



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 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

風力資源地圖 作成을 위한 人工衛星
映像의 監督分類 技法에 관한 研究

濟州大學校 大學院

風力特性化協同科程

文 愾 畝

2013 年 2 月

목 차

목 차	i
List of Figures	iii
List of table	v
Summary	vi
I. 서론	1
1. 연구 배경 및 목적	1
2. 연구자료 및 방법	2
II. 토지피복지도 작성	4
1. 위성영상을 이용한 토지피복분류	4
1) 자료 및 연구영역	5
(1) 위성영상자료	5
(2) 연구영역	6
2) 영상 처리	7
3) 토지피복분류	8
4) 분류정확도 평가	13
5) 2차 토지피복분류	15
2. 영상 필터링	16
1) 영상 필터링 기법 적용의 타당성 검토	17
2) 영상 필터링 기법의 적용	17
III. 풍력자원지도 작성	20
1. 입력자료	20
1) 풍황 자료	20

(1) 풍황계측타워 자료	20
(2) 자동기상관측소(AWS) 자료	23
(3) MCP(Measure-Correlate- Predict Method) 보정	25
2) 지면조도 자료	26
(1) 자료의 형태	26
(2) 자료의 변환	27
3) 지형고도 자료	29
2. 풍력자원지도 작성	30
IV. 결론	33
참고문헌	35
부록	37

List of Figures

Fig 1.1 Flow chart of study	3
Fig 2.1 Flow chart for Land Cover Classification	5
Fig 2.2 The structure of Satellite Image	5
Fig 2.3 IKONOS satellite image of study area (2004. 10. 3.)	6
Fig 2.4 Image applied Histogram Stretching	7
Fig 2.5 Image applied an adjustment of spatial resolution	7
Fig 2.6 Histogram	8
Fig 2.7 Supervised Classification	8
Fig 2.8 Maximum likelihood method	9
Fig 2.9 The result of Land Cover classification	13
Fig 2.10 Modified Land Cover map	16
Fig 2.11 Mask Processing Method	18
Fig 2.12 Process of majority filter	18
Fig 2.13 Land Cover map using filtering	19
Fig 3.1 Position of Met-mast and AWS	20
Fig 3.2 Met-mast, located in Handong	21
Fig 3.3 Met-mast, located in Pyeongdae	21
Fig 3.4 Monthly wind speed profile of Handong	22
Fig 3.5 Monthly wind speed profile of Pyeongdae	22
Fig 3.6 The Wind rose of Handong	23
Fig 3.7 The Wind rose of Pyeongdae	23
Fig 3.8 Setting for weather observations of AWS	24
Fig 3.9 The Wind rose of AWS	24
Fig 3.10 Monthly mean wind speed of AWS	24
Fig 3.11 Comparison of wind speed at Met-mast of Handong & AWS	25
Fig 3.12 Comparison of wind speed at Met-mast of Pyeongdae & AWS	25
Fig 3.13 Met-mast of Handong (Matrix MCP using GJ_AWS)	26
Fig 3.14 Met-mast of Pyeongdae (Matrix MCP using GJ_AWS)	26
Fig 3.15 Comparison of Raster data & vector data	27

Fig 3.16 Illustration of ‘roughness contours’ from the WASP help file	28
Fig 3.17 Roughness map	28
Fig 3.18 Contour map	29
Fig 3.19 Wind speed map of study area (50m above ground level)	31
Fig 3.20 Wind power potential map of study area (50m above ground level)	31
Fig 3.21 DEM covered Wind speed map	32

List of Table

Table 2.1 The specification of IKONOS satellite imagery	6
Table 2.2 The system of classification	10
Table 2.3 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Urbanization)	11
Table 2.4 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Farm_w)	11
Table 2.5 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Farm_b)	12
Table 2.6 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Forest)	12
Table 2.7 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Sea)	12
Table 2.8 Error Matrix	15
Table 2.9 Accuracy	15
Table 3.1 The wind speed of each position and height	22
Table 3.2 Roughness length in European Wind Atlas	28
Table 3.3 Characteristics of roughness map	29
Table 3.4 Wind Power density class	30

Summary

Recently, the Eco-friendly Resource Development is actively catching the attention of the developed countries. As a renewable energy resource development, "Wind" resource is spotlighted and assessed in various ways. Wind resource maps have been made and developed in Korea, as well as other foreign countries. The maps have been utilized as a basis of information to take advantage of the wind resource and to find wind farm locations.

In this study, Land Cover Map was generated using remote sensing technique with satellite images. It was integrated with GIS to generate a roughness map which used as basic data to evaluate wind resource.

Land Cover Map was generated using high-resolution IKONOS image. The maximum likelihood classification was applied to classify land-cover. The overall accuracy of classification was 96.195% and the kappa coefficient was 0.95214. The accuracy of classification in each class was generally over 90%, whereas low classification accuracy was obtained for the class of urbanization. This may be a result of collecting a variety of pixel values when selecting training sites because there are colorful buildings and structures in urban areas.

In order to reduce the complexity of land cover classification, a majority filter was applied to Land Cover Map. By using the filter, little and unnecessary segments agglomerate together to form larger clusters.

Finally, the roughness map was generated using GIS technique with the filtered Land Cover Map. A wind resource map was generated using collected wind data, a contour map and a roughness map. By NREL standards, the inland area is class 3 or 4, and the coastal area is class 5. The sea, more than 2km from the coast, is class 6. The basic data for evaluation of wind resource was made through the integration of remote sensing and GIS technique. Workers produce objective roughness maps more efficiently when applying remote sensing and GIS technique than when reading the terrain visually and performing the task manually with Digitizing by eliminating the operator's personal judgement errors. It is possible that this can be directly applicable to the working practice.

I. 서론

1. 연구 배경 및 목적

최근 환경 친화적인 자원개발이 선진 국가들을 중심으로 활발하게 이루어지고 있다. 자원개발 중 대체에너지로서 풍력자원이 주목받고 있으며, 이 자원에 대한 평가를 시도하고 있다. 이를 위해 우리나라뿐만 아니라 해외의 많은 나라들이 풍력자원지도를 구축하고 이를 대체 에너지 중의 하나로써 풍력자원을 활용하기 위해 풍력발전 입지의 기초자료로써 활용하고 있다(성효현 외, 2009).

풍력자원을 평가하기 위해서는 기본적으로 풍황 자료, 지형고도 자료, 지면조도 자료가 필요하다. 풍황 자료는 예상되는 풍력발전 후보지에 기상탑을 설치하여 얻을 수 있고, 지형고도자료는 수치지도를 이용하여 쉽게 얻을 수 있다. 하지만 지면조도지도의 경우는 일반적으로 작업자가 항공사진을 이용하여 시각적으로 토지이용상태를 판별한 후 직접 디지털화(Digitizing)하는 주관적인 방법을 사용하여 얻게 된다. 이는 작업시간이 많이 소요되는 불편함과, 주관적인 판단과 실수 등으로 인하여 토지피복상태를 오분류할 수도 있다는 단점을 갖고 있다. 또한 환경부 등에서 제공하는 토지피복지도를 사용하기도 하는데, 이는 계속적으로 변화하는 토지피복 현황을 반영하기에는 부족하다.

인공위성 영상자료는 넓은 지역의 정보를 한번에 취득이 가능하므로 경제적이고, 주기적으로 자료를 얻을 수 있다는 장점이 있다. 또한 데이터가 디지털 형태이기 때문에 지리정보시스템(GIS)와 같은 다른 정보와의 연계가 용이하고 다양한 응용이 가능하다. 인공위성 영상자료의 분석결과는 다른 지리 정보와 결합하여 활용하면 더욱 유용하다. 즉 위성영상을 분석하여 지리정보를 추출하고, GIS 기법을 이용하여 정보를 가공·분석하면 그 연계와 활용효과가 더욱 커진다(사공호상 외, 2000).

최근 IKONOS, Quickbird 등의 다양한 고해상도 인공위성이 발사에 성공하여 고해상도 영상자료가 공급되고, 원격탐사 기술이 발전하면서 위성영상의 활용분야가 국토 계획/변화, 환경관리, 자원관리 등으로 광범위하게 확산되고 있다. 특히 토지피복분류는 원격탐사의 응용분야에서 가장 대표적인 것 중의 하나이고, 이를 통해 토지피복지도와 같은 주제도를 제작·활용하고 있다. 고해상도 위성영상은 1미터 이내의 지표면 지형지물을 식별할 정도로 상세한 영상을 제공한다. 이런 고해상도 영상을 사용할 경우 지표면의 상세한 면적까지 주제도로 표현할 수 있기 때문에 대축척의 주제도를 작성할 수 있다(구자용, 2007). 이와 관련된 국내 연구로는 IKONOS를 이용한 토지피복분류 방법에 관한 실증 연구(사공호 상 외, 2003), IKONOS 영상자료를 이용한 토지피복도 개선(장동호 외, 2003), 고해상도 위성영상을 이용한 토지피복도 제작기법 연구(구자용, 2007) 등이 있다.

따라서 본 연구는 점차 활용도가 높아지고 있는 고해상도 위성영상을 이용하여 토지피복지도를 제작하고, 이를 GIS와 연계·통합하여 지면조도지도를 생성한 후 이를 풍력자원을 평가하는 기초자료로 활용하도록 하는데 목적이 있다. 이를 통하여 작업의 효율성을 높일 수 있고 객관적으로 토지의 피복상태를 분류하게 되어, 더욱 신뢰할 수 있는 풍력자원지도를 얻을 수 있을 것이다.

2. 연구자료 및 방법

연구의 자료처리와 방법은 Fig 1.1과 같다. 연구는 1단계와 2단계로 나누어 진행하였다.

1단계에서는 먼저 고해상도의 IKONOS 위성영상자료를 수집·입력하고 영상처리를 통하여 분석하기 위한 자료를 구축하였다. 그리고 원격탐사 기법을 적용하여 분류항목에 따라 토지피복분류를 수행하였고, 추후 여러 가지 문제점을 해결하기 위해 영상필터링 기법(최대 빈도 필터)을 적용하여 최종적인 토지피복지도를 작성하였다.

2단계에서는 작성된 토지피복지도와 수치지도에 GIS기법을 적용하여, 풍력자원지도 생성 시 기초자료로 쓰일 지면조도지도와 지형고도지도를 생성하였다. 그리고 최종적으로 수집된 풍황자료와 지면조도지도, 지형고도지도를 이용하여 풍력자원지도를 작성하였다.

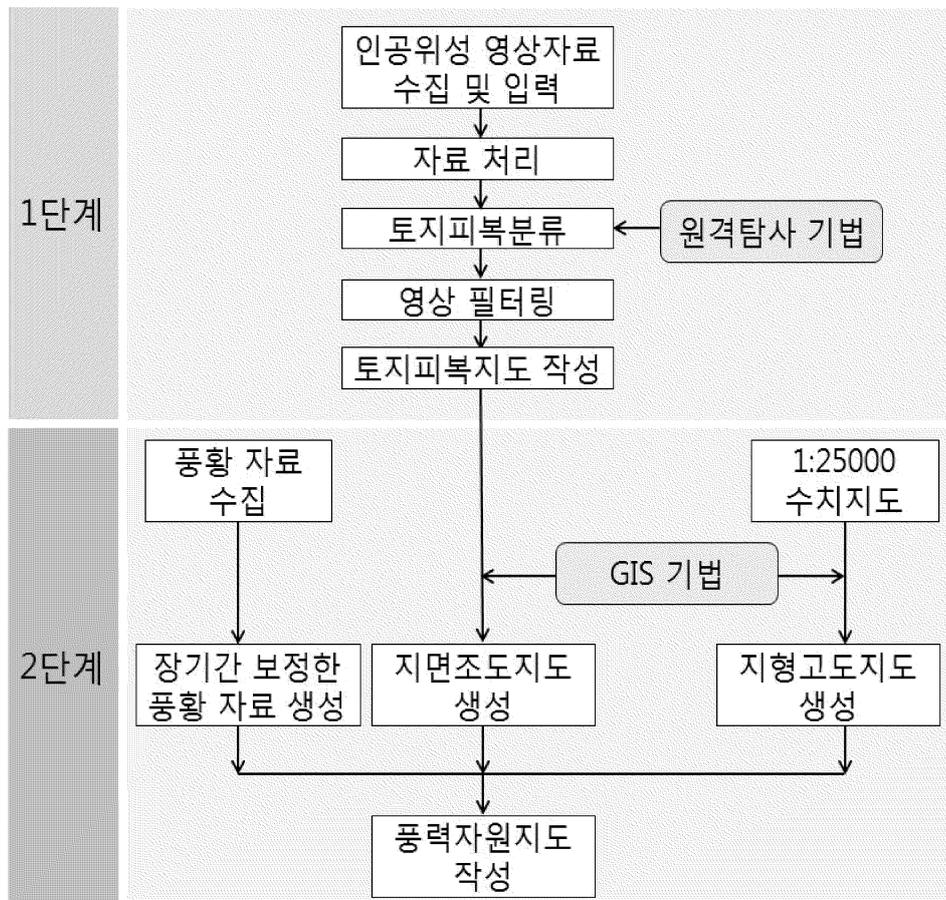


Fig 1.1 Flow chart of study.

II. 토지피복지도 작성

1. 위성영상을 이용한 토지피복분류

토지피복분류(Land Cover Classification)는 원격탐사의 가장 대표적인 응용방법의 하나로, 숲, 초지 등과 같은 지표면의 물리적 상황을 분류하는 것이다. 위성영상이나 항공사진 등을 토지피복분류체계에 따라 분석하여 동일한 특성을 갖는 항목끼리 분류하여 디지털화한 자료가 토지피복지도(Land Cover Map)이다. 토지피복지도는 국토개발계획이나 지역계획을 수립하는데 있어서 기초 자료로 활용되고, 시계열 자료를 통해 토지이용의 변화 패턴 및 도시화의 경향 분석 등에도 주로 활용되고 있다.

2000년 대 이전에 주로 사용됐던 Landsat TM 영상은 중해상도 위성영상으로서 도시지역과 비도시지역을 구분하는데는 많이 사용되지만, 30m의 낮은 공간해상도를 가지고 있어 분류의 정확성이 떨어진다. 이로 인해 최근 IKONOS, Quickbird 등의 고해상도 인공위성이 발사에 성공하고, 고해상도 영상자료를 제공하면서 이를 이용한 토지피복분류 방법이 활발히 진행되고 있다.

본 연구에서는 제주도 제주시 구좌읍 일부 지역을 대상지로 선정하였다. IKONOS 위성영상을 이용하였고, 분류작업 전 작업의 향상을 위해 영상처리를 진행하였다. 영상의 토지피복분류 방법은 감독(supervised)분류 중 가장 정확한 분류방법으로 알려진 Maximum Likelihood Method를 적용했고, 환경부의 대분류 7단계 토지피복분류체계를 기준으로 분류결과를 출력했다. 다음 Fig 2.1은 제 2 장의 토지피복지도 제작과정을 나타낸 흐름도이다.

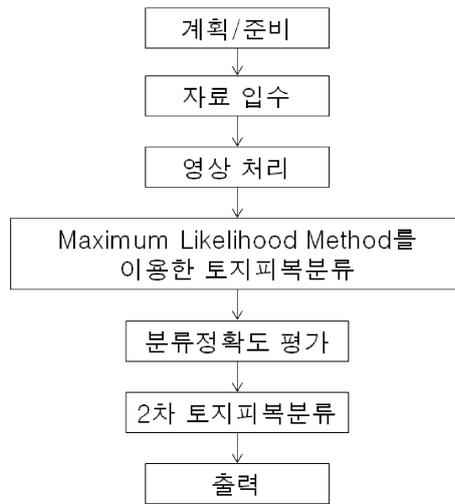


Fig 2.1 Flow chart for Land Cover Classification.

1) 자료 및 연구영역

(1) 위성영상자료

위성영상자료는 기본적으로 정사각형 형태의 격자망으로 이루어져 있다. 이 각각의 정사각형 격자를 화소(pixel)이라 부르며, 이는 영상을 구성하는 기본 단위이다. 각각의 화소는 독립적인 밝기를 가지며, 이런 밝기 값을 가진 화소들이 무수히 조합되어 연속적인 명암을 갖는 하나의 영상을 구성하게 된다. Fig 2.2는 위성영상자료의 구조를 나타낸다.

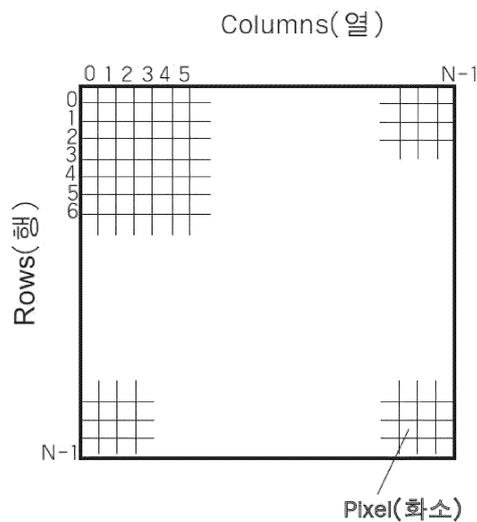


Fig 2.2 The structure of Satellite Image.

Fig 2.3는 2004년 10월 3일에 촬영한 고해상도의 IKONOS 위성영상이며, 제원은 Table 2.1과 같다. 본 연구에서는 방사보정 및 기하보정 단계를 거친 GeoTIFF형식의 영상을 원 영상으로 사용하였다.

Table 2.1 The specification of IKONOS satellite imagery

Scanner	Band	Spectral Range(μm)	Resolution (m)
Panchromatic		0.45-0.90	1
Multi-spectral	Blue	0.45-0.52	4
	Green	0.51-0.60	4
	Red	0.63-0.70	4
	Near IR	0.76-0.85	4
Quantization	11 bit		
Orbit	98.1°		
Altitude	681 km		

(2) 연구영역

연구영역은 제주도 제주시 구좌읍 일부 지역이며, 위도 33° 31' 29.20", 경도 126° 51' 39.11"을 중심으로 9.5km×8.5km 영역이다. 연구지역의 대부분 오름을 제외하고는 완만한 경사로 구성되어 있으며, 해안가를 따라 농촌마을들이 분포해 있으며 논과 밭이 많은 것이 특징이다.

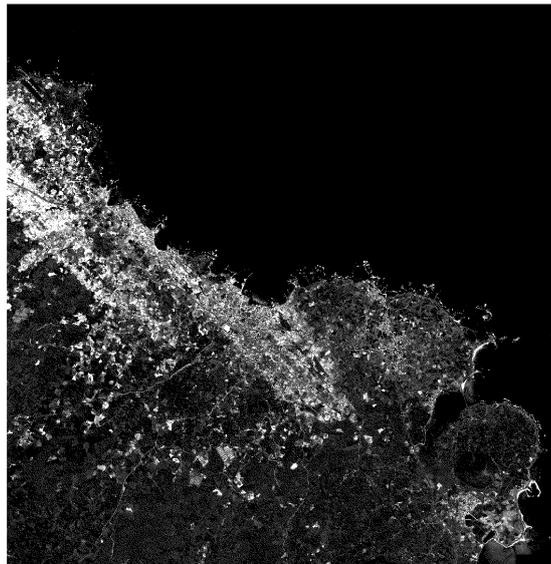


Fig 2.3 IKONOS satellite image of study area (2004. 10. 3.).

2) 영상 처리

토지피복분류 작업에 앞서 분류의 효율성과 정확도를 높이기 위해 영상 처리를 진행하였다. 영상처리란 영상을 컴퓨터를 이용하여 목적에 맞게 가공하여 사용하는 것을 의미한다.

원 영상을 보면 수역과 산림지역의 화소값이 비슷하게 나타나고, 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.

Fig 2.6 (a)를 보면 원 영상의 화소값에 대한 히스토그램의 분포가 한쪽으로 치우쳐 있어, 낮은 명암대비를 보인다. 히스토그램이 모든 범위의 화소값을 포함하도록 히스토그램의 분포를 넓혀 명암대비를 향상시키는 방법인 히스토그램 스트레칭(Histogram Stretching)를 적용하였다. Fig 2.6 (b)를 보면 히스토그램 스트레칭을 통하여 명암대가 향상된 것을 볼 수 있다.

고해상도 위성영상은 화소값의 복잡성, 그림자의 영향 등으로 인하여 노이즈 현상이 심하다. 이로 인해, 영상의 해상도를 다소 낮추면 영상분류의 결과는 군집화되어 얻어지는 경향이 나타났고, 이는 주제도 제작에 유용한 활용방법이다.(이상민, 2010) 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해 최근린 내삽법을 사용하여 영상의 해상도를 10m로 낮추는 작업을 하였다.

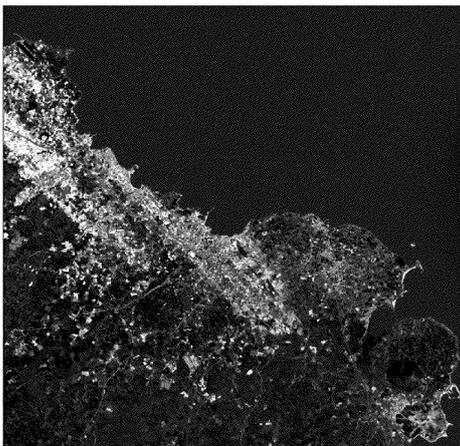


Fig 2.4 Image applied Histogram Stretching

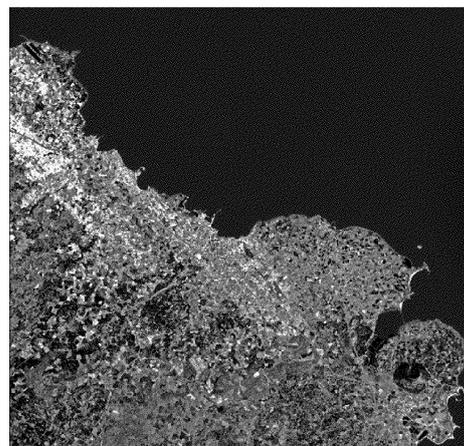
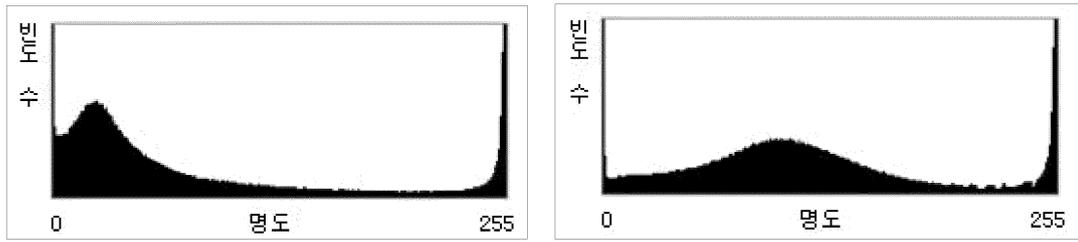


Fig 2.5 Image applied an adjustment of spatial resolution



(a) Histogram of original image.

(b) Histogram of modified image.

Fig 2.6 Histogram

3) 토지피복분류

영상분류의 방법은 크게 무감독분류(Unsupervised Classification)와 감독분류(Supervised Classification)로 구분된다.

무감독분류는 영상에서 나타나는 화소값들의 통계적 특성만을 이용하여 컴퓨터에 의해 자동으로 분류되는 기법으로, 군집화(Clustering)이라고도 불리운다. 분류할 집단의 개수와 분광집단의 한계거리만을 지정해주면 분류가 가능하다.

감독분류는 영상에서 분류하고자 하는 집단의 위치나 분광특성을 사용자가 알고 있을 때 사용하는 방법이다. 사용자는 자신이 분류하고자 하는 집단의 각 밴드별 화소값을 추출하는데 이를 Training이라 하고, Training을 통하여 선정된 표본지역을 훈련지역(Training Site)이라 한다. 각 집단의 훈련지역을 통해 통계적 수치들을 계산하게 되고 이를 이용하여 자료내의 모든 화소를 분석하여 가장 유사한 분포 특성을 가지는 집단에 할당시킨다. 이때 분류 기준설정 방법에 따라 최소거리법(Minimum Distance classifier), 평행사변형법(Parallelepiped classifier), Mahalanobis법, 최대우도법(Maximum Likelihood classifier) 등이 있다.

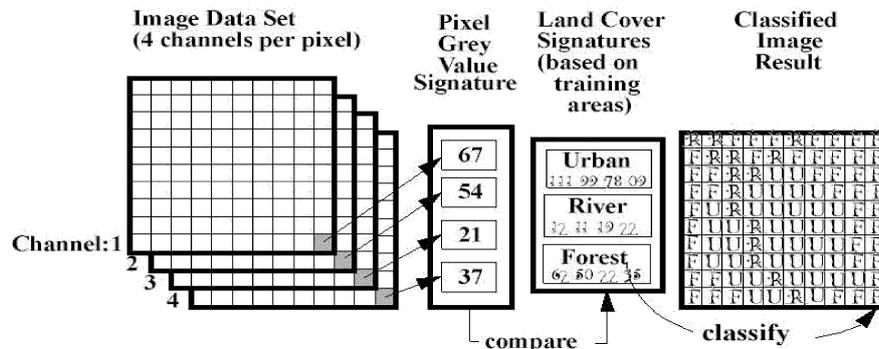


Fig 2.7 Supervised Classification.

본 연구에서는 감독분류 방법 중 일반적으로 많이 사용되고, 알고리즘이 복잡하여 처리시간은 많이 걸리지만 가장 정확도가 높다고 알려져 있는 분류방법인 최대우도법을 적용하였다. 최대우도법은 훈련지역의 자료가 정규분포를 따른다는 가정하에 각 분류항목(c)의 평균벡터(M_c)와 공분산행렬(V_c)을 계산한 후, 확률밀도함수를 이용하여 각각의 화소(X)를 분류항목에 대한 확률(P_c)이 가장 높은 항목으로 분류하는 방법이다. 이는 가장 많은 변수를 고려하기 때문에 정확도가 가장 높은 분류방법이며, 공분산 행렬로서 분류항목의 가변성을 충분히 고려한다 (박주영, 2004).

$$P_c = -0.5 \ln [\det(V_c)] - [0.5(X - M_c)^T (V_c^{-1})(X - M_c)]$$

여기서, $\det(V_c)$ 는 공분산행렬 V_c 의 행렬식이다.

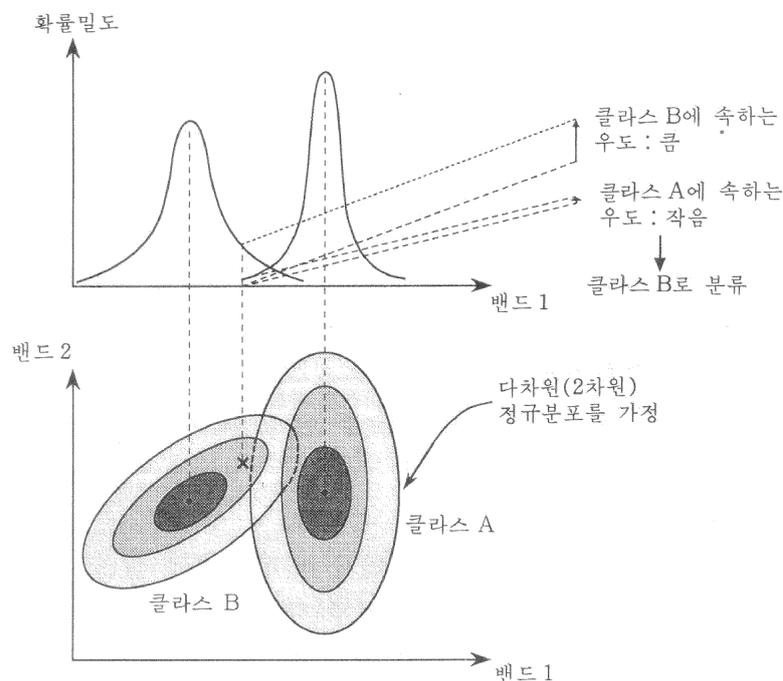


Fig 2.8 Maximum likelihood method. (김경섭 외, 1998)

토지피복분류를 위해서는 먼저 분류할 항목을 설정해야 한다. 이 연구에서 분석한 토지피복 분류 자료를 보다 범용적으로 활용하기 위해서는 기존체계를 고려하여 분류항목을 설정하는 것이 바람직하다(사공호상 외, 2000). 따라서 본 연구에서의 토지피복분류는 환경부의 대분류(7개 항목) 토지피복분류체계를 기준으로 하였다. 대분류 분류체계는 시가화/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7개 분류항목으로 구성되어 있으며, Table 2.2는 각 항목과 그에 따른 분류 색상을 나타낸다.

Table 2.2 The system of classification

Classification category	Color
Urbanization	
Farm	
Forest	
Grassland	
Marsh	
Eroded Land	
Water Area	

토지피복분류를 위해 원격탐사용 소프트웨어인 PG-STEAMETR 4.2를 사용하였다. PG-STEAMETR는 순수 국내기술로 개발된 최초의 원격탐사용 소프트웨어이고, 주요기능으로 위성영상 으로부터 정보를 추출하기 위한 기하보정, 정사보정, 모자이크, 분류 등의 각종 영상처리 및 분석기능, DEM 생성, 3차원 영상분석, 위성영상 지도 제작, GIS 기능 등을 제공한다.

PG-STEAMETR 4.2를 이용하여 각 분류항목별로 가급적 정규분포 형태를 따르도록 training site를 정해주었다. 농작지역은 농작유무에 따라서 화소의 차이를 보였고 따라서 두 개의 케이스(Farm_w&Farm_b)로 나누어 training site를 작업하였다. 나지와 작물이 자라지 않는 농경지의 밭의 반사특성이 비슷하므로 나지의 training site를 추가하면 내륙의 농업지역들이 나지로 오분류되는 결과를 보여, 다소 적은 면적을 차지하는 나지의 경우는 1차 분류시 training site에서 제

외시키고 추후 2차 토지피복분류시 수정작업을 하는 것이 유용할 것이라 판단되어 1차 토지피복분류에서는 제외하였다. 다음의 표들은 training site의 통계적 수치들을 나타낸다.

Table 2.3 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Urbanization)

Training Data Set : Urbanization			
<Band Statistics>			
Band	1	2	3
Min	0.0000	0.0000	30.0000
Max	255.0000	255.0000	255.0000
Mean	169.9516	212.6129	238.6774
Std.Dev.	84.9722	55.1208	35.6632
<Covariance Matrix>			
Band	1	2	3
1	7220.2763	3983.5056	1226.4595
2	3983.5056	3038.3067	1330.9714
3	1226.4595	1330.9714	1271.8614

Table 2.4 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Farm_w)

Training Data Set : Farm_w			
<Band Statistics>			
Band	1	2	3
Min	0.0000	0.0000	85.0000
Max	255.0000	255.0000	255.0000
Mean	246.7092	245.1068	240.8249
Std.Dev.	25.6535	28.6007	33.1911
<Covariance Matrix>			
Band	1	2	3
1	658.0997	719.9835	637.9489
2	719.9835	818.0005	783.2866
3	637.9489	783.2866	1101.6508

Table 2.5 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Farm_b)

Training Data Set : Farm_b			
<Band Statistics>			
Band	1	2	3
Min	68.0000	13.0000	35.0000
Max	246.0000	221.0000	184.0000
Mean	139.0435	98.1700	99.0949
Std.Dev.	31.2803	39.6153	26.5909
<Covariance Matrix>			
Band	1	2	3
1	978.4545	1194.8577	806.7974
2	1194.8577	1569.3718	1019.9402
3	806.7974	1019.9402	707.0783

Table 2.6 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Forest)

Training Data Set : Forest			
<Band Statistics>			
Band	1	2	3
Min	0.0000	0.0000	0.0000
Max	205.0000	219.0000	206.0000
Mean	15.7448	14.1220	16.6567
Std.Dev.	36.6160	35.4507	37.1275
<Covariance Matrix>			
Band	1	2	3
1	1340.7280	1286.3620	1350.7525
2	1286.3620	1256.7501	1291.0739
3	1350.7525	1291.0739	1378.4477

Table 2.7 Band Statistics & Covariance Matrix of training site (Sea)

Training Data Set : Sea			
<Band Statistics>			
Band	1	2	3
Min	0.0000	0.0000	179.0000
Max	3.0000	4.0000	255.0000
Mean	0.1284	0.2140	213.1615
Std.Dev.	0.3937	0.6282	27.1557
<Covariance Matrix>			
Band	1	2	3
1	0.1550	0.2044	-0.6640
2	0.2044	0.3947	2.7919
3	-0.6640	2.7919	737.4300

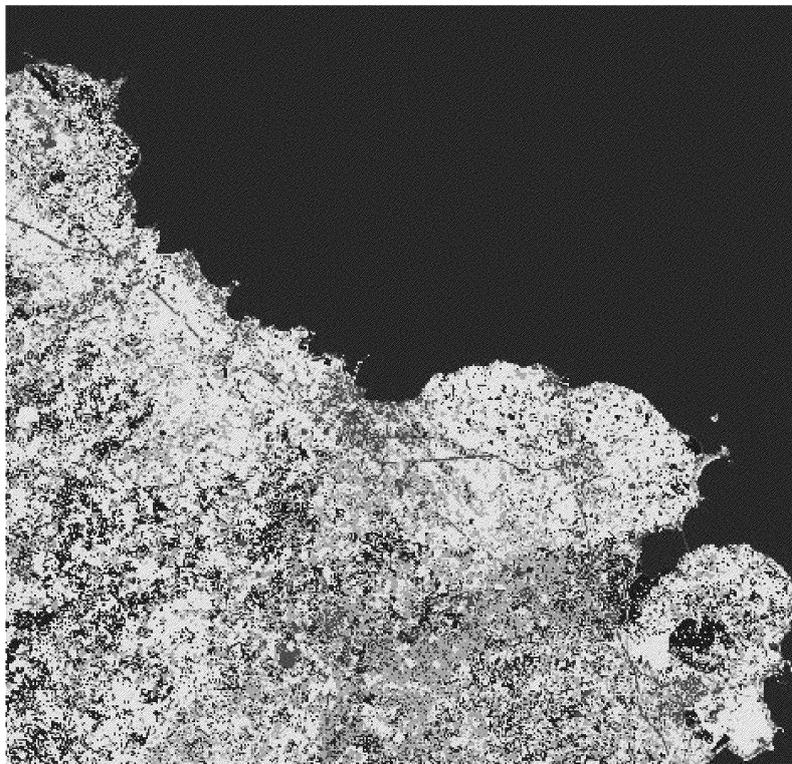


Fig 2.9 The result of Land Cover classification.

4) 분류정확도 평가

분류된 결과는 그 결과의 타당성을 평가하기 위하여 정확도 평가를 실시한다. 이를 위한 평가 기법으로는 Error Matrix를 주로 이용한다. Error Matrix는 참조 자료 픽셀과 분류한 영상의 픽셀을 서로 비교하여 나타낸 것으로, Table 2.8에 나타내었다. 이를 이용하여 구할 수 있는 정확도는 전체 정확도, 제작자 정확도, 사용자 정확도, Kappa 계수에 의한 정확도가 있다.

전체 정확도(Overall accuracy)는 전체적인 분류의 정확도를 평가한다. 각 항목에 대해 정확하게 분류된 픽셀 수의 합을 픽셀의 전체 수로 나누어 계산한다. 아래의 Error Matrix 표를 참고하면, 총 1971개의 픽셀 중 1896개(504+501+295+311+250+35)의 픽셀이 정확히 분류되었으므로 전체정확도는 96.195%이다.

전체적인 분류정확도를 계산하는 전체 정확도와는 달리 사용자 정확도와 제작자 정확도는 각 개별항목의 정확도를 계산한다.

제작자 정확도(Producer's accuracy)는 각 항목에 대해 정확하게 분류된 픽셀 수를 그 항목으로 분류된 참조자료의 전체 픽셀 수로 나누어 계산한다. 이 값은 해당 항목으로 분류된 픽셀들이 실제로 참조자료와 얼마나 일치하는지를 의미한다. 산림지역의 경우, 총 530개의 참조자료 중 501개의 픽셀이 제대로 분류되었으므로 제작자 정확도는 94.53%이다.

사용자 정확도(User's accuracy)는 각 항목에 대해 정확하게 분류된 픽셀의 개수를 그 항목으로 분류된 총 픽셀수로 나누어 계산한다. 이 값은 해당 항목으로 분류된 픽셀이 실제로 그 항목과 동일하게 분류될 가능성을 의미한다. 산림지역의 경우, 산림으로 분류된 총 505개의 픽셀 중 실제 산림지역인 픽셀은 501개이므로, 사용자 정확도는 99.21%이다.

Kappa 계수는 분류에 있어 우연히 옳게 분류될 수 있는 확률을 고려하여 전체 정확도를 계산하는 방법으로, Error Matrix의 대각요소뿐만 아니라 모든 행렬요소를 대상으로 하기 때문에 전체 정확도보다 분류정확도에 대한 신뢰도가 높다. Kappa계수는 일반적으로 0~1사이에 있고, 우연히 옳게 분류된 경우가 없을 경우에 1의 값을 갖는다. 본 연구의 Kappa 계수 값은 0.95214로 분류결과가 우수하게 나타났음을 의미한다.

대부분의 항목들의 분류결과가 우수하게 나타난 반면 시가화/건조지역의 경우는 분류결과가 낮게 나타남을 볼 수 있다. 이는 시가화/건조지역에 다양한 색들의 건물, 도로, 구조물 등이 존재해 training site를 선정할 때 여러 화소값들이 혼재되어 선택되었기 때문이라고 판단된다.

Table 2.8 Error Matrix

Error matrix for Training Data		Classification Data						Total
		Sea	Forest	Grass	Farm_w	Farm_b	Urban	
Training Data Set	Sea	504	0	0	2	0	0	506
	Forest	0	501	3	1	0	0	505
	Grass	0	12	295	2	1	1	311
	Farm_w	0	10	1	311	1	19	342
	Farm_b	0	2	0	5	250	0	257
	Urban	0	5	5	3	2	35	50
	Total	504	530	304	324	254	55	

Table 2.9 Accuracy

Class	Producer's accuracy [%]	User's accuracy [%]
Sea	100.00	99.60
Forest	94.53	99.21
Grass	97.04	94.86
Farm_w	95.99	90.94
Farm_b	98.43	97.28
Urban	63.64	70.00
Overall accuracy		96.195%
The KHAT Statistic		0.95214

5) 2차 토지피복분류

2차 토지피복분류는 1차 토지피복분류에 의해 나온 결과물과 참조자료 및 현지 조사 자료를 비교하여 스크린 상에서 시각적으로 판독하여 수정작업하는 일련의 과정이다. 나지의 경우와 육상 양식장이 산림으로 오분류된 것과 같이 항목별로 오류검수를 거쳐 토지피복지도를 제작하였다. 아래의 그림은 2차 토지피복분류 후 최종적인 토지피복지도이다.

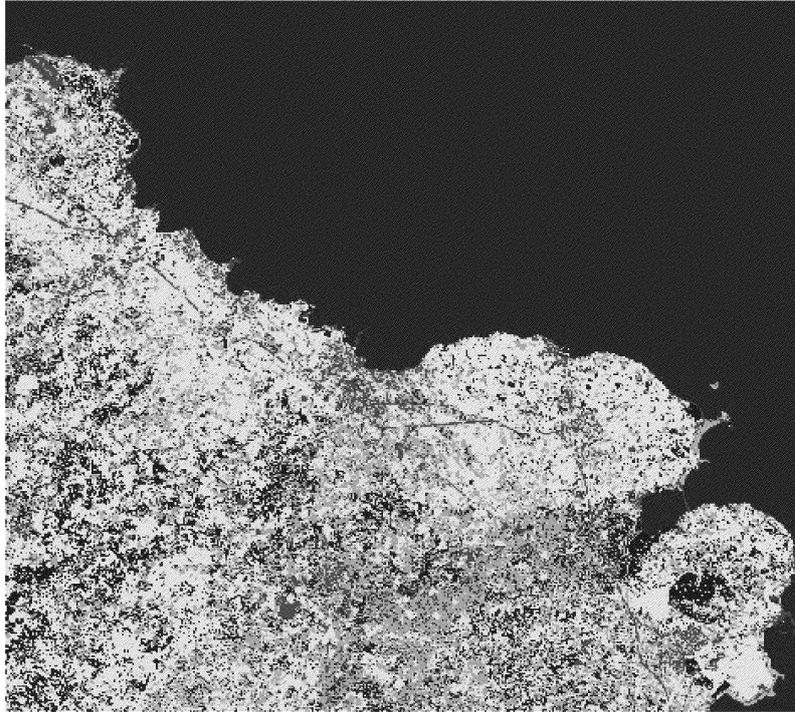


Fig 2.10 Modified Land Cover map.

2. 영상 필터링

토지피복지도의 분류결과는 앞 그림의 토지피복지도와 같이 분류 결과가 노이즈를 포함하여 복잡하게 나타난다. 이러한 결과만을 가지고 추후 지면조도지도를 생성할 시에는 벡터화하는 과정 중 에러발생률이 높았고, 지면조도지도 생성 결과 점과 선 객체들의 수가 많아 작업시간이 오래 걸리는 단점을 보였다. 토지피복지도를 일반화하여 이를 보완하기 위해, 토지피복지도에 영상필터링 기법을 적용하였다.(Morten Nielsen 외, 2004; Collin G. Homer 외, 1997)

1) 영상 필터링 기법 적용의 타당성 검토

영상필터링 기법 적용의 타당성 평가를 위한 선행연구로 우도지역을 선정하여 진행하였다. 원본의 토지피복지도와 필터링된 토지피복지도를 이용하여 지면조도 지도를 생성하고, 각각의 지면조도지도에 대한 특징을 비교하였다. 그 결과, 원본 토지피복지도를 이용하여 제작하였을 때보다 필터링을 거친 후에 점, 선 객체들이 약 40%이상 줄어들었고, 이로 인해 파일의 크기 또한 줄어들었음을 확인할 수 있었다.

또한 원본의 토지피복지도와 필터링된 토지피복지도를 이용하여 제작한 지면조도지도를 가지고 각각 풍력자원지도를 작성하여, 차이를 비교해봄으로써 영상 필터링을 거쳐 풍력자원지도를 작성하여도 타당한지 여부를 검증하였다. 그 결과 오차정도가 매우 작았고, 50m높이에서 RMSE가 0.0237~0.0253m/s 로 거의 0에 근접한 결과를 보였다. 따라서 작업의 효율성을 위해 영상터링 기법을 적용하여도 신뢰할만한 풍력자원지도를 얻을 수 있을 것으로 판단되었다. 선행연구에 대한 자세한 내용은 부록에 첨부하였다.

2) 영상 필터링 기법의 적용

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. 본 연구에서는 Figure 2.11과 같이 3×3 또는 5×5크기의 필터 마스크가 영상의 좌측 상단에서 우측으로 이동해가면서 마스크 내에 피복분류결과 중 빈도가 높은 분류결과를 마스크의 중심값으로 대체하는 최대 빈도 필터를 코드화하여 작업하였다.

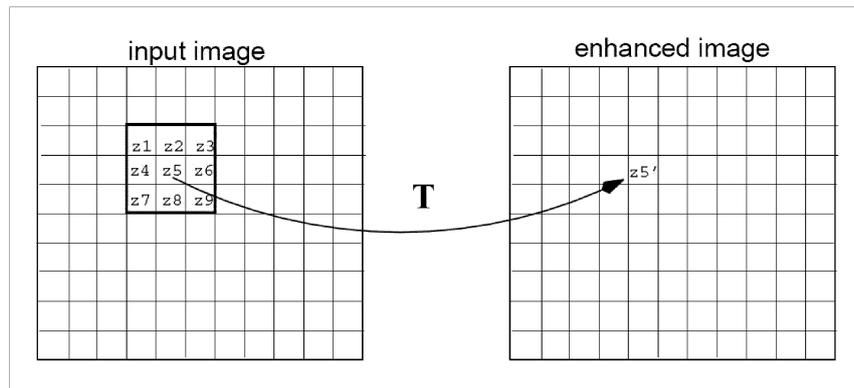


Fig 2.11 Mask Processing Method.

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. 이 필터는 비교적 경계를 잘 보존하며 잡음이 강한 영상에 효과적이다. 특히 영상 자료뿐 아니라 분류 기법등을 통하여 생성된 주제도(thematic map)의 잡음을 제거하는데 효과적으로 이용된다. 최대 빈도 필터에서는 문턱값을 사용하여 필터링의 정도를 조절할 수 있다. 즉, 3×3 크기의 마스크를 사용하는 경우에 흔히 5값이 문턱값으로서 사용되는데 이를 5 최대 빈도 규칙(5 majority rule)이라고 하며, 이는 최대 빈도를 보이는 수치 화소값을 가지는 화소가 5개 이상일 경우에만 마스크의 중앙 수치 화소값을 변경하며 그렇지 않은 경우에는 원래의 값을 그대로 둔다. Fig 2.22는 최대 빈도 필터의 원리를 설명하고 있다.

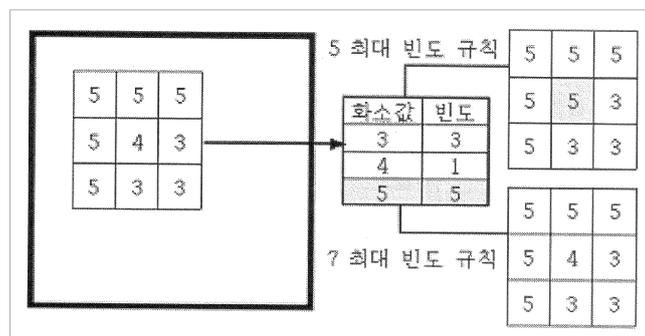


Fig 2.12 Process of majority filter

마스크의 크기가 커질수록 일반화의 경향이 커지므로, 본 연구에서는 마스크의 크기를 5x5로 설정하였고 13 최대 빈도 규칙을 적용하였다. Fig 2.13은 최대 빈도 필터링을 적용하여 작성한 토지피복지도이다.

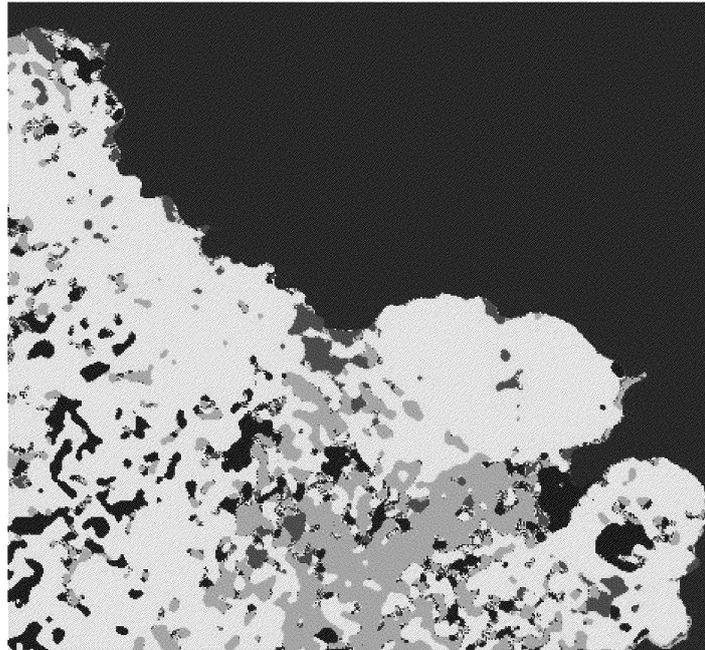


Fig 2.13 Land Cover map using filtering.

최대 빈도 필터를 적용한 결과 해당 항목끼리의 군집화하는 경향을 뚜렷하게 나타냈다. 불규칙으로 분포한 매우 작은 군집의 경우 일반화되어 주변 큰 군집에 흡수되는 현상을 보였다.

인공위성 영상자료를 시가화/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7개 항목으로 구분하여 토지피복현황의 비율을 산출하였다. 분석결과에 따르면 수역 42.6085%, 농업지역 38.365%, 초지 10.1604%, 숲 6.1267%, 도심 2.669%, 나지 0.0704% 순으로 나타났다.

Ⅲ. 풍력자원지도 작성

1. 입력자료

1) 풍황 자료

연구지역에 풍황계측타워(Met-mast)를 설치하여 수거한 실측자료와 기상청 자동기상관측소(AWS; Automatic Weather Station)의 자료를 사용하였다.

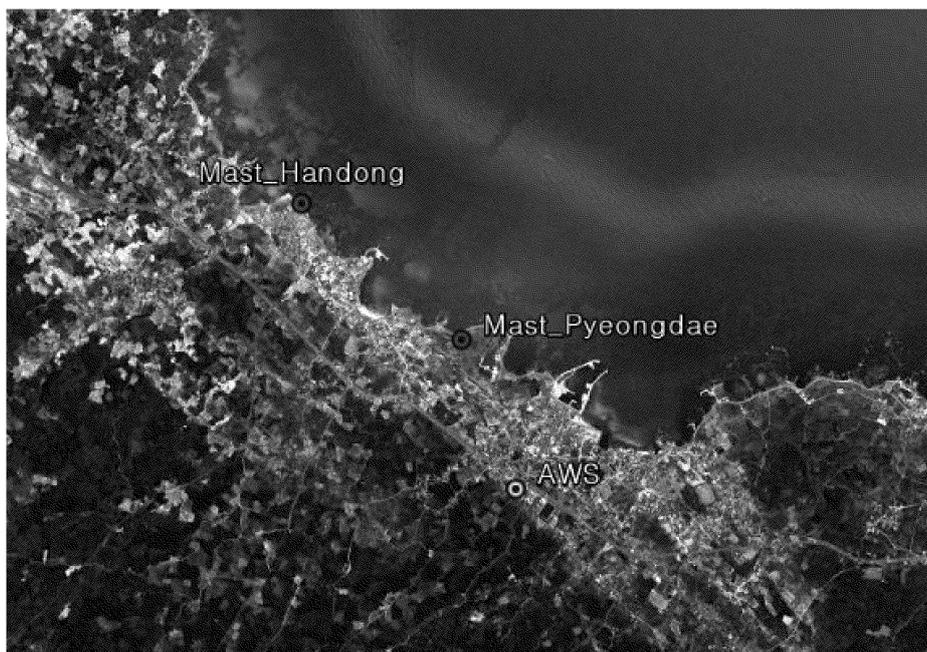


Fig 3.1 Position of Met-masts and AWS.

(1) 풍황계측타워 자료

풍황계측타워는 한동리(위도 33° 32' 25.8376", 경도 126° 50' 9.1186"), 평대리(위도 33° 31' 55.0554", 경도 126° 50' 52.1887")에 각각 위치해 있고, 두 풍황계측타워 사이의 거리는 약 1.4km 정도이다.

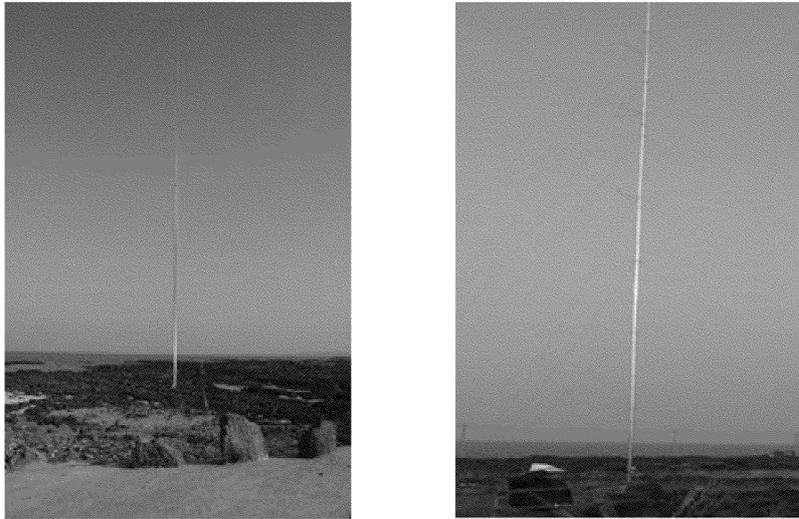


Fig 3.2 Met-mast, located in Handong.



Fig 3.3 Met-mast, located in Pyeongdae.

풍황계측타워의 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.

한동리 풍황계측타워의 관측기간은 2010년 12월 20일부터 2012년 9월 30일까지 (총 21.4개월)이고, 평대리 풍황계측타워의 관측기간은 2010년 2월 6일부터 2011년 7월 3일까지(총 16.8개월)이다. 두 풍황계측타워 모두 관측기간 동안 센서의 고장 없이 100%의 데이터 취득률을 보였다.

Table 3.1 The wind speed of each position and height

Handong	Height	The mean wind	Pyeongdae	Height	The mean wind
	[m]	[m/s]		[m]	[m/s]
	60	7.296		60	7.254
	58	7.207		58	7.178
	50	7.080		50	6.988
	40	6.832		40	6.814
30	6.595	30	6.562		

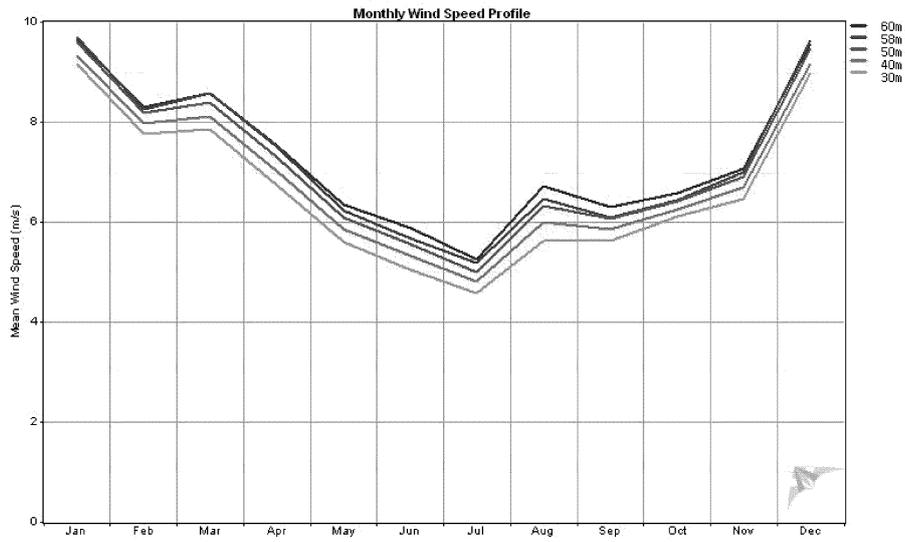


Fig 3.4 Monthly wind speed profile of Handong.

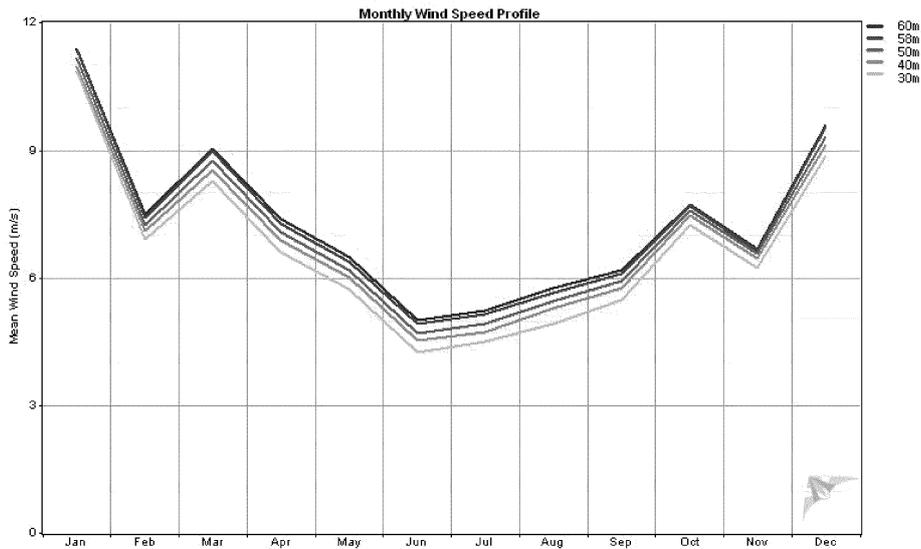


Fig 3.5 Monthly wind speed profile of Pyeongdae.

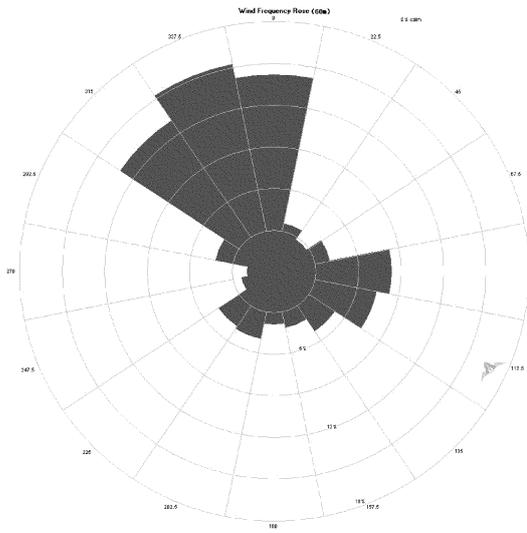


Fig 3.6 The Wind rose of Handong.

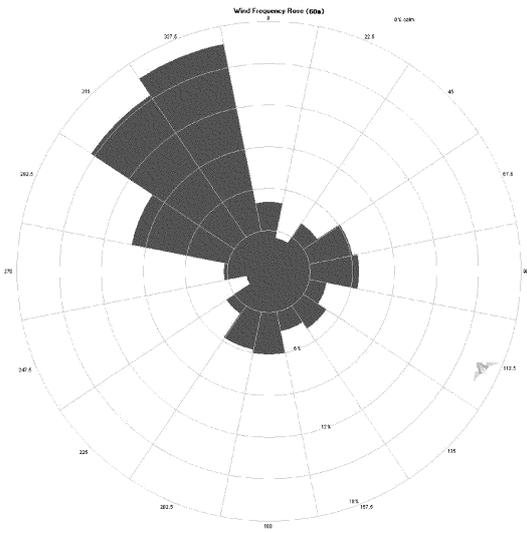


Fig 3.7 The Wind rose of Pyeongdae.

Table 3.1는 각 풍황계측타워의 높이별 평균풍속을 나타낸다. 두 풍황계측타워의 거리가 인접해 있어, 높이별 평균풍속은 비슷한 값을 보였다. Fig 3.4와 Fig 3.5는 각 풍황계측타워의 월별 평균풍속을 나타낸다. 두 풍황계측타워의 월별 풍속을 보면 겨울에는 풍속이 높게 나타나고 여름에는 풍속이 낮아지는 경향을 보였으며, 이는 계절풍의 영향을 많이 받기 때문에 겨울과 여름의 변동이 뚜렷하게 나타난 것이라 생각할 수 있다. Fig 3.6과 Fig 3.7은 각 풍황계측타워의 바람장미를 나타내고, 두 풍황계측타워의 주풍향 모두 북서풍임을 알 수 있다.

(2) 자동기상관측소(AWS) 자료

구좌 AWS는 Fig 3.8과 같이 제주시 구좌읍 세화리 구좌읍사무소 2층 옥상(위도 33° 31' 24.401", 경도 126° 51' 06.714")에 설치되어있다. 측정높이는 25m이고, 관측요소는 풍향, 풍속, 기온, 강수량 등이다. 구좌 AWS를 기준으로 북동쪽 해안가 지역으로는 주택이 밀집되어 있고 그 밖의 지역은 대부분 밭으로 이루어져 있으며, 주변에 높은 장애물이 없어 종종 낙뢰로 인한 장비장애가 발생한다. (제주지방기상청, 2007).

사용된 AWS 자료 기간은 1999년 1월 1일부터 2012년 5월 31일까지(총 161.1개월) 1시간 평균풍속 및 평균풍향이고, 관측기간 동안 99.4%의 데이터 취득률을

보였다. Fig 3.9는 AWS의 바람장미, Fig 3.10은 AWS의 월별 평균풍속을 나타낸다.



Fig 3.8 Setting for weather observations of AWS.

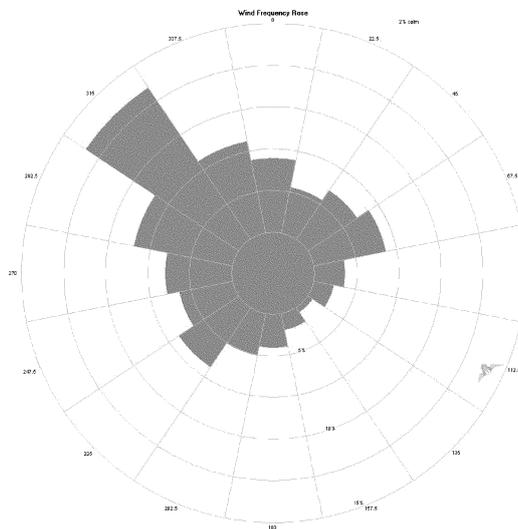


Fig 3.9 The Wind rose of AWS.

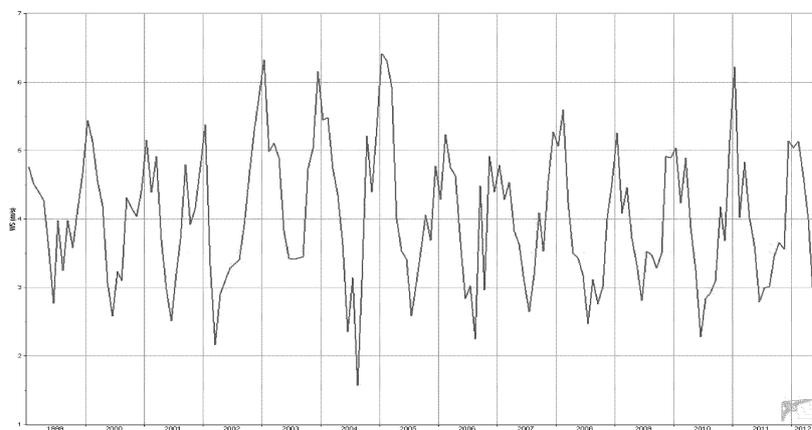


Fig 3.10 Monthly mean wind speed of AWS

(3) MCP(Measure-Correlate- Predict Method) 보정

수집된 계측타워의 단기간 관측자료를 가지고 설계수명이 적어도 20년인 풍력 단지설계의 타당성을 평가하거나 풍력자원을 예측하는 것은 바람직하지 않다. 따라서 계측타워 주변의 장기간 기상관측자료를 이용하여 통계적인 방법을 이용하여 장기간 풍속으로 보정을 하는데, 이를 MCP라 한다. MCP에는 선형회귀 MCP, 행렬 MCP, 와이블 MCP 등 여러 방법이 있으나, 지형의 복잡성으로 인하여 실측지점과 참조지점 간의 풍향편차가 큰 우리나라의 상황에서는 행렬 MCP 방법이 더 유효한 예측결과를 제시함이 검증되었다(김현구, 2005). 따라서 본 연구에서는 각각 풍력계측타워의 풍향자료와 구좌 AWS의 자료를 행렬 MCP에 적용하여 장기간 보정을 하였다. 한동의 경우 풍력밀도는 0.83이고 풍속은 0.81, 평대의 경우 풍력밀도는 0.88이고 풍속은 0.87로 높은 상관계수를 나타냈다. Fig 3.11과 Fig 3.12는 각각의 풍향계측타워와 AWS의 자료를 함께 나타낸 그래프이다.

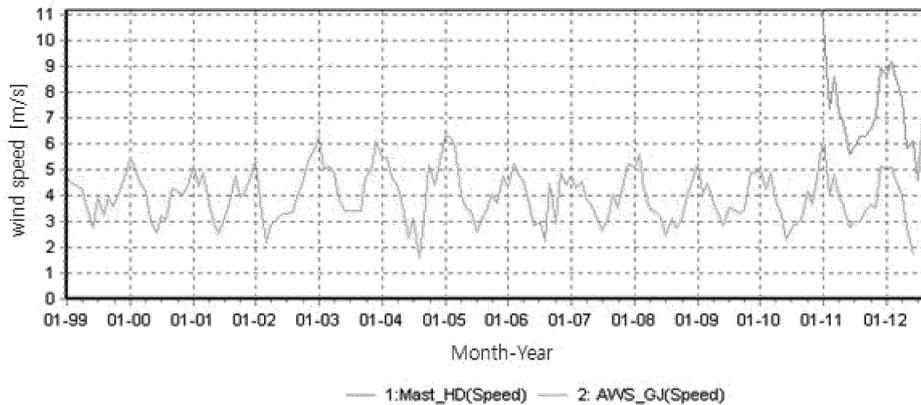


Fig 3.11 Comparison of wind speed at Met-mast of Handong & AWS.

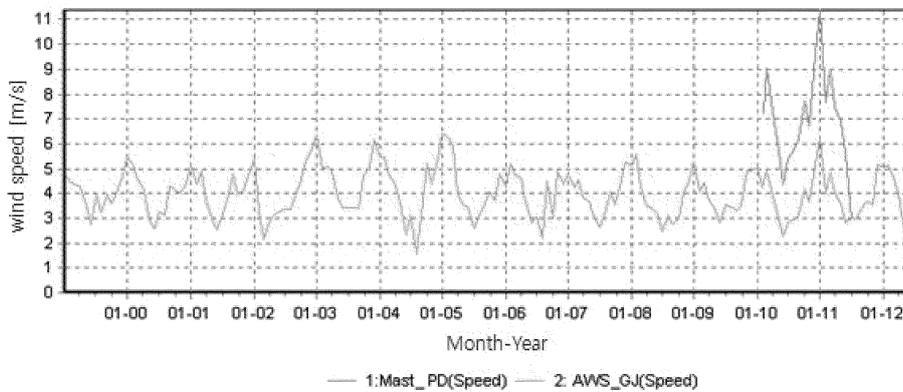


Fig 3.12 Comparison of wind speed at Met-mast of Pyeongdae & AWS.

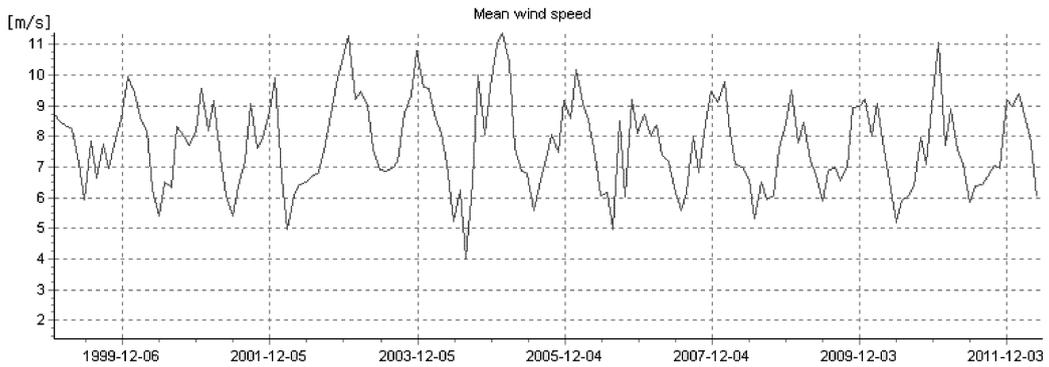


Fig 3.13 Met-mast of Handong (Matrix MCP using GJ_AWS)

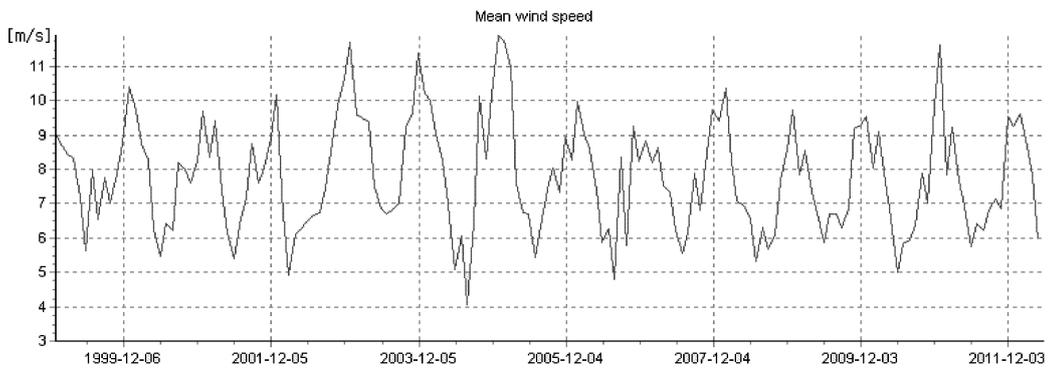


Fig 3.14 Met-mast of Pyeongdae (Matrix MCP using GJ_AWS)

Fig 3.13과 Fig 3.14는 장기간 보정된 월별 평균풍속을 나타내고, 장기간 보정된 60m의 평균풍속은 한동 7.89m/s, 평대 7.95m/s로 나타났다. 보정 전에는 한동지역의 평균풍속이 더 높았지만, 보정 후 평대의 평균풍속 값이 더 높게 나타났다.

2) 지면조도 자료

(1) 자료의 형태

래스터 구조는 좌표에 의해 정의된 셀(cell)의 집합으로 표현된다. 래스터 구조에서 선은 한 방향으로 배열되어 안전하고 있는 셀들에 의해 표현되며, 면은 사방으로 인접하고 있는 셀의 집합으로 표현된다. 이 셀을 컴퓨터에서는 화소 또는 픽셀 이라 하는데 이는 그림을 형성하는 최소단위가 되는 점을 말한다.

벡터 형식의 자료는 시작점, 크기 및 방향을 갖고 있으며 점, 선, 면 등 세 가지의 형태를 가진다. 이러한 벡터 자료는 서로 연결되는 x, y좌표의 집합으로 선,

면을 표현하고 있어 속성정보를 연계하기 쉬울 뿐 아니라 지도제작에도 유리하다. 벡터 자료는 뛰어난 위상관계를 구축할 수 있기 때문에 하천, 도로, 등고선 등의 표현에 용이하고, 위치와 속성의 일반화가 가능하며, 정확한 그래픽 표현이 가능하다. 그러나 자료구조가 복잡하고 지도중첩이 어려운 단점도 있다.

1970년대까지만 해도 래스터와 벡터의 자료구조가 조화될 수 없었으나 1980년대 후반에 들어와 지리자료의 관계형 데이터베이스 구조화 방법이 고안되면서 양자가 공간정보를 표현하는데 있어서 각각의 구조에 대한 상호 변환이 가능해졌다.

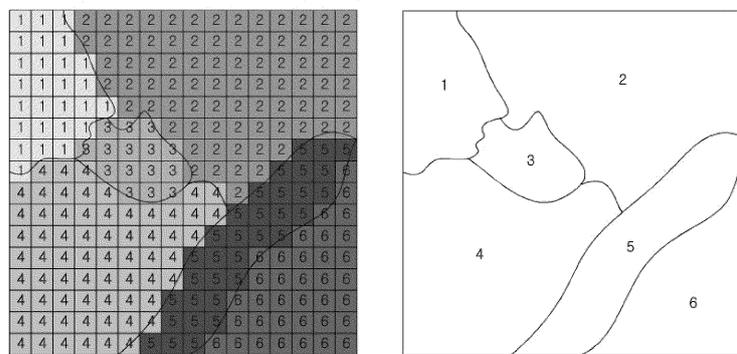


Fig 3.15 Comparison of Raster data & vector data.

(2) 자료의 변환

원격탐사 자료는 래스터(raster) 구조이며, 공간정보의 도형데이터는 일반적으로 벡터(vector)의 형식으로 표현된다. 본 연구에서 사용될 지면조도자료 또한 벡터형식의 자료로 입력되기 때문에 토지피복분류 결과 얻어진 토지피복지도를 벡터라이징하는 작업을 수행하였다. Fig 3.16은 벡터형식의 지면조도지도가 어떻게 입력되고 적용되는지를 나타낸다. 지면조도 값들은 각 벡터 라인별로 왼쪽부분과 오른쪽부분으로 구분되어 입력된다. 영상필터를 통해 단순화된 토지피복지도를 이용하여 벡터형식의 지면조도지도를 생성했다. 여기서 지면조도 값은 European Wind Atlas (Troen and Peterson, 1989)에서 제시하는 값을 사용하였고, Table 3.2는 토지피복상태에 따른 지면조도 값들을 나타낸다.

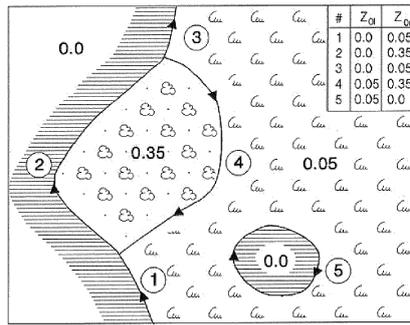


Fig 3.16 Illustration of 'roughness contours' from the WASP help file.

Table 3.2 Roughness length in European Wind Atlas (Julieta Silva 외, 2007)

No.	Classification category	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	0.2

Fig 3.17은 토지피복지도의 벡터라이징 결과 생성된 지면조도지도이고, Table 3.3에는 지면조도지도의 점과 선 객체의 수, 분류된 항목의 개수, 파일의 크기, 지도의 범위를 나타내었다.

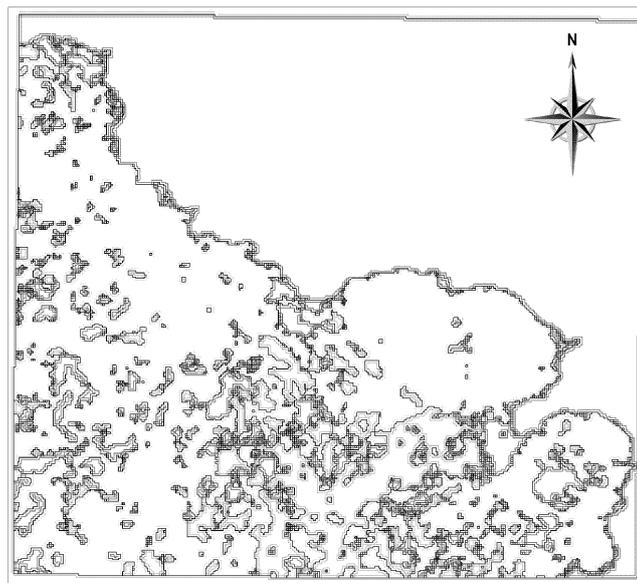


Fig 3.17 Roughness map. (Scale: 1/100,000)

Table 3.3 Characteristics of roughness map

Nodes	17460	X_{\min}	296,768.4
Lines	5444	X_{\max}	3,707,293.0
Classes	6	Y_{\min}	306,308.4
File size	612 KB	Y_{\max}	3,715,873.0

3) 지형고도 자료

지형자료는 국가공간정보유통시스템의 1:25,000 수치지도 (도엽번호:336081, 336082, 336083, 336084)를 사용하였다. 수치지도는 지표면, 지하, 수중 및 공간의 위치와 지형지물 및 지명 등의 각종 지형공간정보를 전산시스템을 이용하여 일정한 축척에 의하여 디지털 형태로 나타낸 것으로 정의된다. 수치지도에서 등고선, 해안선을 나타내는 레이어를 추출하여, 지형고도지도를 생성하였다. 아래의 Fig 3.18은 5m간격의 지형고도지도이다. 해안가로부터 한라산이 위치한 남서쪽 방향으로 갈수록 고도가 높아짐을 볼 수 있고, 이 지형고도지도의 최고 높이는 395m이다.

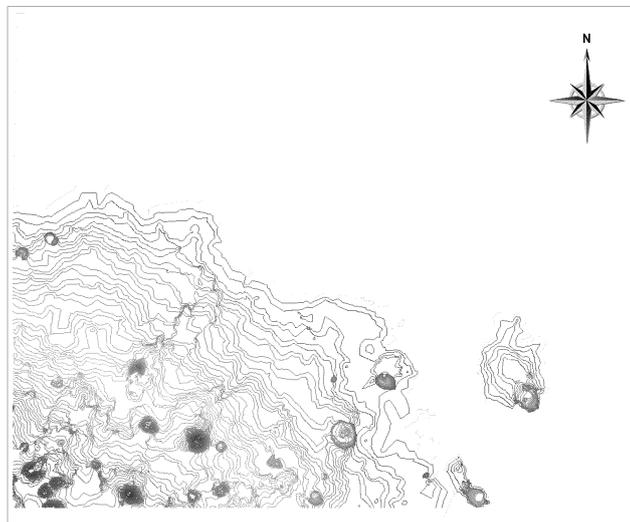


Fig 3.18 Contour map.

2. 풍력자원지도 작성

본 연구에서 해석 프로그램으로 사용된 WindPRO는 풍력자원에너지의 분석 및 평가 프로그램이다. WindPRO는 WAsP을 Solver로 사용하고 있으며, 풍속 및 에너지발전량 예측과정 또한 WAsP과 동일하다. WAsP(Wind Atlas Analysis and Application Program)은 풍력자원분석 및 평가 프로그램으로써, 덴마크의 Risø 국립연구소에서 개발되었으며, 세계 여러 국가에서 풍력잠재량의 분석 및 평가를 수행하고 풍력발전단지 설계에도 사용되고 있다(우재균, 2011).

풍력자원지도의 작성영역은 UTM(Universal Transverse Mercator Grid) 좌표계로 $X_{min}=297,800$, $X_{max}=306,250$, $Y_{min}=3,707,350$, $Y_{max}=3,715,700$ 의 범위이다. 가로 9.5km, 세로 8.5km로, 총 면적은 78.91km²이다. 입력자료는 행렬 MCP방법을 적용하여 장기간 보정된 풍황자료와 영상필터링 결과에 따라 제작된 지면조도지도, 지형고도지도를 사용하였다. 풍력자원지도의 공간해상도는 25m이고, 풍력자원지도의 범례는 미국의 재생에너지연구소(NREL; National Renewable Energy Laboratory)의 풍력에너지 등급표(Table 3)를 기준으로 각각의 등급을 2개로 나누어 세분화시켜 설정하였다. Fig 3.19와 Fig 3.20은 지면 50m 높이에서의 바람 지도, 풍력 에너지 밀도 지도이다.

Table 3.4 Wind Power density class (source: NREL)

Wind Power Class	Resource Potential	At 30 meters height		At 50 meters height	
		Wind speed [m/s]	Power density [W/m ²]	Wind speed [m/s]	Power density [W/m ²]
1	Poor	0-5.1	0-160	0-5.6	0-200
2	Marginal	5.1-5.9	160-240	5.6-6.4	200-300
3	Fair	5.9-6.5	240-320	6.4-7.0	300-400
4	Good	6.5-7.0	320-400	7.0-7.5	400-500
5	Excellent	7.0-7.4	400-480	7.5-8.0	500-600
6	Outstanding	7.4-8.2	480-640	8.0-8.8	600-800
7	Superb	8.2-11.0	640-1600	8.8-11.9	800-2000

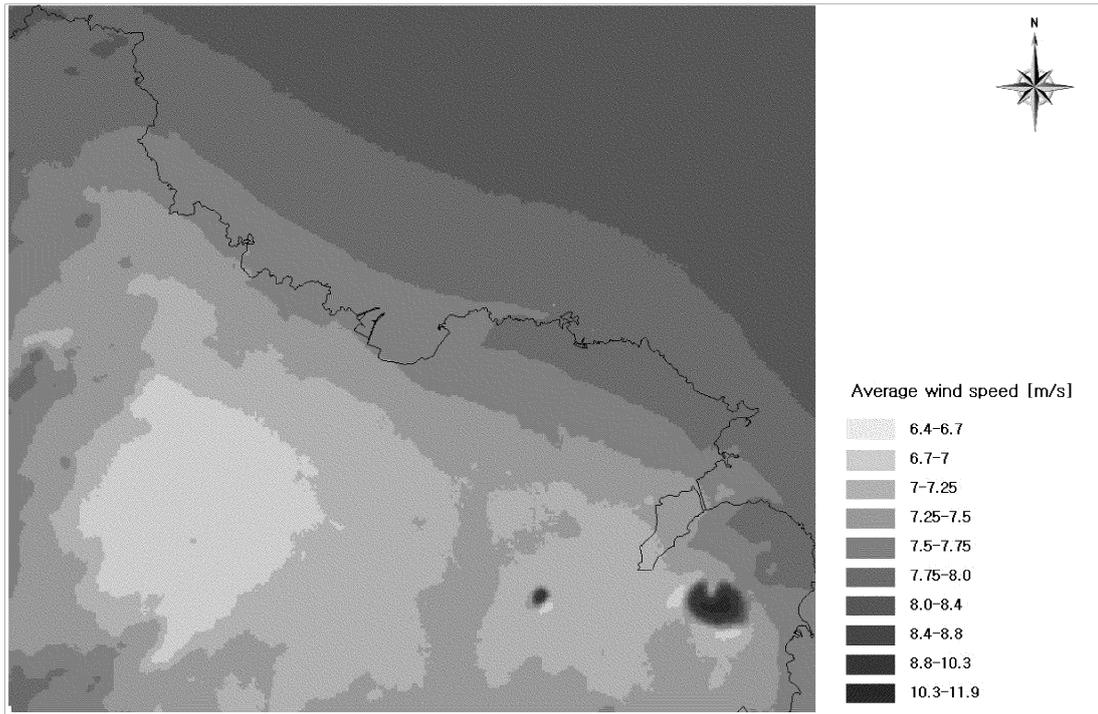


Fig 3.19 Wind speed map of study area (50m above ground level).

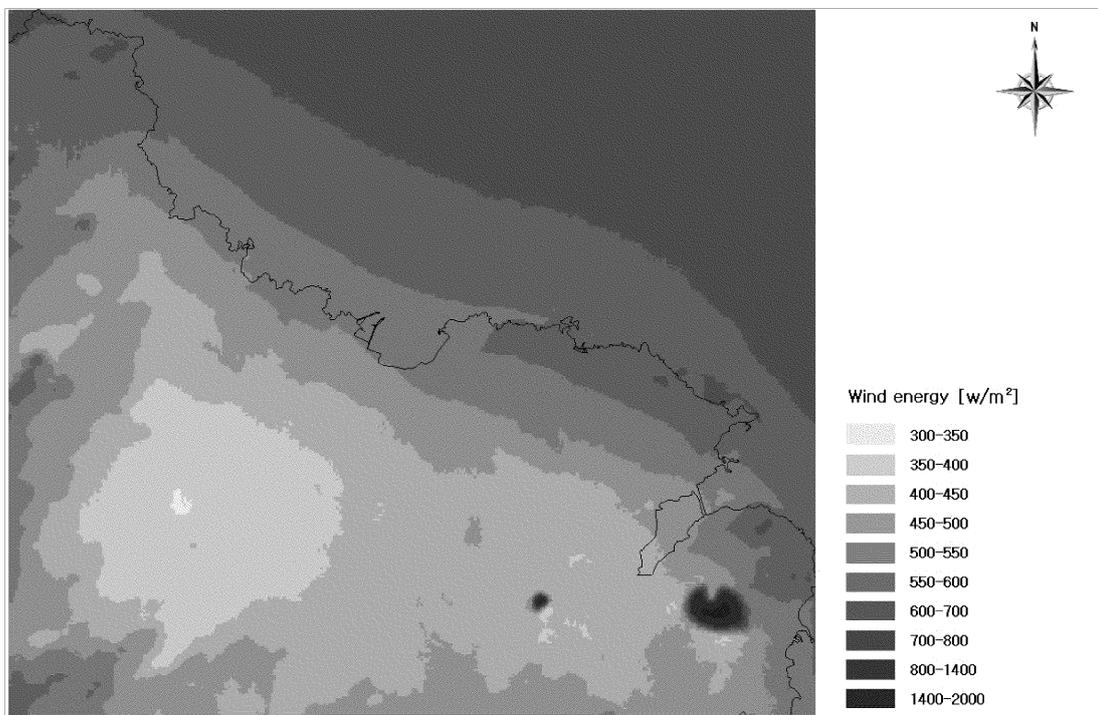


Fig 3.20 Wind power potential map of study area (50m above ground level).

DEM(Digital Elevation Model)은 지형을 격자로 구분하여 높이를 표현한 것으로 수치표고모델이라고도 하며, 지형분석 및 GIS 기반 자료로서 활용성이 높다. DEM은 수치지도의 등고선 및 고도점의 좌표를 이용하여 추출하였다. 아래의 Fig 3.21은 제주도 전역의 DEM을 생성한 후 Fig 3.19의 바람지도를 융합하여 제작한 3차원 바람지도이다.

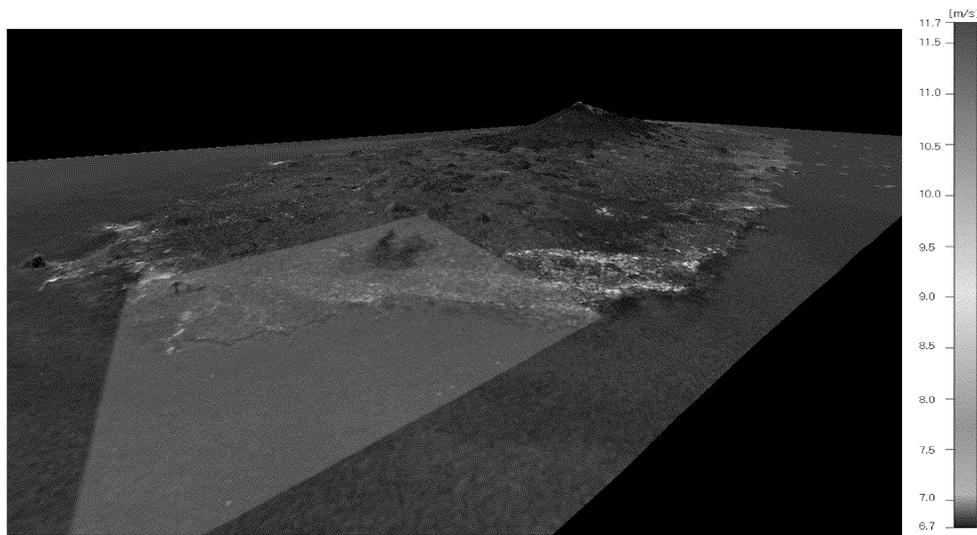


Fig 3.21 DEM covered Wind speed map.

IV. 결론

본 연구는 IKONOS의 고해상도 위성영상에 정확도와 활용도가 가장 높은 최대 우도법을 적용하여 토지피복분류를 수행하였고, 최대 빈도 필터링을 적용하여 일반화(군집화)된 토지피복지도를 작성하였다. 이를 GIS와 연계·통합하여 지면조도 지도를 생성하였고, 수집된 풍황 자료, 지형고도지도와 함께 풍력자원평가의 기초자료로 활용하여 풍력자원지도를 작성하였다.

(1) 토지피복분류의 정확도를 평가한 결과, 전체 정확도는 96.195%, Kappa 계수 값은 0.95214로 전체적인 분류결과는 우수하게 나타났다. 대부분의 항목들의 분류결과가 우수하게 나타난 반면, 시가화/건조지역의 경우는 분류결과가 낮게 나타났다. 이는 시가화/건조지역에 다양한 색들의 건물, 도로, 구조물 등이 존재해 training site를 선정할 때 여러 화소값들이 혼재되어 선택되었기 때문이라고 판단된다.

(2) 토지피복지도에 최대 빈도 필터를 적용한 결과, 해당 항목끼리의 군집화하는 경향을 뚜렷하게 나타냈다. 불규칙으로 분포한 매우 작은 군집들의 경우 일반화되어 주변 큰 군집에 흡수되는 현상을 보였다. 이는 추후 지면조도지도 생성 시 요구되는 벡터라이징 과정 중의 에러발생률을 낮추었고, 불필요한 점과 선 객체들의 수를 크게 줄여 작업의 효율성을 높였다.

(3) 필터링을 적용한 토지피복지도에 GIS 기법을 적용하여 지면조도지도를 생성한 후, 이와 풍황 자료, 지형고도지도를 가지고 풍력자원지도를 작성해 보았다. NREL의 풍력 에너지 등급표를 기준으로 보면, 오름을 제외한 대부분의 내륙지역은 3~4등급, 해안가는 5등급을 나타냈고, 해안가에서 2km 이상 떨어진 지역은 6등급을 나타내었다. 작성된 풍력자원지도는 한국에너지기술연구원의 국가바람지

도, 기상청의 풍력기상자원지도와 비교한 결과, 유사한 값을 나타냈다.

(4) 원격탐사 기술과 GIS 기술을 접목하여 풍력자원평가의 기초자료를 작성해보았다. 작업자가 육안으로 지형을 판독한 후, 디지털라이징을 통해 수동으로 작업을 수행하는 경우와 비교해보면, 작업자의 개인적인 판단오류나 실수 등의 현상을 방지하여 객관적인 지면조도지도를 생성할수 있다는 점에서 보다 효율적이라 할 수 있으며, 이를 통해 실무에 직접적인 적용도 가능할 것이라 판단된다.

참고문헌

- 구자용, 2007, 고해상도 위성영상을 이용한 토지피복도 제작기법 연구, 국토지리학회, 제 41권, 1호, pp. 83-94.
- 김용환, 이장호, 임희장, 2010, 풍력계측타워가 설치된 섬의 지형 변화에 따른 해상풍력발전량 예측 민감도 분석, 한국풍공학회, 제 14권, 3호, pp. 111-117.
- 김현구, 2005, 포항지역 풍속전단 형태분석과 측정-상관-예측법의 응용, 한국신재생에너지학회지, 제 1권, 2호, pp. 26-33.
- 김현구, 2011, WindSim을 이용한 싱가포르 바람지도 작성, 한국환경과학회지, 제 20권, 7호, pp. 839-843.
- 문서정, 고정우, 이병걸, 무빙필터 기법을 적용한 제주 우도지역의 풍력자원지도 작성에 대한 연구, 한국지형공간정보학회, 제 20권, 4호, pp.29-36.
- 사공호상, 임정호, 2003, IKONOS 영상의 토지피복분류 방법에 관한 실증 연구, 한국지리정보학회, 제 6권, 3호, pp. 107-116.
- 서현수, 경남호, 김현구, 2010, 해상풍력 구조물 설계를 위한 제주도 월정지역 풍황특성 분석, 한국풍공학회, 제 14권, 3호, pp. 161-167.
- 성호현, 2009, 풍력자원 표출을 위한 풍속지도 범례의 표준화 방안 연구, 한국지도학회지, 제 9권, 2호, pp. 81-95.
- 오현석, 고경남, 허종철, 2009, 제주 북동부지역을 대상으로 한 WindPRO의 예측 성능 평가, 한국태양에너지학회, 제 29권, 2호, pp. 22-30.
- 장동호, 김만규, 2003, IKONOS 영상자료를 이용한 토지피복도 개선, The journal of GIS Association of Korea, 제 11권, 2호, pp.101-117.
- 김상연, 2010, 디지털항공사진영상을 이용한 객체지향 토지피복 분류, 석사학위논문, 상지대학교, pp.3-15.
- 김세준, 2006, 고해상도 위성영상을 이용한 도심지 토지이용 분석, 석사학위논문, 부경대학교.

우재균, 2011, 풍력발전단지 에너지생산량 극대화를 위한 Micrositing 및 풍력발전기 선정, 석사학위논문, 강원대학교, pp.3-15.

이상민, 2010, 고해상도 항공사진의 토지피복분류 특성 연구, 석사학위논문, 경기대학교.

사공호상, 황승미, 2002, 원격탐사와 GIS 연계활용방안 연구 : IKONOS 영상을 이용한 도시지역 분석을 중심으로, 국토연구원.

제주지방기상청, 2007, 제주도 AWS 상세기후특성집, p. 110.

환경부, 2002, 인공위성영상자료를 이용한 토지피복지도 구축.

김영섭, 서애숙, 조명희, 1998, 원격탐사개론, 동화기수.

고경남, 허종철, 2007, 풍력공학입문, 문운당.

Pixoneer geomatics, PG-STEAMER Tutorials.

Bruce H. Bailey, Scott L. McDonald, 1997, WIND RESOURCE ASSESSMENT HAND BOOK, NREL, p.3-2.

Morten Nielsen, 2004, Satellite information for wind energy application, Risø National Laboratory, pp.14-18.

Troen, I., Petersen, E.L., 1989, European Wind Atlas, Risø National Laboratory.

Julieta Silva, Carla Ribeiro, Ricardo Guedes, 2007, ROUGHNESS LENGTH CLASSIFICATION OF CORINE LAND COVER CLASSES , EWEC2007.

Manwell JF, McGowan JG, Rogers AL, 2002, Wind Energy Explained, A John Wiley and Sons, Ltd, Publication.

Collin G. Homer, 1997, Landscape cover-type modeling using a multi-scene thematic mapper mosaic , Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 63(1), pp.59-67.

Per Nielsen, 2010, WindPRO 2.7 USER GUIDE 3. edition., EMD International A/S.

부록

- 영상 필터링 기법 적용의 타당성 검토-

1. 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.

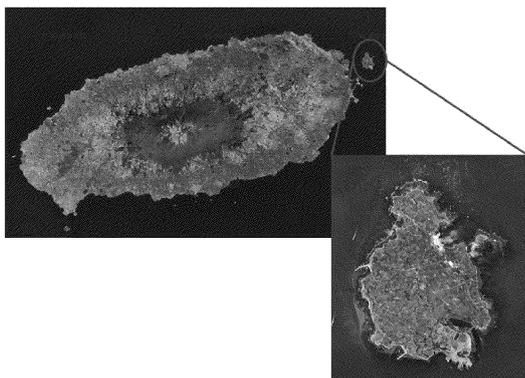


Figure 1. Study area.

1) 연구대상 지역의 토지피복지도와 지형자료

현재 우리나라의 토지이용상태를 정리하고 수치도화 작업을 통해 제작된 지도로는 환경부에서 제작한 토지피복지도가 있다. 이 중 대분류의 토지피복지도를 선정하여 사용하였다. 대분류의 경우 Landsat-7 2010년 3월 17일 영상이 사용되었고, 시가화/건조지역, 농업지역, 산림지역, 초지, 습지, 나지, 수역 등 7개 분류 항목으로 구성되어있으며, 축척은 1:50,000로 제작되었다. Figure 2는 연구영역인 우도지역의 토지피복지도이다.

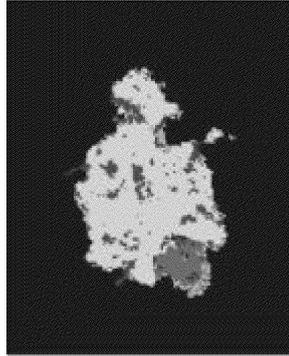


Figure 2. Land cover map of Udo
(scale:1/50,000, 도엽번호:33608).

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

2) 풍향자료

우도지역에 풍황계측타워(Met-mast)를 설치하여 수거한 실측자료와 기상청 자동기상관측소(AWS; Automatic Weather Station)의 자료를 사용하였다. 두 계측 타워간의 거리는 약 1.5km정도이다.

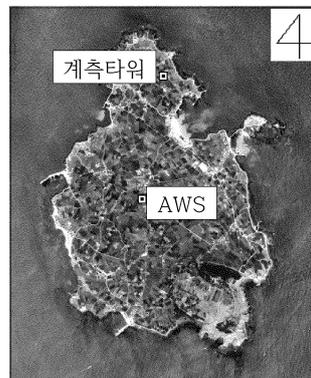


Figure 3. Met-mast & AWS, located in Udo.

우도 풍황계측타워는 위도 33° 31' 12.83", 경도 126° 57' 22.73"에 위치하고 있다. 풍황계측타워의 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.

풍황계측타워의 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)



Figure 4. Met-mast, located in Udo

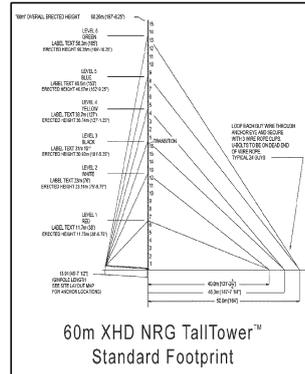


Figure 5. Met-mast drawing.

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

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

3) 자료처리 방법

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

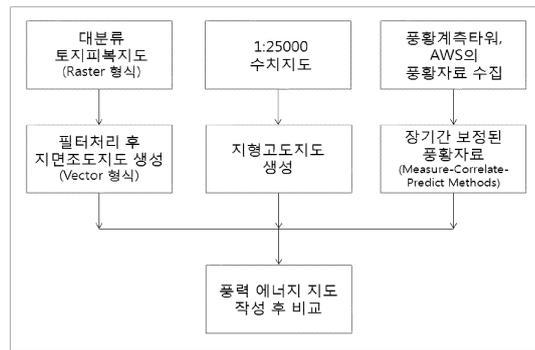


Figure 6. Flow chart of study.

2. 연구결과

1) 영상필터링을 이용한 지면조도지도 생성 및 지형고도지도 생성

지면조도지도 생성 시 객관적으로 피복상태를 분류하여 불확실성을 줄일 필요가 있어, 본 논문에서는 환경부의 토지피복지도(Raster형식)를 바탕으로 하였다.

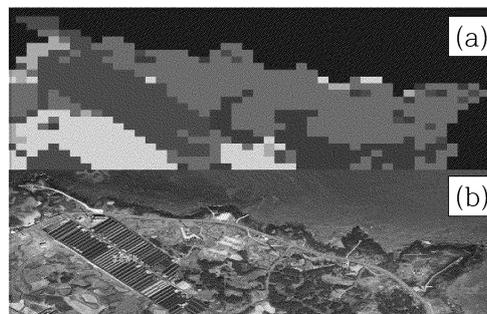


Figure 7. Complexity of land cover map.

Figure 7(b)는 해당지역의 일부를 확대한 항공사진, Figure 7(a)는 이 지역의 피복분류 결과를 나타낸다. 이와 같이 토지피복지도의 분류 결과가 노이즈를 포함하여 복잡하게 나타난다. 이러한 결과만을 가지고 지면조도지도를 생성할 시에는 벡터화하는 과정 중 에러발생률이 높았고, 지면조도지도 생성 결과 점과 선 객체들의 수가 많아 작업시간이 오래 걸리는 단점을 보였다. 이를 보완하기 위해, 지면조도지도 생성 시 토지피복지도에 영상필터링 기법을 적용하였다.(Morten

Nielsen 등, 2004)

본 논문에서는 3×3 또는 5×5크기의 필터 마스크가 영상의 좌측 상단에서 우측으로 이동해가면서 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(Vector형식)를 생성했다. 여기서 지면조도 값은 European Wind Atlas (Troen and Peterson, 1989)에서 제시하는 값을 사용하였고, Table 1은 토지피복상태에 따른 지면조도 값들을 나타낸다.

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

No.	Classification category	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

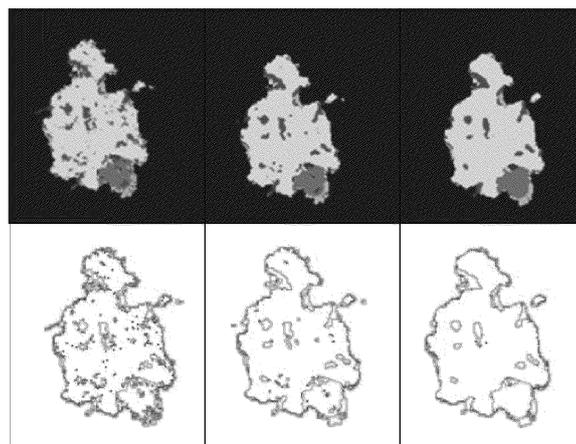


Figure 8. Roughness map using each filter (original image, 3×3 filtering, 5×5 filtering).

Figure 8의 위 그림은 순서대로 원본 토지피복지도, 3×3과 5×5 필터링한 토지 피복지도이고, 아래 그림은 이를 가지고 제작한 지면조도지도이다. Table 2은 Figure 8의 각각의 지면조도지도에 대한 특징이다. 원본 토지피복지도를 이용하여 제작하였을 때보다 필터링을 거친 후에 점, 선 객체들이 약 40%이상 줄어든 것을 확인할 수 있었다.

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

1:25,000 수치지형도에서 등고선을 나타내는 레이어를 추출하여, 지형고도 지도를 생성하였다. 아래의 Figure 9는 10m간격의 지형고도지도이다.

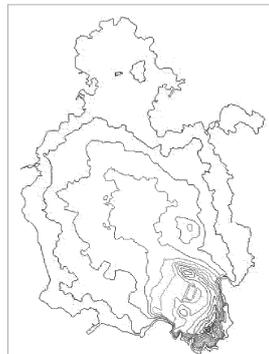


Figure 9. Contour map.

2) MCP(Measure-Correlate- Predict Method) 보정

본 연구에서는 풍력계측타워의 풍황자료와 AWS의 자료를 행렬 MCP에 적용하여 장기간 보정을 하였다. 풍력밀도와 풍속 모두 0.88의 높은 상관계수를 나타냈다.

Figure 10와 Figure 11는 장기간 보정된 풍황자료의 특성으로, 평균풍속은 8.7m/s, 겨울이 여름보다 높은 풍속을 보이고 있고, 계절풍의 영향으로 겨울과 여름의 풍향의 변동이 뚜렷함을 볼 수 있다.

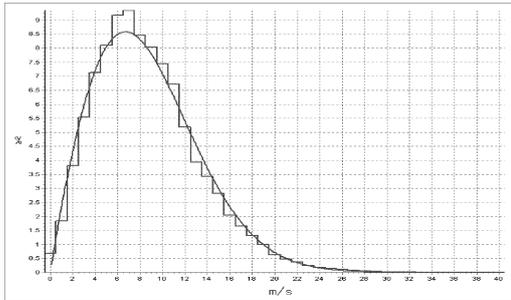


Figure 10. weibull distribution of the predicted data by MCP Method.

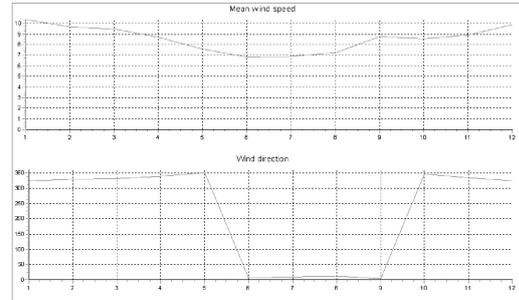


Figure 11. Monthly mean wind speed & direction of the predicted data by MCP Method.

3.3 풍력자원지도 작성

본 연구에서 해석 프로그램으로 WindPRO를 사용하였다. 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 풍황자료와 지형고도지도를 동일하게 사용하였고, 영상필터링 결과에 따라 제작된 지면조도지도를 변수로 하여 각각의 풍력자원지도(공간해상도 25m)를 작성하였다.

통계적인 분석평가를 위해 원본 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도를 각각 참값(관측값)으로 설정하고, 필터링한 지면조도지도를 적용하여 작성한 바람지도와의 정확도를 비교·검증하였다.

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

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

식 (1), (2)에서 M_i 은 예측값, O_i 는 관측값, n은 데이터의 개수이다. Bias와 RMSE(Root-Mean-Square Error)는 관측값과 예측값을 비교하여 어느 정도의

오차를 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 3. 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

Table 3에서 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 높이 50m의 RMSE 값이 높이 30m의 RMSE 값보다 작게 나타났다. 이는 높이가 높을수록 지면조도의 영향이 작아져 상대적으로 오차가 작게 나타났다고 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 영상필터

링 기법 중 무빙필터를 적용하였다. 이를 통해 원본 토지피복지도의 분류결과가 복잡하여 지면조도지도를 생성하는 벡터화 과정 시 에러발생률이 높고 작업시간이 오래 걸리는 단점을 보완할 수 있었다. 필터링을 적용한 단순화된 지면조도지도를 생성하였고 이를 가지고 풍력자원지도를 작성해봄으로써, 필터링을 거쳐 풍력자원지도를 작성하여도 타당한지 여부를 검증하였다.

(1) 필터링을 적용한 지면조도지도를 사용하여 작성한 바람지도 모두 Bias가 $-0.0061 \sim -0.0027$ m/s로 오차정도가 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 5×5 필터링을 적용하는 것이 프로그램의 계산시간을 줄여 효율성을 높일 수 있다고 판단된다.

(3) Table 3의 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.