
- Yi, C., T. H. Kwon, M. S. Park, Y. J. Choi, and S. M. An, 2015: A study on the roughness length spatial distribution in relation to the Seoul building morphology. *Atmosphere.*, **25**, 339-351 (in Korean with English abstract).