

GIS를 이용한 풍력발전단지 최적입지 선정방법에 관한 연구

전상희*, 안승만, 최영진, 성효현**

A Study on the Site Selection for Wind Power Using GIS

Sanghee Jeon*, Seungman An, Youngjean Choi and Hyohyun Sung**

Abstract

The purpose of this study is to select appropriate location factors for wind power plant, provide detailed classification criteria, and find out appropriate sites for installing wind power plant in Gangwondo. In this study, the following 11 factors were extracted for site selection of wind power plant : wind resource, topography (valley angle, distance to the ridge), forest density, land use, preservation area, national park, Baekdu-Daegan, noise, shade, Transmission Line, and approaching roads. Each factor had relatively different level of importance so that AHP (Analytic Hierarchy Process) technique was used to calculate the weighted value per factor. For overlay analysis, classification criteria were prepared for each factor and each factor was classified into 3 grades : very appropriate, intermediate, poor. According to overlay analysis, the areas which received the highest grade (grade 5) was only in 0.16% of the total area of Gangwondo and had a tendency to exist along the mountain ridge over 600-meter elevation. Through analyzing the yearly average of wind power density, it was proved that the wind power density of areas with grade 4 or 5 had abundant wind resource over 400 W/m².

Key words

Wind Power(풍력), Site Analysis(입지분석), Analytic Hierarchy Process(계층분석과정), GIS

(접수일 2011. 7. 29, 수정일 2011. 8. 27, 게재확정일 2011. 9. 1)

* 국립기상연구소

■ E-mail : shjeon1124@korea.kr ■ Tel : 070-7850-6825 ■ Fax : (02)834-5922

** 이화여자대학교 사회생활학과

■ E-mail : hhsung@ewha.ac.kr ■ Tel : (02)3277-2668 ■ Fax : (02)3277-2659

Nomenclature

P : power, W
 A : unit area, m^2
 ρ : air density, kg/m^3
 V : wind speed, m/s

subscrip

AHP : analytic hierarchy process
 $NASA$: national aeronautics and space administration
 $WAMIS$: water management information system

TM : *transverse mercator*
 AWEA : *american wind energy association*
 DNR : *deutscher naturschutzring bundesverband fuer umweltschutz*

1. 서론

요즘 세계 각국은 에너지와 관련하여 소리 없는 전쟁을 치르고 있다. 에너지 수요가 점점 급증하는데 반해 화석연료는 고갈위기에 놓이면서 에너지 공급이 심각한 문제로 떠오르고 있다. 세계 각국은 에너지의 많은 부분을 차지하고 있는 석유, 원자력, 석탄과 같은 에너지 고갈에 대비하고 국제기후변화 협약 등 국제적인 환경규제에 능동적으로 대처하기 위해 신·재생에너지 개발을 적극적으로 추진하고 있다. 특히, 에너지의 96.6%를 해외에 의존하고 있는 우리나라의 경우 대체 에너지의 개발과 보급이 시급하다고 할 수 있다.

신·재생에너지 중 풍력발전은 환경 친화적일 뿐만 아니라 낮은 단가(60~90원/kWh)로 인하여 화력발전(석유:67원/kWh)과 필적할만한 경제성을 가지고 있다¹⁾. 그리고 풍력발전은 신·재생에너지 중 기술성숙도가 가장 우수하여, 미국과 유럽에서는 풍력에너지 개발 및 보급이 활성화단계에 있다²⁾.

이런 세계의 흐름에 맞춰 우리나라 정부는 제3차 국가에너지기본계획(2008년~2030년)을 발표하고 신·재생에너지 보급률을 2008년 2.49%에서 2030년 11%로 확대하겠다는 계획을 발표했다. 이중 풍력은 2008년 106,000toe¹⁾에서 2030년 4,155,000toe로 약 40배 확대될 것으로 예상된다. 이처럼 국가적인 차원에서 풍력발전 보급이 촉진됨에 따라 앞으로 더 많은 풍력발전기가 세워질 것으로 보인다. 이때 계획에 맞춰 설치용량만 증가시키는 것이 아니라 효율성을 가지면서도 풍력발전기로 인한 부정적 영향을 최소화시킬 수 있는 장소에 풍력발전기를 건설해야 할 것이다.

풍력발전기는 한 번 세워지면 장소 이동이 어렵고 세워지

는 위치에 따라 발전량에 차이가 크므로 입지선정이 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 입지선정에 대한 연구는 많이 이뤄지지 않고 있다. 풍속, 풍향과 같은 자연적인 부분에만 초점을 맞춘 연구가 많으며, 풍력발전단지를 설치하기에 적절한 기준을 제시하고 있는 논문은 찾아보기 힘들다. 실제로 풍력발전기를 설치할 때에는 자연적인 요인들뿐만 아니라 환경적인 부분, 풍력발전기와 사람들과의 상호작용, 경제적인 부분 등을 동시에 고려해야만 한다. 또한 풍력발전단지를 계획하는 국가나 기업은 풍력발전기를 세우기에 적절한 정도를 알려주는 기준을 필요로 한다.

이에 본 연구에서는 우리나라에 적합한 풍력발전단지 입지 요인들을 선정하고 이에 대한 상세한 분류기준을 마련하고자 한다. 그리고 이를 적용하여 풍력발전단지가 입지하기에 적절한 장소를 강원도를 중심으로 분석해보고자 한다.

2. 풍력발전단지 입지선정을 위한 요인 분석

문헌연구를 통하여 1차적으로 풍력발전단지 입지선정 시 고려해야 할 요인들을 도출하였다. 산업자원부(2006)⁴⁾를 통하여 바람자원, 송전선로, 접근도로를 고려요인으로 도출하였으며, 한국정책·평가연구원(2008)⁶⁾을 통하여 백두대간 보호지역, 소음, 그림자를 고려해야 할 요인으로 도출하였다. 또한 Rodman and Meentemeyer(2006)⁹⁾을 통하여 골짜기 각도, 능선까지의 거리, 산림밀도, 토지이용, 보존지역, 개발된 지역을 고려해야 할 요인으로 도출하였다.

도출된 요인들이 현장에서 실제로 고려되고 있는 요인지, 문헌에는 나와 있지 않지만 현장에서 고려되고 있는 요인들은 없는지를 확인하기 위하여 강원도 지역 풍력발전단지 운영관계자 8명과 풍력발전기 제조회사 관계자 2명에게 인터뷰를 하였다. 전문가 인터뷰를 통하여 위에서 도출된 요인들이 실제 입지선정 시 고려되고 있는 요인들임을 확인할 수 있었으며, 위의 요인들 이외에 국립공원, 지역수용성²⁾, 토지가격, 국가의 가격제도와 같은 요인이 있음을 알 수 있었다. 그러나 본 연구가 후보지가 없는 상태에서 강원도 전체지역을 대상으로 이루어지고, GIS라는 공간기반 도구를 사용한다는 점에서

2) 풍력발전단지가 들어설 지역 주민들의 풍력발전에 대한 수용성 정도.

1) TOE(티오이)는 '석유환산톤'이라고 표현할 수 있다. 에너지의 양을 나타내는 단위이다. 영어로는TOE(Tonnage of Oil Equivalent)이며 석유1톤을 연소할 때 발생하는 에너지를 1석유환산톤이라고 정의하고 있다. 예컨대, 1000toe/년 이라고 한다면 1년 동안 1,000톤의 석유를 연소하여 발생하는 에너지의 양이라고 보면 된다.

지역수용성과 국가의 가격제도는 본 연구에서 제외되었다. 토지가격 또한 실제 매입가격과 공시된 가격이 다르며 복잡한 상호관계가 얽혀 있어 본 연구에서처럼 후보지를 도출하는 것이 아닌 몇 개의 후보지를 비교할 때 이루어지는 것이 더 효율적일 것으로 예상되어 제외하였다. 또한 외국 문헌을 통해 도출된 요인들은 우리나라에 적합한 요인들로 대체하였다.

이에 따라 바람자원, 지형, 산림밀도, 토지이용, 보존지역, 국립공원, 백두대간, 소음, 그림자, 송전선로, 접근도로와 같은 총 11개의 요인이 풍력발전단지 입지선정 시 고려해야 할 요인으로 도출되었다.

Rodman and Meentemeyer(2006)은 바람자원을 풍속으로 보고 연구를 진행하였으나, 본 연구에서는 바람자원을 대표하는 데이터로 풍력밀도를 사용하였다. 풍력밀도는 그 위치에서 풍력발전기에 의해 전환되어지는 에너지의 양을 말하는 것으로 해당지역의 바람자원을 평가하는 유용한 방법이다. 풍력밀도를 구하는 일반적인 공식은 다음 식 (1)과 같다.

$$\frac{P}{A} = \frac{1}{2} \rho V^3 \quad (1)$$

3. AHP기법을 이용한 가중치 산출

위와 같이 도출된 요소들 중에는 풍력발전단지 입지선정 시 매우 중요하게 고려되어야 할 것이 있고 상대적으로 그 중요도가 낮은 요인도 있다. GIS 중첩 분석 시 모두 같은 중요도를 주고 분석하는 것보다 중요도에 따라 다른 가중치를 주어 분석하는 것이 더 신뢰성 있는 결과가 도출될 것이다. 이에 AHP기법을 사용하여 각 요인의 가중치를 산출하였다.

AHP는 다기준의사결정방법 중의 하나로써 1970년 대 초 펜실베이니아 대학의 Thomas Saaty 교수가 개발한 방법이다. AHP 접근방법은 상호관련성이 적은 배타적 대안들을 체계적으로 평가할 수 있도록 해줌으로써 의사결정자가 직면하는 복잡성과 어려움을 해결해준다. 즉, 주어진 대안의 가치를 객관적이고 일관성 있게 판단하여 중요도 또는 가중치를 산출하는 방법이다⁵⁾. 일반적으로 AHP기법은 요인도출, 계층구조 설계, 쌍대비교, 일관성 검증, 우선순위 및 가중치 결정이라는 단계를 따르게 된다. 이에 본 연구에서는 위와 같은 단계를 따라 AHP기법을 적용하였다.

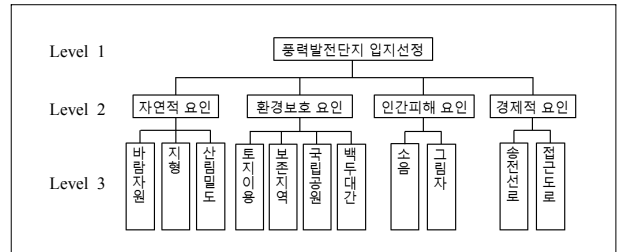


Fig. 1 Hierarchy structure for wind farm location selection

풍력발전단지 입지선정 시 고려해야 할 요인들은 문헌연구와 이를 바탕으로 한 전문가 인터뷰를 통해 총 11개의 요인이 도출되었다. 도출된 요인들을 풍력발전단지 입지선정이라는 목표(Level 1) 아래 풍력발전기에 큰 영향을 미치나 인간이 바꾸기 어려운 자연적 요인, 환경적인 면에서 보호되어야 하거나 법적으로 제한되어져 있는 지역을 고려하기 위한 환경보호 요인, 풍력발전단지와 인간의 상호작용을 고려하기 위한 인간피해 요인 그리고 풍력발전단지를 세우는 기업들에게 있어 중요하게 고려되어지는 경제적 요인으로 분류(Level 2)하였다(Fig. 1).

위의 계층구조를 기반으로 쌍대비교를 위한 설문지를 작성하였으며, 강원도 지역 풍력발전단지 운영관계자, 풍력발전담당 공무원, 풍력발전기 제조 회사 관계자를 대상으로 설문 조사를 실시하였다. 수집된 설문지 12개에 대하여 일관성 비율³⁾을 산출한 결과 요구되는 일관성 비율에 적합한 설문지의 수는 7개(강원도 지역 풍력발전단지 운영관계자 4명, 풍력발전담당 공무원 2명, 풍력발전기 제조 회사 관계자 1명)였다.

설문지 결과를 Expert Choice 2000을 이용하여 각 요인들의 중요도를 산출한 결과, Level 2에서는 Table 1과 같이 자연적 요인이 월등히 높은 중요도를 나타내었다. 이것은 풍력발전단지의 입지를 결정할 때 다른 요인들 보다 자연적 요인이 근본적으로 더 중요하게 고려되고 있음을 보여주는 것이다. 환경보호 요인이나 인간피해 요인, 경제적 요인의 조건이 우월하더라도 자연적 요인이 좋지 않으면 풍력발전기가 세워지기 어렵다는 것을 말한다. 인간피해 요인이 낮은 비율로 나타난 것은 소음이나 그림자의 경우 일정거리 이상 떨어지면 해결 가능한 요인이며, 소음의 경우 기술발달로 빠른 시일 내

3) AHP기법을 사용할 경우 설문 응답자의 불합리한 사고 및 이해부족 등으로 일관성이 결여될 수 있기 때문에 설문에 대한 일관성 검증이 이루어져야 한다. 보통 일관성 검증은 일관성 비율(Consistency Ratio: CR)로 평가하게 되는데, CR은 일관성비율(Consistency Ratio: CR) = 일관성지수(CI)/난수지수(RI)를 통해 산출된다.

Table 1. Priority order of level 2 items

Level 2	중요도(%)	순위
자연적 요인	0.65(65)	1
경제적 요인	0.19(19)	2
환경보호 요인	0.11(11)	3
인간피해 요인	0.05(5)	4

Table 2. Priority order of level 3 items

Level 2	Level 3	중요도(%)	순위	
자연적 요인	바람자원	0.68(68)	1	
	지형	능선까지의 거리	0.16(16)	2
		골짜기 각도	0.09(9)	3
	산림밀도	0.07(7)	4	
	소계	1	-	
환경보호 요인	토지이용	0.41(41)	1	
	국립공원	0.27(27)	2	
	백두대간	0.22(22)	3	
	보존지역	0.10(10)	4	
	소계	1	-	
인간피해 요인	소음	0.50(50)	1	
	그림자	0.50(50)	1	
	소계	1	-	
경제적 요인	송전선로	0.62(62)	1	
	접근도로	0.38(38)	2	
	소계	1	-	

에 해결이 가능할 것으로 예상되기 때문이다.

AHP기법에 따라 도출된 Level 3의 항목별 중요도는 Table 2와 같다. 자연적 요인에서는 바람자원, 지형(능선까지의 거리, 골짜기 각도), 산림밀도 순으로 중요도가 높게 나타났으며, 환경보호 요인에서는 토지이용, 국립공원, 백두대간 보호지역, 보존지역 순으로 중요도가 높게 나타났다. 인간피해 요인에서는 소음과 그림자가 같은 중요도를 나타냈으며, 경제적 요인에서는 송전선로가 접근도로에 비해 상대적으로 높은 중요도를 나타내었다.

4. 입지분석

4.1 데이터 구축

GIS를 이용하여 중첩분석을 하려면 각 요인에 부합하는 데

이터를 구축해야 한다. 바람자원(풍력밀도)자료는 기상청 국립기상연구소에서 개발한 1km×1km 해상도의 풍력-기상자 원지도 80m 데이터를 기반으로 생성한 풍력밀도 데이터⁽²⁾를 사용하였으며, 골짜기 각도를 구하기 위한 DEM데이터는 해상도 90m×90m의 NASA 위성자료를 이용하였다. 능선에 관한 데이터는 수자원관리정보시스템(WAMIS)의 분수계 데이터(1:5,000)를 이용하였으며, 산림밀도는 산림청의 '임상도(1:25,000)'를 이용하였다.

토지이용과 보존지역에 대한 데이터는 각각 환경부의 '토지 피복분류도(1:25,000)'와 '생태자연도(1:25,000)'를 이용하였다. 국립공원 데이터는 국립공원 관리공단으로부터 국립공원 데이터를 받아 사용하였다. 백두대간 보호지역 데이터는 산림청의 '백두대간 보호지역도(1:25,000)'를 사용하였다.

소음과 그림자를 고려하기 위해서는 풍력발전기로부터 거리를 재야하나 본 연구는 후보지를 도출하기 위한 것이므로 풍력발전기로부터의 거리를 재기 어렵다. 이에 본 연구에서는 사람들이 머무는 곳에서 소음과 그림자 피해가 발생한다는 점에 착안하여 사람들이 생활하고 있는 시가화지역을 기준으로 시가화 지역으로부터 떨어진 거리를 재는 것으로 분석하였다. 시가화 지역 데이터는 환경부의 '토지피복분류도'를 이용하였다.

송전선로는 변전소의 위치를 기준으로 재게 되는데 변전소의 경우 구축된 데이터를 얻을 수 없었으므로 강원도 변전소의 위치를 직접 데이터로 구축하여 분석하였다. 접근도로의 경우 행정안전부의 새주소 데이터 중 강원도 도로데이터를 이용하였다.

이와 같이 데이터를 다양한 곳으로부터 받아 데이터의 셀 사이즈나 좌표체계가 일치하지 않았다. 중첩분석을 실시하기 위해서는 셀 사이즈와 좌표체계를 통일해야 한다. 셀 사이즈가 작으면 작을수록 지역의 정보를 상세히 볼 수 있다는 장점이 있다. 하지만 자료처리에 시간이 오래 걸리고 풍력에서 중요한 바람정보를 전달해주는 풍력자원지도가 1km×1km의 해상도로 정해져 있으므로 셀 사이즈를 너무 작게 할 경우 부정확한 정보전달이 이루어질 수 있다. 이에 본 연구에서는 가능한 지역의 상세한 정보를 전달하면서도 정확한 정보를 전달 할 수 있도록 셀 사이즈를 100m×100m로 통일하였다. 그리고 좌표체계는 중부원점을 가진 TM 좌표계로 통일하였다.

4.2 상세분류기준 마련

이와 같이 구축된 데이터는 풍력발전단지가 입지하기에 적

Table 3. Appropriateness grade and score of physical factors

점수	풍력밀도 (W/m ²)	지형		산림 밀도
		골짜기 각도(°)	능선까지 거리(m)	
매우적합(5)	> 400	0 - 16	0 - 100	A
보통(3)	300 - 400	16 - 30	100 - 200	B
미흡(1)	< 300	> 30	> 200	C

* A: 교목의 수관점유 면적이 50% 이하인 입분
 B: 교목의 수관점유 면적이 51%~70%인 입분
 C: 교목의 수관점유 면적이 71% 이상인 입분

Table 4. Appropriateness grade and score of environment protection factors

점수	토지이용	보존지역	국립공원	백두대간 보호지역
매우 적합(5)	나지	생태자연도 3등급	국립공원으로부 터 1,000m 이상 떨어진 지역	백두대간 보호지역 이외의 지역
보통(3)	농업지역, 초지	생태자연도 2등급	국립공원으로부 터 1,000m 이내 지역	백두대간 완충구역
미흡(1)	산림지역, 습지, 그 외의 지역	생태자연도 1등급	국립공원 지역	백두대간 핵심구역

* 1등급 권역: 자연환경의 보전 및 복원
 2등급 권역: 자연환경의 보전 및 개발·이용에 따른 훼손의 최소화
 3등급 권역: 체계적인 개발 및 이용
 ** 핵심구역: 백두대간의 능선을 중심으로 일정한 구역을 특별히 보호하고자 하
 는 지역
 완충구역: 핵심구역의 연접지역으로서 핵심구역의 보호 상 필요한 지역

절한 정도에 따라 등급을 구분하고 각 데이터에 맞는 분류기
 준을 마련해야 한다. 본 연구에서는 등급의 개수를 본 연구에
 가장 적합하다고 생각되는 3등급으로 구분하였다. 우리나라
 에서는 아직 입지선정 기준을 상세히 마련하고 있지 않으므로
 각 데이터에 적절한 분류기준을 마련하기 위하여 각종 문헌과
 전문가의 의견을 참고하였다. 자연적 요인의 경우 AWEA⁽⁷⁾와
 Rodman and Meentemeyer(2006)를 참고하였으며, 환경보
 호 요인의 경우 Rodman and Meentemeyer(2006)과 자연환
 경보전법, 독일 자연보호단체연맹(DNR)의 기준⁽⁸⁾, 백두대간
 보호에 관한 법률을 참고하였다. 인간피해 요인의 경우 독일
 자연보호단체연맹(DNR)의 기준을 참고하였다. 경제적 요인
 의 경우 기존 문헌에서는 연구된 바가 없으므로 풍력발전단
 지를 운영하는 업체들이 적용하고 있는 기준을 참고하여 설
 정하였다. 이에 따라 생성된 요인 별 상세분류기준은 Table
 3, Table 4, Table 5, Table 6과 같다.

Table 5. Appropriateness grade and score of human damage factors

점수	소음	그림자
매우적합(5)	시가화건조지역*으로부터 1,000m이상 떨어진 지역	시가화건조지역으로부터 1,300m이상 떨어진 지역
보통(3)	시가화건조지역으로부터 500m-1,000m 떨어진 지역	시가화건조지역으로부터 400m-1,300m 떨어진 지역
미흡(1)	시가화건조지역으로부터의 거리가 500m미만인 지역	시가화건조지역으로부터 거리가 400m미만인 지역

* 시가화건조지역: 환경부의 중분류토지피복분류도에서 주거지역, 공업지역, 상
 업지역, 위락시설지역, 교통지역, 공공시설지역을 포함하여 '시가화건조지역'
 으로 명명하고 있다.
 그러나 교통지역의 경우 풍력발전기를 세울 수 있다고 판단되어 분석 시 교통
 지역은 시가화건조지역에서 제외하였다.

Table 6. Appropriateness grade and score of economic factors

점수	송전선로 (변전소로부터의 거리)	접근도로
매우적합(5)	10km 이내	폭 6m도로로부터 5km이내
보통(3)	10km - 30km	폭 6m도로로부터 10km이내
미흡(1)	30km 이상	폭 6m도로로부터 10km이상

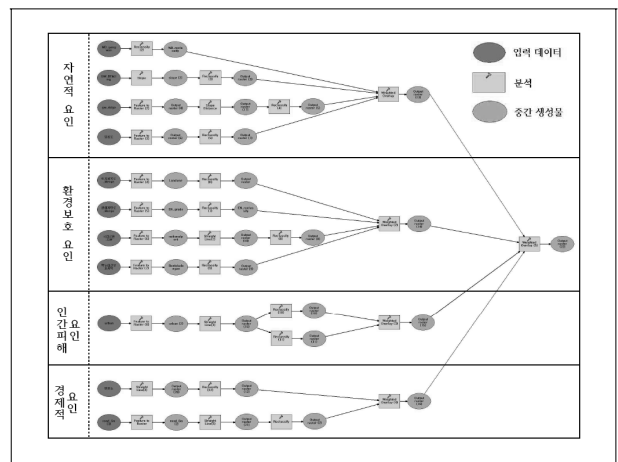


Fig. 2 Model for wind farm site analysis

4.3 입지분석 모델 구축

입지분석은 Arc GIS Desktop 9.3을 이용하였는데, 모델을 구
 축하면 반복되는 작업을 좀 더 수월하게 할 수 있으며 변화하는
 수치를 바로 적용할 수 있어 작업의 효율성을 높일 수 있다. 본
 연구에서도 Fig. 2와 같이 모델을 형성하여 분석 시 이용하였다.

5. 결과

5.1 요인별 분석결과

자연적 요인에 속해 있는 풍력밀도, 골짜기 각도, 능선까지의 거리, 산림밀도 데이터를 Table 3에 따라 3등급으로 분류한 후 Table 2의 가중치를 주어 중첩분석을 실시하면 Fig. 3과 같은 결과가 도출된다.

환경보호 요인에 속해 있는 토지이용, 보존지역, 국립공원, 백두대간 보호지역 데이터를 Table 4에 따라 3등급으로

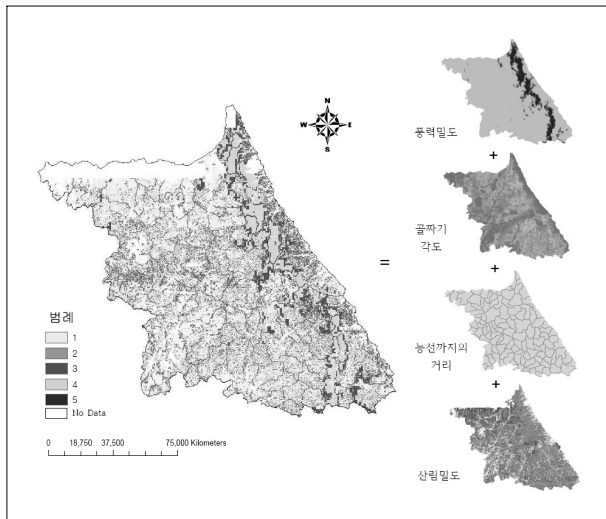


Fig. 3 Distribution map per grade of physical factors

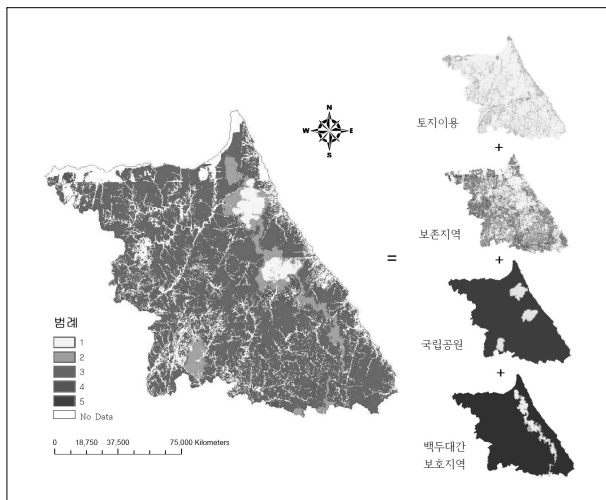


Fig. 4 Distribution map per grade of environment protection factors

분류한 후 Table 2의 가중치를 주어 중첩분석을 실시하면 Fig. 4와 같은 결과가 도출된다.

인간피해 요인인 소음, 그림자에 속해있는 데이터를 Table 5에 따라 3등급으로 분류한 후 Table 2의 가중치를 주어 중첩분석을 실시하면 Fig. 5와 같은 결과가 도출된다.

경제적 요인에 속해 있는 송전선로, 접근도로데이터를 Table 6에 따라 3등급으로 분류한 후 Table 2의 가중치를 더하여 중첩분석을 실시하면 Fig. 6과 같은 결과가 도출된다.

5.2 최종분석 결과

위에서 도출된 각 요인별 결과를 Table 1의 가중치를 주어 중첩분석하게 되면 Fig. 7과 같은 결과가 도출된다. 분석결과는 풍력발전기를 세우기에 매우 부적절한 1점 지역부터 풍력발전기를 세우기에 매우 탁월한 것으로 생각되는 5점 지역

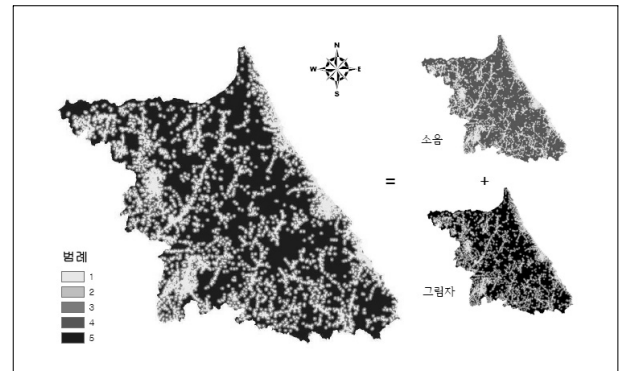


Fig. 5 Distribution map per grade of human damage factors

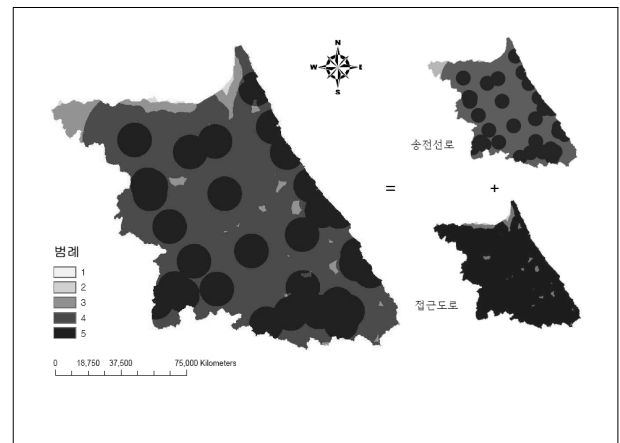


Fig. 6 Distribution map per grade of economic factors

까지 5등급으로 구분되었다. Fig. 7의 (A)의 진한 부분은 가장 높은 점수(5점)를 받은 지역으로 그 면적이 적어 소축적 지도로 보면 잘 보이지 않는다. 5점 지역은 대부분 고도 600m이상의 능선을 따라 존재하고 있었다. 그러나 5점 지역이 대부분 백두대간 핵심구역 혹은 완충구역에 속해 있어 풍력발전단지 건립 시 환경적인 측면에서 건립허가에 어려움이 예상된다. 5점 지역 중 고성군 거진읍과 간성읍 사이 지역, 양양군 서면 지역, 홍천군과 평창군 사이 지역, 태백시, 삼척시의 일부 지역은 백두대간 핵심구역이나 완충구역에 속하지 않았다.

강원도 전체 면적 대비 각 점수별 면적의 비율은 Fig. 8과 같다. 2점 지역이 가장 높은 비율(75.81%)을 차지하고 있었으며, 그 다음으로 3점 지역(13.61%), 4점 지역(9.43%), 1점 지역(0.99%), 5점 지역(0.16%)이 차례로 높게 나타났다.

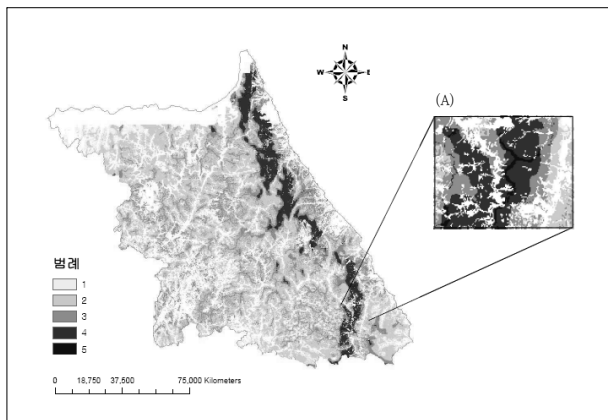


Fig. 7 Overlay analysis result of four factors

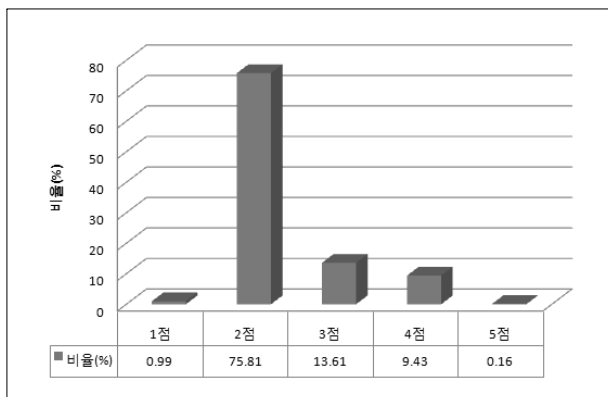


Fig. 8 The ratio of graded area and total area of Gangwon-do

5.3 점수별 지역의 풍력밀도 분석

점수별 지역이 어디에 어떻게 분포하는지를 아는 것도 중요하지만 풍력발전단지 입지 선정 시 가장 중요한 것은 역시 바람 자원일 것이다. 이에 본 논문에서는 각 점수별로 연평균 풍력밀도를 알아보았다. 분석결과 1점, 2점, 3점 지역은 $300W/m^2$ 이하의 비교적 낮은 연평균 풍력밀도를 가지고 있는 것으로 나타났으며, 4점 지역과 5점 지역은 연평균 풍력밀도가 $500W/m^2$ 를 넘는 것으로 나타나 바람자원이 비교적 풍부함을 알 수 있었다(Table 7). AWEA가 대형 풍력발전기의 경우 연평균 풍력밀도가 $400W/m^2$ 이상인 곳에 세우도록 권장하고 있는 것을 고려했을 때 4점 지역과 5점 지역에 풍력발전기를 세우는 것이 적절할 것으로 보인다.

연평균 풍력밀도는 우리나라처럼 월별로 바람자원이 큰 곳에서는 그 수치가 평균화 되어 대표성을 갖지 못하는 경향이 있다. 바람자원의 특징을 좀 더 자세히 파악하기 위하여 점수별로 월별 풍력밀도를 구하여 그래프로 그려 본 결과 Fig. 9와 같은 결과가 도출되었다.

4점, 5점 지역의 풍력밀도 변화를 보면 11월부터 4월까지 월평균 $400W/m^2$ 를 넘는 풍부한 풍력밀도를 가진 것으로 나타났으며 특히 2월, 3월, 4월, 11월에는 월평균 $800W/m^2$ 를

Table 7. Annual wind power density(80m) per grade

지역	연평균 풍력밀도(W/m^2)
1점 지역	127.64
2점 지역	137.31
3점 지역	243.27
4점 지역	554.27
5점 지역	546.46

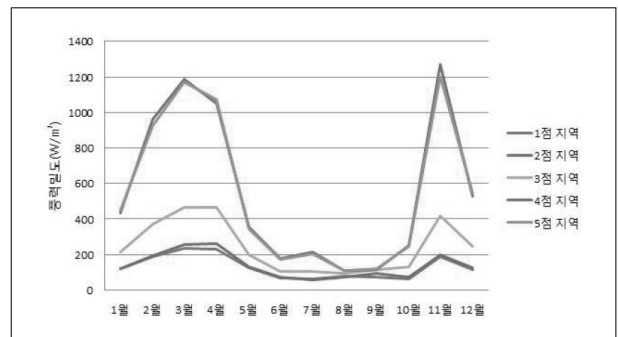


Fig. 9 Average wind power density per month

넘는 풍부한 풍력밀도를 가진 것으로 나타났다. 그러나 5월부터 10월까지의 월평균 $400\text{W}/\text{m}^2$ 이하의 풍력밀도를 가진 것으로 나타났으며 8월, 9월에는 월평균 $200\text{W}/\text{m}^2$ 이하의 낮은 풍력밀도를 나타내 월별로 그 격차가 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

6. 결론

본 연구에서는 풍력발전단지 입지 선정 시 고려해야 할 요인들을 우리나라 현실에 맞춰 선정하고, 이 요인들에 대한 상세한 분류기준을 마련하고자 하였다. 그리고 이를 강원도에 적용하여 풍력발전단지가 입지하기에 적절한 지역을 알아보고자 하였다.

문헌조사와 전문가 인터뷰를 통하여 풍력발전단지 입지 선정 시 고려해야 할 요인으로 바람자원(풍력밀도), 골짜기 각도, 능선까지의 거리, 산림밀도, 토지이용, 보존지역, 국립공원, 백두대간 보호지역, 소음, 그림자, 송전선로, 접근도로와 같은 총 11개의 요인을 도출하였다. 도출된 요인들은 풍력발전기에 큰 영향을 미치나 인간의 힘으로 바꾸기 어려운 자연적 요인, 환경적인 면에서 보호되어야 하거나 법적으로 제한되어 있는 지역을 고려하기 위한 환경보호 요인, 풍력발전단지와 인간의 상호작용을 고려하기 위한 인간피해요인 그리고 풍력발전단지를 세우는데 드는 비용을 고려한 경제적 요인으로 분류하였다.

AHP기법을 사용하여 요인들의 가중치를 산출한 결과 자연적 요인이 가장 높은 가중치(65%)를 나타냈으며, 그 다음으로 경제적 요인(19%), 환경보호 요인(11%), 인간피해 요인(5%)이 높게 나타났다. 이것은 자연적 요인이 다른 요인들에 비해 근본적으로 중요함을 보여준 것으로 다른 요인들의 조건이 훌륭하더라도 자연적 조건이 안 좋을 경우 풍력발전단지가 들어서기 힘들다는 것을 말한다. 그리고 경제적 요인이 그 다음으로 높게 나타났는데 이는 자연적 요인이 좋더라도 기초 비용이 너무 많이 드는 지역은 풍력발전단지를 세우는 것이 어려울 수 있다는 것을 보여준다.

GIS를 통한 입지분석을 위하여 각 요인을 대표할 수 있는 데이터를 수집하고 중첩분석을 하기 위하여 좌표계와 셀 사이즈를 통일하였다. 그리고 각 데이터를 풍력발전단지가 입

지하기에 적절한 정도에 따라 3등급(매우적합-5점, 보통-3점, 미흡-1점)으로 구분하고 각 요인별로 이에 맞는 상세 분류기준을 마련하였다.

데이터에 상세분류기준과 AHP를 통해 산출된 가중치를 주어 중첩 분석한 결과 가장 높은 점수를 받은 지역(5점)은 강원도 전체 면적에서 다른 점수(1점~4점)지역에 비해 낮은 비율(0.16%)을 차지하고 있었으며, 대부분 고도 600m이상에 있는 능선을 따라 존재하고 있었다. 점수별 지역의 연평균 풍력밀도를 분석해 본 결과 4점 지역과 5점 지역이 $500\text{W}/\text{m}^2$ 를 넘는 것으로 나타나 바람자원이 비교적 풍부한 것으로 나타났다. 4점과 5점 지역의 바람자원 월별 분포를 보면 봄, 가을, 겨울에 대체로 풍력밀도가 좋았으며 여름에는 풍력밀도가 큰 폭으로 하락해 월별로 풍력밀도 차이가 크다는 것을 알 수 있다.

본 연구의 한계점은 다음과 같다. 첫째, 설문 대상이 주로 풍력발전단지 운영자이다 보니 가중치가 경제적인 측면에 치우치는 경향이 있었다. 둘째, 강원도 북쪽이 군사지역인 관계로 누락된 데이터가 존재한다는 것이다. 셋째, 입지분석을 위한 도구로 GIS를 이용함에 따라 요인들 중 공간 데이터로 구축되기 어려운 요인들은 고려대상에서 제외되었다는 점이다. 그러나 본 연구는 풍력발전단지의 입지를 선정할 때 실질적으로 고려되는 요인들을 다각적 측면에서 선정하고 풍력발전단지 입지 선정 기준을 제시하였다는 데 그 의의가 있다.

본 연구는 풍력발전단지의 후보지를 개략적으로 도출하기 위한 것으로 풍력발전단지의 입지를 최종결정하기 위해서는 현지답사와 후보지에 대한 1년 이상의 사후조사가 필요하다. 체계적이고 효율적인 풍력발전단지 건설을 위해서는 국가적으로 풍력발전단지 건설에 대한 체계적인 기준을 설립할 필요가 있다. 앞으로 풍력발전단지 입지선정 기준에 대한 연구가 좀 더 체계적으로 이루어지기를 기대한다.

후 기

본 연구는 기상청 국립기상연구소 “녹색성장 지원기술 개발” 및 2011년도 정부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(N0. 2009-0093466).

References

- [1] 김현구, 최재우, 2002, “풍력에너지 이용 및 개발현황”, RIST 연구논문, Vol. 16, No. 4, pp. 479-485.
- [2] 김혜중, 2010, “통계적 바람장모형에 의한 고해상도(1km×1km) 풍력에너지지도 작성에 관한 연구”, 응용통계연구, Vol. 23, No. 6, pp. 1157-1167.
- [3] 변재영, 최영진, 서범근, 2010, “중규모 모델 WRF로부터 모의된 한반도 풍력-기상자원 특성”, 한국기상학회지, Vol. 20, No. 2, pp. 1-16.
- [4] 산업자원부, 2006, “풍력발전단지 건설을 위한 지침서 및 지역 수용성 제고방안 연구”.
- [5] 임은선, 2006, “계층분석과정(AHP) 선택의 기로에서 합리적으로 판단하기”, 국토연구원, 2006.
- [6] 한국환경정책·평가연구원, 2008, “환경성을 고려한 태양광, 풍력발전소 입지선정 가이드라인”.
- [7] AWEA, 2001, “Wind Energy Applications Guide”.
- [8] DNR, 2005, “Umwelt und naturverträgliche Windenergie-nutzung in Deutschland(onshore)”, Grundlagenarbeit für eine Informationskampagne.
- [9] Rodman L. C. and Meentemeyer, R. K., 2006, “A geographic analysis of wind turbine placement in Northern California”, Energy Policy, 34, 2137-2149.

전 상 희



2009년 이화여자대학교 사회생활학과 지리학
학사
2011년 이화여자대학교 대학원 지리학석사

현재 국립기상연구소 응용기상연구과 연구원
(E-mail : shjeon1124@korea.kr)

안 승 만



1997년 성균관대학교 조경학과 농학학사
1999년 성균관대학교 지리정보체계 대학원
공학석사
2002년 성균관대학교 조경학과 대학원
조경학박사

현재 건국대학교 신기술융합학과 연구교수
(E-mail : asiarn@gmail.com)

최 영 진



1981년 연세대학교 천문기상학과 이학사
1984년 연세대학교 대기과학과 이학석사
2003년 연세대학교 대기과학과 이학박사

현재 국립기상연구소 응용기상연구과 과장
(E-mail : yjchoikma@korea.kr)

성 호 현



1978년 이화여자대학교 사회생활학과 지리학 석사
1982년 이화여자대학교 대학원 지리학 석사
1990년 Univ. of California, Riverside
지리학박사

현재 이화여자대학교 사회생활학과 교수
(E-mail : hhsung@ewha.ac.kr)