

무빙필터 기법을 적용한 제주 우도지역의 풍력자원지도 작성에 대한 연구

The Study on the Mapping of Wind Resource using Moving Filter Technique at Udo, Jeju Island

문서정* · 고정우** · 이병걸***

Moon, Seo Jeong · Ko, Jung Woo · Lee, Byung Gul

요 旨

풍력자원지도를 작성하기 위해서는 풍향자료, 지형고도지도, 지면조도지도가 필요하다. 본 연구는 이 중 지면조도 지도를 생성하는 작업의 효율성과 정확도를 높이기 위해 환경부의 토지피복지도에 영상필터링 기법 중 무빙필터를 적용하였다. 필터링된 토지피복지도를 이용하여 지면조도지도를 생성하였고 이를 가지고 풍력자원지도를 작성 해봄으로써, 필터링을 거쳐 풍력자원지도를 작성하여도 타당한지 여부를 검증하였다. 그 결과, 필터링을 적용한 지면조도지도를 사용하여 작성한 바람지도 모두 과소예측을 보였으나 오차정도가 매우 작았고, RMSE 또한 50m 높이에서 0.0237~0.0253m/s 정도로 거의 0에 근접한 결과를 보였다. 즉, 풍력발전기가 설치되는 80m 이상의 높이에서는 오차의 정도가 더욱 줄어들 것이고, 풍력자원예측 시 작업의 효율성을 위해 필터링기법을 적용하여도 신뢰할 만한 풍력자원지도를 얻을 수 있을 것이다.

핵심용어 : 풍력자원지도, 지면조도지도, 무빙 필터, 토지피복지도

Abstract

In order to create a wind resource map, we need wind data, contour map and roughness map. Moving Filter technique was applied to Udo of Jeju Island to improve the accuracy and efficiency of creating roughness map based on the Land Cover Map of the Ministry of Environment. The Land Cover Map was simplified using moving filtering, and the roughness map was created with this Land Cover Map. The wind resource map was created using this roughness map. Finally, we verified the validity and application of moving filter technique for wind resource map. As a result, the wind map which was created using the roughness map with moving filtering showed bias values which were all negative. It means the wind map is underestimated to values of wind energy and RMSE values were also from 0.0237m/s to 0.0253m/s at 50m height. In other words, estimation of wind resource using image filtering provides reliable results at 80m height typically when the wind turbine is installed. Finally, we found that image filtering technique is very useful tool to make wind resource map.

Keywords : Wind Resource Map, Roughness Map, Moving Filter, Land Cover Map

1. 서 론

최근 환경 친화적인 자원개발이 선진 국가들을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 특히 우리나라뿐만 아니라 해외의 많은 나라들이 풍력자원지도를 구축하고

이를 대체 에너지 중의 하나로서 풍력자원을 활용하기 위해 풍력발전 입지의 기초자료로서 활용하고 있다 (Hyo-Hyun Sung, 2009).

풍력자원을 평가하기 위해서는 풍력발전 후보지에 풍향계측타워를 설치하여 적어도 1년 이상의 풍력자원

2012년 8월 31일 접수, 2012년 11월 20일 채택

* 정희원 · 제주대학교 대학원 풍력특성화 협동과정 석사과정(Member, Multidisciplinary Graduate School for Wind Energy, Jeju National University, shsb13231@nate.com)

** 정희원 · 제주대학교 대학원 풍력특성화 협동과정 박사과정(Member, Multidisciplinary Graduate School for Wind Energy, Jeju National University, tuba1215@hanmail.net)

*** 교신저자 · 정희원 · 제주대학교 해양과학대학 토목공학과 교수·공학박사(Corresponding author, Member, Civil Engineering, Jeju National University, leebgprof@empas.com)

조사가 필요하다. 그 후, WAsP, Windpro, Windfarmer 등의 풍력자원에너지의 분석 및 평가 프로그램을 이용하여 풍력자원평가가 이루어지는데, 이 프로그램들은 기본적으로 풍향자료, 지형고도 및 지면조도지도(예상 풍력발전단지의 반경 20km 이내)를 필요로 한다. 어떠한 풍력자원 해석프로그램이라도 해석을 위해 입력되는 데이터의 정확성은 풍력자원 해석의 정확도를 좌우하기 때문에 풍력자원 해석을 수행하는데 있어 매우 중요한 요소이다(Jaekyoon Woo, 2011). 지형고도지도는 수치지도를 이용하여 쉽게 얻을 수 있지만, 일반적으로 지면조도지도의 경우는 항공사진을 이용하여 시각적으로 토지피복상태를 판별하여 사용자가 직접 디지털이징하는 주관적인 방법을 사용한다. 이러한 이유로 예상 후보지의 토지피복상태를 잘못 분류하거나 지면조도 값을 정확하게 적용하는 것이 어렵고, 작업시간 또한 많이 소요되는 불편함을 가지고 있다. 지면조도 값을 정확하게 평가하기 위해서는 직접 후보지를 방문·조사하는 과정이 필요하다. 하지만 국가에서 제공하는 토지피복지도를 이용할 경우, 후보지 방문에 대한 필요성을 줄이게 되고 객관성있는 지면조도지도를 제작할 수 있다. EU15 유럽국가에서는 전 유럽을 대상으로 한 CORINE 토지피복지도를 제공하므로 이를 이용하여 지면조도지도를 제작하여 사용한다(Julieta Silva 등, 2007).

본 논문은 환경부에서 발행한 대분류 토지피복지도를 기본으로 이에 European Wind Atlas (Troen and Peterson, 1989)에서 제시하는 지면조도 값을 맵핑해 지면조도지도를 생성하였다. 하지만 토지피복지도의 분류결과가 복잡한 형태이기 때문에, 작업의 효율성과 정확도를 높이기 위해 영상필터링기법 중 무빙필터를 적용하여 토지피복지도를 단순화하였다. 그 후 필터링된 토지피복지도를 이용하여 지면조도지도를 생성하였고 이를 가지고 풍력자원지도를 작성하여 비교해봄으로써, 무빙필터링을 거쳐 풍력자원지도를 작성하여도 타당한지 여부를 검증하였다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구의 연구지역은 제주도의 동쪽 끝 성산포에서 북동쪽으로 3.8km 해상에 위치한 우도이며, 위도 33° 30'27.83", 경도 126°57'20.21"를 중심으로 5km×5km 영역이다.

2.1 연구대상 지역의 토지피복지도와 지형자료 현재 우리나라의 토지이용상태를 정리하고 수치도화



Figure 1. Study area

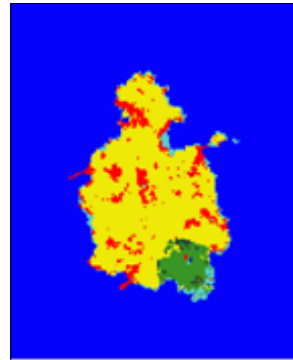


Figure 2. Land cover map of Udo
(scale:1/50,000, 도엽번호:33608)

작업을 통해 제작된 지도로는 환경부에서 제작한 토지피복지도가 있다. 토지피복도를 제작하기 위해 적용된 환경부의 분류체계는 기본적으로 대분류(7개 항목), 중분류(23개 항목), 세분류(48개 항목)의 계층적 3단계 분류체계로 구성되어 있다. 이 중 대분류의 토지피복지도를 선정하여 사용하였다. 대분류의 경우 Landsat-7 2010년 3월 17일 영상이 사용되었고, 시가지/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7개 분류항목으로 구성되어있으며, 축척은 1:50,000로 제작되었다. Figure 2는 연구영역인 우도지역의 토지피복지도이다.

지형자료는 국가공간정보유통시스템의 1:25,000 수치지형도(도엽번호:336082, 336084)를 사용하였다.

2.2 풍향자료

우도지역에 풍향계측타워(Met-mast)를 설치하여 수거한 실측자료와 기상청 자동기상관측소(AWS; Automatic Weather Station)의 자료를 사용하였다. 두 계측타워간의 거리는 약 1.5km 정도이다.

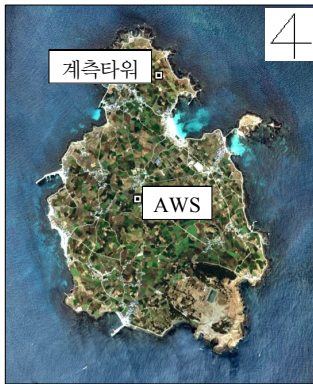


Figure 3. Met-mast & AWS, located in Udo

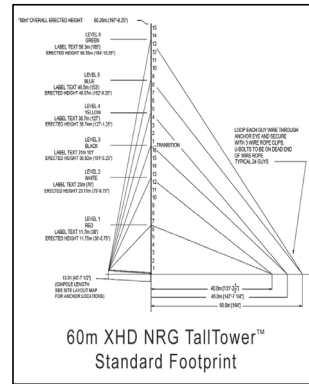


Figure 5. Met-mast drawing

우도 풍향계측타워는 위도 33° 31' 12.83", 경도 126° 57' 22.73"에 위치하고 있다. 풍향계측타워의 60m, 58m, 50m, 40m, 30m에 풍속계가 설치되어 있고, 60m, 40m에 풍향계가 설치되어 있으며 2m 높이 지점에 온도와 압력센서가 각각 부착되어 있다. 각 센서에서 관측된 데이터들은 10분 평균값으로 얻을 수 있다.

풍향계측타워의 관측기간은 2010년 5월 1일부터 2011년 11월 30일까지(총 19개월)이고, 관측기간 동안 센서의 고장 없어 100%의 데이터 취득률을 보였다. 데이터 취득률은 특정기간동안 수집 가능한 데이터에 비해 실제로 얼마만큼의 데이터가 수집되었는지를 나타내는 비율로 정의되고, 90% 이상이 되어야 충분한 데이터가 수집되었다고 판정한다.(Bruce H. Bailey 등, 1997)

AWS 기상탑은 우도의 중심부에 위치한 우도면사무소 2층 옥상(위도 33° 30' 23.54", 경도 126° 57' 12.06")에 설치되어 있다. 측정높이는 10m이고, 관측요소는 풍향, 풍속, 기온, 강수량 등이다. 주변이 밭이나 주택가로 구성되어 있어 관측환경이 비교적 양호하다 (Jeju Regional Meteorological Office, 2007).

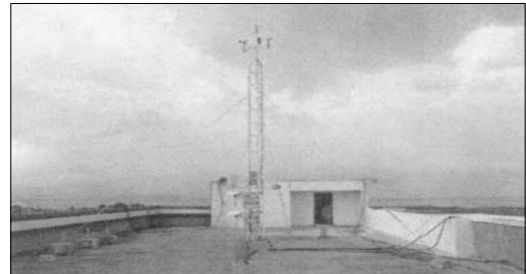


Figure 6. Setting for weather observations of Udo AWS

사용된 AWS 자료는 1999년 1월 1일부터 2012년 5월 31일까지(총 161개월)의 1시간 평균풍속 및 평균풍향이 고, 관측기간 동안 98.5%의 데이터 취득률을 보였다.

2.3 자료처리 방법

풍력자원지도를 작성하기 위해서는 기본적으로 지면조도지도, 지형고도지도, 풍향 자료가 필요하다. 이를 위해 아래의 연구 흐름도에 따라 자료를 처리, 연구를 진행하였다.



Figure 4. Met-mast, located in Udo

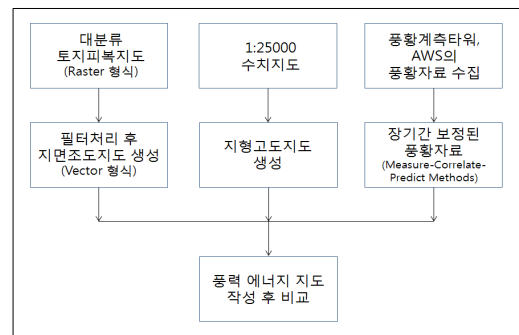


Figure 7. Flow chart of study

3. 연구결과

3.1 영상필터링을 이용한 지면조도지도 생성 및 지형고도지도 생성

바람의 높이별 풍속을 Wind Shear라 하는데, 이를 모델링 하는 대수법칙은 다음과 같이 나타낸다.

$$U_z = U_h \times \frac{\ln(z/z_o)}{\ln(h/z_o)} \quad (1)$$

U_z , U_h 는 지상으로부터 높이 z , h 에서의 풍속이고, z_o 는 지면조도 길이(surface roughness length)이다. 식 (1)에서 특정높이 z 에서의 풍속은 지면조도의 영향을 받음을 알 수 있다.

지상 1km 이상의 높이에서 풍속은 지면조도의 영향이 거의 없지만, 풍력발전기가 설치되는 낮은 대기층에서의 풍속은 지면조도의 영향을 많이 받게 되므로, 풍력자원 예측의 중요한 변수 중 하나이다. Figure 8은 토지피복상태에 따라 지면조도 길이가 다르고, 이에 따라 Wind Shear의 형상이 변화함을 보여준다. 동일한 높이지만 지면조도 길이에 따라 풍속이 다르게 예측됨을 볼 수 있다.

일반적으로 지면조도지도의 경우는 항공사진을 이용하여 시각적으로 토지피복상태를 판별하여 사용자가 직접 디지털화하는 주관적인 방법을 사용한다. 사용자는 산림, 농작지와 초지의 구별이 정확하지 않은 상태에서 판별을 하게 되고, 이로 인하여 토지의 피복상태가 잘못 분류되는 결과를 얻게 될 수도 있다. 지면조도지도 생성 시 객관적으로 피복상태를 분류하여 불확실성을 줄일 필요가 있어, 본 논문에서는 환경부의 토지피복지도(Raster 형식)를 바탕으로 하였다.

Figure 9(b)는 해당지역의 일부를 확대한 항공사진, Figure 9(a)는 이 지역의 피복분류 결과를 나타낸다.

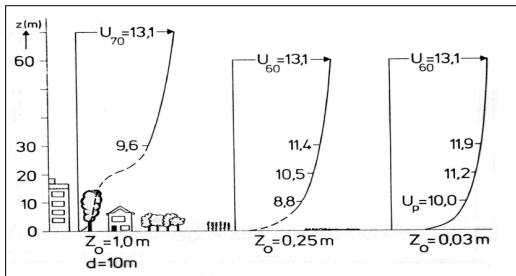


Figure 8. Wind Shear depending on surface roughness length(z_0)

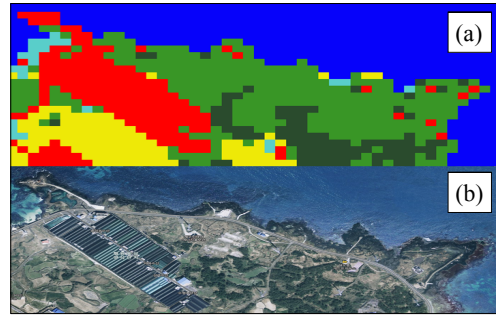


Figure 9. Complexity of land cover map

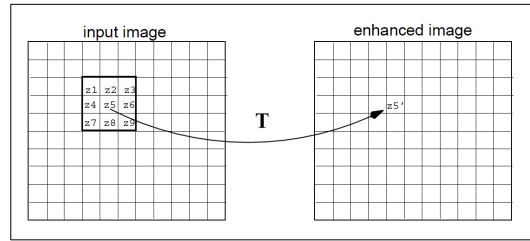


Figure 10. Mask Processing Method

이와 같이 토지피복지도의 분류 결과가 노이즈를 포함하여 복잡하게 나타난다. 이러한 결과만을 가지고 지면조도지도를 생성할 시에는 벡터화하는 과정 중 에러 발생률이 높았고, 지면조도지도 생성 결과 점과 선 객체들의 수가 많아 작업시간이 오래 걸리는 단점을 보였다. 이를 보완하기 위해, 지면조도지도 생성 시 토지피복 지도에 영상필터링 기법을 적용하였다.(Morten Nielsen 등, 2004)

필터의 종류 중 공간영역의 필터 처리 기술은 영상 내에서 필터 마스크의 움직임으로 이루어진다. 필터 마스크의 크기는 홀수로 설정되어 마스크의 중심이 출력 화소와 일치되게 하고, 일반적으로 3×3 또는 5×5크기의 필터 마스크를 많이 사용한다.

$$g(x,y) = T[f(x,y)] \quad (2)$$

여기서, $f(x,y)$ 는 입력 영상, $g(x,y)$ 는 처리된 영상, T 는 연산자이다.

본 논문에서는 Figure 10과 같이 3×3 또는 5×5크기의 필터 마스크가 영상의 좌측 상단에서 우측으로 이동 해가면서 마스크 내에 피복분류결과 중 빈도가 높은 분류결과를 마스크의 중심값으로 대체하는 무빙필터를 코드화하여 작업하였다. 3×3 또는 5×5크기의 무빙필터를 통해 단순화된 각각의 토지피복지도를 이용하여 지면조도지도(Vector 형식)를 생성했다. 여기서 지면조도

Table 1. Roughness length in European Wind Atlas(Troen and Peterson, 1989)

Class	Land cover type	Roughness length [m]
1	Water Area	0.0001
2	Urbanization	1
3	Eroded Land	0.0003
4	Marsh	0.04
5	Grassland	0.0075
6	Forest	0.8
7	Paddy Field, Cropland	0.4

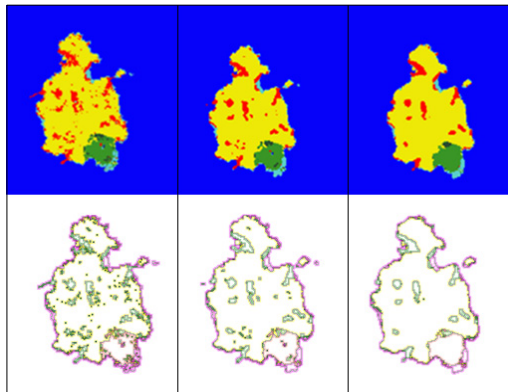


Figure 11. Roughness map using each filter(original image, 3×3 filtering, 5×5 filtering)

값은 European Wind Atlas (Troen and Peterson, 1989)에서 제시하는 값을 사용하였고, Table 1은 토지 피복상태에 따른 지면조도 값들을 나타낸다.

Figure 11의 위 그림은 순서대로 원본 토지피복지도, 3×3과 5×5 필터링한 토지피복지도이고, 아래 그림은 이를 가지고 제작한 지면조도지도이다. Table 2은 Figure 11의 각각의 지면조도지도에 대한 특징이다. 원본 토지피복지도를 이용하여 제작하였을 때보다 필터링을 거친 후에 점, 선 객체들이 약 40%이상 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

1:25,000 수치지형도에서 등고선을 나타내는 레이어를 추출하여, 지형고도 지도를 생성하였다. 아래의 Figure 12는 10m간격의 지형고도지도이다.

Table 2. Features of the maps shown in Figure 11

	original roughness map	roughness map	
		3×3 filter	5×5 filter
Nodes	3014	1943	1694
Lines	772	460	453
File size	188KB	124KB	104KB

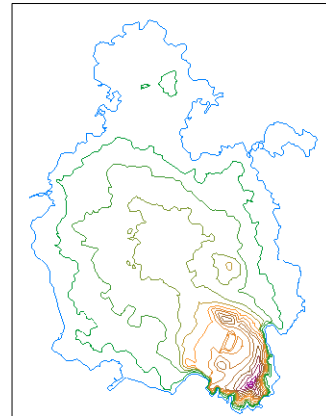


Figure 12. Contour map

3.2 MCP(Measure–Correlate–Predict Method) 보정

풍력단지설계 시 예상후보지의 풍향특성을 잘 나타낼 수 있는 곳에 풍향계측타워를 설치하여 최소 1년 이상의 풍향자료를 수집해야한다. 하지만 수집된 계측타워의 단기간 실측자료를 가지고 설계수명이 적어도 20년인 풍력단지설계의 타당성을 평가하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 계측타워 주변의 장기간 기상관측자료를 이용하여 통계적인 방법을 이용하여 장기간 보정을 하는데, 이를 MCP(Measure-Correlate- Predict Method)라 한다.

MCP에는 선형회귀 MCP, 행렬 MCP, 와이블 MCP 등 여러 방법이 있으나, 지형의 복잡성으로 인하여 실측지점과 참조지점 간의 풍향편차가 큰 우리나라의 상황에서는 행렬 MCP 방법의 예측결과가 더 정확한 것으로 검증되었다(Hyungoo Kim, 2005). 따라서 본 연구에서는 풍력계측타워의 풍향자료와 AWS의 자료를 행렬 MCP에 적용하여 장기간 보정을 하였다. 풍력밀도와 풍속 모두 0.88의 높은 상관계수를 나타냈다.

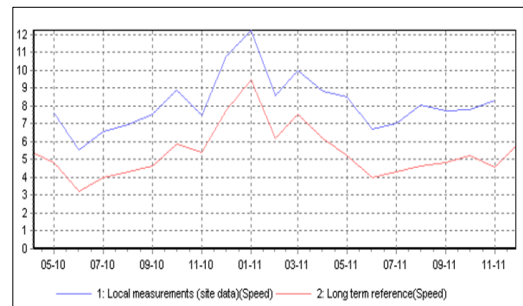


Figure 13. Comparison of wind speed at Met-mast & AWS during overlapping period

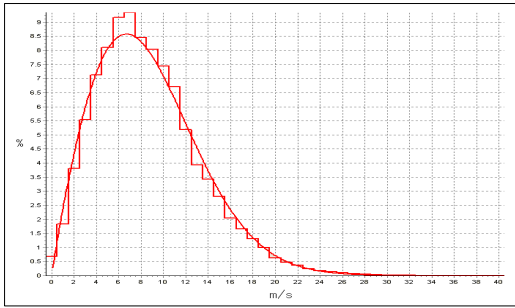


Figure 14. weibull distribution of the predicted data by MCP Method

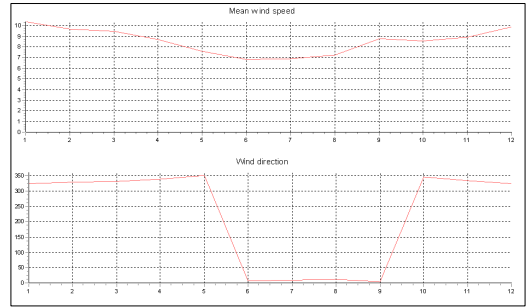


Figure 15. Monthly mean wind speed & direction of the predicted data by MCP Method

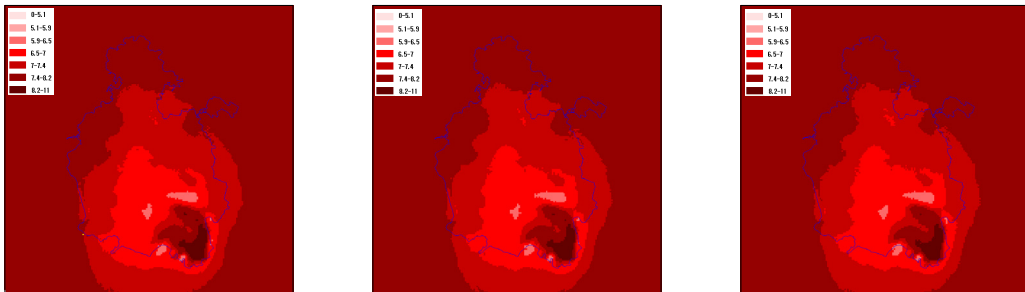
Figure 14와 Figure 15는 장기간 보정된 풍향자료의 특성으로, 평균풍속은 8.7m/s, 겨울이 여름보다 높은 풍속을 보이고 있고, 계절풍의 영향으로 겨울과 여름의 풍향의 변동이 뚜렷함을 볼 수 있다.

3.3 풍력자원지도 작성

본 연구에서 해석 프로그램으로 사용된 WindPRO는 풍력자원에너지의 분석 및 평가 프로그램이다. Wind PRO는 WAsP을 Solver로 사용하고 있으며, 풍속 및

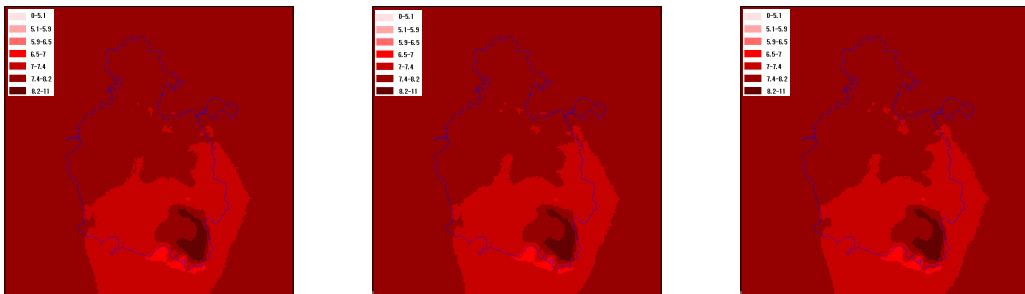
에너지발전량 예측과정 또한 WAsP과 동일하다(Jaekyoon Woo, 2011).

지도 작성영역은 위도 33° 30'27.83", 경도 126° 57' 20.21"를 중심으로 5km×5km 영역의 우도 지역으로 선정하였다. 입력자료는 행렬 MCP방법을 적용하여 장기간 보정된 풍향자료와 지형고도지도를 동일하게 사용하였고, 영상필터링 결과에 따라 제작된 지면조도지도를 변수로 하여 각각의 풍력자원지도를 작성하였다. 공간해상도 25m이고, 풍력자원지도의 범례는 미국의



(a) Application for the original roughness map (b) Application for the roughness map using 3×3 filter (c) Application for the roughness map using 5×5 filter

Figure 16. Annual mean wind speed map of Udo (30m above ground level)



(a) Application for the original roughness map (b) Application for the roughness map using 3×3 filter (c) Application for the roughness map using 5×5 filter

Figure 17. Annual mean wind speed map of Udo (50m above ground level)

재생에너지연구소(NREL; National Renewable Energy Laboratory)의 풍력에너지 등급표(Table 3)를 기준으로 하였다.

Figure 16과 Figure 17은 적용된 지면조도지도에 따른 지면 30m, 50m 높이에서의 바람지도이다. Figure 16(a)와 Figure 17(a)는 원본 지면조도지도를 적용, Figure 16(b)와 Figure 17(b)는 3×3 필터링한 지면조도 지도를 적용, Figure 16(c)와 Figure 17(c)는 5×5 필터링한 지면조도지도를 적용한 결과이다.

지도들이 시각적으로 대체적으로 유사한 형태를 보여 비교가 잘되지 않으므로, 통계적인 분석평가를 위해 원본 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도인 Figure 16(a)와 Figure 17(a)를 각각 참값(관측값)으로 설정하고, 필터링한 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도와의 정확도를 비교·검증하였다.

$$Bias = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i) \quad (3)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (M_i - O_i)^2} \quad (4)$$

식 (3),(4)에서 M_i 은 예측값, O_i 는 관측값, n 은 데이터의 개수이다. Bias와 RMSE(Root-Mean-Square Error)는 관측값과 예측값을 비교하여 어느 정도의 오

차를 가지고 있는지를 나타내는 값이다. Bias 값이 양의 값이면 과대평가를 의미하고, 음의 값이면 과소평가를 의미한다. RMSE 값이 0에 가까울수록 참값과 예측값이 서로 유사하여 신뢰할 수 있음을 의미한다.

Table 4에서 Bias 값이 -0.0061~-0.0027 m/s로 모두 음의 값을 보여, 높이와 필터 사이즈에 상관없이 필터링한 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도가 과소예측 됨을 알 수 있다. 동일 높이에서는 필터 마스크의 크기가 크면 RMSE 값이 증가하는 경향을 보이지만 그 차이는 미소하였고, 이는 영상의 단순화 정도에 따른 것이라 볼 수 있다. 또한 필터 마스크의 크기가 동일한 경우에는 높이가 50m의 RMSE 값이 높이 30m의 RMSE 값보다 작게 나타났다. 이는 높이가 높을수록 지면조도의 영향이 작아져 상대적으로 오차가 작게 나타났다다고 판단할 수 있다. 따라서 높이가 증가할수록 RMSE 값은 점차 0에 근접할 것이고, 일반적으로 풍력발전기가 설치되는 80m이상 높이에서의 풍력자원을 예측할 시 작업의 효율성을 위해 필터링을 적용하여도 원본 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도와 유사한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

4. 결론

본 연구는 풍력자원지도 제작 시 필요한 자료 중 하나인 지면조도지도를 생성하는 작업의 정확도와 효율성을 높이기 위해 환경부의 토지피복지도에 영상필터링 기법 중 무빙필터를 적용하였다. 이를 통해 원본 토지피복지도의 분류결과가 복잡하여 지면조도지도를 생성하는 벡터화 과정 시 여러발생물이 높고 작업시간이 오래 걸리는 단점을 보완할 수 있었다. 필터링을 적용한 단순화된 지면조도지도를 생성하였고 이를 가지고 풍력자원지도를 작성해보므로써, 필터링을 거쳐 풍력자원지도를 작성하여도 타당한지 여부를 검증하였다.

(1) 필터링을 적용한 지면조도지도를 사용하여 작성한 바람지도 모두 Bias가 -0.0061~-0.0027 m/s로 오차 정도가 미소했고, 과소예측을 보였다. 이는 풍력발전단지 설계 시 보수적인 설계가 가능하게 함으로써 사업의 리스크를 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 원본 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도와 필터링한 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도를 가지고, 동일한 높이에서의 오차정도를 비교하였다. 비교결과 동일높이에서는 필터 마스크 크기에 따른 오차의 차이가 미소했다. 따라서 필터링 적용 시 3×3 필터링보다는 5×5필터링을 적용하는 것이 프로그램의 계산시간을 줄여 효율성을 높일 수 있다고 판단된다.

Table 3. Wind Power Classification (source: NREL)

Wind Power Flux Class	Resource Potential	At 30 meters height	At 50 meters height
		Wind speed	Wind speed
1	Poor	0-5.1	0-5.6
2	Marginal	5.1-5.9	5.6-6.4
3	Fair	5.9-6.5	6.4-7.0
4	Good	6.5-7.0	7.0-7.5
5	Excellent	7.0-7.4	7.5-8.0
6	Outstanding	7.4-8.2	8.0-8.8
7	Superb	8.2-11.0	8.8-11.9

Table 4. Bias & RMSE (unit: m/s)

	At 30 meters height		At 50 meters height	
	3×3 filter	5×5 filter	3×3 filter	5×5 filter
Bias	-0.004	-0.0061	-0.0027	-0.0044
RMSE	0.1393	0.1403	0.0237	0.0253

(3) Table 4의 높이 30m와 50m에서 필터링에 의한 오차정도를 비교해보면, 높이가 증가함에 따라 지면조도의 영향이 작아져 오차가 줄어들었다. 일반적으로 풍력발전기가 설치되는 80m이상의 높이에서는 오차정도가 더욱 줄어들 것이고, 풍력발전기 설치에 따른 풍력자원예측 시 작업의 효율성을 위해 필터링기법을 적용하여도 신뢰할만한 풍력자원지도를 얻을 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP) 풍력특성화대학원 인력양성사업(NO.20094020200020)과 2012년 국토해양부의 재원을 받아 한국해양과학기술진흥원의 지원(NO. 20090217)을 받아 수행한 연구결과입니다.

참고문헌

1. Kim Yong-Hwan, Lee Jang-Ho, Lim Hee-Chang, 2010, Sensitivity analysis on the effect of the island orography and roughness on the estimation of annual energy production of offshore wind farm, The Wind Engineering Institute of Korea, Vol.14, No.3, pp. 111-117.
2. Kim Hyungoo, 2005, Analysis of wind shear patterns and application of Measure-Correlate-Predict at Pohang region, The Korean Society For New And Renewable Energy, Vol.1, No.2, pp. 26-33.
3. Kim Hyungoo, 2011, Wind mapping of Singapore using WindSim, The Korean Environmental Sciences Society, Vol.20, No.7, pp. 839-843.
4. Seo Hyunsoo, Kyong Namho, Kim Hyungoo, 2010, Analysis on wind characteristics for offshore wind turbine structure design at Waljeong, Jeju-do, The Wind Engineering Institute of Korea, Vol.14, No.3, pp. 161-167.
5. Sung Hyo-Hyun, 2009, Study on standardization of wind speed legend for wind resource map, The Korean Cartographic Association, Vol.9, No.2, pp. 81-95.
6. Julieta Silva, Carla Ribeiro, Ricardo Guedes, 2007, ROUGHNESS LENGTH CLASSIFICATION OF CORINE LAND COVER CLASSES, EWEC2007.
7. Woo Jaekyoon, 2011, Micrositing and selection of wind turbine for maximization of AEP, Master's Thesis, Kangwon National University, pp. 3-15.
8. Jeju Regional Meteorological Office, 2007, The paper about meteorological characters of AWS, p. 110.
9. Bruce H. Bailey, Scott L. McDonald, 1997, Wind resource assessment handbook, NREL, p. 3-2.
10. Morten Nielsen, 2004, Satellite information for wind energy application, Risø National Laboratory, pp. 14-18.
11. Troen, I., Petersen, E.L., 1989, European wind atlas, Risø National Laboratory.
12. Per Nielsen, 2010, WindPRO 2.7 user guide 3. edition., EMD International A/S.