미기상 수치 모델을 이용한 고층아파트 입지에 따른 바람장 및 기온 변화 연구

Study on the Change of Wind Field and Temperature According to Location of High-rise Building Using Micrometeorology Numerical Model

서홍석^{*} · 김유곤 · 양고수
Houng Seok Seo^{*} · Yoo Gon Kim · Go Soo Young

전북대학교 공과대학 환경공학과
Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

(2010년 12월 15일 접수, 2011년 5월 27일 채택)

Abstract : This study was carried out to analyze the change of wind field and heat island according to the location of the high rise building using micrometeorology numerical model Envi-met3.0. In this study, the real urban planning of Jeonju city was used as input for the location and height of buildings. Modeling was performed for two conditions as input data. Case 1 is that wind direction is SSE and case 2 is W. To analyse the change of wind field, wind speed results were used. To analyze the change of heat island, temperature results were used. Below the building height, wind speed increased 0.2~2.5 m/s at the inflow area and decreased 0.5~2.0 m/s at the area between the buildings. Above the building height, wind speed decreased 0.1~0.8 m/s near the building complex. On the other hand, wind speed increased 0.2~0.4 m/s in the outside area of the building complex. In the case of temperature, below the building height, temperatures increased 0.01~0.1°C in the building complex and leeward area. On the other hand, temperature decreased 0.01~0.05°C in the outside area of the building complex. Above the buildings height, temperatures decreased 0.05~0.2°C in most of the area.

Key Words : Micrometeorological Numerical Model, Envi-3.0, Wind Field, Temperature, Building Complex

요약 : 본 연구에서는 미기상 수치 모델 ENVI-MET3.0을 이용하여 고층 건물 입지에 따른 바람장과 기온 변화를 분석하였다. 대상지역은 고층 아파트 단지가 계획되어 있는 전주시 도심지이며, 실제 설계 자료를 적용하였다. 건물 입지에 따른 미기상 변화를 분석하기 위해 건물 입지전과 후에 대해 모델링을 수행한 후, 그 변화량을 분석하였다. 모델링 수행시 기상 조건은 연구대상 지역의 기후분석을 통해 두 가지를 선정하였는데, 첫 번째 조건은 풍향을 남남동(SSE)풍, 두 번째 조건은 풍향을 서(W)풍 계열로 하였다. 바람길 분석은 풍속, 열섬 분석은 기온 변화량을 통해 분석을 실시하였다. 풍속 분석 결과, 건물 높이보다 낮은 고도에서는 바람이 유입되는 지역에서는 0.2~2.5 m/s 정도 증가한 반면, 건물 사이에서는 0.5~2.0 m/s 정도 감소하였다. 건물 높이 이상의 고도에서는 건물이 위치한 단지 내에서는 0.1~0.8 m/s 정도 감소하는 반면, 단지 외부에서는 0.2~0.4 m/s 정도 증가하였다. 열섬 분석 결과, 건물 높이보다 낮은 고도에서는 건물이 위치한 단지 내와 풍하방향 지역에서는 기온이 0.01~0.1°C 증가한 반면, 단지 외부에서는 0.01~0.05°C 감소하였다. 건물 최고 높이 부근에서는 대부분의 지역에서 0.05~0.2°C 정도 감소하였다.

주제어 : 미기상 수치 모델, ENVI-MET3.0, 바람장, 기온, 건물 단지

1. 서론

최근 도심지내 고층 건물의 입지가 급격히 증가함에 따라, 대상지역의 기후 특성을 고려한 효율적인 건물 배치 및 건설 계획은 친환경적 도시건설을 위해 매우 중요하다.^{12,3)} 도심지내 고층 건물 입지로 인한 기상변화 중 가장 대표적인 것이 건물에 의한 기류 변화인데, 대상 지역의 주풍향과 건물 배치에 따라 바람길 형성에 영향을 주게 된다. 바람길은 해당지역의 건물 형상이나 배치형태 등의 고정적 요인뿐 아니라 기상학적 조건(풍향, 풍속, 대기안정도 등) 등의 가변적 요인에 따라서도 변화하며^{4,5)} 이에 따른 기류의 순환 또는 정체는 시민들의 쾌적도와 대기질 환경에 직접적 영향을 미칠 수 있다.⁶⁻⁸⁾

고층 건물 입지와 관련한 대표적인 미기상 현상인 도시 열섬의 경우 건물에서 발생하는 인공열로 인해 도심지의 기

온이 주변지역에 비해 크게 증가하는 현상을 말하며, 이로 인해 상층의 공기가 안정화되면서 대기환경이 악화되고, 강우일수 · 집중 호우의 증가 등이 발생할 수 있다.⁹⁻¹¹⁾ 특히, 이 도시열섬은 도시의 성장과 함께 점점 확대되어 최근에는 일년 내내 발생할 수 있는 경우도 증가하고 있다.¹²⁾

이와 같이 고층 건물 입지로 인한 기류변화와 열섬효과를 고려한 효율적인 도시계획을 위해서는 건물 입지로 인한 미기상변화를 정량적으로 예측하는 것이 필수적이다.¹³⁾ 또한, 미기상 변화를 고려한 친환경적 도시개발을 위해 환경영향평가 등 관련 제도에 활용될 수 있는 연구가 필요한 실정이다. 이에, 본 연구는 도심지내 고층 건물 입지에 따른 미기상 변화를 정량적으로 평가하고, 친환경적 도시개발을 위한 가이드라인을 정립하는데 있어 기반자료로 활용되기 위해 수행되어졌다.

본 연구에서는 고층 건물 입지에 따른 미기상 변화를 예

^{*} Corresponding author E-mail: hana6280@hanmail.net Tel: 063-531-6280 Fax: 063-531-6281

측하기 위해 전산유체기법에 기반을 둔 3차원 미기상 수치 모델 ENVI-MET3.0을 이용하였는데, 이 기법은 컴퓨터를 이용해 비교적 용이하게 기류 또는 기온 변화를 예측할 수 있으며, 향후 기상 및 대기 환경부분에 대한 활용이 크게 증가할 것으로 예상된다.¹⁴⁾ 본 연구에서는 향후 재개발이 예정되어 있는 도심지를 연구대상 지역으로 선정하여 건설 예정인 건물의 실제 설계도를 토대로 건물 입지에 따른 바람길과 열섬 변화를 정량적으로 분석하였다.

2. 연구 내용 및 방법

2.1. 분석 개요

Fig. 1. Flow chart of analysis.

본 연구 대상지역내 고층 건물 입지에 따른 기류변화 및 열섬 분석을 위해 향후 고층 아파트 단지가 입지할 것으로 예정되어 있는 도심지 중 대상지역을 선정하였다. 대상지역의 기후 분석을 통해 주풍향과 평균 풍속을 선정하였으며, 향후 건설될 아파트의 배치도와 토지이용계획을 적용하여 건물 입지전과 후에 대해 각각 3차원 미기상모델링을 수행하였다. 최종적으로 건물 입지전과 후의 모델 수행 결과를 비교하여, 건물 입지에 따른 미기상 변화를 분석하였다(Fig. 1).

바람길 분석의 경우, 대상지역의 기류흐름, 즉 풍향 및 풍속을 통해 결정되므로, 모델링 수행결과 중 풍향과 풍속을 이용하였다. 열섬 효과의 경우, 도심지와 외곽지역의 기온차이가 열섬을 나타내는 지표(℃)이므로, 도심지의 기온 변화량이 열섬변화를 나타내는 직접적인 지표가 된다.^{15,16)} 따라서, 본 연구에서는 열섬 효과 분석을 위한 기초 자료로 활용하기 위해 모델링 수행 결과 중 기온을 이용하였다.

2.2. 연구 대상 지역

본 연구 대상 지역은 전주시 덕진구 우아동 일원(35°51'N, 127°09'E)에 위치한 주공 아파트 단지이다. 일반적으로 대상지역의 지형적 조건에 의해 주풍향이 발생하고, 이 기류가 도심지로 유입되면 고층 건물의 배치 및 높이에 의해 도심지에서의 바람길이 형성된다.

연구 대상지역의 지형적 조건을 보면, 서쪽은 전주시내로서, 도심지로 이루어져 있는 반면, 동쪽 지역(완주군, 소양천 위치)에는 연석산(△960 m), 선각산(△1,142 m) 등의 높은 산들이 위치해 있다(Fig. 2). 또한, 남쪽에는 모악산(△793 m)과 만덕산(△763 m)이 위치해 있어 그 사이로 통과하는 기류(북풍 및 남풍 계열)가 예상된다. 또한, 인근에 위치한 산으로 인해 산곡풍의 영향을 크게 받을 것이라 예상된다.

연구대상지역이 위치한 도심지의 주변 현황을 보면, 현

Fig. 2. Terrain height around the research area (30 km × 30 km).

Fig. 3. The domain for microscale meteorological modeling.

재는 대부분 5층 건물로 이루어진 우아주공 1단지가 위치해 있으며, 북동쪽에도 5층 건물로 이루어진 우아주공 2단지 아파트가 있다. 동쪽에는 대부분 2~3층 건물로 이루어진 주택과 상가들이 위치해 있으며, 남동쪽으로 전주역이 위치해 있다. 북쪽에는 17번 국도를 지나 대부분 5층 건물로 이루어진 호성우신아파트가 있다. 대상지역 인근에 위치한 고층 건물로는 북서쪽에 위치한 LG 동아아파트(15~18층)와 북동쪽에 위치한 명주골 동신아파트(10층) 등이 있다 (Fig. 3).

본 연구에서는 고층건물(지상 26층)로 인한 미세규모 바람길 분석을 위해 연구 대상 단지를 중심으로 1 km × 1 km 영역을 모델 수행 영역으로 설정하였으며, 격자 크기는 10 m로 하여 가로 100 cell × 100 cell로 구성하였다. 고층 건물 입지로 인한 바람길 및 풍속 변화를 분석하기 위해 현재의 건물 배치 형태와 향후 건설될 건물의 배치도를 고려하여 모델링을 각각 수행하였다(Fig. 3).

2.3. 3차원 미기상 수치 모델

2.3.1. 이론적 고찰

미기상 변화를 분석하기 위한 수치모델은 독일 Bochum university의 Michael bruse 교수가 개발한 ENVI-MET3.0 모델을 이용하였다. 이 모델은 대표적인 환경기상 모델로서, 도시 건설로 인한 건물 입지 등에 따른 기상변화를 예측하기 위한 모델이며, 미세한 규모(Microscale)의 도심지내에서 수 km 이내의 미세 국지 기후변화를 예측하는 모델이다. 또한, 기온, 대기 중 수분량, 풍향 및 풍속 등을 비롯하여 바람의 u, v, w 성분, 쾌적도 지수 등 도시 환경과 관련된 다양한 요소에 대해 결과를 도출할 수 있다.

ENVI-MET3.0은 비압축, 비발산가정하에서 Navier stockes 유체방정식을 기본으로 3차원 바람장 계산을 수행하며 가스상, 입자상오염물질의 확산과 침적량을 동시에 계산할 수 있는 특징을 가지고 있다.

ENVI-MET3.0의 기본 물리식은 기류흐름, 기온 및 습도, 대기 난류, 대기 복사량을 계산하기 위한 물리식으로 구성되어 있다. 이 중 바람길은 기류흐름, 열섬은 기온과 관련이 있다.¹⁴⁾

기류흐름을 계산하기 위한 물리식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u_i \frac{\partial u}{\partial x_i} = - \frac{\partial p'}{\partial x} + K_m \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x_i^2} \right) + f(v - v_g) - S_u$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u_i \frac{\partial v}{\partial x_i} = - \frac{\partial p'}{\partial y} + K_m \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x_i^2} \right) - f(u - u_g) - S_v$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u_i \frac{\partial w}{\partial x_i} = - \frac{\partial p'}{\partial z} + K_m \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x_i^2} \right) + g \left(\frac{\theta(z)}{\theta_{ref(z)}} \right) - S_w$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

여기서 u_i 는 {u(동서성분), v(남북성분), w(연직성분)}, x_i 는 (x, y, z)이며, f 는 Corioli parameter ($10^4/\text{sec}$), p' 는 pressure perturbation, θ 는 potential temperature, K_m 은 에디확산계수(eddy diffusion coefficient), S_u , S_v , S_w 는 지표면의 식생 등에 의한 항력 또는 마찰력에 의한 풍속세기의 감소를 고려하는 항으로 다음과 같이 구해진다.

$$s_{u_i} = \frac{\partial p'}{\partial x_i} = c_{d,f} LAD(z) \cdot W \cdot u_i$$

여기서 W : mean wind speed at height z

$$W = (u^2 + v^2 + w^2)^{0.5}$$

$C_{d,f}$: mechanical drag coefficient (0.2)

LAD(Z) : leaf area density of plant

ENVI-MET3.0에서 기온은 다음의 이류 방정식에 의해 계산된다.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u_i \frac{\partial \theta}{\partial x_i} = K_b \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x_i^2} \right) + \frac{1}{c_p \rho} \frac{\partial R_{n,hw}}{\partial z} + Q_h$$

여기서, θ 는 기온(potential temperature), K_b 는 지표와 대기 간의 열교환계수, C_p 는 대기의 specific heat, ρ 는 공기밀도, $\partial R_{n,hw} / \partial z$ 는 대기복사에 의한 cooling/heating 효과, Q_h 는 식생과 대기간의 열전달량이다.

Hedquist 등¹⁷⁾은 기온 실측자료를 이용하여 Envi-met3.0의 정합도를 연구한 결과, RMSE (Root Meat Square Error)는 약 1.10~2.11℃, 상관계수(R^2)는 약 1.0으로 매우 높게 나타났으며, 실측값과의 차이는 대부분 계통오차(systematic error)라 하였다. 따라서, 본 연구는 기상상태의 절대값이 아닌, 물리적 요인으로 인한 미기상 변화량을 분석하는 것이 목적이므로, 실측값과의 상관도가 매우 높은 Envi-met3.0을 사용하였다.

2.3.2. 입 · 출력 과정

ENVI-MET3.0은 지형 및 기상 자료를 입력자료로 하여 예측 영역에 대해 격자별로 출력자료를 생성한다. ENVI-MET3.0의 출력 자료는 기상요소 외에 쾌적도 및 대기오염 물질의 농도 등이 포함되나, 본 연구는 미기상 변화를 분석하기 위한 것이므로, 쾌적도 및 대기오염 물질에 대한 출력 자료는 분석에서 제외하였다. ENVI-MET3.0의 입 · 출력 과정을 도식화하였다¹⁴⁾(Fig. 4).

Fig. 4. The input and output process of ENVI-MET3.0.

2.4. 모델 입력 자료

2.4.1. 기상 입력 자료

본 연구에서는 미기상 모델의 기상입력자료 선정하기 위해, 전주기상대의 최근 10년간(2000~2009년) 기후자료를 분석하였다. 전주기상대는 본 연구대상지역에서 남남서 방향으로 약 3.1 km 이격되어 위치에 있다(Fig. 2).

본 연구대상지에서의 주풍향을 선정하기 위해 시간별 풍향 발생 빈도를 분석한 결과, 주·야간의 풍향이 다르게 나타났다(Fig. 5). 야간과 새벽시간대에는 남풍계열(특히 남남풍)이 우세한 반면, 주간시간인 정오부터 19시까지에는 서풍이 우세하였다. 즉, 발생빈도가 가장 높은 주풍향은 남풍계열인 반면, 주간에는 서풍이 주로 발생하는 것으로 나타났다. 또한, 편서풍으로 인한 우리나라의 주풍향 외에, 본 연구대상 지역은 주로 동쪽과 남쪽에 위치한 산으로 인해, 주간에는 서풍 또는 북서풍 계열(산풍), 야간에는 남풍 및 동풍계열(곡풍)의 산곡풍이 시간별 풍향에 영향을 준 것이라 판단된다.

기후 분석 결과를 토대로 본 연구 대상 지역의 주풍향인 남남동풍(Case1)과 주간에 발생빈도가 높은 서풍(Case2)을 각각 적용하여 두 가지 경우에 대해 분석을 실시하였다.

본 연구 대상지역의 대표적인 풍계 두 가지에 대해 동일한 기상입력조건으로 건물 입지 전과 후에 대해 각각 모델링을 수행하였다.

2.4.2. 지형 입력 자료

고층 건물로 인한 바람장 변화와 열섬변화를 모사하기 위해서는 수목 및 토지 이용도 등 지형 자료가 중요한 입력자료가 된다. 특히, 지표 부근의 바람장은 수목 효과에 의해 영향을 크게 받고, 지표 피복도(Land Use)는 지표 부근의 기온에 큰 영향을 준다.

Table 1. The input data for modeling (ENVI-Met3.0)

	Wind direction	Wind speed	Temperature	Relative humidity
CASE1	SSE	1.69 m/s	14.8℃	61.5%
CASE2	W	2.84 m/s	14.8℃	61.5%

Fig. 5. Hourly frequency of wind direction.

Table 2. The plant database for modeling

Plant	short-wave albedo	Leaf Area Density (m^2/m^3)	Root Area Density (m^2/m^3)
Tree 20 m aver. dense	0.2	0.04	0.1
Tree 20 m dense	0.2	0.11	0.1
Tree 20 m very dense	0.2	0.15	0.1
Tree 10 m dense	0.2	0.075	0.1
Tree 10 m very dense, leafless base	0.2	0.0	0.1
Hedge dense, 2 m	0.2	2.0	0.1
Grass 50 cm aver. dense	0.2	0.3	0.1
Maize, 1.5 m	0.2	0.3	0.1

Table 3. The thermal characteristics as land use

Land Use	roughness length (m)	short-wave albedo	long-wave emissivity
Asphalt	0.010	0.2	0.90
Pavement	0.010	0.4	0.90
Loamy Soil	0.015	0.0	0.98
Sandy Soil	0.050	0.3	0.90
Deep Water	0.010	0.0	0.96

본 연구에서는 연구 대상지역의 현장조사 자료 및 위성 자료와 연구대상 지역에 입지될 고층 아파트 단지의 토지 이용도 설계 자료를 바탕으로 현재 및 고층 건물 입지후의 토지 이용도 입력자료를 10 m 간격으로 구성한 후 모델을 수행하였다.

Fig. 6. Distribution of wind speed and difference in Case 1 (2 m).

Envi-met3.0의 수목 구성 및 토지 이용도에 따른 열특성 변화 입력자료는 다음과 같다(Table 2~3).

3. 결과 및 고찰

본 연구대상 지역의 주풍향인 남남동풍(SSE)과 서풍(W)에 대해 건물 입지 전·후의 풍속 변화량과 기온변화를 분석하였다. 도시의 기후학적 문제와 관련하여 도시통풍과 환기성능을 고찰할 때에는 지표면으로부터 고도 50 m 이내

의 바람장을 분석한다.¹⁸⁾ 따라서, 본 연구에서는 일반 보행자의 보행고도인 2 m와 기상요소의 기준 측정 고도인 10 m, 입지될 건물의 최고 높이 부근인 70 m에 대해서 추가 분석을 실시하였다.

3.1. 풍속 분석 결과

3.1.1. 남남동풍(Case1)

고도 2 m의 풍속 변화를 보면(Fig. 6(c)), 사업지구내 건물 배치에 따른 통로 방향에 따라 풍속이 변화한 것을 볼 수 있다. 본 사업지구에서의 건물 배치도에 따라 남남동 방

Fig. 7. Distribution of wind speed and difference in Case 1 (10 m).

향으로 통로가 확보되어 건물 사이로 풍속이 약 0.5~1.0 m/s 정도 증가하였다. 고층 건물로 인해 풍속이 가장 크게 증가한 지점은 1단지와 2단지의 남동쪽 경계 부근 건물과 건물 사이이며, 증가량은 약 1.0 m/s로 나타났다. 이 지점은 바람이 사업지구내로 유입되는 지점으로, 건물과 건물 사이에서 베르누이 효과로 인해 풍속이 갑자기 증가하는 것으로 나타났다.¹⁹⁻²¹⁾

반면, 풍속이 가장 크게 감소한 지점은 1단지 동쪽 경계 부근이며 약 0.5 m/s 정도 감소하였다. 또한, 2단지의 건물 중 동서 방향으로 배치된 건물 후면에서도 풍속이 소폭 감

소하는 것으로 예측되었다.

고도 10 m의 건물 입지 후 풍속 변화량을 보면(Fig. 7(c)), 건물이 입지된 대상지역 부근에서만 풍속이 변화한 것을 볼 수 있는데, 건물 사이 남남동 방향의 통로를 따라 풍속이 증가하고, 1단지와 2단지 사이에서는 풍속이 감소하는 것으로 예측되었다. 풍속이 가장 크게 증가한 지역은 연구 대상지역 남쪽 부근 바람이 유입되는 지점으로, 증가량은 0.5~2.0 m/s로 나타났다. 고층 건물로 인해 풍속이 가장 크게 감소한 지점은 1단지와 2단지 사이로 0.5~1.0 m/s 감소하는 것으로 나타났다.

Fig. 8. Distribution of wind speed and difference in Case 1 (70 m).

건물 입지 후, 70 m 고도에서의 풍속 변화량을 보면(Fig. 8(c)), 연구 대상지역내 건물 사이 일부 지점과 북쪽 경계 부근에서만 약 0.2 m/s 감소하고, 연구 대상지역내와 남쪽 경계 부근에서는 약 0.2~0.4 m/s 증가하였다.

이를 통해, 고층 건물 입지로 인한 풍속 변화는 건물이 입지하는 단지에 국한되어 나타나는 것을 볼 수 있으며, 인근 지역에 미치는 영향은 매우 미미한 것으로 나타났다. 특히, 건물을 기준으로 풍상 지역에서는 풍속의 변화가 거의 나타나지 않으며, 풍하 지역에서는 약 -0.5~0.2 m/s 정도 풍속이 변하는 것으로 예측되었다.

3.1.2. 서풍(Case2)

고도 2 m에서의 풍속 변화량을 보면(Fig. 9(c)) 건물이 입지된 사업지구 부근과 바람이 불어가는 방향의 일부 지역에서 풍속이 변화한 것을 볼 수 있다. 사업지구 내에서는 풍속이 감소한 지점과 증가한 지점이 모두 발생하였는데, 전반적으로 주풍향과 직각으로 건물이 배치된 지점에는 건물의 후방에서 풍속이 약 0.5~1.0 m/s 정도 감소하는 반면, 주풍향과 동일한 방향으로 배치되어 있는 곳에서는 풍속이 최대 1.0 m/s까지 증가하였다. 특히, 바람이 유입되는 지점인 1단지 북서쪽 경계 부근과 1단지에서 2단지로 확보되어

Fig. 9. Distribution of wind speed and difference in Case 2 (2 m).

있는 서쪽 방향의 통로 부근에서 풍속이 약 0.5~1.0 m/s 증가하였다. 또한, 사업지구의 남쪽과 북쪽 경계 부근에서는 바람이 건물의 벽면을 따라 흐르면서 풍속이 강해져, 약 0.5~1.0 m/s 증가하였다. 2단지 내에서는 전반적으로 약 0.5~1.5 m/s 정도 감소하는 것으로 예측되었다.

고층 건물로 인해 풍속이 가장 크게 증가한 지점은 기류가 유입되는 방향인 사업지구의 북서쪽의 가운데 건물과 건물 사이, 그리고, 인근 건물의 벽면 부근이며 증가량은 약 0.5~2.5 m/s로 나타났다. 고층 건물로 인해 풍속이 가장 크게 감소한 지점은 1단지 북쪽 경계 부근의 건물 후면으로

약 0.5~2.0 m/s 감소하는 것으로 나타났다.

고도 10 m의 건물 입지 후 풍속 변화량을 보면(Fig. 10(c)), 바람이 유입되는 북서쪽 경계 부근 일부 지점에서 풍속이 약 1.0~2.0 m/s 증가하는 것을 제외하고는, 연구 대상지역 내에서 대부분 풍속이 약 1.0~2.0 m/s 감소하는 것으로 예측되었다.

풍속이 가장 크게 증가한 지역은 1단지 남서쪽 경계 부근이며 증가량은 1.0~2.5 m/s로 나타났다. 고층 건물로 인해 풍속이 가장 크게 감소한 지점은 2단지내 주풍향과 직각으로 배치된 건물의 후면이며 풍속의 감소량은 0.5~2.0 m/s

Fig. 10. Distribution of wind speed and difference in Case 2 (10 m).

Fig. 11. Distribution of wind speed and difference in Case 1 (70 m).

로 나타났다.

고도 70 m의 건물 입지 후 풍속 변화량을 보면(Fig. 11(c)) 바람이 유입되는 지점인 1단지와 2단지 북서쪽 경계 부근과 북쪽 및 남쪽 경계 부근에서는 약 0.2 m/s 정도 증가하였다. 또한, 1단지와 2단지 사이 동서 방향의 통로 부근에서도 풍속이 약 0.4 m/s 정도 증가하였다. 이와 같은 현상은 case1에서도 동일하게 나타났으며, 주풍향에 따른 건물에 의한 풍속 변화 특성을 잘 보여주고 있다. 반면, 연구 대상 지역내에서는 대부분의 지점에서 약 0.1~0.8 m/s 정도 감소하는 것으로 예측되었다. 이는 고도 70 m에서는 건물 사

이에서의 베르누이 효과에 의해 기류 흐름이 강해지는 효과는 거의 나타나지 않는 반면, 고층 건물로 인한 마찰 효과가 크게 작용하여 나타난 것이다.²²⁾

3.2. 기온 변화 분석 결과

3.2.1. Case1(남남동풍)

고도 2 m에서의 기온변화량을 보면(Fig. 12(a)) 전반적으로 주풍향에 따른 기류의 흐름을 따라 기온 변화가 나타남을 알 수 있다. 사업지구 내에서는 대부분 기온이 증가하였으며, 증가량은 0.05℃ 내외로 나타났다. 반면, 1단지 남서

Fig. 12. Distribution of temperature change in Case 1.

쪽 경계 부근에서 약 0.05°C 정도 감소하는 것이 나타났는데, 이는 기류가 고층 건물의 벽면을 타고 가면서 풍속이 증가하여 발생한 것이다. 본 사업으로 인해 기온이 가장 크게 증가하는 지점은 1단지 북쪽 경계 부근이며, 약 0.1°C 정도 증가하였다. 본 사업지구의 북쪽에 위치한 아파트 단지에서도 $0.01\sim0.05^{\circ}\text{C}$ 정도 기온이 증가하였는데, 이는 주풍향인 남남동풍에 의해 대상지역에서 기온이 상승한 공기가 북쪽으로 흐르면서 영향을 준 것이다. 반면, 주풍향의 측면 부근인 대상지역의 서쪽 및 동쪽 지역에서는 기온이 약 $0.05\sim0.1^{\circ}\text{C}$ 정도 감소하는 것으로 예측되었다.

고도 10 m에서의 기온변화량을 보면 전반적으로 주풍향에 따른 기류의 흐름을 따라 기온 변화가 나타남을 알 수 있다(Fig. 12(b)). 연구 대상지역내와 북쪽 지역에서는 대부분 기온이 증가하였으며, 증가량은 $0.02\sim0.05^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 반면, 연구 대상지역의 동쪽과 서쪽 부근에서는 기온이 약 $0.02\sim0.05^{\circ}\text{C}$ 정도 감소하는 것으로 예측되었다.

고도 70 m에서의 기온변화량을 보면 주풍향에 따른 기류 흐름에 따라 연구 대상지역을 포함하여 바람이 불어가는 지역을 중심으로 기온이 감소하였다(Fig. 12(c)). 연구 대상지역내에서는 $0.05\sim0.2^{\circ}\text{C}$ 정도 감소하였으며, 북쪽지역에서도

기온이 약 $0.05\sim0.1^{\circ}\text{C}$ 정도 감소하는 것으로 예측되었다.

미기상 수치 모델을 통해, 고층 건물 입지에 따른 기온 변화를 분석한 결과, 10 m 이하의 지표 부근에서 풍하 지역을 중심으로 기온이 상승하는 것으로 나타났다. 또한, 건물 입지로 인한 기온 상승효과는 풍하 방향으로 약 500 m 이격지역까지는 약 $0.15\sim0.1^{\circ}\text{C}$ 로 예측되었으며, 그 이상 수백 m 이격지역에는 약 0.05°C 내외의 미미한 기온 증가 효과가 예상된다.

3.2.2. Case2(서풍)

고도 2 m와 10 m에서의 기온변화량이 매우 유사하게 나타났다(Fig. 13(a-b)), case1과 마찬가지로 주풍향에 따른 기류의 흐름을 따라 기온 변화가 나타남을 알 수 있다. 즉, 연구 대상지역을 중심으로 동쪽 및 남동쪽 지역에서 기온이 변화하였다. 연구 대상지역 내에서는 대부분 기온이 증가하였으며, 증가량은 $0.01\sim0.1^{\circ}\text{C}$ 로 나타났다. 또한, 연구 대상지역에서 기류가 이동됨에 따라 풍하측에 위치한 연구 대상지역의 동쪽 부근에서는 기온이 $0.01\sim0.07^{\circ}\text{C}$ 정도 증가하였다.

반면, 2단지 북쪽 경계 부근에서 기온이 소폭 감소하였는

Fig. 13. Distribution of temperature change in Case 2.

데, 이는 고층 건물 입지로 인해 이 지점의 풍속이 다른 지점에 비해 크게 증가하기 때문이다. 하지만, 기온의 감소량은 약 $0.01\sim0.03^{\circ}\text{C}$ 로 매우 낮게 나타났다.

고도 70 m에서의 기온변화량을 보면 주풍향에 따른 기류 흐름에 따라 연구 대상지역을 포함하여 바람이 불어가는 지역을 중심으로 기온이 감소하였다(Fig. 13(c)). 연구 대상지역내에서는 $0.05\sim0.14^{\circ}\text{C}$ 정도 감소하였으며, 풍하지역인 동쪽 부근에서는 $0.02\sim0.08^{\circ}\text{C}$ 정도 감소하였다.

Case1과 마찬가지로 10 m 이하의 지표 부근에서 건물 입지 단지와 풍하 지역을 중심으로 기온이 상승하는 것으로 나타났으며, 건물 입지로 인한 기온 상승효과는 풍하 방향으로 약 500 m 이격지역까지는 약 $0.15\sim0.1^{\circ}\text{C}$, 그 이상 수백m 이격지역에는 약 0.05°C 내외의 미미한 기온 증가 효과가 예상된다.

4. 결론

3차원 미기상 모델 ENVI-MET3.0을 이용하여 건물 입지에 따른 풍속 및 기온 변화량을 분석하였다. 이 모델은 전

산유체역학 기반 환경기상 모델링으로서, 지형 및 건물 정보를 기반으로 미세규모의 기상현상을 묘사할 수 있으며, 현재 기상 및 대기 환경부분에 대한 활용이 크게 증가하고 있다.

본 연구에서는 ENVI-MET3.0에서 도출된 풍속 변화량을 통해 고층 건물 입지에 따른 기류변화 및 공기 순환을 파악하였으며, 기온 변화량을 통해 도시 열섬 효과를 분석하였다.

본 연구 대상지역에 고층 건물이 입지될 경우 건물의 최고 높이 이하에서는 전반적으로 풍속이 감소하여 기류흐름이 정체되는 것으로 나타났다. 하지만, 건물의 배치도에 따라 기류가 유입되는 지점의 건물과 건물 사이 및 기류의 흐름과 동일한 방향의 건물 벽면에서는 풍속이 크게 증가하여 기류흐름이 강해지는 것으로 나타났다.

1단지 내에서는 건물의 배치형태가 주풍향(SSE)을 차단하지 않고 건물을 따라 기류가 원활히 흐르는 것으로 나타났으며, 2단지 내에서는 건물과 건물 사이에 주풍향(SSE)이 통과할 수 있도록 공간이 확보되어 기류가 강하게 흐르는 것을 볼 수 있었다. 또한, 주풍향에 따라 인근 지역의 풍속 변화가 다르게 나타났는데, 대상지역을 중심으로 불

어 들어오는 지점과 불어 나가는 지점에서는 건물에 의한 기류 차단 또는 후류 발생으로 인해 기류가 정체되어 풍속이 감소한다. 반면, 바람이 부는 방향의 측면 지점에서는 건물 벽면에 의한 기류흐름 강화로 인해 풍속이 증가하였다.

본 연구 대상지역에 고층 건물이 입지 될 경우, 기온 변화량을 분석한 결과, 건물 높이 이하의 고도에서는 건물 주변과 풍하 지역을 중심으로 기온이 소폭 증가하는 것으로 예측되었다. 특히, 주풍향에 따라 풍하지역 500 m 이상 이 격된 지역에도 기온이 소폭 증가하는 것으로 예측되었다. 반면, 건물 높이를 초과하는 고도에서는 기온이 소폭 감소하는 것으로 나타나, 이를 통해, 고층 건물 단지 설계시, 주풍향 분석 결과 등을 토대로 하여, 풍하 지역의 기온 상승을 최소화하기 위한 바람길 확보 및 수목 활용 방안 등을 수립하여야 할 것이다.

본 연구 결과는 고층 건물로 인한 정량적인 미기상 변화를 정형화하여 고층 건물의 친환경적 설계를 위한 기초 자료로 활용할 수 있다. 또한, 고층 건물 입지와 관련된 환경영향평가 등 관련 제도를 정형화함에 있어, 평가 기법 및 기준 등을 마련하는데 토대 자료로 활용될 수 있다. 본 연구는 향후 도심지내 바람길 및 열섬 분석에 대한 정량적 연구의 토대를 마련할 수 있으며, 본 연구 대상지역의 효율적인 도시계획을 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 본 연구 결과를 토대로 하여, 향후 추가적인 사례 연구와 기상 실측 자료와의 검증 등을 통해, 3차원 수치모델의 한계점을 보완하기 위한 연구를 수행할 것이다.

KSEE

참고문헌

1. Saitoh, T. S., Shimada, T. and Hoshi, H., "Modeling and simulation of the tokyo urban heat island," *Atmos. Environ.*, **30**, 3431~3442(1996).
2. Plate, E. J. and Davenport, A. G., "The risk of wind effects in cities, in: Cermak, et al., Wind Climates in Cities," Proceedings of the NATO Advanced Study Institute in Waldbronn, Germany, NATO ASI Series, 277, 1~20(1995).
3. Higson, H. L., Griffiths, R. F., Jones, C. D. and Hall, D. J., "Flow and dispersion around an isolated building," *Atmos. Environ.*, **30**, 2859~2310(1996).
4. Davenport, A. G. "Rationale for Determining Design Wind Velocities," *J. Struct. Eng.*, **86**, 39~68(1960).
5. Bottema, M., "Urban roughness modelling in relation to pollutant dispersion," *Atmos. Environ.*, **31**, 3059~075(1997).
6. 구윤서, "신행정수도건설을 위한 친환경 바람길 해석 및 전략적 도시설계 방안 연구보고서," 대한주택공사(2004).
7. 김운수, "서울시 기상특성을 고려한 도시계획기법 연구 (II)," 서울시정 개발연구원(2001).
8. Wise, A. F., Sexton, D. E. and Lillywhite, M. S. T., "Studies of air flow around building," *Architects J.*, **141**, 1185~1189(1965).
9. Eliasson, I., "Infrared thermography and urban temperature patterns," *Int. J. Remote Sens.*, **13**(5), 869~879(1992).
10. Eliasson, I., "The use of climate knowledge in urban planning," *Landscape and Urban Planning*, **48**, 31~44(2000).
11. Oke, T. R., "Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observation," *Journal of Climatology*(1981).
12. 조은주, "토지이용변화에 따른 지표온도 분포 및 그 변화에 관한 연구-서울시를 중심으로-," 이화여자대학교 대학원 석사학위논문(1996).
13. Blocken, B. and Carmeliet, J., "Pedestrian wind conditions at outdoor platforms in a high-rise apartment building: generic sub-configuration validation, wind comfort assessment and uncertainty issues," *Wind Struct.*, **11**(1), 51~70(2008).
14. Bruse, M., "Updated overview over ENVI-met 3.0, Environmental Modelling and Software,"(2004).
15. Theurer, W., Bachlin, W. and Plate, E. J., "Model study of the development of boundary layers above urban areas," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, **41**(44), 437~438(1992).
16. Adrian, G. and Fiedler, F., "Simulation of unstationary wind and temperature fields over complex terrain and comparison with observation," *Beitrage zur Physik der Atmosphere*, **64**, 27~48(1991).
17. Hedquist, B. C., Brazel, A. J., Sabatino, Di., Carter, W., Fernando, H. J. S., "Phoenix urban heat island experiment: Micrometeorological aspects," 8th Symposium on the Urban Environment Timothy R. Oke Symposium(2009).
18. 송영배, "바람통로 계획과 설계 방법," 221~227(2007).
19. Plate, E. J., "Methods for investigating urban wind fields physical models," *Atmos. Environ.*, **33**, 3981~3989(1999).
20. Fackrell, J. E., "Parameters characterizing dispersion in the near wake of buildings," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, **16**, 97~118(1984).
21. Thomson, R. S., "Building amplification factors for sources near buildings: a wind tunnel study," *Atmos. Environ.*, **27A**, 2213~2225(1993).
22. Takakura, S., Suyama, Y. and Aoyama, M., "Numerical simulation of flow field around buildings in an urban area," *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, **46**(47), 765~771(1993).