

ORIGINAL ARTICLE

## Remote Sensing 기술을 활용한 제주 북동부 지역의 풍력자원 예측의 정확성 향상에 대한 연구

고정우 · 변지선 · 이병걸\*

제주대학교 토목공학과

### Study on the Accuracy Improvement of Wind Power Resource Prediction in Northeast Jeju Region Using Remote Sensing Technology

Ko, Jung-Woo, Ji-Seon Byun, Byung-Gul Lee\*

Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea

#### Abstract

The assessment of wind resources must be carried out to choose wind farm sites adequately. Additionally, input data on surface roughness maps and topographic maps are required to evaluate wind resources, where input data accuracy determines the accuracy of their overall analysis. To estimate this accuracy, we used met-mast data in Jeju and produced the ground roughness value for the Jeju region. To determine these values, an unsupervised classification method using SPOT-5 images was carried out for image classification. The wind resources of the northeastern part of Jeju were predicted, and the ground roughness map of the region was calculated by the WindPRO software. The wind speed of the Pyeongdae region of Jeju from the ground roughness map was calculated using WindPRO as 8.51 m/s. The wind speed calculated using the remote sensing technology presented in this study was 8.69 m/s. To assess the accuracy of the measured WindPro and the remote sensing technology values, we compared these results to the observed values in the Pyeongdae region using met-mast. This comparison shows that remote sensing data are more accurate than the WindPro data. We also found that the ground roughness map calculated in this study is useful for generating an accurate wind resource map of Jeju Island.

**Key words** : Land cover classification, SPOT-5, Surface roughness, Vector map, Wind resource map, Unsupervised classification, Topographic map, Wind resources

#### 1. 서론

풍력발전단지 입지 선정을 위해서는 가장 먼저 풍력 자원 평가가 이루어져야 한다. 오늘날 풍력자원평가는 풍력자원 해석 프로그램인 WaSP, WindPRO, WindSim 등을 통하여 이루어지고 있다(Manwell et al., 2002). 어

떠한 풍력자원 해석 프로그램이라도 해석을 위해서는 해석의 기초가 되는 입력 데이터가 필요하며, 입력데이터의 정확도는 전체 풍력 자원 해석의 정확도를 좌우하기 때문에 풍력자원 해석을 수행하는 데 있어 매우 중요한 요소이다(Nielsen, 2004). 이 프로그램들은 기본적으로 풍황자료, 지형고도 및 지면조도지도(예상 풍력발전단지의

Received 23 March, 2021; Revised 16 April, 2021;

Accepted 19 April, 2021

\*Corresponding author: Lee, Byung-Gul, Department of Civil Engineering, Jeju National University, Jeju 63243, Korea  
Phone: +82-64-754-3455  
E-mail: leebg@jejunu.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.

© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



Fig. 1. Met-mast location around Jeju Island(White circles are met-mast locations).

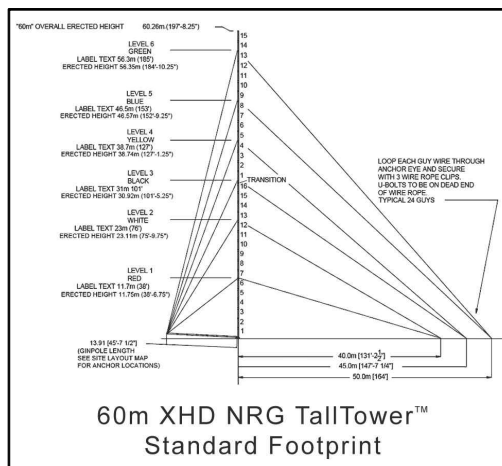


Fig. 2. Specification of met-mast.

반경 20 km 이내)를 필요로 한다.

본 연구에서는 WindPRO (Nielsen, 2010)를 이용하여 풍력자원 예측에 있어 지면조도지도의 객관성과 정확성 향상 방법에 대한 방법을 제시하였다(Ko and Heo, 2006). 일반적으로 WindPRO에서 지면조도지도 입력 방식은 대상지역의 정사영상 사진을 이용하여 엔지니어에 의한 디지털라이징에 의한 방법과 기존에 분류되어 있는 토지피복도를 이용하는 방법이 주로 사용되고 있다 (Wind, 2008). 토지피복도를 이용하는 방법은 Moon et al.(2012)과 Ko et al.(2012) 등에 의하여 이루어 졌다. 지면조도지도는 토지피복도를 활용한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 해외의 경우는 EU15 유럽국가에서는 전 유럽을 대상으로 한 CORINE 토지피복지도를 제공하므로 이를 이용하여 지면조도지도를 제작하여 사용한다 (Sillva et al., 2007). 토지피복지도의 경우 인공위성영상을 이용하는 경우, 영상분류의 목적에 의하여 지면조도의 정확도를 고려해야 한다. 이에 본 논문에서는 SPOT-5 영상을 이용하여, 지면조도에 적합하게 영상 분류를 실시하여 지도의 정확도를 높이고자 하였다.

또한, 지면조도 값의 경우, Ko et al.(2012)에 따르면, 지면조도 값은 위도의 차이와 지형적인 영향으로 인하여, 지역마다 값의 차이가 있다. 특히, 국내의 경우 일반적으로 지면조도의 경우 일반적으로 WindPRO 매뉴얼을 참고하여 거칠기 값을 정의하고 있어, 정확도를 예상하기

어려운 점이 있다.

해외의 경우 지형적인 영향에 의한 조도계수 값의 범위에 대해서는 예정지 주변의 풍향탑 데이터를 바탕으로, 주변의 조도계수 값을 계산한다(Lee, 2003). 유럽의 경우 풍력발전단지 예정지역에 맞는 지면조도 값을 이용하여 그 정확도를 높이고 있다(Nielsen, 2004). 이에 본 논문에서는 기존에 설치되어 있는 met-mast들의 자료를 이용하여, 제주지역에 적합한 지면조도계수값을 계산하였고, remote sensing 기술을 활용하여 제주지역에 적합한 지면조도지도를 생성하였다.

## 2. 재료 및 방법

Fig. 1은 제주지역의 지면조도를 산정하기 위하여 사용된 met-mast의 위치이다. 본 연구에서는 이 그림에 표시된 것과 같이 총 24곳의 실관측 데이터를 고려하여 연구하였다.

Fig. 2와 Fig. 3은 60 m 풍향탑(meteorology mast; met-mast)에 대한 설명이다. Fig. 4는 한동, 평대, 우도의 met-mast의 설치 모습이다.

Fig. 4는 한동과 평대지역에 실제로 설치된 기상탑을 나타낸 것으로 Fig. 3의 모식도를 근거로 설치된 기상탑 사진이다.

각 관측 위치에 대한 정보는 Table 1에 나타내었으며,

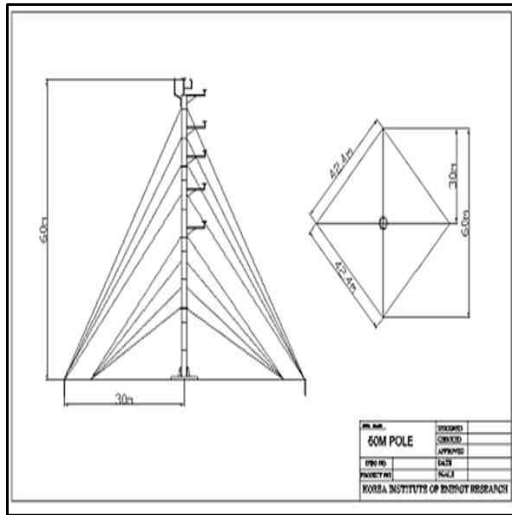


Fig. 3. Specification of Handong met-mast.



Fig. 4. Anemometric mast location(Handong, Pyeongdae, Udo).

Table 1. Met-mast location

Name	Location	
Handong-ri	33° 32' 26.0459" N	126° 50' 9.8711" E
Pyeongdae-ri	33° 31' 55.7335" N	126° 50' 52.1728" E
Udo	33° 30' 14.4" E	126° 57' 34.8" E
Haengwon-ri	33° 33' 36" N	126° 48' 54.36" E
Jongdal-ri	33° 30' 21" N	126° 52' 40.48" E
Simnyang-ri	33° 25' 43.48" N	126° 55' 40.48" E
Sinsan	33° 23' 9" N	126° 53' 15.36" E
Seongeup	33° 25' 1.48" N	126° 49' 4.48" E
Sumang	33° 20' 36.18" N	126° 41' 52.48" E
Gangjong	33° 14' 33.2" N	126° 29' 34.7" E
Daechenon	33° 15' 5.3" N	126° 28' 45.3" E
Daeyooland Shorting	33° 16' 42" N	126° 23' 51.36" E
Uboreum	33° 16' 28.48" N	126° 24' 6.36" E
Deajeong aerodrome	33° 12' 18" N	126° 15' 49.12" E
Ilgwa-ri	33° 14' 12" N	126° 13' 48" E
Daejeong industrial complex of rural areas	33° 15' 34.12" N	126° 13' 46.48" E
Murung	33° 15' 45.36" N	126° 10' 53.24" E
Gwangpyeong	33° 19' 38.24" N	126° 21' 7.48" E
Kohsan	33° 18' 3" N	126° 11' 8.24" E
Yongdang	33° 20' 15" N	126° 09' 58.48" E
Geomdeung	33° 21' 46.12" N	126° 11' 15.36" E
Nameup	33° 23' 13.48" N	126° 22' 34.48" E
Wolpyeong	33° 22' 50.24" N	126° 13' 2.24" E
Hanseok-ri	33° 25' 46" N	126° 15' 58" E

**Table 2.** Met-mast description

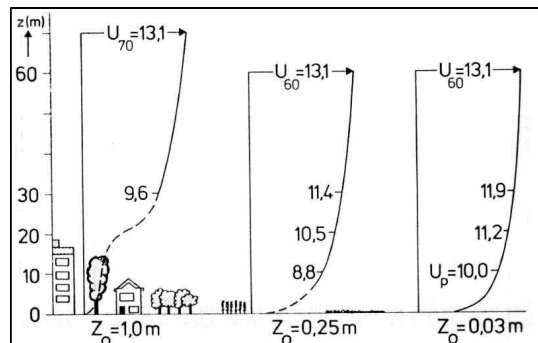
Name	Anemo-meter Height(m)	Anemo-scope Height(m)	Measurement duration
Handong-ri	60, 58, 50, 40, 30	60, 40	2010.12.20.~2012.11.30.
Pyeongdae-ri	60, 58, 50, 40, 30	60, 40	2010.2.6.~2011.7.3
Udo	60, 58, 50, 40, 30	60, 40	2010.4.30.~2011.7.3
Haengwon-ri	60, 58, 50, 40, 30	60, 40	2002.1.10.~2009.7.23
Jongdal-ri	45, 30, 15	45	2002.3.19.~2004.3.12
Sinsan	30, 15	30	1999.3.11.~1999.12.30
Seongeup	45, 30, 15	45	2001.6.1~2003.5.31
Sumang	60, 58, 50, 40, 30	45	2005.6.17.~2009.6.28
Gangjong	45, 30, 15	45	2010.5.1~2011.4.30
Daechenon	45, 30, 15	45	2010.5.2~2011.5.1
Daeyooland Shorting	30, 15	30	1998.1.2.~1998.6.25
Uboreum	45, 30, 15	45	1999.8.31.~1999.12.30
Deajeong aerodrome	30, 15	30	1999.7.15.~1999.12.30
Ilgwa-ri	45, 30, 15	45	1998.5.31.~1999.12.30
Daejeong industrial complex	45, 30, 15	45	2010.5.1~2011.4.30
Murung	30, 15	30	1999.8.1~2000.7.31
Gwangpyeong	30, 15	30	1999.7.15.~1999.12.30
Kohsan	30, 15	30	2001.11.13.~2002.2.27
Yongdang	45, 30, 15	45	2002.3.20.~2004.5.16
Geomdeung	45, 30, 15	45	2001.8.15~2002.8.15
Nameup	30, 15	30	1999.7.15.~1999.12.31
Wolpyeong	30, 15	30	2002.5.1~2003.4.30
Hanseok-ri	60, 58, 50, 40, 30	45	2005.3.1.~2009.7.23

각각의 풍속계와 풍향계의 높이와 관측기간을 Table 2에 나타내었다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 제주지역에 적합한 지면조도계수 계산

wind shear란 지표면 위의 높이에 대한 풍속의 변화를 말하며 wind shear profile이라고도 말한다. 이러한 높이에 따른 풍속의 변화에 대한 wind shear 모델링을 위한 수학적 방법은 대수법칙(logarithmic profile (log law))과 멱법칙(power law profile (power law))이 있다. 이러한 수학적 방법을 이용한 wind shear 모델링을 제시하기 위해서는 최소한, 지표면 위 높이가 다른 풍속 센서에서 관측된 두 개 이상 자료를 가지고 있어야 한다. Fig. 5는 지면조도길이에 따른 풍속의 높이별 변화를 보여주는 그림이다.



**Fig. 5.** Wind shear depending on surface roughness length.

#### 3.1.1. 대수법칙

대수법칙에서 지면조도의 계산은 아래식으로 계산할 수 있다(Ko and Heo, 2006).

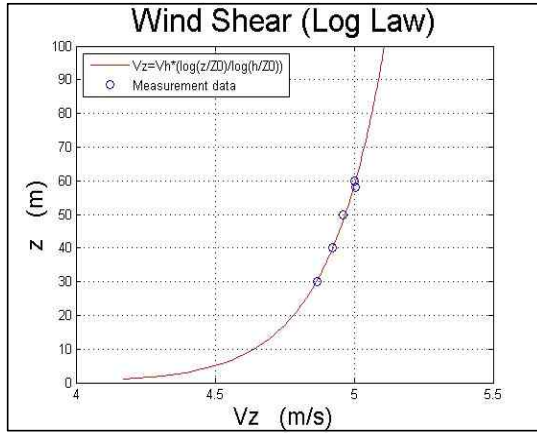


Fig. 6. Wind shear (log law).

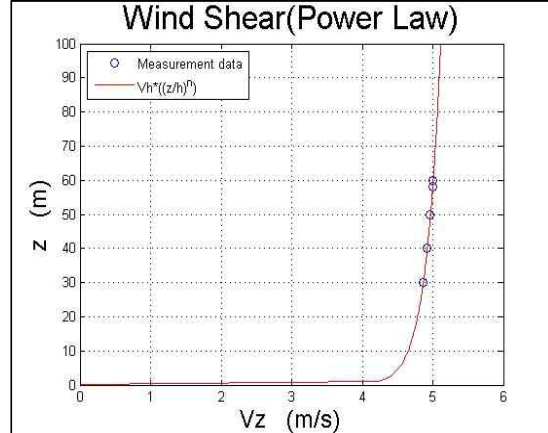


Fig. 7. Wind shear (power law).

$$V_z = V_h \left( \ln \frac{z}{z_0} / \ln \frac{h}{z_0} \right) \quad (1)$$

관측된 wind shear로부터 고도에 대하여 자연로그를 취해준 후 선형 최소 제곱근 풀이로 조도길이를 구할 수 있다. 여기서  $V_z$ ,  $V_h$ 는 지상에서 부터의  $z$  및  $h$ 에서의 풍속이고,  $z_0$ 는 지면조도길이(surface roughness length)이다. Fig. 6은 log law 법칙을 이용하여 높이별 풍속을 예측한 값과 실관측 데이터를 보여주고 있다.

### 3.1.2 멱법칙

아래의 식(2)는 멱법칙을 나타내는 식이다(Ko and Heo, 2006).

$$V_z = V_h \left( \frac{z}{h} \right)^{1/n} \quad (2)$$

관측된 각각의 고도와 평균풍속에 대한 대하여 자연 로그를 취해준 후 선형 최소 제곱근 풀이로 조도계수를 구할 수 있다. 여기서  $V_z$ ,  $V_h$ 는 지상에서 부터의  $z$  및  $h$ 에서의 풍속이고  $n$ 은 멱지수이다. Fig. 7은 power law 법칙을 이용하여 높이별 풍속을 예측한 값과 실관측 데이터를 보여주고 있다.

지면조도계수의 계산은 Matlab 프로그램을 이용하여 계산하였다. 그 결과는 아래 Table 3과 같다.

Table 3. Calculated roughness length

Land cover type	Range	Mean Value
Ocean	0.00115~0.0208	0.012717
Agriculture & grassland	0.2781~0.5434	0.43495
Forest	0.4146~1.2309	0.853067
Farming villige & vinyl house	0.4706~0.8677	0.66915

Table 4. WaSP manual's roughness length

Land cover type	Roughness length
Water area	0.0002
Mixed water and land area or very smooth land	0.0024
Villages, small town, Forest	0.4

Table 4는 WaSP manual(Nielsen, 2010)에서 제공하는 지면조도길이이다. 제주지역의 met-mast 자료와 비교 할 때 해양, 마을, 산림의 경우 계산 값이 크게 나왔으며 농작지의 경우 비슷한 결과가 나왔다.

Table 5. Wind energy's power law exponent.

Land cover type	Power law exponent
Water area	0.1
Mixed water and land area or very smooth land	0.14
Villages, small town, Forest	0.25

**Table 6.** Calculated power law exponent

Land cover type	Range	Mean Value
Ocean	0.1046~0.1308	0.1206
Agriculture & grassland	0.2312~0.2737	0.25535
Forest	0.2488~0.353	0.307033
Farming villige & vinyl house	0.2633~0.3141	0.2887

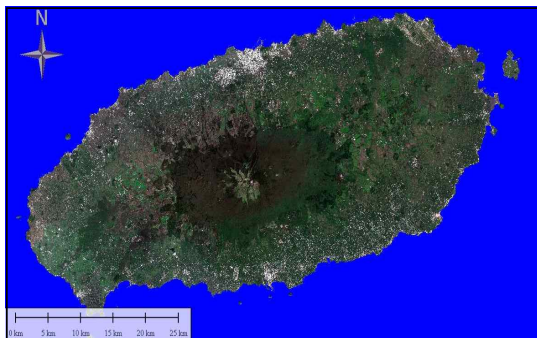
Table 5는 풍력공학 입문에서 제공하는 먹지수이고, Table 6은 본 연구서 계산된 값이다. 지면조도값이 비교와 유사하게 제주지역의 met-mast 자료와 비교 할 때 해양, 마을, 산림의 경우 계산 값이 크게 나왔으며, 농작지의 경우 비슷한 결과가 나왔다.

**3.2. Remote Sensing 기술을 이용한 영상 분류**

**3.2.1. 영상 보정 기법**

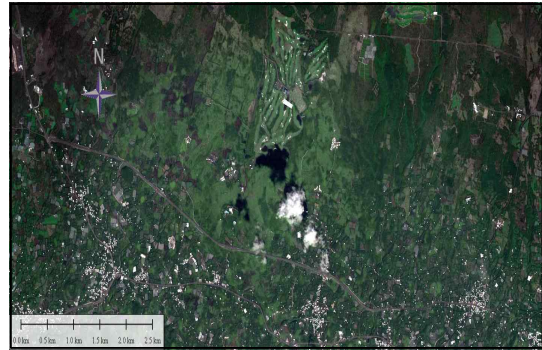
무감독분류를 수행하기 전에 SPOT-5 영상에 대한 보정을 진행 하였다. SPOT-5 영상은 2007년~2008년 사이에 촬영된 영상이며 공간 해상도는 2.5 m이다. 연안부근에 파도의 백파현상으로 인한 화소값들이 영상에 많이 분포해있었다. 이는 추후 영상분류 작업을 할 경우 오분류의 우려가 있다. 이를 방지하기 위해서 포토샵을 이용하여 해안선을 따라 수역이 위치한 부분을 동일한 화소값으로 영상 처리하였다(Moon et al., 2012).

도심 지역은 군집화 경향이 낮았다. 지면조도 값은 지표면의 마찰이 풍속에 영향을 주는 지표이다. 비닐하우스의 경우 농작지 보다는 마을로 분류하는 것이 지면조도지도 생성에 적합할 것으로 판단하였다. 농작지 주변의 비닐하우스의 경우 마을과 같이 분류하기 위해 같은 색상으로 변경하였다. Fig. 8은 그 결과를 보여주고 있다.



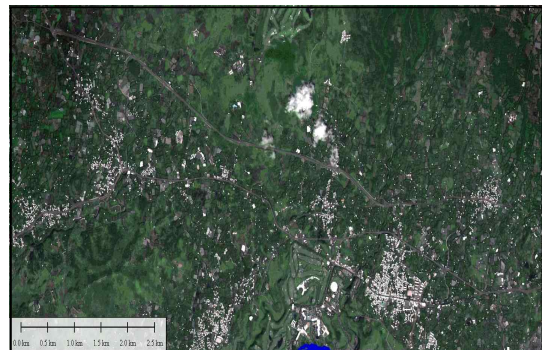
**Fig. 8.** Filtered image about village and farms.

Fig. 9의 경우 구름의 그림자에 의해 농도가 짙어진 부분을 보여주고 있다.



**Fig. 9.** Shadow effect of SPOT-5 image.

이런 경우 농작지를 산림으로 오판할 수 있다. 이를 보정 하기위해 그림자 영역 부분을 포토샵을 이용하여 주변의 농도와 비슷하게 변경하였다. 그 결과는 Fig. 10에 나타내었다.



**Fig. 10.** Filtered image about shadow.

**3.2.2. 무감독 분류**

무감독분류는 순차적 군집화 기법을 사용하였다. 순차적 영상내의 모든 화소들을 순서대로 읽어 들여 기존의 군집 중심과의 분광 거리를 계산하게 된다. 최대 군집 계수는 9개, 군집의 최대 반경 계수를 20, 군집당 화소개수는 100으로 선정하였다. 이를 바탕으로 농작지와 부분과 산림 부분을 통합하여 Fig. 11과 같이 지면조도에 적합한 토지피복도를 획득하였다. 영상 분류를 위해 원격탐사용 소프트웨어인 PG-STEAMETR 4.2를 사용하였다.

Table 7. Cluster distance values

Cluster	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	144.98	284.06	127.17	311.17	167.13	123.56	138.28	148.67
2	144.98	0	229.97	46.79	364.34	192.91	90.55	72.09	37.34
3	284.06	229.97	0	216.05	345.37	231.09	206.18	235.69	243.14
4	127.17	46.79	216.05	0	317.57	146.19	44.04	35.57	38.99
5	311.17	364.34	345.37	317.57	0	171.54	273.99	301.39	344.43
6	167.13	192.91	231.09	146.19	171.54	0	102.47	133.23	175.11
7	123.56	90.55	206.18	44.04	273.99	102.47	0	44.67	77.58
8	138.28	72.09	235.69	35.57	301.39	133.23	44.67	0	43.39
9	148.67	37.34	243.14	38.99	344.43	175.11	77.58	43.39	0

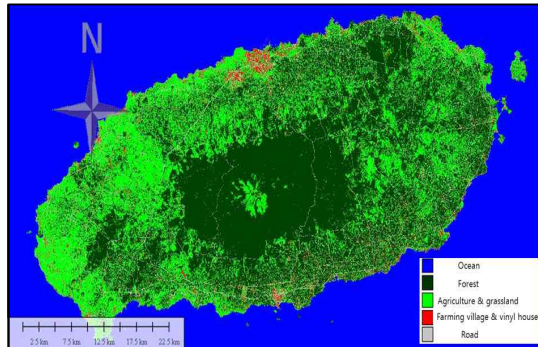


Fig. 11. Image classification map.

### 3.2.3. 분류 결과 및 지면조도를 위한 토지피복도

Table 7은 9개 군집의 분광거리를 나타낸 것이다. Table 8과 Table 9는 9개 군집의 밴드별 평균값과 분산을 나타낸 것이다. 필터링한 영역에서는 분산 값이 작게 나타나는 특성을 보여주고 있다.

9개 군집 중 특정 산림부분과 농작지부분의 통합은 Ko et al.(2012)의 제주지역 무감독 분류 결과와 Quan (2009)의 제주지역 영상 분류 결과를 바탕으로 통합하였다. 산림 지역의 붉은 빛이 강하게 나타나는 지역과 진초록 부분이 강하게 나타나는 부분을 통합하였는데, 이는 SPOT-5의 영상의 주기 해상도 차이로 인한 것으로 판단된다. 또한 농작지의 부분은 Table 6과 같이 지면조도의 경우 초지와 농작지의 값에는 큰 차이가 없다. 그러므로 본 연구에서는 초지와 농작지로 분류된 결과를 통합하였다. 군집별 통합과 RGB값은 Table 10과 같다.

Fig. 12는 Table 10의 분류 결과를 바탕으로, 제주지역의 지면조도를 위한 영상분류지도를 나타낸 것이다.

Table 8. Cluster mean values

Cluster	Band 1	Band 2	Band 3
1	33	28.01	175
2	30.94	41.71	30.68
3	255	0	0
4	58.35	68.78	57.24
5	245.9	244.19	244.08
6	147.65	145.56	143.85
7	88.26	88.74	82.67
8	52.24	103.63	60.84
9	27.65	78.61	35.31

Table 9. Cluster variance values

Cluster	Band 1	Band 2	Band 3	# of Pixels
1	0.29	0.38	0.35	63875
2	105.6	149.66	97.97	33744
3	0.23	0.31	0.48	1962
4	77.3	51.73	37.69	17450
5	299.4	389.94	405.07	1242
6	633.9	540.44	619.38	2278
7	180.28	152.59	144.11	10211
8	108.73	30.77	64.57	2296
9	7.64	114.32	21.76	2651

### 3.3. 영상 분류지도를 이용한 지면조도지도생성

#### 3.3.1. 토지피복을 이용한 제주지역에 적합한 지면조도계수 산정

미국 환경 보호국(US Environmental Protection Agency)의 토지피복도를 이용한 지면조도 산정에 대한

**Table 10.** Land cover and RGB values

Color	Name	Land Cover
RGB(0,0,255)	Cluster 1	Ocean
RGB(0,64,0)	Cluster 2	Forest
RGB(128,128,128)	Cluster 3	Load
RGB(0,255,0)	Cluster 4	Agriculture & Grassland
RGB(254,0,0)	Cluster 5	Farming villige
RGB(0,255,0)	Cluster 6	Agriculture & Grassland
RGB(0,255,0)	Cluster 7	Agriculture & Grassland
RGB(0,255,0)	Cluster 8	Agriculture & Grassland
RGB(0,64,0)	Cluster 9	Forest

보고서(2008)와 Rooney et al.(2005)에 따르면 관측 지점에서 100 m ~ 1 km 범위의 원형 범위를 경계로 잡는다. 그 후 토지피복에 따른 각도를 정하여 부채꼴 모양안에 가장 많은 토지피복 상태를 나타내는 화소에 따라 지면조도의 경계를 정하여 지면조도를 계산한다. 이에 본 연구에서는 경계 범위를 500 m로 선정하였다. 그리고 제주지역의 관측 중이거나 관측 되어 있는 met-mast 자료를 이용하여 지형에 따른 조도계수를 계산하였다.

Fig. 12, Fig. 13, Fig. 14는 본 연구에서 지면조도 범위 계산을 위해 적용한 지역 중 금녕, 월평, 한동지역의 met-mast 위치를 중심으로 1 km<sup>2</sup> 안의 지면조도를 위한, 토지피복도와 SPOT-5 영상을 보여주고 있다.

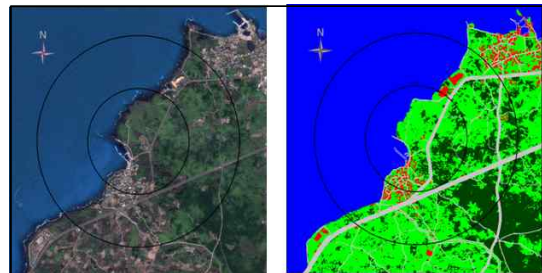
3.3.2. 제주 북동부 지역의 지면조도지도 생성

Fig. 15는 Fig. 11의 제주 전 지역의 지면조도를 위한 영상분류지도 중 제주 북동부 지역을 보여 주고 있다.

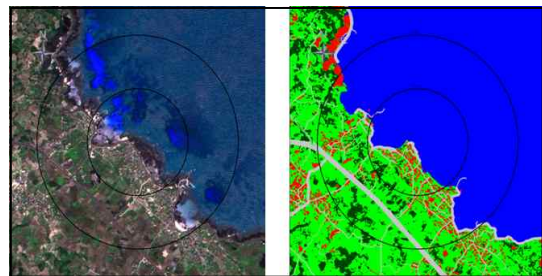
연구대상지역은 지면조도지도 생성 결과, 점과 선 객체들의 수가 많아 작업시간이 오래 걸리는 단점을 보였다. 이를 보완하기 위해, 지면조도지도 생성 시 토지피복 지도에 영상필터링기법을 적용하였다. 최대 빈도 필터를 이용한 영상의 처리는 약간의 오차를 발생시키기는 하지만 풍력자원 평가시 계산 속도를 상당 부분 단축시켜준다. 최대 빈도 필터(majority filter)는 마스크 내의 각 수치 화소값들의 빈도를 계산해서 가장 많은 빈도수를 보이는 수치 화소값을 마스크의 중앙에 위치한 화소의 수치 화소값으로 결정하는 필터이다. 본 연구에서는 5×5 필터를 사용하였고 Matlab 프로그램을 이용하여 계산하였다.



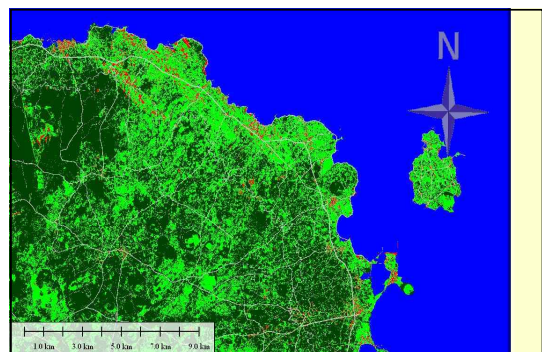
**Fig. 12.** Surface roughness domain and SPOT-5 image at Geumdeung.



**Fig. 13.** Surface roughness domain and SPOT-5 image t Wollyeong.



**Fig. 14.** Surface roughness domain and SPOT-5 image at Handong.



**Fig. 15.** Classification map of the Northeastern Jeju Island.



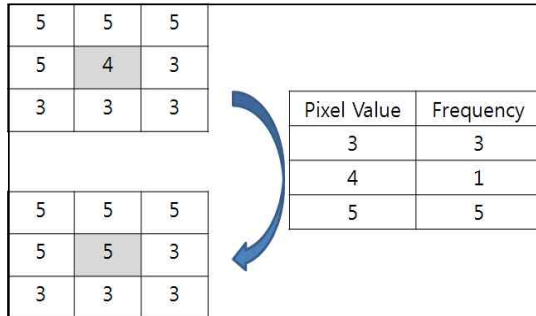


Fig. 16. Process of majority filter.

Fig. 17은 3×3 최대 빈도 필터의 원리를 설명하고 있다. 그림에서 보는 바와같이 원 영상에 주변의 픽셀 중 최빈값이 50% 이상이 경우 그 중앙의 값을 최빈값으로 치환하는 과정이며 5×5 필터의 경우 13개 이상의 최빈값이 나오면 치환되게 된다.

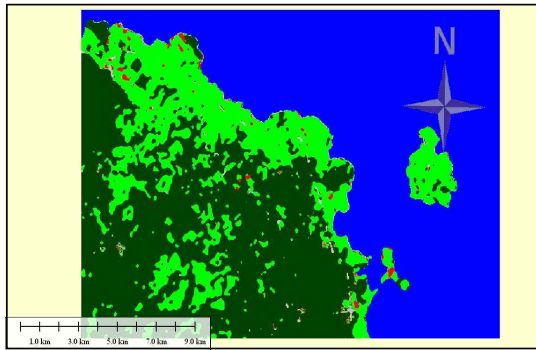


Fig. 17. Filtered classification map of the Northeastern Jeju island.

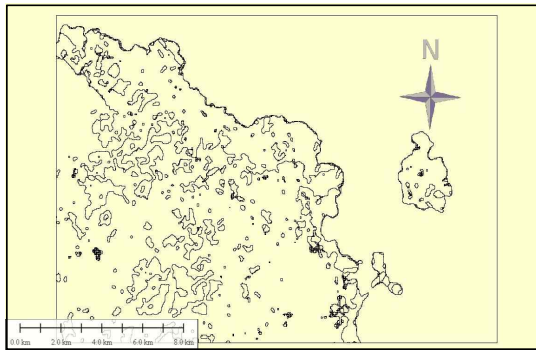


Fig. 18. Surface roughness vector map of the Northeastern Jeju island.

Fig. 18은 최대 빈도 필터를 처리한 영상분류지도 결과이다. Fig.17은 Fig. 16의 속성값에 본 연구에서 제안한 지면조도계수를 입력한 벡터지도이다.

### 3.3.3. 제주 북동부 지역 풍속에너지 지도생성

본 연구에서 생성한 최대 빈도 필터를 처리한 지면조도지도의 타당성을 검토하기 위하여 제주 북동부 지역 풍속 지도를 생성하였다. 한동, 평대, 우도의 met-mast 자료 중 관측 기간이 중복되는 2010년 12월 21일 ~ 2011년 5월 31일 까지 약 5개월의 데이터를 이용하였다. 한동과 우도의 풍향 데이터를 이용하여 풍속지도를 생성하고 평대의 met-mast자료는 검측 데이터로 사용하였다. 지면에서 60 m의 풍속 지도를 생성하였는데 이것은 풍력발전단지개발에서 가장 보편적으로 사용하는 바람의 높이이기 때문이다(Kim and Hwang, 2010). 지면조도의 입력방법은 사진 지도 영상을 엔지니어가 디지털화하여 입력하는 방법, online에서 제공되는 지면조도지도를 이용하는 방법과 사용자가 제작한 지면조도지도를 이용하는 방법이 있다. 본 연구에서는 지면조도 입력방법은 사진 지도 영상을 이용하는 방법은 엔지니어의 경험에 따라 그 결과가 상의함으로 배제하였다. online에서 제공되는 지면조도지도와 본 연구에서 제시한 지면조도지도를 이용하여 각각의 풍속지도를 생성하였다. 현재 WindPRO의 online서비스에서 제공되는 지면조도지도는 최소공간의 면적은 1 km<sup>2</sup> 혹은 500 m<sup>2</sup>인 토지피복도를 제공하고 있으며 이 토지피복도에 기존에 연구되어 있는 지역들의 조도계수를 선택하여 입력하여 지면조도지도를 생성하게 되어 있다.

풍속지도 Fig. 19는 WindPRO의 online 서비스 (Nielsen, 2010)를 이용하여 지표면조도지도를 생성하여 풍속지도를 생성한 결과이며, Fig. 20은 본 연구에서 제한한 영상분류와 제주지역 조도계수를 계산하여 생성한 지표면 조도지도를 입력하여 생성한 풍속 지도이다. 평대의 met-mast 위치를 참값으로 하였을 때, WindPRO의 online 서비스를 이용하였을 때와 본 연구에서 제안한 방법에 의한 평대 지역의 풍속 예측값은 Table 11과 같다.

WindPRO에서 제공하는 지면조도지도를 활용하였을 경우 평대 met-mast 위치에서 8.51 m/s를 예측하였고 본 연구에서 제시한 지면조도지도를 활용하였을 경우 8.69 m/s의 풍속을 예측하였다. 평대의 met-mast의

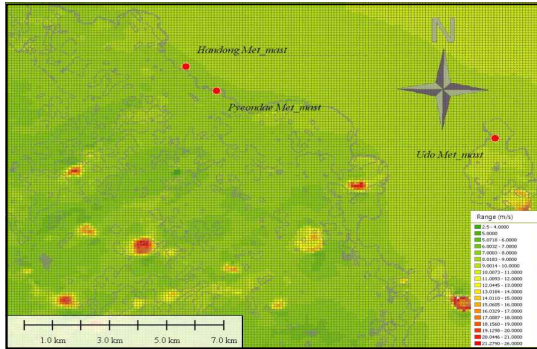


Fig. 19. Wind speed map of the Northeastern Jeju Island using online data.

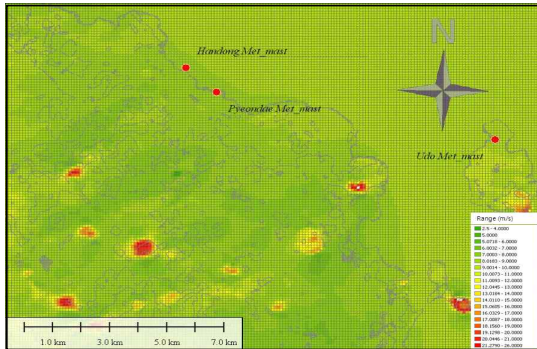


Fig. 20. Wind speed map of the Northeastern Jeju island using remote sensing technique.

중첩기간의 풍속은 8.73 m/s을 나타내었다. online에서 제공되는 지면조도지도를 활용하였을 경우 약 2.52%의 예측오차를 보였지만, 본 연구에서 제시한 지면조도지도를 활용하였을 경우 약 0.46%의 예측오차를 보였다. 풍력에너지는 풍속의 3승에 비례하므로 풍력에너지 밀도지도를 생성하였을 시에는 그 오차의 정도는 더 크다고 할 수 있다.

#### 4. 결론

풍력단지개발을 위하여 풍력자원해석을 시도할 경우 가장 중요한 요소 중의 하나가 지면조도지도를 생성하는 것이다. 따라서, 이 지도의 정확성과 활용성이 이루어져야 한다. 현재 우리나라와 전 세계적으로 이러한 지면조도지도 제작을 위하여 가장 많이 사용되는 상용소프트웨어(풍력자원 해석 프로그램)로 WaSP과 WindPRO를 이용한다. 그런데 이 프로그램을 사용할 경우 지면조도지도 작성을 위해서는 대상지역의 지도정보를 입력하여야 하며, 이 방법에는 영상지도를 디지털링하여 입력하는 방법, online에서 제공 되는 기본지도를 이용하는 방법, 사용자가 현장조사 자료를 토대로 직접 지도를 제작하는 3가지 방법이 있다. 그런데 영상지도를 이용할 경우 디지털링하는 사람의 경험에 의하여 정확도가 좌우되는 경향이 있고, online에서 제공 되는 지도를 사용할 경우 지도의 해상도 문제로 인하여 지도의 정확도가 떨어진다. 이에 본 연구에서는 제주지역의 met-mast 자료와 원격탐사기술을 이용하여 제주지역에 적합한 지면조도계수를 구하여 지면조도지도를 직접 생성하였다. 본 연구에서 생성된 지면조도지도의 정확도를 평가하기 위하여, 현장에서 가장 널리 이용되고 있는 WindPRO에서 제공 되는 지면조도지도와 본 연구에서 제시한 지면조도지도의 정확도를 비교 검토하였다. WindPRO에서 제공하는 지면조도지도를 활용하여 풍속을 계산한 결과 실측한 풍속과 약 2.52%의 오차를 보였지만, 본 연구에서 제시한 지면조도지도를 활용하였을 경우 약 0.46%의 오차를 보였다. 따라서, 본 연구에서 제시한 지면조도지도를 활용할 경우 풍력발전단지개발을 위한 풍력자원 해석시 자료의 정확성과 활용성 향상에 기여 할 것으로 판단된다.

Table 11. Estimated and measurement wind speed of met-mast location in Pyeongdae

	Measur ement data (m/sec)	Surface roughness vector map	
		WindPRO's online	The method suggested fot this study
Wind speed of met-mast location in Pyeongdae	8.73 m/s	8.51 m/s	8.69 m/s

### 감사의 글

이 논문은 “2020년도 제주대학교 교원성과지원사업”과 “제주씨그랜트센터”의 지원으로 이루어진 것입니다.

### REFERENCES

- Kim, H. G., Hwang, H. J., 2010, Review on wind mapping service of wind resource consulting companies, *Kor. Sci.*, 6, 12-18.
- Ko, J. W., Chun, H. C., Lee, B. G., 2012, The study on assessment of roughness coefficient for designing wind farm in Jeju Island, *J. Kor. Soc. Geospatial Information System*, 20, 15-22.
- Ko, J. W., Moon, S. J., Lee, B. G., 2012, Estimation of annual energy production based on regression measure - correlative-predict at Handong, the Northeastern Jeju Island, *J. Kor. Soc. Marine Environment & Safety*, 18, 545-550.
- Ko, K. N., Heo, J. C., 2006, Introduction to wind engineering, Munundang, Seoul, 42-44.
- Lee, H. Y., 2003, Geographic information system, Bobmusa, Seoul, 527-568.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers, A. L., 2002, Wind energy explained, John Wiley & Sons, New York, 33-39.
- 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, *J. Kor. Soc. Geospatial Information System*, 20, 29-36.
- Nielsen, M., 2004, Satellite information for wind energy application, Risø National Laboratory, Denmark, 14-18.
- Nielsen, P., 2010, WindPRO 2.7 USER GUIDE, 3th edition, EMD International A/S. 583.
- Rooney, G. G., Longley, I. D., Barlow, J. F., 2005, Variation of urban momentum roughness length with land use in the upwind source area as observed in two U.K. cities, *Boundary-layer Meteorology*, 1, 69-84.
- Silva, J. S., Ribeiro, C., Guedes, R., 2007, Roughness length classification of corine land cover classes, *EWEC*, 200-250.
- Wind Energy Reference Manual, 2008, <http://www.windpower.org>.

- 
- Researcher. Jung-Woo Ko  
Department of Civil Engineering, Jeju National University  
tuba1215@hanmail.net
  - Researcher. Ji-Seon Byun  
Department of Civil Engineering, Jeju National University  
julie7495@gmail.com
  - Professor. Byung-Gul Lee  
Department of Civil Engineering, Jeju National University  
leebg@jejunu.ac.kr