

국가바람지도(National Wind Atlas)

■ 김 현 구 / 한국에너지기술연구원 풍력연구센터, hyungoo@kier.re.kr

풍력 보급정책 수립 및 단지 개발사업의 핵심 자료인 풍력자원지도에 대하여 소개하고자 한다.

바람지도란?

풍력자원지도(wind resource map)란 풍향, 풍속, 풍력밀도(wind power density, W/m²) 등 시공간 풍력자원 정보를 지리공간 상에 투영한 것을 말하며, 특히 기상학적인 요소인 바람에 한정하여서 바람지도(wind atlas, wind map)라고도 한다.

바람지도는 대상영역에 따라 종관규모의 국가바람지도(national wind atlas)와 실제 풍력발전 단지 설계를 위한 국소배치 바람지도(micrositing wind map)로 대별되며 각각의 작성 목적과 용도가 상이하다.

국가바람지도의 경우에는 중규모 수치기상예측(NWP; Numerical Weather Prediction) 모델을 이용하여 수치해석적으로 작성하는 것이 일반적이다. NWP 모델을 이용하면 풍력자원의 기상학적인 변화특성을 파악할 수 있으나 사업단계에서 요구되는 정밀도와 정확도까지 만족시키기에는 기술적인 제약이 있다.

국소배치 바람지도는 사업타당성 프로젝트에서 작성되며 최대한 정밀하고 정확하게 작성하되 불확도(uncertainty)를 정확하게 파악하는 것이 관건이 된다. 특히 복잡지형에서는 전산유동해석(CFD; Computational Fluid Dynamics) 모델을 이용하는 것이 필수적이며 해상, 평지와 같이 평탄한 지형에서는 대기유동 지배방정식을 선형화한 이론모델을 사용하기도 한다.

바람지도의 용도

국가바람지도는 풍력발전 보급정책 및 단지개발 사업지원 등 공익을 목적으로 재생에너지 분야의

전문연구기관에서 작성하는 것이 일반적이다. 국가바람지도의 가장 중요한 용도는 그 나라가 보유하고 있는 풍력자원 잠재량(wind resource potential)을 정확하게 산출하고 다양한 풍력보급 시나리오를 제안함으로써 효과적인 정책을 수립하는 것이다. 또한 국가가 지자체나 사업체가 제안하는 풍력단지 개발사업의 타당성을 판정하기 위한 판단 기준으로 사용되기도 한다.

한편 사업자의 측면에서는 풍력단지 개발 후보지를 선별하기 위한 기초자료로서 국가바람지도의 활용가치가 매우 높다. 특히 우리나라와 같은 복잡지형에서는 기상관측자료의 국지풍향 대표성을 확보하기 어렵기 때문에 현실적으로 국가바람지도가 풍력단지 후보지 발굴을 위한 유일한 풍황자료인 셈이다.

국소배치 바람지도는 실제 풍력단지 설계 시 정밀한 전력생산량을 계산하기 위하여 작성하는 사업용 바람지도이다. 이 경우 필수적으로 대상지역의 풍황 대표지점에 다수개의 기상관측탑을 설치하여 최소한 1년 이상 풍력발전기 허브높이까지의 풍속 연직구조를 측정할 풍황자료를 사용하여 작성하게 된다. 풍력의 특성 상 전력생산량은 풍속의 세제곱에 비례하기 때문에 단 5%의 풍속 예측오차라고 할지라도 15% 이상의 풍력발전량 예측오차로 증폭되어 사업성 평가 시 치명적인 판단착오로 이어질 수 있으므로 필수적으로 예측 불확도를 제시하여야 한다.

미국 재생에너지연구소(NREL; National Renewable Energy Laboratory) 등 풍력자원평가 전문연구기관에서 추천하는 가장 효율적인 국가바람지도의 공간해상도는 1 km × 1 km 수준이며 우리나라의 국가바람지도 역시 1 km급 공간해상도로 구축되었다. 다만 일부 풍력단지 후보지역에 대해서는 시범적으로 10 m급 공간해상도의 국소배치 바람지도를 제공하고 있다.



국가바람지도 구축

우리나라 국가바람지도는 한국에너지기술연구원에서 수치기상예측 모델을 이용하여 공간해상도 1 km × 1 km, 시간해상도 1시간 간격으로 영토, 영해에 대해 구축을 완료하였다. 자료기간은 2003년부터 2007년까지 5년간으로, 장기간 풍력자원 보정이 가능하며 국소배치 바람지도 작성을 위해 전산유동해석 기반의 풍력단지 설계프로그램인 WindSim과 연계되도록 설계되었다.

국가바람지도의 신뢰성을 확보하기 위해서는 바람지도 구축보다 검증 및 보정과정의 더욱 더 중요하다. 이를 위해 풍력자원조사 측정자료를 이용하였는데, 한국에너지기술연구원에서는 지난 15년 동안 전국 100여 개소에서 풍력단지 타당성 평가를 위해 고공 기상탑을 설치하여 풍속 연직구조를 측정·분석한 바 있다. 참고로 기상청 관측자료는 지면 10 m 높이에서의 자료인 관계로 풍력발전기 허브높이를 기준으로 하는 풍력자원지도 검증에

는 적합하지 않다(풍력자원평가 시 오차가 가장 큰 과정이 풍속의 높이보정임). 따라서 현재 바람지도 검증에 활용 가능한 유일한 자료는 풍력자원조사 측정자료뿐이다.

한편 지역별 풍속 연직구조에 대한 정확한 규명을 위하여 원격탐사 관측장비인 SODAR와 LIDAR를 이용한 검증관측을 병행하고 있다. 특히 레이저를 이용하여 풍력발전기 날개구간에 대한 풍속연직구조를 정밀하게 측정하는 풍력용 LIDAR는 현재 아시아권에서 유일하게 도입된 측정장비로 국가바람지도의 신뢰도를 향상시키는 데 지대한 공헌을 하고 있다.

국가바람지도 웹서비스

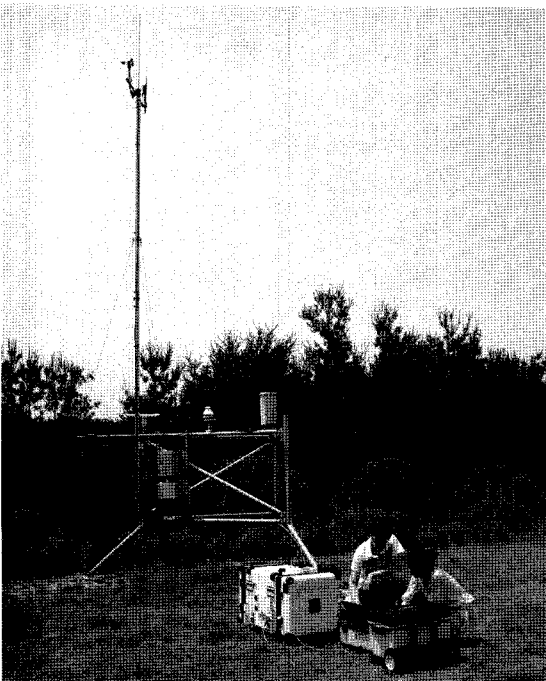
한국에너지기술연구원에서 제공하는 국가바람지도는 일반인을 대상으로 한 이미지 기반의 간편한 소개용 웹페이지와 사업자를 위한 상세 해석자료 다운로드 서비스를 포함한 전문가용 웹페이지로 이원화 되어있다.

일반인을 대상으로 한 소개용 웹서비스는 www.kier-wind.org에서 제공되고 있다. 육·해상을 구분하여 기상정보, 풍력정보, 지리정보, 해상정보를 이미지 기반으로 보여주고 있으며 풍력발전기 설계구간을 포함하여 10 m 간격으로 높이별 조회 및 월별, 시간대별 시계열 변화양상을 조회할 수 있도록 시각자료를 제공하고 있다.

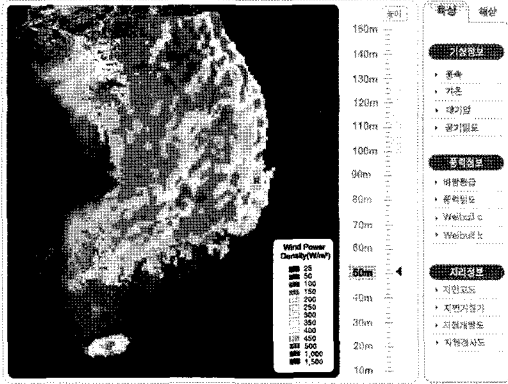
육상 평균풍력밀도 분포도를 보면 고산지대의 풍력자원이 우수한 것을 확인할 수 있으며 개략적으로 해발고도 1,000 m 이상인 곳이 육상에서는 풍력단지 개발경제성이 확보되는 지역이라고 볼 수 있다.

국가바람지도는 풍력자원에 대한 포괄적인 정보 이외에도 국내 최초로 높이구간별 기온, 압력, 공기밀도 분포도 등의 다양한 기상정보를 제공하고 있다. 공기밀도는 고도에 따른 풍력발전량 밀도보정에 사용되며 그 밖의 기상요소들은 우리나라의 기후특성을 파악할 수 있는 유용한 기상자료인 것이다.

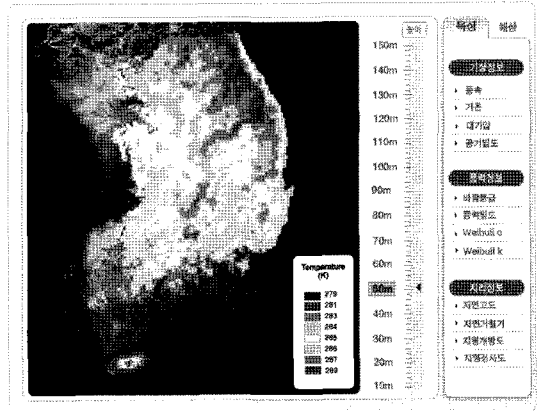
국가바람지도에는 다양한 지리정보도 제공되는데, 이 중 지형경사도의 경우 경사도 15도 이상인 지역은 유동박리가 발생할 수 있는 복잡지형으로 분리되므로 국소배치 바람지도 작성 시 전산유동해석과 같



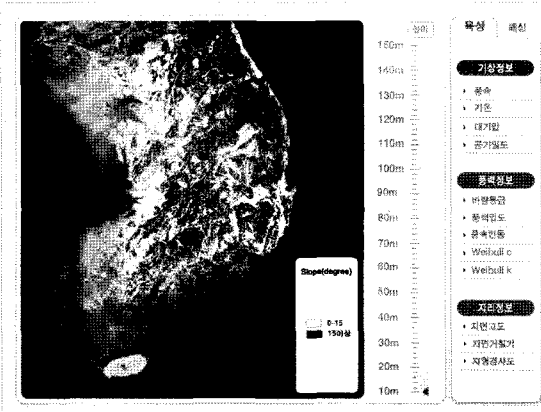
[그림 1] 바람지도 검증을 위한 라이다 관측



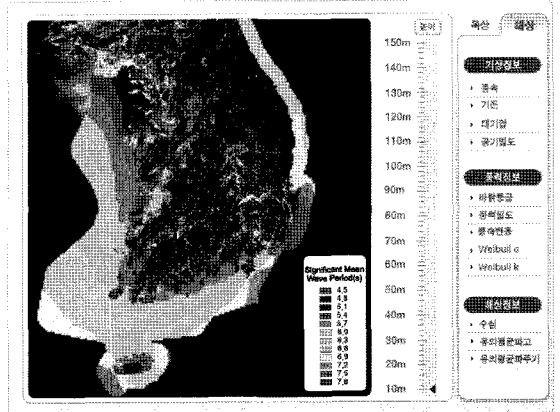
[그림 2] 육상 평균풍력밀도 분포도



[그림 3] 육상 평균기온 분포도



[그림 4] 지형경사도 분포도



[그림 5] 해상 유의평균파주기 분포도

은 고차원 유동해석이 필수적임을 의미한다.







해상 풍력단지 적합성 평가 시 수심, 해안으로부터의 이안거리 등과 함께 해상조건도 중요한 평가 요소이다. 따라서 국가바람지도에서는 남한 전 해역에 대한 유의평균파고 및 유의평균파주기 등의 해상조건 시계열 요소를 고해상도로 제공함으로써 해상구조물인 해상 풍력발전기 설계에 활용할 수 있도록 한다.

해상에서는 기상관측자료가 없기 때문에 SAR (Synthetic Aperture Radar) 인공위성영상으로부터 추출한 해상풍파의 비고를 통하여 국가바람지도를 검증하였다. SAR 해상풍 추출은 본격적으로 해



[그림 6] 위성영상추출 해상풍 분포도



 <p>Google ArcGIS Atlas Animated GIS</p>	 <p>Google ArcGIS Atlas Animated GIS</p>	 <p>Google ArcGIS Atlas Animated GIS</p>
<p>• 평균풍속 Mean Wind Speed Map Simulated by WRF w/ MMS Ensemble NWP Extracted at 10,20,30, ..., 130,140,150m AGL Nominal spatial resolution is 1km x 1km Specific spatial resolution is 10m x 10m Data period covers 5 years (2003~2007) Validated by KIER-WindDataTM, Sodar/Lidar</p>	<p>• 평균풍력밀도 Mean Wind Power Density Map Simulated by WRF w/ MMS Ensemble NWP Extracted at 10,20,30, ..., 130,140,150m AGL Nominal spatial resolution is 1km x 1km Specific spatial resolution is 10m x 10m Data period covers 5 years (2003~2007) Validated by KIER-WindDataTM, Sodar/Lidar</p>	<p>• 평균기온 Mean Air Temperature Map Simulated by WRF w/ MMS Ensemble NWP Extracted at 10,20,30, ..., 130,140,150m AGL Nominal spatial resolution is 1km x 1km Specific spatial resolution is 10m x 10m Data period covers 5 years (2003~2007) Validated by KIER-WindDataTM, Sodar/Lidar</p>
 <p>Google ArcGIS Atlas Animated GIS</p>	 <p>Google ArcGIS Atlas Animated GIS</p>	 <p>Google Spring Google Summer Google Autumn Google Winter</p>
<p>• 와이불 등급계수 Weibull Scale Parameter Map Calculated by RSI IDL scientific library v7.06 Wind speed interval is 1m/s @ wind direction bin Extracted at 10,20,30, ..., 130,140,150m AGL Nominal spatial resolution is 1km x 1km Data period covers 2003,2004,2005,2006, 2007 Dataset is linked with KIER-Wind2Way™</p>	<p>• 와이불 형상계수 Weibull Shape Parameter Calculated by RSI IDL scientific library v7.06 Wind speed interval is 1m/s @ wind direction bin Extracted at 10,20,30, ..., 130,140,150m AGL Nominal spatial resolution is 1km x 1km Data period covers 2003,2004,2005,2006, 2007 Dataset is linked with KIER-Wind2Way™</p>	<p>• 위성영상 해상풍 Offshore Wind Extraction Map Extracted from ENVISAT ASAR satellite image Extracted at 10m ASL w/ neutral condition Nominal spatial resolution is 200m x 200m Data period covers seasonal cases in 2005 Validated by QuikSCAT, ECMWF and buoy data Analysis software is SARTools Wind/France</p>

[그림 7] 국가바람지도 갤러리

상 풍력자원평가에 활용되기 시작한 첨단기술이다. 우리나라의 경우 육상보다 해상 풍력단지의 개발가능성이 높을 것으로 예상되고 있어 이러한 해석기술의 개발이 시급하다고 사료된다.

국가바람지도 웹서비스는 단순히 풍력자원정보를 제공하는 수준을 넘어서 다양한 활용방법을 개발하는 것을 지향하고 있다. 일례로 국가바람지도 갤러리에는 다양한 자료형태로 풍력정보를 제공하고 있다. 즉, 구글어스(Google Earth)와 연동되는 국가바람지도, 지리정보시스템(GIS; Geographic Information System) 소프트웨어인 ArcGIS 바람지도, 맵북, 애니메이션 등의 다양한 자료형식을 제공함으로써 폭넓은 사용자 계층이 활용할 수 있도록 배려하였다.

향후계획

실용적인 측면에서 국가바람지도 자체보다 국가바람지도 활용시스템이 중요하다. 국가바람지도가 유용하게 활용되기 위해서는 현업 사용자들의 경험에 의한 아이디어와 다양한 요구사항을 파악하고 이를 적극적으로 수용하는 과정이 필요할 것이다. 이에 금년 하반기에 국가바람지도 사용자 포럼을 개최하여 다양한 활용 아이디어를 발굴하고 우선순위를 정하여 순차적으로 활용서비스를 다각화함으로써 풍력자원평가 및 풍력단지개발에 실질적인 도움이 되는 국가바람지도 활용시스템으로 발전시켜 나가고자 한다. ⑤