

## 미기후수치모형에 의한 각이한 지표면우의 바람특성평가

김현우, 정상일

도시환경에서의 각이한 지표면들은 기온, 습도, 바람과 같은 기상요소의 시공간분포에 큰 영향을 미친다. 대규모 및 중규모기상모형들에서는 도시지역에서 건물이나 식물과 같은 장애물들이 바람흐름에 미치는 동력학적영향에 대해서는 대체로 보조변수화방법들을 적용한다.[1]

론문에서는 최근시기 개발되어 세계적으로 널리 쓰이며 그 실용성이 인정되고있는 미기후수치모형 ENVI-met 4.0을 리용한 미시규모에서 바람흐름의 변화특성에 대하여 서술하였다.

### 1. 도시환경에서 류체력학적해석방법의 적용

일반적으로 도시지역과 같이 규모가 작고 수평불균일성이 심한 복잡한 지표면에서 주어진 기상현상을 고찰하는데서는 3가지방법이 리용되는데 여기에는 야외측정에 의한 방법, 실물 혹은 축소규모의 풍동측정에 의한 방법, 수치모의에 의한 방법이 있다.

이 방법들은 우점과 부족점들이 있지만 현재 세계적으로 미시규모의 실천문제해결에서 기본적으로 쓰이고있는 방법은 수치모의에 의한 방법이며 야외측정과 풍동측정에 의한 방법은 수치모의결과의 정확성을 확인하는 목적으로 리용되고있다.

최근년간에 공간자료의 분해능과 컴퓨터계산능력이 높아지면서 고분해자료를 입력하여 도시미기후를 모의하려는 요구가 높아지고있다. 특히 미시규모에서 대기와 식물, 건물, 토양의 교환과정을 고려한 류체력학적해석방법(CFD)이 널리 쓰이고있다.

도시환경에서 리용하는 CFD방법에는 레이놀즈평균화(RANS), 큰회리모의(LES), 직접수치모의(DNS)에 의한 방법이 있다. 건물을 비롯한 장애물주위에서 바람흐름을 평가하는 것과 같은 실천문제에서 널리 쓰이는것은 레이놀즈평균화와 큰회리모의에 의한 방법이다.

레이놀즈평균화에서는 나비에-스톡스방정식을 시간에 따라 평균화를 취하며 큰 회리모의에서는 공간에 따라 러파한다.[3]

### 2. 미기후수치모형 ENVI-met

ENVI-met모형[2]은 토양, 식물, 대기, 건물의 4가지 기본체계들로 구성된다. 지면으로부터 2m깊이까지의 토양은 14개의 층으로 분할되며 수직분해능은 지표면근방에서 1cm, 깊은층에서는 50cm이다.

매 그물칸에는 여러가지 자연토양이나 인공재료를 설정하여 각이한 토양수직구를 모형화할수 있다. 자연토양에서는 열 및 수증기수송량이 고려되지만 밀폐재료에서는 열수송

량만이 고려된다.

지표면온도는 정미복사흐름, 열 및 수증기의 막흐름, 지표면에서 땅속으로의 열전달량을 리용하여 계산된다. 자연토양의 반사률은 모형내부에서 태양입사각과 결층토양물함량의 함수로 결정된다.

ENVI-met 4.0에서는 종전에 쓰이던 1차원식물모형과는 다른 새로운 3차원식물모형이 적용되었다. 3차원식물모형에서는 다양한 모양과 공간구조를 가진 여러 종류의 나무들을 표현할수 있게 되었다.

모형화된 식물요소의 매 그물칸에서는 에네르기 및 질량바란스관계가 성립한다. 음영 계산에서 식물은 투과성매질로 취급되며 감쇠계수는 태양빛이 식물체를 통과하는 광학적행로와 잎면적밀도(LAD)의 함수로 된다.

ENVI-met 4.0에서는 또한 건물모형화가 크게 개선되었다. 실례로 이전 판본들에서는 완전히 무시되었던 벽과 지붕의 열관성을 고려하였다.[2]

ENVI-met모의에서는 기상자료와 토양습도, 온도단면, 지표면의 구조와 성질, 식물과 건물에 대한 초기자료가 요구된다. ENVI-met 4.0에서 제공하는 새로운 기능인 강제조절작용을 리용하면 1h 또는 그 이하간격으로 사용자가 정의한 기상요소값들을 모형에 적용하여 각이한 기상조건에 대한 모의를 할수 있다.

조절작용은 직달 및 산란태양복사, 아래방향장파복사, 립자 혹은 기체의 농도, 기온, 비습, 바람속도와 방향과 같은 기상요소들의 1차원수직분포에 대하여 적용된다. 1차원수직분포(지면으로부터 2 500m높이까지)자료는 3차원기본모형의 측면 및 옷면경계조건으로 리용된다.

보통 대기수직분포에 대한 정보는 라지오존데관측으로부터 얻어지지만 이러한 정보가 부족할 때에는 지면기상관측자료를 보간하여 리용할수 있다. 실례로 기온의 수직분포는 중립성층을 가정하여 얻을수 있다.

바람속도의 수직분포는 로그보간을 리용하며 바람방향은 모든 높이에서 일정한것으로 가정한다. 대기습도는 지면관측자료와 2 500m높이에서의 비습입력값을 리용하여 선형보간한다.

### 3. 계산결과와 분석

연구지역인 통라도는 북동—남서방향으로 길게 놓여있는 대동강의 충적섬이다. 섬의 지형은 평탄하며 평균해발고는 12m이다. 서쪽으로는 대동강기슭을 따라 모란봉(해발고 95m)이 있으며 섬의 곳곳에는 숲들과 잔디밭들이 있고 축구경기장과 정구장, 유원지들이 있다.

수치모의를 위한 계산구역은 5월1일경기장을 중심으로 1.5km×1.5km인 4각형영역을 취하였다. 합리적인 CFD모의결과를 얻기 위해서는 일련의 제한조건을 만족시켜야 하는데 여기에는 방향성비률( $BR_L$ )에 대한 조건[3]이 있다.

$$BR_L = \frac{L_{\text{건물}}}{L_{\text{계산구역}}} \leq 17\%$$

여기서  $L_{\text{계산구역}}$ 은 주풍방향에 수직인 계산구역단면의 수평길이,  $L_{\text{건물}}$ 은 주풍방향에 수직인 건물단면의 수평길이이다. 경기장의 너비( $L_{\text{건물}}$ )를 200m로 볼 때 계산구역의 너비

( $L_{\text{계산구역}}$ )를 1.5km로 취하면 우의 조건이 만족된다.

수평방향으로 계산그물은 100×100개로 전체 구역을 썩웠으며 분해능은 15m이다. ENVI-met에서 수평분해능은 개별적건물을 나타낼수 있도록 10m이하일것을 요구하지만 본 계산구역에는 규모가 큰 경기장밖에는 건물이 없으므로 마디점간격을 기준보다 크게 취하였다. 수직그물은 등간격방식으로 취하였으며 총개수는 30개이다.

ENVI-met에서는 지형이 평탄한것으로 가정하지만 계산구역의 북서쪽에 강기슭을 따라 산줄기가 놓여있는것으로 하여 이 조건이 성립되지 않는다. 그러나 대상건물인 5월1일 경기장이 평탄한 지형의 섬에 있고 섬주위는 강이 둘러싸고있는것으로 하여 ENVI-met의 제한조건에 적합하다고 보고 지형자료를 입력하였다.

계산구역안에서 록지비율은 51%, 수역은 43%이고 나머지가 포장면, 건물구역이다. 계산구역안에서 경기장을 내놓고 특별한 건물은 없다. 포장면에는 아스팔트와 콘크리트가 있고 록지에는 숲과 잡관목, 잔디밭이 있다. 계산구역의 환경과 요소들 즉 건물, 포장면, 식물, 토양, 수역을 ENVI-met 4.0의 지역자료입력모형 Spaces에서 정의하였다.(그림 1)

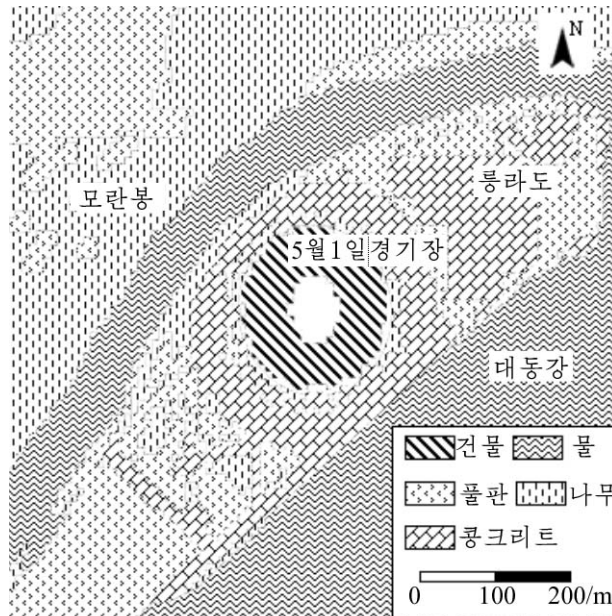


그림 1. Spaces에서 지역자료의 입력결과

계산구역의 수자화에는 DEM자료와 설계도, 항공 및 지상촬영사진들이 리용되었다. 식물의 높이는 현지조사자료에 기초하여 입력하였으며 일면적밀도값은 ENVI-met의 표준값들을 리용하였다.

수치적안정성을 높이기 위해 계산구역의 변두리에 5개의 삽입그물을 설정하였다. 대기경계조건에 필요한 1차원바람수직분포는 기상관측소의 자료를 리용하여 작성하였다. 거칠음높이와 2 500m높이에서의 비습은 모형의 표준값을 리용하였다.

계산구역에서 남동풍이 6m/s(10m높이)로 불 때 바람속도분포에 대한 수치모의결과를 그림 2에 제시하였다. 그림에서 수자는 관측지점들의 위치와 번호를 나타낸다.

바람관측은 5개의 지점(고정관측지점 2개, 이동관측지점 3개)에서 진행하였으며 측정

자료는 바람방향(8방위)별로 분류하여 기록하였다.

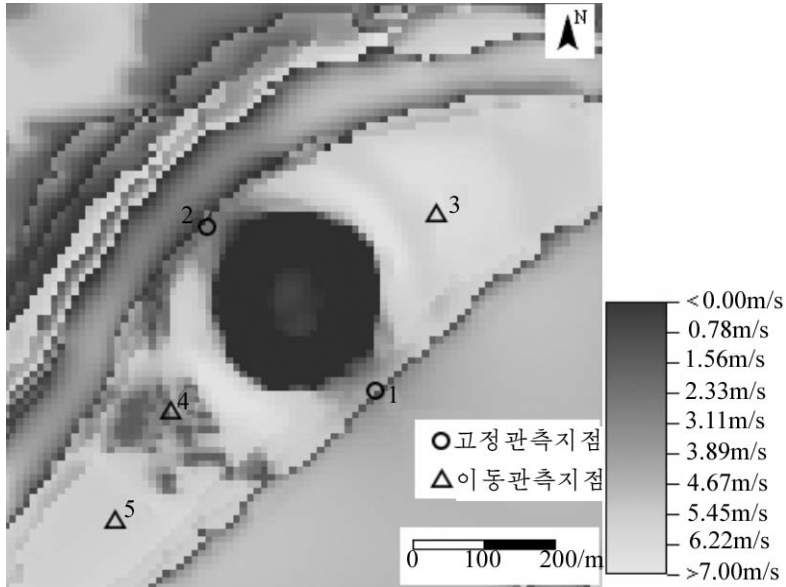


그림 2. 계산구역에서 바람속도분포의 수치모의결과(주풍-남동풍 6m/s)

고정관측지점들에서 높이에 따르는 바람속도분포에 대한 모의값과 관측값의 비교결과를 그림 3에 보여주었다. 그림에서 가로축(바람속도)은 10m높이에서의 바람속도값을 이용하여 무차원화하였다.

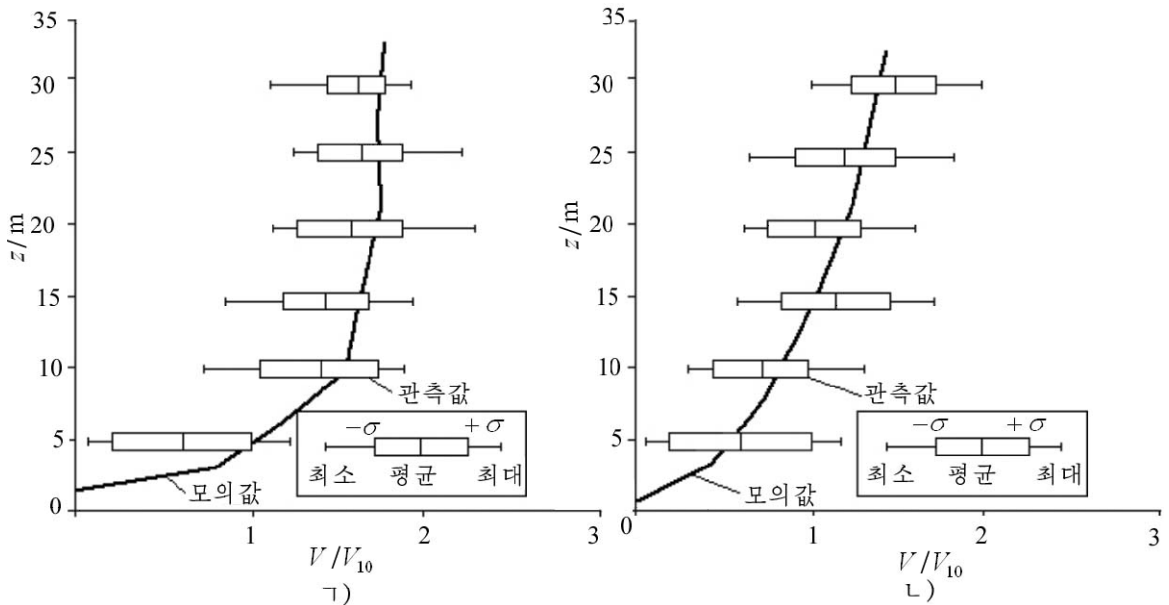


그림 3. 바람속도수직분포의 모의값과 관측값의 비교

ㄱ) 관측지점 1, ㄴ) 관측지점 2

각이한 지표면들에서 바람속도모의값과 관측값(2m높이)을 비교한 결과를 그림 4에 보여주었다. 바람속도의 모의값과 측정값사이의 오차는 높이에 따라, 주풍방향과 측정지점에 따라 차이가난다. 일반적으로 높이가 높을수록 오차가 작아지는 경향성이 나타났다.

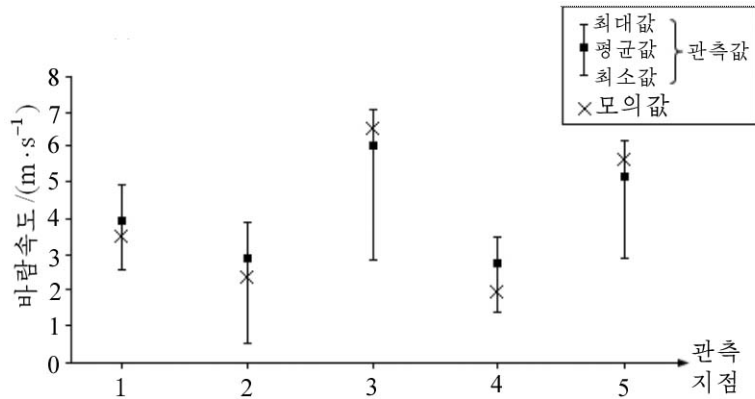


그림 4. 바람속도(2m높이)의 모의값과 관측값의 비교(주풍-남동풍 6m/s)

이것은 바람속도의 세기가 클수록 모의결과의 정확성이 높아진다는것을 의미한다. 오차가 가장 작은 경우는 북동풍이 불 때 관측지점 1에서 6%로 나타났다. 오차가 가장 큰 경우는 북서풍이 불 때 관측지점 4에서 21%로 나타났다.

모의결과에서는 지표면종류에 따르는 바람속도의 변화특성이 실제와 유사하게 나타났다. 관측지점 3에서는 바닥면이 콘크리트로 포장된 넓은 공지로서 바람속도가 가장 높게 측정되었다. 관측지점 4는 키나무, 잡관목을 비롯한 장애물이 밀집되어있어 바람속도의 감소가 제일 크게 나타나는 지점으로서 ENVI-met의 모의결과에 반영되었다.

## 맺는 말

미기후수치모형 ENVI-met를 리용하여 5월1일경기장지역의 건물과 식물을 구체적으로 반영하여 바람속도분포를 수치모의하고 그 결과를 야외측정자료와 비교하였다. 비교분석에서는 최대오차 21%, 최소오차 6%, 평균 11%로서 ENVI-met가 바람분포를 합리적으로 평가한다는것이 확인되었다.

모의결과와 측정값이 차이나는 원인에는 여러가지가 있지만 기본적으로는 바람속도를 측정하는 기간에 대기성층의 안정도가 일정하게 유지되지 않는것과 관련된다. 또한 모형에서 리용하는 직각구조의 그물로 하여 모의대상과 실제대상이 일정한 정도로 차이나는것과도 관련된다.

## 참고 문헌

- [1] 정상일; 대기경제총리론, 김일성 종합대학출판사, 18~25, 주체100(2011).
- [2] [2] Sebastian Huttner et al.; Further Development and Application of the 3D Microclimate Simulation ENVI-met, Gutenberg University, 11~19, 2012.
- [3] Bert Blocken; Building and Environment, 91, 219, 2015.

## **Evaluation of Wind behavior over Different Ground Surfaces by Using Microclimate numerical Model**

*Kim Hyon U, Jong Sang Il*

We simulated the air flow in the May Day Stadium area with the microclimate numerical model, ENVI-met. In comparison with field measurements, it is verified that ENVI-met model is capable of estimating the wind flow with the reasonable accuracy.

Key words: microclimatic numerical model, ENVI-met, CFD.