

### 3A3) 복잡지형 바람장 예측모델의 민감도 분석법

## A Sensitivity Analysis Method of Wind Flow Prediction Models in Complex Terrain

김현구

한국에너지기술연구원

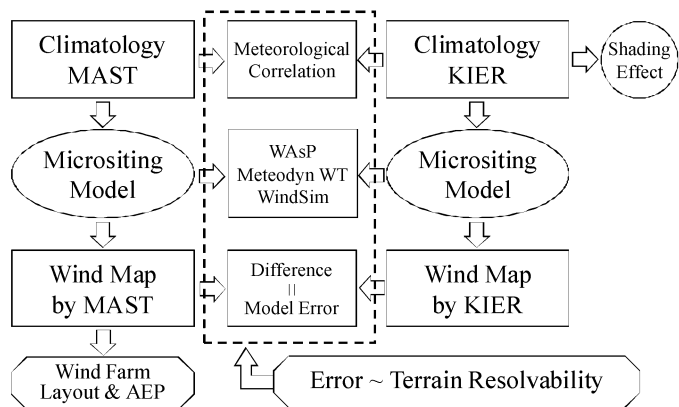
#### 1. 서론

바람장 예측(wind field prediction)은 바람과 관련된 여러 분야에서 매우 중요한 과정이다. 즉, 풍력발전 분야에서는 국소바람지도(micro wind map)를 작성하고 이로부터 풍력발전량 최대화를 위한 풍력발전기 설치위치를 결정하는데, 이를 국소배치(micrositing)라고 한다. 풍공학(wind engineering)에서는 구조물의 설계풍속을 도출하기 위하여 인근 지형지물에 의한 바람장 변화를 고려하여야 하며, 대기환경(atmospheric environment) 분야에서는 대기오염물질의 이송 및 확산매체가 바로 바람장이다. 특히 우리나라와 같은 복잡지형(complex terrain) 조건에서는 지형에 의한 바람장의 공간변화가 매우 크기 때문에 상기 분야에서 바람장 예측은 핵심적인 과정일 수밖에 없다.

본 논문에서는 풍력발전 분야에서 국소바람지도 작성 시 복잡지형 및 기상자료가 바람장 예측모델의 예측정확도에 미치는 민감도(sensitivity)를 파악하기 위한 민감도 분석법을 제안하고자 한다. 또한 대표적인 국소배치 소프트웨어에 대한 벤치마크를 통하여 각각의 지형분해력을 비교하고자 한다.

#### 2. 연구 방법

국소배치 모델의 민감도 분석법 개념을 그림 1에 도시하였다. 국소배치 시 입력정보로서 국지기상자료가 필요한데, 이때 복수개의 국지기상자료를 이용하는 것이 민감도 분석의 핵심이 된다. 즉, 그림 1의 개념도에서는 MAST, KIER로 명명된 2개의 국지기상자료를 예시하였는데, 이들은 기상학적으로 높은 상관성을 가지고 있으며 인근의 건물, 지표면 특성 등에 의한 교란요인이 배제되어야 한다. 또한 동일한 풍계(wind system) 내에 위치하여야 하므로 가능한 이격거리가 짧은 것이 바람직하다. 이러한 조건을 만족할 때 이들 국지기상자료 간의 차이점은 지형적인 영향요인만 남게 된다. 만일 국소배치 모델(또는 바람장 예측모델)의 지형분해력(terrain resolvability)이 완벽하다면 개별적인 국소기상자료를 입력자료로 작성된 각각의 국소바람지도는 이론적으로 동일하여야 한다. 각각의 국지기상자료에 의한 국소바람지도에 차이가 있다면 그 차이는 국소배치 모델의 지형분해 과정에서의 예측오차에 해당된다고 판단할 수 있다. 단순지형에서는 이러한 지형분해력에 따른 바람장 예측오차가 무시할만한 수준이겠으나 복잡지형에서는 매우 크게 증폭되어 나타날 수 있으므로 이에 대한 정량적인 비교분석을 할 필요가 있다. 이에 WAsP, Meteodyn WT, WindSim 세 가지 대표적인 국소배치 소프트웨어를 벤치마크 하였다.



#### 3. 결과 및 고찰

벤치마크를 실시한 국소배치 소프

Fig. 1. Schematics of sensitivity analysis methodology of micrositing model and climatology data.

트웨어의 특성 및 민감도 분석결과를 표 1에 제시하였다. 민감도 분석의 대상영역은 남극 세종기지 주위의 복잡지형을, 국지기상자료는 한국에너지기술연구원에서 남극 세종기지 풍력발전기 설치를 위하여 수행한 기상관측자료(KIER) 및 기상청의 남극 기상관측자료(MAST)를 사용하였다(김석우와 김현구, 2007a, b).

풍속예측의 민감도 분석 결과, k-epsilon 난류모델을 채택한 전산유체역학(CFD; Computational Fluid Dynamics) 기반의 WindSim 국소배치 소프트웨어의 예측오차가 가장 적은 것으로 나타났다. 즉, WindSim의 지형분해석이 가장 우수한 것으로 평가되었다. 참고로 RMSE는 5km×5km의 해석영역 전체에 대해 MAST 및 KIER 국지기상자료로 작성된 국소바람지도들 간의 풍속예측 오차로부터 계산된 값이다. 반면 Jackson & Hunt(1975)의 선형이론모델을 채택한 WAsP는 예상대로 복잡지형에서 RMSE의 경우 오차가 가장 작은 WindSim을 기준으로 이보다 21% 더 큰 오차를 보였다. 한 가지 특이한 결과는 CFD 모델인 프랑스의 Meteodyn WT이 더욱 큰 RMSE 오차를 보였다는 것이다. 이는 초창기 난류모델인 1-eqn. 모델은 복잡지형에서 오차가 크다는 선행연구들을 상기하면 그 원인을 짐작할 수 있다. 참고로 Meteodyn 모델은 고속철도(KTX) 도입 시 프랑스측에서 실시한 풍환경 검토용역에서 사용되었던 모델이다.

결론을 내리면, 지형요인 이외에 기상학적 상이성이 없는 복수개의 기상자료를 입력조건으로 바람장 예측을 실시하고 그 결과의 오차분석으로부터 바람장 예측모델의 지형분해 민감도를 분석하는 방법을 제시하였으며, 이를 통하여 풍력분야 국소배치 소프트웨어 벤치마크를 통하여 유의한 결과를 얻었다. 향후 풍력발전 단지조성을 위한 기상관측 시 이러한 민감도 분석이 가능하도록 측정지점과 측정개소를 설계한다면 보다 정확하고 신뢰도 높은 풍력자원평가를 통한 사업위험도 경감이 가능할 것으로 기대된다. 또한 유관분야에서도 이러한 방법론으로 바람장 해석결과를 검증할 수 있을 것으로 사료된다.

Table 1. Benchmark result of sensitivity analysis of micrositing software.

Comparison	WAsP www.wasp.dk	Meteodyn WT www.meteodyn.com	WindSim www.windsim.com
Analysis method	Linear theory	CFD	CFD
Turbulence model	-	1-eqn. model	k-epsilon model
Adequate terrain	Rolling terrain	Complex terrain	Complex terrain
RMSE of wind speed prediction	0.64m/s (+21%)	0.89m/s (+68%)	0.53m/s ( - )
Maximum error of wind speed prediction	1.45m/s (+44%)	1.42m/s (+41%)	1.01m/s ( - )

## 사 사

본 연구는 지식경제부 신재생에너지기술개발사업인 「한반도 해역 고해상도 풍력자원지도 구축 및 단지개발 적합성 평가시스템 개발」의 일환으로 수행되었습니다.

## 참 고 문 헌

- 김석우, 김현구 (2007a) 남극세종기지의 전산유동해석에 의한 풍력자원평가, 한국태양에너지학회 논문집, 27(3), 29-36.
- 김석우, 김현구 (2007b) 남극세종기지에서의 풍력자원 국소배치 민감도 분석, 한국태양에너지학회 논문집, 27(4), 1-9.
- Jackson, P.S. and J.C.R. Hunt (1975) Turbulent Wind Flow Over a Low Hill, Quart. J. Roy. Met. Soc., 101, 929-955.