

산지 내 풍력발전단지 입지 특성 및 적합성 분석

권순덕¹ · 주우영² · 김원경^{1*} · 김종호¹ · 김은희¹

Analyzing Site Characteristics and Suitability for Wind Farm Facilities in Forest Lands

Soon-Duk KWON¹ · Woo-Yeong JOO² · Won-Kyung KIM^{1*}
Jong-Ho KIM¹ · Eun-Hee KIM¹

요 약

본 연구의 목적은 산지 내 풍력발전단지 입지 적합성 분석을 통해 입지선정 가이드라인과 산지 훼손 최소화를 위한 제도적 개선방안을 도출하는 것이다. 먼저 풍력발전단지 입지 적합성 분석을 위해 국내외 사례 및 현장조사, 연구문헌 고찰을 통해 산지 내 풍력발전단지 입지선정을 위한 요인을 도출하고, 요인별 세부항목 및 가중치를 결정하여 이를 바탕으로 각 항목별 세부평가기준을 수립함으로써 입지 적합성 모델을 개발하였다. 강원도를 사례지역으로 선정하여 풍력자원·밀도 데이터, 법적 산지보전지역, 입지 기준 요인·항목별 자료를 토대로 공간 DB를 구축하여 산지 내 풍력발전 입지가능지역을 도출하였다. 일정 개수 이상의 풍력발전기가 입지할 수 있는 풍력발전단지 잠재 입지가능면적의 추정을 위해서 본 연구에서는 근린분석방법인 Block Statistics와 Focal Statistics 방법을 이용하였다. 그 결과 Block Statistics 방법에 의한 풍력발전기 잠재적 입지가능 면적은 1,261ha이며, Focal Statistics 방법에 의한 풍력발전기 잠재적 입지가능 면적은 1,411ha으로 나타났다. 본 연구의 결과를 바탕으로 대규모 절성도에 의한 산림재해 발생 우려 및 산지경관 훼손을 방지하기 위한 저감대책이 마련되어야 할 것이다.

주요어 : 풍력발전, 산지관리, 입지적합성, 지리정보시스템

ABSTRACT

The purposes of this study are to provide a guideline for the suitability of wind farm facilities in forest lands and to suggest improvement plans of policies and systems to minimize the damage of forest lands. First, we implemented a literature review and field surveys to examine and select factors for the suitability of wind farm

2014년 9월 11일 접수 Received on September 11, 2014 / 2014년 10월 29일 수정 Revised on October 29, 2014 /
2014년 11월 27일 심사완료 Accepted on November 27, 2014

1 국립산림과학원 산림정책연구부 Forest Policy and Economics Department, Korea Forest Research Institute

2 한국산지보전협회 산지연구센터 Forestland Research Center, Korea Forest Conservation Association

* Corresponding Author E-mail : forestland@forest.go.kr

facilities in forest lands. Spatial database for selected location factors of wind farm facilities in forest lands was constructed to develop the suitability model for locating wind farm facilities focusing on Gangwon-do. Data used in this study include wind power resource, legal mountainous preserved area, forest roads, developed areas, forest class, and other spatial data. In order to find specific-sized potential areas for a certain number of wind farm turbines, we used block statistics and focal statistics methods. As a result, the areas for potential wind farm locations were 1,261ha from a block statistics method and 1,411ha from a focal statistics method. Based on the outputs of this research, it is required to make an urgent solution for the prevention of forest disaster and to prepare reduction measures for the destruction of ridge landscape.

KEYWORDS : Wind Power Generation, Forestland Management, Suitability, GIS

서론

원유가격의 급등과 기후변화로 인해 화석에너지를 대체할 수 있는 대체에너지 개발 및 공급이 필수적이며, 이러한 상황에서 풍력발전은 신재생에너지 중에서 투자대비 효율이 높은 산업 중의 하나로서 많은 관심을 받고 있으며 증가하는 전력 수요에 맞물려 중요한 에너지 자원으로 부각되고 있다(Gamboia and Munda, 2007; Pryor and Barthelime, 2010; Jeon *et al.*, 2011).

우리나라는 제2차 국가에너지기본계획(2013~2035)에서 제1차 국가에너지기본계획(2008~2030) 시 계획한 원자력 비중을 41%에서 22~29%로 조정하고 신재생에너지 보급 비율은 제1차 때와 같이 총에너지 대비 11%를 유지하도록 계획을 수립하였다. 이에 따라 태양광은 2035년까지 30GW까지 보급하고, 풍력은 2035년까지 13GW로 육상에서는 2.5GW, 해상에서는 10.6GW 보급할 수 있는 건설 계획을 수립하였다. 우리나라의 경우 세계적인 대체에너지 개발 및 공급의 요구도 증가에 따라 2001년 8MW에서 시작하여 2012년 433MW로 총 설치 용량이 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 국내 풍력발전단지는 풍향(Wind Characteristics)에 따라 좌우되며, 풍향이 우수한 백두대간의

산간지역이나 해안지역에 집중 분포되어 있다.

현재 우리나라 전체 풍력발전소는 총 42개소 설치되어 있으며 산지 내에 14개소, 해안 27개소, 해상에 1개소 분포하고 있고, 앞으로 육상에 5곳, 해상에 5곳이 건설될 계획을 가지고 있다. 특히 육상풍력발전단지 예정지는 백두대간 등 보호지역에 예정되어 있으며, 산정부의 승인을 따라 건설될 예정이다. 이와 같이 육상 풍력발전단지의 경우 우수한 풍황자원과 상대적으로 저렴한 지가로 인해 산지에 많이 설치되어 있거나 계획 중에 있으며, 발전부지 조성과 진입도로 및 송전선로 등의 시설물 설치에 따라 산림생태계 및 자연경관의 훼손, 산사태 등과 같은 자연재해의 위험, 야생동물 및 서식지 파괴 등의 문제점이 발생하고 있는 실정이며, 사회적 논란거리로 대두되고 있어 이에 대한 대책마련이 시급한 상황이다(Park *et al.*, 2007; Kim *et al.*, 2012; Lee *et al.*, 2014).

따라서 본 연구에서는 육상풍력발전단지 설치 관련 법·제도 분석 및 기존 국내외 연구 및 사례분석과 함께 국내 기존 산지 내 육상풍력발전단지의 현황 분석을 통해 산지에서의 풍력발전단지 설치를 위한 입지적합성 요인 선정 및 기준을 개발하고, 이를 바탕으로 좀 더 현실적인 풍력발전 잠재입지 가능면적을 추정하기 위해 근린분석방법을 이용하여 집단화를 고려한 분석을 수행하고자 한다. 이를 위해서 본 연

구의 목적은 강원도를 연구대상으로 Block Statistics와 Focal Statistic 방법을 이용하여 풍력발전기 및 발전단지 잠재입지 가능지역에 대한 면적을 분석하고, 더 나아가 합리적인 산지관리방안 마련을 위한 풍력발전단지 입지에 대한 고려사항을 도출하는 것이다.

선행연구

국내 풍력발전단지 설치에 따른 입지기준에 관한 연구는 육상과 해상으로 구분하여 꾸준히 진행되어 왔다. Kwon *et al.*(2008)은 해외사례를 참고하여 풍향과 풍속 등 바람의 조건이 적절한 백두대간 일부지역, 서남해안과 동해안 일부지역을 바람직한 입지로 보았다. Song *et al.*(2012)은 독일의 풍력발전단지 입지선정 평가기준을 적용하여 국립기상연구소의 풍력-기상자원지도를 활용해 한국형 입지선정 방안에 대해서 고찰하였으며, 풍력발전단지 입지에 적합한 바람은 풍속이 강하다고 이점을 갖는 것이 아니라, 평균 5m/s 이상의 빈도가 높고 풍향도 일정해야 풍력 발전의 효율이 높다는 점을 제시하였다. Kim *et al.*(2010)은 영덕풍력 단지를 모델로 하여 적지분석의 기법을 제시하였으며, Lee *et al.*(2011)은 국내 육상풍력발전단지 조성에 따른 문제점을 정주지역의 생활환경 및 자연환경에 미치는 영향으로 구분하여 검토하였다. 국내 연구에서는 풍황자원의 경제성에만 초점을 맞추어 풍력발전단지 설치 입지를 연구하여, 생태·지형·경관·사회적 등의 풍력발전단지에 설치에 따른 훼손 및 피해에 대한 대책이 미흡한 상황이다. 또한 풍력발전 설치 시 전체지역에 대한 일괄적인 입지 적합성요인을 도출하였기 때문에 일반 해안가나 평지와 다른 산지만의 특성을 반영하지 못하고 있다.

국외 사례를 살펴보면, 먼저 일본풍력발전협회에서는 세계주요국과 일본의 풍력발전 현황을 보여주고, 풍력발전의 입지요건을 제시하였으며, 입지요건으로는 풍황자원 여부, 토지이용 현황과 연계 가능한 용량을 가지는 송전선이 근처에

있고, 중량물이나 길이가 긴 물건의 운반이 가능한 도로·항만을 이용 가능하며, 지역 환경에 영향이 작아야 하고, 현지의 행정, 주민들에게 협력을 얻을 수 있어야 한다고 제시하였다. New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO, 2008)에서는 풍력발전 도입 검토 시 입지조사를 실시하였고, 입지조사는 입지가능지구의 추출, 주변 풍황자료 수집, 자연 및 사회환경 조사, 풍력발전 시스템의 도입 규모 결정, 풍력발전기 설치 지점의 결정 순으로 진행하였다.

독일은 자연환경과 인간에게 피해를 가장 적게 주는 입지에 풍력발전기가 설치될 수 있도록 하기 위한 상세기준을 제시하였다. 소음, 초저주파, 그림자, 얼음 떨어짐 등 부정적 영향이 지속될 것으로 예상되는 지역을 배제지역으로 지정하였다. 주거지로부터 1,300m 이격 및 국제적으로 중요한 조류보호지역으로 지정된 습지 등에 설치를 금지하고 300m 완충지역을 조성해야 하며, 조류 산란장소로부터 최소 1km 이격을 시켜야 하는 것으로 배제지역 기준을 설정하고 있다.

영국은 풍력발전소 건설을 위한 입지선정 관련 고려사항에는 기초조사 시 경관평가를 실시하여 경관 지정지역을 파악하고 있으며, 시각효과를 고려하여 주요 공공 조망점에서 입지의 조망을 평가하고 있다. 또한 주거지와 의 접근성을 고려하여 소음, 반복적인 그림자 형성, 시각적 장애, 반사되는 빛 등으로 인한 영향을 살펴보고 있다. 생태계 지정지역 및 해당 지역에 출현하는 보호종과 서식환경에 관한 정보, 고고학적·역사적 유산, 공항 및 국방 시설물의 위치 등도 입지선정 시 고려하고 있다.

미국의 경우도 일본 및 유럽과 유사한 풍력발전 입지 선정 기준을 제시하고 있지만, 광대한 규모의 국토를 가지고 있기 때문에 산지에 풍력발전단지가 입지하는 경우가 많지 않다. 미국 Bureau of Land Management(2005)에서는 풍력발전기설치 시 발전기당 약 1~3에이커(약 4,000~12,000m²)정도 훼손되는 것으로 추정하고 있으며, 웨스트버지니아 풍력발전단지

의 경우, 도로 건설이나 관련된 시설 유지에 의해 발생하는 식생훼손을 포함하지 않더라도 발전기 당 1.6~2.9ha가 훼손되었고, 펜실베니아 풍력발전단지의 경우 발전기 당 4에이커 정도 훼손된 것으로 보고되었다(Boone, 2008).

국외 사례의 경우 야생동물 서식지 및 전국의 이동통로에 대한 대책 및 보존 기준을 마련하여 생태계 영향을 최소화하는데 초점을 맞추고 있으며, 공통적으로 기존 자연보호지역 및 그 주변지역 풍력발전단지 설치를 지양하고 있으며, 풍력발전단지에 의한 주변 마을주민의 피해를 최소화하기 위해 최소 500m부터 최대 10km까지의 이격거리를 기준으로 마련하고 있다.

연구방법

1. 연구절차 및 방법

산지 내 풍력발전단지 설치를 위한 입지요인을 선정하기 위해서 풍력발전 입지적합성 관련 제도 및 선행연구 검토, 현장 전문가 및 담당자의견 수렴, 기존 산지 내 풍력발전단지 입지현황분석을 실시하였다. 기후, 지형, 생태, 사회적 요인으로 나누어 풍력발전 입지적합성 요인을 검토하고 도출하였으며, 입지적합성 모형개발을

위해 요인별 항목 및 기준을 설정하고 전국을 대상으로 공간데이터를 구축한 후 풍력발전단지 입지적합성 분석을 실시하였다. 강원도 지역을 연구대상지역으로 하여 풍력발전기 및 단지의 잠재적 입지 가능 면적에 대한 분석을 Block Statistics와 Focal Statistics 방법을 이용하여 실시하였으며, 분석 결과를 바탕으로 산지 내 풍력발전단지 입지를 위한 고려사항을 도출하였다(그림 1).

구체적으로 기존 산지 내 풍력발전단지의 입지현황을 분석하기 위한 조사방법은 다음과 같다. 우선 산지 내 풍력발전단지의 단위용량, 발전기 기수, 총용량, 위치자료 등의 일반현황은 2013년 기준 한국풍력산업협회의 설비현황에서 도출하였으며, 풍력발전소의 입지구분 및 평균풍속은 2013년 산림청 내부자료인 ‘국유림 내 풍력발전단지 허가 현황’을 통해 자료를 입수하였다. 추가적인 정보를 위해 발전소 관계자들과의 전화인터뷰를 통해 대상지역 내의 산림보호구역, 백두대간 보호구역, 국립공원 등의 존재여부를 파악하였다. 또한 풍력발전소 인근의 보호지역은 국내 참고문헌 중 Kwon *et al.*(2008)의 입지요인을 기준으로 입지현황을 종합하여 검토하였으며, 산지 내 풍력발전단지

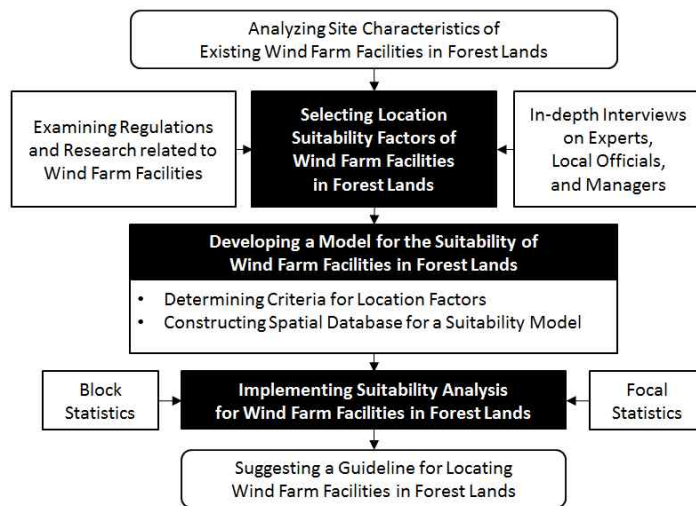


FIGURE 1. Research flow

TABLE 1. Data list for location factors of wind farm facilities in forest lands

Type	Location factor	Thematic map	Provider
Climatic factor	Average wind speed	Wind resource map	Korea Meteorological Administration
Topological factor	Slope	Digital topographic map	National Geographic Information Institute
	Elevation	Digital topographic map	National Geographic Information Institute
	Landslide risk rating	Landslide risk rating map	Korea Forest Service
Social factor	Residential areas	Land cover classification map	Ministry of Environment
	Access roads	Digital topographic map	National Geographic Information Institute
Ecological factor	Forest type	Forest type map	Korea Forest Service
	Baekdudaegan protection areas	Baekdudaegan protection map	Korea Forest Service
	Forest protection areas	Mountainous district classification map	Korea Forest Service
	National parks	Mountainous district classification map	Korea Forest Service

가 설치되기 전 훼손지역 및 진입로의 존재 여부를 확인하기 위해 대상지역의 풍력발전소가 들어서기 전인 2004년 도로 교통 지도 (1:50,000)와 온라인 공간지도를 활용하여 비교·분석하였다. 또한 풍력발전 현장조사 및 담당자와의 인터뷰를 위해서 2013년 7월부터 11월까지 강원도, 경상북도, 경상남도, 제주도 지역에 위치한 풍력발전단지 기조성지 및 예정지 총 8곳에 대한 답사를 실시하였다.

풍력발전단지 입지적합성 분석을 위한 자료 목록은 표 1과 같다. 자료간 중첩분석을 위해 자료들을 레스터 데이터로 변환하여 분석을 수

행하였으며, 공간해상도는 분석의 용이성과 전국을 대상으로 하는 측면을 고려하여 30m 격자를 이용하였다. 풍력발전기 설치를 위해서는 최소한 30m×30m 격자의 부지가 필요하다¹⁾. 또한 풍력발전기(2MW 규모) 10기를 설치하기 위한 풍력발전단지 입지의 최소면적을 9ha로 설정하고, 9ha내 10기의 풍력발전기 부지 조성을 위한 절대 필요면적인 9,000m²(30m×30m×10기) 이상을 포함하는 격자를 선택하였다. 따라서 본 연구에서는 풍력발전기 잠재적 입지 가능면적을 검토하는데 있어서 격자단위를 통한 면적추산으로 인한 과대추정을 방지하고, 단

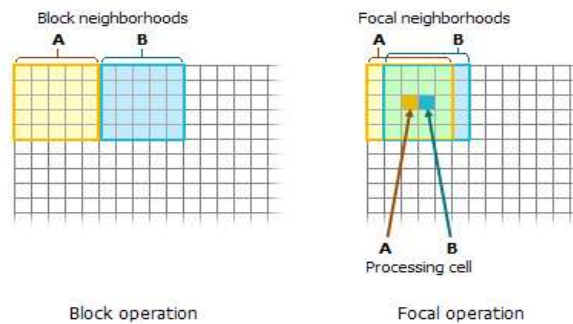


FIGURE 2. The conceptual diagram for block statistics(left) and focal statistics(right) methods
 Source: ArcGIS Resource Center
 (<http://resources.arcgis.com>)

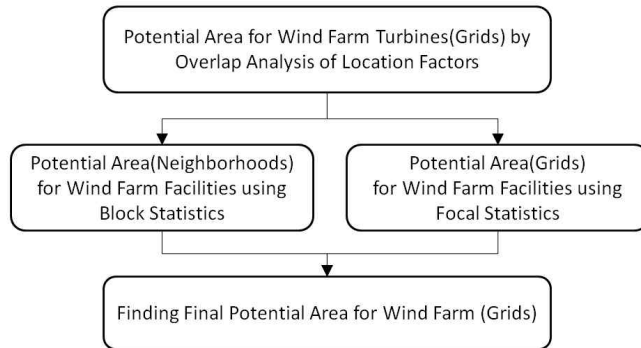


FIGURE 3. The procedure of the suitability analysis to find final potential area for wind farm

지조성을 위해 필요한 부지면적을 고려한 잠재적 입지가능면적을 추산하기 위해 근린분석방법(Neighborhood Operations)을 이용하였다. 먼저 9ha의 풍력발전단지 잠재적 입지 가능지역을 분석하기 위하여 두가지 대표적 근린분석방법인 Block Statistics와 Focal Statistics 방법을 이용하여 해당격자를 추출하였다(그림 2).

근린분석방법은 특정위치를 둘러싸고 있는 주변의 특성을 추출하는 것으로 국지적인 지역의 특성을 일정한 수치로 표현하는데 많이 사용된다. 이는 각 근린에 포함되어 있는 격자들에 대한 통계를 산출하는 방법으로, 근린은 입력자료를 통해 반복된 이동윈도우(Moving Window)의 형태로 만들어진다. Block Statistics 방법은 근린을 생성하는데 있어서 중첩이 허용되지 않으며, 일정한 크기의 근린내 포함되어 있는 격자들은 동일한 값을 가진다. 반면에 Focal Statistics 방법은 근린을 생성하는데 있어서 중첩이 허용되며, 중심격자 주변의 격자들을 포함하는 근린의 통계값을 중심격자에 할당한다.

그림 3과 같이 본 연구에서는 두 가지 방법을 이용하여 풍력발전단지 잠재적 입지가능지역 면적을 계산하였으며, 근린 단위인 9ha 내 10기 풍력발전기 부지 조성을 위한 최소면적 이상을 가진 근린을 추출하기 위해 근린분석의 통계값은 각 근린 내 격자들 풍력발전기 잠재

입지 가능면적의 총합을 이용하였다. Block Statistics 방법의 경우 형성된 근린 내 격자들의 잠재입지 가능면적의 합이 9,000m² 이상인 근린 내 모든 격자들이 풍력발전단지 잠재입지 가능지역으로 추출되었다. Focal Statistics 방법의 경우 중심격자 주변부의 잠재입지 가능면적의 합이 9,000m² 이상인 경우 해당하는 근린의 중심격자들을 풍력발전단지 잠재입지가능지역으로 설정하였다. 최종적으로 두 가지 방법을 통해서 도출된 풍력발전단지 잠재입지 가능지역 내 풍력발전기 잠재입지 가능지역을 추출하여 최종 산지 내 풍력발전 입지 가능 면적을 산정하였다.

2. 연구대상지역

풍력발전 입지적합성 분석을 강원도를 대상으로 실시하였다. 강원도는 우수한 산림환경과 함께 높은 개발 잠재력을 지니고 있는 지역이다. 강원도는 2013년 기준 산림면적이 1,368,571ha로서 산림률이 81.98%에 이를 정도로 산지가 많은 부분을 차지하고 있다. 또한 기존 산지 내 풍력발전단지 14개소 중 10개가 위치하고 있을 정도로 풍력발전 입지를 위한 좋은 지역이라고 할 수 있다. 현재 강원도 산지 내 풍력발전 총용량은 약 194MW로 전체 산지 내 풍력발전 총용량 315MW의 전체 2/3에 해당하는 용량을 차지하고 있다.

결과 및 고찰

1. 국내 산지 내 풍력발전단지 입지 현황 분석

풍력발전단지의 입지는 풍황의 요인에 따라 크게 좌우되며, 우리나라는 풍황이 우수한 산간 지역이나 해안지역에 집중 분포되어 있다. 우리나라 전체 풍력발전소는 2013년 현재 42개소에 설치되어 있으며 산지 내에 14개소, 해안 27개소 해상이 1개소 분포하고 있으며²⁾, 산지 내 위치하고 있는 각각의 풍력발전단지 입지특성을 살펴보면 표 2와 같다.

표 3에서 보는 것과 같이 우리나라 산지에 설치된 풍력발전소 14개소를 분석한 결과 강원도에 10개소가 있으며, 해발고도는 평균 795m

로 해안가 저지대를 제외하면 대부분 1,000m 정도에 위치하고 있다. 또한 14개소 중 7개소가 백두대간 핵심구역 등의 보호지역 내에 설치되어 있는 상황이다. 산지 내 풍력발전소 14개소의 지역 마을과의 거리가 평균 2.25km로 소음이나 기타 민원으로부터 피하기 위해 멀리 떨어진 지역에 설치하였고, 지방도로로부터의 거리가 평균 약 3km정도 떨어져 있지만 14개소 중 13개소에 기존 사용하던 도로가 있어 신규 진입로 개설을 하지 않았다. 풍력발전소 위치 또한 14개소 중 13개소가 기존에 훼손된 지역을 사용하여 산림훼손을 최소화 하였다.

TABLE 2. The characteristics of wind farm facilities in forest lands, South Korea

Province	Facility	Unit Capacity (kW)	No. of Turbines	Total Capacity (kW)	Mountain	Average Wind Speed	Forest Own Type	Elevation	Baekdudaegan Protection Area	Existence (Type) of Access Roads	Existence of Damaged Area	Distance to Villages	Distance to Local Roads
	Yongdae (Inje)	750	4	3,000	Obongsan	-	County Forest	405m	-	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Roads in Agricultural and Fishing Villages	700m	1.7km
	Yangyang	1,500	2	3,000	Jeom-bongsan	-	Private Forest	916m	Buffer Zone	A Station Management Road	Pumped Storage Power Station	1.9km	2.6km
	Daegwall-yeong	660	4	2,640	Daegwall-yeong	6.7m/s	National Forest	940m	Core Zone	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Ranch	4km	3.7km
	Gangwon	2,000	49	98,000	Daegwall-yeong	6.7m/s	National Forest	940m	Core Zone	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Ranch	4km	3.7km
Gangwon-do		750	1	-	-	-	-	-	-	Roads in Agricultural and Fishing Villages, and Forest Roads	Vegetable Farm in Mountain Area	464m	3.3km
	Daegi	2,000	1	2,750	Gorupogisan	-	National Forest	1,075m	Core Zone	Roads in Agricultural and Fishing Villages, and Forest Roads	Vegetable Farm in Mountain Area	464m	3.3km
	Maebong	850	8	6,800	Maebong-san	-	National Forest	1,239m	Marugeum	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Vegetable Farm in Mountain Area	1.7km	2.4km
	Taebaek	2,000	9	18,000	Deokhangsan	-	National Forest	1,028m	Marugeum	New Access Road	Vegetable Farm in Mountain Area	1km	4.2km
	Taegi (Hoeng-seong)	2000	20	40,000	Taegisan	7.6m/s	National Forest	977m	-	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Military Facility	2.5km	1.2m
	Yeongwol	750	3	2,250	Jeopsan	-	Private Forest	729m	-	Forest Roads		1.7km	12km
	Changjuk (Taebaek)	2,000	8	16,000	Maebong-san	-	National Forest	1,239m	Marugeum	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Vegetable Farm in Mountain Area	1.5km	1.9km

TABLE 2. Continued

Province	Facility	Unit Capacity (kW)	No. of Turbines	Total Capacity (kW)	Mountain	Average Wind Speed	Forest Own Type	Elevation	Baekdudaegan Protection Area	Existence (Type) of Access Roads	Existence of Damaged Area	Distance to Villages	Distance to Local Roads
Gyeong sangbuk-do	Yeong yang	1,500	41	61,500	Maeg-dongsan	7.5m/s	National Forest	631m	-	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Ranch	2.4km	1.8km
	Gyeongju	2,400	7	16,800	Joehang-san		City Forest	161m	-	Forest Roads	Ranch	3.5km	1.2km
	Yeong deok	1,650	24	39,600	-	6m/s	National Forest	160m	-	Roads in Agricultural and Fishing Villages	Forest Fire	1.1km	1.5km
Gyeong sangnam-do	Dae-myong	1,500	2	3,000	Shinbul-san	-	Private Forest	693m	-	Local Roads	Golf Course	5km	0.9km

TABLE 3. The summary of site characteristics of wind farm facilities in forest lands

Average Elevation	Average Wind Speed	Average Distance to Local Roads	Average Distance to Villages	Existence of Damaged Areas	Baekdudaegan Protection Area	Existence of Existing Access Roads
795m	6.9m/s	3km	2.25km	13 facilities	7 facilities	13 facilities

2. 산지 내 풍력발전단지 입지요인 분석

기존의 연구 및 자료들을 바탕으로 일본, 미국, 유럽 국가들의 풍력발전 입지요인과 입지불가능 지역 기준에 대해서 정리하였다(표 4). 기존 연구 및 관련 제도 분석을 통해 일반적인 풍향, 주거지 및 도로와의 거리 등의 기준을 적용하였으며, 국내 사례 및 현장조사와 전문가 인터뷰를 통해 산지 내 입지요인이라고 할 수

있는 표고, 경사, 임상, 산림보호구역 등에 대한 기준을 설정하였다. 입지선정을 위한 요인과 항목을 도출한 후 기후, 지형, 생태, 사회적 입지 조건으로 나누어 요인들을 살펴보고, 그에 따른 입지기준을 표 5와 같이 설정하였다. 각 항목별 기준을 바탕으로 강원도 산지 내 입지가능 면적을 도출하고 최종적으로 풍력발전기의 잠재적 입지 가능지역을 도출하였다.

TABLE 4. The comparison of site selection criteria for wind farm facilities in Japan, United States and Europe

Type	Country	Impossible Locations for Wind Farm Facilities
Wind Speed	Europe	England: Less than 5m/s, Others(Potential Wind Power): Less than 200~400W/m ²
	United States	Wind Speed: Less than 4~5m/s (Potential Wind Power: Less than 200~400W/m ²)
	Japan	Less than 5.5m/s
Elevation	Japan	Higher than 1,000m
	Europe	England: Higher than 10%, Others: Higher than 30%
Slope	United States	Higher than 20%
	Japan	Higher than 20 degree
	Europe	At a certain distance from following areas: 1) Natural Preservation Area, 2) Birds Habitats(5km), 3) Airport(6km), 4) Wetlands, 5) Archeological Sites, 6) Monastery
Law and Regulation	United States	1) High Forest Density Area, 2) Vegetated Areas(Except Mountainous Districts), 3) Existence of Endangered vegetation species, 4) Leisure Parks, 5) National Preservation Area, 6) Indian Reservation, 7) Karst Topography
	Japan	1) National Parks(Special Protected Areas), 2) Local Natural Parks, 3) Primeval Natural Environment Conservation Areas, 4) Natural Environment Conservation Areas, 5) Nation and local designated Wildlife Sanctuary, 6) World Natural Heritage, 7) Forest Reserve

TABLE 4. Continued

Type	Country	Impossible Locations for Wind Farm Facilities
Types of Urban Planning	Europe	Urban Area
	United States	Urban Area
	Japan	Build-up Area
Distance to Roads	Europe	Longer than 10,000m (Considering construction costs for roads)
	United States	Longer than \$82,000/km (Considering construction costs for roads)
Distance to Residential Areas	Europe	Less than 1km~2km for Residential Areas, Less than 1.5km for Traditional Village and Main Cities
	United States	Less than 1km (Villages), Less than 2km (Cities)
	Japan	Less than 500m

Source: Arranged from Aydin *et al.*(2010), Baban and Parry(2001), Boone(2008), Japan(2011), Hansen (2005), Ramirez-Rosado *et al.*(2008) and Rodman and Meentemeyer(2006)

TABLE 5. Data and criteria for location factors of wind farm facilities in forest lands

Type	Location Factor	Location Criteria
Climatic Factor	Average Wind Speed	Higher than 5m/s
	Slope	Less than 25°
Topological Factor	Elevation	Less than 1,000m
	Landslide Risk Rating	Over 3-Class
	Residential Areas	Longer than 1km from Build-up Areas
Social Factor	Access Roads	Less than 500m
	Forest Type	Below 4-Class in Forest Land Characteristic Evaluation Ecological Zone 2 and 3
Ecological Factor	Baekdudaegan Protection Areas	Except Baekdudaegan Core Zone
	Forest Protection Areas	Forest Protection Areas
	National Parks	National Parks

먼저 입지요인별 기준에 따른 각각의 해당지역에 대한 강원도 산지 내 잠재가능 면적을 추산하면 표 6과 같다. 풍력속도 5m/s 이상 지역은 333,223ha로 나타났으며, 주로 백두대간과 정맥 등 고산지대를 중심으로 분포하고 있다. 표고 1,000m 미만 지역은 1,261,611ha를 차

지하고 있으며, 경사도 기준인 25도 미만인 지역의 면적은 711,734ha로 나타났다. 산사태 위험등급이 3등급 미만인 1~2등급 지역을 재해 위험성이 높은 지역으로 판단하였으며, 해당지역의 면적은 697,548ha로 나타났다.

IV등급 미만 수령의 임분 또는 소밀도인 지

TABLE 6. Potential areas for location factors of wind farm facilities in forest lands (Unit: ha)

Type	Location Factor	Gangwon-do
Climatic Factor	Average Wind Speed	333,223
	Slope	711,734
Topological Factor	Elevation	1,261,611
	Landslide Risk Rating	697,548
	Residential Areas	531,426
Social Factor	Access Roads	319,556
	Forest Type	322,688
Ecological Factor	Baekdudaegan Protection Areas	Exclusion Area
	Forest Protection Areas	
	National Parks	

역은 주로 고산지대인 백두대간과 주요산줄기를 따라 분포하고 있으며 322,688ha를 차지하고 있다. 주거지와 거리는 풍력발전기 입지에 따른 소음 및 그림자 문제와 관련해서 중요한 요인이 될 수 있다. 본 연구에서는 산지특성평가 지침에 적용되는 기개발지 주제도를 사용하여 buffer를 이용해 1,000m 이상 되는 지역만을 선택하였으며, 주거지로부터의 거리가 1,000m 이상 떨어진 지역은 531,426ha를 차지하고 있다. 접근도로로부터 500m 미만 떨어진 지역은 319,556ha를 차지하고 있다. 마지막으로 백두대간보호지역, 산림보호구역, 국립공원지역은 배제지역으로 설정하여 중첩분석을 수행하였다.

3. 강원도 산지 내 풍력발전 입지적합성 분석

강원도 산지 내 풍력발전 입지적합성 분석을 위해서 입지요인 중 백두대간보호지역, 산림보호지역, 공원지역은 풍력발전단지 비적합지역으로 배제시키고, 각 항목별 가중치는 모두 동일하다고 가정하고 중첩분석을 통해 풍력발전기 잠재적 입지 가능지역을 추출하였다. 앞에서 분석된 입지요인별 분석 결과를 토대로 강원도의 풍력발전기 및 풍력발전단지 잠재적 입지 가능 면적을 산출한 결과, 풍력발전단지 입지를 전체

로 하지 않은 단순한 풍력발전기 잠재적 입지 (30m×30m) 가능면적은 약 1,646ha로 나타났다(그림 4).

연구방법에서 언급했던 것과 같이 풍력발전기 및 단지 입지를 통한 산지훼손을 최소화하기 위해서 풍력발전기 1기 필요면적인 90m²의 파편화된 격자가 아닌 단지로서 10기의 풍력발전기가 입지할 수 있는 면적에 해당하는 입지 가능지역을 추출하기 위해서 두 가지 근린분석 방법을 이용한 풍력발전단지 잠재입지 가능지역을 추출하였다. 풍력발전단지 잠재적 입지 필요면적을 산출한 결과, Block Statistics 방법에 의한 필요면적은 5,724ha이며 Focal Statistics 방법에 의한 필요면적은 5,701ha으로 나타났다(그림 5와 6).

앞에서 분석된 요인별 결과의 중첩을 통한 풍력발전기 잠재가능입지 면적과 비교하기 위해서, 두 가지 방법의 잠재적 풍력발전단지 입지 가능지역 내 풍력발전기 잠재적 입지 가능 면적을 재산출한 결과는 Block Statistics 방법에 의한 풍력발전기 잠재적 입지가능 면적은 1,261ha이며, Focal Statistics 방법에 의한 풍력발전기 잠재적 입지가능 면적은 1,411ha으로 나타났다(그림 7).

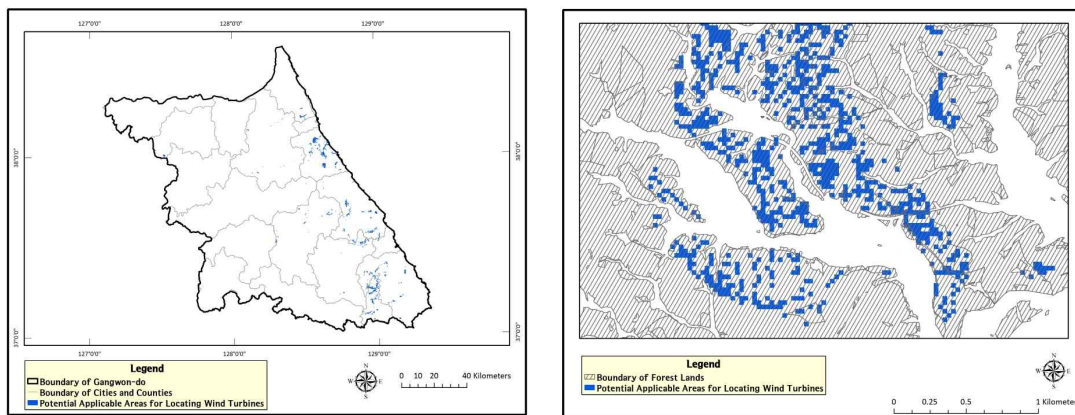


FIGURE 4. Potential applicable areas for locating wind turbines in Gangwon-do (Right: an example of enlarged areas)

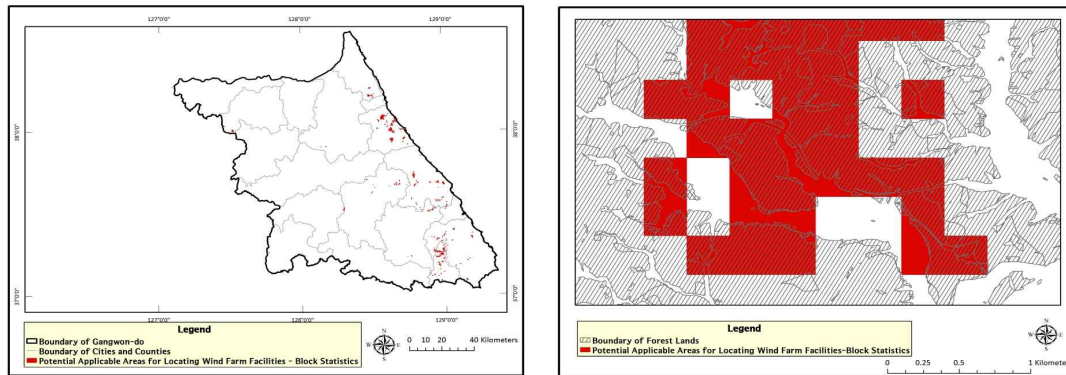


FIGURE 5. Potential applicable areas for locating wind farm facilities in forest lands of Gangwon–do using a block statistics method (Right: an example of enlarged areas)

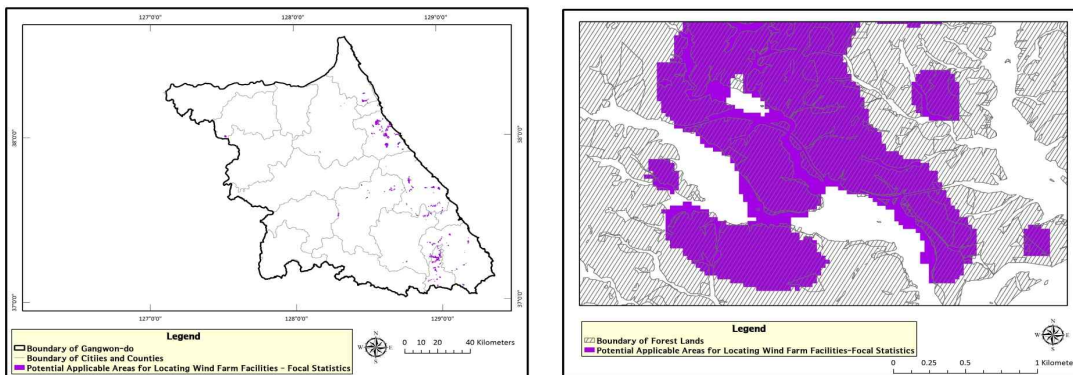


FIGURE 6. Potential applicable areas for locating wind farm facilities in forest lands of Gangwon–do using a focal statistics method (Right: an example of enlarged areas)

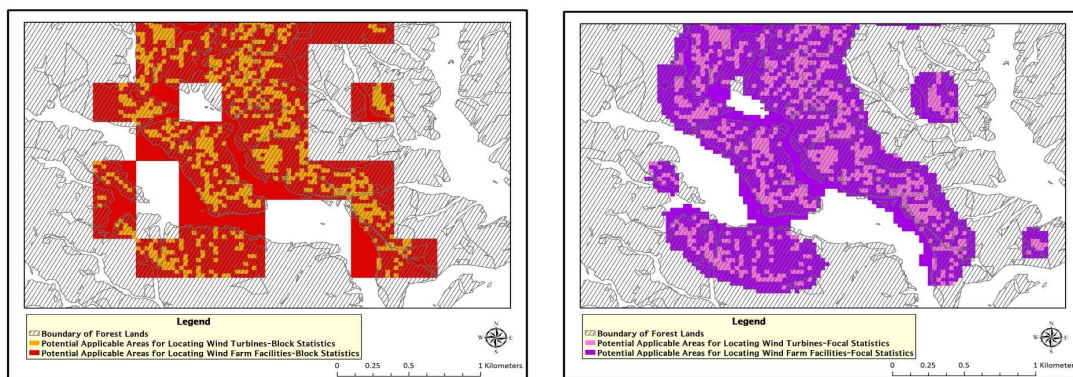


FIGURE 7. Enlarged area examples of potential applicable areas for locating wind turbines and facilities in forest lands of Gangwon–do using block statistics and focal statistics methods

본 연구에서는 풍력발전 잠재입지 가능면적을 계산하기 위하여 단순히 요인별 결과들의 중첩분석을 통한 파편화된 입지가능지역을 추출한 것이 아닌 10기 이상의 풍력발전기 집단화를 통한 단지의 입지가능지역을 분석하고자 하였으며, 또한 풍력발전단지 입지를 위해서는 발전기간 일정거리 확보, 접근도로 및 관리도로 건설 등으로 인한 면적이 필요하기 때문에 위와 같은 형태의 근린분석이 필요할 것으로 판단하였다. 기존 격자단위 풍력발전기 잠재적 입지가능면적을 산출한 결과는 약 1,646ha로 나타났지만, 근린분석의 Block Statistics와 Focal Statistics의 두 가지 방법을 이용하여 부지조성을 고려한 잠재적 입지가능면적을 산출할 수 있었다. 분석결과 기존의 소규모 파편화된 가능지역이 제외된 1,261ha와 1,411ha의 면적이 각각의 방법을 통해서 추출되었다. Block Statistics 방법의 경우, 근린단위로 추출되기 때문에 격자단위 계산으로 인한 풍력발전 잠재입지 가능면적의 과대추정을 방지할 수 있을 것으로 생각된다. Focal Statistics 방법의 경우 근린의 값을 각 중심격자에 할당함으로써 근린의 성격을 고려할 뿐만 아니라 격자단위 계산을 통한 Block Statistics보다 더 자세한 분석이 가능하지만, 격자단위 계산으로 인해서 여전히 잠재입지 가능면적에 대한 과대추정 가능성을 내포하고 있다는 단점을 가지고 있다.

결 론

본 연구에서는 산지 내 풍력발전단지 입지 적합성 분석을 위해 기후적·지형적·생태적·사회적 요인별 항목을 도출하고 문헌조사와 현장조사를 통해 항목별 기준을 선정하였다. 풍력발전단지 입지 적합성 분석에 사용되는 9개의 요인에 대해 공간자료를 구축, GIS 기반의 이진논리에 의한 중첩분석을 위해 공간자료를 래스터로 변환 및 중첩하여 풍력발전단지 입지가능 면적을 분석하였다.

풍력발전단지 입지 적합성 분석을 위한 조건으로 산지 내 풍력발전기 1기 부지 조성을 위해서는 30m×30m가 필요하지만, 산지 내 풍력발전단지 입지를 위해서는 최소한 10기 이상의 풍력발전기가 설치가능한 곳을 잠재적 입지 가능지역으로 가정함으로써 개별적 사업에 대한 산림훼손을 최소화할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 근린분석방법인 Block Statistics와 Focal Statistics 방법을 이용하여 집단화된 풍력발전단지 잠재입지 가능면적을 도출하였으며, 잠재입지 가능면적을 재산출한 결과는 Block Statistics 방법에 의한 면적은 1,261ha이며, Focal Statistics 방법에 의한 면적은 1,411ha로 나타났다. 이는 기존 파편화된 풍력발전기 잠재입지 가능면적에서 소규모의 독립적인 가능지역들이 제외된 결과이다. 이와 같이 본 연구에서는 단순히 입지기준에 의한 풍력발전기 입지 가능지역 도출뿐만 아니라 이러한 풍력발전단지 잠재입지 필요면적을 고려함으로써 산림훼손의 최소화하기 위한 노력을 강구하였다. 그렇지만, 산지 내 풍력발전단지 입지를 위해서는 이러한 정량적인 분석뿐만 아니라 산림훼손을 최소화하기 위한 대책마련이 시급한 상황이다. 단순히 사업면적 뿐만 아니라 시설 설치 시 필요한 진입로 개설 또는 확장이 요구되고, 면적 훼손 보다는 선적 훼손이 발생하기 때문에 단순한 면적 대비 비교 보다는 주변 산림과 생태계에 미치는 영향을 고려하여 입지를 선정해야 할 것으로 판단해야 할 것이다.

따라서 산지 내 풍력발전단지 입지기준 설정을 위한 개선방안으로는 첫째, 기 산지 훼손지역 중심의 풍력발전 설치가 이루어져야 한다. 임도, 군 작전도로 및 시설지역, 통신 도로, 초지, 고랭지 채소밭 등 이미 훼손된 지역 및 도로가 있는 곳에 위주의 풍력발전시설을 설치해야 하며, 백두대간보호지역 또는 그 밖의 보호지역 내에 기 훼손지가 존재할 경우 입지 기준을 완화하여 적용할 수 있도록 해야 할 것이다. 둘째, 도로신설 및 확장시 절·성토량의 정량적

기준을 제시해야 한다. 전면적인 도로신설, 대규모 절·성토가 발생하지 않도록 계량화된 기준(일본의 경우 절·성토 높이 변화 1.5m 이내)을 제시하여 객관적인 근거 마련이 필요하다. 셋째, 산지경관 훼손의 최소화 및 저감대책 마련이 필요하다. 송전 시 송전탑 및 전신주 설치를 억제하며, 전기시설의 지중화를 통하여 스카이라인 및 능선의 경관 훼손을 최소화할 수 있는 방안을 강구해야 한다. 마지막으로 산지 내 풍력발전단지 설치에 대한 지역 주민의 동의를 법적 절차로 규정하여 소음, 그림자 등의 사회적 갈등 문제를 최소화해야 할 것이다.

이러한 개선방안 도출을 위해서 향후 산지 내 기 훼손지역 DB화 및 풍력발전 진입로의 명확한 기준 제시가 되어야 할 것이다. 산지 내 존재하는 농로나 작업로는 수치지형도에 존재하지 않아 공간분석에서 배제되고 있으며, 재해를 예방하고 경관 훼손을 최소화 할 수 있는 진입로에 대한 명확한 기준 제시를 통해 진입로 개설로 인한 불필요한 논쟁과 민원을 최소화 할 수 있다. 또한 풍력발전단지에 대한 경관영향평가 방법 개발 및 저감 대책 마련이 필요하다. 풍력발전단지에 대한 사람들의 경관 선호도가 엇갈리고 있는 만큼, 정량적인 경관분석기법 도입을 통해 스카이라인 및 능선 훼손에 대한 객관화된 경관영향검토 방법 개발이 필요할 것이다. 마지막으로 비탈면 및 능선, 경사도 측정방법 개발 및 경사도에 따른 풍력발전단지 입지기준 마련도 필요하다. 칼날 능선 및 수직 비탈면 등에 시설물을 설치하면 재해 위험성이 높아지고 수직 단면의 많은 산지 훼손이 발생할 수 있으므로 명확한 경사도 기준을 제시해야 할 것이며, 평균경사도가 아닌 진입로 및 시설물 설치 지역의 비탈면 경사도 측정 방법의 객관화가 필요하다. **KAGIS**

주

1) 풍력발전기 설치 및 공사를 위해서는 대형

크레인 설치 등을 위해 최소한 50m×50m 크기의 부지가 필요하지만, 본 연구에서는 풍력발전기 입지 가능면적에 초점을 맞추어서 풍력발전기 부지조성에 필요한 30m×30m 격자 크기를 기준으로 하였다.

2) 울릉도 풍력발전단지는 국유림 지역에 위치하고 있으나 섬에 위치하여 해안으로 구분한다.

REFERENCES

- Aydin, N.Y., E. Kentel and S. Duzgun. 2010. GIS-based environmental assessment of wind energy systems for spatial planning: a case study from Western Turkey. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:364-373.
- Baban, S.M.J. and T. Parry. 2001. Developing and applying a GIS-assisted approach to locating wind farms in the UK. *Renewable Energy* 24:59-71.
- Boone, D. 2008. Using GIS Technology To Evaluate Forest Habitat and Public Land Impacts of Wind Energy Development. *Wildlife & Wind Energy Conference*, Kutztown University, Pennsylvania.
- Bureau of Land Management. 2005. *Overview of Wind Energy Projects*.
- Gamboa, G. and G. Munda. 2007. The problem of windfarm location: a social multi-criteria evaluation framework. *Energy Policy* 35:1564-1583.
- Japan Wind Power Association. 2011. *Issues and Missions of Japan Wind Energy* (일본풍력발전협회. 2011. 일본의 풍력발전의 현황과 과제).
- Jeon, S.H., S.M. An, Y.J. Choi and H.H.

- Sung. 2011. A study on the site selection for wind power using GIS. *New Renewable Energy* 7(3):83-91 (전상희, 안승만, 최영진, 성호현. 2011. GIS를 이용한 풍력발전단지 최적입지 선정방법에 관한 연구. *신재생에너지* 7(3):83-91).
- Kim, H.G., H.J. Hwang, J.H. Kim, S.H. Ko and W.S. Jung. 2010. Case study of wind farm design using OpenWind: Youngdeok wind farm. *Journal of the Environmental Sciences* 19(9):1169-1175 (김현구, 황효정, 김주현, 고수희, 정우식. 2010. OpenWind를 이용한 풍력단지 설계 사례연구: 영덕풍력발전단지, *한국환경과학회지* 19(9):1169-1175).
- Kim, K.D., C.Y. Yun, M.H. Jo and S.J. Kim. 2012. Development of a suitability analysis system for wind energy facilities using 3D web GIS. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 15(3):81-90 (김광득, 윤창열, 조명희, 김성재. 2012. 3차원 Web GIS 기반 풍력에너지 시설물 적지분석 시스템 개발. *한국지리정보학회지* 15(3):81-90).
- Kwon, Y.H., J.Y. Kim and M.J. Lee. 2008. Environmental considerations in the siting of solar and wind power plants. Korea Environment Institute. 157pp (권영한, 김지영, 이민주. 2008. 환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인. *한국환경정책평가연구원*. 157쪽).
- Lee, M.J., S.J. Lee and C.Y. Lee. 2014. An integrated information distribution system for mountain ridgelines using spatial information. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 17(2):107-120 (이명진, 이수재, 이창연. 2014. 통합정보제공을 위한 공간정보 기반의 국내 능선축 구축. *한국지리정보학회지* 17(2):107-120).
- Lee, S.B., G.H. Sa, Y.J. Ju, S.Y. Shim, Y.H. Seo, Y.H. Kwon, J.Y. Kim and Y.S. Im. 2011. A study on the environmental assessment of wind farm: I. Onshore wind farm. Korea Environment Institute. 96pp (이상범, 사공희, 주용준, 심숙연, 서윤희, 권영한, 김지영, 임영신. 2011. 풍력발전단지 환경평가 방안 연구: I. 육상풍력발전. *한국환경정책평가연구원*. 96쪽).
- New Energy and Industrial Technology Development Organization(NEDO). 2008. Wind Power Introduction Guide 9th Edition (NEDO. 2008. 풍력발전 도입 가이드북).
- Park, Y.K., S.D. Kwon and T.K. Kim. 2007. Development of ridge distinction program of the mountainous districts using GIS program. *Journal of the Korean Association of Geographic Information Studies* 10(4):87-96 (박영규, 권순덕, 김태균. 2007. GIS를 활용한 산지의 능선구분 프로그램 개발. *한국지리정보학회지* 10(4):87-96).
- Pryor, S.C. and R.J. Barthelmie. Climate change impacts on wind energy: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 14:430-437.
- Ramirez-Rosado, I.J. E. Garcia-Garrido, L.A. Fernandez-Jimenez, P.J. Zorzano-Santamaria, C. Monteiro and V. Miranda. 2008. Promotion of new wind farms based on a decision support system. *Renewable Energy* 33:558-566.
- Rodman, L.C. and R.K. Meentemeyer. 2006. A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California.

Energy Policy 34:2137–2149.

Song, K.Y., C.H. Bang, Y.S. Park and Y.J. Choi. 2012. Research and analysis for developing of evaluation on the site selection of wind farm. Journal of the

Wind Engineering Institute of Korea 16(1):3–12 (송근용, 방철한, 박영산, 최영진. 2012. 풍력발전단지 입지선정 기술개발을 위한 기반조사 및 사례분석, 한국풍공학 회논문집 16(1):3–12). **KAGIS**