

제주도 풍력자원 데이터베이스 구축을 위한 기상통계분석

김현구 · 장문석 · 이은정*

한국에너지기술연구원 풍력발전연구단, *기상청 기상산업생활본부
(2008년 1월 15일 접수; 2008년 6월 17일 채택)

Meteor-Statistical Analysis for Establishment of Jeju Wind Resource Database

Hyun-Goo Kim, Moon-Seok Jang and Eon-Jeong Lee*

Wind Energy Research Group, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

*Korea Meteorological Administration, Industrial Meteorology & Social Welfare, Seoul 156-720, Korea

(Manuscript received 15 January, 2008; accepted 17 June, 2008)

Abstract

In order to support the development of wind farms in Jeju, a wind resource database for Jeju has been established using a meteor-statistical analysis of KIER(Korea Institute of Energy Research) met-mast measurements and KMA(Korea Meteorological Administration) weather data. The analysis included wind statistics, tower shading, an exposure category classification using satellite images, the effect of atmospheric stability on the wind profile exponent, and a correlation matrix of wind speed to gain an understanding of the meteorological correlation between long-term weather observation stations and short-term met-mast measurements. The wind resource database for Jeju, is to be provided as an add-on to Google Earth™, which is expected to be utilized as a guideline for the selection of an appropriate reference site for long-term correction in the next wind farm development project.

Key Words : Wind resource assessment, Jeju, Meteor-statistical analysis, Long-term correction

1. 서 론

제주도는 풍황이 우수하여¹⁾ 국내에서 풍력개발이 가장 활발한 지역 중 하나이다. 현재 제주도에 건설되어 운영 중인 풍력단지로는 행원단지(9.795MW; 225kW×1, 600kW×2, 660kW×7, 750kW×5), 한경단지(21MW; 1.5MW×4, 3MW×5), 한국에너지기술연구원의 월령 성능평가기지(100kW×1)와 한국에너지기술연구원의 월정 신재생에너지연구기지(1.5MW×1)가

있으며 한국에너지기술연구원에서 추진 중인 국내 최초의 해상풍력발전 실증단지(4MW; 2MW×2)가 있다. 한국에너지기술연구원에서는 현재까지 제주도 내 30여 지점에서 풍력자원조사를 수행한 바 있으며, 기상청의 기상관측소 4지점과 자동기상관측소(AWS) 16지점을 합하면 제주도에 총 50여 지점의 기상관측자료가 존재한다.

풍력자원조사는 풍력발전 단지조성 예상지역에 기상탑(met-mast)을 설치하여 최소 1년간 측정한다²⁾. 이러한 단기간 관측자료는 기상인자의 장기간 경년 변화 및 기상이변 등에 의해 필연적으로 오차요인

Corresponding Author : Hyun-Goo Kim, Wind Energy Center, Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea
Phone: +82-42-860-3376
E-mail : hyungoo@kier.re.kr

이 포함되므로, 풍력발전사업과 같은 장기간 운영 사업에 활용하기 위해서는 반드시 장기간 보정이 요구된다³⁾. 또한 측정지점의 국지기상 대표성 또는 종관기상 연동성 등을 분석하지 않으면 관측기간의 특이성을 판별하기 힘든 경우가 많다.

현재까지의 국내 풍력자원조사 사례를 검토한 바에 의하면, 기상학적 관점에서 지역대표성 여부를 검증하거나 장기간 보정, 기상탑 차폐영향 등을 검토한 경우를 찾아보기 힘들다. 이러한 측정자료 그대로를 풍력자원평가에 활용하였을 때 예상되는 불확도(uncertainty)는 매우 클 것이며, 만일 측정기간이 평년기상이 아닌 특이기상이었다면 이로 인하여 사업성패에 직접적인 영향을 미칠 수준의 오차가 발생할 수도 있다.

이러한 배경 하에 지정학적으로 독립된 섬인 제주도 풍환경에 대한 이해의 폭을 넓힘과 동시에 풍력발전 사업자에게 직접적인 도움을 제공하기 위하여, 체계적이며 종합적인 분석에 의해 데이터베이스화 되어있지 못한 관계로 사장된 자료로 여겨졌던 풍력자원 측정자료에 대한 기상통계분석을 실시함으로써 제주도 풍력자원 데이터베이스를 구축하였다. 특히 본 논문에서는 풍력자원평가 시 필수적으로 요구되는 장기간 보정을 위한 참조지점 선정 기준을 제공함에 그 주된 목적을 두고 있다.

2. 재료 및 방법

2.1. 연구자료

제주도는 장축이 반시계 방향으로 약 15도 기울어진 타원형(장단비 1:2.4)의 한라산체 섬으로 해발 고도 200 m 이하의 지역이 전체면적의 55.3%를 차지하며 해안선은 비교적 단순한 편이다. 그러나 해발 600 m 이하 고도에 표고 200~300 m인 봉우리(오름, 약, 봉)의 80%가 산재되어 있어 하층 풍계에 영향을 주는 지형적 특색이 있다. 또한 한라산이 독립된 장애물로 작용하여 풍상-풍하측이 상반된 기상을 보이는 등 동서남북에 따라 다양한 기상현상이 존재한다.

Fig. 1은 제주도에 위치한 기상청 기상관측소 및 한국에너지연구원 풍력자원조사 지점을 표시한 지도이다(측정지점명은 Table 1 참조). 한국에너지기술연구원의 풍력자원조사 측정자료에 대해서는 태풍 등의 특이기상 사례기간을 제외한 후 계절변화가 포함된 최소 1년 이상의 관측기간이 확보되어 계절변동성의 파악이 가능한 경우만을 선택하였다. 이에 따라 풍력자원조사 총 33지점으로부터 유효 측정자료 24지점이 선별되었다.

풍력자원평가 단계에서의 불확도 수준⁴⁾은 복잡 지형 국소배치(25%), 풍속 높이외삽(20%), 장기간 보정(7%) 순이다. 본 연구는 이 중 장기간 보정 및

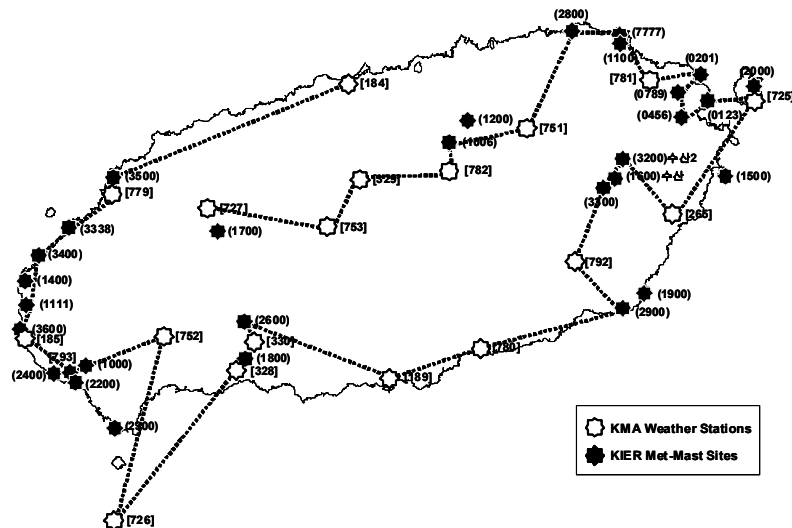


Fig. 1. Wind measurement sites in Jeju (dashed lines: site order of wind speed correlation matrix).

풍속 높이의압의 불확도를 최소화하기 위한 분석자료와 활용정보의 제공에 초점이 맞추어져 있다.

2.2. 연구방법

기상통계분석에 의해 풍력자원 데이터베이스를 구축한 과정은 다음과 같다.

(1) 기상청 및 한국에너지기술연구원의 관측자료를 수집하고, 풍력자원조사 측정자료의 경우 기상청의 기상자료 품질관리방법⁵⁾에 따라 이상자료를 제거하는 등의 전처리를 수행하였다.

(2) 장기간 보정의 가이드라인을 제공하기 위하여 관측지점 간의 시계열 풍속자료를 이용한 상관분석을 실시하여 풍속 상관행렬(correlation matrix)을 작성하였다.

(3) 풍속 높이의압(extrapolation) 시 정확한 풍속 분포지수(wind profile exponent)를 도출하기 위한 참조자료로 고해상도 인공위성사진에 의한 측정지점 주변의 지면거칠기 및 노풍도 분석, 기상탑 차폐영향도 분석자료를 구축하였다.

(4) 현재까지 풍력자원평가 시 단순히 중립대기(neutral atmosphere)를 가정하여 왔으나 실제로는 중립대기의 출현빈도는 40% 수준에 불과하다⁶⁾. 이에 중립대기 상황을 별도로 분리하여 해석함으로써 대기안정도(atmospheric stability)에 의한 풍속연직분포의 변화양상을 고찰하였다.

(5) 제주도 풍력자원 데이터베이스를 구글어스(Google EarthTM)에서 사용가능한 파일형식으로 작성함으로써 고품질의 공개 지리정보와 위성영상을 손쉽게 활용할 수 있도록 하였다.

2.2.1. 장기간 보정을 위한 풍속상관행렬

풍력자원조사는 풍력발전 단지개발 유망후보지의 국지기상 대표지점에 기상탑을 설치하여 계절변동이 포함되는 최소 1년간의 단기간 관측을 실시한다. 따라서 향후 20년 이상의 운영기간에 대한 풍력자원평가를 위해서는 필연적으로 장기간 보정이 필요하다. 장기간 보정 시 기상학적 상관성이 높은 인근의 기상관측소 측정자료를 활용하여 측정-상관-

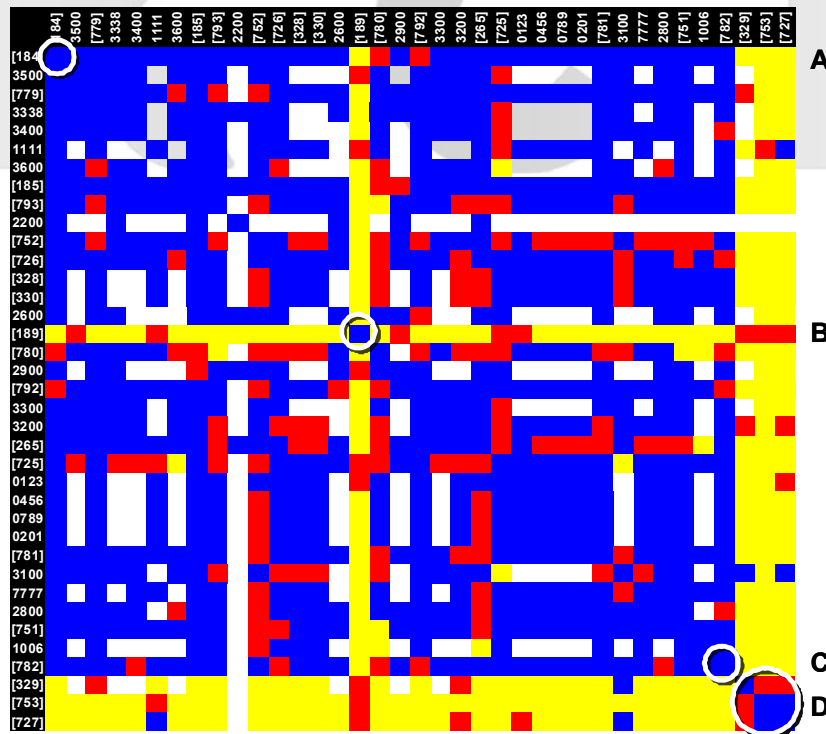


Fig. 2. Correlation matrix of wind speed (■: >0.6, ■: 0.3~0.6, ■: <0.3, □: ND).

예측(MCP; Measure-Correlate-Predict) 방법에 의해 보정하는데³⁾, 복잡지형/복합기상 조건에서는 이격 거리와 기상학적 상관성이 비례하지 않을 수 있음에 각별히 주의하여야 한다.

제주도 풍력자원 데이터베이스에서는 제주도 내 전체 관측지점 간의 기상학적 상관성을 시계열 월 평균/일평균 풍속의 교차상관계수로 구성된 상관행렬로 계구성함으로써 장기간 보정에 적합한 기상관측소를 손쉽게 선정할 수 있도록 가이드라인을 제공하였다. 풍속 상관행렬은 장기간 보정을 위한 참조지점의 선정 뿐만이 아니라 제주도 중관풍계와 측정지점 국지풍계 간의 기상학적 상관성을 판단할 수 있는 자료이기도 하므로, 이를 통하여 관측지점의 국지기상 대표성을 검증할 수 있다.

제주도 측정지점간 시계열 풍속의 상관행렬은 Fig. 2와 같다. 상관행렬의 행과 열은 각각 기상관측지점이며, 그 순서는 Fig. 1의 측정지점간 연결선의 반시계 방향순이다. 행렬값은 행과 열에 해당되는 측정지점 간의 시계열 풍속 상관계수를 4단계의 색상으로 나타냄으로써 종합적인 상관특성을 파악하기 위한 가시적인 정보를 제공한다. 즉, 파란색은 상관도가 높음을, 빨간색은 약한 상관성이 있음을, 노란색은 상관도가 매우 낮음을 의미한다. 참고로 흰색은 공통기간 자료가 불충분하여 상관계수를 산정하지 못한 경우이다. 따라서 상관행렬의 정의 상 대각선을 기준으로 대칭형(symmetric)이 되며 대각행

렬은 자기상관이므로 상관계수는 1이 된다.

Fig. 2에 표시된 A 지점은 제주시 기상관측소[184]로 C 지점의 성관악[782] 기상관측소와 마찬가지로 전 측정지점과 높은 상관도를 보이고 있다. 반면 B 지점은 서귀포 기상관측소[189]로 전반적으로 타 관측지점과는 매우 낮은 상관도를 보이고 있으나 상대적으로 D 지점들과는 다소간의 연계성이 나타나고 있다. 한편 D 지점들은 한라산에 근접한 중부내륙의 오라[329], 유수암[727], 어리목[753] 기상관측소로 타 관측지점과의 상관성은 매우 낮은 반면 상호간에는 개별적인 통계권역을 이루고 있는 것으로 분석된다. 이는 제주도 중부내륙 국지기상이 해안 국지기상과는 별개의 특성임을 시사하는 것이다.

Fig. 3은 고산 고층관측[47185] 및 제주[184] 지상관측과 타 측정지점 간의 풍속 상관계수를 그래프로 정리한 것이다. 고산의 경우 라디오존데에 의한 지면고도 125 m 및 3 km 상공에서의 풍속자료이다. 그런데 타 지점과의 상관도를 보면 고산 고층기상과 제주 지면기상의 상관형태가 매우 유사하며 이는 제주 기상관측소가 중관기상과 연동되고 있음을 의미하는 것이다. 참고로 고산 750 m, 1.5 km 및 5.7 km 상공에서의 풍속자료도 유사한 상관성을 보인다. Fig. 3의 분석그래프를 보면 대부분의 경우 0.6 이상의 양호한 상관계수를 보이며, 선형회귀성에 대한 t-검정에서도 유의수준 5% 이내로 상관성 있

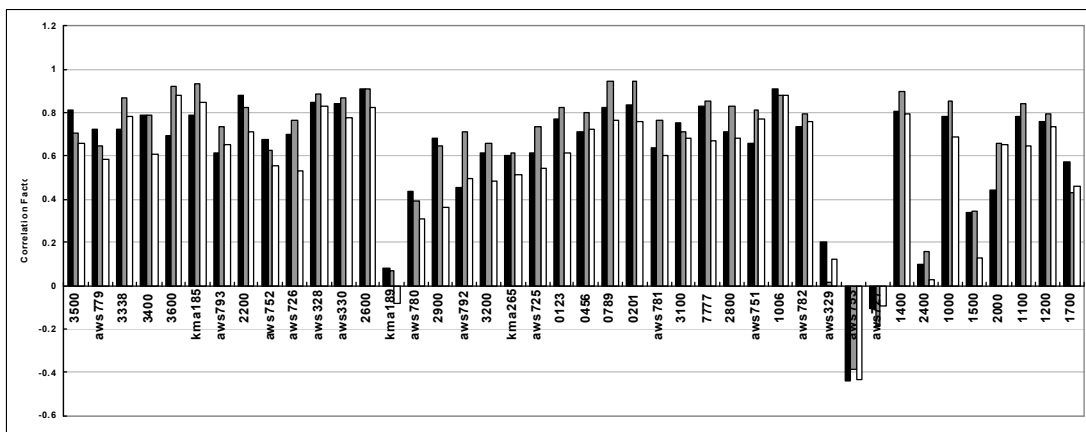


Fig. 3. Comparison of correlation factors of monthly wind speed (upper) and its R-squared (lower) between Jeju weather station(■), Gosan radiosonde data(■: 125 m, □: 3 km a.g.l.) and other in-situ measurements.

음을 검정하였다. 중부내륙 측정지점은 앞서 설명한 바와 같이 별개의 풍계를 이루고 있어 제주[184] 및 고산고층[47185]과는 상관계수도 낮고 선형회귀도 유의성 없음으로 분석되었다. 종관기상과 무관한 특성을 보이는 일부 측정지점(2300, 1600)은 국지풍계가 강하게 나타나는 지점일 가능성이 높다. 만일 이들 측정지점이 협소한 영역 내에 국지풍계가 강하게 생성되는 장소라면 일정규모 이상이 되어야 하는 풍력발전 단지조성 후보지로는 부적합하다고 사료된다.

2.2.2. 풍력발전기 허브높이로의 풍속외삽

풍력자원조사 시 기술적, 경제적 제약조건에 의해 요구되는 측정높이, 즉 풍력발전기의 허브높이(hub height)보다 낮은 높이의 기상탑을 설치하게 되는 경우가 대부분이다. 따라서 측정자료로부터 허브높이에서의 풍속을 외삽(extrapolation) 계산하여야 하는데, 풍력자원평가 시 가장 큰 오차가 발생하는 부분이 바로 풍속 높이외삽이다.

풍속외삽 방법으로는 토지이용도(landuse) 분석에 의해 지면거칠기(surface roughness, z_0)를 추정하여 로그법칙(log-law) 풍속분포식을 이용하거나,

$$V(z) = \frac{u_*}{\kappa} \log \frac{z}{z_0} \quad [\text{m/s}] \quad (1)$$

다중높이(z_r)에서 측정된 풍속(V_r)을 곡선접합하여 멱법칙 지수(또는 풍속분포지수, α)를 산출함으로써 멱법칙(power-law) 풍속분포식을 이용할 수 있다.

$$V(z) = V_r \left(\frac{z}{z_r} \right)^\alpha \quad [\text{m/s}] \quad (2)$$

전자의 경우 현장답사 또는 인공위성 영상사진 등을 이용하여 기상탑을 중심으로 각 방위별 영역의 토지이용도를 판별하여 그에 해당하는 경험적인 지면거칠기값을 할당하게 되는데, 지면거칠기는 식물생장에 의해 계절별 변화 등의 오차요인이 포함된다. 후자의 경우 다중높이 측정풍속만을 사용하므로 공학적인 측면에서 활용도가 높으며 토지이용도의 주관적인 판별 또는 계절적 변화요인 등에 의한 오차는 배제시킬 수 있는 방법이다. 참고로 풍력발전단지 최적설계에 사용되는 대표적인 선형이론

국소배치(micrositing) 소프트웨어인 WASP의 경우, 높이외삽은 지면거칠기에 의해 정의되는 로그법칙 풍속분포식을 이용하되 단일높이 측정자료만을 사용하는 방식이기 때문에 풍속외삽의 측면에서 볼 때 불확도가 높아질 소지가 많다. 따라서 WASP를 이용하는 풍력자원평가 시 풍속 높이외삽에 대해서는 별도의 분석과 평가가 반드시 필요하다고 사료되며, 이때 본 연구에서 제공하는 재해석 자료 및 분석방법이 유용한 지침이 될 수 있을 것이다.

풍속의 높이외삽 시 중요한 인자는 지면거칠기와 대기안정도이며 부수적으로 기상탑 차폐에 의한 영향 등이 있다. Fig. 4는 두문포(0123) 측정자료로부터 30 m 높이와 20 m 높이에서의 풍속차를 풍향별로 산출한 그래프이다. 지형지물의 영향에 의해 풍향별 풍속전단이 상이할 수 있으므로 전 풍향에 대해 균일한 풍속차가 발생하지는 않지만 Fig. 4에서는 45도 구간과 165도 구간에서 매우 큰 풍속차가 관찰된다. 이는 풍속센서와 기상탑의 배치구조에 의해 기상탑이 풍상부에 위치하게 될 경우 구조물에 의한 후류영향으로 풍속 측정값의 왜곡이 발생하기 때문이다. 두문포 측정사례의 경우 30 m 측정높이에서는 풍속센서가 225도 방위에(45+180), 20 m 측정높이에서는 345도 방위에(165+180) 설치된 경우이다. 30 m와 20 m 높이차이의 풍속전단에 의한 풍속차는 0.4 m/s이나 기상탑 차폐영향에 의한 최대 풍속차는 45도와 165도 풍향구간에서 각각 -0.8 m/s, 1.6 m/s로 풍속외삽에 영향을 미칠 수준의 오차이다. 따라서 풍력자원평가 시 기상탑 차폐영향을 보정하는 것이 바람직하다고 사료된다. 참고

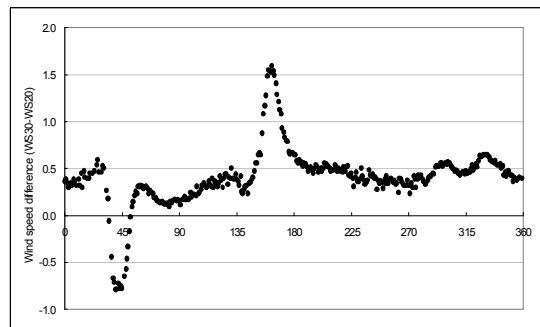


Fig. 4. Wind speed difference by wind direction between 30 m and 20m at dumunpo site(0123).

로 두문포 측정자료의 경우 전산유동해석에 의한 기상탑 차폐영향 보정⁷⁾을 실시한 바에 의하면 풍력 밀도 예측오차가 미보정 시 2.5%로 무시할 수 없는 수준인 것으로 분석되었다.

2.2.3. 대기안정도 파악을 위한 중립대기분석

풍속의 연직분포에 영향을 미치는 중요한 인자는 대기안정도이다. 실용적 차원에서 현재까지의 풍력 자원평가는 대기안정도의 영향을 무시하고 중립대기를 가정하여왔다. 그러나 풍력사업의 수익경쟁이 본격화 되면서 그동안 무시하여왔던 인자들을 추가로 고려하여 풍력자원평가의 정확도를 향상시킴으로써 사업위험도를 감소시키고 사업수익성을 향상시키려는 노력이 풍력기술 선도국에서는 매우 활발하게 진행되고 있다. 우리나라는 대부분의 풍력자원조사가 지역에너지사업의 일환으로 정성적인 풍력자원 잠재량 평가의 목적으로 수행되었기 때문에 해석 불확도에 대한 정밀분석이 포함되지 않았던 경우가 많았다. 그러나 향후에는 풍력기술 선도국과 동일한 수준의 정밀해석이 요구될 것이 자명한바, 본 연구가 향후 풍력자원평가의 유용한 참조가 될 수 있을 것으로 기대된다.

Fig. 5는 기온 일교차에 따른 대기안정도의 영향을 단적으로 보여주는 사례로, 두문포 측정자료로부터 중립대기인 경우와 모든 대기안정도를 포함한 경우의 풍속분포지수 일변화를 비교한 그래프이다. 참고로 중립대기는 50 m 높이에서의 풍속이 7 m/s 이상인 경우로 가정하였다⁸⁾. 중립대기의 경우 풍속분포지수의 일변화가 없이 일정한 값을 나타내

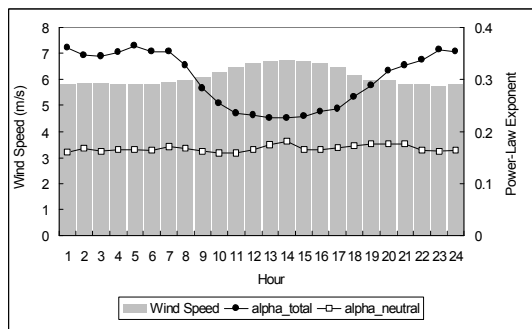


Fig. 5. Diurnal variation of wind speed and wind profile exponents at Dumunpo site(0123).

고 있다. 대기안정도 효과가 제외된 경우에 풍속전단을 지배하는 인자는 지면거칠기가 되며 지면거칠기는 하루 중 시간에 따라 변화하지 않기 때문에 일정한 풍속분포지수값이 물리적으로 타당한 결론이다. 반면 전 대기안정도를 포함한 경우에는 안정대기가 형성되는 야간시간대의 풍속분포지수가 큰 값을 보이고 있다. 이로부터 풍속분포지수를 이용하여 지면거칠기를 산출할 경우 반드시 대기안정도를 고려하여야 함을 알 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 제주도 풍력자원 데이터베이스

기상통계분석에 의해 구축된 제주도 풍력자원 데이터베이스는 풍력자원 개발자가 풍력발전사업에 앞서 사전검토를 진행함에 있어 손쉽게 참조자료 및 해석지침으로 활용할 수 있도록 Fig. 6과 같이 구글어스의 부가(add-on) 자료형태로 제공함으로써 구글어스에서 무료로 제공하는 인공위성영상 및 위경도 좌표 등의 지리정보를 이용함으로써 활용도를 높일 수 있다.

제주도 풍력자원 데이터베이스에서 제공하는 기상통계분석 정보를 요약하면 다음과 같다.

(1) 측정개요 및 통계분석 결과: 측정지점의 주소지와 위경도 좌표, 개괄적인 지형지물 배치상황 그리고 측정기간 및 측정자료 회수율, 다중높이 측정정보 등을 제공한다.

(2) 노풍도(exposure category) 분석: 측정지점을 중심으로 반경 5 km 영역에 대한 지형지물 분포현황 즉, 노풍도 분류와 함께 별도의 슬라이드에서는 반경 500 m 영역에 대한 고해상도 위성사진을 제공하여 사용자가 지면거칠기를 정의할 수 있도록 도움을 준다. 노풍도 분류는 건축교통부 풍하중기준⁹⁾을 사용하였다. 노풍도는 지면상황에 따라서 A, B, C, D로 구분되는데, A는 대도시 중심부와 같이 높이 20 m 이상의 건물이 50% 이상을 차지하고 있는 지면상황에 해당되며 B는 도시교외의 산림지, C는 전원지역 또는 초원에서 높이 10 m 이하의 장애물이 산재된 경우이며 D는 평탄하고 개방된 교외, 해안, 초원에 해당된다.

(3) 바람통계(wind statistics): 풍속 및 풍속분포지수의 일변화 그래프, 풍향빈도 바람장미, 풍력밀도

및 풍속분포지수 바람장미를 기본으로 제시하고 있으나 풍속분포지수와 월평균 풍속의 상관분석으로부터 국지풍계를 분류할 수 있다¹⁰⁾. 또한 기상탑 차폐영향을 보정할 수 있도록 측정높이별 풍속차장미도와 함께 다중높이별 센서의 설치방위에 대한 정보를 제공한다.

3.2. 제주도 풍력자원 기상통계분석

제주도 풍력자원 데이터베이스에 포함된 기상청 및 한국에너지기술연구원의 50여 관측지점에 대한 기상통계학적 풍력자원 분석결과를 Table 1에 정리하였다. 참고로 제시된 자료는 장기간 보정을 하지 않은 측정기간 통계값이다.

참고로 표에서 와이블(Weibull) 분포의 등급계수 c와 형상계수 k는 풍속분포에 대한 다음의 와이블 분포식으로부터 측정자료의 곡선접합으로 산출한 값이다.

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} \exp\left[-\frac{V}{c}\right] \quad (3)$$

풍력밀도(wind power density)는 다음 식으로부터 구해지는데 공기밀도는 $\rho=1.225 \text{ kg/m}^3$ 로 상수값을 적용하였다.

$$P/A = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{2} \rho_i V_i^3\right) \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (4)$$

제주도 풍력자원 기상통계분석으로부터 얻어진 유의한 결과는 다음과 같다.

(1) 단기간 풍력자원조사 측정자료의 장기간 보정을 위한 참조 기상관측소를 선정하기 위하여 풍속 상관행렬을 작성하였다. 풍속 상관행렬을 참조하여 거리 상으로 가장 가까우며 측정지점과의 상관성이 높을 뿐 아니라 인근 지점과의 상관도가 높아서 국지기상 대표성을 확인할 수 있는 기상관측

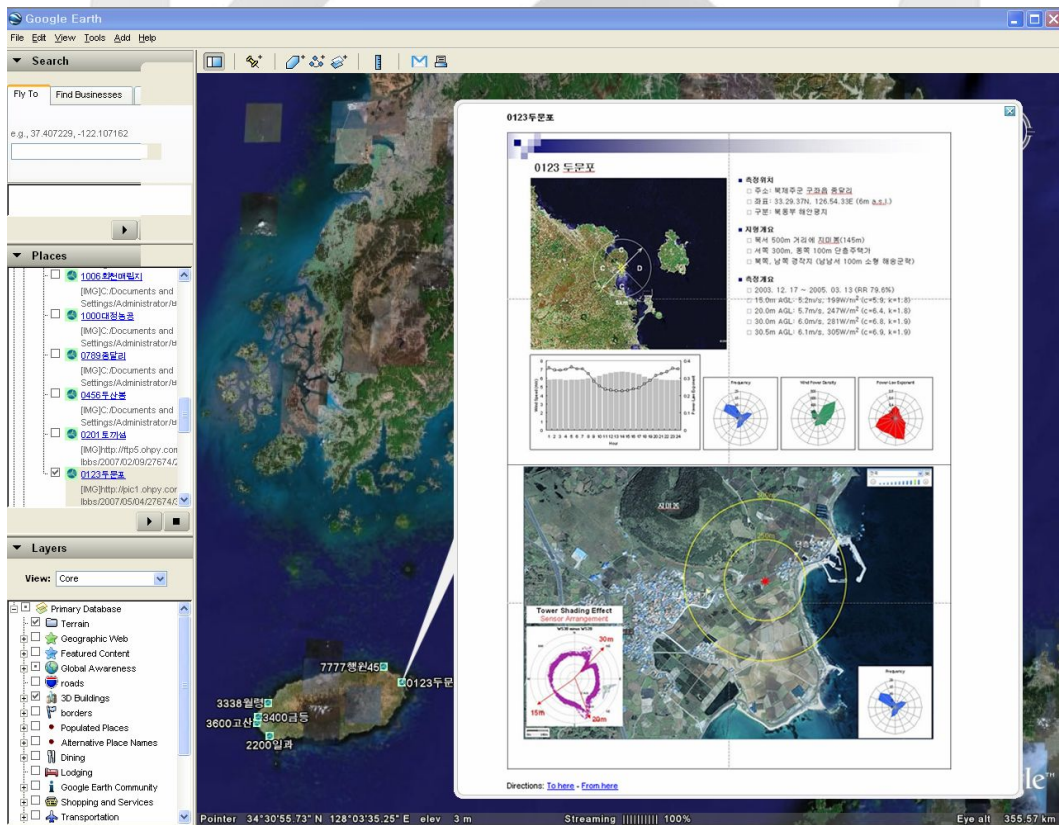


Fig. 6. Screenshot of Jeju wind resource database displayed on Google Earth™.

Table 1. Meteor-statistical analysis results of in-situ measurement sites in Jeju do

Code	Site	KIER Met-Masts					KMA Weather Stations				
		Anemometer height(m)	Mean wind speed(m/s)	Weibull parameter(c.k)	Wind power density(W/m ²)	Wind profile exponent	Code	Site	Mean wind speed(m/s)	Weibull parameter(c.k)	Wind power density(W/m ²)
0123	Dumunpo	15/20/30/30.5	6.10	6.90 / 1.900	305	0.153 / 0.105	[184]	Jeju	3.28	3.68 / 1.695	54
0201	Tokki	15/30/30.5	7.00	7.90 / 1.800	455	0.165 / 0.132	[185]	Gosan	7.52	8.45 / 1.671	665
0456	Dusanbong	15/20/30	6.40	7.20 / 2.000	323	0.272 / 0.206	[189]	Seoguipo	2.91	3.27 / 1.815	33
0789	Jongdali	15/20/30.5	5.80	6.60 / 1.900	251	0.443 / 0.257	[265]	Seongsanpo	3.08	3.40 / 1.631	39
1000	Daejeong	15/30	5.20	5.90 / 2.000	169	0.395 / 0.303	[328]	Joongmoon	2.39	2.61 / 1.340	31
1006	Hoicheon Recl.	15/30/30.5	5.90	6.60 / 1.800	270	0.142 / 0.126	[329]	Orra	2.82	3.09 / 1.353	61
1100	Hangwon	15/30	6.60	7.40 / 1.700	374	0.152 / 0.169	[330]	Hawon	3.90	4.33 / 1.517	109
1111	Yongdang 2	10/20/30/40/50	6.53	7.22 / 1.570	400	0.197 / 0.118	[725]	Woodo	5.59	6.27 / 1.705	249
1200	Hoicheon	15/30	5.36	5.91 / 1.536	230	0.259 / 0.252	[726]	Marado	7.28	8.17 / 1.792	498
1400	Yongdang	10/20/30	6.60	7.40 / 1.820	274	0.260 / 0.197	[727]	Yousuam	2.69	2.96 / 1.407	39
1500	Seopji	15/30	6.40	7.20 / 1.940	328	0.224 / 0.245	[751]	Seonheol	3.46	3.87 / 1.650	61
1600	Susan	15/30	5.88	6.60 / 1.975	228	0.226 / 0.185	[752]	Seogwang	3.38	3.80 / 1.722	55
1700	Nameop	15/30	6.00	6.80 / 1.750	246	0.221 / 0.233	[753]	Eorimok	2.58	2.81 / 1.339	36
1800	Daeyou	15/30	5.50	6.20 / 1.640	213	0.241 / 0.275	[779]	Hanlim	3.93	4.40 / 1.736	83
1900	Pyoseon	15/30	6.30	7.20 / 2.000	313	0.290 / 0.214	[780]	Namwon	2.93	3.30 / 1.752	36
2000	Woodo	15/30	7.80	8.90 / 2.140	528	0.236 / 0.214	[781]	Gujwa	4.34	4.87 / 1.752	112
2200	Ilgwa	15/30	6.10	7.00 / 2.050	245	0.228 / 0.187	[782]	Seonpanak	3.10	3.43 / 1.476	54
2300	Hamo	15/30	9.60	10.7 / 1.510	470	0.176 / 0.171	[792]	Gasi	2.73	3.04 / 1.561	34
2400	Mureong	15/30	8.00	8.90 / 1.510	212	0.236 / 0.225	[793]	Mosipo	4.41	4.96 / 1.756	120
2600	Kwangpyong	15/30	5.92	6.55 / 1.549	306	0.344 / 0.257	[47185]	Gosan sonde	-	-	-
2800	Kimnyong	15/30	6.30	7.10 / 1.780	284	0.170 / 0.119					
2900	Sinsan	15/30	5.04	5.60 / 1.692	171	0.319 / 0.240					
3100	Songdang	15/30	5.42	6.09 / 1.821	212	0.245 / 0.183					
3200	Susan 2	15/30	5.60	6.40 / 2.200	157	0.106 / 0.116					
3300	Seongeop	15/30	6.40	7.30 / 2.140	298	0.180 / 0.163					
3338	Walryong	15/30.5	5.20	5.90 / 1.700	203	0.436 / 0.236					
3400	Keomdeong	15/30	6.30	7.00 / 1.720	340	0.100 / 0.081					
3500	Hansu	15/30	6.16	6.91 / 1.817	293	0.160 / 0.120					
3600	Gosan	15/30	5.34	6.00 / 1.858	190	0.258 / 0.224					
7777	Hangwon 2	15/22/30/37/45	6.86	7.70 / 1.750	318	0.176 / 0.126					

소를 참조지점으로 선정하는 것이 바람직하다. 일반적으로는 제주 기상관측소[184]의 전반적인 대표성이 높게 나타났기 때문에 이를 제주도의 대표 참조지점으로 활용할 수 있으나, 내륙 고산지대 및 남부지역은 별도의 풍계를 형성하고 있으므로 참조지점 선정 시 동일 권역 내에서 선정하여야 할 것이다. 참고로 지면 관계 상 제주도 풍계분류 및 풍계권역별 기상학적 대표지점 선정에 대한 분석은 별도의 논문으로 소개하고자 한다.

(2) 풍력발전기 허브높이로의 풍속 높이외삽 식 (1)의 지면저철기 만을 고려할 경우 대기안정도의 영향이 배제되므로, 차선택으로 다중고도 풍속 측정을 실시하여 식 (2)의 풍속분포지수를 활용하는 것이 바람직하다. 풍력자원조사 측정자료의 분석결과에 의하면 제주도의 평균 풍속분포지수는 0.234이지만 중립대기인 경우는 0.189로 20%의 차이를 보이기 때문이다. 또한 기상탑 차폐보정 사례에 의하면 오차수준이 2.5%로 나타나 차폐보정이 필요함

을 확인하였다.

4. 결 론

제주도의 최대 브랜드파워는 청정성이다. 향후 국제자유도시로의 도약에 수반되는 전력수요량을 확보하면서 환경친화적 이미지를 계승하기 위해 제주도는 적극적으로 풍력개발에 나서고 있다. 이에 본 연구의 제주도 풍력자원 데이터베이스는 제주도의 노력에 일조하는 중요한 기반자료로 활용될 것으로 기대된다.

현재 제주도에 설치하고자 계획 중인 풍력발전 설비용량은 250 MW에 이르고 있어, 제주도에서 풍력발전 보급사업의 성공은 곧 우리나라 풍력보급의 성과와도 직결될 것으로 예상된다. 이에 제주도 풍력자원 데이터베이스는 장기간 보정의 참조지점 선정을 위한 풍속 상관행렬, 풍속 높이외삽을 위한 노풍도 및 대기안정도 분석 등 풍력자원평가의 불확

도를 대폭 감소시킬 수 있는 참조자료와 분석지침을 제공함으로써 궁극적으로 풍력발전사업을 지원하고자 한다.

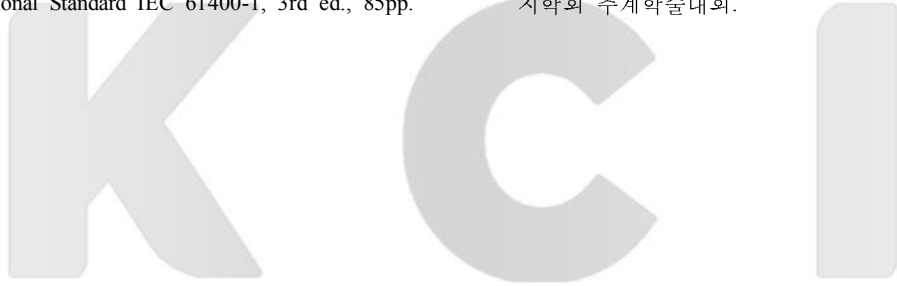
감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원 기본사업의 일부로 수행되었습니다 (과제명: 풍력발전 성능평가 기지 기반구축, 과제코드: A7-2407-2).

논문 심사과정에서 중관기상 분석 등과 관련하여 유용한 조언을 주신 심사위원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- 1) 김현구, 장문석, 2007, 한반도 바람지도 구축에 관한 연구, II. 저해상도 바람지도화 및 풍력자원 정보체계, 한국신재생에너지학회지, 3(1), 20-26.
- 2) IEC(International Electrotechnical Commission), 2002, International Standard IEC 61400-1, 3rd ed., 85pp.
- 3) 김현구, 2004, 포항지역 풍속전단 형태분석과 측정-상관-예측법 응용, 한국신재생에너지학회지, 1(2), 26-33.
- 4) 정진화, 김용환, 전중환, 2005, 풍력자원조사를 위한 풍속계측방법, 풍력저널, 1(1), 51-54.
- 5) 기상청 관측국, 2006, 기상관측자료 실시간 품질관리시스템(I) 활용법, 기상청.
- 6) 윤정은, 김현구, 경남호, 2005, 대기안정도를 고려한 풍속외삽에 관한 연구, 한국풍력에너지학회 추계학술대회.
- 7) 김현구, 2008, 전산유동해석에 의한 기상탑 차폐영향 보정을 사용하는 풍속측정시스템, 대한민국특허, 출원번호 2008-0009392.
- 8) Barthelmie R. J., Paulutikof J. P., Davies T. D., 1993, Estimation of Sector Roughness Lengths and the Effect on Prediction of the Vertical Wind Speed Profile, Boundary-Layer Meteorol., 66, 19-47.
- 9) (사)대한건축학회, 2000, 건축물 하중기준 및 해설, 테림문화사, 345pp.
- 10) 정우식, 김현구, 이화운, 박종길, 2007, 풍력자원평가를 위한 남한지역 바람권역 구분, 한국풍력에너지학회 추계학술대회.



к с і