



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

碩士學位論文

식생지수 기법을 이용한
풍력자원지도 작성에 관한 연구

濟州大學校 大學院

風力特性化協同科程

邊 智 先

2014 年 2 月

식생지수 기법을 이용한 풍력자원지도 작성에 관한 연구

指導教授 李 秉 杰

邊 智 先

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

2014 年 2 月

邊智先의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 허 종 철 

委 員 고 경 남 

委 員 이 병 걸 

濟州大學校 大學院

2014 年 2 月

The Study on Mapping of Wind Resource using NDVI Technique

Ji-Seon Byun
(Supervised by professor Byung-Gul Lee)

A thesis submitted in partial fulfillment of the requirement for
the degree of Master of Engineering

2014 . 2 .

This thesis has been examined and approved.

홍정철

Thesis director, Jong-Chul Huh, Prof. of Mechanical Engineering

Kyungnam Ko

Thesis director, Kyung-Nam Ko, Prof. of Multidisciplinary Graduate School Program for Wind Energy

Byung-Gul Lee

Thesis director, Byung-Gul Lee, Prof. of Civil Engineering

.....
Date

Multidisciplinary Graduate School Program for Wind Energy

GRADUATE SCHOOL

JEJU NATIONAL UNIVERSITY

목 차

목 차	i
List of Figure	iii
List of Table	v
Summary	vi
I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구 자료 및 방법	3
II. 토지피복지도 작성	4
1. 원격탐사	4
2. 토지피복지도 작성	4
1) 연구자료 및 영역	4
(1) 연구자료	4
(2) 연구영역	6
2) 무감독 분류	6
(1) Sequential Clustering 기법	7
(2) K-means Clustering 기법	7
(3) ISODATA Clustering 기법	8
(4) 식생지수 기법	9
3) 토지피복지도	11
(1) 토지피복지도의 작성	11
(2) 토지피복지도의 정확도 평가	14
III. 풍력자원지도 작성	16

1. 사용 자료	16
1) 지형 고도 자료	16
2) 토지피복지도를 이용한 지면조도 자료	14
3) 바람 자료	20
(1) AWS	20
(2) 풍황계측타워	22
2. 풍력자원지도	24
IV. 결론	30
참고문헌	32

List of Figures

Figure 1.1 The Manual Digitizing	2
Figure. 1.2 Flow Chart	3
Figure 2.1 Satellite Image	5
Figure 2.2 Study area	6
Figure 2.3 K-means Clustering Technique	8
Figure 2.4 Tasseled Cap Transformation	10
Figure 2.5 Land Cover Map using Unsupervised classificati	13
Figure 2.6 Land Cover Map using NDVI Technique	13
Figure 2.7 Land Cover Map for Reference	14
Figure 3.1 Contour Map	16
Figure 3.2 Process of Majority Filter	17
Figure 3.3 Land Cover Map using Majority Filter	18
Figure 3.4 Vectorization	18
Figure 3.5 The Characteristics of Roughness-change Line	19
Figure 3.6 Roughness Length Map using Unsupervised Classification	20
Figure 3.7 Roughness Length Map using NDVI Technique	20
Figure 3.8 AWS located in Gujwa-eup	21
Figure 3.9 The Wind Rose of AWS	22
Figure 3.10 Monthly Mean Wind Speed of AWS	22
Figure 3.11 Met-mast	23
Figure 3.12 The Wind Rose at 60m	23
Figure 3.13 Monthly Mean Wind Speed of Handong	24
Figure 3.14 Monthly Mean Wind Speed of Pyungdae	24
Figure 3.15 Position of Anemometer	26

Figure 3.16 The wind resource map at 50m (using K-means clustering)	26
Figure 3.17 The wind resource map at 50m (using NDVI technique)	26
Figure 3.18 The wind resource map at 30m (using K-means clustering)	27
Figure 3.19 The wind resource map at 30m (using NDVI technique)	27
Figure 3.20 The wind resource map at 10m (using K-means clustering)	28
Figure 3.21 The wind resource map at 10m (using NDVI technique)	28

List of Tables

Table 2.1 Characteristic of Landsat TM	5
Table 2.2 Tasseled Cap Correlation Coefficient of Landsat-5 TM	11
Table 2.3 Tasseled Cap Correlation Coefficient of Landsat-7 ETM+	11
Table 2.4 Equation	12
Table 2.5 Error Matrix for Unsupervised Classification	15
Table 2.6 Error Matrix for NDVI Technique	15
Table 3.1 Roughness Length	19
Table 3.2 The Mean Wind Speed of Gujw	21
Table 3.3 The Mean Wind Speed of each Area	23
Table 3.4 Wind Power Density Class	25

Summary

Recently, many companies in the wind energy industry have been planning for overseas expansion because of the slump in their own country. To do so, these companies need to evaluate the feasibility of wind resources and wind plants. We need baseline data like roughness length data, contour data and wind data for the wind resource data.

In this study, land cover maps were created by remote sensing technique with satellite images. Roughness length maps were created using land cover maps. They are used as basic data to evaluate wind resources with wind data and elevation data.

First, the Landsat TM images of 30m resolution were used to create land cover maps. The K-means clustering technique and the NDVI technique were applied to classify land-cover. The overall accuracy using K-means clustering technique was 62.31%. The overall accuracy using NDVI technique was 72.44%. When comparing the K-means clustering technique and the NDVI technique, the overall accuracy was increased about 10%.

Next, wind resource maps was created. Roughness length data, contour data and the wind data for the wind resource map were required. To do this, the land cover maps were applied to a majority filter by a leading study for roughness length data. If the majority filter is used, the analysis gets faster and an error happens decreases.

Then, the contour data were created by digital maps and wind data from met-masts and AWSs. By using data calculated this way, the wind resource map was made. The energy density data from Han-dong and Gu-jwa were compared based on the wind resource map. As a result, we found that the NDVI technique was very useful to calculate wind energy density in jeju.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

최근 세계는 빨라지는 에너지 소비로 고유가 문제와 에너지 소비로 인한 환경 문제의 난제에 직면해 있다. 이 두 문제를 해결하기 위해 떠오른 대안이 신재생 에너지의 개발 및 활성화이다. 이미 덴마크, 이탈리아, 독일 과 같은 선진국은 전체 전력소비량의 많은 부분이 풍력, 태양에너지와 같은 신재생에너지로 대체되고 있는 실정이다. 이에 우리나라도 신재생에너지의 개발과 보급에 나서고 있으며, 태양열, 태양광, 바이오, 폐기물, 수력, 풍력, 지열, 수소와 같은 신재생에너지의 보급 비율이 기후변화협약 발효와 고유가 상황 지속 등 외부적 요인에 대응하기 위해서 정부와 민간의 투자로 인해 점점 많아지고 있다. 실제로 2002년부터 2011년까지 10년간 2,917.3천toe에서 7,582.8천toe까지 총 4,665.5천toe정도 증가하였다(신재생에너지센터, 2012). 그 중 풍력의 성장이 급격하게 증가하고 있다. 이에 풍력 자원을 개발하기 위해 해외 많은 나라에서 풍력자원지도를 구축하여 자원 평가를 하였던 것과 같이 우리나라도 풍력 자원의 평가와 활용을 위해 풍력자원 지도 개발을 하고 풍력발전단지의 입지 선정을 위한 기초자료로써 활용하고 있다(문서정, 2012).

풍력 자원 평가를 위한 풍력자원지도 구축을 위해서는 기본적으로 지형고도 자료, 지면조도 자료, 풍황 자료가 필요하다. 지형고도 자료는 수치지도가 이미 구축되어 있는 경우 수치지도를 이용하면 쉽고 빠르게 얻을 수 있다. 풍황 자료는 풍력발전단지가 건설될 예상 후보 지역에 풍황계측타워를 설치하여 얻을 수 있다. 하지만, 지면조도 자료의 경우는 일반적으로 예상 후보 지역의 항공사진을 이용하여 사용자가 직접 토지 피복 상태를 육안으로 확인하여 컴퓨터를 이용하여 수동 디지털라이징(Digitizing)을 하는 방법을 사용하고 있다. 디지털라이징(Digitizing)이란 문자나 도형으로 구성된 종이지도, 도면 등을 수치 자료로 전환 시키거나 필요한 형태를 수치 자료 형태로 작도하는 작업을 말한다. 일반적으로

벡터 형태의 수치 자료를 얻기 위해 사용된다. 수동 디지털화는 레스터 자료를 사용자가 마우스나 전자펜 등으로 벡터의 특이점들을 직접 표시하는 방식이기 때문에 많은 시간과 비용이 소요되며, 사용자에 따라 서로 다른 결과가 나올 수 있는 단점을 가지고 있다. 그런 이유로 환경부에서 제공하는 토지피복지도를 이용하여 지면조도 자료를 제작하기도 하는데 토지피복현황은 계속적으로 바뀌기 때문에 환경부에서 제공하는 토지피복지도를 사용하여 현재의 토지피복현황을 지면조도 자료에 나타내기는 부족한 점이 있다. 이에 원격탐사 기법을 사용한다.

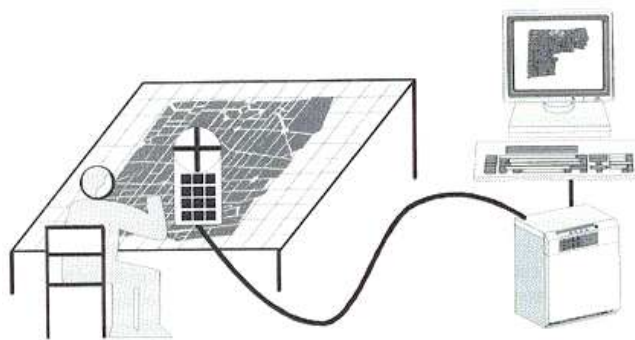


Figure 1.1 The Manual Digitizing.

원격탐사 기법은 인공위성 영상자료를 이용한다. 인공위성 영상자료는 한 번에 넓은 지역의 정보를 일관성을 가지고 취득할 수 있고 자료의 취득을 신속하게 할 수 있으며, 변화가 자주 발생하는 지역의 상황을 반영할 수 있다(이상민, 2010). 인공위성 영상자료는 공간해상도가 30m인 Landsat 위성영상을 많이 사용하고, 최근에는 IKONOS와 Quickbird와 같이 1m이상의 고해상도의 영상을 사용하기도 한다. 이 둘 위성에서 공급받은 영상자료는 지구자원탐사, 환경 및 재난 감시, 지도제작 등에 활용되고 있다.

이에 본 연구에서는 활용도가 가장 높은 Landsat 위성의 위성영상을 이용하여 두 가지 방법의 토지피복지도를 제작하였다. 이 두 가지의 토지피복지도를 활용한 지면조도지도를 얻음으로써 풍력 자원을 평가하기 위한 기초자료 획득에 더 효과적인 방법을 탐색하고 이를 이용하여 풍력 자원 연구에 원격탐사를 활용하기 위한 목적을 가진다.

2. 연구 자료 및 방법

연구의 진행은 Figure 1.1과 같이 토지피복지도 작성 단계와 풍력자원지도 작성 단계로 나누어진다.

토지피복지도 작성 단계에서는 30m 공간해상도의 Landsat위성의 위성영상자료를 취득하여 올바른 분석이 가능하도록 영상처리를 실시하고 원격탐사 기법 중 K-means Clustering 기법과 식생지수 기법을 이용하여 토지피복분류를 수행하고, 최대 빈도 필터(Majority Filter)를 사용하여 토지피복도 작성을 완료하였다.

풍력자원지도 작성 단계에서는 GIS를 활용하여 지형고도 자료, 지면조도 자료를 작성하였고, 기상계측타워(Met-mast)와 기상청의 자동기상관측장비(AWS)를 이용하여 관측된 바람데이터의 보정을 거쳐 풍황 자료를 준비하였다. 그 후 풍력자원 분석 및 해석 프로그램과 앞서 준비한 기초 자료를 이용하여 두 가지 방법의 토지피복지도에 따른 풍력자원지도를 제작하여 비교하였다.

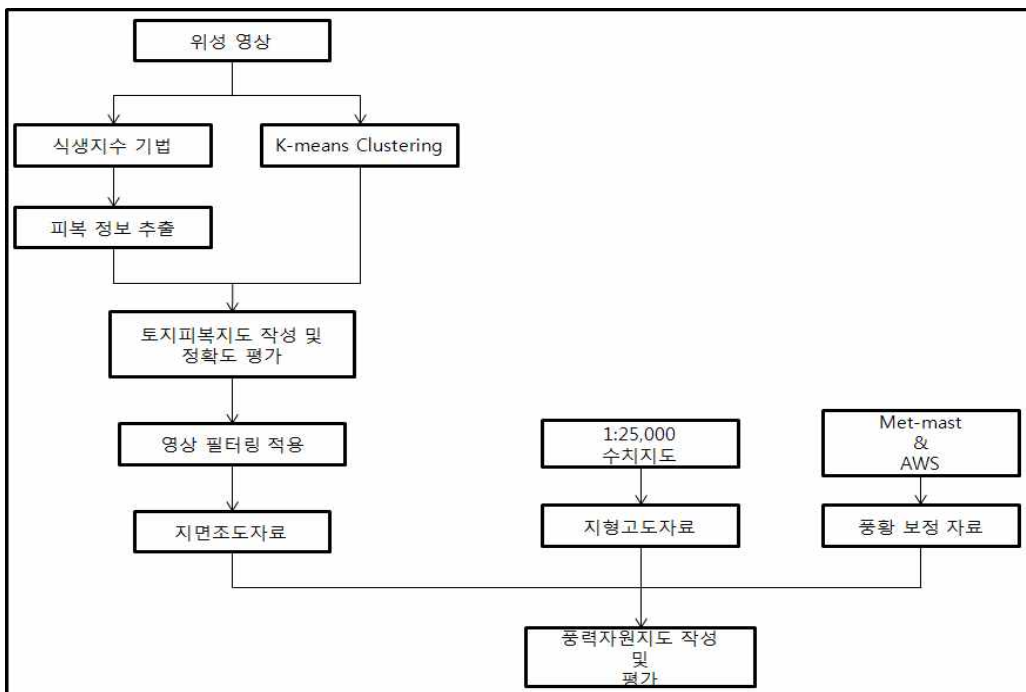


Figure 1.2 Flow Chart.

II. 토지피복지도 작성

1. 원격탐사

원격탐사(Remote Sensing)란 물리적인 접촉 없이 지상의 물체를 파악하는 기술로 임의의 지점에서 반사 또는 방사되는 전자기 복사 에너지를 측정하여 원하는 곳의 물리·화학적인 성질을 파악하는 것을 뜻한다. 원격탐사는 광범위하고 변화가 자주 발생하여 직접 현장을 관찰, 조사가 힘든 경우 사용할 수 있는데 사용자가 직접 현지조사를 하는 경우에 비해 개인오차가 적고 상대적인 위치가 정확하다. 또한 동일한 인공위성영상을 사용하더라도 사용 목적에 따라 다양한 정보를 추출할 수 있고, 정량적 해석이 필요한 분야에 효과적으로 이용할 수 있다.

하지만 인공위성에 장착되어 있는 센서나 영상의 촬영 당시의 촬영조건 등에 따라 추출되는 정보의 질이나 내용이 많은 영향을 받는 단점이 있다. 그렇기 때문에 영상을 사용하는데 있어 여러 가지 전처리 과정이 필요하다.

2. 토지피복지도 작성

1) 연구자료 및 영역

(1) 연구자료

인공위성자료는 지표 또는 대기에 의해 반사 혹은 방사된 전자기파를 감지하여 그 에너지의 세기를 기록한 것이다. 따라서 지역, 지표 상태, 인공위성에 탑재된 센서의 상태에 따라 화소값이 밝게 또는 어둡게 나타난다. 인공위성영상자료는 아날로그인 영상자료를 표본화(Sampling)와 양자화

(Quantization) 처리를 거쳐 디지털화(Digitization)된다. 디지털화된 인공위성영상은 화소(Pixel)로 구성되어 있고, 정사각형의 형태이다.

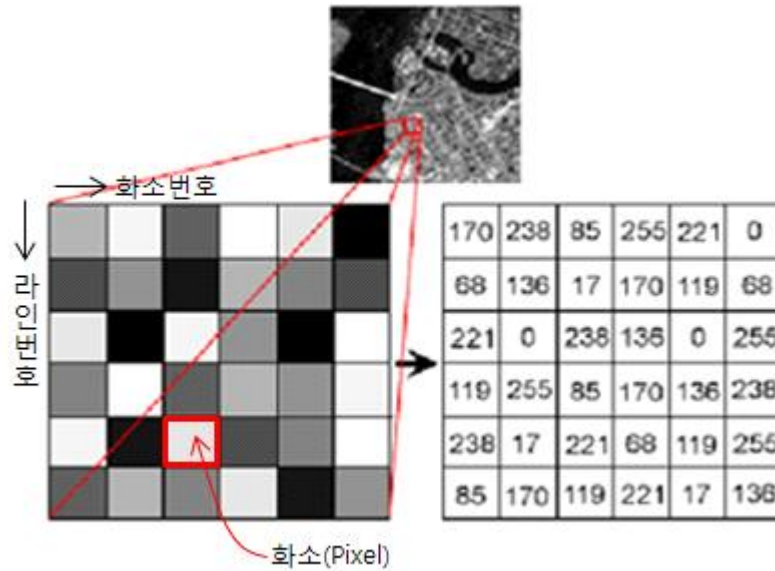


Figure 2.1 Satellite Image.

본 연구에서는 Landsat TM 인공위성영상을 사용하였다. Landsat TM 의 자료는 주로 자원탐사, 환경감시를 위해 사용되며, 열적외 밴드를 포함하고 있어 연안지역의 환경감시에도 사용된다.

Table 2.1 Characteristic of Landsat TM

Band	Wavelength(μm)		IFOV
1	0.45 ~ 0.52	Blue	30m
2	0.52 ~ 0.60	Green	30m
3	0.63 ~ 0.69	Red	30m
4	0.76 ~ 0.90	IR	30m
5	1.55 ~ 1.75	Mid-IR	30m
6	10.4 ~ 12.5	Thermal-IR	120m
7	2.08 ~ 2.35	Mid-IR	30m

(2) 연구영역



Figure 2.2 Study area.

제주도 제주시 구좌읍의 일부 지역으로 5km×5km 지역을 연구 대상으로 지정하였다. 이 지역은 해안선을 따라 마을이 형성되어 있으며, 그 외에는 사구로 형성된 농경지가 주로 분포되어 있고 오름을 제외한 나머지 지역은 경사가 완만한 지역이다. 본 지역에는 기상청의 구좌 지역 AWS, 평대 지역 Met-mast, 한동 지역 Met-mast가 설치되어 있거나 설치되었었던 지역이다.

2) 무감독 분류

무감독 분류는 표본 집단과 같은 사전에 연구 지역에 대한 정보 없이 영상을 구성하는 화소 값들의 공간적, 분광적 특성만을 이용하여 분류 작업을

수행하는 기법이다. 이 방법은 통계처리 기법에 의해 수행되는 점에서 Clustering(군집화)이라고도 불린다. 무감독 분류 방법에는 Sequential Clustering 기법, K-means Clustering 기법, ISODATA Clustering 기법 등이 있다.

(1) Sequential Clustering 기법

Sequential Clustering 기법은 그 이름 그대로 영상 내의 화소들을 순서대로(순차적으로) 읽어 들여 기존의 군집 중심과의 분광 거리(여기서는 유클리드거리를 사용한다.)를 계산하여 군집 중심과의 거리가 가장 가까운 군집으로 속하게 되며, 사용자사 설정 한 군집의 최대 반경보다 클 경우, 새로운 군집을 형성하여 군집화를 실행하게 된다.

이 방법은 반복적인 수행을 거치지 않기 때문에 계산시간이 빠른 반면 순차적으로 군집을 형성하기 때문에 영상의 처음 부분의 분광특성의 영향을 많이 받는 단점이 있다.

(2) K-means Clustering 기법

Clustering 기법에는 여러 가지 방법이 있다. 그 중 가장 보편적으로 쓰이는 방법이 K-means Clustering 기법이다. K-means Clustering 기법은 정해진 개수의 초기 군집에 대한 중심 벡터를 임의로 설정하여 군집화를 수행하는 방법으로 영상 자료의 각 화소에 대해 가장 가까운 군집 중심까지의 분광거리를 계산 후 가장 가까운 군집에 그 화소를 포함시킨다. 이 부분은 Sequential Clustering 기법과 비슷하지만 초기에 임의로 설정한 군집 중심의 영향을 최소화시키기 위해서 전체 영상에 대한 군집화를 반복적으로 수행하고 반복 할 때마다 군집 중심을 다시 계산하여 갱신하고 갱신된 군집 중심을 이용하여 다시 군집화를 실행한다. 군집화의 반복 횟수는 사용자가 정하지만 군집화의 반복 중 군집 중심들이 위치가 안정적인 값을 가질 때, 즉 반복한 후에도 군집 중심의 위치가 거의 변하지 않을 때 이 점은 군집 중심으로 정해지고 군집화도 끝난다. K-means Clustering 기법의 간략은 순서는 다음 그림과 같이 이루어진다.

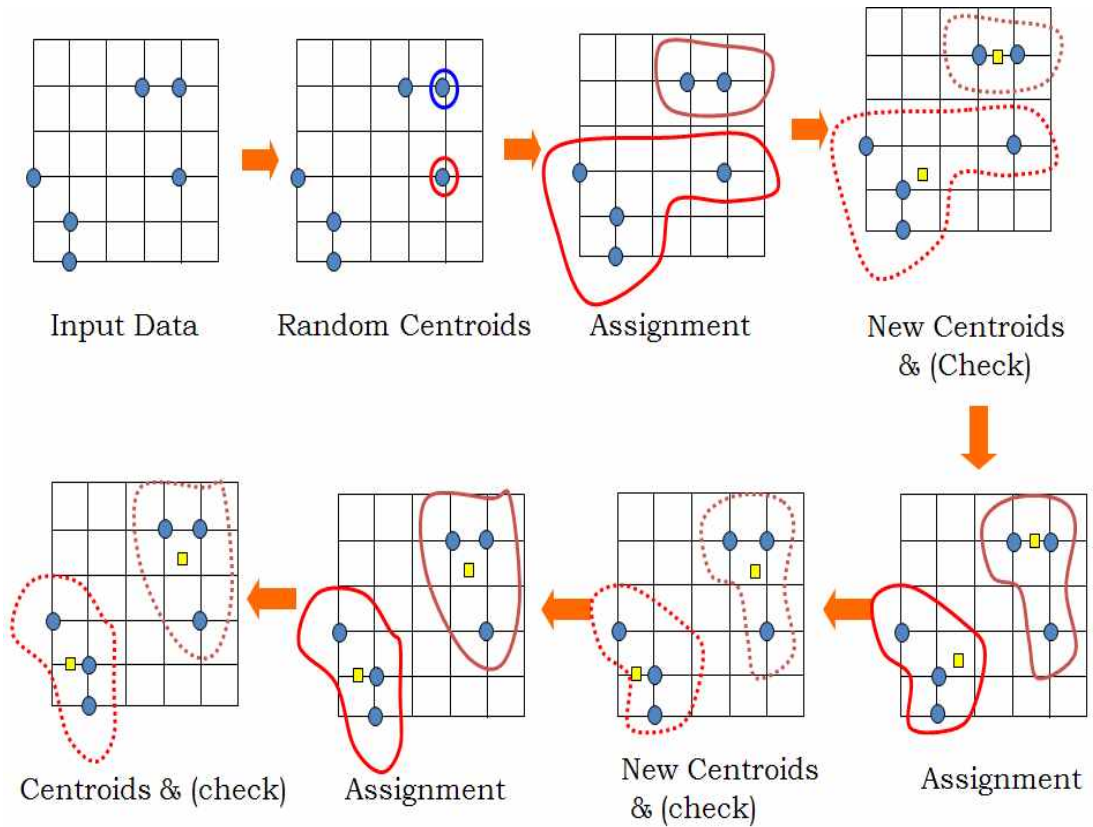


Figure 2.3 K-means Clustering Technique.

(3) ISODATA Clustering 기법

ISODATA Clustering 기법은 Iterative Self Organizing Data Analysis Technique의 약어로 K-means Clustering 기법과 유사하지만 매 반복 후 군집을 정리하는 때에 군집의 표준편차를 분석하여 편차 값이 너무 큰 군집을 두 개의 군집으로 분리하는 기능을 가지고 있다. 따라서 이 기법은 군집의 최대 반경을 고려하지 않아도 되며, 잃어 들인 모든 화소는 무조건 분광 거리가 가까운 군집으로 할당된다.

이 기법은 좋은 결과를 내는 반면, 위의 세 기법 중 가장 시간이 오래 걸리는 단점을 가지고 있다.

(4) 식생지수 기법

인공위성영상 중 다중분광 영상자료는 지상의 대상물이 각 파장대별로 독특한 특성을 나타내므로 이 특성을 이용하면 원하는 정보를 추출해 낼 수 있다. 이에 본 연구에서는 정규화식생지수, Tasseled Cap 변환을 이용하여 피복 정보를 추출하였다.

가. 식생지수

다중 분광 밴드를 이용하면 각 파장대에 따른 반사 특성에 기초를 두고 분광대 간의 특성을 조합하여 식생의 밀집도 등을 구하는 것이 가능한데, 이를 식생지수라고 한다. 식생지수는 나뭇잎의 면적, 식생 분포 면적, 나무의 높이, 수종 등을 양적으로 나타낼 수 있는 척도로 사용가능 하도록 개발되었으며, 관측된 각 파장대 영상 간의 비, 차, 선형 조합 등 여러 가지 방법으로 구현된다.

기본적인 식생지수의 종류에는 비율식생지수(RVI), 정규화식생지수(NDVI), 적외선비율식생지수(IPVI), 차이식생지수(DVI) 등이 있다. 그 중 정규화식생지수(NDVI)는 일반적으로 사용되는 식생지수로서, 근적외선과 가시광선의 차이를 구하여 두 영상으로부터 식생의 반사 특성을 강조하고, 이를 두 영상의 합으로 나누어 정규화 한 것이다. NDVI는 다음과 같이 나타낸다.

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red}$$

본 연구에서 사용한 Landsat 5 TM 영상에서 근적외선(NIR)은 4번 밴드, 가시광선 적색은 3번 밴드 이므로 NDVI를 구하기 위해 3번과 4번 밴드를 사용하였다. 정규화식생지수와 비슷한 기능을 하는 비율식생지수(RVI) 값의 범위는 0부터 무한대까지인 반면 정규화식생지수(NDVI)의 값은 -1부터 1까지의 범위에서 산출된다.

나. Tasseled Cap 변환

Tasseled Cap 변환은 Figure 2.3와 같이 2차원의 히스토그램으로 요인간의 산점도를 그렸을 때 화소들의 군집이 모자(Cap)과 같은 모양과 비슷하기 때문에 Tasseled Cap 변환이라고 부른다. Tasseled Cap 변환은 물리적인 영상 특성과 연관하여 지구 전체에 적용될 수 있는 지수이다. Tasseled Cap 변환은 다중 분광 영상의 자료로 이루어지는 특징 공간에서 토양과 녹색 식물의 반사 특성이 나타내는 축을 구하는 방법으로서 식생지수 중에서 가장 중요한 개념으로 다루어진다. Tasseled Cap 변환은 계절의 순환에 따른 식생의 반사 특성을 설명하기 위해 도입된 개념으로 공간 상에서 모든 밴드의 영상 자료를 플로팅 한 후 명암도(Brightness), 녹색도(Greenness), 습도(Wetness)의 세 축으로 변환하는 방법이다. 이 영상 변환 데이터는 종, 연대, 구조 등과 같은 산림의 속성을 나타낸다. 이를 이용하여 경작지의 변화, 도시지역의 확장, 산림 훼손, 경작지의 경작 유무, 수분량 변화 등을 관찰할 수 있다.

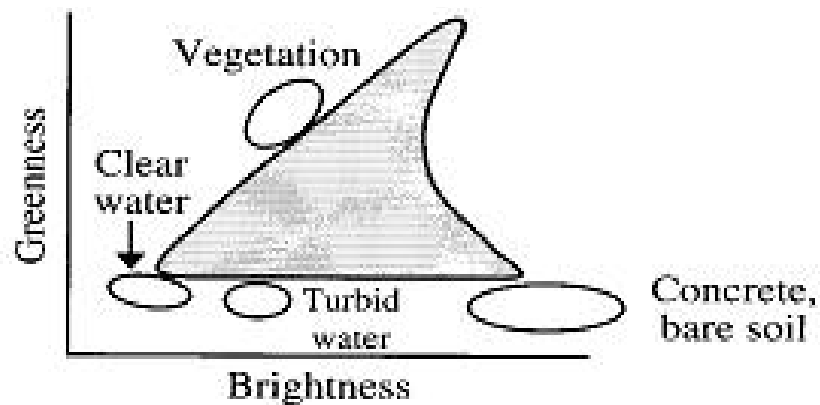


Figure 2.4 Tasseled Cap Transformation.

이처럼 Tasseled Cap 변환은 식생지수와 관련이 있으며, 가시광선, 근적외선, 중적외선 밴드를 이용한다.

Table 2.2 Tasseled Cap Correlation Coefficient of Landsat-5 TM

Index	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Brightness	0.2909	0.2493	0.4806	0.5568	0.4438	0.1706
Greenness	-0.2728	-0.2174	-0.5508	0.7221	0.0733	-0.1648
Wetness	0.1446	0.1761	0.3322	0.3396	-0.6210	-0.4186

Table 2.3 Tasseled Cap Correlation Coefficient of Landsat-7 ETM+

Index	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Brightness	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
Greenness	-0.3344	-0.3544	-0.455+	0.6966	-0.0242	-0.2630
Wetness	0.2626	0.2141	0.0926	0.0656	-0.7629	-0.5388

3) 토지피복지도

(1) 토지피복지도의 작성

무감독 분류 기법 중 분석에 필요한 소요 시간이 짧으면서 비교적으로 사용자의 개입이 적고 정확도가 높은 방법인 K-means Clustering 기법을 사용하여 토지피복지도를 작성하였다. 또한 식생지수기법을 이용하여 토지피복지도를 작성하였다. 이를 위해서 다음의 피복별 식생지수 추출 수식을 사용하였다. Tasseled Cap 변환 중 Wetness를 사용하였는데, 이는 Greenness와 Brightness는 수목의 상태보다 지형적 변화에 더 민감하게 반응하지만 Wetness는 그림자와 수분의 양을 보여준다. 수관이 크고 구조가 복잡할수록 그림자의 영역이 커지므로 Wetness의 값이 커진다(전성우, 1999). 따라

서 NDVI는 다중분광영상에서 단 2개의 밴드만을 사용하여 식생의 분류를 하기에 식생의 특성을 충분히 이용하지 못한다는 단점이 있기 때문에 Wetness를 사용하여 식생의 분류를 진행하였다. MNDWI를 이용하여 수역의 분리를, 주택과 콘크리트건물을 추출하기 위해 정확도가 제일 높은 밴드 7과 4, 밴드 5와 2의 밴드 조합을 이용하였다(권봉겸, 2003).

Table 2.4 Equation

Tasseled Cap Transformation Wetness	$Wetness = 0.1446 TM1 + 0.1761 TM2 + 0.3322 TM3 + 0.3396 TM4 - 0.6210 TM5 - 0.4186 TM7$
NDVI	$NDVI = \frac{Band4 - Band3}{Band4 + Band3}$
MNDWI	$MNDWI = \frac{Band2 - Band5}{Band2 + Band5}$
Band ratio (권봉겸, 2003)	$Buil = \frac{Band7 - Band4}{Band7 + Band4}$
	$Conc = \frac{Band5 - Band2}{Band5 + Band2}$

Figure 2.5와 Figure 2.6은 K-means Clustering 기법과 식생지수 기법을 사용하여 작성한 토지피복지도이다.

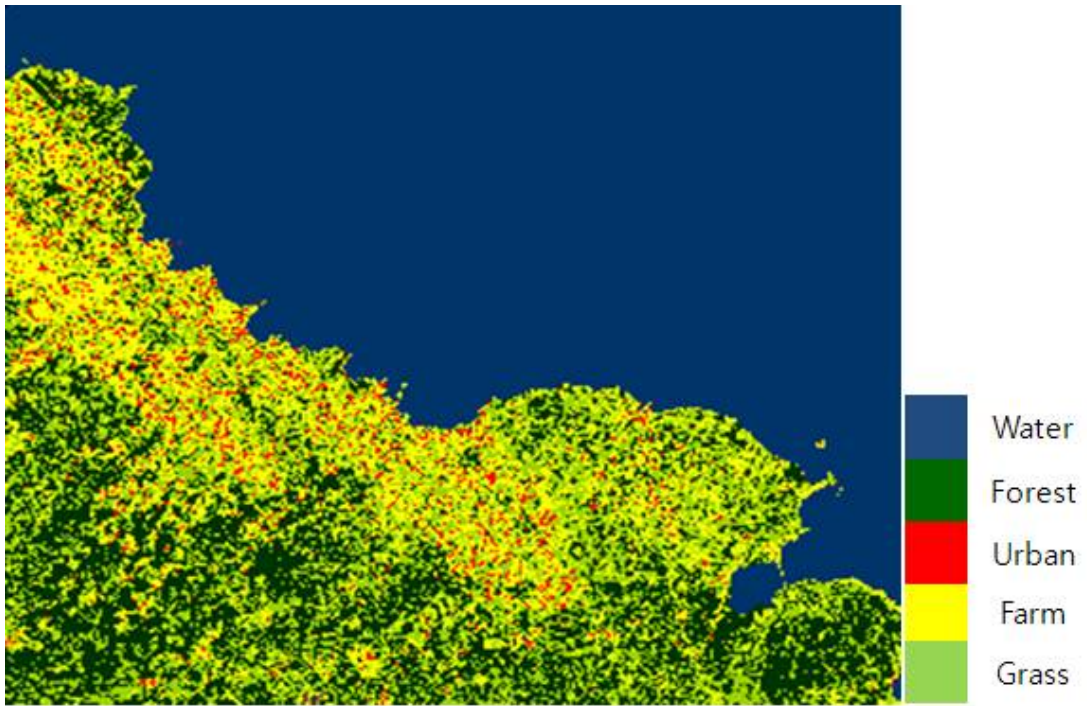


Figure 2.5 Land Cover Map using Unsupervised classification.

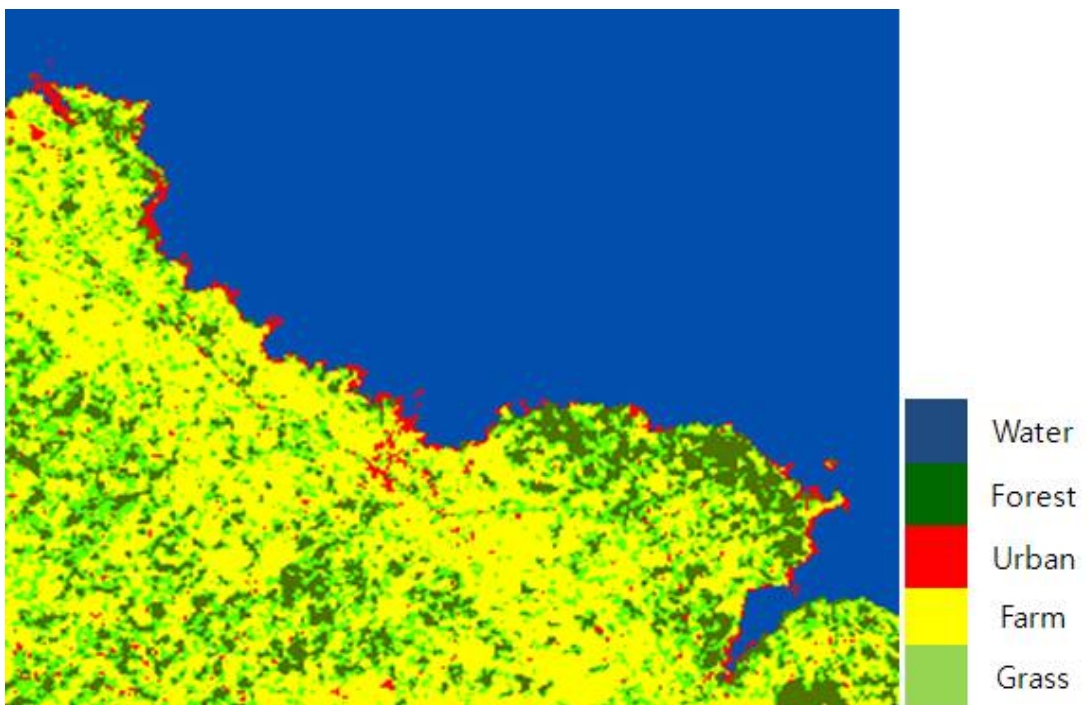


Figure 2.6 Land Cover Map using NDVI Technique.

(2) 토지피복지도의 정확도 평가

위에서 작성한 토지피복지도의 정확도를 평가하기 위해서 환경부에서 2007년에 제작한 토지피복지도를 사용하였다. 환경부에서 제작한 토지피복지도는 총 6개의 군집으로 분류하였기 때문에 본 연구에서 작성된 토지피복지도에 맞추어 분광 특성이 비슷한 시가지역과 나지(나지에는 공터, 해수욕장 등이 포함되어 있다.)를 하나의 군집으로 하여 수역, 시가지역, 농경지역, 수풀지역, 산림지역으로 총 5개의 군집으로 재편성 하였다.

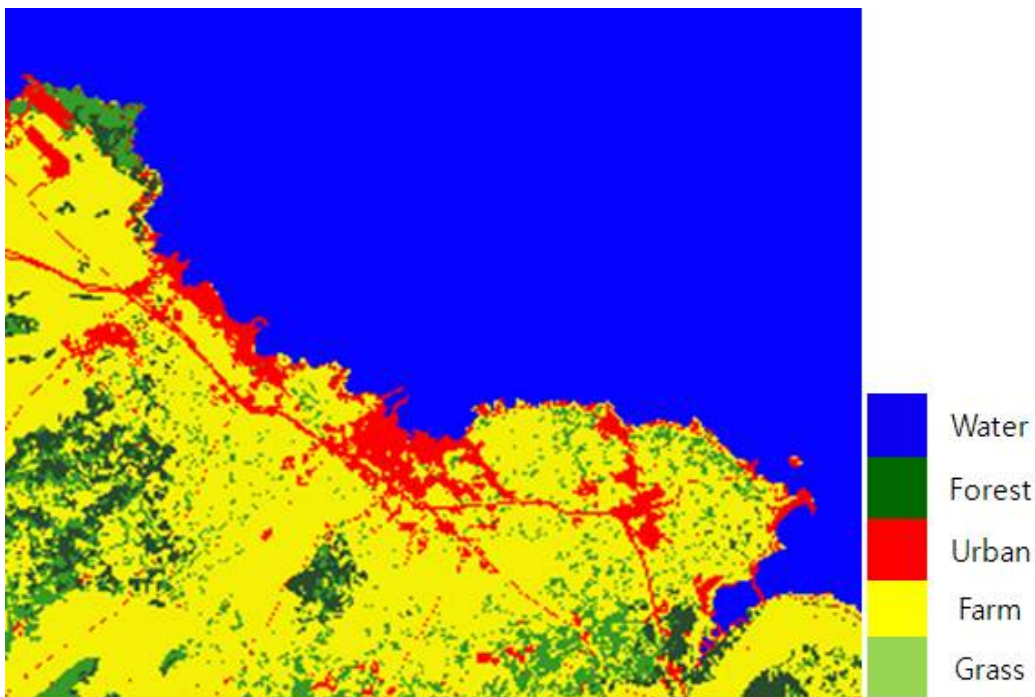


Figure 2.7 Land Cover Map for Reference (Ministry of Environment).

토지피복지도는 셀(Cell)이라고 불리는 균일한 형태의 연속된 이산형 그래픽 요소들로 구성되기 때문에 토지피복도의 정확도 평가 방법으로 참조자료로 선정된 환경부에서 제작한 토지피복지도와 평가 대상이 되는 토지피복지도를 1대1 대응 방법으로 비교를 하여 전체 정확도(Overall accuracy)를 얻었다. 전체 정확도(Overall accuracy)는 제작된 지도의 전체적인 정확도를 결정하기 위해 지도가 미리 정한 분류 정확도 기준에 일치하는 지를 알려주

는 값으로 가장 일반적으로 정확도 측정의 결과를 나타내고 각 분류 클래스에서 전체 지역에 대해 분류 자료와 참조 자료 간의 일치 여부를 평가하는 정확도이다. 정확도 평가를 실시한 결과 무감독 분류 기법을 사용한 토지피복지도는 전체 정확도(Overall accuracy)는 62.31%의 정확도를 보였고, 식생지수 기법을 사용한 토지피복지도는 전체 정확도(Overall accuracy)가 72.44%로 무감독 분류 기법을 사용하였을 때 보다 10.13% 더 향상된 정확도를 보였다.

Table 2.5. Error Matrix for Unsupervised Classification

분류 참조	Water	Forest	Urban	Farm	Grass
Water	39502	34	6	46	48
Forest	13	1718	32	281	808
Urban	445	637	445	1543	1453
Farm	190	9882	1265	5924	10267
Grass	53	637	116	689	2009
Overall Accuracy			62.31 %		

Table 2.6. Error Matrix for NDVI Technique

분류 참조	Water	Forest	Urban	Farm	Grass
Water	40190	138	294	48	82
Forest	11	1016	49	820	975
Urban	206	347	477	2688	789
Farm	56	4822	420	14987	6631
Grass	21	675	91	2783	989
Overall Accuracy			72.44 %		

Ⅲ. 풍력자원지도 작성

1. 사용 자료

1) 지형 고도 자료

수치지형자료는 국가공간정보유통시스템의 1:25,000 수치지도를 사용하였고, 그 중 도엽번호 336081, 336082, 336083, 336084번 수치지도를 사용하였다. 지형지물에 대한 위치와 형상을 좌표데이터로 나타내어 전산처리가 가능한 형태로 표현한 지도를 말하며, 지표면, 지하, 수중 및 공간의 위치와 지형지물 및 지명 등의 각종 지형공간정보를 전산시스템을 이용하여 일정한 축척에 의하여 디지털형태로 나타낸 것을 의미한다. 이 수치지도에서 지형 고도 자료를 생성하기 위해 고도를 나타내는 레이어를 추출한다. 여기서 사용한 레이어는 해안선을 나타내는 2121와 2122번 레이어, 등고선을 구성하는 7100번 대의 레이어를 사용하였다.

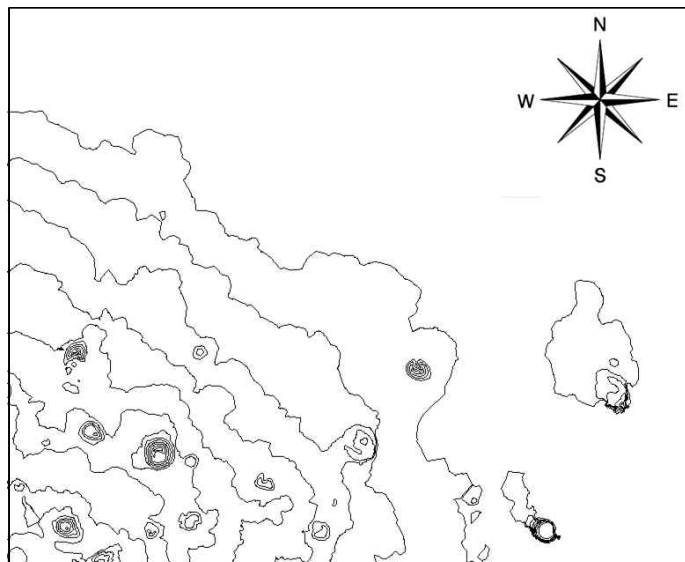


Figure 3.1 Contour Map.

2) 토지피복지도를 이용한 지면조도 자료

풍력자원지도를 작성하기 위해서는 지면조도지도(Roughness Length Map)가 필요하다. 지면조도지도는 토지피복지도를 바탕으로 만들 수 있다. 먼저 토지피복지도의 벡터화 과정 중에 발행할 수 있는 에러의 제거를 위해 토지피복지도의 단순화를 실시하였다. 이를 위해 3×3 Window의 최대 빈도 필터(Majority Filter)를 사용하였다(문서정, 2012). 최대 빈도 필터는 비선형 디지털 필터 기술로 이미지나 신호에 포함되어있는 잡음을 제거하는데 사용된다. 보통 영상처리에서 윤곽선 감지와 같은 처리를 수행하기 전에 영상에서 잡음을 제거하기 위해 필요한 과정으로 Window 내의 값을 크기 순서로 나열했을 때 가장 빈도수가 많은 값을 결과 값으로 출력하는 필터이다. 따라서 필터 사용에서 평균값 필터 등은 영상 내의 값을 이용하여 새로운 값이 결과 값으로 출력되기 때문에 영상의 변형이 올 수 있다. 하지만 최대 빈도 필터는 원래 영상이 가지고 있던 값을 결과 값으로 가지게 되기 때문에 최대 빈도 필터를 사용했을 때 원래의 경계가 보전되는 효과를 갖는다.

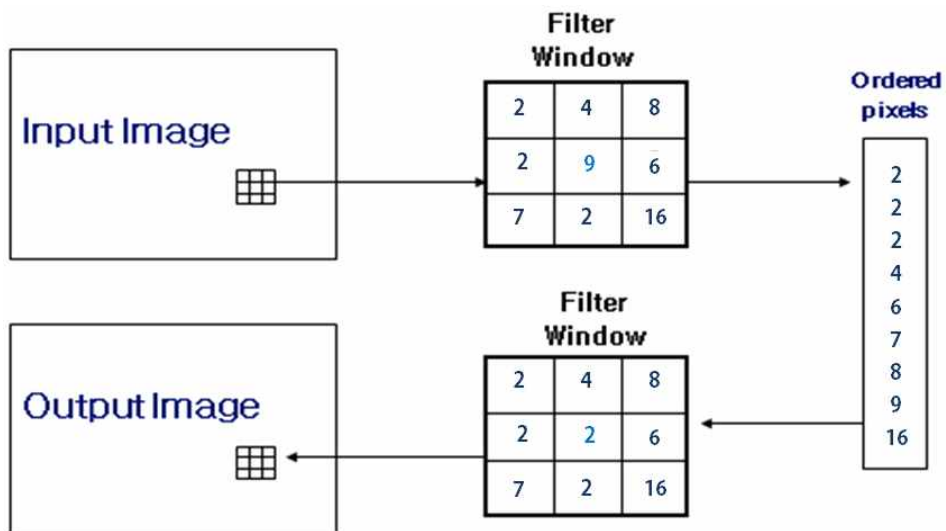


Figure 3.2 Process of Majority Filter.

필터를 사용하여 단순화 시킨 토지피복지도는 다음 그림과 같다.

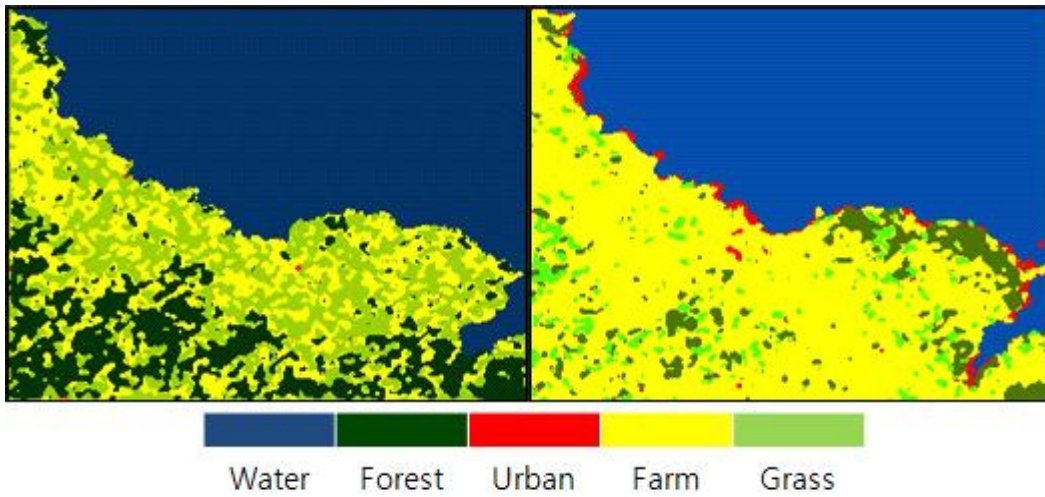


Figure 3.3 Land Cover Map using Majority Filter
(left: Unsupervised Classification, Right: NDVI Technique)

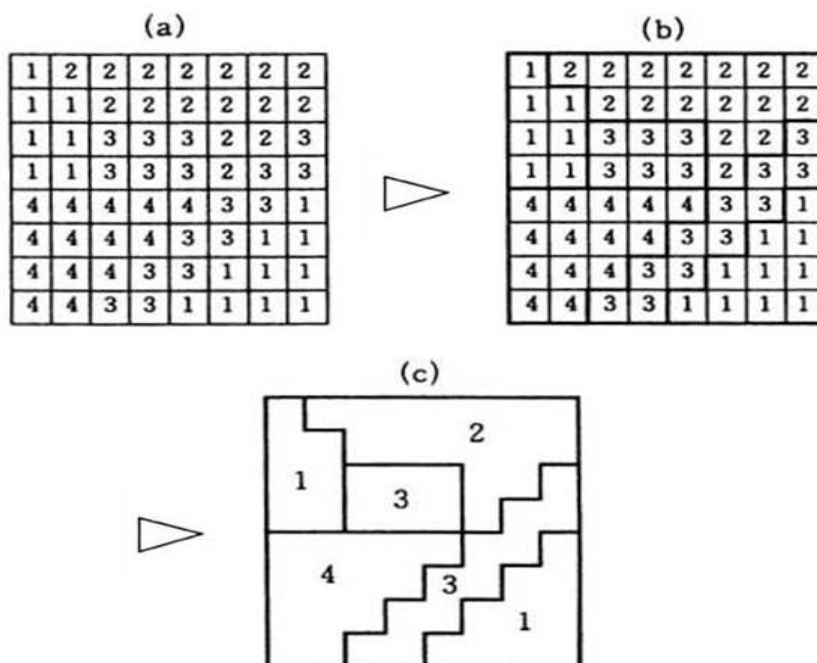


Figure 3.4 Vectorization.

필터 적용 후 European Wind Atlas의 조도 길이를 적용하여 벡터화를 거

쳐 지면조도지도를 작성하였다. 조도 길이 값은 피복 종류별로 Table 3.6과 같다. 벡터화(Vectorization)란 Figure 3.4와 같이 래스터(Raster) 구조의 자료에서 벡터(Vector) 구조의 자료로 변환하는 과정으로 각각의 격자가 가지는 속성을 확인하여 동일한 속성을 갖는 격자들로서 폴리곤을 형성한 다음 해당 폴리곤에 속성값을 부여하는 것을 말한다.

Table 3.1 Roughness Length (Troen and Petersen, 1989)

Class	Land Cover Type	Roughness Length (m)
1	Water Area	0.0001
2	Forest Area	0.8
3	Urbanization	1.0
4	Cropland	0.4
5	Grassland	0.0075

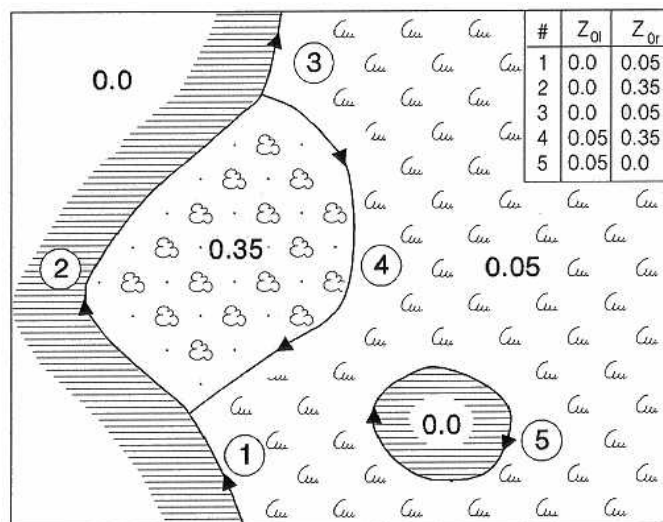


Figure 2.5 The Characteristics of Roughness-change Line.

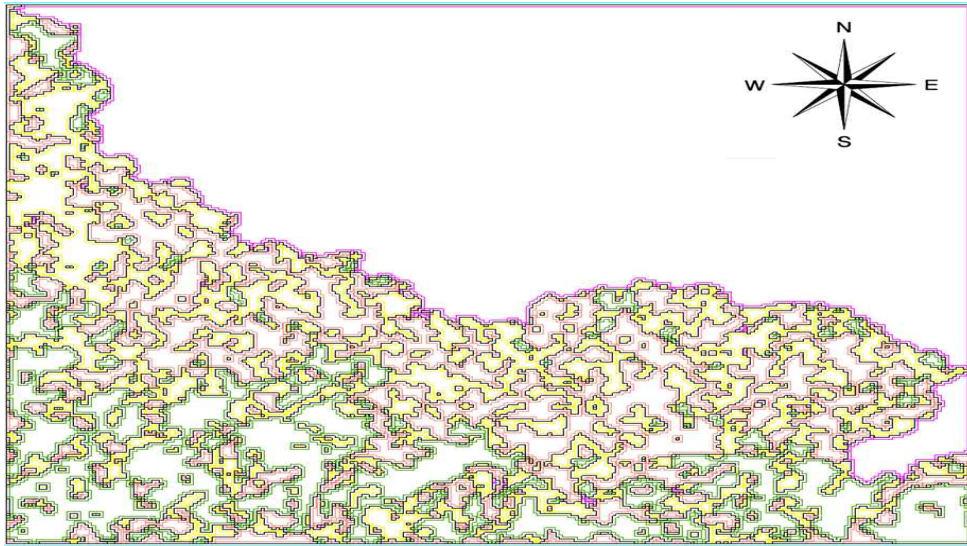


Figure 3.6 Roughness Length Map using Unsupervised Classification.

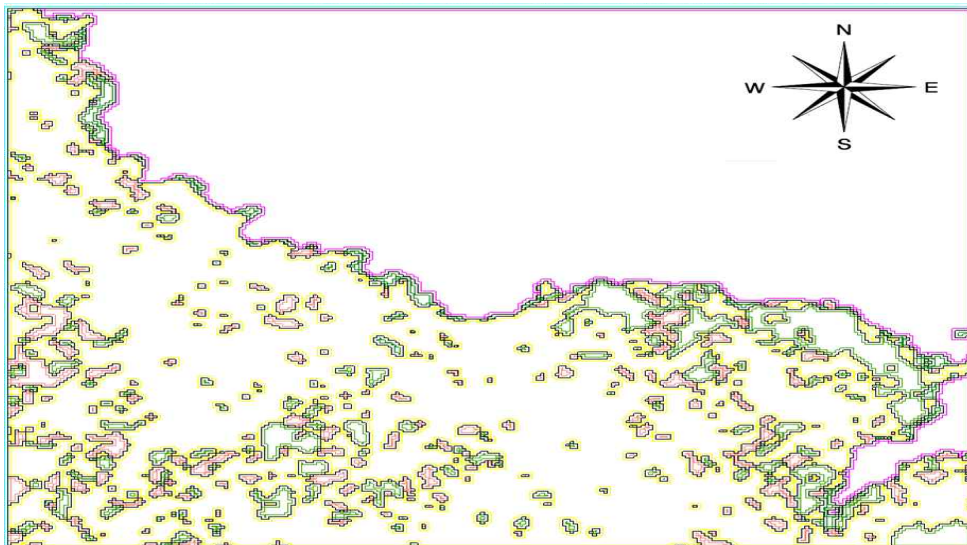


Figure 3.7 Roughness Length Map using NDVI Technique.

3) 바람 자료

(1) AWS

구좌지역 AWS는 제주시 구좌읍 세화리 구좌읍사무소의 옥상(33° 31′

21.401°N, 126° 51' 6.714"E)에 위치해 있고 측정 높이는 25.3m이다. 구좌 AWS에서는 풍향, 풍속, 강수량, 기온 등을 관측하고 있다. 주변에는 높은 장애물이 없고, 주로 해안지역에 주택이 밀집되어 있으며 대부분 밭으로 이루어져 있다(제주지방기상청, 2010).



Figure 3.8 AWS located in Gujwa-eup.

사용된 AWS 자료의 관측 기간은 2002.1.1.부터 2012.12.31.까지로 약 132개월 동안 관측 되었다.

Table 3.2 The Mean Wind Speed of Gujwa-eup

Hight	10m
Gujwa-eup AWS	4.0 m/s

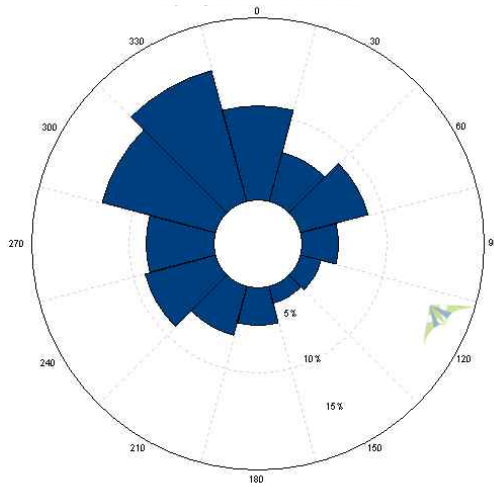


Figure 3.9 The Wind Rose of AWS.

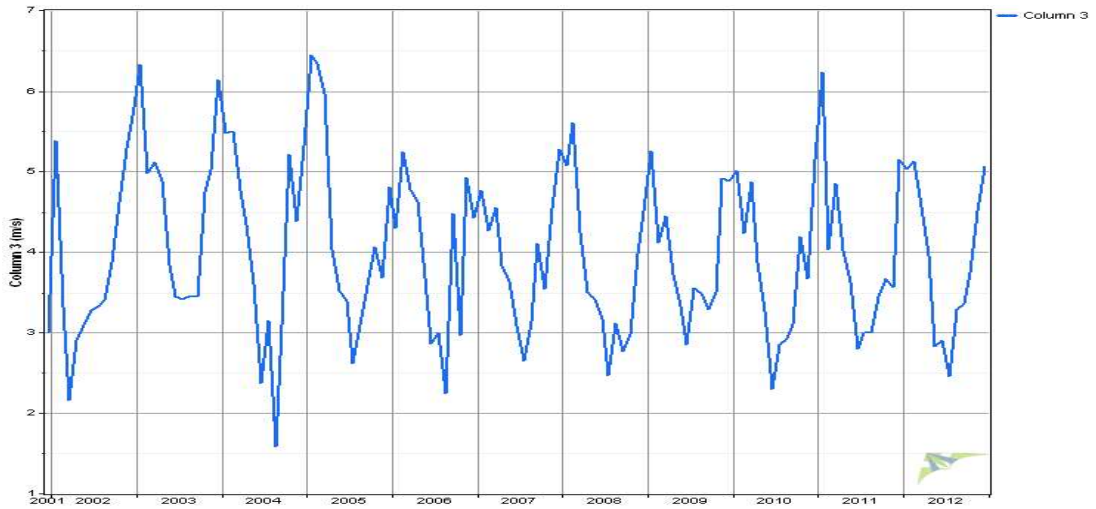


Figure 3.10 Monthly Mean Wind Speed of AWS.

(2) 풍황계측타워

풍황계측타워는 한동리(위도 33° 32′ 25.84“, 경도 126° 50′ 9.12”)와 평대리(위도 33° 31′ 55.06“, 경도 126° 50′ 52.19”)에 위치한 자료를 사용하였다. 한동 풍황계측타워의 자료 관측 기간은 2010년12월20일부터 2012년10월31일까지로 약 22개월이고, 평대 풍황계측타워의 자료 관측기간은 2010년 2월 6일부터 2011.7월3일까지로 약 17개월 동안 관측되었다.



Figure 3.11 Met-mast (left: Handong, right: Pyungdae).

Table 3.3 The Mean Wind Speed of each Area

		60m	58m	50m	40m	30m
Han-dong	Mean Wind speed (m/s)	7.265	7.174	7.054	6.809	6.576
Pyung-dae	Mean Wind speed (m/s)	7.254	7.178	6.988	6.814	6.562

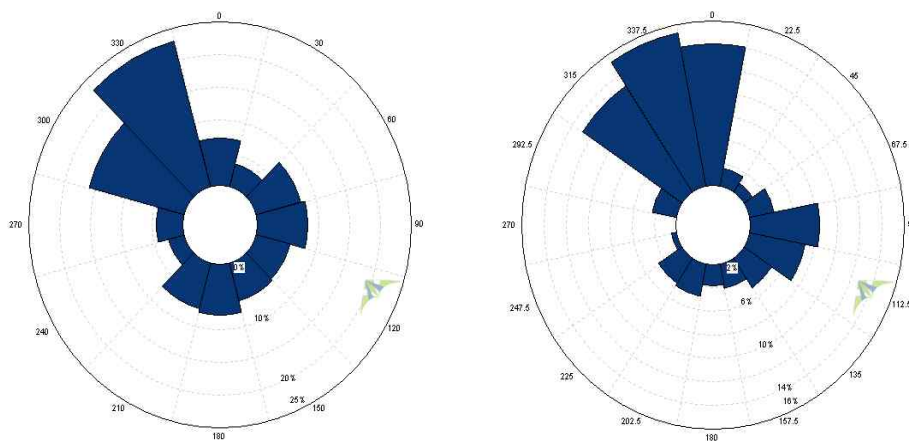


Figure 3.12 The Wind Rose at 60m (left: Handong, right: Pyungdae).

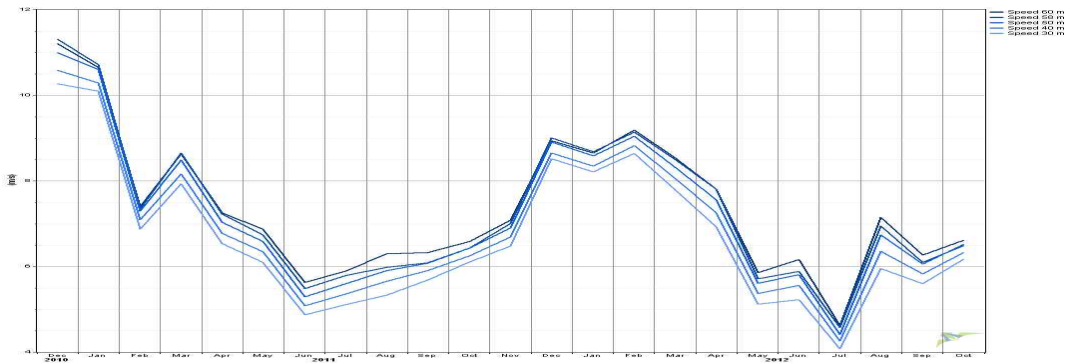


Figure 3.13 Monthly Mean Wind Speed of Handong.

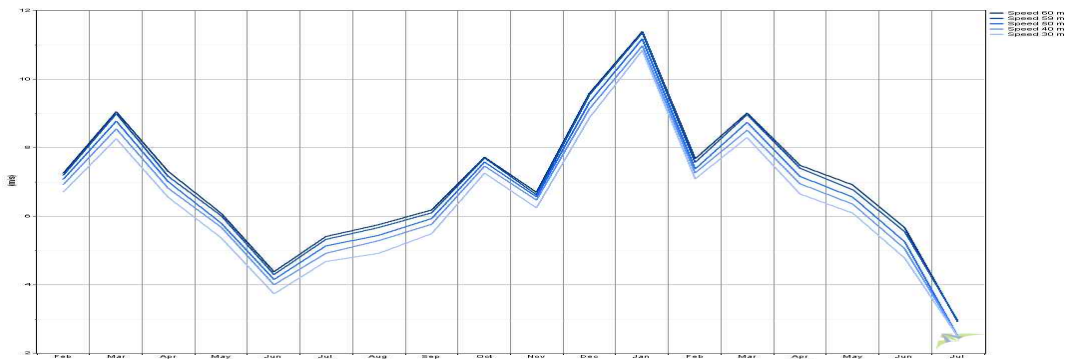


Figure 3.14 Monthly Mean Wind Speed of Pyungdae.

2. 풍력자원지도 작성

본 연구에서 풍력자원의 분석 및 평가 프로그램으로 사용된 WindPRO는 WAsP을 Sover로 사용하며, 풍속 및 에너지발전량의 예측 과정 또한 WAsP과 동일하다. 이 프로그램은 풍력에너지 분석 및 평가는 물론이며, 풍력발전기 배치 등 풍력발전단지 설계에 편리하다는 장점을 가지고 있다(우재균, 2011).

풍력자원지도의 작성범위는 UTM(Universal Transverse Mercator Grid) 좌표계를 사용하여 $X_{min}=297,600m$, $X_{max}=302,600m$, $Y_{min}=3,710,500m$, $Y_{max}=3,715,500m$ 의 범위로 가로 5.0km, 세로 5.0km로 총 면적 25.0km²의 풍력자원지도를 작성하였다. 입력된 자료는 지형고도자료, 무감속 분류 기법과 식

생지수 기법에 의해 작성된 지면조도지도, MCP방법을 이용하여 장기 풍황으로 보정된 풍황자료가 사용되었다. 풍력자원지도의 에너지 등급 분류는 미국 재생에너지연구소(NREL: National Renewable Energy Laboratory)에서 제공하는 풍력에너지 등급표에 의해 분류되었고, 풍력에너지 등급표는 다음의 Table 3.2와 같다.

Table 3.4. Wind Power Density Class (Source: NREL)

Wind Power Density Class	Resource Potential	At 10m height		At 50m height	
		Wind Speed (m/s)	Wind Power Density (W/m ²)	Wind Speed (m/s)	Wind Power Density (W/m ²)
1	Poor	0 - 4.4	0 - 100	0 - 5.6	0 - 200
2	Marginal	4.4 - 5.1	100 - 150	5.6 - 6.4	200 - 300
3	Fair	5.1 - 5.6	150 - 200	6.4 - 7.0	300 - 400
4	Good	5.6 - 6.0	200 - 250	7.0 - 7.5	400 - 500
5	Excellent	6.0 - 6.4	250 - 300	7.5 - 8.0	500 - 600
6	Outstanding	6.4 - 7.0	300 - 400	8.0 - 8.8	600 - 700
7	Superb	7.0 - 9.4	400 - 1000	8.8 - 11.9	700 - 2000



Figure 3.15 Position of Anemometer.

Figure 3.15는 각각 한동Met-mast, 평대Met-mast, 구좌AWS의 위치이다. 풍력자원지도 작성에 적합한 지면조도자료의 검증은 각 지점에서 획득한 풍력에너지 밀도의 비교에 의해 검증하였다.

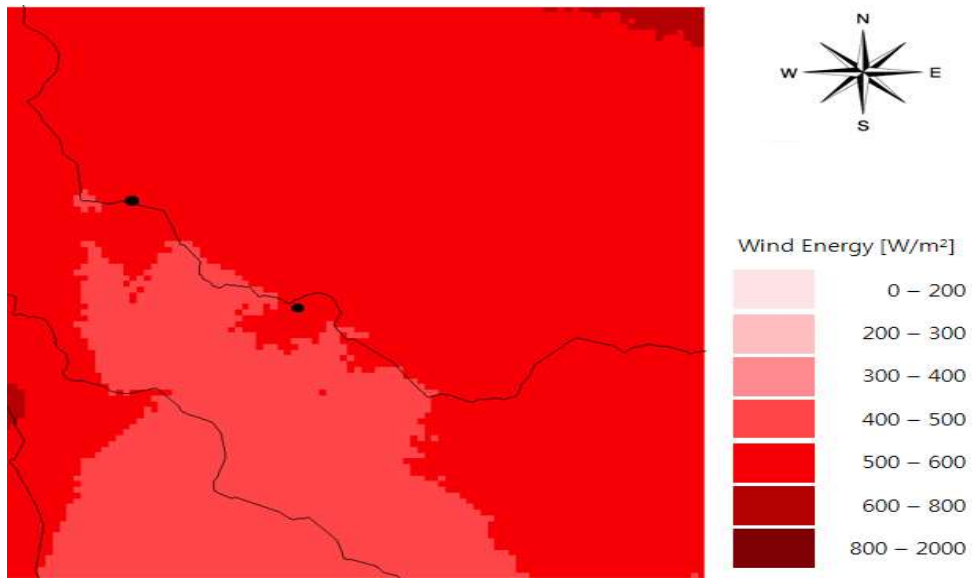


Figure 3.16 The wind resource map at 50m (using K-means clustering).

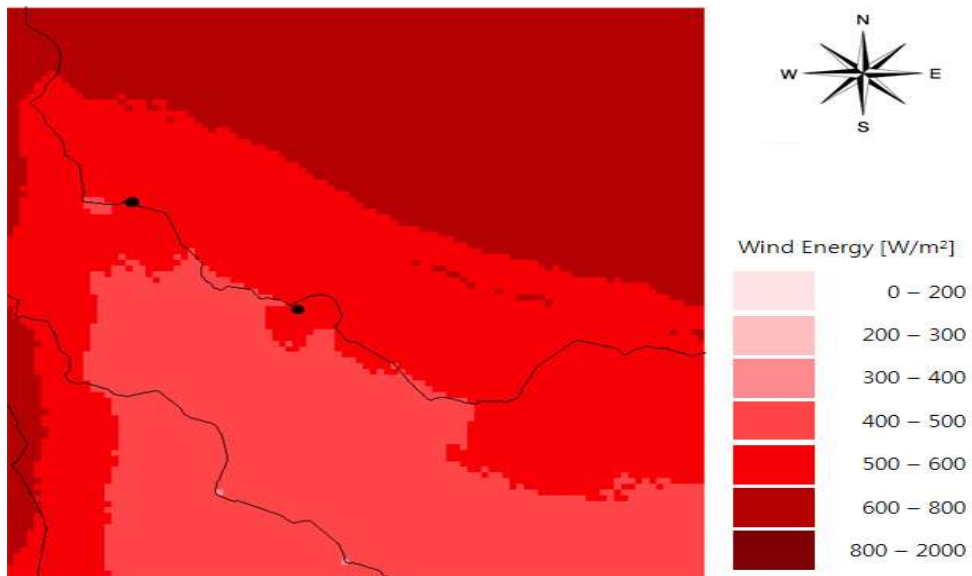


Figure 3.17 The wind resource map at 50m (using NDVI technique).

우선, 50m 높이의 풍력자원지도를 작성하였다(Figure 3.16, Figure 3.17). 50m 높이에 풍속계가 설치되어 있는 한동과 평대 지역에 대하여 비교를 실시하였다. K-means clustering 기법을 이용한 풍력자원지도에서 한동 지역은 $506.487W/m^2$, 평대 지역은 $516.908W/m^2$ 이며, 식생지수 기법을 사용한 풍력자원지도에서 한동

지역은 521.91W/m^2 , 평대 지역은 519.111W/m^2 로 높이가 높아짐에 따라 지면조도의 효과가 감소되어 비슷한 값을 나타냄을 알 수 있었다.

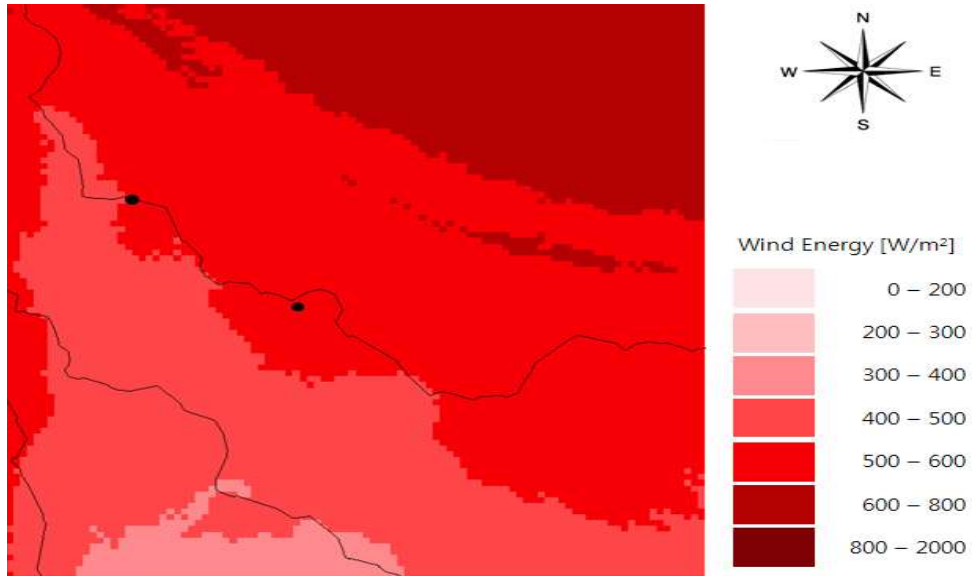


Figure 3.18 The wind resource map at 30m (using K-means clustering).

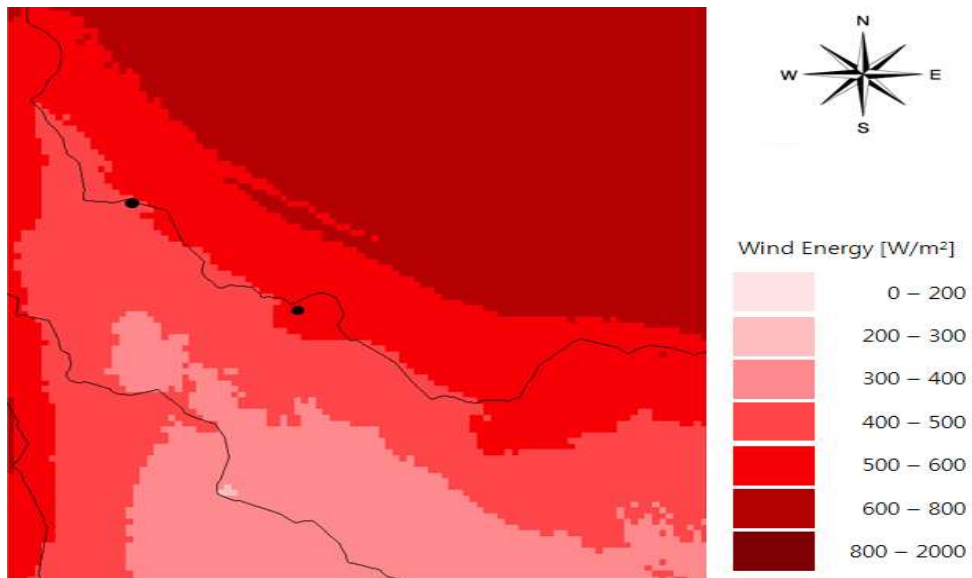


Figure 3.19 The wind resource map at 30m (using NDVI technique).

또한, 30m 높이의 풍력자원지도(Figure 3.18, Figure 3.19)에서 K-means

clustering 기법을 사용한 풍력자원지도의 에너지밀도는 한동 지역이 391.70W/m^2 , 평대 지역이 435.55W/m^2 이고, 식생지수 기법을 적용한 풍력자원지도의 에너지밀도는 한동 지역이 393.42W/m^2 , 평대 지역이 428.23W/m^2 으로 큰 차이를 보이지 않았다.

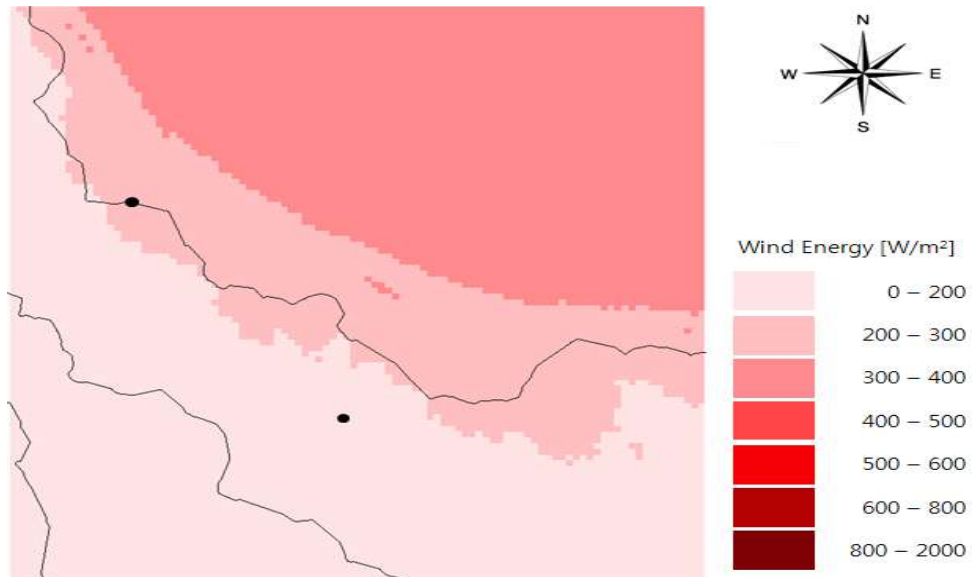


Figure 3.20 The wind resource map at 10m (using K-means clustering).

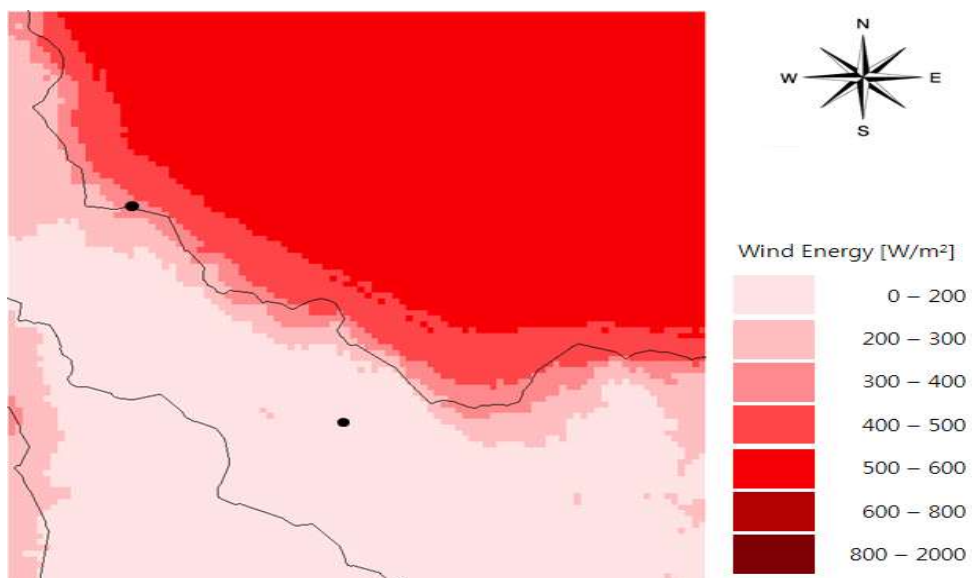


Figure 3.21 The wind resource map at 10m (using NDVI technique).

위의 결과에 따라 지면조도의 효과를 극대화시키기 위하여 10m높이의 풍력자원지도를 계산하였다(Figure 3.20, Figure 3.21). 본 지역에는 한동과 구좌 지역에 10m의 풍속계가 있으므로 10m높이에 대한 비교에서는 한동과 구좌 지역에 대해서 비교를 실시하였다. 각 지역의 풍황 관측 자료에 의한 풍력 에너지 밀도는 한동 지역에서는 $142\text{W}/\text{m}^2$, 구좌 지역에서는 $81\text{W}/\text{m}^2$ 이다. 무감독 분류 기법을 적용하여 얻은 풍력 에너지 밀도는 한동 지역에서 $129.101\text{W}/\text{m}^2$, 구좌 지역에서 $78.567\text{W}/\text{m}^2$ 이며, 식생지수 기법을 적용하여 얻은 풍력에너지 밀도는 한동 지역에서 $152.266\text{W}/\text{m}^2$, 구좌 지역에서 $80.599\text{W}/\text{m}^2$ 의 풍력 에너지 밀도를 얻었다. 여기서 10m 높이의 풍력자원지도를 비교해본 결과 식생지수 기법을 이용한 풍력자원지도의 경우 K-means clustering 기법을 사용한 풍력자원지도 보다 실제값과 더 가까운 값을 나타냄을 알 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 Landsat 5 TM의 인공위성 영상자료를 이용하여 미지의 지역에 대한 토지피복분류를 수행하였을 경우 무감독 분류 방법의 정확도를 향상시키기 위해 식생지수 기법을 사용하여 토지피복분류 및 비교를 수행하였다. 이를 지면조도 자료로 사용하기 위해 최대 빈도 필터(Majority Filter)를 토지피복 분류 결과에 적용하여 단순화한 토지피복지도를 만들어 GIS기술을 이용하여 지면조도 자료를 생성하였다. 생성된 지면조도 자료는 지형고도 자료, 관측된 풍황 자료와 더불어 풍력 자원 분석을 위한 기초 자료로 이용하여 풍력자원지도를 작성하였다.

첫째, 토지피복분류의 정확도를 평가한 결과, K-means Clustering 기법을 적용한 토지피복지도의 경우에는 전체 정확도가 62.31%, 식생지수 기법을 적용한 토지피복지도의 경우에는 전체 정확도가 72.44%로 약 10%의 정확도가 향상되었다. 하지만 산림지역의 경우 분류결과가 다른 지역에 비해서 확연히 낮게 나타났다. 이는 수분지수가 식생의 수관크기 뿐만 아니라 식생의 활력도에도 영향을 받기 때문에 식생의 활력도가 높은 농업지역과 구분이 확실하게 되지 않았다고 판단된다.

둘째, 두 가지의 지면조도 자료, 지형고도 자료, 풍황 자료를 이용하여 풍력자원지도를 작성하였다. 이때 풍력자원지도의 풍력에너지밀도 등급은 미국 NREL에서 제공하는 풍력에너지등급표를 바탕으로 등급을 분류하였다. 50m, 30m 높이의 풍력자원지도의 비교 결과 K-means clustering 기법과 식생지수 기법을 이용한 풍력자원지도의 비교 대상의 에너지밀도는 크게 변화가 없음을 알 수 있었다.

셋째, 지면조도의 효과를 극대화하기 위하여 10m 높이의 풍력자원지도를 작성한 결과, 실측 자료를 이용하여 얻은 한동과 구좌 지역의 풍력에너지밀도의 값과

K-means Clustering 기법을 이용한 풍력자원지도의 풍력에너지밀도의 값을 비교한 결과 식생지수 기법을 사용하는 것이 실제 데이터에 의한 값과 더 가까운 결과를 보였다.

넷째, 최종적으로 낮은 높이의 풍력자원지도 작성 시 지면조도자료의 작성을 위해 무감독 분류를 사용해야 한다면, K-means clustering 기법보다 식생지수 기법을 적용하여 지면조도자료를 생성하는 것이 더 타당하다고 판단된다

참 고 문 헌

- 권봉겸, Kiyoshi YAMADA, Takaaki NIREN, 조명희, 2003, Landsat-TM의 밴드비 연산데이터를 이용한 토지피복분류에 관한 연구, 한국지리정보학회지, 제6권, 2호, pp. 80-91.
- 고경남, 허종철, 2007, 풍력공학입문, 문운당.
- 김민석, 2005, 위성영상을 이용한 도심의 식생지수 분석, 석사학위논문, 충북대학교, pp. 12-43.
- 김천, 2008, IKONOS 화상기반의 산불피해등급도 작성을 위한 정규산불피해비율(NBR) 평가, 한국원격탐사학회지, 제24권, 2호, pp.195-203.
- 김철준, 2003, 식생지수(NDVI)를 이용한 가뭄발생위험도 감시, 석사학위논문, 안동대학교, pp. 7-44.
- 김현구, 황효정, 김주현, 고수희, 정우식, 2010, OpenWind를 이용한 풍력단지설계 사례 연구-영덕풍력단지, 한국환경과학회지, 제19권, 9호, pp. 1169-1175.
- 문서정, 2012, 무빙필터기법을 적용한 제주 우도지역의 풍력자원지도 작성에 대한 연구, 한국지형공간정보학회지, 제20권, 4호, pp. 29-36.
- 박선엽, Stephen Egbert, Dana Peterson, Aimee Stewart, Chris Lauver, Kevin Price, Clayton Blodgett, Jack Cully, Jr., Glennis Kaufman, 2003, 계절별 위성 자료를 이용한 미국 캔자스주 식생분류 - 하이브리드 접근방식의 적용, 대한지리학회지, 제38권, 5호, pp. 667-685
- 박은주, 2002, Landsat ETM+ 영상을 활용한 가뭄민감도 분석: Tasseled cap 변환 기법을 적용하여, 석사학위논문, 경희대학교, pp. 44-54.
- 배준희, 2003, 인공위성영상을 이용한 난온대지역의 식생분류 기법 연구, 석사학위논문, 호남대학교, pp. 14-27.
- 오현석, 고경남, 허종철, 2009, 제주 북동부 지역을 대상으로한 WindPRO의 예측 성능 평가, 한국태양에너지학회논문집, 제29권, 2호, pp. 1598-6411.
- 우재균, 2011, 풍력발전단지 에너지 생산량 극대화를 위한 Micrositing 및 풍력발

- 전기 선정, 석사학위논문, 강원대학교, pp. 14-17.
- 윤영배, 2005, 자연형 하천평가를 위한 원격탐사법 응용: 다중분광위성영상의 식생지수 중심, 석사학위논문, 울산대학교, pp. 9-40.
- 이상빈, 2010, 고해상도 항공사진의 토지피복분류 특성 연구, 석사학위논문, 경기대학교, pp. 1-3
- 이정빈, 2008, 원격탐측자료를 이용한 식생다양성 및 생태자료취득방법 연구, 석사학위논문, 연세대학교, pp. 18-46.
- 전성우, 정휘철, 1999, 생태자연도 작성 및 활용을 위한 원격탐사기법연구Ⅱ-식생분류도 작성을 중심으로, 한국환경정책·평가연구원, pp. 25-43.
- 전우현, 2012, 도시열섬현상 저감을 위한 토지피복온도와 정규화식생지수(NDVI) 상관분석 연구, 석사학위논문, 목포대학교, pp.6-34.
- 정재준, 2012, 위성영상분류와 식생지수를 이용한 도시지역 추출 비교 연구, 한국지도학회지, 제12권, 3호, pp.35-44.
- Abd. Rahman As-syakur, I Wayan Sandi Adnyana, I Wayan Arthana, I Wayan Nuarsa, 2012, Remote Sensing, 4, pp. 2957-2970.
- Troen, I., Petersen, E.L., 1989, European Wind Atlas, RisØ National Laboratory.
- Zha, Y., Gao, J., Ni, S., 2003, Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery, International journal of remote sensing, Vol. 24, No. 3, pp. 584-594.