

풍황자원 예측시 기상청 풍황자료의 유효성

Effectiveness of Wind Data from Automated Weather Stations for Wind Resources Prediction

황 윤 석* 이 원 선* 백 인 수** 유 능 수***
Hwang, Yoon-Seok Lee, Won-Seon Paek, In-Su Yoo, Neung-Soo

Abstract

The wind data measured from automated weather stations (AWS) at complex terrains in Korea was used to predict the wind velocity at nearby sites that are several kilometers away. The ten-minute averaged wind data was measured at a height of 10 meters. A commercial CFD code, WindSIM, based on the weighted averaged Navier-Stokes equation was employed. The results were compared with the data measured using meteorological masts (MM) at a height of 40 meters. The predictions using the AWS data and WindSIM showed good agreements with the measured data.

키워드 : 풍속예측, 자동기상관측소, 복잡지형, 원심

Keywords : Wind Prediction, AWS, complex terrain, WindSIM

1. 서 론

고도에 비례하여 풍황자원은 증가하게 되며, 이에 따라 복잡한 산악지형에서의 풍황자원 평가가 평탄한 지형보다 더 많이 요구 되고 있다[1]. 이로 인해 복잡한 지형에 대한 풍황자원 분석 및 예측에 대한 평가가 여러 모로 이루어지고 있다[2]~[4]. 전 세계적으로 풍황자원 분석 및 예측을 위해 많이 사용되는 WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program)[5]프로그램과 WindSIM[6]프로그램을 들 수 있다. WAsP(Wind Atlas Analysis

and Application Program)프로그램은 언덕에 대한 유동 이론인 Jackson and Hunt theory(Jackson and Hunt,1975;Taylor et al., 1983)에 포함되는 Troen(1990)의 'BZ-model' 선형모델을 사용하기에 평탄한 지형에서는 좋은 예측을 보이지만 경사가 큰 산악지형에서 일어날 수 있는 유동박리(Flow Separation)에 대한 고려가 이루어지지 않아 복잡한 지형에서의 풍황을 모사하는데 한계가 있을 수 있다[7],[8]. 이에 반해 WindSIM은 weighted averaged Navier-Stokes equation 식을 기반으로 정상상태에서의 3차원 유동장의 해를 얻을 수 있는 전산유체역학(CFD ; Computational Fluid Dynamics) 시뮬레이션이며 난류유동의 해석에 있어서 표준 k-epsilon 난류모델을 사용하고 있기에 복잡한 지형에서 비교적 풍황을 예측하기에 적합한 것으로 인식되어지고 있다[9]~[12].

국내 전역에는 580여개의 기상관측장비가 설치

* 강원대학교 메카트로닉스 공학과 석사과정

** 강원대학교 메카트로닉스 공학과 전임강사, 공학박사, 교신저자

*** 강원대학교 메카트로닉스 공학과 교수, 공학박사

되어있으며, 기상관측 기간도 길게는 100년이 넘는 관측소도 있다. 주로 국지적인 악기상의 실시간 감시 등 방재기상정보 생산을 목적으로 운영되고 있기에 그동안 관측위치 및 높이, 관측 자료의 품질에 대한 이유로, 인근지역의 풍황자원에 대한 분석 및 해석을 하는 목적보다는 참조의 목적으로 사용되어왔다. 하지만, 그 적용가능성에 대한 전문적인 연구는 미미한 실정이다.

본 논문에서는 국내 다섯 곳의 복잡지형에 대하여 각각의 최 인근 기상관측자료를 바탕으로, WindSIM에 의한 풍속과 풍향을 예측하여 각각의 지점에서 실측된 평균값과 비교함으로써 기상청 자료의 효용성을 판단해 보고자 한다.

2. 유동장(Wind field) 모델링

2.1 입력 데이터

(1) 지형도

본 논문에서 분석된 지점은 그림 1에 제시된 바와 같이 총 5개 지점(A, B, C, D, E)이며, 각각의 최 인근 기상관측 지점(A※, B※, C※, D※, E※)의 기상자료를 이용하여, A, B, C, D, E지점의 풍속을 예측 하고, 그 결과를 실측 데이터와 비교하였다.

5개 기상관측 지점의 측정높이는 기상청의 AWS (Automatic Weather Station) 관측 장비의 통상적 높이인 지면으로부터 10m높이로 하였고, 예측 지점에 대한 풍속 예측 값의 정확도를 평가하기 위해 5개의 각 지점에는 40m 높이의 풍황계 측타워를 설치하여 10분 평균풍속을 측정하였다.

연구에 사용된 지도의 크기는 기상관측소와 실측지점간의 거리가 각 지점마다 차이가 있어 다르게 설정 하였지만, 각 기상관측 지점과 실측지점에서 최소한 사방으로 약 4.3 km 이상의 이격거리를 유지하였다. 모든 지점에 대한 등고선 간격은 25m 전자지도를 사용하였다.

(2) 기상관측 지점 및 실측지점

그림1에 원형기호로 제시되어 있는 기상관측 지점들을 살펴보면, A※기상대는 해발고도가 100m이며 1km내 동쪽으로 낮은 산이 근접하고 있고, 동쪽과 서쪽방향으로 높은 산으로 둘러싸여 있다. 그림1에 정사각형 기호로 제시되어 있는 A지점은 해발고도가 1190m로 주변의 지형보다 높게 위치하고 있으며, A-A※ 사이의 직선거리는 13.9km 이다.

B※기상대의 해발고도는 550.1m이며 북, 동, 남쪽의 산으로 둘러싸여 있다. B지점은 해발고도가 1136m로 주변의 지형보다 높게 위치하고 있지만 동쪽과 서쪽으로 실측위치 보다 100m정도 높은 산이 위치하고 있다. B-B※ 사이의 직선거리는 7.5 km 이다.

C※기상대는 해발고도가 1004m이며 북쪽으로 120m 거리에 능선의 정상에 있다. 동쪽과 서쪽에 실측지점 보다 약 100m 높은 산봉우리가 위치해 있다. C 지점은 해발 고도가 1375m로 산 정상에 위치하고 있으며 서쪽과 남쪽으로 능선이 형성되어 있다. C-C※사이의 거리는 9.4km 이다.

D※기상대의 해발고도는 450m이며 북쪽으로 실측지점보다 75m 높은 산봉우리가 있으며 동쪽으로 산이 인접해 있다. 남북방향의 계곡을 형성하고 있으며 서쪽으로 측정높이 보다 낮은 건물들이 위치하고 있다. D 지점은 해발고도 1138m 이며 서쪽으로 약 200m 높은 능선이 남북으로 형성되어 있다. D-D※사이의 거리는 8.1km 이다.

E※기상대는 해발고도 1004m이며 북쪽으로 120m 거리에 능선의 정상에 위치하고 있다. 동쪽과 서쪽에 100m 높은 산봉우리가 위치해 있고 북서쪽에는 높이 10m 정도의 건물이 위치하고 있다. E 지점은 해발고도 850m 이며 능선정상에 위치하고 있다. 북쪽으로 70m 높은 산봉우리가 있고 남서쪽으로 산이 형성되어 있다. E-E※ 사이의 거리는 10.9km 이다.

(3) 풍황데이터

5개 지점의 풍속을 예측하고 비교하기 위해, 약 6개월~12개월의 동일 기간 관측 데이터를 사용하였으며, 각 지점에 따른 사용 데이터의 기간은 표 1에 제시된 바와 같다.

표 1 5개 지점 관측기간

지 점	관측기간
A-A※	12개월
B-B※	12개월
C-C※	6개월 23일
D-D※	12개월
E-E※	12개월

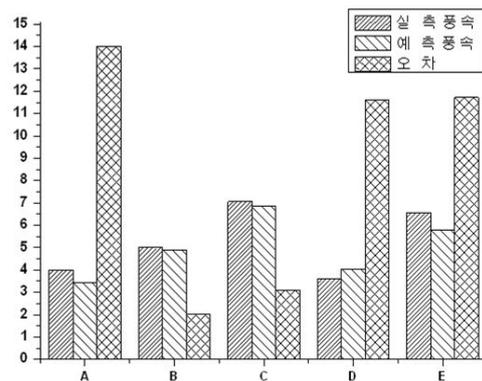


그림 2 풍속예측 결과



(a)



(d)



(b)



(e)



(c)

그림 1 분석지점 지형도. a. A-A※ b. B-B※
 c. C-C※ d. D-D※ e. E-E※

표 2 각 지점별 실측 데이터 분석

지 점	Weibull		
	Velocity [m/s]	A [m/s]	k
A-A※	4.00-0.86	4.55-0.99	2.32-1.64
B-B※	5.00-1.29	5.45-1.42	1.50-1.43
C-C※	7.06-2.59	7.90-2.77	1.85-1.40
D-D※	3.62-1.50	4.01-1.45	1.55-1.16
E-E※	5.75-2.89	5.94-3.18	1.27-1.48

2.2 실측 풍향 데이터 분석

표 2는 각지점별 실측데이터 풍향분석 결과이다. A※지점은 0.86m/s의 평균풍속과 주풍향이 남(S)풍으로, 평균풍속이 4.00m/s와 서북서(WNW)풍의 주풍향을 갖는 A지점과 상이하지만, 이런 차이는 서로 동일한 기후지역을 가정할 때 지표 근처의 풍향은 지형에 따라 크게 영향을 받기 때문에 나타나는 차이로 이해될 수 있다. B※지점은 1.29m/s의 평균풍속과 동북동(ENE)풍의 주풍향을 보이며, B지점의 평균풍속은 5.00m/s이고 주풍향은 남남서(SSW) 방향이다. C※지점은 2.59m/s의 평균풍속과 남남동(SSE)풍의 주풍향을 보이며, C지점은 평균풍속이 7.06m/s이고 주풍향은 서(W)풍이다. D※지점은 1.50m/s의 평균풍속과 주풍향이 남남서(SSW)풍이며, D지점의 평균풍속은 3.62m/s이고 주풍향은 서(W)풍을 갖는다. E※지점은 2.89m/s의 평균풍속과 남남동(SSE)풍의 주풍향, 그리고 E지점의 평균풍속은 5.75m/s, 주풍향은 서북서(WNW) 방향이다. 풍향을 예측하기 위한 각 지점의 Weibull 분포함수의 척도계수(A-parameter)와 형상계수(k-parameter)는 표 2와 같다.

3. 풍향예측

3.1 WindSIM의 모델링

표 3은 풍향해석에 많은 영향을 미치는 각 지점에 대한 지도(계산영역)의 크기, 격자 간격, 그리고 지표 거칠기가 제시되어 있다. 지도의 크기는 기상관측소(AWS)와 실측지점간의 거리가 각 지점마다 차이가 있어 지점마다 다르게 설정하였고 대수(log) 프로파일을 가정하는 WindSIM의 경계조건(boundary conditions)의 영향을 감안하여 각 지점에서 최소한 사방으로 약 4.3 km의 이격거리를 유지하였다. 또한 예측지점에 대한 보다 정밀한 예측값을 계산하기 위해 예측지역을 상대적으로 보다 세밀하게 격자간격을 주었으며, 계산시간과 효율성을 감안하여 예측지점으로부터 멀어질수록 격자간격은 조금씩 늘어나게 설정하였다. 예측지점의 주변에는 대략적으로 작게는 1m, 크게는 25m 정도의 나무로 산림이 조성되어 있다. 모든 지점에 대한 정확한 지표 거칠기를 산출할 수 없기에, 평균적으로 10m의 잡목림으로 예측지점이 이루어져 있다고 가정하였다. 그래서 A, B, C, D, E예측지점 모두 지표 거칠기 길이(Roughness Length)는 0.5m로 일정하게 설정하였다. 그리고 실측지점의 주변이 산으로 이루어져 있기에 특별한 구조물과 같은 장애물(Obstacles)은 없다고 가정하였다.

표 3 각 지점의 WindSIM 설정 값

A지점	설정 값
Domain size(km)	12.7 × 24.5
Grid spacing x-y(m)	43.5~221.1-38.5~195.8
Height of the lowest layers(m)	max-1.6 7.7 19.2 36.4 59.1 min-1.8 8.4 21.2 40.0 64.9
Number of layer in the vertical	59
Roughness height(m)	0.5
B지점	설정 값
Domain size(km)	21.9 × 27.5
Grid spacing x-y(m)	58.8~294-57.1~285.5
Height of the lowest layers(m)	max-0.8 3.9 9.7 18.4 29.9 44.2 61.3 min-1.0 4.9 12.3 23.2 37.7 55.7 77.3
Number of layer in the vertical	59
Roughness height(m)	0.5
C지점	설정 값
Domain size(km)	19.2 × 10.7
Grid spacing x-y(m)	40.0~202.2-45.4~230.9
Height of the lowest layers(m)	max-1.1 5.1 12.8 24.1 39.2 57.9 min-1.3 6.0 15.0 28.4 46.1 68.1
Number of layer in the vertical	59
Roughness height(m)	0.5
D지점	설정 값
Domain size(km)	15.1 × 19.1
Grid spacing x-y(m)	42.8~213.0-40.0~201.6
Height of the lowest layers(m)	max-0.8 3.7 9.3 7.5 28.5 42.1 58.3 77.3 min-1.0 4.7 11.8 22.4 36.3 53.7 74.5
Number of layer in the vertical	59
Roughness height(m)	0.5
E지점	설정 값
Domain size(km)	21.6 × 24.6
Grid spacing x-y(m)	58.8~294.6-57.1-294.0
Height of the lowest layers(m)	max-1.5 7.1 17.8 33.6 54.6 min-1.7 8.1 20.3 38.4 62.4
Number of layer in the vertical	59
Roughness height(m)	0.5

3.2 풍황예측 결과

표 4와 그림 2는 지점별 실측풍속과 예측풍속 그리고 상대 오차를 표와 그래프로 나타내고 있다. B와C 지점은 예측오차가 2.0 %와 3.1 % 로 5개 분석지점중 가장 작은 오차를 보였으며 A, D, E 지점은 각각 14.0 %,11.6 %,11.7 % 로 다소 높은 오차를 보였다. 하지만 분석된 총 5개 지점에 대하여 풍속 예측오차는 모두 15 % 이내의 결과를 보여 주었으며 5개 지점의 평균 오차는 약 8.5 % 로 10 % 이내의 오차를 보여주었다.

표 4 풍속예측 결과

지 점	실측풍속	예측풍속	오차[%]
A	4.00	3.44	14.0
B	5.00	4.90	2.0
C	7.06	6.84	3.1
D	3.62	4.04	11.6
E	6.57	5.80	11.7
평 균			8.5

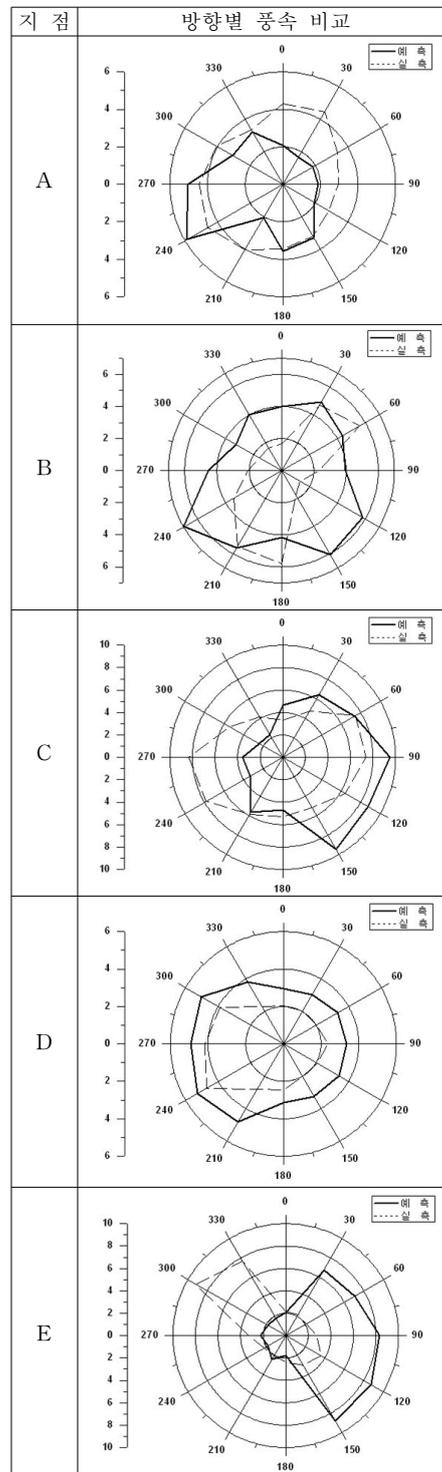
표 5는 실측풍속과 예측풍속을 방향별 풍속으로 비교하여 보여주고 있다. D 지점은 실측값과 예측 값이 비슷한 방향별 풍속을 보였지만, 그 외 나머지 4개 지점은 다소 상이한 방향별 풍속을 보였다. 또한 E 지점의 경우 실측값과 예측 값이 방향별 풍속으로는 전혀 다른 값을 보여주었다.

이러한 큰 차이를 보이는 원인으로서는 자동 기상 관측장비(AWS)를 이용한 측정이 대부분 지표면으로부터 10m 높이에서 이루어지며 많은 경우 마을 인근에서 수행되어 장애물이나, 지표 거칠기의 영향에 민감할 수 있으며, 또한 실측되는 풍속 값이 대부분 3m/s 보다 작기 때문에 풍향에 대한 오차가 크게 발생하는 것으로 판단된다. 또한 기상관측 지점과 실측지점간의 거리가 다소 거리가 있는 7~14km 이며, 평탄한 지형이 아닌 복잡한 산악지형이기 때문인 것으로 판단된다.

풍향에 따른 풍속과 달리 평균 풍속을 비교하게 되는 경우는, 풍향에 대한 정보가 왜곡 되어질 수 있다 하더라도, 절대적인 풍속에 대한 정보에 의한 값이 계산이 되어서므로 그 오차가 비록 작지 않지만, 15% 이내의 오차를 보인 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 비록 기상관측 데이터를 이용하여, 분석한 결과가 풍향별 풍속 정보를 예측하기에는 사용될 수 없지만 보다 정확한 자원조사를 하기위한 실측타워 설치 지점을 찾는 경우 상대적으로 풍황이 좋은 지점을 찾는 데 유용하게 사용될 수 있다고 판단된다. 하지만, 보다 정확한 결론을 위해서는 보다 많은 국내 복잡지형에 대해 좀더 많은 연구가 수행되어야만 한다.

표 5 풍속예측 결과



4. 결론

본 연구에서는 10m 높이에서 측정되어지고 있는 기상관측 자료가 복잡지형에서의 풍향 분석에 어느 정도의 유용성을 갖는지를 평가하기 위해 복잡지형에 위치한 5개 지점에 대해 최근 기상 관측 자료를 이용하여 풍향을 예측해 보았다. 복잡지형에서 발생하는 유동박리 등 비선형 효과를 포함한 3차원 유동장의 해를 구하기 위해, WindSIM 프로그램을 이용하여 예측한 결과 풍속만을 고려한 경우 예측 값과 실측값의 차이가 평균 8.5 % 오차율로 예측되었다. 하지만, 실측값과 예측 값을 풍향에 따른 풍속으로 비교할 경우, 대부분의 경우 크게 상이한 결과를 보여주었다. 이런 오차의 원인으로서는, 기상관측 자료의 경우 낮은 측정 높이에 기인한 풍속 및 풍향 오차가 클 것으로 판단된다. 본 연구의 결과는 비록 기상관측 데이터를 이용하여, 분석한 결과가 풍향별 풍속 정보를 예측하기에는 사용될 수 없지만 보다 정확한 자원조사를 하기 위한 실측타워 설치 지점을 찾는 경우 상대적으로 풍향이 좋은 지점을 찾는 데 유용하게 사용될 수 있다고 판단된다. 또한 실측 기상타워를 설치할 위치를 정하는 데에도 이용할 수 있다고 판단된다. 앞으로 보다 많은 지점을 검토함으로써 기상관측 자료가 풍향자원 분석시 얼마만큼의 신뢰성과 효용성이 있는지에 대한 연구가 더욱더 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] Byun Su-Hwan, Ko Kyung-Nam, Huh Jong-Chul "Application and Assessment of WAsP for Haengwon Wind Farm" *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol.24, No. 3, 2004.

[2] Yoon J.-E., Kyong N.-H. Kim S.-W. "A Prediction of Turbulent Characteristics in a Complex Terrain by Linear Theory", *Journal of the Korea Solar Energy Society*, Vol.25, No. 1, 2005.

[3] Yoon, Kwang-Yong, Yoo, Neung-Soo, Paek, In-SU "Wind Speed Prediction using WAsP for Complex Terrain", *Proceeding of the 2008 Autumn Conference of Korea Wind Energy Association*. 2008.

[4] Llombart, A, talayero, A, Mallet, A, Telmo, E, "Performance Analysis of Wind Resource Assessment Programs in Complex Terrain", *Int'l Conference on Renewable Energies and Power Quality*, 2006.

[5] Risoe Laboratory, <http://www.wasp.dk/>

[6] WindSIM AS, <http://www.windsim.com>

[7] Pep Moreno, Arne R.Gravdahl, Manel Romero "Wind Flow over Complex Terrain: application of Linear and CFD Models." *European Wind Energy Conference and Exhibition*, Madrid, 2003. [2]

[8] Waston, G., Doubilas, N., Hall, S. "Comparison of Wind Flow Models in Complex Terrain" *World Renewable Energy Congress*, 2005.

[9] J.M.L.M. Palma, F.A. Castro, L.F. Ribeiro, A.H. Rodrigues, A.P. Pinto, "Linear and nonlinear models in wind resource assessment and wind turbine micro-siting in complex terrain", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2005.

[10] Kim, Seok-Woo, Kim, Hyun-Goo "Sensitivity Analysis of Wind Resource Micrositing at the Antarctic King Sejong Station" *Journal of the Korean Solar Energy Society* Vol.27, No. 4, 2007.

[11] Rene Cattin, Beat Schaffner, Dr. Stefa Kunz "Validation of CFD Wind Resource Modeling in Highly Complex Terrain" *EAWC Conference* 2004.

[12] Erik Berge, Arne R. Gravdahl, Jan Schelling, Lars Tallhaug, Ove Undheim Wind in complex terrain. A comparison of WAsP and two CFD-models, *European Wind Energy Conference and Exhibition*, 2003.