

영상자료의 식생지수를 이용한 제주 북동부 지역의 풍력자원지도 작성에 관한 연구

A Study on the Mapping of Wind Resource using Vegetation Index Technique at North East Area in Jeju Island

변지선* · 이병걸** · 문서정***

Byun, Ji Seon · Lee, Byung Gul · Moon, Seo Jung

요 旨

풍력자원지도의 작성을 위해 기본적으로 지형고도자료, 지면조도자료, 풍황자료가 필요하다. 그 중 지면조도자료의 경우 토지피복분류 기법을 통한 토지피복지도를 이용하여 구할 수 있다. 지면조도지도의 경우 토지피복의 성질에 따라 풍속의 조도계수가 다르게 되며, 이러한 조도계수에 근거하여 정확한 지면조도지도를 만들 수 있다. 본 연구에서는 Landsat 위성자료를 이용하여 무감독 분류 방법과 식생지수법을 사용하여 지면조도자료를 생성한 후 풍력자원지도를 작성하였다. 이렇게 만들어진 풍력자원지도를 근거로 식생지수법의 사용이 무감독 분류 기법에 비하여 타당한지를 검증하였다. 그 결과, 식생지수를 사용한 풍력자원지도는 관측 자료와 비교한 경과 60% 이상의 등급 일치율을 보였고 불일치하는 픽셀에 대해서는 최대 등급의 차이를 넘지 않았다. 따라서 풍력자원지도 생성 시 필요한 지면조도지도를 계산할 경우 식생지수를 이용한 분류방법이 효과적인 것으로 판단된다.

핵심용어 : 풍력자원지도, 지면조도지도, 식생지수법, 토지피복지도

Abstract

To create a wind resource map, we need a contour map, a roughness map and wind data. We need a land cover map for the roughness map of these data. A land cover map represents the area showing similar characteristics after color indexing based on the scientific method. The features of land cover is classified by Remote sensing technique. In this study, we verified the application of the NDVI technique is reasonable after we created the wind resource map using roughness maps by unsupervised classification and NDVI technique. As a result, the wind resource map using the NDVI technique showed a 60% accordance rate and difference in class less than one. From the results, The NDVI technique is found alternative to create roughness maps by the unsupervised classification.

Keywords : Wind Resource Map, Roughness Map, NDVI Technique, Land Cover Map

1. 서 론

현재 대체 에너지 중 풍력 분야의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 풍력은 경제성 및 기술적으로 연구가 활발히 진행된 대체 에너지원으로서 풍력 에너지에 의한 발전단가는 풍속에 따라서 58,074~87,111원/MWh (40~60€/MWh) 정도로 풍력은 다른 에너지에 비해 매우 경쟁력 있는 에너지라 할 수 있다(Hwang, 2012).

그런데 풍력 에너지를 개발하기 위해 풍력자원지도가 필요하며, 이 자원지도는 풍력발전단지 입지 선정을 위한 기초자료로써 활용되기 때문에 매우 중요한 부분이다.

풍력발전단지 건설을 위해서 기 선정된 후보지에 풍황계측타워(Met-mast)를 설치하여 최소 1년간의 풍황 조사가 이루어지며(Woo, 2011), 그 후에 풍력자원 분석·평가 소프트웨어를 이용하여 후보지에 대한 풍력자원을 분석·평가한다. 풍력자원 분석·평가를 하기 위해

Received: 2015.01.12, revised: 2015.02.01, accepted: 2015.03.16

* 정희원 · 제주대학교 대학원 토목해양공학과 박사과정(Member, Department of Civil & Ocean Engineering, Jeju National University, julie7495@gmail.com)

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

*** 제주 테크노파크 그린IT융합팀(Green IT Convergence Team, Jeju Technopark, shsb13231@nate.com)

서 기본적으로 지형자료, 지면조도자료, 풍향 자료가 필요하며, 풍력자원 및 발전량 분석의 정확도에 영향을 미치기 때문에 매우 중요하다. 이러한 자료 중에 풍향 계측타워를 설치하여 데이터를 직접 수집하는 풍향 자료를 제외하고 지형자료와 지면조도자료는 간접적으로 계산하여 구한다. 그런데 지형자료의 경우는 시간에 따른 변화가 거의 없기 때문에 수치지도를 이용하여 쉽게 얻을 수 있다. 반면에 기상이나 환경에 따라 변화가 많은 지면조도자료는 항공영상 또는 위성영상을 이용하여 사용자가 직접 피복상태를 판별하여 디지털화(Digitizing)을 하는 주관적인 방법이 많이 사용된다(Moon, 2012). 하지만 연구대상지역의 지면에 대한 관측에 근거한 자료가 없거나 관련 정보가 명확하지 않을 때 정확도가 감소될 수 있고 작업시간 또한 많이 소요되는 문제점이 있다(Han, 2009). 이러한 경우 원격탐사 분야의 감도분류와 무감도 분류를 이용하여 토지피복상태를 분류하고 이를 바탕으로 지면조도지도를 생성하여 사용한다. 하지만 감도분류는 사용자의 개인적인 판단이 영향을 많이 끼치고 훈련지역(training site)에 대한 정확한 정보가 없는 경우, 현장조사의 어려움이 있는 경우 정확도가 떨어지게 된다. 무감도 분류의 경우 현장에 대한 자료가 미비하거나 사전에 관련된 분류 자료가 있으면, 개인적인 판단이 아닌 제공된 자료만을 근거로 식생분류를 진행할 수 있어 지면조도지도 같은 경우 시간적정체적으로 많은 장점이 있다. 하지만 무감도 분류의 경우 관측 자료에 의존하지 않으므로 분류정확도가 떨어지는데 본 연구에서는 이를 보완하기 위해 식생분류기법을 도입하여 무감도 분류 기법과 비교 검토하였다.

본 연구에서는 제주지역의 풍력단지계획을 위한 지면조도지도를 만들기 위해 환경부에서 제공하는 대분류 토지피복지도를 기준으로 무감도 분류, 식생지수기법을 사용하여 우선 토지피복지도를 제작하였다. 무감도 분류 방법에서는 처리속도가 빠르고 사용자의 개입이 최소로 작용하는 K-평균 군집 방법을 사용하였고, 식생지수법에서는 Landsat-TM 영상 중 6번 밴드를 제외한 모든 밴드를 사용하여 Tasseled Cap Transformation, NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), MNDWI(Modified Normalized Difference Water Index), 밴드비 연산(Band Ratio Math) 방법을 조합하여 토지피복지도를 작성하였다(Kwon, 2003, Kang, 2012). 작성된 각각의 토지피복지도를 바탕으로 European Wind Atlas에서 제시하는 각 피복별 지면조도길이를 사용하여 지면조도지도를 작성하였고(Troen and Peterson, 1989), 이를 이용하여 풍력자원지도를

생성하여 비교해 봄으로써 지면조도지도를 작성할 때 K-means clustering 기법보다 식생지수법으로 작성하는 것이 타당함을 검증하였다.

2. 연구자료 및 방법

본 연구에서는 풍향 관측 자료, 인공위성영상자료, 지형고도자료를 사용하였다. 인공위성영상자료에 의해 토지피복분류를 수행한 후 지면조도지도를 작성하였고, 이와 함께 풍향 관측 자료, 지형고도자료를 이용하여 풍력자원지도를 작성하였다.

2.1 풍향 관측 자료

본 연구에서는 한동 및 평대 지역에 설치된 풍향계측타워에서 관측된 자료를 사용하였다.

한동에 위치한 풍향계측타워는 N 33°32'26", E 126°50'09"에 위치하고 있다. 풍향계측타워의 높이는 60m이고, 60m, 58m, 50m, 40m, 30m, 10m에는 풍속계가 설치되어 있고, 60m, 40m에는 풍향계가 설치되어 있으며, 2m에는 온도계와 압력계가 부착되어 있다. 한동 풍향계측타워의 관측기간은 2011년 1월 1일부터 2012년 10월 31일까지 총 22개월이다.

평대에 위치한 풍향계측타워는 N 33°31'55", E 126°50'52"에 위치하고 있다. 높이는 60m이고, 60m, 59m, 50m, 40m, 30m에 풍속계가 설치되어 있고, 한동 풍향계측타워와 같은 높이에 풍향계, 온도계, 압력계가 부착되어 있다. 평대 풍향계측타워의 관측기간은 2010년 2월 7일부터 2011년 6월 30일까지 총 16개월이다.

각각의 센서에서 관측한 자료는 10분 평균된 값으로 이루어져 있다.

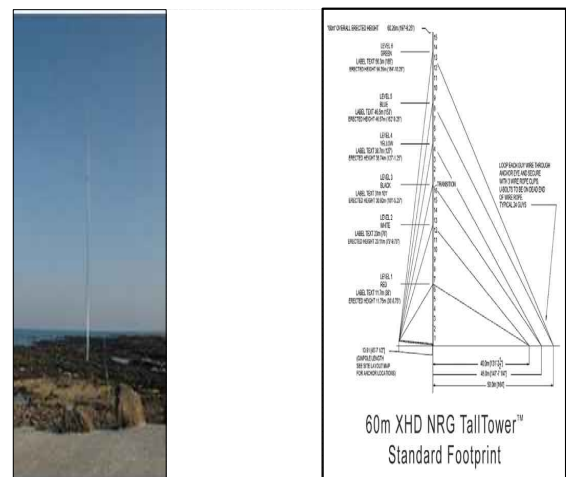


Figure 1. Met-mast (Hand-dong, Pyung-dae)

Table 1. Sensor characteristics of Landsat-TM

Band	Wavelength Band(μm)	Resolution
1	0.45~0.52	Blue
2	0.52~0.60	Green
3	0.63~0.69	Red
4	0.76~0.90	Mear-IR
5	1.55~1.75	Mid-IR
7	2.08~2.35	Mid-IR
6	10.4~12.5	Themal-IR

2.2 인공위성영상 및 지형자료

참조자료로 사용된 환경부 토지피복지도가 2007년에 제작되었기 때문에 2007년과 가장 근접한 2009년6월 26일에 촬영된 Landsat-TM 영상을 사용하였다. Landsat-TM은 Green, Blue, Red, Near-Infrared, Thermal, Mid-Infrared 밴드로 총 7개의 밴드로 구성되었다. 각각의 밴드는 30m의 공간해상도를 가지고 있고 Thermal 밴드인 6번 밴드만 120m의 공간해상도를 가지고 있다. 본 연구에서는 7개의 밴드 모두를 사용하지 않고 6번 밴드를 제외한 6개의 밴드를 사용하여 각 속성에 대한 정보를 추출하였다.

등고선지도 생성을 위해서 국가공간정보유통시스템의 1:25,000 수치지도 중 도엽번호 336081, 336012를 이용하였다.

2.4 연구 방법

풍력자원지도 작성을 위해 기본적으로 지면조도지도, 등고선지도, 풍황 관측 자료가 필요하다. 각 자료들은 다음 흐름도와 같은 과정으로 생성되었다.

먼저, 인공위성영상을 이용하여 식생지수법과 무감독분류 기법 중 K-평균 군집 기법을 이용하여 토지피복지도를 작성한 후 지면조도지도를 생성하였다. 그리

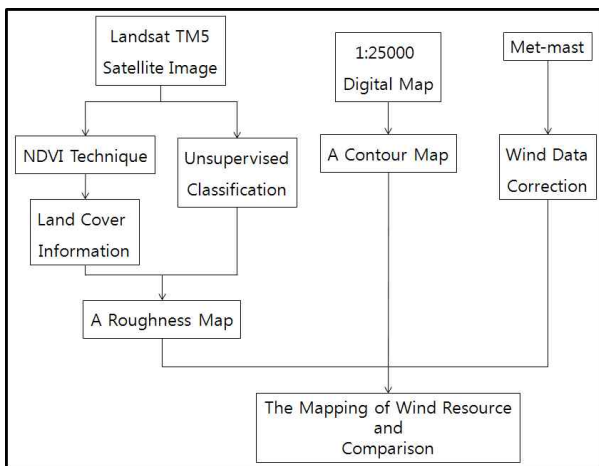


Figure 2. Flow chart of the study

고 지형고도자료의 생성을 위해 1:25,000축척의 수치지도를 이용하여 재생성 하였으며, 풍황계측타워에서 관측된 데이터를 이용하여 풍황자료에 대한 보정을 거쳤다.

그 후, 앞서 생성한 기본 자료를 이용하여 연구지역에 대한 풍력자원지도를 작성하였다.

3. 연구결과

3.1 식생지수법을 이용한 지면조도지도 생성

육안관측에 의한 디지털이징 방법은 지면의 피복상태를 잘못 분류되는 결과를 얻게 될 가능성(Moon, 2012)이 있기 때문에 통계적인 기법을 사용하는 원격탐사(Remote sensing)를 이용하여 객관적인 결과를 얻을 수 있다. 원격탐사의 분류기법에는 감독분류(Supervised classification)와 무감독분류(Unsupervised classification) 방법이 있다. 감독분류의 경우 가장 정확한 결과를 얻을 수 있지만 원격탐사에 대한 지식을 가지고 있는 사용자의 개입이 필요하다. 만약 사용자가 비전문가인 경우 정확도가 낮은 결과를 얻을 수 있는 단점이 있다. 무감독분류의 경우 분류 과정 중의 사용자의 개입이 최소로 작용하기 때문에 비전문가 또는 미지의 지역에 대해서도 일정한 결과를 나타낼 수 있다. 하지만 그에 따른 정확도가 낮은 이유로 무감독분류 결과를 단독으로 사용하지 않고 일반적으로 감독분류를 위한 사전자료로 사용된다. 본 연구에서는 인공위성영상자료의 각 밴드로 식생지수법을 거쳐 무감독분류의 가장 큰 장점인 사용자의 개입을 최소화하면서 정확도를 증가시킨 토지피복지도를 작성하여 지면조도지도를 생성하고자 하였다.

본 연구에서 식생지수법을 이용한 피복정보 추출이란 분광해상도가 같은 밴드들 간의 특성을 고려하여 지면의 특정한 피복정보를 추출하는 것을 말한다. 사용된 식생지수는 NDVI, MNDWI, Tasseled Cap Transformation, 밴드비와 같은 연산방법이 사용되었다.

먼저, NDVI는 식생에 민감하게 반응하는 지수로서 해당지역의 NDVI가 1에 가까울수록 식생 지역, -1에 가까울수록 비식생 지역으로 구분할 수 있다. 같은 개념을 사용하는 NDWI는 수계에 민감하게 반응하는 지수이다. 본 연구에서는 도시 지역에 혼합적인 피복이 존재하기 때문에 NDWI 값이 양의 값을 갖게 되는 경우가 발생하여 NDWI를 수정한 MNDWI를 사용하였다(Jung, 2012).

$$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3} \tag{1}$$

$$MNDWI = \frac{Band2 - Band5}{Band2 + Band5} \quad (2)$$

영상의 Tasseled Cap Transformation에 의해 기본적으로 도출된 식은 다음과 같이 Brightness, Greenness, Wetness 세 가지이고 본 연구에서는 이들 중 식생에 대한 반응이 가장 좋으며 식생의 클래스 구분에 많은 영향을 끼치는 Wetness 변환영상을 사용하였다(Jeon, 1999, Lee, 2008).

$$Brightness = 0.2909 TM1 + 0.2493 TM2 + 0.4806 TM3 + 0.5568 TM4 + 0.4438 TM5 + 0.1706 TM7 \quad (3)$$

$$Greenness = -0.2728 TM1 - 0.2174 TM2 - 0.5508 TM3 + 0.7221 TM4 + 0.0733 TM5 - 0.1648 TM7 \quad (4)$$

$$Wetness = 0.1446 TM1 + 0.1761 TM2 + 0.3322 TM3 + 0.3396 TM4 - 0.6210 TM5 - 0.4186 TM7 \quad (5)$$

시가지의 보강을 위해 시가지에 민감한 밴드 조합 중 시가지의 분류가 정확한 밴드 조합을 사용하여 시가지 분류를 보강하였다(Kwon, 2003). 본 연구에서는 Landsat-TM의 밴드비 연산데이터를 이용한 토지피복 분류에 관한 연구(Kwon, 2003)의 결과를 인용하여 주택 및 콘크리트건물의 추출을 위해 밴드 7과 밴드 4, 밴드 5와 밴드 2의 조합을 사용하였다.

$$Band\ ratio1 = \frac{Band7 - Band4}{Band7 + Band4} \quad (6)$$

$$Band\ ratio2 = \frac{Band5 - Band2}{Band5 + Band2} \quad (7)$$

식생지수법을 이용한 토지피복지도와 무감독분류 방법 중 K-평균 군집 방법을 이용한 토지피복지도를 비교하였다. 본 연구에서는 무감독분류 방법 중에 처리속도가 가장 빠르면서 사용자가 정의를 해주어야 하는 변수의 수가 가장 적은 방법 중 높은 정확도를 보이는 K-평균 군집 방법을 이용하였다. 두 토지피복지도 모두 총 5개의 타입(수역, 산림, 시가지지역, 농작지, 초지)으로 분류를 수행하였다.

본 연구에서 작성한 두 가지의 토지피복지도를 환경부에서 제시한 토지피복지도와 일대일 비교하여 그 정확도를 평가하였다. 여기서 모든 픽셀이 일치할 경우를 100%, 모든 픽셀이 일치 하지 않을 경우 0%로 정확도 평가를 실시한 결과 무감독분류기법을 이용한 토지피복지도는 56%의 정확도를 나타내었고, 식생지수법을 이용한 토지피복지도는 80%의 정확도를 나타내었고 정확도가 24% 이상 향상됨을 보였다.

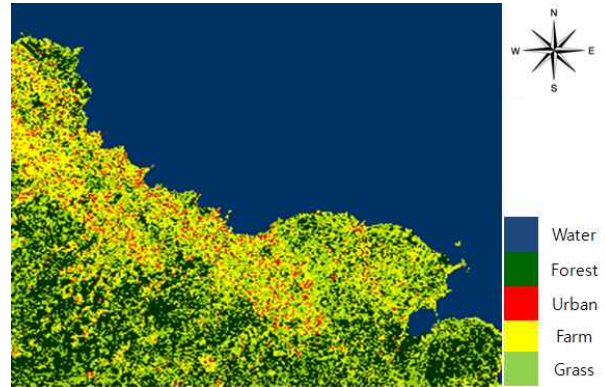


Figure 3. Land cover map using unsupervised classification

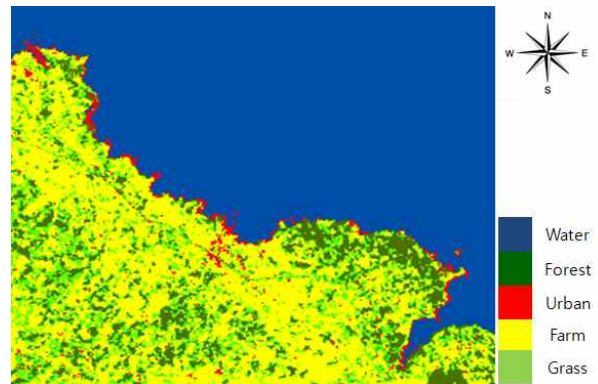


Figure 4. Land cover map using NDVI technique

작성된 토지피복지도를 이용하여 지면조도지도를 생성할 때 생성과정 중 에러 발생을 줄이고 작업시간을 단축하기 위해 지면조도지도 생성 전에 토지피복지도에 영상필터링 기법을 적용하여 그와 같은 문제점을 보완하였다(Moon, 2012). 본 연구에서는 영상필터로 3×3 마스크를 이용한 최대빈도필터를 사용하였다. Fig. 6의 단순화 된 토지피복지도를 이용하여 Vector형식의 지면조

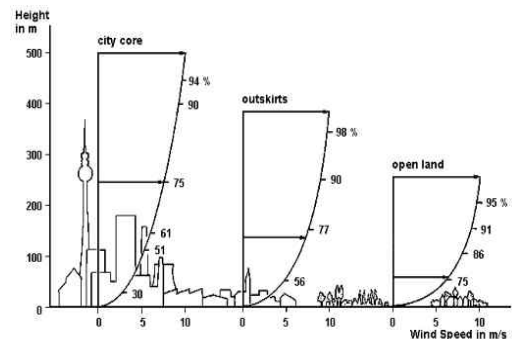


Figure 5. The change of wind shear based on roughness length

Table 2. Roughness length (Troen and Peterson, 1989)

Class	Land cover type	Roughness length(m)
1	Water Area	0.0001
2	Urbanization	1
3	Farmland	0.4
4	Grassland	0.0075
5	Forest Area	0.8

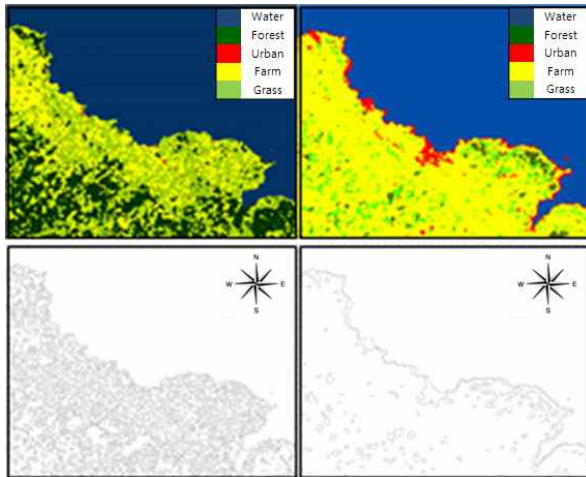


Figure 6. Roughness map using each method (unsupervised classification, band math)

도지도를 생성하였다. 여기서 지면조도길이(Roughness length)란 풍속의 연직방향 분포가 높이에 대해 대수적으로 변화한다고 가정하는 경우, 평균풍속이 0이 되는 경계층 외삽 높이를 말한다.

여기서 지면조도지도의 지면조도길이 값은 Table 2에 나타낸 European Wind Atlas에서 제시하는 값을 사용하였다(Troen and Peterson, 1989). Fig. 6은 각각 무감독분류와 식생지수법을 이용하여 필터를 적용하여 생성된 지면조도지도이다.

등고선지도는 국가공간정보유통시스템에서 제공하는

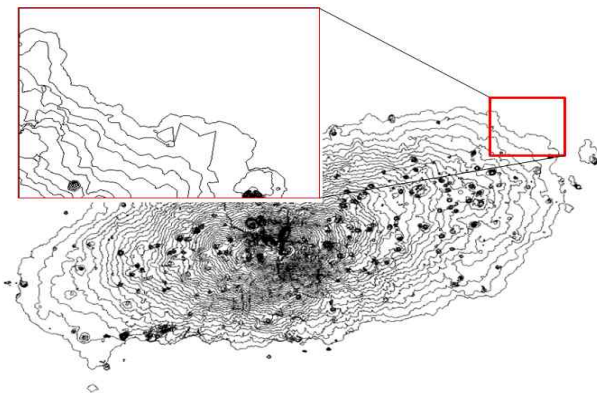


Figure 7. The contour map for study

1:25,000 수치지형도에서 등고선 레이어를 추출하였다. 수치지형도에서 등고선을 추출하여 그대로 사용할 경우 부분적으로 불연속한 부분이 발생할 수 있기 때문에 불규칙삼각망(Triangulated Irregular Network; TIN)모델을 이용하여 수치표고모형(DEM)을 제작한 후 이를 30m간격의 등고선으로 변환하였다. Fig. 7은 연구지역의 등고선지도이다.

3.2 풍황데이터 보정

3.2.1 결손구간 보정

풍황데이터 관측 중 결손 데이터 구간이 발생하는 경우는 종종 발생한다. 일반적으로 겨울철 풍속계의 동결(icing), 특정 풍속계 또는 풍향계 등 센서의 고장(sensor down), 낙뢰 및 정전 등의 전원 이상(power down), 취급 부주의에 따른 계측자료의 손실(human error) 등이 원인으로 작용한다(Jo, 2000). Fig. 8은 본 연구에서 사용된 풍황 자료의 결손구간이며, 이러한 데이터의 손실에 대한 보정을 하기 위해 마르코프 연쇄(Markov chain) 알고리즘을 사용하였다. 마르코프 체인은 결손 데이터의 예측 확률을 단순히 하기 위해 바로 전의 유하한 몇몇 개의 데이터만을 두고 확률 값을 구하여 결손 구간을 보정하는 방법이다. 마르코프 연쇄는 다음과 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} \Pr(X_{n+1} = x | X_n = x_n, \dots, X_1 = x_1) \\ = \Pr(X_{n+1} = x | X_n = x_n) \end{aligned} \quad (8)$$

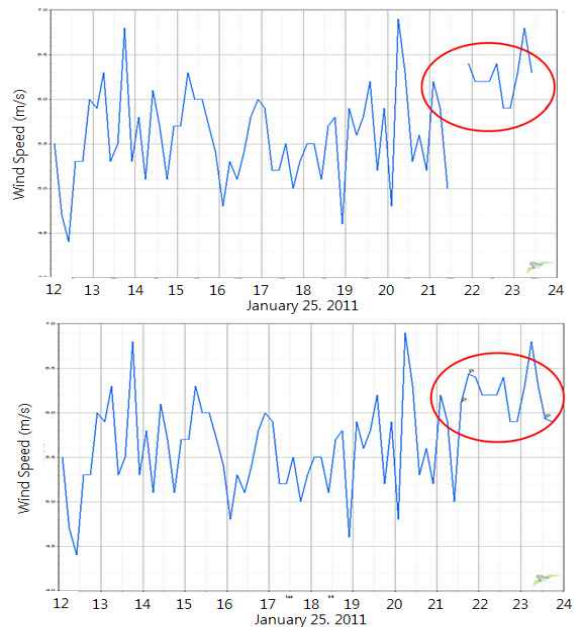


Figure 8. Data loss in wind data(top: before the correction, bottom: after the correction)

3.2.2 장기 풍향 보정

일반적으로 단기간 측정이라고 하더라도 최소한 12개월간의 연속측정이 이루어져야 장기간 보정이 가능하며, 단기간 측정이 9개월 이하일 경우 장기간 보정의 오차는 10%를 초과하기 때문에 풍력발전사업의 경제성 분석 시 상당한 오차를 초래할 수 있다(Kim, 2005). 그렇기 때문에 풍력발전단지 설계 시 장기 풍향에 대한 보정을 필수적으로 수행하여야 한다. 이 보정 방법을 MCP(Measure-Correlate-Predict) 방법 이라고 한다. MCP 모델 중 선형회귀모델을 이용하여 1년 이하의 풍향 자료를 3년 이상의 장기 풍향으로 보정을 실시하였다.

3.3 풍력자원지도 작성

본 연구에서 풍력자원지도를 작성하기 위해 WASP (Wind Atlas Analysis and Application Program) 인터페이스를 기반으로 하는 WindPRO 2.7 소프트웨어를 사용하였다. WASP 프로그램은 풍력잠재량 분석 및 평가 수행에 사용된다(Woo, 2011).

각 높이별로 풍력자원지도를 작성하여 비교해본 결과, 발전기의 높이가 낮은 도시풍력의 경우에는 지면의 영향을 많이 받기 때문에 본 연구에서는 WindPRO 2.7 소프트웨어를 사용하여 10m 높이에서의 풍력자원지도를 작성하였고, 작성된 풍력자원지도는 Fig. 9와 같다. 풍력자원지도는 순서대로 환경부에서 제공하는 토지피복지도를 이용한 풍력자원지도, 식생지수법에 의해 작성된 토지피복지도를 이용한 풍력자원지도, 무감독분류에 의해 작성된 토지피복지도를 이용한 풍력자원지도이다. 각 풍력자원지도의 등급은 미국의 재생에너지연구소(NREL; National Renewable Energy Laboratory)에서 제공하는 풍력에너지등급표를 사용하였고 Table 3과 같다.

Fig. 9의 풍력자원지도를 비교한 결과 환경부의 토지피복지도를 이용하여 작성된 풍력자원지도를 기준으로 RMSE를 이용하여 비교를 하였다.

Table 3. Wind power classification at 10m (source: NREL)

Class	Wind Energy Density (W/m ²)	Class	Wind Energy Density (W/m ²)
1	0~100	5	250~300
2	100~150	6	300~400
3	150~200	7	400~1000
4	200~250		

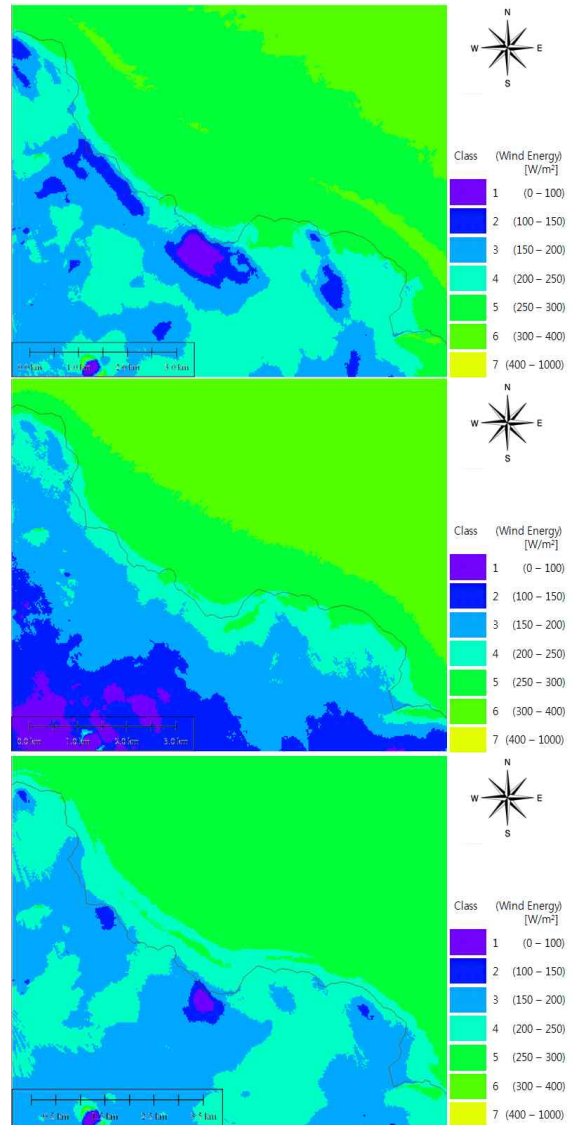


Figure 9. Wind resource map(top: reference, middle: unsupervised clustering, bottom: NDVI technique)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (x_{est} - x_{ref})^2}{n}} \quad (9)$$

RMSE는 0에 가까울수록 참값과 연구에 의한 값의 오차가 작다는 것을 의미한다. 식생지수법의 RMSE는 27.672W/m², 무감독분류법의 RMSE는 40.504W/m²으로 식생지수법이 더 좋은 결과를 보였고, 등급의 차이 비교 결과, 식생지수법을 이용한 경우는 최대 1등급의 등급차를 보였고 60%가 일치함을 보였고, 무감독분류 방법은 최대 2등급의 등급의 차와 40%의 일치도를 보였다. 에너지등급은 풍력발전단지의 입지에 중요한 평

가 자료이다. 예상 풍력발전단지이므로 이에 식생지수법을 이용하는 것이 타당함을 알 수 있다.

4. 결 론

풍력자원지도를 작성하기 위해서는 등고선자료, 지면조도자료, 풍황 자료가 기본적으로 필요하다. 수치지도에 의한 등고선자료를 사용할 시에는 결속구간이 존재할 가능성이 있다. 결속구간이 존재하는 등고선자료를 이용하여 풍력자원지도를 작성할 경우 그 오차를 동반할 수 있기 때문에 DEM을 생성한 뒤 등고선을 생성하여야 한다고 판단되었다. 지면조도자료를 생성하기 위해 필요한 토지피복지도는 무감독분류법과 식생지수기법을 사용하였다.

- (1) 각 방법을 이용한 토지피복지도의 정확도가 무감독분류법을 이용하였을 경우 56%, 식생지수기법을 이용하였을 경우 80%로 24% 향상되었음을 보였다. 이는 토지피복의 오분류로 인한 오차를 줄여 실제의 토지피복 상황의 반영이 가능함으로써 사업을 진행 하는 데에 있어 오분류로 인한 위험을 줄일 수 있을 것으로 판단되어진다.
- (2) 무감독분류법 토지피복지도를 적용하여 작성한 풍력자원지도와 식생지수기법 토지피복지도를 적용하여 작성한 풍력자원지도를 환경부 토지피복지도를 적용하여 작성한 풍력자원지도와 10m 높이에서의 에너지밀도를 비교하였다. 비교한 결과 RMSE가 각각 40.504W/m², 27.672W/m²으로 식생지수기법을 이용한 경우 오차가 줄어들었으며, 등급의 비교에서도 식생지수기법 토지피복지도를 적용한 풍력자원지도가 60%의 등급 일치도를 보였고 등급 간의 최대 차이가 1등급으로 40% 등급일치도와 최대 등급차가 2등급인 무감독분류법 토지피복지도를 적용한 풍력자원지도보다 향상된 결과를 얻었다.
- (3) 이에 풍력발전단지의 입지 선정 시 작업의 효율성을 위해 식생지수기법을 사용하는 것이 더 신뢰할 만한 풍력자원지도를 얻는 데에 효율적이라고 판단된다.

감사의 글

이 논문은 2014학년도 제주대학교 학술진흥연구비 지원사업에 의하여 연구되었음.

References

1. Han, Y.K., Kim, H.J., Choi, J.W., Kim, Y.I., 2009, A study on optimal Shape-Size Index Extraction for classification of high resolution satellite imagery, Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 25, No. 2, pp. 145-154.
2. Hwang, B.S., 2012, The new renewable energy White Paper, Korean Energy Management Corporation, pp. 246-280.
3. Jeon, S.W., Jung, H.C., 1999, A reserch on Remote Sensing for ecological zoning mapping and application- Focused on the mapping of vegetation classify, Korea Environment Institute, pp. 5-44.
4. Jo, K.H., Huh, J.C., Kim, K.J., 2000, Recovery of lost wind data based-upon the directional ground roughness, Journal of the Korean Society of Energy Engeering, Vol. 9, No. 1, pp. 76-81.
5. Jung, J.J., 2012, Comparison of Built-up Area extraction methods: Classification method vs. Vegetation Index method, Journal of the Korean Cartographic Association, Vol. 12, No. 3, pp. 35-44.
6. Kang, M.K., Son, S.Y., Yoon, W.J., 2012, Regional mapping of alteration of the Oyu Tolgoi Cu-Au deposit in Molgolia using Band Math Method with ASTER Image, Journal of the Korean Society of Mineral and Energy Resources Engineers, Vol. 49, No. 2, pp. 157-165.
7. Kim, H.G., 2005, Analysis of wind shear patterns and application of Measure-Correlate-Predict at Pohang region, Journal of the Korean Society for New and Renewable Energy, Vol. 1, No. 2, pp. 26-33.
8. Kwon, B.K., Kiyoshi YAMADA, Takaaki NIREN, Jo, M.H., 2003, A study on the landcover classification using Band Rationing Data of Landsat-TM, Journal of the Korean Society of Geographic Information Studies, Vol. 6, No. 2, pp. 80-91.
9. Lee, J.B., 2008, A study on floristic biodiversity and ecological data acquisition methods using Remote Sensing, Master's Thesis, Yonsei University, pp. 12-49.
10. Moon, S.J., Ko, J.W., Lee, B.G., 2012, The study on the mapping of wind resource using Moving Filter Technique at Udo, Jeju Island, Journal of the Korean Society for Geospatial Information System, Vol. 20, No.4, pp. 29-36.

11. Troen, I., Petersen, E.L., 1989, European wind atlas, RisØ National Laboratory.
12. Woo, J.K., 2011, Micrositing and selection of wind turbine for maximization of AEP, Master's Thesis, Kangwon National University.